

**TECHNOLOGIJOS IR MENAS**  
**TECHNOLOGY AND ART**

2024/15



# TECHNOLOGIJOS IR MENAS

# TECHNOLOGY AND ART

2024/15

TYRIMAI IR AKTUALIJOS  
RESEARCH AND TOPICALITIES



VILNIAUS KOLEGIJA

VILNIAUS KOLEGIJA / HIGHER EDUCATION INSTITUTION

---

VILNIUS 2024

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

**VYRIAUSIASIS REDAKTORIUS / EDITOR-IN-CHIEF**

**Dr. Vytenis Surblys**

Vilniaus kolegija / Higher Education Institution (LTU)  
Technologijos mokslai / Technological Sciences

**LIETUVIŲ KALBOS REDAKTORĖ / LITHUANIAN LANGUAGE EDITOR**

**Jolita Grašienė**

Vilniaus kolegija / Higher Education Institution (LTU)  
Humanitariniai mokslai / Humanitarian Science

**ANGLŲ KALBOS REDAKTORĖ / ENGLISH LANGUAGE EDITOR**

**Svetlana Toropovienė**

Vilniaus kolegija / Higher Education Institution (LTU)  
Humanitariniai mokslai / Humanitarian Science

**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 Stankiuviienė**

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

**Doc. Dr. Alfredas Rimkus**

Vilniaus kolegija / Higher Education Institution (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 kolegija / Higher Education Institution (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. Asta Anikienė**

Vilniaus kolegija / Higher Education Institution (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

<b>Jurijus Tretjakovas</b> Dinamiškumo koeficiento nustatymas smūginio sukimo metu .....	5
<b>Virginija Urbonienė, Povilas Milius</b> Plokščiojo saulės kolektoriaus posvyrio kampo įtaka jo šiluminei galiai ir efektyvumui .....	9
<b>Irma Šileikienė, Ana Usovaitė</b> Kibernetinio saugumo situacijos Lietuvoje grėsmių analizė Europos sąjungos kontekste .....	14
<b>Ana Usovaitė, Irma Šileikienė</b> Žaidybinimo koncepcijos taikymas dėstant informacijos sistemų ir jų saugos dalyką.....	20
<b>Vaida Vasiliauskienė</b> Anglies monoksido ir ozono koncentracijos dinamika Vilniuje, prie Antakalnio gatvės.....	25
<b>Jelena Ščedrovienė, Salomėja Vanagienė</b> Lietuvos atvykstamojo turizmo iššūkiai ir perspektyvos .....	30
<b>Robert Mickevič</b> Vandenilio kuro elementų ir ličio akumuliatorių naudojimo bepiločiuose orlaiviuose lyginamoji analizė .....	37
<b>Jan Vanik, Jan Lang, Alfredas Rimkus, Saulius Stravinskas</b> The impact of Brown's gas (HHO) on combustion and emissions of spark ignition engine fueled with petrol-ethanol mixture .....	44
<b>Aleksandr Vika, Jelena Selivonec</b> Ožinio kranų dėžės skerspjuvio sijos konstrukcijos modeliavimas .....	50
<b>Svetlana Toropovienė</b> The use of AI tools in teaching ESP .....	55
<b>Lukas Garalis, Nikolaj Višniakov, Vitalijus Rudzinskas</b> Eksploatuotų plieninių technologinių vamzdžių ir aparatūros komponentų su defektais liekamojo resurso vertinimas .....	60
<b>Audrius Čereška, Svetlana Toropovienė, Roma Aleknienė</b> Technical field students' learning motivation .....	69
<b>Romanas Tumasonis, Inga Tumasonienė</b> Kompiuterinių saugos incidentų aptikimo bei valdymo technologijos .....	75
<b>Valentyna, Pleskach, Romanas, Tumasonis, Oleksandr Shyshchuk</b> Image analysis software system based on artificial intelligence .....	83
<b>Jolanta Pileckienė, Brigita Šustickienė, Kristina Višnevskienė</b> Skaitmeninių gebėjimų plėtra švietime pagal DIGCOMP 2.2 modelį: tyrimų apžvalga.....	91
<b>Aronas Kairys, Alfredas Rimkus</b> Bioetanolio įtakos didelės galios automobilio energiniam ir ekologiniam rodikliams vertinimas AVL CRUISE programa atliekant WLTC skaitinį modeliavimą.....	99

# DINAMIŠKUMO KOEFICIENTO NUSTATYMAS SMŪGINIO SUKIMO METU

Jurijus Tretjakovas

Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58-1, Vilnius

**Anotacija.** Straipsnyje nagrinėjamas smūginis poveikis velenams. Tokį smūgį velenai gauna staigiai sustabdant vieną veleno galą, kai kitas yra sukamas sistemos inercijos momentu. Ta sistema gali būti smagratis, skriemulys ar visa besisukančių skriemulių ir pavarų kinematinė grandinė. Smūgio poveikis velenui išreiškiamas dinamiškumo koeficientu. Šiame tyrime smūgis sukimo momentu matematiškai modeliuojamas naudojant mechaninį energijos tvermės dėsnį ir veleno deformavimosi matematinį aprašą. Ištirta trijų skirtingų parametų įtaka dinamiškumo koeficientui: veleno medžiagos tamprumo modulio įtaka, veleno ilgio įtaka ir veleno skersmens įtaka. Remiantis tyrimo rezultatais pavaizduoti trijų funkcijų (tamprumo modulis – dinamiškumo koeficientas, veleno ilgis – dinamiškumo koeficientas ir veleno skersmuo – dinamiškumo koeficientas) grafikai, parodantys nagrinėtas priklausomybes.

**Reikšminiai žodžiai:** velenas, dinaminiai tangentiniai įtempiai, smūgis sukimo momentu, dinamiškumo koeficientas

## Įvadas

Dinaminių apkrovų reiškiniai mechaninėse sistemose yra gana įvairialypiai, tačiau jie turi keletą bendrų bruožų:

- Kinematinio požiūriu tai trumpalaikis reiškinys, kurio metu keičiasi sistemos taškų greičiai.

- Dinaminiu požiūriu tokiose sistemose staiga atsiranda (taip pat staiga ir dingsta) gana didelės trumpalaikės smūginės apkrovos (Armstrong, 2008, Dumitru, 2007, Hibbeler 2011).

Tokio tipo uždavinių sprendimas bendruoju atveju nagrinėjamas kaip priverstinio svyravimo teorijos objektas (Gharavi, 2017).

Kai konstrukcijos elemento deformavimosi greitis kinta per labai trumpą ar net nykstantį trumpą laiką gaunamas smūginis poveikis elementui. Tai yra kalama plaktuku vinis ar poliakale kalamas polius, identiškas reiškinys atsiranda kalviui dirbujantis kūju ant priekalo. Visais šiais atvejais žinomas konstrukcijos elemento greitis smūgio pabaigoje (jis lygus nuliui) ir gali būti išmatuotas greitis smūgio pradžioje (Ranjit, 1983). Tačiau reikia išmatuoti ir pagreitį, bet dėl labai trumpo laiko to padaryti dažnai neįmanoma. Dėl šios priežasties smūginių sistemų skaičiavimams pasirinktas mechaninės energijos tvermės dėsnis (Tu, 2017).

Mechanikos ir transporto inžinerijoje staigiai sustabdant vieną besisukančio veleno pusę, kita pusė dar bus sukama smagračio ar sistemos inercijos. Tokiu atveju velenas yra susukamas smūgiuojant ir tangentiniai įtempiai veleno patiria staigų dinaminį poveikį. Šie dinaminiai sukimo įtempiai  $\tau_{dyn}$  gali būti apskaičiuojami pagal formulę:

$$\tau_{dyn} = k_{dyn} \cdot \tau_{st}, \quad (1)$$

čia:  $k_{dyn}$  – dinamiškumo koeficientas, kuris parodo, kiek kartų dinaminis poveikis didesnis už statinį poveikį;  $\tau_{st}$  – maksimalūs statiniai šlyties įtempiai.

Pagrindinė problema lygtyje (1) yra dinamiškumo koeficiento radimas sukamojo smūgio momentu. Prieš

nagrinėdami smūgį sukamame veleno turime padaryti tam tikras prielaidas (Vislavičius, 2008).

- Paties kūno, kuris sukelia dinaminį sukimą (pvz. smagračio) deformavimosi energija yra nykstantai maža ir į ją gali būti neatsižvelgta.
- Nepaisoma veleno masės ir veleno dinaminio inercijos momento.
- Tarkime, kad jokia energija neišeikvojama ir neišnaudojama šilumai pagaminti ar orui nugalėti ir pan., t. y. nevyksta jokia energijos disipacija.

Padarę tokias prielaidas galime teigti, kad visa kinetinė energija  $K$  (besisukančio ir smogiančio smagračio) pavirsta veleno potencine deformavimosi energija  $U$ , kuri smūgio metu susikaupia veleno. Matematiškai tai perteikiama lygtimi:

$$K = U \quad (2)$$

Kinetinė energija yra lygi darbui, kurį atlieka sistemos inercijos momentas:

$$K = A = \frac{I_{sm} \cdot \omega^2}{2}, \quad (3)$$

čia:  $A$  – darbas;  $I_{sm}$  – standaus kūno (dažniausiai smagračio, skriemulio ar kt.) inercijos momentas sukimosi ašies atžvilgiu;  $\omega$  – kūno sukimosi kampinis greitis.

Darydami prielaidą, kad visa smūginio sukimo kinetinė energija pavirsta potencine energija, matematiškai aprašome veleno deformacijas.

## 1. Matematinis smūgio sukimo momentu modeliavimas

Modeliuojamas atvejis, kai vienas iš veleno galų yra staigiai sustabdomas, o kitam veleno galui perduodamas smagračio smūgio sukamasis poveikis.

Veleno, kurio ilgis  $l$ , susisukimo kampas bendruoju atveju yra lygus:

$$\Delta\varphi = \int_0^l \frac{T}{G \cdot I_p} dz, \quad (4)$$

čia:  $T$  – veleną veikiantis sukimo momentas;  $G$  – veleno medžiagos šlyties modulis;  $I_p$  – veleno skerspjūvio polinis inercijos momentas;  $l$  – veleno ilgis.

Nagrinėjame veleną, kurio medžiaga per visą ilgį yra ta pati, skerspjūvis vienodas ir jį veikia tas pats sukimo momentas. Tokiu atveju kampas išreiškiamas:

$$\Delta\varphi = \frac{T \cdot l}{G \cdot I_p} \quad (5)$$

Tangentiniai sukimo įtempiai tokiaime velene, kai sukimo momentas pastovus, skerspjūvis vienodas ir velenas pagamintas iš tos pačios medžiagos, aprašomi formule:

$$\tau_{st} = \frac{T}{W_p}, \quad (6)$$

čia:  $W_p$  – veleno skerspjūvio polinis atsparumo momentas.

Nagrinėjamas pilnaviduris skritulinio skerspjūvio skersmens  $d$  velenas, todėl polinis atsparumo momentas yra

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \quad (7)$$

Potencinė deformavimo energija

Strypui sukti reikia energijos. Ta energija tampriame strype išreiškiamą potencine deformavimo energija:

$$U = \int_0^l \frac{T^2}{2 \cdot G \cdot I_p} dz \quad (8)$$

Iš formulės (4) gautą sukimo momentą  $T$  įrašę į formulę (8) gauname kitokią potencinės energijos išraišką:

$$U = \frac{\tau_{st}^2 \cdot W_p^2 \cdot l}{2 \cdot G \cdot I_p} \quad (9)$$

Formulės (5) sukimo momentą  $T$  įrašę į formulę (8) gauname potencinės energijos išraišką:

$$U = \frac{\Delta\varphi^2 \cdot G \cdot I_p}{2 \cdot l} \quad (10)$$

Šias energijos raiškas panaudosime dinamiškumo koeficientui gauti.

## 2. Dinamiškumo koeficientas sukimo momentu

Dinaminių deformacijų, įtempių ir kitų parametru dydis priklauso nuo sistemos statinių deformacijų ar, kitaip sakant, sistemos standumo ir bendruoju atveju išreiškiamas formule:

$$k_{dyn} = 1 + \sqrt{1 + \frac{K}{U}} \quad (11)$$

Tam tikrais atvejais galima formulėje (11) nepaisyti vienetų, tokiu atveju dinamiškumo koeficientas bus skaičiuojamas pagal formulę:

$$k_{dyn} = \sqrt{\frac{K}{U}} \quad (12)$$

Sukamo strypo dinamiškumo koeficientas sukamojo smūgio metu gaunamas dvejopai:

1 variantas. Formulę (10) įrašę į formulę (12):

$$k_{dyn} = \sqrt{\frac{K \cdot 2 \cdot l}{\Delta\varphi^2 \cdot G \cdot I_p}} \quad (13)$$

2 variantas. Formulę (9) įrašę į formulę (12):

$$k_{dyn} = \sqrt{\frac{K \cdot 2 \cdot G \cdot I_p}{\tau_{st}^2 \cdot W_p^2 \cdot l}} \quad (14)$$

Formulėje (14) įrašę geometrinių rodiklių išraiškas reiškinį pošaknyje galime supaprastinti:

$$\frac{I_p}{W_p^2} = \frac{\pi \cdot d^4 / 32}{(\pi \cdot d^3 / 16)^2} = \frac{8}{\pi \cdot d^2} = \frac{2}{A}, \quad (15)$$

čia:  $A$  – veleno skerspjūvio plotas.

Tuomet dinamiškumo koeficientas:

$$k_{dyn} = \sqrt{\frac{K \cdot 2 \cdot G \cdot 2}{\tau_{st}^2 \cdot A \cdot l}} = \frac{2}{\tau_{st}} \sqrt{\frac{K \cdot G}{A \cdot l}} \quad (16)$$

Įrašę smagračio inercijos momentą formulėje (3) į formulę (16) gauname:

$$k_{dyn} = \frac{2 \cdot \omega}{\tau_{st}} \cdot \sqrt{\frac{I_{sm} \cdot G}{A \cdot l \cdot 2}} \quad (17)$$

Nagrinėjant velenus tangentinius įtempius reikia skaičiuoti pagal perduodamą galingumą  $P$  ir kampinį veleno sukimosi greitį:

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (18)$$

Įrašę formulę (18) į formulę (6) ir gautą išraišką į formulę (17) gauname:

$$k_{dyn} = \frac{\omega^2 \cdot W_p}{P} \cdot \sqrt{\frac{I_{sm} \cdot G \cdot 2}{A \cdot l}} \quad (19)$$

Pastebime, kad dinamiškumo koeficientas priklauso nuo veleno patiriamų tangentinių įtempių, šlyties modulio tamprioje stadijoje, veleno skerspjūvio ir veleno ilgio.

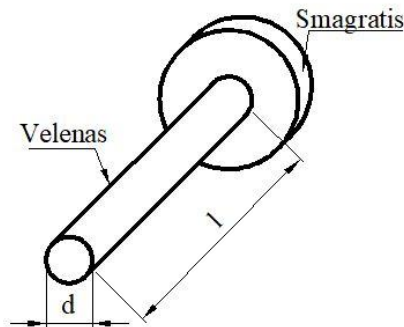
## 3. Praktinis dinamiškumo koeficiento taikymas

Gauta dinamiškumo koeficiento formulė sukamiems velenams turi didelę praktinę reikšmę. Visų pirma matome, kad veleno stiprumas smūginių dinaminių apkrovų metu iš principo skiriasi nei statinių apkrovų metu.

Palikime kampinį greitį ir smagračio inercijos momentą nuošalyje, nes tai yra išorinių apkrovų ir smagračio geometrijos parametrai, kurių mes tariamai negalime keisti. Tačiau šlyties

modulio, veleno skersmens ir ilgio įtaką dinamiškumo koeficientui panagrinėkime detaliau.

Tarkime, turime tris velenus, kurie perduoda tą patį galingumą  $P=200$  kW ir sukasi tuo pačiu kampiniu greičiu, t.y jų sukimosi dažnis yra  $n=1000$  aps/min. Ant jų yra tas pats smagratis su tuo pačiu inercijos momentu  $I_{sm}=1000$  kg · m<sup>2</sup>. Jų medžiaga, ilgiai ir skerspjūvio geometrija gali skirtis. Bendruoju atveju nagrinėjamas velenas, parodytas 1 pav, kurio skersmuo  $d=10$  mm, ilgis  $l=250$  mm.



1 pav. Velenas su smagračiu  
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Analizuodami kiekvieną kartą nagrinėsime tris velenus su skirtingais kintamaisiais.

Atvejis Nr.1. Skiriasi velenų medžiaga.

Tarkime, velenas pagaminas iš:

1. Aliuminio, kurio tamprumo modulis 70 GPa ir Puasono koeficientas 0,34.

2. Medžiagos, kurios tamprumo modulis 150 GPa ir Puasono koeficientas 0,28.

3. Legiruotojo plieno, kurio su tamprumo modulis 200 GPa ir Puasono koeficientas 0,30.

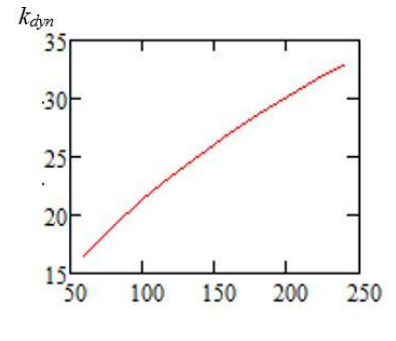
Dinamiškumo koeficientas visais nagrinėjamais atvejais parodytas lentelėje 1.

1 lentelė. Koeficiento priklausomybė nuo medžiagos rodiklių

Medžiaga	E, GPa	G, GPa	$k_{dyn}$
1	70	26,1	17,6
2	150	58,6	26
3	200	76,9	30,1

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Vadinasi, kuo medžiaga standesnė, tuo didesnis dinamiškumo koeficientas. Tamprumo moduliui padidėjus du kartus, atitinkamai 1,41 karto padidėja dinamiškumo koeficientas. Tai gerai iliustruoja grafikas 2 pav., kuriame pavaizduotas dinamiškumo koeficiento priklausomybė nuo medžiagos tamprumo modulio.



2 pav. Dinamiškumo koeficiento priklausomybė nuo tamprumo modulio E

Šaltinis: sudaryta autorių

Kintant tamprumo moduliui nuo 60 GPa iki 240 GPa, dinamiškumo koeficientas kinta pagal kvadratinį dėsnį nuo 16,5 iki 33,0.

Atvejis Nr. 2. Skiriasi velenų ilgiai

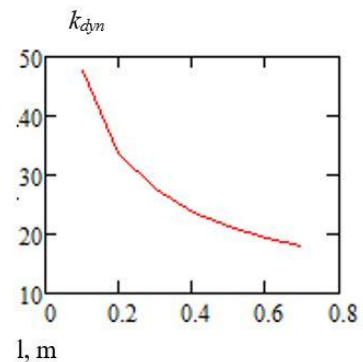
Nagrinėjami trys legiruotojo plieno velenai, kurių ilgiai 250 mm, 500 mm ir 750 mm. Dinamiškumo koeficiento priklausomybė nuo ilgio parodyta lentelėje 2.

2 lentelė. Dinamiškumo koeficiento priklausomybė nuo ilgio

Velenas	Ilgis l, mm	$k_{dyn}$
1	250	30,1
2	500	21,3
3	750	17,4

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Šie rezultatai rodo, kad ilgėjančio veleno smūgio energija yra sugerama labiau. Tokiu atveju dinamiškumo koeficientas mažėja. Ilgiui padidėjus 3 kartus, dinamiškumo koeficientas sumažėjo 1,73 karto.



3 pav. Dinamiškumo koeficiento priklausomybė nuo ilgio

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Dinamiškumo koeficiento priklausomybę nuo veleno ilgio iliustruoja kreivė, pavaizduota 3 pav.

Atvejis Nr. 3 Skiriasi velenų skersmenys.

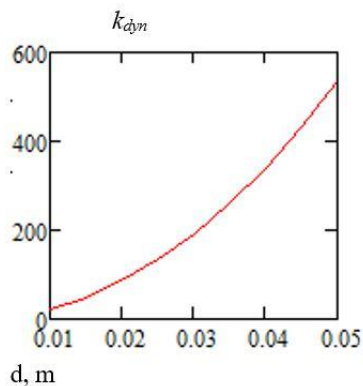
Nagrinėjami trys legiruotojo plieno velenai, kurių ilgis 500 mm, o skersmenys 10 mm, 15 mm ir 20 mm. Dinamiškumo koeficientas didėjant skersmeniui parodytas 3 lentelėje.

**3 lentelė.** Koeficiento priklausomybė nuo skersmens

Velenas	Skersmuo d, mm	$k_{dyn}$
1	10	21,3
2	15	47,9
3	20	85,2

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Didėjant skersmeniui velenas standėja ir stiprėja, todėl jo dinamiškumo koeficientas didėja. Skersmens didinimas skerspjuvio plotą didina kvadratine funkcija, todėl ir dinamiškumo koeficiento didėjimas yra staigesnis nei ankstesniais atvejais. Dinamiškumo koeficiento didėjimo funkcijos priklausomybė nuo skersmens 4 pav. tai puikiai iliustruoja.

**4 pav.** Dinamiškumo koeficiento priklausomybė nuo veleno skersmens

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Kintant skersmeniui nuo 10 mm iki 50 mm, dinamiškumo koeficientas didėja pagal trečio laipsnio funkciją nuo 21,3 iki 533 karto.

### Apibendrinimai ir išvados

1. Remiantis atliktu tyrimu galima teigti, kad smūginis poveikis sukimo momentu yra viena pagrindinių velenų irimo priežasčių transporto ir mechanikos inžinerijoje.
2. Dinamiškumo koeficiento formulė išvesta tamprios medžiagos veleniui, kuris yra vienodo skersmens ir tos pačios medžiagos per visą veleno ilgį.
3. Dinamiškumo koeficientas smūginio sukimo momentu priklauso nuo medžiagos tamprumo modulio ir veleno dydžio geometrijos prasme.
4. Padidėjus veleno medžiagos tamprumo moduliui 2 kartus, atitinkamai 1,41 karto padidėja dinamiškumo koeficientas. Veleniui pailgėjus 3 kartus, dinamiškumo koeficientas sumažėjo 1,73 karto. Veleno skersmeniui padidėjus 2 kartus, dinamiškumo koeficientas padidėja 4

kartus.

5. Konstruojant velenus, kurie gaus dinamines smūgines apkrovas, reikia didinti jų santykinį sąsūkį taip didinant veleno elastingumą. Tamprių movų naudojimas taip pat sumažins dinamiškumo koeficientą.

### Literatūra

Armstrong, R.W., Walley, S.M. (2008). *High Strain Rate Properties of Metals and Alloys*, International Materials Reviews 53, [3], 105-128.

Dumitru, I., Marsavina, L., Faur, N. (2007). *Experimental study of torsional impact fatigue of shafts* Journal of Sound and Vibration 308(3): 479-488.

Hibbeler, R.C. (2011). *Mechanics of materials*. Prentice Hall.

Gharavi, N, Zhang, H., Xie, Y. (2017). Evaluation of the End Effect impact on the Torsion Test for Determining the shear Modulus of a Timber Beam Through a Photogrammetry Approach, 19th International Conference on Wood Science and Engineering. Osaka, Japan.

Ranjit, S. D., Singh, B.M., Vrbik, J. (1983). Torsional impact of a layer or a cylinder bonded to an elastic half-space. *International Journal of Engineering Science*. Volume 21, Issue 11, 1983, Pages 1397-1408 doi.org/10.1016/0020-7225(83)90136-2.

Tu, R., Liao, Q., Zeng, L., Liu, Z., Liu, W. (2017). Impact of torsion and stretching on the thermal conductivity of polyethylene strands. *Applied Physics Letters* 110.

Vislavičius, K. et al. (2008). *Medžiagų atsparumo elektroninis vadovėlis*. Vilnius.

### DETERMINING OF THE DYNAMIC FACTOR IN IMPACT TORSION

Jurijus Tretjakovas

Vilniaus kolegija/Higher Education Institution

**Summary.** The article investigates shafts loading with torsional impact. Shafts receive such a shock in engineering by suddenly stopping one end of the shaft while the other is driven by the moment of inertia of the system. That system can be a flywheel, a pulley, or an entire kinematic chain of rotating pulleys and gears. The impact effect on the shaft is expressed using the dynamic factor. In this study, the torsional impact is mathematically modeled using the mechanical law of conservation of energy and the mathematical description of the behavior of the shaft after torsional deformations. The influence of three different parameters on the dynamic coefficient was investigated: the influence of the elastic modulus of the shaft material, the influence of the length of the shaft and the influence of the diameter of the shaft.

Based on the results of the study, the functions elastic modulus - dynamic factor, shaft length - dynamic factor and shaft diameter - dynamic factor are shown in graphs.

**Key words:** shaft, dynamic shear stresses, impact in rotation, dynamic factor.



# PLOKŠČIOJO SAULĖS KOLEKTORIAUS POSVYRIO KAMPO ĮTAKA JO ŠILUMINEI GALIAI IR EFEKTYVUMUI

Virginija Urbonienė, Povilas Milius

Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58-1, Vilnius

**Anotacija.** Atsinaujinančių išteklių naudojimas energijos gamybai leidžia sumažinti į atmosferą išmetamų teršalų kiekį taip darant įtaką klimato kaitai. Klimato kaita skatina pasaulio visuomenę keisti energijos bei energijos išteklių naudojimo įpročius. „Saulės energija gali patenkinti didelę pastato elektros energijos ir šilumos poreikio dalį naudojant saulės šiluminės energijos kolektorius ir saulės fotovoltinius įrenginius (su šilumos siurbliais) arba derinant abi technologijas, įskaitant hibridines – fotovoltines ir šiluminės – technologijas“ rašoma EK Komunikate *ES saulės energetikos strategija*. Briuselis, 2022 05 18, COM(2022) 221 final. *Efektyvus energijos vartojimas pastate* – tai kompleksinio įvairių priemonių diegimo rezultatas: pažangios energijos taupymo technologijos, atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) naudojimo pastatuose galimybės, racionalaus AEI naudojimo svarba ir pan. Sąvoka „saulės šiluminė energija“ iš esmės nusako saulės spinduliuotės pavertimą šilumine energija. Saulės šiluminės energijos konversijos atveju svarbu pasiekti maksimalų kolektoriaus efektyvumą. Straipsnyje analizuojama plokščiojo saulės kolektoriaus posvyrio kampo įtaka kolektoriaus šiluminei galiai ir efektyvumui. Tyrimams atlikti naudojamas Saulės kolektoriaus modulis. Natūrali saulės šviesa pakeičiama apšvietimo įrenginiu su 25 halogeninėmis lemputėmis, kurių išdėstymas ir padengimo kampas garantuoja homogenišką absorberio paviršiaus apšvietimą.

**Reikšminiai žodžiai:** kolektorius, apšvieta, šiluminė galia, absorberis, jutiklis, posvyrio kampas.

## Įvadas

Lietuvoje vidutinis metinis saulės energijos kiekis, krentantis į horizontalų 1 m<sup>2</sup> ploto paviršių, yra apie 1000 kWh/m<sup>2</sup>. „Horizontalaus paviršiaus spinduliuotės (radiacijos) balanso metinės reikšmės Lietuvoje kinta nuo 1600 iki 1900 MJ/m<sup>2</sup>. Iš viso per metus saulėtų valandų mažiausiai būna Vilniuje (1770 valandų), daugiausia – pajūryje ir Kuršių nerijoje (2000–2100 valandų). Saulėti yra gegužės–rugpjūčio mėnesiai (vidutiniškai po 260–300 valandų), o mažiausiai saulėtų valandų būna lapkritį–sausį (vidutiniškai po 30–42 valandas)“ (Lietuvos visuotinė enciklopedija, n. d.). „Saulės spinduliuotės sezoniskumas žemėje priklauso nuo žemės judėjimo aplink saulę. Žemė aplink saulę juda elipse ir apsisuka aplink ją per vienerius metus. Taip pat žemė per vieną dieną apsisuka aplink savo ašį. Žemės sukimosi ašis, lyginant su jos judėjimo plokštuma, pasvirusi 15 23,45 laipsniu kampu, o tai lemia skirtingą saulės padėtį, atsižvelgiant į metų sezoną, todėl vasarą saulę matome aukščiau nei žiemą“ (Kazickas, 2018).

Karšto vandens gamybai naudojami plokštieji ir vakuuminiai saulės kolektorai, kurių paskirtis – sugerti (absorbuoti) saulės spindulius ir sukauptą energiją perduoti energijos nešėjui. Plokštieji kolektorai daugiau energijos pagamina, kai saulės spinduliai krenta į juos tiesiogiai, statmenai, t. y. vasarą.

Saulės kolektorių efektyvumas priklauso nuo keleto aspektų:

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

2. Aplinkos oro temperatūros: kuo didesnis temperatūrų skirtumas tarp cirkuliuojančio šilumos nešėjo ir aplinkos oro, tuo mažesnis kolektoriaus efektyvumas.

Eksperimentiniame modulyje plokščiasis saulės kolektorius absorbuoja saulės spinduliuotės energiją, kurią

perduoda šilumos nešėjui – skysčiui (vandeniui). Siurblio varomas šilumą pernešantis vanduo cirkuliuoja saulės grandinėje. Siurblys pumpuoja šilumą nešantį skystį per akumuliacinę talpą, kurioje šiluma per šilumokaitį atiduodama talpoje esančiam vandeniui.

Sistemoje įrengti temperatūros, apšvietos ir srauto greičio jutikliai. Išmatuotos dydžių vertės perduodamos į kompiuterį per USB sąsają.

Eksperimentiniam tyrimui atlikti naudojamas *plokščiasis selektyvus saulės kolektorius*.

Pagrindiniai plokščiojo kolektoriaus elementai: absorberis, vamzdelis su tarpiniu šilumos nešėju – vandeniu, skaidrus dangtis, šilumos izoliacijos sluoksnis, korpusas.

Absorberijoje Saulės energija paverčiama *šilumine energija*.

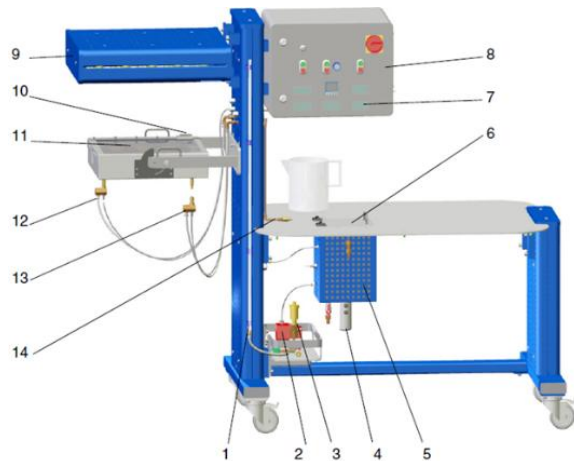
**Tyrimo tikslas** – ištirti sistemos darbą keičiant plokščiojo kolektoriaus posvyrio kampą tarp kolektoriaus paviršiaus ir spinduliuotės krypties, t. y. išsiaiškinti, kaip posvyrio kampas keičia kolektoriaus efektyvumą (šiluminį našumą).

**Tyrimo objektas** – selektyvus plokščiasis saulės kolektorius.

## Tyrimų įranga

Tyrimui atlikti naudojamas *Saulės kolektoriaus bazinis modulis* (1 paveikslas).

Šviesa iš apšvietimo bloko (9) krinta į plokščiąjį kolektorių (11). Plokščiojo kolektoriaus absorberio vamzdeliuose esantis šilumos nešėjas (vanduo) šyla. Siurbliu (2) šilumos nešėjas (karštas vanduo) tiekiamas į talpoje (5) (šilumokaityje) esantį spirale susuktą vamzdelį. Vanduo talpoje šyla, o šilumą perduodantis skystis atvėsta. Siurblys atvėsintą šilumos nešėją stumia atgal į plokščiąjį kolektorių, sukurdamas uždarą saulės kolektoriaus grandinę.



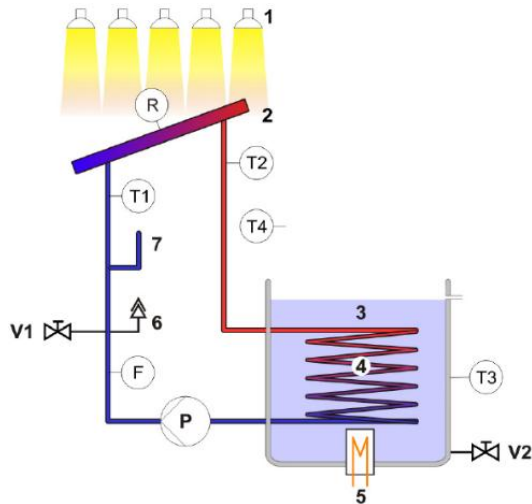
**1 pav.** Saulės kolektoriaus konstrukcija

1 – persipildymo vamzdelis; 2 – siurblys; 3 – nuorintuvas; 4 – vandens elektrinis šildytuvas; 5 – vandens talpa; 6 – vandens talpos dangtis; 7 – matuojamų dydžių ekranėliai; 8 – valdymo skydelis; 9 – apšvietimo blokas; 10 – apšvietos jutiklis; 11 – plokščiasis kolektorius; 12 – į kolektorių įtekantis vandens srautas; 13 – iš kolektoriaus ištekantis vandens srautas; 14 – keičiamas absorberis

Šaltinis: ET 202 Energy and Environment, GUNT Hamburg

Saulės kolektoriaus grandinėje yra nuorintuvas (3) ir persipildymo vamzdelis (1). Temperatūra matuojama jutikliais ( $T_1, T_2, T_3, T_4$ ) pasirinktuose taškuose. Kaitintuvas (4) gali būti naudojamas tam, kad sutrumpintų vandens šildymo laiką talpoje (pvz., atliekant matavimus esant aukštesnei temperatūrai).

Modulio schema. Temperatūra matuojama jutikliais ( $T_1, T_2, T_3, T_4$ ) visuose pasirinktuose taškuose (2 pav.).



**2 pav.** Modulio schema

1 – apšvietimo blokas; 2 – plokščiasis kolektorius; 3 – vandens talpa; 4 – šilumokaitis; 5 – vandens elektrinis šildytuvas; 6 – nuorintuvas; 7 – persipildymo vamzdelis; P – siurblys; V1 – vandens kontūro užpildymo sklendė; V2 – vandens talpos sklendė; R – apšvietos jutiklis; F – debito matuoklis; T1 – įtekančio į kolektorių vandens temperatūra; T2 – ištekančio iš kolektoriaus vandens temperatūra; T3 – vandens temperatūra talpoje; T4 – patalpos oro temperatūra.

Šaltinis: ET 202 Energy and Environment, GUNT Hamburg

Plokščiasis kolektorius (3 pav.) konvertuoja absorberio sugertą spinduliuotės energiją į šilumą. Šiluma perduodama

šilumos nešėjui (vandeniui), cirkuliuojančiam variniais vamzdeliais. Šis absorberis naudojamas nustatant kolektoriaus našumą esant skirtingoms spinduliuotėms.



**3 pav.** Absorberis su variniais vamzdeliais.

Šaltinis: ET 202 Energy and Environment, GUNT Hamburg

## 2. Pagrindinių parametrų matavimai

Eksperimentiniame modulyje yra įrengti apšvietos, temperatūros ir debito jutikliai.

### 2.1. Apšvietumo matavimas

Keičiant atstumą tarp apšvietimo įrenginio ir plokščiojo kolektoriaus, galima pasiekti skirtingo intensyvumo apšvietą. Atstumas gali būti keičiamas tvirtinant kolektoriaus rėmą trijose skirtingose pozicijose: tolimiausioje, centro ir artimiausioje. Centrinė pozicija tinkamiausia atlikti šį eksperimentą (4 pav.).

**1 lentelė.** Plokščiojo kolektoriaus apšvietos vertės esant skirtingiems atstumams iki apšvietimo bloko

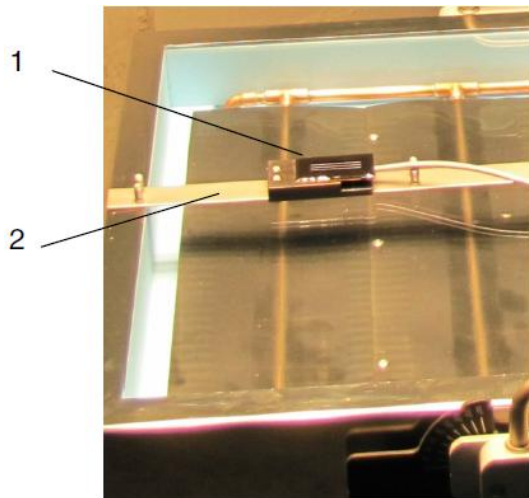
Padėtis	Vidutinė apšvieta, $kW/m^2$	Atstumas, mm
Tolimiausia	0,8	862
Centre	1,4	532
Artimiausia	2,8	279

Šaltinis: Sudarytas autorių

Natūrali saulės šviesa pakeičiama apšvietimo įrenginio su 25 halogeninėmis lempučių šviesa. Halogeninių lempučių išdėstymas ir padengimo kampas garantuoja homogenišką absorberio paviršiaus apšvietimą.

Eksperimentui atlikti naudojamas ne natūralus saulės, o dirbtinis apšvietimas, todėl įvertinta apšvietos dispersijos priklausomybė nuo vietos.

Prieš eksperimentą išmatuojama apšvieta pamatiniu saulės elementu skirtingose vietose ant kolektoriaus paviršiaus. Tam naudojamas saulės elemento laikiklis.



**4 pav.** Apšviestumo jutiklio vieta  
1 – apšviestumo jutiklis; 2 – jutiklio laikiklis.

Šaltinis: ET 202 Energy and Environment, GUNT Hamburg

Apšviestumo jutiklis naudojamas nuolatinio kolektoriaus apšviestumui matuoti. Laikikliu jutiklį galima perkelti į bet kurį kolektoriaus paviršiaus tašką. Apšviestumo jutiklis yra žinomo jautrumo kalibruotas saulės elementas. Apšviestumas paverčiamas įtampos signalu, kurio vertė rodoma valdymo skydelio indikatoriuje.

Prieš atliekant eksperimentą saulės elementas turi būti dedamas ant plokščiojo kolektoriaus krašto taip, kad matuojama apšvieta atitiktų apskaičiuotą vidutinę vertę.

Parametrų vertės rodomos skaitmeniniame indikatoriuje, esančiame valdymo skydelyje (5 pav.).

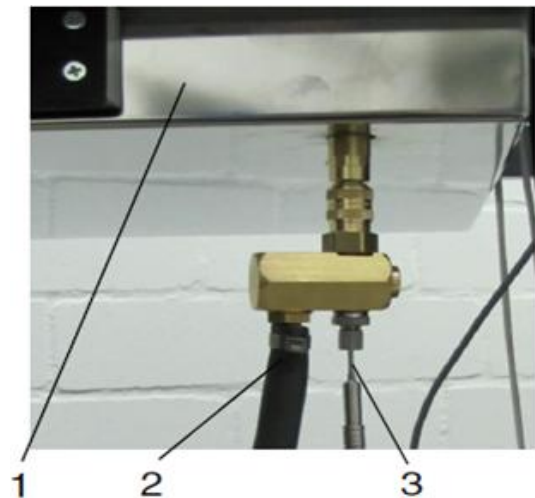


**5 pav.** Valdymo skydelis saulės kolektoriaus modulyje.

Šaltinis: ET 202 Energy and Environment, GUNT Hamburg

## 2.2. Temperatūros matavimas

Tiekiamo vandens į kolektorių temperatūros T1 matavimas (6 pav.).



**6 pav.** Temperatūros matavimas

1 – kolektorius; 2 – jungtis žarnai; 3 – temperatūros jutiklis T1.

Šaltinis: ET 202 Energy and Environment, GUNT Hamburg

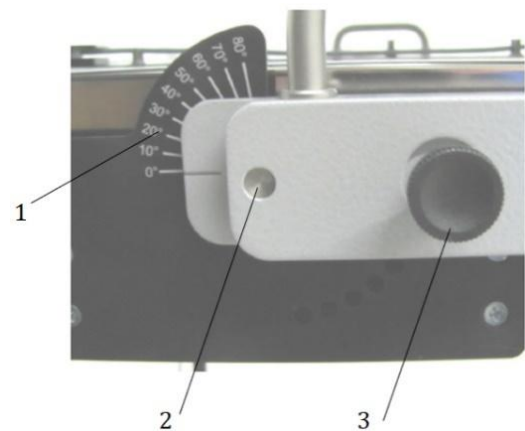
## 3. Eksperimento eiga

Saulės šiluminės energijos modulis yra valdomas ir kontroliuojamas interaktyvia programine įranga. Matuojamų dydžių reikšmės pateikiamos realiu laiku *sistemos, šilumnešio ir vandens talpos parametrų* diagramose.

Eksperimento metu užtikrinama pastovi vandens temperatūra talpoje, todėl vanduo tiekiamas iš vandentiekio: talpos turinys gali būti nuolatos keičiamas šaltu vandentiekio vandeniu per įleidimo ir išleidimo įvadus. Stendas prijungiamas prie vandens tiekimo čiaupo ir дренаžo. Vandens temperatūra matuojama temperatūros jutikliais T1 (tiekiamo į kolektorių) ir T2 (išeinančio iš kolektoriaus). Debitas nustatomas ties 10,0 l/h ir eksperimento metu nekeičiamas.

Eksperimentas pradamas nuo posvyrio kampo 60° mažinant iki 0° kas 10°.

Kolektoriaus posvyrio kampas nustatomas pagal kampų skalę (7 pav.).

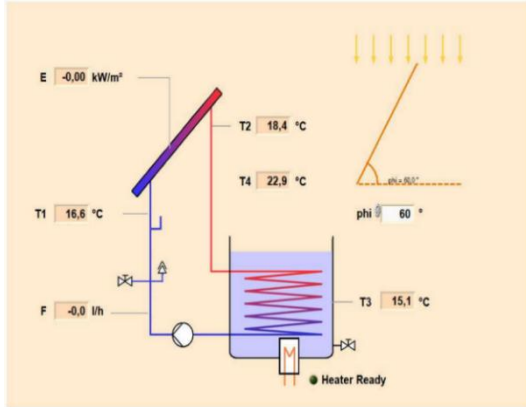


**7 pav.** Kolektoriaus kampo nustatymas

1 – kampų skalė; 2 – ašis; 3 – fiksavimo mechanizmas.

Šaltinis: ET 202 Energy and Environment, GUNT Hamburg

Pakeitus kolektoriaus posvyrio kampą, laukiama, kol grįžtančio vandens temperatūra daugiau nebesikeičia.



8 pav. Parametrų matavimo reikšmės keičiant posvyrio kampus nuo 60° iki 0°

Šaltinis: ET 202 Energy and Environment, GUNT Hamburg

Programine įranga atliekama gautų dydžių registracija (2 lentelė).

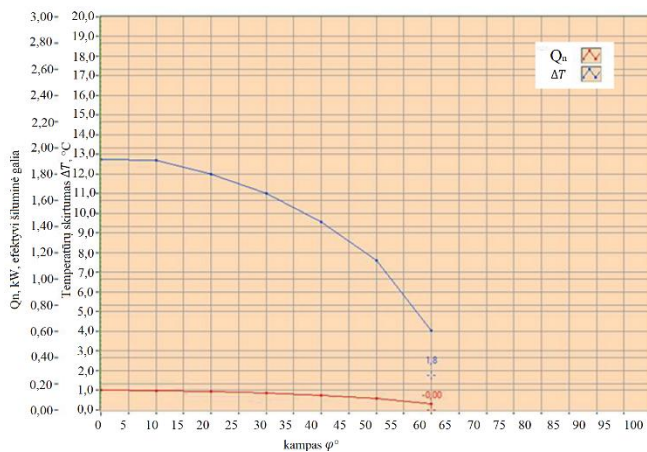
2 lentelė. Matuojamų parametrų dydžiai

T1, °C	T2, °C	T3, °C	T4, °C	F, l/h	E, kW/m²	φ, °C	Qn, kW	A, m²	ΔT, °C	ρ, kg/m³	cp, kJ/kgK
17,48	30,208	15,853	22,542	10,2	1,44	0	0,15	0,109	12,728	997,293	4,183
17,529	30,257	15,853	22,526	10,2	1,457	0	0,15	0,109	12,728	997,281	4,183
16,911	29,606	15,283	22,575	10,192	1,353	10	0,15	0,109	12,695	997,435	4,183
16,65	28,646	15,251	22,559	10,168	1,286	20	0,141	0,109	11,995	997,579	4,183
16,618	27,637	15,153	22,624	10,184	1,202	30	0,13	0,109	11,019	997,699	4,184
16,618	26,204	15,039	22,754	10,184	1,063	40	0,113	0,109	9,587	997,86	4,184
16,471	24,089	14,876	22,754	10,2	0,822	50	0,09	0,109	7,617	998,103	4,185
16,471	20,492	14,665	22,835	10,184	0,331	60	0,048	0,109	4,02	998,461	4,186

Šaltinis: sudaryta autorių

Šiluminio našumo priklausomybė nuo kolektoriaus posvyrio kampo aprašoma kosinuso dėsnio [6]:

$$Q_n(\varphi) = Q_n(0) \times \cos\varphi$$



9 pav. Šiluminio našumo ir temperatūrų skirtumo priklausomybė nuo kolektoriaus posvyrio kampo

$Q_n$  – kolektoriaus šiluminė galia (našumas);  $\Delta T$  – temperatūrų skirtumas tarp ištekancio vandens iš kolektoriaus T2 ir tiekiamo vandens į kolektorių T1.

Šaltinis: sudaryta autorių

Analizuojant eksperimento metu gautas kreives (9 paveikslas) galima daryti išvadą: mažėjant posvyrio kampui  $\varphi$  nuo 0° iki 60° tarp kolektoriaus paviršiaus ir spinduliuotės krypties (stacionaraus apšvietimo bloko), šiluminis našumas  $Q_n$  (kolektoriaus efektyvumas) mažėja.

Įvertinus eksperimento metu gautus rezultatus, apskaičiuojamas plokščiojo kolektoriaus teorinis šiluminis našumas (3 lentelė).

3 lentelė. Kolektoriaus posvyrio kampas, išmatuotas šiluminis našumas, teorinis šiluminis našumas.

Posvyrio kampas $\varphi^\circ$	Išmatuotas šiluminis našumas $Q_n, kW$	Teorinis šiluminis našumas, $Q_n(\varphi), kW$
0	0,150	0,150
10	0,150	0,148
20	0,141	0,133
30	0,130	0,113
40	0,113	0,087
50	0,019	0,012
60	0,048	0,024

Šaltinis: Sudarytas autorių

Įrengiant saulės kolektorius pastatuose, atsinaujinantis energijos šaltinis – saulė – juda savo trajektorija, o kolektoriaus posvyrio kampas yra pastovus.

Eksperimentiniame modulyje apšvietimo blokas (saulės imitacija) yra stacionarus, o selektyvaus plokščiojo kolektoriaus posvyrio kampas keičiamas.

## Išvados

1. Matavimo rezultatų analizė rodo kolektoriaus paviršiaus projekcijos kosinuso priklausomybę nuo spinduliuotės kritimo kampo.
2. Didėjant posvyrio kampui (9 pav.) tarp kolektoriaus ir į jį krentančios spinduliuotės mažėja plokščiojo kolektoriaus šiluminis našumas (efektyvumas).
3. Didėjant kolektoriaus posvyrio kampui mažėja temperatūrų skirtumas tarp ištekancio vandens iš kolektoriaus (pašildyto vandens) ir įtekancio į kolektorių (šildomo) vandens, t. y. didėjant posvyrio kampui tarp kolektoriaus ir spinduliuotės šildomo vandens temperatūra mažėja.

## Literatūra

Da Rosa, A.V. (2013). *Fundamentals of Renewable Energy Processes* (2013). Oxford: Academic.

Boyle, G., Everett, B., Scurlock, J., Ramage, J., Elliot, D. (2017). *Renewable Energy. Power for a Sustainable Future*. 24-35. ISBN 978 019 9545339.

Lietuvos visuotinė enciklopedija. Prieiga per internetą: <<https://www.vle.lt/straipsnis/lietuvos-klimatas/>>

Kazickas, V. (2018). *Saulės spindulių kritimo kampo į fotoelektrinį modulį įtakos našumui valdymo galimybių tyrimas*. Baigiamasis magistro projektas. KTU.

Twidell, J., Weir, T. (2017). *Atsinaujinantys energijos ištekliai*. 38-55. Vilnius: Technika. ISBN 978-609-457-897-

ET 202 Energy and Environment. Gunt, Hamburg. Saulės šiluminės energijos pagrindai. Eksperimentų pavyzdžiai. 13.

**THE EFFECT OF THE INCLINATION ANGLE OF A  
FLAT SOLAR COLLECTOR ON ITS THERMAL  
POWER AND EFFICIENCY**

**Virginija Urbonienė, Povilas Milius**

*Vilniaus kolegija/Higher Education Institution*

**Abstract.** The utilization of renewable sources for energy production helps reduce the emission of pollutants into the atmosphere, thereby contributing to mitigating climate change. Climate change encourages global society to take action to change habits of the use of energy and energy resources. "Solar energy can meet a significant portion of a building's electricity and heat demand

by using solar thermal collectors and solar photovoltaic devices (with heat pumps) or by combining both technologies, including hybrid photovoltaic and thermal technologies," as stated in the European Commission Communication on the EU Solar Energy Strategy. Brussels, 2022-05-18, COM (2022) 221 final. Efficient energy consumption in a building is the result of the implementation of various measures: advanced energy-saving technologies, possibilities for using renewable energy sources (RES) in buildings, benefits of rational RES utilization, etc. The concept of "solar thermal energy" essentially describes the conversion of solar radiation into thermal energy. In the case of solar thermal energy conversion, it is important to achieve maximum collector efficiency. The article analyses the impact of the inclination angle of a flat solar collector on the collector's thermal power and efficiency. The Solar Collector Module is used for the research. Natural sunlight is replaced by a lighting device with 25 halogen bulbs, the arrangement, and coverage angle of which guarantee uniform illumination of the absorber surface.

**Keywords:** collector, illumination, thermal power, absorber, sensor, inclination angle.

# KIBERNETINIO SAUGUMO SITUACIJOS LIETUVOJE GRĖSMIŲ ANALIZĖ EUROPOS SAJUNGOS KONTEKSTE

Irma Šileikienė, Ana Usovaitė

*Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58-1, Vilnius*

**Anotacija.** Informacinių technologijų tobulėjimas ir skverbimasis į visas žmonių veiklos sritis lemia ir grėsmių kibernetinėje erdvėje augimą. Šiame straipsnyje analizuojama kibernetinio saugumo situacija Europos Sąjungoje ir Lietuvoje, nagrinėjant 2022–2023 m. įvykusių kibernetinių atakų statistikos duomenis pagal kibernetinių atakų tipus, kibernetinę ataką patyrusius veiklos sektorius. Statistikos duomenų analizė parodė, kad nagrinėjamu laikotarpiu tiek Lietuvoje, tiek ES kibernetinių atakų tipai ir kibernetines atakas patyrę sektoriai labai panašūs. Tyrimo metu aptartas kibernetinių atakų poveikis atakas patyrusioms organizacijoms ir suformuluotos išsamios rekomendacijos kibernetinių atakų prevencijai bei organizacijų ar visuomenės narių kibernetiniam atsparumui didinti. Apibendrinus tyrimo rezultatus atkreiptinas dėmesys, kad kibernetinės atakos yra labai dinamiškos ir jas organizuojančios grupuotės bei individai nuolatos ieško naujų atakų scenarijų ar galimybių, todėl ir kibernetinių atakų rekomendacijos prevencijai bei technologijos turi būti nuolatos iš esmės atnaujinamos.

**Reikšminiai žodžiai:** kibernetinis saugumas, kibernetinės atakos, kibernetiniai incidentai, TIS2, kibernetinis atsparumas.

## Įvadas

Šiuolaikinėje visuomenėje interneto technologijų ir įrenginių naudojimas tapo neatsiejama gyvenimo dalimi. Skaitmeninių technologijų tobulėjimas skatina vis daugiau žmonių pasirinkti ne tradicines, o interneto paslaugas. Technologijos, ypač interneto paslaugos, leidžia greitai ir efektyviai pasiekti norimą tikslą, gauti prekę ar paslaugą neišeinant iš namų. Neabejotinai auga ne tik naudojamų technologijų skaičius, bet ir informacijos, kurią asmuo pateikia internete, kiekis. Norint naudotis paslaugomis būtina pateikti savo asmeninę informaciją nuo vardo ir elektroninio pašto iki konfidencialios informacijos, tokios kaip asmens kodas ar banko sąskaitos numeris. Kartu su šiomis naujovėmis kyla ir didesnis kibernetinių grėsmių pavojus. „Informacijos saugumas ir kibernetinis saugumas yra svarbūs iššūkiai šiuolaikiniame skaitmeniniame amžiuje“ (Fujs ir kiti, 2023), tai ypač svarbu kalbant apie technologijas, kai vartotojas yra verčiamas pateikti daug asmeninės informacijos.

Tobulėjant technologijoms atsiranda ir daugiau būdų pažeisti informacines sistemas. Kibernetinės atakos tampa vis įvairesnės, o tobulėjant sistemų apsaugai randama būdų jas pažeisti. Lietuvos nacionalinio kibernetinio saugumo būklės ataskaitoje (2023) teigiama, kad „2023 m. Lietuvoje fiksuota gerėjanti kibernetinio saugumo situacija įvairiose srityse. <...> Nacionalinis kibernetinio saugumo centras 2023 m. fiksavo beveik trečdaliu mažesnę registruotų incidentų skaičių nei 2022 m. Tačiau vis tik matome ir nerimą keliančių ženklų: didėja vidutinio rimtumo incidentų skaičius (12 proc. prieaugis, palyginti su 2022 m.), o dėl kibernetinių incidentų įvykę asmens duomenų saugumo pažeidimai paveikė didelę dalį (net 49 proc.) subjektų. Vadinas, atakos tampa subtilesnės ir efektyvesnės.“ Todėl informacijos saugumas ir yra „vienas iš pagrindinių aspektų, į kuriuos reikia atsižvelgti siekiant užtikrinti patikimas informacines sistemas“ (Fujs ir kiti, 2023). O kuriant ir tobulinant informacines sistemas būtina kelti ne tik funkcionalumo, bet ir informacinių sistemų bei informacijos

saugumo reikalavimus, didinti visuomenės narių kibernetinį atsparumą.

Šio tyrimo objektas yra Lietuvos kibernetinio saugumo būklė, nusikalstamų veikų kibernetinėje erdvėje poveikio vertinimas.

Tyrimo tikslas – suformuluoti rekomendacijas kibernetiniam atsparumui didinti, atsižvelgiant į kibernetinio saugumo situaciją Lietuvoje.

Tikslui pasiekti iškelti tokie uždaviniai:

- 1) išanalizuoti Lietuvos kibernetinio saugumo būklę Europos Sąjungos kontekste,
- 2) įvertinti aktualias grėsmes, pokyčių tendencijas, numatomas perspektyvas;
- 3) suformuluoti rekomendacijas kibernetiniam atsparumui didinti.

Tyrimui atlikti naudojama mokslinės ir techninės literatūros analizė ir informacijos sisteminimas.

Laukiamas tyrimo rezultatas – pateiktos kibernetinio atsparumo didinimo rekomendacijos visuomenės nariams.

## 1. Kibernetinių grėsmių apžvalga

Kibernetinės atakos yra labai įvairios, jų tikslai, metodai ir poveikis tiesiogiai priklauso nuo tipo. Dažniausiai užpuolikas siekia „<...> sutrikdyti, sugadinti, pavogti arba gauti neteisėtą prieigą prie kompiuterinės sistemos ar tinklo“ siekdamas gauti ar sugadinti duomenis (Li ir kiti, 2023). Kai kurių atakų tikslas yra finansinė nauda, siekiant atskleisti banko sąskaitų duomenis ar prisijungimo informaciją. Kitos kibernetinės atakos gali būti vykdomos geopolitiniais ar strateginiais tikslais, tačiau bet koku atveju kibernetinės atakos vykdomos ieškant žmogiškosios arba techninės klaidos.

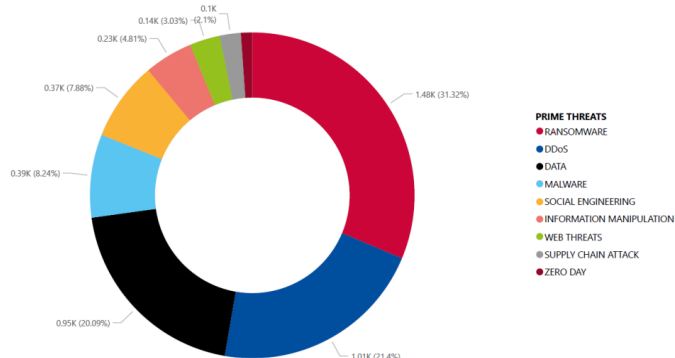
ENISA (2023), Europos Sąjungos kibernetinio saugumo agentūra (angl. *European Union Agency for Cybersecurity*) kasmet pateikia metinę kibernetinių grėsmių ataskaitą. 2023 metais išleistoje ataskaitoje nagrinėjamos didžiausios kibernetinės grėsmės nuo 2022 m. balandžio iki 2023 m. liepos

mėnesio, pateikti dažniausi kibernetinių atakų tipai ir metodai (1 pav.).



1 pav. Svarbiausios kibernetinės atakos 2022–2023 m.  
Šaltinis: ENISA, 2023

Analizuojant pagal Europos Sąjungoje įvykusių incidentų kieki ir atakų tipus (ENISA, 2023) nuo 2022 m. liepos iki 2023 m. birželio mėnesio (2 pav.) daugiausia atakų (net 31,32%) sudarė išpirkos reikalaujančios atakos (angl. *Ransomware*), 21,4% – DDoS atakos, 20,09% – atakos, susijusios su duomenų nutekiniu, praradimu, 8,24% – kenkėjiškų programų, skirtų pavogti duomenis (angl. *Malware*), atakos 7,88% – socialinės inžinerijos atakos ir t. t.



2 pav. Kibernetinių saugumo incidentų skaičiaus pasiskirstymas pagal atakų tipus  
Šaltinis: ENISA, 2023

Lietuvoje veikiančių organizacijų patiriamos kibernetinės atakos atitinka Europinį pasiskirstymą. Didžiausią žalą pagal kibernetinių atakų tipus ir metodus, NKSC duomenimis, 2023 m. darė elektroninius duomenis užšifruojančių ir išpirkos reikalaujančių kenkimo programinio kodo virusai, DDoS atakos, tiekimo grandinės atakos, socialinės inžinerijos principais sukurtos atakos, kuriomis siekiama išvilioti privačius duomenis (KAM, 2023).

Išanalizavus ES kibernetinių incidentų duomenis (ENISA, 2023) pagal organizacijų, patyrusių incidentus, veiklos sektorius, galima teigti, kad 19% atakų patyrė viešojo

administravimo bei 8% sveikatos apsaugos organizacijų. Pastebėta nauja tendencija, jog kibernetinės atakos taikiniai (net 11%) tampa konkretūs fiziniai ar juridiniai asmenys, nepriskirti konkrečiam sektoriui, tokie kaip politinės organizacijos, žinomi politikos, verslo veikėjai ir pan. 7% incidentų įvyko IT infrastruktūros ir 6% skaitmeninių paslaugų tiekimo sektoriuose. Šie duomenys neramina labiausiai, nes tai sektoriai, kurių veikla tiesiogiai sietina su IT ir juose dirba daugiausia IT specialistų, tai IT infrastruktūra bei paslaugos, kurios teikiamos kitiems sektoriams.

Lietuvoje kibernetinių incidentų situacija pagal sektorius taip pat grėsminga. KAM (2023) Nacionalinės kibernetinio saugumo būklės ataskaitoje užfiksuota, kad 2023 m. užregistruoti 2378 kibernetiniai incidentai, iš kurių net 31,03% incidentų įvyko prieglobos paslaugų organizacijose, 12,61% incidentų patyrė interneto paslaugas teikiančios organizacijos ir net 18,33% incidentų įvyko viešojo administravimo paslaugų sektoriuje. Iš šių statistikos duomenų aiškiai matomi kibernetinių atakų tiksliniai sektoriai, tačiau negali būti daroma išvada, kad kiti sektoriai kibernetinių atakų organizatorių nedomina ir gali jaustis saugiai.

Be to, dirbtinio intelekto technologijų tobulėjimas kelia grėsmę, kad šios technologijos gali būti naudojamos kibernetinėms atakoms vykdyti. Nobles (2024) straipsnyje apžvelgia mokslinius veikalus, nagrinėjančius dirbtinio intelekto ir mašininio mokymosi algoritmų panaudojimo galimybes įvairaus tipo kibernetinėms atakoms vykdyti. Taip pat nagrinėjami moksliniai darbai, tiriantys dirbtinio intelekto algoritmų panaudojimą kibernetinėms atakoms aptikti, tirti, užkardyti ir t. t. Nobles (2024) straipsnyje analizuojami ir dirbtinio intelekto bei mašininio mokymosi algoritmų tyrimai kibernetinio saugumo požiūriu. Dirbtinis intelektas plačiau prasme ir kibernetinis saugumas – tai nauja mokslinių tyrimų kryptis, kurios išsamių tyrimų rezultatų dar laukiama.

## 2. Kibernetinių atakų poveikio vertinimas

Kibernetinės atakos pasekmės yra pakankamai skaudžios.

Tobulėjant technologijoms ir kibernetinių nusikaltėlių išradingumui, kibernetinių atakų pasekmės sukelia saugumo, teisinių problemų, didžiulių finansinių nuostolių, padaro žalą reputacijai ir t. t. Nors duomenų saugumui skiriama daug dėmesio, kibernetiniai nusikaltėliai suranda naujų būdų, kaip apeiti apsaugą, kad gautų prieigą prie norimų duomenų (Abdelkader ir kt., 2024).

Kibernetiniai nusikaltėliai pasitelkia tokius metodus, kaip duomenų vagystė (angl. *Phishing*), kad gautų finansinę informaciją apie asmenis, arba tiesiogiai naudoja ar išpirkos programas, kad pasisavintų pinigų. Tokių kibernetinių atakų aukos dažniausiai susiduria su „išuštintomis banko sąskaitomis, neteisėtais pirkiniais ar net visiškai tapatybės vagyste, dėl ko aukoms kyla finansinių sunkumų ir sunku pasiekti finansinį stabilumą“ (Abdelkader ir kt., 2024).

Kibernetinė ataka taip pat gali išeikvoti labai didelį kiekį organizacijos išteklių, dėl ko padidės verslo išlaidos. „2022 m. vidutinė duomenų pažeidimo kaina pasaulyje siekė 4,35 mln.

USD, o JAV šis skaičius yra daugiau nei dvigubai didesnis ir vidutiniškai siekia 9,44 mln.“ (Huang ir kt., 2023). Šios išlaidos gali apimti viską nuo išpirkos mokėjimo iki problemų ištaisymo, duomenų atgavimo, teisinių mokesčių ir t. t. Tokie finansiniai nuostoliai didelėms įmonėms dažnai nesukelia daug problemų, bet mažesnėms įmonėms gali reikšti įmonės bankrotą. (Huang ir kt., 2023).

Kibernetinė ataka taip pat gali turėti įtakos ir organizacijos ar bendrovės akcijų kainoms bei vertinimui (Abdelkader ir kt., 2024), t. y. kibernetinę ataką patyrusios įmonės akcijų vertė paprastai nukrenta, o akcininkai patiria didelių finansinių nuostolių.

Kibernetinė ataka gali pakenkti įmonės reputacijai, kas pražūtinga verslui. Abdelkader ir kt. (2024) straipsnyje apie kibernetinių atakų pasekmes teigiama, kad net trečdalis klientų prekybos, finansų ir sveikatos priežiūros srityse atsisako organizacijų, patyrusių kibernetinę ataką, paslaugų, todėl vartotojai dažniausiai renkasi tik patikimas įmones. Bloga reputacija gali paskatinti atsisakyti tokios įmonės paslaugų, o nepriekaištingos reputacijos atkūrimas ir klientų susigrąžinimas gali būti labai ilga ir sunki kova.

Kitas svarbus poveikis yra organizacijos produktyvumo sutrikdymas. Įmonė, patyrusi išpirkos programos (angl. *Ransomware*) arba DDoS ataką, gali būti užblokuotos, kad nepasiektų svarbiausių sistemų ar programų. Funkcijų, kad galėtų teikti paslaugą ar dirbti, praradimas gali „turėti įtakos įmonės produktyvumui bei sutrikdyti kasdienę veiklą“ (Huang ir kt., 2023). Tokios pasekmės gali lemti prarastas galimybes ar net didelius finansinius nuostolius. Patyrusiai kibernetinę ataką įmonei galimai reikia laiko, kol bus sutvarkytos problemos, atkurta sistema ar duomenys.

Vienas iš pavyzdžių yra 2021 m. gegužės mėnesį įvykusi kibernetinė ataka prieš įmonę „Colonial Pipeline“, kai buvo reikalauta išpirkos. Nors buvo pažeista tik dalis įmonės kompiuterių sistemos (susijusi su atsiskaitymo ir sąskaitų infrastruktūra), įmonė turėjo išjungti visą sistemą, kad sumažintų žalą ir sutvarkytų problemą (CEI, 2023). Nors tai vienas iš ekstremalių pavyzdžių, beveik kiekviena kibernetinę ataką patyrusi įmonė turi sustabdyti dalį operacijų ar net visos sistemos veiklą tam tikrą laiką, kol problema bus išspręsta.

Įmonė, kuri tvarko asmens (klientų, darbuotojų ir t. t.) duomenis, Europos Sąjungoje privalo laikytis Bendrojo duomenų apsaugos reglamento (BDAR). BDAR numatyta, kad įmonės atsakytų už visų asmens, tarp jų klientų ir darbuotojų, duomenų saugumą. Todėl „jei šie duomenys netyčia ar tyčia yra pažeidžiami, o įmonė neįdiegė reikiamų saugumo priemonių, jai gali grėsti baudos ir teisinės sankcijos“ (BDAR, 2018). Patyrusi kibernetinę ataką įmonė turi įrodyti, kad ėmėsi visų būtinų veiksmų asmens duomenims apsaugoti. Asmenys, kurių duomenys buvo paviešinti ar kitaip paveikti, gali kreiptis į teismą ir reikalauti kompensacijos.

Lietuvoje žinomas asmens duomenų nutekimo atvejis *CityBee* platformoje jau išnagrinėtas teisme ir yra priimtas bei įsigaliojęs teismo sprendimas, kuriuo *CityBee* įmonei paskirta atlyginti neturtinę žalą 103 800 Eur ir turtinę žalą daliai vartotojų

(Teismų pranešimai spaudai, 2024). Tai įmonei gali sukelti daug teisinių problemų, finansinių nuostolių, paveikti reputaciją ir t. t.

### 3. Kibernetinių atakų prevencija ir kibernetinio atsparumo stiprinimas

Europos Sąjungos Parlamentas ir Taryba, suvokdami atsakomybę užtikrinti Europos Sąjungoje aukštą bendrą kibernetinio saugumo lygį, 2022 m. gruodžio 14 d. priėmė atnaujintą TIS2 direktyvą (Tinklų ir informacinių sistemų direktyva, TIS2), kuri turi būti perkelta į nacionalinės teisės aktus ir pradėta įgyvendinti nuo 2024 m. spalio 18 d. TIS2 direktyva (2022) į Lietuvos teisinę sistemą perkelta parengiant Lietuvos Respublikos kibernetinio saugumo įstatymo Nr. XII-1428 pakeitimą, priimtą 2024-07-11.

TIS2 direktyva (2022) buvo priimta siekiant spręsti kai kuriuos trūkumus ir iššūkius, su kuriais susiduria valstybės narės, norėdamos apsaugoti kritinę infrastruktūrą ir svarbius tinklus nuo kibernetinių atakų.

Kritiniai sektoriai apima energetiką, transportą, vandentiekį ir nuotekų šalinimą, sveikatos apsaugą, finansų paslaugas, viešojo administravimo paslaugas ir skaitmeninę infrastruktūrą. Šie sektoriai yra gyvybiškai svarbūs visuomenės veiklai ir ekonominiam stabilumui, todėl jiems taikomi aukščiausi saugumo reikalavimai. (TIS2 direktyva, 2022)

Svarbūs sektoriai apima kurjerių paslaugas, atliekų tvarkymą, chemijos pramonę, maisto produktų gamybą, gamybą, kosmoso tyrinėjimą, mokslinę veiklą, skaitmeninių paslaugų tiekimą. Šiems sektoriams taip pat keliami aukšti saugumo standartai, tačiau šie sektoriai nėra kritiniai (TIS2 direktyva, 2022).

Įmonės turėtų ne tik reaguoti į incidentus, bet ir aktyviai imtis priemonių, kad išvengtų potencialių grėsmių. TIS2 direktyva (2022) skatina dalytis informacija ir geriausia praktika, kad būtų užtikrinti visų ES šalių koordinuoti veiksmai į kibernetines grėsmes. Taip pat yra numatytos finansinės baudos įmonėms, kurios nepaisys reikalavimų. Planuojama steigti nacionalines kibernetinio saugumo agentūras, kurios teiktų techninę pagalbą ir konsultacijas.

Atnaujinta TIS2 direktyva siekiama sustiprinti ES gebėjimą atsispirti ir reaguoti į kibernetines grėsmes, taip pat užtikrinti, kad visos valstybės narės imtųsi atitinkamų saugumo priemonių ir užkirstų kelią incidentams ir sumažintų pasekmes, jei jie įvyksta.

Tai svarbu ne tik dėl saugumo, bet ir dėl ekonomikos stabilumo bei piliečių pasitikėjimo skaitmeninėmis paslaugomis, kurios yra vis labiau integruotos į mūsų kasdienį gyvenimą. TIS2 direktyva perteikia ES požiūrį, kad tik bendromis pastangomis galima pasiekti efektyvų ir ilgalaikį kibernetinį saugumą. (TIS2 direktyva, 2022)

Saugumo rizikų valdymas, pasak TIS2 direktyvos, yra kompleksinis ir nuolatinis procesas, kuris leidžia organizacijoms identifikuoti, vertinti ir efektyviai mažinti saugumo rizikas. Procesą galima suskirstyti į šešis pagrindinius etapus (Schmitz-Berndt, 2023):



- 1) Rizikų identifikavimas. Procesas prasideda nuo kruopščių pažeidžiamumų, grėsmių ir galimų neigiamų pasekmių identifikavimo. Šiuo etapu svarbu atsižvelgti į skirtingus grėsmių šaltinius, tarp jų išorines kibernetines atakas, vidinius veiksmus, pavyzdžiui, žmogišką klaidą ar fizinę saugumo spragą.
- 2) Rizikų vertinimas. Rizikų vertinimo procesas apima rizikos lygio nustatymą vadovaujantis dviem pagrindiniais kriterijais: tikimybe, kad pažeidžiamumas bus išnaudotas, ir potencialios žalos, kuri gali atsirasti, mastu. Vertinimas padeda išdėstyti rizikas pagal svarbą ir nustatyti, kurios iš jų reikalauja nedelsiant imtis veiksmų ir kokių.
- 3) Rizikų mažinimas ir prevencija. Šiuo etapu dėmesys skiriamas konkrečioms priemonėms ir strategijoms, kurios gali sumažinti arba pašalinti identifiкуotas rizikas. Tai apima technines saugumo priemones, pavyzdžiui, duomenų šifravimą ir tinklo saugumo technologijas, taip pat organizacines priemones, tokias kaip darbuotojų mokymai ir saugumo politikos įgyvendinimas.
- 4) Incidentų aptikimas ir reagavimas. Efektyvus incidentų aptikimas ir greitas reagavimas yra būtinas, norint sumažinti bet kokio saugumo pažeidimo poveikį. Įmonės privalo turėti išplėtotas sistemas ir procedūras, leidžiančias greitai nustatyti ir reaguoti į saugumo incidentus, mažinti jų poveikį ir apimtį.
- 5) Atkūrimas po incidentų. Po incidento svarbu ne tik atkurti paveiktas sistemas ir duomenis, bet ir imtis veiksmų reputacijai ir klientų pasitikėjimui atkurti. Tai reiškia, kad atkūrimo planai turėtų apimti tiek techninius sprendimus, tiek viešųjų ryšių strategijas.
- 6) Nuolatinis vertinimas ir tobulinimas. Saugumo rizikų valdymas yra dinamiškas procesas, reikalaujantis nuolatinės peržiūros ir adaptacijos prie naujų grėsmių bei technologijų pokyčių. Organizacijoms reikia reguliariai atnaujinti rizikų vertinimus, saugumo procedūras ir atsako planus, kad jų saugumo priemonės būtų veiksmingos ir atitiktų dabartinius saugumo iššūkius.

Organizacijos turėtų nuolat atlikti rizikos vertinimus, kad nustatytų ir įvertintų potencialias kibernetines grėsmes bei pažeidžiamumą. Tai apima tikslingos saugumo politikos kūrimą ir įgyvendinimą, atsižvelgiant į nustatytas rizikas. Turėtų būti sukurti aiškūs incidentų valdymo planai, kurie apibrėžtų, kaip įmonės reaguotų į kibernetinio saugumo incidentus: incidentų atpažinimą, reagavimą, atsigavimą ir peržiūrą po incidento, siekiant užkirsti kelią panašioms incidentams. Bendradarbiavimas ir informacijos apie grėsmes dalijimasis su kitomis organizacijomis ir valstybinėmis institucijomis gali padėti identifikuoti naujas grėsmes ir greičiau reaguoti į incidentus (Gruber & Segur-Cabanac, 2021). Tai apima dalyvavimą nacionalinėse ir tarptautinėse kibernetinio saugumo iniciatyvose, nuolatinį darbuotojų mokymą ir sąmoningumo kampanijų apie kibernetinio saugumo grėsmes ir geriausias praktikas organizavimą. Darbuotojų sąmoningumo didinimas yra gyvybiškai svarbus, kad būtų užkirstas kelias netyčinėms saugumo spragoms. Įdiegti ir nuolat atnaujinti saugumo technologijas, tokias kaip ugniasienės, antivirusinės programos,

atsarginių kopijų nuolatinis kūrimas ir nuotolinis jų saugojimas, įsibrovimų aptikimo ir prevencijos sistemos, taip pat įgyvendinti šifravimą ir dviejų veiksnių autentifikaciją, kad apsaugotų sistemas ir duomenis.

Vienas lengviausių būdų kibernetiniams nusikaltėliams gauti konfidencialią informaciją ar įsilaužti į sistemą yra vartotojai ar darbuotojai, todėl darbuotojų švietimas yra vienas iš efektyviausių būdų užtikrinti, kad duomenys ir sistemos būtų saugūs. Dėmesingumas prieš spaudžiant pateiktas nuorodas, patikrinant elektroninio pašto adresą ir įsitikinant saugumu sumažėja tikimybė, kad kibernetiniai nusikaltėliai gaus konfidencialią informaciją ar sukels kibernetinę ataką.

Dar vienas būdas, kaip apsisaugoti nuo kibernetinių atakų, yra technologijų, skirtų informacijos apsaugai, naudojimas. Tai gali būti ugniasienė (angl. *Firewall*), kuri padės apsiginti nuo kibernetinės atakos ir blokuos bet kokias įsilaužimo (angl. *Brute Force*) atakas tinkle, kad jos nepadarėtų jokios žalos. Ugniasienės yra ypač naudingos norint apsisaugoti nuo tokių atakų, kaip DDoS ar bandymas patekti į sistemą pro atgalines duris (angl. *Backdoor*). Vartotojui taip pat patartina naudoti antivirusines programas, sudėtingus slaptažodžius ar duomenų šifravimo apsaugos priemones. „Duomenų šifravimas yra populiarus būdas užkirsti kelią kibernetinėms atakoms ir užtikrina, kad duomenys būtų prieinami tik tiems, kurie turi iššifravimo raktus.“ (Abdelkader ir kt., 2024).

Nelaimės atveju (kibernetinės atakos atveju) vienas iš būdų atkurti duomenis yra atsarginės duomenų kopijos, rekomenduotina saugomos nutolusiuose serveriuose, tai padės išvengti finansinių nuostolių. Atsarginių kopijų saugojimas padeda atkurti prarastus ar pažeistus duomenis po atakos ir leidžia organizacijai lengvai atkurti veiklą įvykus incidentui.

Kartais kibernetinės atakos įvyksta, nes sistema ar programinė įranga nėra atnaujinta ir sistemoje yra saugumo spragų. Tuomet kibernetiniai nusikaltėliai išnaudoja tas spragas, kad gautų prieigą prie vartotojo tinklo ar sistemos, tuomet per vėlu imtis prevencijos priemonių. Norint to išvengti rekomenduojama nedelsiant atnaujinti sistemas.

#### 4. IT pokyčių saugumo srityje įgyvendinimas

Įgyvendinant pokyčius IT saugumo srityje, svarbu akcentuoti, kad saugumas nėra vienkartinė procedūra, o nuolatinis procesas, kuris reikalauja įmonių nuolat prisitaikyti prie besikeičiančių grėsmių (Schmitz-Berndt, 2023). Pokyčių įgyvendinimas yra sudėtingas ir daugiasluksnis procesas, kuris apima etapus nuo planavimo iki įdiegimo ir nuolatinio vertinimo.

Pirmasis etapas yra išsamus dabartinės situacijos įvertinimas, kai identifikuojamos esamos saugumo spragos, galimos rizikos ir grėsmės. Tai padeda nustatyti, kurie pokyčiai būtini ir įvertinti prioritetus. Organizacijos turėtų atlikti grėsmių modeliavimą ir rizikos analizę, suprasti galimą poveikį verslui ir nustatyti saugumo užtikrinimo priemonių efektyvumą.

Antras etapas yra suinteresuotųjų šalių inovatyvumas. IT saugumo pokyčiai turėtų būti aptarti su visomis suinteresuotosiomis šalimis, tarp jų valdymo komandomis, IT

specialistais ir vartotojais. Reikia užtikrinti, kad visi suprastų pokyčių svarbą ir kaip juos reikės įgyvendinti. Būtinai darbuotojų mokymai ir edukacija, kad jie gebėtų taikyti naujas technologijas.

Trečias etapas yra pokyčių įgyvendinimas. Tai gali apimti naujos saugumo įrangos diegimą, programinės įrangos atnaujinimą, duomenų šifravimo metodų stiprinimą ar naujų identifikavimo ir autentifikavimo procedūrų įdiegimą. Techniniai pokyčiai turi būti kontroliuojami ir įdiegiami metodologiškai, kad nekiltų sistemos sutrikimų.

Visoje organizacijoje diegiamus pokyčius būtina išbandyti kontroliuojamoje aplinkoje. Tai leidžia identifikuoti galimus trūkumus ar neplanuotas pasekmes, kurios gali turėti neigiamą poveikį organizacijos veiklai. Testavimo metu gali paaiškėti poreikis tobulinti saugumo procesus arba pritaikyti pokyčius konkrečios organizacijos poreikiams.

Įgyvendinus pokyčius, svarbu užtikrinti nuolatinę jų veiksmingumo stebėseną. Saugumo įvykių ir incidentų stebėseną, reguliarius pažeidžiamumo nuskaitymas ir atsako į incidentus planų testavimas yra esminiai veiksmai, užtikrinantys, kad pokyčiai veiksmingi ir kad organizacija gali greitai reaguoti į naujas grėsmes.

Įgyvendinus pokyčius svarbūs vartotojų ir IT specialistų atsiliepimai norint suprasti, ar praktikoje veiksmingos naujos saugumo priemonės. Atsiliepimai padeda identifikuoti sritis, kurias reikėtų tobulinti, ir suteikia informacijos būsimiems pokyčiams planuoti. Ypatingas dėmesys turi būti skiriamas dokumentacijai, kuri fiksuoja kiekvieną žingsnį ir padeda užtikrinti skaidrumą bei leidžia pririnkus atkurti pokyčių seką.

Pokyčiai IT saugumo srityje yra nuolatinis procesas, neatsiejama bet kurios šiuolaikiškos organizacijos veiklos dalis, leidžianti užtikrinti, kad įmonės duomenys bei infrastruktūra yra saugesni ir atsparesni kibernetinėms grėsmėms. Absoliutaus saugumo ir atsparumo kibernetinėms grėsmėms užtikrinti neįmanoma, todėl organizacijoms papildomai apsaugai gauti rekomenduojamas draudimas kibernetinių grėsmių rizikoms valdyti.

## Išvados

1. Išanalizavus 2022–2023 m. Lietuvos ir Europos Sąjungos kibernetinės saugos būklę galima teigti, kad pagal užfiksuotų kibernetinių atakų statistiką Lietuvos ir ES organizacijų kibernetinis atsparumas nedidėja, kadangi užfiksuotų kibernetinių atakų absoliuti dinamika yra fiksuojama mažėjimo linkme. Tai galėjo lemti padidėjęs organizacijų dėmesys ir finansavimas kibernetiniam saugumui, darbuotojų mokymas. Negalima atmesti ir tokios galimybės, jog organizacijos, daugiau investuojančios į kibernetinį saugumą technologine prasme ir į kibernetinio saugumo specialistus, pačios organizacijos viduje atremia patirtas atakas ir atitinkamoms institucijoms apie patirtus kibernetinio saugumo incidentus nepraneša, siekdamas išsaugoti organizacijos reputaciją, ypač kalbant apie verslo sektorių. Tačiau nuo 2024 m. spalio 18 d. įsigaliojus ES TIS2 direktyvai ir verslo organizacijoms, priklausančioms

kritiniams arba svarbiems sektoriams, įsigalios prievolė registruoti ir atitinkamoms institucijoms pranešti apie patirtus kibernetinius incidentus, o tai gali lemti nominalų registruotų incidentų skaičiaus didėjimą.

2. Išanalizavus kibernetinius incidentus pagal patirtų atakų tipus, galima teigti, kad ir toliau didžiausią grėsmę kelia elektroninius duomenis užšifruojantys ir išpirkos reikalaujantys programinio kenkėjiško kodo virusai (*angl. Ransomware, Malware*), DDoS atakos bei socialinės inžinerijos ir duomenų išviliojimo atvejai. Ši tendencija pastebima tiek Lietuvoje, tiek visoje ES, o dirbtinio intelekto technologijų tobulėjimas šią situaciją gali tik dar pabloginti, nes programišiai naudoja dirbtinio intelekto technologijas atakoms planuoti, tobulinti ir vykdyti. Savo ruožtu, IT saugos specialistai telkia dirbtinio intelekto ir mašininio mokymosi algoritmus kibernetinių atakų prevencijai, kibernetinių incidentų paieškai, analizei ir sprendimui.
3. Apibendrinant pagrindines rekomendacijas kibernetiniam atsparumui didinti, atkreiptinas dėmesys į strategines ir operatyvines priemones. Kaip strateginės priemonės galėtų būti priskirtos nuolatinės investicijos į kibernetinę saugą kiekvienoje organizacijoje, tai gali būti kibernetinės saugos paslaugų paketo įsigijimas iš paslaugos teikėjų, šiuolaikinių kibernetinės saugos technologinių sprendimų įdiegimas, kibernetinės saugos specialistų samdymas, saugos priemonių, vidinių tvarkų ir procesų sutvarkymas pagal įsigaliosiančią TIS2 direktyvą ir kitus saugumo standartus. Svarbus nuolatinis darbuotojų mokymas kibernetinio saugumo srityje, strateginių priemonių įgyvendinimo stebėseną ir kontrolę kasdieninėje veikloje, kibernetinio saugumo pratybos organizacijos lygmeniu, siekiant tariamai realios grėsmės atveju išbandyti parengtus planus, procesus, technologijas bei dalyvių realią parengtį. Pagal pratybose įgytą patirtį tobulinti tvarkas, planus, procesus ir technologinę parengtį.

## Literatūra

- Abdelkader, S., Amisshah, J., Kinga, S., Mugerwa, G., ir kt. (2024). *Securing modern power systems: Implementing comprehensive strategies to enhance resilience and reliability against cyber-attacks*. Results in Engineering, vol. 23. Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102647>>
- BDAR EU. (2018). Bendrasis duomenų apsaugos reglamentas (BDAR). ES komisija. Prieiga per internetą: <<https://eur-lex.europa.eu/LT/legal-content/summary/general-data-protection-regulation-gdpr.html>>
- CEI. (2023). *The Consequences of Cyber Attacks and Their Impact on Cybersecurity*. Prieiga per internetą: <<https://copycei.com/the-consequences-of-cyber-attacks-and-their-impact-on-cybersecurity/>>
- ENISA, European Union Agency for Cybersecurity. (2023). *ENISA Threat Landscape 2023*. Prieiga per internetą: <<https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-2023>>
- Europos parlamentas ir taryba. TIS 2 direktyva. (2022). Direktyva (ES) 2022/2555 dėl priemonių aukštam bendram

kibernetinio saugumo lygiui visoje Sąjungoje užtikrinti, kuria iš dalies keičiamas Reglamentas (ES) Nr. 910/2014 ir Direktyva (ES) 2018/1972 ir panaikinama Direktyva (ES) 2016/1148 (TIS 2 direktyva).

Gruber, A., & Ségur-Cabanac, N. (2021). *Necessary or premature? The NIS 2 Directive from the perspective of the telecommunications sector*. International Cybersecurity Law Review. Prieiga per internetą: <<https://link.springer.com/article/10.1365/s43439-021-00035-6>>

Fujs, D., Vrhovec, S., Vacpotič, D. (2023). *Balancing software and training requirements for information security*. Computers & Security, vol. 134. Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103467>>

Huang, K., Wang, X., Wei, W., Madnick, S. (2023). *The Devastating Business Impacts of a Cyber Breach*. Prieiga per internetą: <<https://hbr.org/2023/05/the-devastating-business-impacts-of-a-cyber-breach>>

ITTrust – Saugus duomenų valdymas. (2022). *Kibernetinio saugumo grėsmės ir atakų rūšys*. Prieiga per internetą: <<https://itrusta.lt/kibernetinio-saugumo-gresmes-ir-ataku-rusys/>>

Krašto apsaugos ministerija, KAM. (2023). *Nacionalinė kibernetinio saugumo būklės ataskaita 2023*. Prieiga per internetą: <<https://www.nksc.lt/doc/Nacionaline-kibernetinio-saugumo-ataskaita-2023.pdf>>

Li, J., Hu, Y., Fei, X. (2023). *A Variable Adversarial Attack Method Based on Filtering*. Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103431>>

Mattioli, R., Malatras, A. (2024). *Foresight Cybersecurity Threats for 2030 – Update*. ENISA. Prieiga per internetą: <<https://www.enisa.europa.eu/publications/foresight-cybersecurity-threats-for-2030-update-2024-extended-report>>

Nobles, C. (2024). *The Weaponization of Artificial Intelligence in Cybersecurity: A Systematic Review*. Procedia Computer Science 239 (2024) 547-555.

NordLayer. (2023). *Most common types of cyberattacks in 2023*. Prieiga per internetą: <[https://nordlayer.com/blog/most-common-types-of-cyber-attacks/?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjwhtWvBhD9ARIsAOP0GohXVIRx5Qzsk-ZHxdyD8A\\_Sf-89vJOkGebuVklx-ldxTFt337Lga1MaAuOtEALw\\_wcB](https://nordlayer.com/blog/most-common-types-of-cyber-attacks/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwhtWvBhD9ARIsAOP0GohXVIRx5Qzsk-ZHxdyD8A_Sf-89vJOkGebuVklx-ldxTFt337Lga1MaAuOtEALw_wcB)>

Schmitz-Berndt, S., & Chiara, P. G. (2022). *One step ahead: mapping the Italian and German cybersecurity laws against the proposal for a NIS2 directive*. Int. Cybersecur. Law Rev. 3, 289–311

(2022). Prieiga per internetą: <<https://doi.org/10.1365/s43439-022-00058-7>>

Schmitz-Berndt, S. (2023). *Defining the reporting threshold for a cybersecurity incident under the NIS Directive and the NIS 2 Directive*. Journal of Cybersecurity, 2023, 1-11. Prieiga per internetą: <<https://academic.oup.com/cybersecurity/article/9/1/tyad009/7160387>>

Teismų pranešimai spaudai. (2024). *Apeliacinis teismas priteisė neturtinės žalos atlyginimą dėl „CityBee“ nutekintų asmens duomenų*. 2024-06-18. Prieiga per internetą: <<https://www.teismai.lt/lt/apeliacinis-teismas-priteise-neturtines-zalos-atlyginima-del-citybee-nutekintu-asmens-duomenu/12449>>

## ANALYSIS OF CYBER SECURITY THREATS IN LITHUANIA IN THE CONTEXT OF THE EUROPEAN UNION

Irma Šileikienė, Ana Usovaitė

Vilniaus kolegija/Higher Education Institution

**Summary.** The rapid development and penetration of information technology into all areas of human activity is leading to an increase in cyber threats. This article analyses the cybersecurity situation in the European Union and Lithuania by analyzing the statistical data on cyber-attacks in 2022-2023, according to the types of cyber-attacks and the sectors of activity. The analysis of the statistical data shows that the types of cyber attacks and the sectors most frequently affected by cyber attacks are very similar in both Lithuania and the EU. The study deconstructs the impact of cyber-attacks on the organisations that have experienced them and formulates comprehensive recommendations to prevent cyber-attacks as well as to increase the cyber-resilience of organisations or members of society. As a result of the study, it should be noted that cyber-attacks are very dynamic and the groups or individuals organising cyber-attacks are constantly looking for new attack scenarios or opportunities, and therefore cyber-attack prevention recommendations and technologies need to be updated in a comprehensive manner.

**Key words:** Cyber security, cyber attacks, cyber incidents, TIS2, cyber resilience.

# ŽAIDYBINIMO KONCEPCIJOS TAIKYMAS DĖSTANT INFORMACIJOS SISTEMŲ IR JŲ SAUGOS DALYKĄ

Ana Usovaitė, Irma Šileikienė

*Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58-1, Vilnius*

**Anotacija.** Dėstytojai ir kiti švietimo specialistai nuolat tobulina mokymosi procesą, kad sumažintų studijas nutraukusių asmenų skaičių. Siekiama, kad šis procesas taptų veiksmingesnis, pagerėtų dalykų supratimas ir dėl to padidėtų egzaminų ir kitų atsiskaitymų išlaikymo procentas. Išbandomi nauji metodai, pritaikant naujas technologijas, tokias kaip internetas, programinė įranga, daugialypė terpė, o pastaruoju metu – socialiniai tinklai ir vaizdo žaidimai. Skaitmeninės strategijos susijusios ne tik su technologijomis, bet ir su būdais, kuriais siekiama praturtinti mokymąsi. Šiuolaikiniai metodai taip pat svarbūs nuotoliniam mokymui. Šio straipsnio autorės siūlo taikyti žaidybinimo koncepciją mokant informacijos sistemų ir saugumo dieninių ir sesijinių studijų studentus. Straipsnyje siūlomi konkretūs žaidybinimo elementai, kurie padėtų suprasti medžiagą. Autorės pasirinko šiuos elementus: savikontrolės testai, grįžtamasis ryšys po kiekvieno savikontrolės klausimo, ženkliukai / pasiekimai, pažangos (progreso) juosta, socialiniai tinklai/draugai/santykiai, laiko kontrolė ir iššūkiai. Straipsnyje aprašomas minėtų žaidybinimo elementų taikymas.

**Reikšminiai žodžiai:** žaidybinimas, mokymo procesas, žaidybinimo elementai, dalyko turinys

## Įvadas

Pedagogai nuolat ieško būdų, kaip tobulinti mokymosi procesą, kad šis procesas taptų veiksmingesnis ir patrauklesnis, būtų galima sumažinti studijų dalyko neišlaikiusių studentų skaičių. Be to, dalykai taptų geriau suprantami ir dėl to taip pat padidėtų išlaikymo procentas (Sharma ir Sharma, 2021). Viena priemonių šiam tikslui pasiekti yra tradicinių mokymosi metodų pritaikymas naujoms pedagoginėms teorijoms. Šie nauji metodai apima skaitmeninių strategijų taikymą, naudojant naujas technologijas, tokias kaip internetas, multimedija ir populiarėjantys socialiniai tinklai bei vaizdo žaidimai (Crittenden ir kt., 2019). Skaitmeninės strategijos yra susijusios ne tik su technologijomis, bet ir su būdais, kuriais įrenginiai ir programinė įranga naudojami siekiant praturtinti mokymąsi. Be to, šios strategijos gali būti naudojamos tiek formaliojo, tiek savarankiško mokymosi metu ir gali pakeisti įprastas mokymosi idėjas ir veiklas naujomis ir prasmingomis (Johnson ir kt., 2016).

Žaidybinimo formavimas, apibrėžiamas kaip „žaidimų dizaino elementų naudojimas ne žaidimų kontekste“, tapo aktualia tema po 2010 m. Nuo to laiko žaidybinimas plačiai taikomas įvairiose srityse, pavyzdžiui, verslo operacijų, rinkodaros ir švietimo.

Šio mokymo idėja – užduotis paversti žaidimu, kad būtų padidinta vidinė studentų motyvacija, sudominta daugiau dalyvių.

Žaidybinimas gali būti pritaikytas švietimo srityje. Procesas, kai žaidybinimo elementai taikomi mokymo turiniui ir metodologijai modifikuoti, vadinamas mokymosi arba mokymo žaidybinimu. Žaidybinimas pasirenkamas pertvarkant tradicinį mokymą. Be to, šis būdas yra aktualus ir nuotoliniam mokymui.

Žaidybinimo esmė – padidinti dalyvių motyvaciją pridėdam žaidimų elementų, įtraukiant vartotojus ir skatinant tam tikrą elgesį, sukuriant papildomą paskatą suprasti studijuojamo dalyko medžiagą.

Šio tyrimo objektas yra žaidybinimo taikymas dėstant informacijų sistemų ir jų saugos dalyką.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti žaidybinimo koncepcijos taikymą dėstant informacijų sistemos ir saugos dalyką

Tiksliui pasiekti išsikelti tokie uždaviniai:

- 1) Išnagrinėti žaidybinimo sąvoką ir pagrindines koncepcijas.
- 2) Palyginti turinio ir struktūrinį žaidybinimą.
- 3) Pritaikyti žaidybinimo elementus dėstant informacijos sistemų ir saugos dalyką

Tyrimui atlikti naudojama mokslinės ir techninės literatūros analizė ir informacijos sisteminimas.

Laukiamas tyrimo rezultatas – pateikti konkrečius žaidybinimo elementus, palengvinačius informacijos sistemų ir saugos dalyko išmokimą.

## 1. Žaidybinimo sąvoka ir jo kategorijos

Žaidimo koncepcija kilo iš skaitmeninės žiniasklaidos pramonės (Rodriguez et al., 2019). Barber (2021) apibrėžia žaidybinimą kaip „žaidimų elementų taikymą ne žaidimų kontekste“, o Huotari ir Hamari (2012) kaip „paslaugos tobulinimo procesą, naudojant esamas galimybes, leidžiančias įgyti žaidybinę patirtį, siekiant sukurti bendrą naudotojo vertę“. Žaidybinimas vadinamas „mąstymo žaidimais ir žaidimų mechanika, siekiant įtraukti vartotojus spręsti problemas“ (Dale, 2014). Žaidybinimas jau sėkmingai taikomas švietimo, rinkodaros, organizacinėse, sveikatos ir aplinkosaugos srityse, siekiant norimų rezultatų, darant įtaką vartotojų elgesiui (Bai ir kt., 2020). Susidomėjimas žaidimų ir žaidybinimo taikymu švietime didėja, nes padeda pritraukti ir išlaikyti besimokančiųjų dėmesį, o tai yra būtina sąlyga, kad mokiniai sėkmingai mokytųsi (Khalil ir kt., 2018). Kartais žaidybinimas dar vadinamas tiesiog „taškų, ženkliukų, lyderių lentelės“ metodu.

Išanalizavę žaidybinimo koncepciją, daugelis autorių priėjo prie išvados, kad iš tikrųjų yra dvi žaidybinimo kategorijos: struktūrinis žaidybinimas ir turinio žaidybinimas.

**Struktūrinis žaidybinimas.** Tai žaidimo elementų taikymas, siekiant paskatinti besimokančiuosius per dalyko turinio pateikimą nekeičiant paties turinio. Dalyko turinys

netampa panašus į žaidimą, tik pateikimo idėja. Į turinį įtraukiami žaidybinimo elementai, tačiau turinys lieka nepakitęs. Pagrindinis šio tipo žaidybinimo tikslas yra motyvuoti besimokančiuosius susipažinti su dalyko turiniu ir įtraukti juos į mokymosi procesą per virtualų atlygį. Pavyzdžiui, studentai dalyko studijų metu gauna taškus už vaizdo įrašo peržiūrą arba užduoties atlikimą, kai užduotis ar vaizdo įrašas nesusijęs su žaidybinimu.

Dažniausi šio tipo žaidybinimo elementai galėtų būti taškai, ženkleliai, pasiekimai ir lygiai. Toks žaidybinimų tipas taip pat įprastai turi lyderių lentelę, galima stebėti mokymosi pažangą. Verta naudoti socialinį komponentą, kuriame besimokantieji gali pasidalyti pasiekimais su kitais besimokančiais. Nors prie struktūrinio žaidimo galima pridėti istorijos elementų, personažų ir kitų žaidimo elementų, turinys nepereina į tikrą žaidimą.

**Turinio žaidybinimas.** Tai žaidybinimo elementų ir žaidimo mąstymo taikymas, siekiant pakeisti dalyko turinį, kad jis būtų panašesnis į žaidimą. Pavyzdžiui, istorijos elementų įtraukimas į dalyką arba paskaitos pradžioje iškeliamas iššūkis, o ne tikslas. Tai yra turinio žaidybinimo pavyzdžiai.

Pridėjus šiuos elementus turinys tampa panašesnis į žaidimą, bet nepaverčiamas žaidimu. Jame tiesiog pateikiamas kontekstas arba veikla, įprasta žaidimuose, ir pridėjama prie mokymo turinio.

Turinys pakeičiamas taip, kad būtų panašesnis į žaidimą, naudojant tokius elementus kaip iššūkiai, grįžtamojo ryšio kilpos, pasakojimai ir treniruotės, bet tai nėra žaidimas. Ši technika pagerina besimokančiojo įsitraukimą į dalyko studijas, nesukuriant sudėtingo žaidimo, o turinys išlieka mokymo pagrindas. Pavyzdžiui, jei vyksta įmonės darbuotojų mokymai apie saugos priemones gaisro metu, dalyką galima pradėti nuo vaizdingo pasakojimo, o ne mokymosi tikslų. Siūloma pasitelkti fantaziją, pritaikyti žaidybinimo elementus rimtam mokymosi procesui ir sukurti savo istoriją, kurioje pabrėžiama, ką darbuotojai turėtų daryti, jei pastatas užsidegtų.

Naudojant žaidybinimo elementus mokymosi procesas tampa interaktyvus ir įtraukus. Žaidybinimas ir varžymasis suteikia mokymui procesui įdomumo ir patrauklumo, nelieka monotoniškos.

Žmonėms malonu būti įvertintiems. Pats paprasčiausias apdovanojimas (ženklukas ar keletas skaitmeninių taškų) paskatins besimokančiuosius padaryti daugiau. Galiausiai mokymo tikslai bus pasiekti greičiau.

Pasirinkę žaidybinį mokymąsi besimokantieji neturės laukti vertinimo laikotarpio, kad galėtų įsivertinti savo pasiekimus. Pavyzdžiui, gavę ženklukus jie jausis pripažinti. Žaidybinimo funkciją netgi galima pritaikyti skatinant besimokančiuosius teikti atsiliepimus. Pavyzdžiui, atsakymą į atsiliepimų klausimą galima padaryti vienu iš reikalavimų ženkleliui gauti.

Žaidybinimas, į kurį įtraukti tokie elementai kaip pažangos juostos, padeda besimokantiesiems geriau suprasti mokymo medžiagą. Jie gali stebėti, kurį mokymosi proceso etapą pasiekė, įvertinti, kiek pastangų ir laiko reikės mokymosi užduočiai

atlikti. Kai besimokantieji neturi galimybės stebėti savo pažangos, jie dažniau nusivilia.

Žaidybinimas gali būti naudojamas socialiniam elgesiui skatinti. Galima numatyti atlygį besimokantiesiems, kurie padeda kolegoms. Pavyzdžiui, jei besimokantysis internetiniame forume paskelbia problemą, galite turėti ženklukus tiems, kurie laiku pateikia atsakymus.

Kitas būdas skatinti bendradarbiavimą žaidybinimo elementais – siekti bendros sėkmės. Galima sukurti forumą, kuriame besimokantieji rašytų sveikinimo žinutes kolegoms, gavusiems specialius ženklukus.

Žaidybinimas gali padėti atskleisti paslėptus talentus. Pavyzdžiui, užduoties greitumu pagrįsti ženklukai gali padėti išsiaiškinti studentus, kurie geba atlikti užduotis per trumpą laiką.

Žaidybinimas, rimtieji žaidimai ir žaidimais grįstas mokymasis yra labai panašūs. Skirtumas tik tas, kad žaidybinimo metu taikomi žaidimo elementai. Žaidimais grindžiamas mokymasis – tai mokymas, kurį sudaro tik žaidimo elementai. Tačiau tiek žaidybinimas, tiek žaidimais grįstas mokymasis labai veiksmingai motyvuoja žaidėjus. Žaidybinimą lengva įgyvendinti, todėl jo sąnaudos yra nedidelės. Jis tinka pasikartojančius ar nuobodžius veiksmus pakeisti įdomesniais, gali skatinti įsitraukimą ir konkurenciją. Nuo įprastų žaidimų žaidybinimas skiriasi tuo, kad nesuteikia savarankiškos patirties, neturi išbaigto pasakojimo ar programos. Ilgainiui žaidybinimas yra ne toks veiksmingas ir ne visada tinkamas sprendimas. Žaidimais grindžiamas mokymasis gerai atitinka tikslines grupės interesus, todėl dažnai yra labai patrauklus. Vartotojai šioje aplinkoje gali eksperimentuoti, o dėl įtraukiančios žaidimo aplinkos žaidimais grindžiamas mokymasis ilgai išlaiko vartotojo dėmesį, tačiau toks mokymasis sunkiau prieinamas rinkoje, o norint tinkamai prižiūrėti mokymąsi žaidimais reikia tarpininko arba instruktoriaus, turinčio pakankamai žinių. Rimtieji žaidimai yra plačiai naudojami, nes jie pritaikyti konkrečiai situacijai arba žmogui. Kadangi rimtieji žaidimai motyvuoja žaidėjus, jie taip pat gali būti naudojami elgesiui keisti. Tačiau rimtųjų žaidimų kūrimas yra sudėtingesnis ir todėl jie dažnai brangesnis nei, pavyzdžiui, žaidybinimas.

Žaidybinimas turi ir trūkumų. Ilgainiui perspektyvoje jis ne toks veiksmingas, nes virtualus atlygis nesuteikia ilgalaikio pasitenkinimo. Žaidybinimas patinka tik tikslinei grupei, daugiausia žmonėms, orientuotiems į rezultatus. Jo negalima naudoti sprendžiant visų tipų problemas, nes neįgyjama naujų įgūdžių. Žaidybinimą galima pasitelkti tik kaip papildomą mokymo priemonę.

## 2. Žaidybinimo elementų klasifikavimo sistema

Toda A. M. ir kt. (2019) pasiūlė žaidybinimo elementų struktūrizavimo schemą (1 pav.). Žaidybinimo elementai buvo suskirstyti į penkias dimensijas arba grupes, susijusias su besimokančiuoju ir mokymosi aplinka.



1 pav. Žaidybinimo elementų klasifikacija  
Šaltinis: Toda A. M. ir kt., 2019

#### Ekologiniai elementai

Šios grupės elementai yra susiję su aplinka, kurioje įgyvendinami žaidybinimo elementai. Tokie elementai gali būti pavaizduoti kaip savybės: atsitiktinumas, primestas pasirinkimas, ekonomika, retumas ir laiko kontrolė (*angl. Chance, Imposed Choice, Economy, Rarity and Time Pressure*). Dėl ekologiško grupės elementų trūkumo aplinka atrodo nuobodžiai, nes neatskleista sąveika su vartotoju.

#### Socialinė dimensija

Ši dimensija yra susijusi su socialinėje aplinkoje vykstančia besimokančiųjų sąveika. Šios grupės elementai yra konkurencija, bendradarbiavimas, reputacija, socialinis spaudimas (*angl. Competition, Cooperation, Reputation, Social Pressure*). Socialinių įgūdžių trūkumas gali izoliuoti studentus vienas nuo kito, jiems sunku bendrauti su kitais studentais ir dėstytojais.

#### Asmeninė dimensija

Ši dimensija yra susijusi su konkrečiu besimokančiuoju. Asmeninės dimensijos elementai yra pojūtis, tikslas, galvosūkiai, naujumas ir atnaujinimas (*angl. Sensation, Objective, Puzzle, Novelty, and Renovation*). Dėl asmeninių įgūdžių trūkumo besimokantieji gali trūkti motyvacijos, nes jie nemato veiklos prasmės.

#### Išgalvoti elementai

Tai mišrūs žaidybinimo elementai, susiję su vartotoju (per naratyvą) ir aplinka (per pasakojimą), norint sutapatinti jų patirtį su kontekstu. Išgalvotų elementų trūkumas tas, kad besimokantieji praranda prasmę, t. y. todėl vartotojai įtraukioje

aplinkoje turi atlikti bet kokią užduotį, ir tai tiesiogiai daro įtaką jų patirčiai.

#### Veiklos elementai

Tai elementai, susiję su aplinkinių žmonių reakcija: taškai, pažanga, lygis, statistika ir padėkos (*angl. Point, Progression, Level, Stats and Acknowledgement*). Tokius elementus galima panaudoti grįžtamajam ryšiui apie pasiekimus teikti. Jei nenaudojami šie žaidybinimo elementai, studentams gali trūkti motyvacijos, nes jie negauna grįžtamojo ryšio, jų rezultatai nesulaukia pripažinimo.

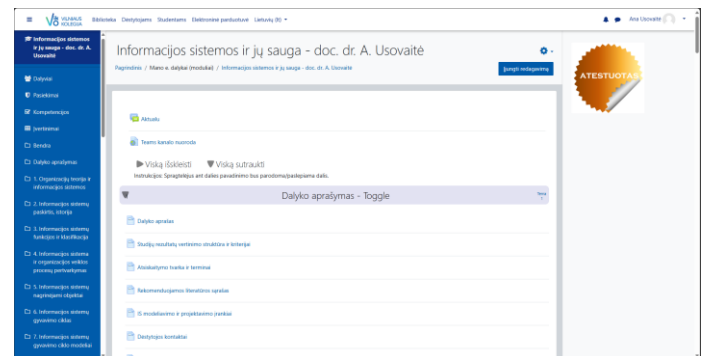
### 3. Žaidybinio elementų pasirinkimas per informacijos sistemų ir jų saugos dalyko paskaitas

Informacijos sistemų ir jų saugos dalykas dėstomas *Informacijos sistemų* studijų programos pirmo kurso dieninio ir sesijinio tvarkaraščio studentams (2 pav.).

Dalyko turinį sudaro vienuolika temų.

Dalyko turinys:

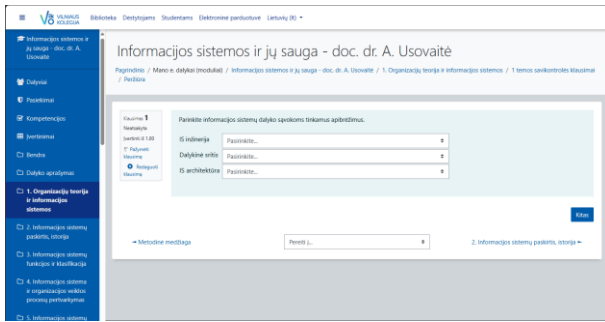
1. Organizacijų teorija ir informacijos sistemos.
2. Informacijos sistemų paskirtis, istorija.
3. Informacijos sistemų funkcijos ir klasifikacija.
4. Informacijos sistema ir organizacijos veiklos procesų pertvarkymas.
5. Informacijos sistemų nagrinėjami objektai.
6. Informacijos sistemų gyvavimo ciklas.
7. Informacijos sistemų gyvavimo ciklo modeliai.
8. Reikalavimai informacijos sistemai.
9. Reikalavimų sistemai dokumentavimas.
10. Informacijos sistemos kokybė.
11. Informacijos sistemos sauga.



2 pav. Informacijos sistemų ir jų saugos dalykas Moodle sistemoje  
Šaltinis: sudaryta autorių

Dėstant informacijos sistemų ir jų saugos dalyką siūloma rinktis šiuos žaidybinimo elementus.

**Savikontrolės testai.** Po kiekvienos dalyko temos studentams pateikiami savikontrolės testai (3 pav.). Testas apima nuo 10 iki 30 klausimų. Testų išlaikymo riba yra 50% atsakytų klausimų. Jei studentui nepavyko išlaikyti testo, jam siūloma pakartoti bandymą. Bandymų skaičius neribojamas. Jei studentas išlaikė testą, jis taip pat gali pakartoti bandymą.



3 pav. Savikontrolės testo pavyzdys  
Šaltinis: sudaryta autorių

**Grįžtamasis ryšys po kiekvieno savikontrolės klausimo ir testo.** Ypatingas dėmesys skiriamas grįžtamajam ryšiui, kai studentai sužino, ar gerai atliko užduotį. Grįžtamasis ryšys suteikiamas po kiekvieno klausimo ir testo. Jei studentai atsako į klausimą teisingai, rodomas paaiškinimas, kodėl atsakymas teisingas. Jei studentai suklysta, pateikiamas paaiškinimas, kodėl atsakymas neteisingas ir siūloma pagalba.

Studentas gauna bendrą atsakymų įvertinimą po kiekvienos temos testų. Jei testas įvertintas 9–10, 7–8, 5–6, rašomi skirtingi pranešimai.

Jei testas neišlaikytas, pateikiamas pasiūlymas laikyti dar kartą.

**Ženkliukai / Pasiekimai.** Po kiekvienos temos pateikti savikontrolės testai. Išlaikę vienos temos testą studentai gauna apdovanojimą *Teoretikas*, išlaikę visų vienuolikos temų testus – *Super teoretikas*. Ženkliukų išvaizda ir pavadinimas skiriasi (4 pav.).

Studentams skiriami trys tęstiniai namų darbai. Gerai atlikę namų darbą studentai gauna apdovanojimą *Praktikas*, visus tris namų darbus – *Super praktikas*.



4 pav. Ženkliukų pavyzdžiai  
Šaltinis: sudaryta autorių

**Pažangos (progreso) juosta.** Pažangos juostos yra neįtikėtina paprastas, tačiau itin veiksmingas būdas, kuriuo vartotojai skatinami imtis veiksmų. Pažangos juostos vizualiai parodo, kiek daug nuveikta ir kiek dar liko padaryti (5 pav.). Siūloma studentams rodyti mokymo proceso pažangos juostą, kad jie žinotų, koks darbas atliktas ir ką dar reikės padaryti.



5 pav. Pažangos juostos pavyzdžiai  
Šaltinis: sudaryta autorių

**Socialiniai tinklai / Draugai / Santykiai.** Studentams būtų naudinga susisiekti su draugais ar kolegomis per socialinius tinklus. Mokytis kartu su kitais gali būti smagiau, nei mokytis vienam! Prisijungus prie socialinių tinklų galima dalytis mokymo patirtimi, teikti pasiūlymus, atsiliepiamus ir atlikti kitus veiksmus. Tokiu būdu visi studentai daugiau sužino apie studijas, didėja studijų patrauklumas.

Socialiniai tinklai taip pat gali skatinti bendradarbiavimą ir pagerinti studentų mokymosi kokybę. Kitas įdomus būdas išlaikyti studentų motyvaciją – siūlyti apdovanojimus už tai, kad jie konsultavo(si) ir bendradarbiavo su savo draugais, arba skirti užduotis komandoms.

**Laiko kontrolė.** Studentai dažnai patiria stresą dėl laiko trūkumo. Laikas yra brangus, ypač kai jo nepakanka, o reikia atlikti daug numatytų užduočių.

Laiko kontrolė daro didelę įtaką mokymo procesui: padeda studentams planuoti laiką ir derinti skirtingų dalykų atsiskaitymus. Studentai labiau susitelkia, greičiau priima sprendimus ir pasiekia savo tikslus. Konkrečios atsiskaitymo datos nustatymas palengvina studentų ir dėstytojų darbą. Atsižvelgiant į užduoties turinį, pobūdį ir sunkumą, galima numatyti papildomus balus už užduoties atlikimą laiku arba atimti taškus už pavėluotą atlikimą.

**Iššūkiai.** Jie yra veiksminga priemonė, motyvuojanti vartotojus imtis numatytų veiksmų, atlikti užduotį ir judėti į priekį siekiant užsibrėžtų mokymosi tikslų, efektyvaus bendradarbiavimo. Vartotojai gali išbandyti jėgas pritaikydami įgytas žinias iššūkiui įveikti. Jie jaučiasi taip, tarsi iš tiesų būtų nusipelnę pasiekimo.

Dalyko turinio kūrėjas arba dėstytojas gali pasirinkti ir daugiau žaidybinimo elementų. Jų pasirinkimas priklauso nuo konkrečių aplinkybių, temos, užduočių kiekio, studentų motyvacijos lygio ir kt.

## IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

Žaidybinimas pagerina studentų motyvaciją mokytis, nes mokymosi procesas tampa įdomesnis ir daugiau pritaikytas konkrečiam studentui. Visi minėti dalykai padidina studentų įtraukimą į mokymo procesą.

Žaidybinimas supaprastina mokymosi procesą, padidina studentų įsitraukimą ir palengvina dėstytojų darbą.

Per informacijos sistemų ir jų saugos dalyko paskaitas siūlomi septyni žaidybinimo elementai:

1. Savikontrolės testai.
2. Grįžtamasis ryšys po kiekvieno savikontrolės klausimo.
3. Ženkliukai / Pasiekimai.
4. Pažangos (progreso) juosta.
5. Socialiniai tinklai / Draugai / Santykiai.
6. Laiko kontrolė.
7. Iššūkiai.

Siūloma metodika yra lanksti, nes pasirinktas struktūrinis žaidybinimas. Vėliau šį žaidybinimo elementų sąrašą siūloma plėsti. Atlikus studentų apklausas, išanalizavus apklausų rezultatus, reikėtų parinkti tinkamus naujus žaidybinimo

elementus arba atsisakyti neveiksmingų.

## Literatūra

Bai, S., Hew, K.F., Huang, B. (2020). Does gamification improve student learning outcome? Evidence from a meta-analysis and synthesis of qualitative data in educational contexts. *Educ. Res. Rev.* 30 (December 2019), 1–20. doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100322.

Barber, C.S. (2021). When students are players : toward a theory of student-centric edu- gamification systems. *J. Inf. Syst. Educ.* 32, 53–64.

Crittenden, W.F., Biel, I.K., Lovely, W.A. (2019). Embracing digitalization: student learning and new technologies. *J. Market. Educ.* 41 (1), 1–10. doi.org/10.1177/0273475318820895.

Dale, S., 2014. Gamification: making work fun, or making fun of work? *Bus. Inf. Rev.* 31 (2), 82–90. doi.org/10.1177/0266382114538350.

Huotari, K., Hamari, J. (2012). Defining gamification - a service marketing perspective. In: Proceedings of the IADIS International Conference Interfaces and Human Computer Interaction 2012, IHCI 2012, Proceedings of the IADIS International Conference Game and Entertainment Technologies 2012, pp. 17–22. doi.org/10.1145/2393132.2393137.

Johnson, L., Adams Becker, S., Cummins, M., Estrada, V., Freeman, A., Hall, C. (2016). *Horizon report - 2016 higher education edition*. NMC Horizon Rep. Prieiga per internetą: <<http://www.nmc.org/publications/2014-horizon-report-higher-ed>>

Khalil, M., Wong, J., De Koning, B., Ebner, M., Paas, F. (2018). Gamification in MOOCs: a review of the state of the art. In: *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*, 2018-April, pp. 1629–1638. doi.org/10.1109/EDUCON.2018.8363430.

Rodrigues, L., Oliveira, A., Rodrigues, H. (2019). Main gamification concepts: a systematic mapping study. *Heliyon* 5 (7), e01993. doi.org/10.1016/j.heliyon.2019. e01993.

Sharma, M.K., Sharma, R.C. (2021). Innovation framework for excellence in higher education institutions. *Glob. J. Flexible Syst. Manage.* doi.org/10.1007/s40171-021-00265-x.

Toda, A. M., Oliveira, W., Klock, A., C, Palomino, P. T., Pimenta, M., Gasparini, I., Shi, L., Bittencourt, I., Isotani, A. (2019). A Taxonomy of Game Elements for Gamification in Educational Contexts: Proposal and Evaluation. In Proceedings of the IEEE 19th

International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT) 2019, IEEE 2019, Proceedings of the IEEE 19th International Conference on Advanced Learning Technologies 2019, pp. 84 – 88. DOI: 10.1109/ICALT.2019.00028.

## APPLYING GAMIFICATION CONCEPTS TO THE TEACHING OF INFORMATION SYSTEMS AND THEIR SECURITY

Ana Usovaitė, Irma Šileikienė

Vilniaus kolegija/Higher Education Institution

**Summary.** Teachers and other education professionals are constantly looking for ways and means to improve and facilitate the learning process in order to reduce drop-out rates. It is desirable to make the process more efficient, to improve understanding of subjects and, as a result, to increase the pass rate in examinations and other assessments. One of the means of achieving this goal is to adapt traditional learning methods using modern and new pedagogical theories. These new approaches include the use of digital strategies, taking advantage of new technologies such as the Internet, software, multimedia and, more recently, social networks and video games. Digital strategies are not only about technology, but also about the ways in which devices and software are used to enrich learning, both inside and outside the classroom. Modern approaches are also relevant to distance learning. The authors of this paper propose the application of gamification concepts to the teaching of Information Systems and Security to full-time and sessional students.

The paper proposes specific gamification elements to facilitate the learning of the material. The authors have selected the following elements: Quizzes, badges / achievements, Feedback after each self-check question, Progress Bar, Social Network, Friending, Relationship, Time Pressure and Relatedness Challenges. The paper describes the application of the above gamification elements to specific subjects and the expected benefits and improvements in learning outcomes.

**Key words:** Gamification, teaching process, elements of gamification, subject content



## ANGLIES MONOKSIDO IR OZONO KONCENTRACIJOS DINAMIKA VILNIUJE, PRIE ANTAKALNIO GATVĖS

Vaida Vasiliauskienė

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, Vilnius  
Generolo Jono Žemaičio Lietuvos karo akademija, Šilo g. 5 A, Vilnius*

**Anotacija.** Vis didesnį susirūpinimą kelia automobilių srautai miestuose ir išaugusi aplinkos tarša. Lietuvoje transporto tarša sudaro apie 65 % viso atmosferos užterštumo. Automobilių transportas svarbus anglies monoksido ir ozono pirmtakų emisijos šaltinis. Eksperimentas atliktas vasarą švariausiame Vilniaus miesto mikrorajone – Antakalnyje, prie intensyvaus transporto eismo gatvės (Antakalnio gatvės). Tyrimo metu registruota anglies monoksido ir ozono koncentracija bei meteorologiniai parametrai (temperatūra, santykinė oro drėgmė, slėgis, vėjo greitis bei kryptis). Anglies monoksido koncentracijos padidėjimas fiksuotas rytinių ir vakarinių transporto spūsčių metu, o ozono – vidurdienį. Skirtingomis tyrimo dienomis vidutinės anglies monoksido koncentracijos skyrėsi 48 %, o ozono – 76 %. Tarp anglies monoksido ir ozono koncentracijos fiksuotas vidutinio stiprumo neigiamas koreliacinis ryšys. Nustatyta, kad transporto eismo intensyvumas ir vietinės meteorologinės sąlygos (ypač temperatūra ir vėjo greitis) daro didelę įtaką tirtų teršalų koncentracijai prie Antakalnio gatvės.

**Reikšminiai žodžiai:** anglies monoksidas, ozonas, transportas, oro tarša, meteorologinės sąlygos.

### Įvadas

Anglies monoksidas (CO) – toksinės dujos, kurios patenka į atmosferą degimo proceso metu arba oksiduojantis angliavandeniliams ir kitiems organiniams junginiams. Europoje 90 % anglies monoksido išmetama iš kelių transporto, o 10 % – iš gyvenamųjų ir komercinių pastatų katilinių (Dzikuć et al., 2017). Vilniuje per metus iš mobilių taršos šaltinių su automobilių išmetamosiomis dujomis į orą patenka apie 108 t teršalų, iš kurių 77 % – anglies monoksidas (Grabys et al., 2011). Anglies monoksidas žmogui sukelia tokias ligas, kaip plaučių nepakankamumas, bronchitas, hipoksija ir ūmios kvėpavimo takų infekcijos (Xia et al., 2020). Be to, anglies monoksidas gali prilipti prie hemoglobino kraujyje ir susidaryti karboksihemoglobinas, o tai sukelia širdies bei kraujagyslių problemų. 2019 m. Peru atliktus tyrimą paaiškėjo, jog dėl nuolatinio atmosferos teršalų poveikio kelių policininkų kraujyje padidėja karboksihemoglobino lygis (Mallqui, 2020). Į žmogaus organizmą patekęs anglies monoksidas stabdo deguonies pernešimą kraujyje, o kartu sumažina į širdį patenkančio deguonies kiekį.

Ozonas (O<sub>3</sub>) nėra tiesiogiai išmetamas į atmosferą, tai antrinis teršalas, susidarantis iš ozono pirmtakų (daugiausia azoto oksidų, lakiųjų organinių junginių, anglies monoksido ir metano) fotocheminių reakcijų metu. Ozonas yra stiprus oksidatorius, kuris neigiamai veikia augmeniją, gyvūniją ir žmonių sveikatą. Jis dirgina akis, nosį, plaučius, sužadina astmos ir plaučių ligų simptomus šiomis ligomis sergantiems žmonėms, mažina organizmo atsparumą peršalimo ir kitoms ligoms (Hua et al., 2024, Shore, 2019). Šio teršalo neigiamo poveikio stiprumą žmogui lemia keli veiksniai: koncentracijos dydis, poveikio trukmė, individualaus organizmo jautrumas (Moretti. and Neidell, 2011). Vaikai ir vyresnio amžiaus žmonės jautresni ozono poveikiui, todėl ozonas dažnai tampa vyresnių žmonių mirtingumo nuo

širdies, kraujagyslių ir kvėpavimo takų ligų priežastimi (Lu and Yao, 2023, Liu et al., 2022). Priežemio ozonas laikomas nekenksmingu, kai jo koncentracija neviršija 60 µg/m<sup>3</sup> (Bakas et al., 1995). Lietuvoje atliekami ilgalaikiai ozono tyrimai rodo, kad apie 9 % laiko atmosferoje registruojama didesnė kaip 100 µg/m<sup>3</sup> šio teršalo koncentracija (Girgždienė and Girgždys, 2003).

Vienas didžiausių oro taršos Lietuvoje šaltinių – transporto priemonės su vidaus degimo varikliais. Automobilių vidaus degimo variklių išmetamosiose dujose aptinkama daugiau kaip 200 įvairių cheminių junginių, kurių dauguma kenksmingi. Transporto priemonių išmetamosiose dujose dažniausiai pasitaikantys teršalai: sieros dioksidas (SO<sub>2</sub>), anglies dioksidas (CO<sub>2</sub>), anglies monoksidas (CO) ir azoto oksidai (NO<sub>x</sub>) (Colville et al., 2001). Transporto tarša prisideda prie rūgščiųjų lietų susidarymo, ozono troposferoje susiformavimo ir klimato kaitos pokyčių. Į atmosferą iš automobilių teršalai patenka keliais būdais: iš išmetamojo vamzdžio (65 %), iš variklio korpuso ventiliacijos sistemos (29 %), iš variklio degalų sistemos ir kuro bako (6 %) (Sasskova et al., 2019). Daugiausia oras teršiamas, kai automobilis pajuda iš vietos ar lėtai važiuoja, todėl gatvių sankryžos – pavojingiausi oro taršos židiniai (Bolaji and Adejuyigbe, 2006). Pradedantis važiuoti automobilis orą teršia 50 kartų labiau negu važiuojantis vidutiniu ar didesniu greičiu (Madireddy et al., 2011). VĮ „Regitra“ duomenimis, Lietuvoje iki 2024 m. rugpjūčio 1 d. buvo įregistruota apie 1,1 mln. dyzelinu varomų automobilių, beveik 397 tūkst. – benzinu varomų ir tik 14 tūkst. – tik elektra varomų automobilių. Lietuvoje dauguma eksploatuojamų automobilių yra senesni nei 10 metų.

Meteorologinės sąlygos yra svarbus veiksnys, darantis didelę įtaką oro kokybei atmosferoje ir lemiantis joje vykstančius cheminius bei fizikinius procesus: oro teršalų dispersiją, nusodinimą ir išgarinimą. Palankios sąlygos teršalams kauptis didmiesčiuose susidaro, kai orus lemia anticiklonai, vyrauja ramūs, be kritulių orai, dažni rūkai,

formuojasi temperatūros inversija, trukdanti aukštesniuose atmosferos sluoksniuose išsisklaidyti teršalams (Zhang, 2019). Stipresnis lietus ar vėjas dažniausiai išsklaido teršalus (Liu et al., 2020). Dėl atmosferos cirkuliacijos teršalai kartu su oro masėmis gali būti pernešami dideliu atstumu iš kitų regionų ir tokiais atvejais lemia oro taršos lygio padidėjimą ne tik miestuose, bet ir visame šalies oro baseine (He et al., 2021).

Kadangi didelė teršalų koncentracija kenksminga, leistinas jų kiekis atmosferoje reguliuojamas Europos Sąjungos ir atskirų valstybių įstatymais (Pinto et al., 2020). Žmogaus sveikatai nekenksminga deklaruojama anglies monoksido ribinė vertė –  $10 \text{ mg/m}^3$  (maksimalus paros 8 valandų vidurkis). 2002/3/EB direktyvoje numatyta, kad žmonių sveikatos apsaugai nustatytas ozono koncentracijos aplinkos ore informavimo slenkstis –  $180 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  (1 valandos vidurkis) ir pavojaus slenkstis –  $240 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  (1 valandos vidurkis tris valandas iš eilės). Nustatyta ir siektina ozono koncentracijos ore vertė –  $120 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  (maksimalus paros 8 valandų vidurkis, kuris negali būti viršijamas daugiau nei 25 dienas per kalendorinius metus, vertinant trejų metų vidurkj).

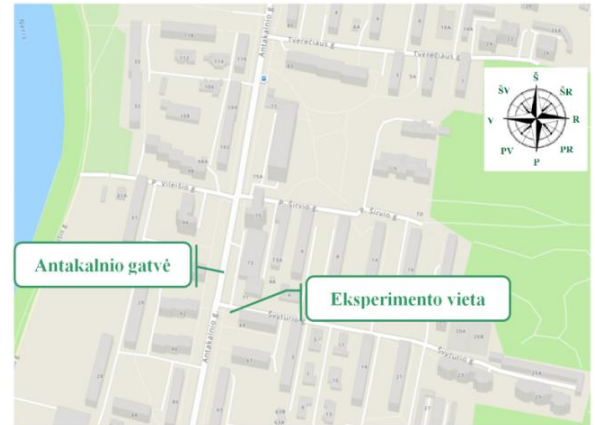
Darbo tikslas – ištirti anglies monoksido ir ozono koncentracijos prie Antakalnio gatvės (Vilniaus mieste) dinamiką ir įvertinti meteorologinių parametru įtaką tirtų teršalų pokyčiams.

## 1. Tyrimo metodika

Eksperimento vieta – Vilniaus miesto šiaurės rytinėje dalyje esantis Antakalnio mikrorajonas. Tai didžiausia (plotas  $77,2 \text{ km}^2$ ) ir žaliausia (parkai ir miškai sudaro 70 % teritorijos) Vilniaus dalis. Antakalnio mikrorajonas užima antrą vietą Vilniuje pagal gyventojų skaičių ( $> 50\ 000$  gyventojų). Antakalnyje žmonių tankumas ( $< 4 \%$ ) vienas mažiausių Vilniaus mieste, todėl šis rajonas laikomas vienu švaresniųjų gyvenamųjų mikrorajonų.

Eksperimentas atliktas prie centrinės Antakalnio mikrorajono ašies – Antakalnio gatvės, pagal kurią išsidėstę gyvenamieji namai (1 pav.). Automobilių transportas laikomas pagrindiniu oro taršos Antakalnio gatvėje šaltiniu. Tyrimo laikotarpiu registruotas vidutinis transporto intensyvumas Antakalnio gatvėje – 10 330 automobilių per parą.

Eksperimentas atliktas 20 m atstumu nuo Antakalnio gatvės vasaros sezono metu. Šalia eksperimento vietos esančios parduotuvės (nuo 8 iki 22 val.) vyko intensyvus automobilių judėjimas. Tyrimo laikotarpiu nenutrūkstamai registruota oro teršalų (anglies monoksido, ozono) koncentracija ir meteorologiniai parametrai (aplinkos temperatūra, santykinė oro drėgmė, slėgis, vėjo greitis ir kryptis). Tyrimas truko mėnesį, registruojant ir kaupiant kompiuterio duomenų bazėje tirtų teršalų koncentracijos ir meteorologinių parametru 1 valandos vidutines vertes.



1 pav. Eksperimento vieta  
Šaltinis: sudaryta autorių

Anglies monoksido koncentracija matuota CO11M analizatoriumi, veikiančiu infraraudonųjų spindulių sugerties principu. Naudotas analizatorius gali registruoti iki  $57 \text{ mg/m}^3$  anglies monoksido koncentraciją. Prietaisas gali veikti, kai temperatūra siekia  $15 - 35 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Ozono koncentracijai nustatyti naudotas APOA – 360 ozono analizatorius, kurio veikimas pagrįstas ultravioletinės sugerties principu. Šis analizatorius gali fiksuoti iki  $2000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  ozono koncentraciją. Prietaiso jautris –  $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ , platus analizatoriaus darbo temperatūrų ( $5 - 40 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) intervalas. Tiriamoje vietoje oras siurbtas iš ozono ir anglies monoksido analizatorių išvestais tefloniniais vamzdeliais.

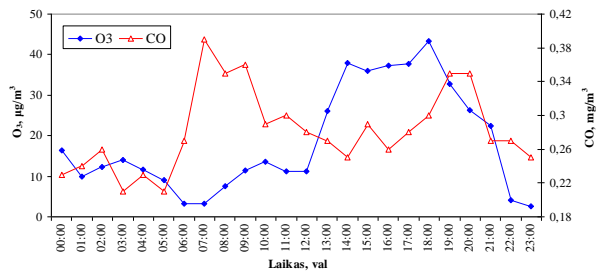
Mobilia meteorologinė stotelė WS 1080 nenutrūkstamai registruoti meteorologiniai parametrai. Ši stotelė gali veikti plačiais temperatūros (nuo  $-40$  iki  $+65 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), santykinės oro drėgmės (nuo 10 iki 100 %), slėgio (nuo 300 iki 1100 hPa), vėjo greičio (nuo 0 iki 50 m/s) intervalais. Vėjo kryptis buvo suskirstyta po 45 laipsnius į 8 dalis, siekiant atlikti tikslesnę duomenų analizę. Meteorologinės stotelės jutikliai, sumontuoti toje pačioje vietoje, kur tefloniniais vamzdeliais buvo siurbiamas oras ozono ir anglies monoksido koncentracijai nustatyti.

## 2. Tyrimo rezultatai ir jų analizė

Tyrimo laikotarpiu vyravo sausi, saulėti, mažai permainingi orai, kuriuos dažniausiai lėmė anticiklonai. Per mėnesį temperatūra svyravo nuo 6 iki  $33 \text{ } ^\circ\text{C}$ , o santykinė oro drėgmė – nuo 34 iki 83 %. Slėgis per tiriamąjį vasaros mėnesį registruotas nuo 985 iki 1008 hPa. Vyravo silpnas, mažai besikeičiančios krypties vėjas. Stipresnis kaip 2 m/s vėjo greitis tyrimo vietovėje nebuvo užfiksuotas. Didžiąją eksperimento laiko dalį pūtė vėjas išilgai gatvės, t. y. iš šiaurės (38 %) arba pietų (53 %).

Prie Antakalnio gatvės anglies monoksido koncentracija kito nuo  $0,12$  iki  $0,67 \text{ mg/m}^3$ , o ozono koncentracija – nuo  $0,2$  iki  $81 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ . Vidutinės anglies monoksido koncentracijos skirtingomis tyrimo dienomis skyrėsi 1,9 karto, o ozono – 4,2 karto.

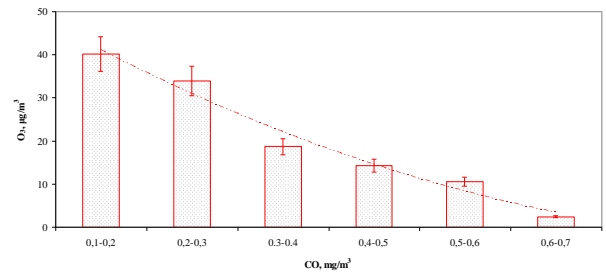
Paros anglies monoksido ir ozono koncentracijos dinamika prie Antakalnio gatvės pateikta 2 paveiksle.



**2 pav.** Paros anglies monoksido ir ozono koncentracijos pasiskirstymas  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Fiksuota skirtinga tirtų teršalų koncentracijos pasiskirstymo per parą dinamika: anglies monoksido koncentracijos padidėjimas registruotas ryte ir vakare, o ozono lygio augimas – vidurdienį. Didžiausia paros anglies monoksido koncentracija fiksuota automobilių spūsčių Antakalnio gatvėje rytiniu (6 – 10 val.) ir vakariniu (16 – 19 val.) laiku. Vidutinė anglies monoksido koncentracija rytiniu transporto spūsčių metu registruota 1,1 karto didesnė nei vakariniu transporto spūsčių laiku. Tačiau pasitaikė dienų, kuomet vakarinėmis piko valandomis atsiradusios spūstys lėmė didesnę anglies monoksido koncentraciją nei rytinėmis. Nustatyta, kad transporto eismo intensyvumas daro didžiausią įtaką anglies monoksido koncentracijos kaitai, o vietinės meteorologinės sąlygos nėra svarbiausios, nors ir turi reikšmingą įtaką šio teršalo dinamikai. Patekęs saulei, ozono koncentracija pamažu didėja, vidurdienį (14 – 18 val.) pasiekia didžiausią vertę, o vėliau iki kito ryto lėtai mažėja. Eksperimento metu saulė patekėdavo 5:30 – 6:30, o nusileisdavo 20:30 – 21:30. Vidurdienį ozono koncentracijos lygis išauga dėl šio teršalo spartaus pritekėjimo iš aukštesnių atmosferos sluoksnių į priekšiemio bei palankių sąlygų ozonui susidaryti fotocheminiu būdu. Nustatyta, kad paros ozono pokyčiams daugiausia įtakos turėjo vietinės meteorologinės sąlygos bei automobilių transporto išmetamų ozono pirmtakų koncentracija ir sudėtingi tarp jų atmosferos priekšiemio sluoksnyje vykstantys fotocheminiai procesai.

Siekiant įvertinti, kaip ozono koncentracija priklauso nuo anglies monoksido kiekio, atlikta šių dviejų teršalų ryšio paieška (3 pav.). Anglies monoksido 0,2 – 0,3 mg/m<sup>3</sup> koncentracija tyrimo laikotarpiu registruota dažniausiai (~ 60 %), didesnių kaip 0,4 mg/m<sup>3</sup> šio teršalo verčių matuota retai (5 %). Ozono nuo 30 iki 40 µg/m<sup>3</sup> koncentracija eksperimento metu pasitaikė dažniausiai (24 %), didesnė kaip 60 µg/m<sup>3</sup> koncentracija nustatyta 4 % tyrimo laiko.

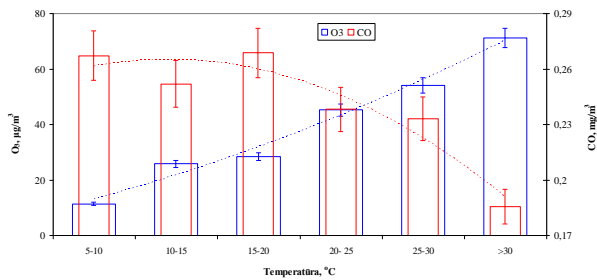


**3 pav.** Anglies monoksido ir ozono koncentracijos ryšys  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Gauti tyrimo duomenys rodo, kad anglies monoksido kiekio prie Antakalnio gatvės padidėjimas lėmė ozono koncentracijos lygio sumažėjimą. Ozono koncentracija esant mažoms (< 0,2 mg/m<sup>3</sup>) anglies monoksido vertėms nustatyta 17 kartų didesnė nei esant didelėms (> 0,6 mg/m<sup>3</sup>) anglies monoksido koncentracijos reikšmėms. Fiksuotas vidutinio stiprumo neigiamas koreliacinis ryšys tarp anglies monoksido ir ozono, įvertinus tarp kintamųjų -0,48 koreliacijos koeficientą.

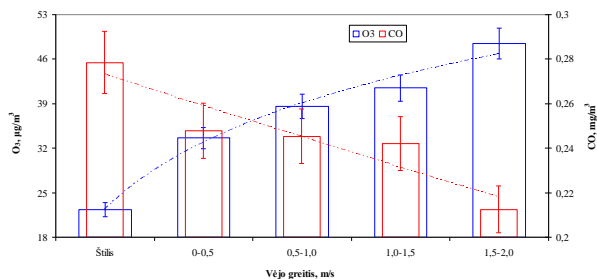
Analizuojant meteorologinių parametų prie Antakalnio gatvės įtaką anglies monoksido ir ozono koncentracijai, atlikta koreliacinio ryšio tarp tiriamųjų parametų paieška. Silpnas koreliacinis ryšys nustatytas santykinės oro drėgmės su anglies monoksidu (teigiamas) ir su ozonu (neigiamas). Tarp slėgio ir tirtų teršalų koncentracijos taip pat fiksuotas silpnas ryšys. Reikšmingos vėjo krypties įtakos tirtų teršalų koncentracijai nefiksuota, nes tik ~ 8 % laiko vėjas pūtė nuo gatvės (iš vakarų) ir transporto išmetami teršalai nepasiekė tyrimo vietas. Nustatyta, kad aplinkos temperatūra ir vėjo greitis tyrimo laikotarpiu lėmė esminius anglies monoksido ir ozono koncentracijos pokyčius. Ištyrę meteorologinių parametų svarbą anglies monoksido koncentracijai atmosferos priekšiemio sluoksnyje Ghosh su kolegomis (2024) tai pat nustatė, kad svarbiausią įtaką šio teršalo svyravimams turi temperatūra ir vėjas.

Nustačius, kad tiriamų teršalų pokyčiams prie Antakalnio gatvės svarbi temperatūra, atlikta duomenų grupavimo pagal temperatūrą analizė (4 pav.). Dienomis registruota 17 – 33 °C, naktimis – 6 – 22 °C temperatūra. Dažniausiai fiksuota nuo 15 iki 20 °C temperatūra (45 % laiko), aukštesnė kaip 20 °C temperatūra – 22 % tyrimo laiko. Gauti tyrimo duomenys rodo, kad aukšta aplinkos temperatūra palanki ozonui, tačiau nepalanki anglies monoksidui susidaryti. Esant > 30 °C temperatūrai anglies monoksido koncentracija 44 % mažesnė, o ozono 84 % didesnė nei esant 5 – 10 °C temperatūrai. Nustatytas glaudesnis temperatūros ryšys su ozono nei su anglies monoksido koncentracija. Temperatūros įtaka anglies monoksido koncentracijai išryškėja esant aukštesnei kaip 20 °C temperatūrai.



**4 pav.** Anglies monoksido ir ozono koncentracijos priklausomybė nuo temperatūros  
Šaltinis: sudaryta autorių

Analizuota ir vėjo greičio įtaka anglies monoksido ir ozono dinamikai, sugrupavus tirtų teršalų koncentracijos duomenis pagal vėjo intensyvumą (5 pav.).



**5 pav.** Anglies monoksido ir ozono koncentracijos priklausomybė nuo vėjo greičio  
Šaltinis: sudaryta autorių

Eksperimento metu vyravo silpnas vėjelis (< 2 m/s). Didžiausias vėjo greitis skirtingomis tyrimo dienomis skyrėsi 85 %. Dažniausiai registruotas iki 0,5 m/s vėjas (46 % laiko), nemažai truko bevėjis (30 %) laikotarpis. Kilus stipresniam vėjui fiksuota didesnė ozono ir mažesnė anglies monoksido koncentracija nei pučiant silpnam vėjui. Štiliaus laikotarpiu vidutinė anglies monoksido koncentracija siekė  $0,28 \pm 0,04 \text{ mg/m}^3$ , ozono –  $22 \pm 4 \text{ µg/m}^3$ , o pučiant stipresniam nei 1,5 m/s vėjui –  $0,21 \pm 0,03 \text{ mg/m}^3$  ir  $48 \pm 6 \text{ µg/m}^3$  atitinkamai. Štiliaus laikotarpiu anglies monoksido koncentracija 31 % didesnė, o ozono 54 % mažesnė negu pučiant stipresniam nei 1,5 m/s vėjui. Stipresnis vėjas (> 1,5 m/s) tyrimo laikotarpiu pasitaikė tik dienos metu, kada intensyvi saulės spinduliuotė ir aukšta aplinkos temperatūra, t. y. kai aktyviai vyksta atmosferos priežemio sluoksnyje įvairūs sudėtingi fotocheminiai procesai. Silpno vėjo eksperimento metu vyravimas lėmė ne anglies monoksido ir ozono turbulentinio maišymo mechanizmą, bet daugiau tirtų teršalų koncentracijos Antakalnio gatvėje svyravimus.

## Išvados

1. Automobilių transporto gausa ir besiformuojančios spūstys neigiamai paveikė oro kokybę Vilniaus mieste. Anglies monoksidas – vienas iš transporto išmetamų

teršalų, kuris lėmė oro kokybės suprastėjimą. Nors transportas nėra tiesioginis ozono emisijos šaltinis, tačiau prisidėjo prie ozono pirmtakų emisijų ir taršos lygio mieste pokyčių.

2. Skirtumas tarp dienos ir nakties metu registruotos anglies monoksido koncentracijos yra 54 %, o tarp ozono – 78 %. Ozono koncentracija 4 % eksperimento laiko viršijo šio teršalo nekenksmingumo atmosferos priežemio sluoksnyje ribą (<  $60 \text{ µg/m}^3$ ).
3. Paros anglies monoksido koncentracijos padidėjimas sutampa su transporto eismo suintensyvėjimu. Daugeliu atvejų anglies monoksido koncentracija rytinių transporto spūsčių metu yra 12 % didesnė nei vakarinių. Paros ozono koncentracijos didėjimas sutampa su saulės spinduliuotės intensyvumo maksimumu vyraujant palankioms ozonui susidaryti fotocheminiu būdu sąlygoms.
4. Tarp anglies monoksido ir ozono koncentracijos nustatytas vidutinio stiprumo ryšys (Pirsono koreliacijos koeficientas tarp šių teršalų yra - 0,48). Vyraujant didesnei (>  $0,6 \text{ mg/m}^3$ ) anglies monoksido koncentracijai ozono susidaro 94 % mažiau nei esant mažam (<  $0,2 \text{ mg/m}^3$ ) anglies monoksido kiekiui.
5. Transporto eismo intensyvumas ir meteorologiniai parametrai turėjo daugiausia įtakos tirtų teršalų dinamikai prie Antakalnio gatvės. Aplinkos temperatūra ir vėjo greitis darė didžiausią įtaką anglies monoksido ir ozono koncentracijos kaitai.

## Literatūra

- Bakas, A., Baltrėnas, P., Girgždienė, R., Kaulakys, J. (1995). Investigation of the ozone formation in two – stage electrostatic filters, *Atmospheric Physics*, 17(1), 75–81.
- Bolaji, B.O. and Adejuyigbe, S.B. (2006). Vehicle Emissions and their Effects on the Natural Environment - a Review, *Journal of the Ghana Institution of Engineers*, 4(1), 35–41.
- Colville, R.N., Hutchinson, E.J., Mindel, J.S., Warren, R.F. (2001). The transport sector as a source of air pollution, *Atmospheric Environment*, 35(9), 1537–1565. doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00551-3
- Dzikuć, M., Adamczyk, J., Piwowar, A. (2017). Problems associated with the emissions limitations from road transport in the Lubuskie Province (Poland), *Atmospheric Environment*, 160, 1–8. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.04.011.
- Ghosh, B., Mondal, A., De, M., Rout, T.K., Padhy, P.K. (2024). Spatiotemporal distribution of carbon monoxide dynamics and probabilistic health risk assessment: A comprehensive sensitivity analysis across India's state capitals, *Environmental Challenges*, 15(3), 100891. doi.org/10.1016/j.envc.2024.100891.
- Girgždienė, R. and Girgždys, A. (2003). Variations of the seasonal ozone cycles in the Preila station over the 1988-2001 period, *Environmental and Chemical Physics*, 25(1), p. 11–16.
- Grabys, J., Usovaitė, A. and Gaspariūnas, J. (2011). Environmental pollutants emission from public transport assessment and analysis in Vilnius city, *Environmental Engineering. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE*; Vilnius Vol. 8, Vilnius Gediminas Technical

University, Department of Construction Economics and Property, 893-897.

He, S., Li, Z., Wang, W., Yu, M., Liu, L., Alam, M.N., Gao, D., Wang, T. (2021). Dynamic relationship between meteorological conditions and air pollutants based on a mixed Copula model, *International Journal of Climatology*, 41(4), 2611–2624. doi.org/10.1002/joc.6979.

Hua, Q., Meng, X., Gong, J., Qiu, X., Shang, J., Xue, T., Zhua, T. (2024). Ozone exposure and cardiovascular disease: A narrative review of epidemiology evidence and underlying mechanisms, *Fundamental Research*, 4, 463–470. doi.org/10.1016/j.fmre.2024.02.016.

Liu, S., Zhang, Y., Ma, R., Liu, X., Liang, J., Lin, H., Shen, P., Zhang, J., Lu, P., Tang, X., Li, T., Gao, P. (2022). Long-term exposure to ozone and cardiovascular mortality in a large Chinese cohort, *Environmental International*, 165(10), 496–503. doi.org/10.1016/j.envint.2022.107280.

Liu, Y., Zhou, Y. and Li, J. (2020). Exploring the relationship between air pollution and meteorological conditions in China under environmental governance, *Scientific Reports*, 10(1), 14518. doi.org/10.1038/s41598-020-71338-7.

Lu, J. and Yao, L. (2023). Observational evidence for detrimental impact of inhaled ozone on human respiratory system, *BMC Public Health*, 23(1); 929. doi.org/10.1186/s12889-023-15902-6.

Madireddy, M., De Coensel, B., Can, A., Degraeuwe, B., Beusen, B., De Vlieger, I., Botteldooren, D. (2011). Assessment of the impact of speed limit reduction and traffic signal coordination on vehicle emissions using an integrated approach, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*; 16(7), 504–508. doi: 10.1016/j.trd.2011.06.001.

Mallqui, R. and Apesteguia, R. (2020). Niveles de carboxihemoglobina en policías de tránsito de la ciudad de Huancayo, 2019, *Ciencia e Investigación*, 23(1), 39–43. doi.org/10.15381/ci.v23i1.18750. (Straipsnis moksliniame žurnale).

Moretti, E. and Neidell, M. (2011). Pollution, Health, and Avoidance Behavior: Evidence from the Ports of Los Angeles, *The Journal of Human Resources*, 46(1), 154–175.

Pinto, J.A., Kumar, P., Alonso, M.F., Amdreao, W., Pedruzzi, R., Ibarra-Espinosa, S., Albuquerque, T.T.A. (2020). Kriging method application and traffic behavior profiles from local radar network database: a proposal to support traffic solutions and air pollution control strategies, *Sustainable Cities and Society*, 56(1), 102062. doi.org/10.1016/j.scs.2020.102062.

Shore, S.A. (2019). The Metabolic Response to Ozone, *Frontiers in Immunology*, 10, 2890. doi.org/10.3389/fimmu.2019.02890.

Sassykova, L.R., Aubakirov, Y.A., Sendilvelan, S., Tashmukhambetova, Zh.Kh., Faizullaeva, M.F., Bhaskar, K.,

Batyrbayeva, A.A., Ryskaliyeva, R.G., Tyussyupova, B.B., Zhakupova, A.A., Sarybayev, M.A. (2019). The Main Components of Vehicle Exhaust Gases and Their Effective Catalytic Neutralization, *Oriental Journal of Chemistry*, 35(1), 110–127. doi.org/10.13005/ojc/350112.

Xia, L., Zhang, G., Liu, L., Li, B., Zhan, M., Kong, P., Wang, H. (2020). Atmospheric CO<sub>2</sub> and CO at Jingdezhen station in central China: understanding the regional transport and combustion efficiency, *Atmospheric Environment*, 22(12), 117104. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117104.28.

Zhang, Y. (2019). Dynamic effect analysis of meteorological conditions on air pollution: a case study from Beijing, *Science of the Total Environment*, 684, 178–185. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.360.

## DYNAMICS OF CARBON MONOXIDE AND OZONE CONCENTRATIONS IN VILNIUS NEAR ANTAKALNIO STREET

Vaida Vasiliauskienė

Vilnius Gediminas Technical University  
General Jonas Žemaitis Military Academy of Lithuania

**Summary.** Increasing traffic in cities and the accompanying growing environmental pollution are a growing concern. In Lithuania, transport pollution accounts for around 65% of all atmospheric pollution. Motor transport is an important source of emissions of carbon monoxide and ozone precursors. The experiment was carried out during the summer time in the cleanest housing area of Vilnius city, i.e. Antakalnis, but next to the street with heavy traffic (Antakalnis Street). Carbon monoxide and ozone concentration as well as meteorological parameters (temperature, relative humidity, pressure, wind speed and direction) were recorded during the research. The increase in carbon monoxide concentration was found during the morning and evening traffic jams, while the increase in ozone concentration was registered at noon. Average carbon monoxide concentrations varied by 48% and ozone by 76% between different study days. A moderate negative correlation was observed between carbon monoxide and ozone concentrations. It has been established that the intensity of transport traffic and local meteorological conditions (especially temperature and wind speed) have a significant influence on the distribution of the studied pollutant concentrations near Antakalnis street.

**Key words:** carbon monoxide, ozone, transport, air pollution, meteorological conditions.

# LIETUVOS ATVYKSTAMOJO TURIZMO IŠŠŪKIAI IR PERSPEKTYVOS

Jelena Ščedrovienė, Salomėja Vanagienė

Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58-1, Vilnius

**Anotacija.** Straipsnyje apžvelgiama tarptautinio turizmo plėtra. Pristatoma dabartinė Lietuvos turizmo administravimo struktūra, analizuojamos pagrindinės Lietuvos turizmo įmonių siūlomos kelionių kryptys, aptariamas jų išskirtinumas tarptautinio turizmo kontekste. Apžvelgiamos rinkodaros priemonės ir jų efektyvumas skatinant turizmą plėtrą. Straipsnyje keliami pagrindiniai veiksniai, darantys poveikį Lietuvos atvykstamajam turizmui, o tikslas – išnagrinėti Lietuvos turizmo augimą stabdančius veiksnius bei pateikti siūlymų situacijai gerinti. Straipsnyje analizuojami statistikos duomenys ir pristatomas atlikto kokybinio tyrimo – interviu su viešojo ir privataus sektorių atstovais rezultatai, kurie rodo įtemptos geopolitinės situacijos, karo Ukrainoje neigiamą įtaką turizmo plėtrai šalyje bei dialogo stoką tarp viešojo ir privataus sektorių. Taip pat akcentuojama maža unikalių turizmo krypčių ir produktų pasiūla, kai kurios turizmo infrastruktūros spragos (pvz., Lietuva neturi nacionalinės oro linijų kompanijos), vieningos rinkodaros trūkumas.

**Reikšminiai žodžiai:** atvykstamasis turizmas, geopolitinė situacija, turizmo statistika, turizmo plėtra, tarptautinis turizmas.

## Įvadas

Šiandien turizmą galima vadinti pasaulio fenomenu, vienu svarbiausių ekonomikos variklių bei vienu pagrindinių socialinio gyvenimo veiklos produktų. Remiantis Pasaulio turizmo organizacija (PTO), turizmas tiesiogiai sudaro beveik 8 % pasaulio BVP (Global tourism industry...), tai sukuria kas 12 darbo vietą pasaulyje ir yra svarbi eksporto sektoriaus dalis daugelyje pasaulio šalių tiek besivystančiuose, tiek išsivysčiusiuose regionuose (Tourism Towards 2030 Global Overview).

Labiausiai turistų lankomas žemynas yra Europa, kuri užima beveik 54 % pasaulio tarptautinio atvykstamojo turizmo rinkos. Kita populiarė kryptis yra Amerika (beveik 18 proc.) bei Rytų Azijos ir Ramiojo vandenyno regionas (apie 16 proc.), turintis vieną didžiausių tarptautinio turizmo augimo potencialų pasaulyje.

Europa traukia turizmo objektų ir produktų gausa ir unikalumu, kultūriniu bei istoriniu kiekvienos valstybės išskirtinumu. Vidutinis turizmo sektoriaus indėlis į BVP yra 5 proc. (Lietuvoje apie 4 proc.), o ES šalių vidurkis – iki 8 proc. (Turizmo plėtotos strategija, 2023). Šie duomenys palankūs Lietuvos turizmo sektoriui.

Lietuva Europos kontekste išsiskiria turtinga istorija, unikalia kultūra ir tradicijomis, gamtinių ir kultūrinių išteklių gausa, gerai išvystyta turizmo infrastruktūra. Remiantis Lietuvos turizmo statistikos duomenimis, 2019 m., kurie laikomi geriausiais Lietuvos turizmo istorijoje, kraštą aplankė svečiai net iš atokiausių pasaulio kraštų: Naujosios Zelandijos, Malaizijos, Australijos ir t. t. (Lietuvos statistikos departamentas).

Tačiau 2020 m. pasaulį užvaldžiusi pandemija, 2022 m. Ukrainoje prasidėjęs karas bei kiti geopolitiniai procesai (pvz., migrantų antplūdis iš Baltarusijos) neigiamai paveikė Lietuvos atvykstamojo turizmo statistiką. Dėl geografinės padėties ir artumo su šalimi agresore (Rusija) bei glaudžių istorinių ryšių (sovietinės okupacijos laikotarpis, Rusijos imperija) Lietuva pateko į potencialiai nesaugių tarptautiniam turizmui šalių sąrašą.

Tad šiame straipsnyje nagrinėjama **problema** – pagrindiniai veiksniai, darantys poveikį Lietuvos

atvykstamajam turizmui. **Tikslas** – išnagrinėti procesus, kurie neigiamai paveikė Lietuvos atvykstamąjį turizmą, bei pateikti rekomendacijas, kaip pritraukti turistus, nepaisant neigiamo šalies įvaizdžio, atsiradusio dėl geopolitinės situacijos bei kitų veiksnių.

## 1. Turizmo rinką veikiančys procesai

Teigiama, kad turizmo plėtrai įtakos turi socialiniai (gyvenimo būdas, elgsenos pokyčiai, urbanizacija), ekonominiai (augantis pragyvenimo lygis), technologiniai (pvz., transporto rūšių plėtra, skaitmenizacija) bei aplinkos pokyčiai (klimato kaita, darnumas). Be to, popandeminis laikotarpis parodė itin stiprų sveikatos bei teisinių veiksmų poveikį (Liutikas ir kt., 2023), kas lėmė iš esmės pasikeitusią keliautojų elgseną.

Be šių veiksnių minėtina keliautojų elgsenai ir jų sprendimams didelį poveikį daranti saugumo situacija pasaulyje, gamtinės nelaimės bei katastrofos, karo ir terorizmo apraiškos atvejai bei iš esmės besikeičiantis požiūris į gyvenimo būdą globalizacijos sąlygomis (Labanauskaitė, 2020; Stephen et al., 2020).

Socialiniai veiksniai, arba vartotojų elgsena, daro itin didelį poveikį turizmo produktų populiarumui. Turizmo produktai tampa populiarūs tada, kai atitinka vartotojo poreikius. Svarbu pabrėžti, kad turizmo produktas apima platų įvairių paslaugų ir išteklių spektrą. Tai gamtiniai, kultūriniai ir žmogaus sukurti ištekliai, lankytinos vietos bei paslaugų derinys, kuris sudaro vietovės rinkodaros pagrindą ir sukuria bendrą turistų patirtį, tarp jų emocinius aspektus potencialiems klientams. Turizmo produktas turi kainą ir gyvavimo ciklą (UNWTO, 2024), kuris itin glaudžiai susijęs su vartotojų elgsenos pokyčiais.

Vartotojų elgsena – mokslas apie tai, kodėl žmonės perka tokį produktą ir kaip jie priima sprendimą. Jis apima sprendimų priėmimo procesą, kuriam įtakos turi psichologiniai vartotojo veiksniai.

Vartotojų poreikių, požiūrio ir sprendimų samprata itin svarbi kuriant naujus turizmo produktus ir objektus (Horner, Swarbrooke, 2020). Pažymėtina, kad šiuolaikiniams turistams nepakanka vien tik paslaugos. Jie ieško patirčių, dažnai net tokių, kurios prisideda prie jų gyvenimo kokybės gerinimo (PTO, Centre for the Promotion of Imports, 2020).

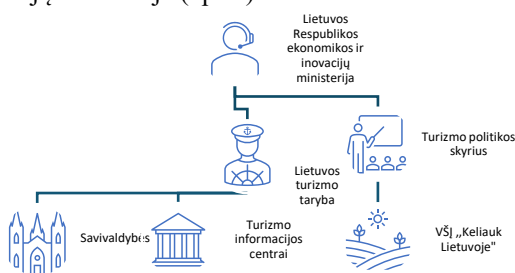
Keliautojų sprendimams nemažai įtakos turi vietovės turizmo rinkodaros strategijos. Žmonės paprastai numato kelionės tikslą prieš pasirinkdami oro transporto bendrovę arba nusprenddami, kokiuose viešbučiuose apsistoti ir kokias vietas aplankyti. Vietovės turizmo rinkodara, skirta turizmui skatinti, yra labai svarbi, nes grindžiama konkrečia patirtimi, paslaugomis ir vietos galimybėmis (Promotion and Marketing in Tourism, 2012). Tokiu atveju svarbu, kad vyktų glaudus bendradarbiavimas tarp viešojo ir privataus turizmo sektorių (Promotion and marketing in tourism, 2012).

## 2. Lietuvos turizmo industrijos apžvalga

Pirmosios organizuoto turizmo užuomazgos Lietuvoje atsirado dar Rusijos imperijos laikotarpiu, kai XIX a. pabaigoje tuometiniame Vilniuje pradėjo veikti Rusijos turistų draugijos skyrius. Vėliau nepriklausomoje Lietuvoje (1918–1940) Kaune įkurta Lietuvos turizmo sąjunga, kurios tikslas buvo pritraukti į Lietuvą užsienio turistų (Raguckas, Visuotinė lietuvių enciklopedija).

Sovietmečiu už užsienio turizmo veiklą Lietuvoje buvo atsakinga Lietuvos turizmo taryba. Ši institucija organizavo ir koordinavo sportinio turizmo, turistų klubų, Lietuvos turizmo federacijos ir respublikinių komisijų pagal turizmo šakas ir veiklos rūšis darbą (Lietuvos sporto enciklopedija).

Pagrindiniai Lietuvos turizmo valdymo ir organizavimo pokyčiai prasidėjo atkūrus nepriklausomybę. 1991 m. visos turizmo organizavimo įmonės buvo priskirtos Ekonomikos ministerijos reguliavimo sričiai ir vėlesniais metais privatizuotos. 1992 m. buvo įsteigta Valstybinė turizmo tarnyba (tiesiogiai pavaldi LR Vyriausybei), vėliau pertvarkyta į Valstybinį turizmo departamentą. Departamentas prisidėjo prie valstybės turizmo politikos formavimo ir jos įgyvendinimo. 2019 m. departamento funkcijas perėmė Nacionalinė turizmo skatinimo agentūra „Keliauk Lietuvoje“, kuriai vadovauja Ekonomikos ir inovacijų ministerija (1 pav.).



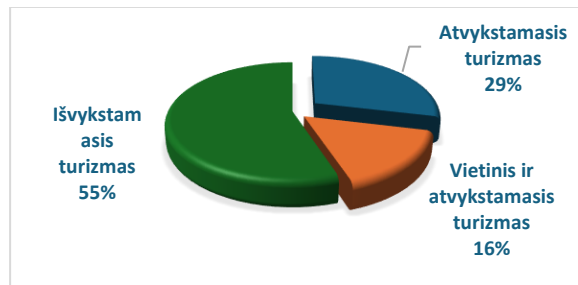
1 pav. Lietuvos turizmo valstybinės valdysenos struktūra.

Šaltinis: parengta straipsnio autorių pagal Lietuvos turizmo įstatymą, naujoji redakcija, 2023

## 3. Lietuvoje veikiančių atvykstamojo turizmo organizatorių veiklos analizė

Norint atskleisti, kokios kelionės ir jų produktai rinkai pateikiami Lietuvoje, svarbu žinoti, kiek turizmo įmonių dirba atvykstamojo turizmo srityje. Išanalizavus Valstybinės vartotojų teisių apsaugos tarnybos duomenis matyti, kad bendras turizmo organizatorių (TO) skaičius Lietuvoje – 184 (2 pav.). Iš jų 92 įmonės dirba išvykstamojo turizmo srityje,

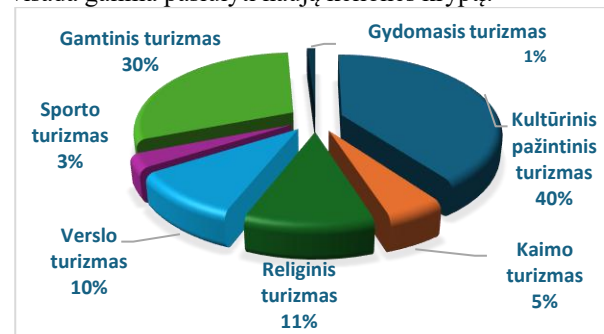
27 įmonės – vietinio ir atvykstamojo turizmo srityje, 17 įmonių – vietinio turizmo ir 48 įmonės – atvykstamojo turizmo srityje (kelionių organizatorių organizuojamos turistinės kelionės iš užsienio valstybės į Lietuvos Respubliką) (Valstybinė vartotojų teisių apsaugos...).



2 pav. Lietuvos turizmo organizatorių skaičius Lietuvoje (procentinė dalis pagal veiklos kryptį)

Šaltinis: sudaryta straipsnio autorių pagal Valstybinės vartotojų tarnybos pateiktus duomenis, 2023

Tik 29 proc. visų turizmo organizatorių Lietuvoje dirba atvykstamojo turizmo srityje. Tai palyginti nedidelis skaičius, kuris rodo mažą susidomėjimą šia sritimi. Tad norint suaktyvinti turizmo sektorių Lietuvoje svarbu didinti minėtos srities įmonių skaičių. Taip pat duomenų analizė atskleidžia, kad didžioji dalis Lietuvos turizmo įmonių (55 proc.) renkami dirbti išvykstamojo turizmo rinkose. Tokį pasirinkimą lemia tai, kad ši turizmo rinka suteikia daugiau stabilumo ir garantijų ir yra mažiau veikiamą geopolitinių pokyčių, nes pasikeitus saugumo situacijai ar susiklosčius nenumatytoms aplinkybėms visada galima pasiūlyti naują kelionės kryptį.



3 pav. Populiariausias turizmo rūšys Lietuvoje tarp atvykstamojo turizmo organizatorių

Šaltinis: sudaryta straipsnio autorių išanalizavus pagrindinių atvykstamojo turizmo agentūrų pasiūlymus, pavišintus internete 2024 m. pavasarį

Išnagrinėjus Lietuvos atvykstamojo turizmo organizatorių siūlomą kryptis ir kelionių rūšis, nustatyta, kad didžioji dalis įmonių siūlo kultūrinio pažintinio bei gamtinio turizmo paslaugas, kas rodo Lietuvos paklausą pasaulio turizmo rinkoje (3 pav.). Tačiau siūlomi turizmo produktai nėra išskirtiniai tarptautinio turizmo atžvilgiu ir mažai tikėtina, kad galėtų sudaryti kiek didesnę konkurenciją tokios pat rūšies turizmo produktus siūlančiai Centrinei ar Pietų Europai, Skandinavijos šalims.

Tikėtina, kad didesnę konkurenciją galėtų sudaryti gydomojo turizmo produktai, tačiau, kaip rodo 3 paveikslėlyje pateikta statistika, šios turizmo rūšies

paklausa žemiausia. Populiariausias kultūrinis pažintinis arba gamtinis turizmas. Tad Lietuvoje svarbu rasti potencialiai išskirtinius turizmo produktus, kurie būtų patrauklūs tarptautinėje turizmo rinkoje, arba įdomesnius pateikimo būdus.

#### 4. Atvykstamojo turizmo rinkodaros skatinimo priemonės Lietuvoje

Turizmo rinkodara yra pagrindinė atvykstamojo turizmo skatinimo priemonė. Lietuvoje didžiausias indėlis šioje srityje VŠĮ „Keliauk Lietuvoje“, kuri bendradarbiauja su Lietuvos ir su užsienio turizmo įmonėmis bei kitais partneriais. Įmonė savo veiklą orientuoja į turizmo verslo plėtrą, analitiką, bendradarbiavimą su produkto plėtros specialistais. Ši įstaiga taip pat atsakinga už pažintinių turų žurnalistams bei kelionių operatoriams organizavimą ir kt.

Pagrindiniai VŠĮ „Keliauk Lietuvoje“ komunikacijos kanalai yra jų oficialiuose tinklalapiuose ([www.lithuania.travel.lt](http://www.lithuania.travel.lt), [www.keliauklietuvoje.lt](http://www.keliauklietuvoje.lt)) bei socialiniuose tinkluose (Facebook, YouTube ir Instagram) ir kt. (rekvizitai. lt, <https://www.lithuania.travel/lt/>).

Kita su tarptautinio turizmo plėtra susijusi įstaiga – VŠĮ „Go Vilnius“. Tai yra oficiali Vilniaus miesto turizmo plėtros agentūra, teikianti pagrindinę informaciją Vilniaus miesto lankytojams, investuotojams, atvykstantiems darbuotojams, verslo partneriams bei įmonėms. Suteikiama finansinė ir patariamoji pagalba dėl renginių organizavimo Vilniaus mieste (VŠĮ „Go Vilnius“...).



4 pav. Rinkodaros pavyzdys  
Šaltinis: [www.vilniusgspot.com](http://www.vilniusgspot.com)

Ši organizacija kuria rinkodaros strategijas, siekia sudominti užsienio turistus. Viena įdomiausių bei daugiausiai Lietuvos visuomenės kritikos ir užsienio šalių dėmesio sulaukusi Vilniaus miesto reklama yra „Vilnius The G-spot of Europe“ (4 pav.). Šis pavyzdys atskleidžia opią tarptautinio turizmo plėtros problemą Lietuvoje – dialogo nebuvimą tarp viešojo ir privataus sektorių, kuris dažnu atveju Lietuvos įvaizdį gali nubrėžti dviprasmiškai ir netiksliai, nepritraukti turistų ir galimai sugadinti įvaizdį.

#### 5. Lietuvos turizmo rinkos situacijos apžvalga

Nemažai žalos Lietuvos atvykstamojo turizmo rinkai ir šalies ekonomikai padarė pandemija turėjo ir

teigiamų pasekmių: atsirado naujų, tvaresnių paslaugų pasiūla, pradėtas skatinti gamtai draugiškesnis turizmas (Liutikas ir kt., 2023). Pvz., VŠĮ „Keliauk Lietuvoje“ be tradicinių populiarių istorinių ir kultūrinių maršrutų siūlo išbandyti ekoturizmą, pasiūlyta naujų šio turizmo rūšių kryptių: Dreverna, Bitėnai, Kintai ir kt. ([www.lithuania.travel.lt](http://www.lithuania.travel.lt)). Nemažas dėmesys skiriamas sveikatos turizmui ir kelionėms šalies viduje. Pavyzdžiui, šalyje gerai žinomas kelionių organizatorius „Makalius“ sukūrė naujų vietinio turizmo produktų (pvz., sveikatos turizmas ir SPA – Pramogauk Lietuvoje) (Makalius...).

Vis dėlto Lietuvos geografinė padėtis, Ukrainoje vykstantis karas su Rusija, kaimynystė su diktatoriška Baltarusija bei migracijos krizė turi įtakos Lietuvos atvykstamojo turizmo politikai bei įvaizdžiui. Šie aspektai sukuria nesaugumo ir neįtikėjimo jausmą potencialiam užsienio šalies lankytojui.

Pagrindiniai veiksniai, turintys įtakos kelionės kryptiui ir šalies turizmui, yra kylantis pragyvenimo lygis ir ekonomikos augimas, kuro kainų didėjimas, terorizmo apraiškos, saugumas kelionės metu, didėjantis susirūpinimas aplinkos apsauga, globalizacija, suteikianti galimybę keisti gyvenamąją vietą kitoje valstybėje, naujų technologijų atsiradimas, pasikeitęs požiūris į laisvalaikį ir jo kiekį, pigių skrydžių pasiūla bei kt. (Labanauskaitė, 2020). Kaip matyti iš pateiktų teiginių, keliautojui ypač svarbu jaustis saugiai. Šiuo aspektu Lietuvos turizmo rinkodaros specialistams svarbu skleisti žinią, kad Lietuva yra patraukli tarptautinio turizmo kryptis, atsižvelgiant į dabartinių geopolitinių aktualijų kontekstą. Reikia akcentuoti, kad karas vyksta ne Lietuvoje, kad šalis yra NATO aljanso narė ir kad tai saugi turizmui šalis.

Susidariusi situacija, nestabili geopolitinė padėtis taip pat apsunkina galimybes prisivilioti tinkamų oro linijų ar kito transporto tiekėjų, kurie galėtų pasiūlyti kelionės paslaugas potencialiems turistams.

#### 6. Tyrimo pristatymas ir eiga

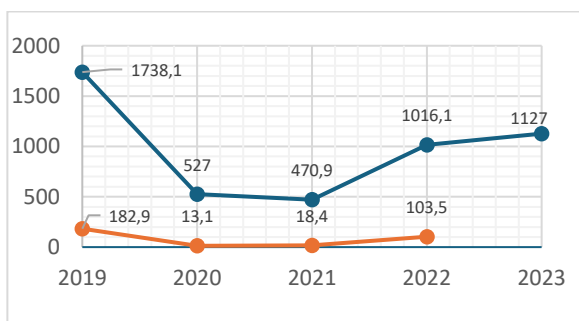
Siekiant objektyviau pateikti esamą atvykstamojo turizmo situaciją Lietuvoje pasitelkta viešai prieinamų statistikos duomenų analizė, o iškeltiems teiginiais patvirtinti remiamasi kokybiniu tyrimu – interviu su turizmo įmonių atstovais.

Norint suprasti, kodėl atvykstamajam turizmui siūloma mažai paslaugų, buvo pasitelktas kokybinio tyrimo metodas – interviu, nes jis yra informatyvesnis (Silverman, 2011). Naudoti struktūrizuoti klausimai, siekiant išsiaiškinti atvykstamojo turizmo Lietuvoje situaciją organizatorių požiūriu. Apklausta nuotoliniu skambučiu (telefonu), pokalbiai buvo įrašomi, jų trukmė iki 30 min. 2024 m. pavasarį – vasarą buvo atliktos 6 apklausos. Kalbinti turizmo įmonių vadovai, ekspertai, viešojo sektoriaus atstovai bei ilgamečiai vadybininkai. Iš viso apklaustos šešios 15 – 25 m atvykstamojo turizmo srityje patirtį turinčios įmonės iš Lietuvos, siūlančios kultūrinio turizmo objektų lankymą. Kalbintų turizmo įmonių klientai – įvairaus amžiaus turistai iš Ispanijos, Portugalijos, Vokietijos, Prancūzijos, JAV, Anglijos, Skandinavijos, Lenkijos, Australijos ir kitų šalių.



## 7. Statistikos duomenų apžvalga

Remiantis paskutinių penkerių metų Lietuvos statistikos duomenimis (5 pav.) matyti, kad atvykstamojo turizmo skaičiai kito atsivėlgiant į iškilusias krizes. Didžiausią poveikį turėjo pandemija. Atspirties tašku imami 2019 m. duomenys, nes šie metai laikomi geriausiais Lietuvos turizmo istorijoje. Apibendrinus rezultatus matyti, kad pandemijos laikotarpiu, ypač 2021 m., atvykstamojo turizmo skaičius mažėjo. Šis skaičius nepasiekė ikipandeminio lygio iki 2023 m. Remiantis Pasaulio turizmo organizacijos teikiamais statistikos duomenimis (UNWTO, 2024) matyti, kad dauguma Europos valstybių 2019 m. lygi pasiekė jau 2022–2023 metais. Lietuvoje šių skaičių nebuvo pasiekta, tam turėjo įtakos 2022 m. pasikeitusi geopolitinė padėtis regione.

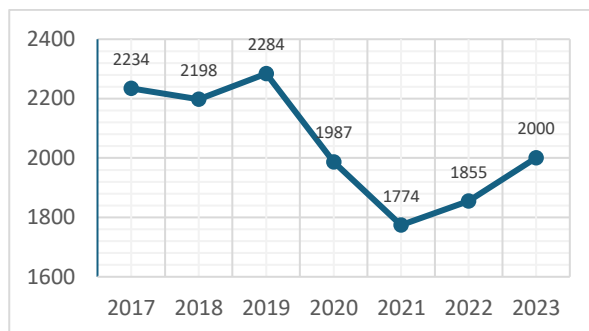


**5 pav.** Atvykstamasis turizmas, suorganizuotas turizmo įmonių Lietuvoje (Legenda: mėlyna kreivė – bendras atvykusių turistų skaičius, tūkst.; raudona kreivė – keliones organizavo ir paslaugas teikė turizmo įmonės, tūkst.)

Šaltinis: sudaryta straipsnio autorių pagal Lietuvos statistikos departamento duomenis (Statistinių rodiklių analizė...)

Penktame paveikslėlyje taip pat pateikta informacija, kiek iš atvykusių turistų buvo pakviesti kelionių organizatorių. 2019 m. įmonės keliones suorganizavo apie 10,2 proc. turistų nuo visų atvykstamojo turistų skaičiaus, 2020 m. – 2,5 procento, 2021 m. – 3,9 procento, 2022 m. – 10 procentų. Taigi, galima teigti, kad vieną dešimtadalį visų turistų Lietuvoje pritraukia turizmo įmonės, viešindamos savo veiklą tarptautiniu mastu.

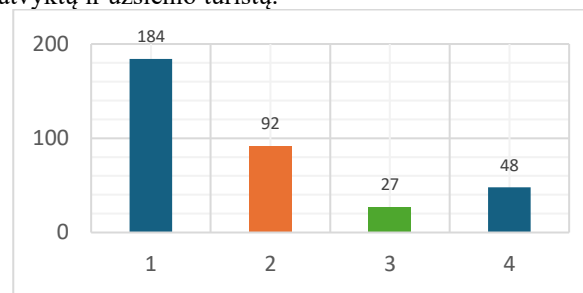
Spartus tarptautinio turizmo augimas didina darbuotojų poreikį šiame sektoriuje. Žvelgiant į paskutinių šešerių metų kelionių agentūrų ir organizatorių Lietuvoje (6 pav.) darbuotojų skaičių nuo 2017 m. iki 2019 m., kada buvo atvykstamojo turizmo pikas, akivaizdi didėjimo tendencija. Staigus darbuotojų skaičius kritimas matomas per pandemiją, kuri lėmė turizmo sektoriaus susitraukimą dėl neapibrėžtumo ir saugumo jausmo. Akivaizdus turizmo įmonių darbuotojų skaičiaus mažėjimas matomas antraisiais pandemijos metais (2021). Remiantis 2023 m. Statistikos departamento duomenimis, darbuotojų skaičius šiuo metu siekia 2000, ir tai rodo gerą turizmo plėtros ir atsigavimo tendenciją Lietuvoje, tačiau jis nepasiekė ikipandeminio lygio 2023 m., nes, kaip minėta anksčiau, šiuo laikotarpiu pasikeitė geopolitinė situacija regione.



**6 pav.** Kelionių agentūrų ir kelionių organizatorių darbuotojų skaičius 2017–2023 m.

Šaltinis: sudaryta straipsnio autorių pagal Lietuvos statistikos departamento duomenis (Statistinių rodiklių analizė...)

Apžvelgę anksčiau minėtus skaičius, matome, kad atvykstamajam turizmui Lietuvoje svarbūs turizmo organizatoriai. Išnagrinėjus turizmo įmonių, kurios organizavo ir teikė paslaugas atvykstamajam turizmui (7 pav.), skaičių, pastebima, kad jų registruota 184, iš kurių tik 48 dirba atvykstamojo turizmo srityje. Svarbu paminėti, kad jos daro didelį poveikį Lietuvos atvykstamajam turizmui, nes pritraukia daugiau kaip dešimt procentų visų atvykstančių užsienio turistų. Tikėtina, kad padidinus įmonių skaičių Lietuvoje, daugiau atvyktų ir užsienio turistų.



**7 pav.** Bendras turizmo organizatorių skaičius Lietuvoje 2023 m. (Legenda: 1 – bendras turizmo organizatorių skaičius, 2 – išvykstamasis turizmas, 3 – vietinis ir atvykstamasis turizmas, 4 – atvykstamasis turizmas)

Šaltinis: sudaryta straipsnio autorių pagal Lietuvos statistikos departamento duomenis (Statistinių rodiklių analizė...)

Galima teigti, kad Lietuvos atvykstamajam turizmui didelį poveikį daro ne tik geopolitinė padėtis ir mažas įmonių, dirbančių atvykstamojo turizmo srityje, skaičius. Kad Lietuva iki 2025 m. pasiektų 2019 m. lygį, VŠĮ „Keliauk Lietuvoje“ įmonės skaičiavimais, 2023 m. turėjo pritraukti 1,2 mln. turistų. Remiantis „Keliauk Lietuvoje“ 2023 m. turizmo biudžeto duomenimis (8 pav.), 2023 m. tikslas buvo pasiektas, tad 2024 m. galima tikėtis didesnio atvykstamojo turizmo atsigavimo ir užsienio turistų skaičiaus. Nors, pasak EIMIN, geopolitinė situacija gali kisti, ir tai gali turėti įtakos turizmo augimui (Turizmo biudžetas, 2023).



8 pav. Atvykstamojo turizmo prognozės

Šaltinis: „Keliauk Lietuvoje“ 2023 m. turizmo biudžetas  
(Turizmo biudžetas, 2023)

## 8. Interviu su turizmo įmonių atstovais pristatymas ir apžvalga

Telefoninio interviu metu įmonių atstovams buvo užduoti klausimai, susiję su įmonės patirtimi tarptautinėje turizmo rinkoje, veikla ir klientais. Respondentai sulaukė klausimų apie savo padėtį ikipandeminiu ir pandeminiu laikotarpiu atsižvelgiant į dabartinę geopolitinę situaciją, išsakė nuomonę apie viešojo ir privataus sektoriaus bendradarbiavimą Lietuvos kontekste.

Interviu metu su turizmo įmonių atstovais nustatyta, kad sulaukiama įvairaus amžiaus turistų iš visų pasaulio šalių, daugiausia iš Europos. Atvyksta lankytojai iš Ispanijos, Portugalijos, Ispanijos, Vokietijos, Prancūzijos, JAV, D. Britanijos, Skandinavijos šalių, Lenkijos, Australijos, Suomijos, Nyderlandų. Dauguma paslaugų susijusios su kultūrinio turizmo objektais.

Intervantų paprašius nurodyti motyvus, kodėl užsienio šalių turistai renkasi keliones po Lietuvą, ir apibendrinus atsakymus, galima išskirti šias priežastis:

- Lietuva – nauja, dar neatrasta kryptis;
- bendra istorija;
- gera paslaugų kokybė;
- saugi šalis;
- šalis nėra susidūrusi su masinio turizmo problemomis.

Teirautasi, kas lemia kelionės pasirinkimą? Pateiktos 9 priežastys ir prašyta jas įvertinti penkiabalėje sistemoje (1 – mažiausias, 5 – didžiausias įvertis): saugumo situacija, lankomos šalies infrastruktūra, paslaugų kokybės ir kainų santykis, gamtinių ir kultūrinių turizmo išteklių įvairovė ir unikalumas, ekonominis šalies išsivystymo lygis, klimatas, geografinė padėtis, geopolitinė situacija, paslaugų įvairovė arba nepaminėtos priežastys. Atsakymai pasiskirstė netolygiai. Dažniausios kelionės pasirinkimo priežastys: saugumo situacija šalyje, geopolitinė situacija ir geografinė padėtis. Respondentai taip pat paminėjo, kad turizmo plėtrai svarbu lankomos šalies infrastruktūra, paslaugų kokybės ir kainų santykis, pritarė, kad šalies turizmui svarbu gamtinių bei kultūrinių turizmo išteklių įvairovė ir palankus klimatas (tiesa, klimatas intervantų vertintas žemesniu balu, nes turistams patinka vėsesnės vasaros).

Visi kalbinti turizmo profesionalai pritarė, kad geriausi metai turizmui buvo 2019 m., o pagrindinės to priežastys – Lietuvos, kaip turizmo krypties,

populiarumas bei ekonominiai motyvai (keliautojai turėjo daug pinigų ir galėjo daug ir saugiai keliauti).

Į klausimą apie pandemijos poveikį įmonės veiklai visi respondentai paminėjo šio laikotarpio pokyčius jų įmonės viduje – atsisakyta biuro nuomos, darbuotojų skaičius sumažėjo iki 30 proc. Vienas respondentas vaizdžiai pasakė, kad „pandemija smogė visa jėga ir, kaip ir visam pasauliui, pririekė bemaž penkmečio pasiekti turėtus skaičius“.

Paklausti apie karo Ukrainoje poveikį savo veiklai ekspertai paminėjo, kad šis įvykis buvo kaip antra pandemija, lėmusi didelį neapibrėžtumą (sunku numatyti įmonės ateities planus), neliko apie 30 proc. turistų iš Rytų (Rusija, Baltarusija, Kinija ir kt.). Tačiau tuo pat metu įmonės pajuto šokių tokių atsigavimą 2023 m. ir išvelgė pozityvių permąnų 2024 m. Karas taip pat turi milžinišką įtaką visam regiono saugumui, veikia turistų nuotaikas. Dažnam europiečiui, o ką jau kalbėti apie kitų žemynų gyventojus, esame nesaugus regionas.

Norint pritraukti daugiau turistų į Lietuvą, anot ekspertų, reikia pasitelkti įvairias priemones. Visų pirma būtinas sklandus bendradarbiavimas, viešojo ir privataus sektoriaus dialogas. Šios priemonė padėtų įtikinti, kad esame saugus regionas. Taip pat svarbu mažinti biurokratiją, skatinti verslą suteikiant paramą tarptautinei viešinimo veiklai (pvz., suteikti galimybę nemokamai dalyvauti turizmo mugėje), gerinti šalies infrastruktūrą bei skleisti pozityvią informaciją apie šalį užsienio rinkoms.

## Išvados

Atlikus analizę nustatyta, kad darniai tarptautinio turizmo plėtrai Lietuvoje trukdo:

1. Lietuvoje per mažai turizmo organizatorių, kurie dirba atvykstamojo turizmo srityje, todėl svarbu didinti šios srities įmonių skaičių.
2. Sklandaus bendradarbiavimo trūkumas tarp viešojo ir privataus sektorių, kas lemia ilgą komunikacijos kelią ir biurokratijos mastą.
3. Vieningo rinkodaros plano tarp viešojo ir privataus sektoriaus, kas skleistų žinią apie Lietuvos potencialą tarptautinėje turizmo rinkoje, nebuvimas.
3. Geopolitinė situacija (netoliese vykstantis karas tarp Rusijos ir Ukrainos, migracijos antplūdis iš Baltarusijos) sukuria įvaizdį apie Lietuvą kaip nesaugią turizmo šalį. Interviu metu išsiaiškinta, kad turizmo įmonės neteko apie 30 procentų turistų iš Rytų. Taigi, įgytas nesaugaus regiono statusas tolesnių regionų atžvilgiu.
4. Turizmo organizatoriai, dirbantys atvykstamojo turizmo srityje. 2023 m. Lietuvoje įregistruotos 48 įmonės, kurios 2022 m. pritraukė 10 procentų turistų nuo atvykusių turistų skaičiaus. Svarbu skatinti šių įmonių veiklą, norint padidinti tarptautinių turistų skaičių.
5. Lietuvoje sulaukiama turistų iš visų žemynų, daugiausia iš Ispanijos, Portugalijos, Ispanijos, Vokietijos, Prancūzijos, JAV, D. Britanijos, Skandinavijos šalių, Lenkijos, Australijos, Suomijos, Nyderlandų. Šie lankytojai Lietuvą rinkosi dėl naujos krypties,

bendros istorijos, geros paslaugų kokybės ir saugumo.

## Rekomendacijos

1. Turizmo sektoriaus kontrolės ir stebėsenos funkcijos skirtos Ekonomikos ir inovacijų ministerijai, kuri šią veiklą yra perdavusi Lietuvos turizmo tarybai ir Turizmo politikos skyriui (LR turizmo įstatymas). Ši struktūra pailgina kelią tarp sprendimo priėmėjų ir vykdytojų. Rekomenduotina stiprinti įstaigų, atsakingų už turizmą, bendradarbiavimą, suteikti galimybę įgyvendinti priimtus bendrus sprendimus.
2. Lietuvoje atvykstantojo turizmo srityje dirba 48 įmonės, kurios pritraukia dešimt procentų nuo visų atvykstančių turistų, tad rekomenduotina peržiūrėti turizmo įmonių reguliacinę sistemą ir sukurti skatinimo programą stiprinti esamų įmonių veiklą bei naujų įmonių steigimą.
3. Išanalizavus Lietuvos turizmo organizatorių ir įmonių, kurios dirba atvykstantojo turizmo srityje, veiklą pastebimas teikiamų turizmo paslaugų vienodumas tarp kaimyninių šalių. Rekomenduojama turizmo organizatoriams rasti ir rinkai pateikti potencialiai išskirtinius turizmo produktus, kurie būtų patrauklūs tarptautinėje turizmo rinkoje.
4. Lietuvoje turime vieną nacionalinį turizmo skatinimo agentūrą „Keliauk Lietuvoje“ ir pavienės iniciatyvas iš savivaldybių („Go Vilnius“). Tai rodo nevisavertę ir nenuoseklų turizmo rinkodaros finansavimą. Rekomenduotina numatyti pastovų ir nuoseklų finansavimą, kuris leistų planuoti rinkodaros strategiją bei paskirti atsakingas institucijas už šios veiklos organizavimą ir stebėseną, taip pat skatintini glaudesnį bendradarbiavimą.

## Literatūra

- Centre of Promotion of Imports from Developing Countries Prieiga per internetą: <<https://www.cbi.eu>>
- Horne, S., Swarbrooke, J. (2020). *Consumer Behaviour in Tourism*. London: Routledge
- Labanauskaitė, D. (2020). *Tarptautinio turizmo plėtra ir ekonominis vertinimas*. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla
- Lietuvos sporto enciklopedija. (n.d.). *Lietuvos turizmo taryba*. Prieiga per internetą: <<https://www.lse.lt/lietuvos-turizmo-taryba/>>
- Lietuvos statistikos departamentas. Prieiga per internetą: <[www.osp.stat.gov.lt](http://www.osp.stat.gov.lt)>
- Lietuvos turizmo įstatymas (naujoji redakcija). Prieiga per internetą: <<https://www.infolex.lt/teise/DocumentSinglePart.aspx?AktId=147549&StrNr=1#>>
- Liutikas, D., Pociūtė-Sereikienė, G., Baranauskienė, V., Kriauciūnas, E. ir Burneika, D. (2023). *Turizmas Lietuvoje: pokyčiai ir perspektyvos besikeičiančiame pasaulyje*. Lietuvos socialinių mokslų centras.
- Makalius. Prieiga per internetą: <[https://www.makaliuslietuva.lt/?utm\\_source=makalius-menu-desktop&utm\\_medium=page](https://www.makaliuslietuva.lt/?utm_source=makalius-menu-desktop&utm_medium=page)>
- Pasaulio turizmo organizacija. (n.d.). *International tourism and COVID-19*. Prieiga per internetą:

<<https://www.unwto.org/tourism-data/international-tourism-and-covid-19>>

International Labour Organization. (n.d.). *Promotion and Marketing in Tourism*. Prieiga per internetą: <[https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed\\_dialogue/@sector/documents/instructionalmaterial/wcms\\_218329.pdf](https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_dialogue/@sector/documents/instructionalmaterial/wcms_218329.pdf)>

Raguckas, J. (n.d.). *Turizmo industrija Lietuvoje*. Virtuali lietuviška enciklopedija. Prieiga per internetą: <<https://www.vle.lt/straipsnis/turizmo-indistrija-lietuvoje/>>

Silverman, D. (2011). *Doing Qualitative Research*. London: Sage.

Statista. (n.d.). *Global tourism*. Prieiga per internetą: <<https://www.statista.com/topics/962/global-tourism/#topicOverview>>

Statistinių rodiklių analizė. (n.d.). Prieiga per internetą: <[https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?indicator=S8R701#/>](https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?indicator=S8R701#/)>

Page, S. J., & Connell, J. (2020). *Tourism: A modern synthesis*. Routledge.

Turizmo biudžetas 2023 m. (2023). *Turizmo Taryba 2023 planai*. Prieiga per internetą: <[https://eimin.lrv.lt/uploads/eimin/documents/files/Turizmo%20Taryba\\_2023%20planai\\_final.pdf](https://eimin.lrv.lt/uploads/eimin/documents/files/Turizmo%20Taryba_2023%20planai_final.pdf)>

Turizmo plėtotos strategija. (n.d.). Prieiga per internetą: <<https://eimin.lrv.lt>>

UNWTO. (2011). *Tourism Towards 2030 Global Overview*. Prieiga per internetą: <[https://www.globalwellnesssummit.com/wp-content/uploads/Industry-Research/Global/2011\\_UNWTO\\_Tourism\\_Towards\\_2030.pdf](https://www.globalwellnesssummit.com/wp-content/uploads/Industry-Research/Global/2011_UNWTO_Tourism_Towards_2030.pdf)>

Užsienio reikalų ministerija. (n.d.). *Lietuva išrinkta į Jungtinių Tautų Pasaulio turizmo organizacijos vykdomąją tarybą*. Prieiga per internetą: <<https://www.urm.lt/default/lt/naujienos/lietuva-istrinkta-i-jungtiniu-tautu-pasaulio-turizmo-organizacijos-vykdomaja-taryba>>

UNWTO. (n.d.). *Tourism development products*. Prieiga per internetą <<https://www.unwto.org/tourism-development-products>>

Valstybinė vartotojų teisių apsaugos tarnyba. (n.d.). Turizmo paslaugų teikėjai. Prieiga per internetą: <<https://www.vvtat.lt/vartojimo-paslaugos/turizmo-paslaugos/turizmo-paslaugu-teikejai/128>>

VŠĮ „Go Vilnius“. (n.d.). Apie Go Vilnius. Prieiga per internetą: <<https://www.govilnius.lt/apie-go-vilnius>>

VŠĮ „Keliauk Lietuvoje“. (n.d.). Prieiga per internetą: <[www.keliauklietuvoje.lt](http://www.keliauklietuvoje.lt)>

The G-spot of Europe. (n.d.). Prieiga per internetą: <[www.vilniusgspot.lt](http://www.vilniusgspot.lt)>

Žydzūnaitė, V. (2017). *Kokybiniai tyrimai: principai ir metodai*. Vilnius: Vaga.

## CHALLENGES AND PROSPECTS FOR INBOUND TOURISM IN LITHUANIA

Jelena Ščedrovienė, Salomėja Vanagienė

Vilniaus kolegija/Higher Education Institution

**Summary.** Today, tourism can be described as one of the most important engines of the economy and one of the main products of social life. Since Lithuania's independence, international tourism has been successfully developed in Lithuania and in 2019 Lithuania received a record number of tourists from abroad. However, the pandemic, the war in Ukraine

and the somewhat irresponsible actions of the institutions responsible for tourism policy and development have negatively affected the situation of inbound tourism in the country. There is a lack of smooth cooperation between the public and private tourism sectors, a lack of a unified marketing strategy and a lack of a more responsible attitude of the state towards the formulation and administration of tourism policy. The country still lacks quality tourism infrastructure, more unique and attractive tourism products, and too few companies involved in

inbound tourism. To improve the situation of inbound tourism in Lithuania, it is recommended to create a state department in charge of tourism control and monitoring, provide unique products for the tourism market, improve the basic tourism infrastructure, implement a unified marketing policy, and finance the creation of new tourism enterprises.

**Key words:** inbound tourism, geopolitical situation, tourism statistics, tourism development, international tourism.

# VANDENILIO KURO ELEMENTŲ IR LIČIO AKUMULIATORIŲ NAUDOJIMO BEPILOČIUOSE ORLAIVIUISE LYGINAMOJI ANALIZĖ

Robert Mickevič

Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58-1, Vilnius

**Anotacija.** Atnaujinus pasaulinės klimato kaitos politikos tikslus viešojoje erdvėje buvo paskatinta atsinaujinančių energijos šaltinių integracija Europos Sąjungos šalių rinkose. Prognozuojami reikšmingi antžeminių, požeminių ir oro transporto priemonių energijos šaltinių pokyčiai. Šie pokyčiai atsirado dėl naujų nulinės CO<sub>2</sub> emisijos planų, kuriais siekiama sumažinti transporto sektoriaus išmetamų teršalų kiekį. Pagrindinė mokslinio straipsnio tema – bepiločiuose orlaiviuose naudojami vandenilio kuro elementai. Išsamiai išnagrinėtas vandenilio kuro elementų energijos šaltinis, juo varomos bepilotės skraidyklės prototipo konstrukcijos sudedamosios dalys ir Lietuvos vandenilio sektoriaus plėtros gairės. Palygintos ličio jonų akumuliatorių, ličio polimero akumuliatorių ir vandenilio kuro elementų bepilotėms skraidyklėms technologijos. Nustatyti skirtingų energijos šaltinių tipų privalumai ir trūkumai, efektyviausias bepiločių orlaivių energijos šaltinis.

**Reikšminiai žodžiai:** bepilotės skraidyklės, vandenilio energetika, ličio jonų akumuliatoriai, ličio polimerų akumuliatoriai.

## IVADAS

Vykstant Europos valstybių energetikos sektorių pertvarkai švarios energetikos link keičiamos valstybinės bei privačių kompanijų energijos tiekimo grandinės. Europos Sąjungos siekis – iki 2030 metų sumažinti šiltnamio efekta sukeliančių dujų išmetimą 55 %, o iki 2050 metų tapti klimatui neutraliomis ES šalimis. Klimatui neutrali šalis reiškia, kad šalies pramonės bei ūkinių vienetų išmetamų šiltnamio efekta sukeliančių dujų emisija turės būti lygi 0 %. Tai paskatino vandenilio energetikos plėtrą ES valstybėse. Kuriamos išmaniosios elektros tinklų sistemos (*angl. Smart Grids*) sudaro prielaidas rinkoje naujoms technologijoms (Tarkowski, 2021).

Lietuvos Respublikoje numatytas vandenilio energetikos sektoriaus plėtros planas 2023–2030 metams, pokyčiai susieti su Aštuonioliktosios Lietuvos Respublikos Vyriausybės programa, kurios daliai pritarta Lietuvos Respublikos Seimo 2020 m. gruodžio 11 d. nutarimu Nr. XIV-72 ir patvirtinta Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2021 m. kovo 10 d. nutarimu Nr. 155 (LRS, 2023). Lietuvos Respublikos energetikos ministerijai įgyvendinus 2023 metų gairių nuostatas ruošiamas planas kitoms LR ministerijoms. Gairių įgyvendinimo priemonių planą įgyvendina LR ekonomikos ir inovacijų ministerija, LR susisiekimo ministerija, LR finansų ministerija, LR aplinkos ministerija, ir LR švietimo, mokslo ir sporto ministerija. Prie gairių nuostatų įgyvendinimo turi prisidėti Valstybinė energetikos reguliavimo taryba, Lietuvos geologijos taryba prie Aplinkos ministerijos, AB „Klaipėdos valstybinio jūrų uosto direkcija“, valstybės valdomos energetikos įmonės, mokslo ir studijų institucijos. Elektros ir dujų skirstymo tinklų restruktūrizacija bei skaitmenizacija skatina aptarnaujančias išmaniuosius miestus prižiūrinčių technologijų diegimą didmiesčiuose bei Lietuvos regionuose.

2020 metais COVID-19 pandemijos metu padidėjo technologijų, kurių paskirtis – užtikrinti geresnę gyvenimo kokybę po socialinio atsiribojimo, paklausa. Buvo sudarytos itin palankios sąlygos bepiločių skraidyklių ir civilinių dronų plėtrai. Pastaruoju metu mokslininkų bendruomenę labiausiai

domino mažų dronų pristatymo, agrokultūros, nuotolinio stebėjimo, patruliavimo, terminio atvaizdavimo ir kito darbo pandemijos COVID-19 sąlygomis galimybės (Abiyev ir kiti, 2023). Naudojant civilinės paskirties dronus įvairiuose sektoriuose buvo iškeltas tinkamiausias jiems energijos šaltinio pasirinkimo klausimas.

**Tyrimo tikslas** – išnagrinėti bepiločių orlaivių naudojamą vandenilio kuro elemento energijos šaltinio efektyvumą. Palyginti vandenilio kuro elemento perspektyvas su kitais populiariais energijos šaltiniais, naudojamais civiliniuose dronuose.

### Tyrimo tikslui pasiekti iškelti uždaviniai:

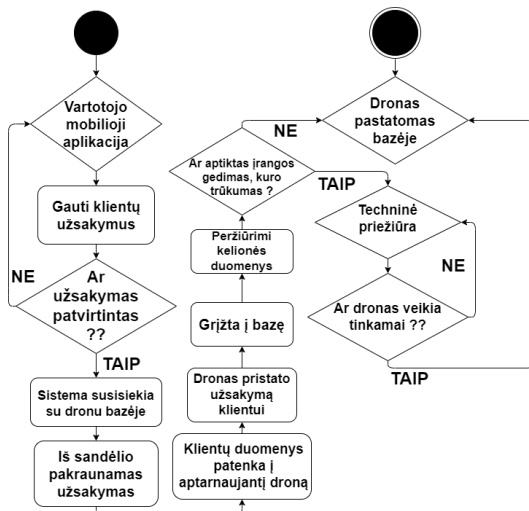
1. Apžvelgti Lietuvos energetikos sektoriaus politikos kryptį ir infrastruktūros reformas.
2. Išnagrinėti vandenilio energetikos sektoriaus potencialą ir jo įtaką transporto bei logistikos sektoriams.
3. Išanalizuoti vandenilio kuro elemento energijos šaltinio eksploatacijai būtinas sąlygas ir infrastruktūrą.
4. Palyginti įvairių energijos šaltinių, naudojamų bepiločiuose orlaiviuose, privalumus ir trūkumus.

Šis darbas apima politikų, ekonomistų, nagrinėjančių atsinaujinančią energetiką, darbus, mokslinius straipsnius apie švarios energetikos kryptį Europos Sąjungoje ir pritaikymą. Darbe susisteminti inžinierių, chemikų, programuotojų ir įrangos gamintojų moksliniai darbai, kuriuose tiriama ar aprašoma bepiločių orlaivių ir skraidyklių autonominės skrydžių sistemos, dronų technologijos, transporto priemonėse naudojami ličio akumuliatoriai ir vandenilio kuro elementai.

## 1. Civilinės paskirties bepiločiai orlaiviai ir jų infrastruktūra

Didėjant mažų elektra varomų dronų paklausai įvairiuose pramonės sektoriuose atsirado poreikis plėsti reikiamą infrastruktūrą. Vienas didžiausių iššūkių mažiems dronams yra labai ribotas jų skrydžių laikas. Ši problema sprendžiama testuojant įvairių energijos šaltinių pritaikymą bepilotėse skraidyklėse. Europos Sąjungos šalis, plėtojančios vandenilio kuro tiekimo grandines, planuoja įrengti vandenilio kuro

elementais varomo antžeminio bei oro transporto kuro pildymo stoteles. Todėl Olandijos mokslo bendruomenė sutelkė dėmesį ties vandenilio kuro elementų panaudojimu bepiločiuose orlaiviuose (van Benthem ir kiti, 2020). Naudojant vandenilį išsprendžiama civilinių dronų riboto skrydžio laiko problema ir atsiranda galimybė kurti mažo ir vidutinio dydžio prekių pristatymo dronais logistikos sistemas. Tokią logistikos sistemą sudaro mobiliosios aplikacijos ir kitos elektroninės prekybos platformos, skirtos užsakymų registracijai, GPS navigacinė sistema, reguliuojanti dronų skrydžio trajektorijas, antžeminės dronų valdymo stotys ir degalų papildymo sistemos.



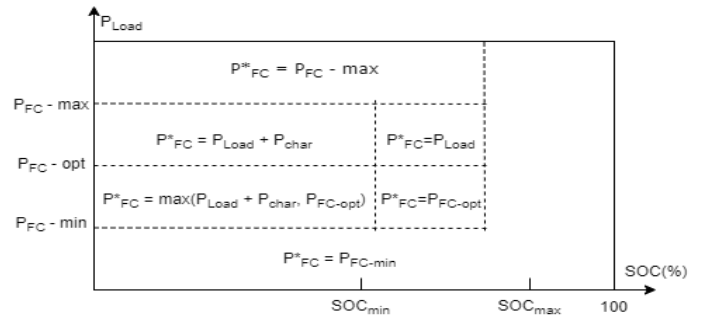
1 pav. Pristatymo dronais sistema  
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Taip pat taikomi dronų skrydžių valdymo sistemų sprendimo būdai, didinantys naudojamų baterijų ar kito tipo elementų efektyvumą. Šiuo metu eiliniam vartotojui rinkoje prieinamos kelios atvirojo kodo bepiločių orlaivių antžeminės valdymo stotys – *Mission Planner*, *APM Planner 2.0*, *MAV Proxy*, *Qground Control* ir t. t. Mokslininkų bendruomenė, tyrusi vandenilio kuro elementais varomo drono variklio galimybes testuojamiems dronams valdyti, naudojo *APM Planner 2.0* programinę įrangą (Boukoberine ir kiti, 2021). *APM Planner 2.0* yra antžeminės valdymo stoties autopilotas, pagrįstas *MavLink* protokolais, kurie yra palaikomi *Windows*, *Linux* ir *Mac OSX* operacinių sistemų. Šioje programinėje įrangoje tai pat įdiegti efektyvaus energijos paskirstymo skraidyklėse funkcijas užtikrinantys algoritmai. Vandeniliu varomose bepilotėse skraidyklėse energijos našumui skaičiuoti naudojami RB-EMS, FSRB-EMS ir ECMS modeliai.

Taisyklėmis pagrįsta energijos valdymo strategija (angl. *Rule-based energy management strategy*). Kompanijos „Intelligent Energy“ gaminamuose vandenilio kuro elementuose galios moduliai paremti „jeigu – tuomet“ (angl. *if-then*) taisyklėmis. Šie algoritmai užtikrina, kad drono naudojamas vandenilio kuro elementas tiekų tam tikrą fiksuotą nominalią galią, būtina dronui sklandyti ore neatsižvelgiant į jo apkrovą. Akumuliatoriaus baterija tiekia

papildomą galios kiekį bepilotei skraidyklei esant apkrovoms ir skraidyklėse įmontuota akumuliatoriaus baterija yra įkraunama, kai vandenilio kuro elemento nominali galia viršija drono apkrovą.

Šiame taisyklėmis pagrįstame algoritme  $SOC_{max}$  – maksimalus baterijos veikimo laikas,  $SOC_{min}$  – minimalus baterijos veikimo laikas,  $P_{char}$  – įkrovimo galia,  $P_{FC-max}$  – maksimali kuro elemento išėjimo galia, būtina akumuliatoriaus baterijai įkrauti,  $P_{FC-opt}$  – optimali kuro elemento išėjimo galia,  $P_{FC-min}$  – minimali kuro elemento išėjimo galia. Baterijos veikimo laiko SOC ir bepilotės skraidyklės apkrovos galios  $P_{Load}$  duomenys sudaro kintamojo tipo duomenis.



2 pav. Skraidyklių autopilote numatytas optimalus energijos paskirstymo algoritmas – „Rule-based algorithm“  
Šaltinis: Boukoberine, Zia, Benbouzid, Zhou, Donateo, 2021

Elektrocheminio modelio valdymo strategija (angl. *ECMS*). Strategija skirta sumažinti drone esančio vandenilio kuro elemento bei kitų skraidyklės energijos kaupimo šaltinių tiesioginį vandenilio sunaudojimą pailginant drono veikimo laiką. Pagal elektrocheminį modelį akumuliatoriaus baterijos virtualus vandenilio sunaudojimas yra proporcingas jo energijai, padaugintai iš ekvivalentiškumo faktoriaus  $\lambda$  (angl. *equivalence factor*). Jis priklauso nuo akumuliatoriaus baterijos veikimo laiko SOC ir empiriškai gali būti išreikštas šia formule (Boukoberine, Zia, Benbouzid, Zhou, Donateo, 2021):

$$\lambda = 1 - 2\beta \left[ \frac{SOC - 0.5(SOC_{max} + SOC_{min})}{SOC_{max} + SOC_{min}} \right] \quad (1)$$

$\beta$  yra balanso koeficientas, kuris žymi įkrovimo ir iškrovimo procesus. Ekvivalentiškumo faktorius  $\lambda$  yra vienas svarbiausių parametru elektrocheminiame modelyje. Kuo jis didesnis tuo daugiau vandenilio sunaudojama akumuliatoriaus baterijos įkrovai.

## 2. Ličio baterijoms ir vandenilio kuro elementais varomų dronų apžvalga

Bepiločių skraidyklių rinkoje yra keli populiariausi energijos šaltinių tipai – ličio jonų (angl. *Li-ion*) akumuliatoriaus baterijos, ličio polimerų (angl. *LiPo*) akumuliatoriaus baterijos ir vandenilio kuro elementai. Vandenilio kuro elementų technologija laikoma perspektyviausia netolimoje ateityje (Tarkowski, 2021). Atsižvelgiant į skirtingų energijos šaltinių naudojimą

skraidyklėse reikia nustatyti jų parametrus. Straipsnyje išnagrinėta europos gamintojų produkcija. Prancūzijos belaidžių produktų gamintojo Parrot SA produkcija – Parrot dronai ir Karališkojo Nyderlandų aviacijos ir kosmoso centro (angl. NLR) gamybos bepilotės skraidyklės Hydra.

### Tiriami dronai

Parrot Anafi Ai. Oficialioje įmonės Parrot SA interneto svetainėje paskelbti mažos bepilotės skraidyklės Parrot Anafi Ai techniniai duomenys. Šių mažų dronų paskirtis – kartografavimas, geodezinis tyrimas, 3D modeliavimas, automatizuotas stebėjimas, vaizdo įrašų kūrimas ir kita mėgėjiška veikla. Civilinės paskirties dronai Parrot Anafi Ai turi įdiegtus 4G komunikacijos standartus ir išmaniają kliūčių išvengimo sistemą. Šie maži dronai valdomi mobiliąja aplikacija FreeFlight 7, kuri skirta iOS, Android ir MacOS operacinėms sistemoms, taip pat turi atvirojo kodo programinę įrangą Parrot Drone SDK darbui Linux operacinėje sistemoje.



3 pav. Gamintojo Parrot civilinis dronas Anafi Ai  
Šaltinis www.parrot.com

1 lentelė. Parrot Anafi Ai techniniai duomenys

Dronas	Parrot Anafi Ai
Vandenilio cilindras	Nėra
Vandenilio kuro elementas	Nėra
Akumuliatoriaus baterija	LiPo 6800 mAh 4.4 V
Drono svoris	898 g
Keliamoji galia (kg)	Nenumatyta
Maks. skrydžio trukmė (min)	32 minutės
Autopilotas	Air SDK arba Ground SDK

Šaltinis www.parrot.com

Išanalizavę šios skraidyklės techninius parametrus matome, kad dėl nedidelio svorio tokio tipo skraidyklė yra mažai apsaugota arba neapsaugota nuo nepalankių oro sąlygų, tokių kaip stiprus vėjas, didesni krituliai ir t. t. Taip pat joje naudojamas energijos maitinimo šaltinis suteikia galimybę be įkrovimo skraidyti tik 32 minutes. Šis veiksnys labai apriboja oro patruliavimo galimybes.

Karališkojo Nyderlandų aviacijos ir kosmoso centro bepilotis orlaivis Hydra1. Šiame centre testuojami vandenilio kuro elementais varomi bepiločiai orlaiviai Hydra išbandant įvairius energijos šaltinius ir skraidyklių konstrukcijos variacijas. Kol kas šios skraidyklės modelis nėra masiškai gaminamas ir laisvai prieinamas rinkoje. Šį bepilotį orlaivį galima valdyti pasirinkus keletą autopiloto ir valdiklių variacijų. Gali būti naudojamas Pixhawk 4 skrydžio valdiklių

rinkinys, su kuriuo suderinama PX 4 programinė įrangą, arba antžeminė valdymo stotis Mission Planner kartu su Ardu Pilot atvirojo kodo autopilotu. Ši antžeminė valdymo stotis ir autopilotas gali būti įrašyti į kompiuterius ar kitą įrangą, naudojančią Windows, Linux, MacOS, iOS ar Android operacines sistemas. Skraidyklės Hydra-1 bandomosios versijos neturi kamerų aplinkai filmuoti ar kartografiniam vaizdui sudaryti, tačiau prireikus jos gali būti sumontuotos.



4 pav. Nyderlandų aviacijos ir kosmoso centro dronas Hydra-1  
Šaltinis: www.nlr.org

2 lentelė. NLR gamintojo Hydra-1B techniniai duomenys

Dronas	Hydra-1B
Vandenilio cilindras	2x3L-7.2L 300 bar
Vandenilio kuro elementas	Intelligent Energy 2 x 800W
Akumuliatoriaus baterija	IPC S6 1800 mAh ir 6S 5000mAh
Drono svoris	12 kg
Keliamoji galia (kg)	0.5-1 kg
Maks. skrydžio trukmė (min)	60-95 minutės
Autopilotas	Pixhawk 4 ir Arducopter 3.6.5

Šaltinis: www.nlr.org

Išanalizavę skraidyklės Hydra1B techninius parametrus matome, kad šis aparatas turi hibridinę energijos palaikymo sistemą, sudarytą iš dviejų vandenilio cilindrų, dviejų 800 W galios vandenilio kuro elementų, vienos 6S 1800 mAh akumuliatoriaus baterijos ir vienos rezervinės 6S 5000 mAh akumuliatoriaus baterijos. Papildomos ličio jonų arba ličio polimerų baterijos skirtos skraidyklei aprūpinti papildoma energija, kai vandenilio kuro elemento tiekiamos energijos būna per mažai, ir testuojamai skraidyklei grąžinti į bazę pasitelkiant rezervinį energijos maitinimą. Išanalizavę pateiktus techninius duomenis galime daryti išvadą, kad vandenilio kuro varoma skraidyklė turi kur kas didesnę krovinių keliamąją galią, pati skraidyklė taip pat daugiau sveria. Palyginus su dronais Parrot Anafi Ai olandų testuojamas dronas Hydra-1B sveria 13,36 kartų daugiau ir turi 0.5–1.0 kg keliamosios galios kroviniui. Taip pat drono Hydra-1B maksimali skrydžio trukmė – 60–95 minutės kas yra 2–3 kartais ilgiau negu skraidyklės Parrot Anafi Ai. Aiškiai matome, kad bepiločiai orlaiviai, naudojantys vandenilio kurą, yra kur kas didesni ir sunkesni negu ličio jonų ir ličio polimero akumuliatoriaus baterijų energija varomi dronai. Taip pat

naudojant vandenilio kurą dėl ilgesnės skrydžių trukmės paprasčiau nuolat patruliuoti oro erdvėje, pristatyti prekes ir kitos paskirties krovinius sunkiai prieinamuose vietovėse arba regionuose, kur tradicinės logistikos transportavimo kaštai dideli.

### 3. Vandenilio kuro elementų technologija

Siekiant atitikti nulinės kenksmingų išmetamųjų dujų emisijos politikos kursą naujos kartos transporto priemonėse integruoti varikliai, naudojantys vandenilio kurą. Vandenilis yra lengviausias ir labiausiai paplitęs elementas. Žymimas simboliu H su atominiais skaičiumi 1 ir jo atominė masė lygi 1,008. Dujinės formos vandenilis žymimas H<sub>2</sub>. Industrinis vandenilio gavybos būdas yra gamtinių dujų pavertimas garais arba vandens elektrolize. Šiuo metu aktyviai nagrinėjami galimi vandenilio kuro sandėliavimo ir vandenilio degalų bako integravimo antžeminiame transporte sprendimai. Vandenilis gali būti saugomas cilindruose skysčio arba dujų pavidalu (Bartosik ir kt., 2016). Didžiosios Britanijos kompanijoje „Intelligent Energy“ siūlomi vandenilio cilindrai dronams yra dviejų kategorijų – 3 arba 4 tipo. 3 tipo cilindrai turi vidinį aliuminio apvalkalą su anglies pluošto plėvele, 4 tipo cilindrai – vidinį plastikinį apvalkalą su anglies pluošto plėvele. Dažniausiai šios paskirties vandenilio cilindrių dronų talpa gali būti 2 litrų, 3 litrų, 4,7 litrų, 6 litrų, 7,2 litrų, 9 litrų ir juose laikomos vandenilio dujos suspaustos 300–350 barų slėgiu. Dažniausiai dronų gamintojai renka 6 litrų vandenilio cilindrių standartą. Taip pat britų kompanija ateičiai numatys 5 tipo vandenilio cilindrus dronams, kurių struktūroje neliks vidinių apvalkalų.



**5 pav.** Vandenilio cilindrai bepiločiams orlaiviams  
Šaltinis: N. Gavrilovič, D. Vinčekovič, J-M Moschetta 2019

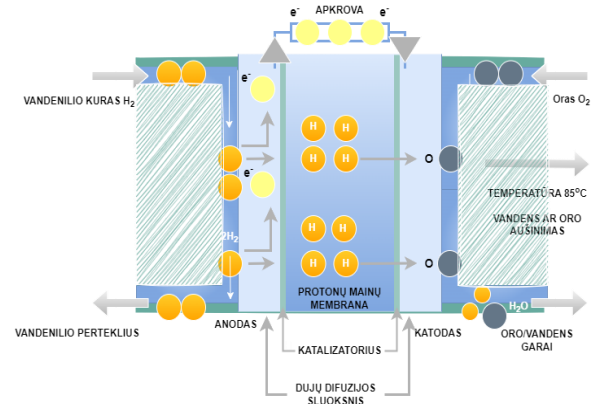
Kuro sąnaudų skaičiavimas:

- Sistemos efektyvumas priklauso nuo apkrovos, eksploatacijos laikotarpio ir veikimo sąlygų.
- Cilindre esančio vandenilio masė proporcinga slėgiui.

$$Kuro\ sąnaudos = \frac{Galija\ W}{Vandenilio\ ener.vertė\ x\ efektyvumo\ koef.} \quad (2)$$

Vidutinis vandenilio kuro elementais varomo bepiločio orlaivio variklio galios poreikis yra 33,3 Wh/g vandenilio

energijos. Gamintojo „Intelligent Energy“ vandenilio kuro elementų 2400 W ir 800 W sistemos efektyvumas apytiksliai siekia 0,55 efektyvumo koeficientą eksploatacijos pradžioje ir 0,45 efektyvumo koeficientą eksploatacijos pabaigoje.



**6 pav.** Vandenilio kuro elemento veikimo principas  
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Vandenilio kuro elementas dar vadinamas protono mainų membranos kuro elementu (*angl. PEM fuel cell*). Jame į anodą tiekiamas vandenilio kuras, o į katodą oras. Tuomet vandenilio kuro elemente ant anodo esantis katalizatorius atskiria vandenilio molekules į protonus ir elektronus, kurie skirtingais keliais juda link katodo. Elektronai juda išorine grandine taip sudarydami elektros srovę.

Protono mainų membranos kuro elementai yra populiarūs naujos kartos dronuose dėl tokių savybių kaip greita veiklos pradžia ir žema darbinė temperatūra. Kuro elemento išėjimo įtampa  $V_{fc}$  susidaro pagal šią formulę (Boukoberine, Zia, Benbouzid, Zhou, Donateo, 2021):

$$V_{fc} = E_{OC} - V_{act} - V_{Ohm} \quad (3)$$

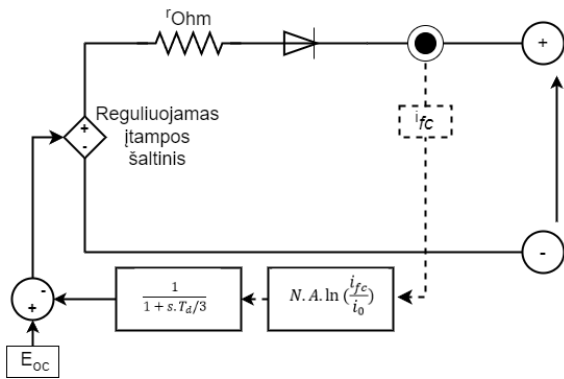
Kitas reikšmes gauname panaudoję šias formules:

$$V_{act} = A \cdot \ln(i_{fc}/i_0) \cdot \frac{1}{1+s \cdot T_d/3} \quad (4)$$

$$V_{Ohm} = r_{Ohm} \cdot i_{fc} \quad (5)$$

Čia:  $E_{OC}$  yra tuščios eigos įtampa (V), tai yra įtampa (V) atviroje grandinėje. Ją lemia cheminės termodinaminės reakcijos.  $V_{act}$  yra aktyvacijos įtampos kritimas, susijęs su elektrodo paviršiuje vykstančių reakcijų lėtumu.  $V_{Ohm}$  žymi varžos nuostolius, sukeltus pasipriešinimo elektronų srautui, tekančiam per kuro elemento sujungimus ir protono mainų membraną bei elektrolite esančius jonų. A raide žymima Tafelio lygtis (V),  $i_{fc}$  yra išėjimo srovės tankis (A),  $i_0$  – mainų srovės tankis (A). Kuro elementų įtampa negali tiesiogiai atspindėti momentinių pokyčių, kurie sukelti dvigubo elektrinio sluoksnio, reakcijos uždelsimas žymimas  $T_d$ . Taip pat šiuose elementuose naudojamas diodas, kad būtų užtikrintas srovės tekėjimas viena kryptimi (van Benthem ir kiti, 2020).

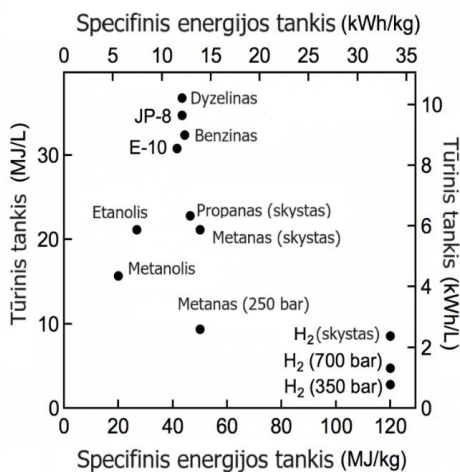




7 pav. Vandenilio kuro elemento schema  
Šaltinis: Boukoberine, Zia, Benbouzid, Zhou, Donateo, 2021

#### 4. Ličio jonų akumuliatorių, ličio polimero akumuliatorių ir vandenilio kuro elementų technologijų pranašumai ir trūkumai

Vandenilis yra didelį potencialą aviacijoje turintis kuras, nes vandenilio specifinis energijos tankis (*angl. specific energy density*) 120 MJ/kg, kas yra 3,8 kartus daugiau palyginti su kitu tradiciniu aviaciniu kuru, tokiu kaip žibalas ar JP-8, kurio specifinis energijos tankis yra apytiksliai 42 MJ/kg. Pagrindinis vandenilio kuro trūkumas yra jo tūrinis tankis (*angl. volumetric density*) kuris yra mažesnis už 9 ML/L netgi esant vandeniliui suspaustam 700 barų slėgiu arba suskystintam prie -253.1 °C, kuomet kito tradicinio aviacinio kuro tūrinis tankis yra maždaug 33 MJ/L. Didžiausia problema yra šio kuro sandėliavimas (van Benthem ir kt., 2020).



8 pav. Kuro energijos tankių lentelė  
Šaltinis: sudaryta autoriaus

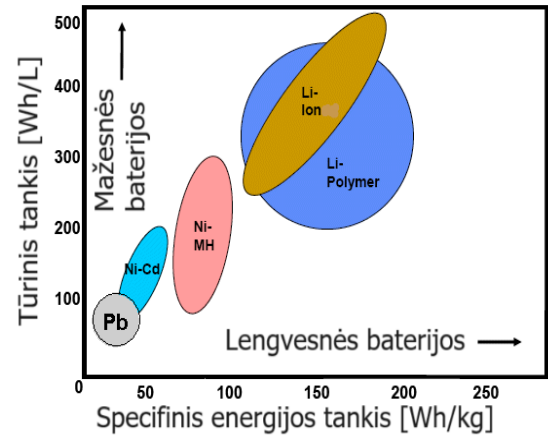
Tūrinis tankis rodo, koks energijos kiekis yra sistemoje palyginti su jos tūriu. Tūrinis tankis gaunamas pagal formulę:

$$ED_{volumetric} = \frac{Energija[Wxh]}{Tūris[L]} \quad (6)$$

Specifinis energijos tankis, tai energijos kiekis esantis viename masės vienete. Specifinis energijos tankis gaunamas pagal formulę:

$$ED_{specific} = \frac{Energija[Wxh]}{Masė[kg]} \quad (7)$$

Išnagrinėjus mokslinę literatūrą, kurioje tirti kiti populiarūs energijos šaltiniai, skirti mažiems dronams ir kitoms civilinės paskirties skraidyklėms, galima teigti kad vandenilio kuro elementų technologijos konkurentai yra ličio jonų ir ličio polimero akumuliatoriaus baterijos. Mokslininkų teigimu, ličio jonų akumuliatoriaus baterijų energijos tankis atsilieka nuo nuolat besiplečiančių technologijų industrijos poreikių (Haoyu Fang, 2023). Ličio jonų baterijų specifinis energijos tankis yra lygus 0,46–0,72 MJ/kg, o ličio specifinis energijos tankis – 43 MJ/kg. Tokio skirtumo priežastis yra ta, kad ličio nėra tiek daug naudojama ličio jonų baterijose ir siekiant pagerinti baterijų efektyvumo rodiklį jo kiekis negali būti padidintas.



9 pav. Baterijų ir akumuliatorių energijos tankiai  
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Baterijų ir akumuliatorių energijos tankiai mažesni nei aviacinio kuro, todėl jų grafiko skalėje matmenys yra vatvalandė (Wh) vienam kilogramui (kg), o ne megadžauliai (MJ) vienam kilogramui (kg). Megadžauliai konvertuojami į vatvalandes pagal šia formulę:

$$Vatvalandė = Megadžauliai \times 277.777778 \quad (8)$$

Išanalizavę literatūroje pateiktas ličio jonų ir ličio polimerų akumuliatorių baterijų savybės, galime daryti išvadą, kad ličio jonų akumuliatoriaus baterijos yra ne tokios saugios kaip ličio polimero. Priežastis ta, kad ličio jonų akumuliatorių baterijose naudojami skystų elektrolitų junginiai, kurie ne tokie atsparūs ugniai, o ličio polimerų akumuliatorių baterijose polimeriniai elektrolitai yra gelio formos, kietesni, kas padidina jų atsparumą ugniai. Dar vienas ličio polimerų pranašumas yra tas, kad polimeruose mažesnė tikimybė elektrolitų nuotėkiui, kas sumažintų akumuliatoriaus baterijų talpą. (Cheng ir kt., 2023). Tačiau ličio jonų energijos tūrinis tankis didesnis negu ličio polimerų, todėl tokio pat dydžio ličio

jonų akumuliatorių baterijos tarnauja ilgiau. Taip pat ličio jonų akumuliatorių baterijų savikaina didesnė. Ličio polimerų specifinis energijos tankis yra didesnis negu ličio jonų, todėl ličio polimerų akumuliatoriaus baterijos yra lengvesnės už ličio jonų. Šios savybės turi didelę reikšmę naujų technologijų, skirtų masinei rinkai, gamintojų sprendimams.

## IŠVADOS

Išanalizavus literatūros šaltinius, kuriuose aprašoma vandenilio energetika, mažų dronų ir kitų civilinių bepiločių orlaivių technologijų tendencijos masinėje rinkoje bei skirtingų technologijų ypatybės, galima daryti tokias išvadas:

1. ES valstybėms pasirinkus nulinę kenksmingų išmetamųjų dujų emisijos politikos kryptį mokslinių bendruomenių dėmesys susikoncentravo ties atsinaujinančia energetika. Ši energetikos sektoriaus kryptis Baltijos valstybėse remiama ES fondų, Lietuvos ministerijų ir kitų institucijų. Planuojama valstybiniame lygmenyje sukurti vandenilio energetikos infrastruktūrą, sudarant sąlygas vandenilio kuru varomoms antžeminėms ir oro transporto priemonėms pildyti degalų atsargas.
2. Sutvarkius vandenilio pildymo stoteles atsiranda potencialas naujo tipo logistikai. Mažų ir vidutinių gabaritų kroviniai gali būti pristatomi vandenilio kuru varomais civiliniais dronais bei kitais bepiločiais orlaiviais. Šis logistikos tipas yra ypač aktualus regionams, kuriuose nedidelis prekių asortimentas dėl didelių logistikos sąnaudų retai apgyvendintos teritorijos.
3. Svarbiausi uždaviniai tobulinat vandenilio energetikos sektorių yra užtikrinti reikiamas vandenilio laikymo sąlygas. Skystam vandeniliui reikia kriogeninių saugyklų, užtikrinančių  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūrą. Vandenilio dujos civiliniams bepiločiams orlaiviams laikomos suspaustos 300–350 barų slėgio įvairios talpos vandenilio cilindruose. Tam geriausiai tinka šiuo metu naftos ir dujų pramonės bei degalinių tinklų operatorių naudojama infrastruktūra.
4. Apžvelgus mokslinę literatūrą aišku, kad netolimoje ateityje bepilotėse skraidyklėse naudojamas ličio jonų ir ličio polimero akumuliatorių baterijas pakeis vandenilio kuro elementai. Šis potencialas aiškiai matomas išnagrinėjus specifinio energijos tankio ir tūrinio tankio grafikus. Ličio jonų, ličio polimero ir vandenilio specifinio energijos tankio koeficientai be energijos praradimo yra 0.72–1.08 MJ/kg, 0.36–0.57 MJ/kg ir 120 MJ/kg. Kadangi ličio jonų ir polimerų tūrinio tankio koeficientai neprilygsta vandenilio, kuris yra arti 9 MJ/L, vandenilio skraidyklės turi didelį potencialą oro erdvėje dėl didelės keliamosios galios ir ilgesnės skrydžių trukmės, negu ličio jonų ir ličio polimerų akumuliatorių baterijų skraidyklės.

## Literatūra

Abiyev, E., Erdogan, T., Mohamed, N. E. (2023). *Blue: A Hydrogen-fueled Drone Delivery System for Medical Services in Smart Cities*. Tolga Erdogan's Lab. Prieiga per internetą:

<[https://www.researchgate.net/publication/370760780\\_Blue\\_A\\_Hydrogen-fueled\\_Drone\\_Delivery\\_System\\_for\\_Medical\\_Services\\_in\\_Smart\\_Cities](https://www.researchgate.net/publication/370760780_Blue_A_Hydrogen-fueled_Drone_Delivery_System_for_Medical_Services_in_Smart_Cities)>

Bartosik, M., Kamrat, W., Kazmierkowski, M., Lewandowski, W., Pawlik, M., Peryt, T., Skoczowski, T., Strupczewski, A., Szlag, A. (2016). Magazynowanie energii elektrycznej i gospodarka wodorowa. *Rzegląd elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 92 NR. 12/2016. doi.org/10.15199/48.2016.12.78.

Bezrukovs, V., Bezrukovs, Vl., Konuhova, M., Bezrukovs, D., Kaldre, I., Berzins, A. (2023). R&D of a Hydraulic Hydrogen Compression System Refueling Stations. *Latvian Journal of Physics and Technical Services*, Volume 60(4), 21-39. doi.org/10.2478/lpts-2023-0022.

Boukoberine, M. N., Zia, M. F., Benbouzid, M., Zhou, Z., Donato, T. (2021). Hybrid fuel cell powered drones energy management strategy improvement and hydrogen saving using flight test data. *Energy Conversion and Management* Volume 236, 1-11. doi.org/10.1016/j.enconman.2021.113987.

Cheng, X., Jiang, Y., Lu, C., Li, J., Qu, J., Wang, B. ir Peng, H. (2023). In situ Synthesis of Gel Polymer Electrolytes for Lithium Batteries. *Batteries & Supercaps* 6(6). doi.org/10.1002/batt.202300057.

Collina, G., Ustolin, F., Tincani, G., Giannini, L., Salzano, E., Cozzani, V. (2023). Fragments Generated during Liquid Hydrogen Tank Explosions. *Chemical Engineering Transactions*, Volume 99, 253-258. doi.org/10.3303/CET2399043.

Europos Sąjungos investicijos (2024). Viešųjų vandenilio pildymo punktų įrengimui – daugiau nei 2 mln. eurų. Prieiga per internetą: <<https://esinvesticijos.lt/naujienos/viesuju-vandenilio-pildymo-punktu-irengimui-daugiau-nei-2-mln-euru>>

Fang, H. (2021). Challenges with the Ultimate Density with Lithium Batteries. *IOP Conference Series: Earth and Environment Science*, Volume 781(4), 042023. doi.org/10.1088/1755-1315/781/4/042023.

Gavrilovič, N., Vincekovič, D., Moschetta, J-M. (2019). *A Long Range Fuel Cell/Soaring UAV System for Crossing the Atlantic Ocean*. Prieiga per internetą: <[https://www.researchgate.net/publication/336305238\\_A\\_Long\\_Range\\_Fuel\\_CellSoaring\\_UAV\\_System\\_for\\_Crossing\\_the\\_Atlantic\\_Ocean](https://www.researchgate.net/publication/336305238_A_Long_Range_Fuel_CellSoaring_UAV_System_for_Crossing_the_Atlantic_Ocean)>

JAV vandenilio energetikos infrastruktūros kūrėjai ir vystytojai „Plug Power“ (2021). Partnerystė su Izraelio kompanija „Heven Drones“ plėtojant vandenilio dronų infrastruktūrą. Prieiga per internetą: <<https://www.plugpower.com/partnership-announcement-hydrogen-fuel-cell-systems-for-heavy-lift-drones-ideal-provide-extended-range-capabilities/>>

Jungtinės Karalystės vandenilio energijos šaltinių gamintojai „Intelligent Energy“ (2024). Komponentai vandenilio kuru varomoms transporto priemonėms. Prieiga per internetą: <<https://www.intelligent-energy.com/our-products/ie-soar-fuel-cells-for-uavs/>>

Karališkasis Nyderlandų aviacijos ir kosmoso centras (2019). Testuojami bepiločiai orlaiviai „HYDRA“. Prieiga per internetą: <<https://www.nlr.org/news/hydrogen-powered-drone-above-the-netherlands/>>

Lietuvos Respublikos Seimas (2023). Nutarimas dėl vandenilio sektoriaus plėtros Lietuvoje 2023-2030 metais gairių patvirtinimo. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAP/bb23b5b0220311eea0b6cad9848a9596?positionInSearchResults=0&searchModelUUID=43254450-a62a-4153-a11c-c10a6ec3609e>>

Naftos perdirbimo įmonė „ORLEN Lietuva“ (2020). ORLEN 2030 energetikos strategija. Prieiga per internetą: <<https://www.orlenlietuva.lt/LT/PressRelease/News/Puslapiai/ORLEN-2030-link-naujo,-tvaraus-verslo.aspx>>

Prancūzijos belaidžių produktų gamintojas “Parrot SA” (2024). Dronai “Parrot” ANAFI Ai. Prieiga per internetą: <<https://www.parrot.com/en/drones/anafi-ai>>

Radosław Tarkowski (2021). Wodor jako paliwo przyszłości. Wyzwania dla polskiej geologii. Przegląd Geologiczny. T. 69, nr 4, s. 210-217. Prieiga per internetą: <<https://www.pgi.gov.pl/dokumenty-pig-pib-all/publikacje-2/przeglad-geologiczny/2021-2/4-kwiecien-1/8374-wodor-jako-paliwo-przyszlosci-wyzwania-dla-polskiej-geologii/file.html>>

van Benthem, R.C., de Boer, A.I., van der Vorst, J., van Doorn, W.B. (2020). *Hydrogen drone research aircraft*. Prieiga per internetą: <[https://www.researchgate.net/publication/361462992\\_HYDROGEN\\_DRONE\\_RESEARCH\\_AIRCRAFT](https://www.researchgate.net/publication/361462992_HYDROGEN_DRONE_RESEARCH_AIRCRAFT)>

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE USAGE OF HYDROGEN FUEL CELLS AND LITHIUM BATTERIES IN UNMANNED AERIAL VEHICLES

Robert Mickevič

*Vilniaus Kolegija / Higher Education Institution*

**Summary.** In public space, following the renewal of global climate change politics goals, was an inspired integration of renewable energy sources into the European Union countries markets. The most significant changes are forecasted in the power sources for ground, underground and air vehicles. These changes are a result of new zero CO<sub>2</sub> emissions plans aimed at reducing emissions in the transport sector. The main subject of the article is review of hydrogen fuel cells used in drones. The article also includes a comparison of different energy supplies for drones, an analysis of the design of hydrogen-powered unmanned aerial vehicles and future of Lithuanian hydrogen sector. The benefits and disadvantages of different types of energy sources were noted as well as the most effective power source for unmanned aerial vehicles according to their usage has been determined. The object of research is hydrogen fuel cells for UAV, their efficiency and maximum capabilities. Tasks of the study include investigating the future of the hydrogen energy sector in Lithuania, reviewing possible challenges in the development of hydrogen energy infrastructure in the Baltic region, providing technical reviews of various unmanned aerial vehicle manufacturers productions, conducting a detailed analysis of hydrogen fuel cells, determining the advantages and disadvantages of the reviewed UAV power sources and summarizing the main points regarding the usage of different power sources in unmanned aerial vehicles.

**Keywords:** Unmanned aerial vehicle, hydrogen energy, li-ion batteries, li-polymer batteries.

# THE IMPACT OF BROWN'S GAS (HHO) ON COMBUSTION AND EMISSIONS OF SPARK IGNITION ENGINE FUELED WITH PETROL-ETHANOL MIXTURE

Jan Vanik<sup>1</sup>, Jan Lang<sup>1</sup>, Alfredas Rimkus<sup>2</sup>, Saulius Stravinskas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice 2

<sup>2</sup>Vilniaus kolegija/Higher Education Institution, Olandų str. 16, LT-01100 Vilnius

**Abstract.** The objective of the study is to show the impact of oxyhydrogen (HHO) on emissions, combustion characteristics, and performance of spark ignition engine compared to petrol. The experiments were carried out with a spark ignition engine with no load (excluding the alternator's contribution), without adjusting the engine between different measurements and without oxygen sensors. Oxyhydrogen gas is highly recommended as a substitute fuel since it significantly enhances engine performance and combustion characteristics as well as reducing exhaust gas pollutants.

**Keywords:** Petrol, Ethanol, Brown's gas (HHO), Combustion, Emissions

## Introduction

Using alternative fuels has become an important option to solve the growing environmental pollution and lack of fossil fuels caused by transportation industry. Transportation system is one of the main pollutant producer systems which generates large amount of pollutants every day. At present, compressed natural gas, methanol and ethanol are widely used as alternative fuels for spark ignition engines. In addition, hydrogen-based fuels are considered to be one of the most promising alternative fuel (Zhao et al., 2022).

Hydrogen, like methane, is another representative of third-generation biofuels, which allows achieving superior results of reduced pollution. As fuels, they do not require the development of new technological infrastructure, but only the adaptation of existing infrastructure is necessary (Rimkus et al., 2023).

In this context, the use of hydrogen is defined as a way of hydrogen delivery through port injection to the intake manifold or direct injection to the engine cylinder. Also, its production using fuel cells. The other sources of renewable fuel are often used as the basis for hydrogen production.

Bioethanol, as a part of fuel mixture, is an alternative and sustainable component with the features expected from alternative energy sources such as being renewable, antipollutionist and easily obtainable. Bioethanol production is based on different resources of agricultural biomass, usually containing sugar, starch or cellulose. Today, bioethanol is produced from corn in the USA, sugar cane and sugar beet in Brazil and wheat in Europe. This shows that the resources used for bioethanol production are shaped according to the agricultural resources of each country and bioethanol production is mostly based on agriculture. However, there is no possibility to use agriculture just for producing ethanol, since it would cut the amount of agriculture used for food. So for this reason, additional sources of producing ethanol are researched, for example bio waste (Kul & Ciniviz, 2020).

The ethanol addition to gasoline reduces the amount of greenhouse gas emissions, because it makes it an oxygenate. It is also extremely resistant to pre-ignition.

But ethanol also has a big downside. It attracts and absorbs water, including water from the air. When it absorbs enough water, fuel-water contamination occurs in the car's fuel tank and that affects engine performance, because if the car sits for a while, fuel separation occurs and ethanol and water starts to form layers. The water-ethanol layer then drops to the bottom of the fuel tank, because it is heavier than the fuel, and the motor sucks up the layer into the engine, which can cause some costly damage.

Currently used ethanol-fuel mixtures are E5, E7, E10, E15, E20, E85, E95, E100. That means, let's take E5 for example, that the mixture consists of 95% gasoline and 5% ethanol. Higher ethanol mixtures or even E100 are used primarily in racing, since they do not care much about engine wear and fuel consumption, the engines have higher compression ratios and it allows precise ignition timing.

## 1. The methodology of the experiment

The experiment investigates the effect of hydrogen and oxygen gas (HHO) on the energy and environmental performance of the spark ignition (SI) engine, when conventional E10 fuel (90% of gasoline and 10% of ethanol by volume) is replaced with E70 fuel (30% of gasoline and 70% of ethanol by volume). The experiment was conducted using the Opel 1.8 engine (Table 1).

The exhaust gas composition was determined using exhaust gas analyser CARTEC CET 2200 C and the temperature and rpm were monitored using Tecnotest Model 488. The fuel consumption was determined by measuring the mass of fuel canister using scales. The calculation of energy needed for the production of HHO was done by measuring the voltage and current and then further calculating the energy.

Table 1. Engine parameters

Number of cylinders	4
Cylinders arrangement	In-line
Cylinder bore, mm	84.8
Piston stroke, mm	79.5
Displacement, cm <sup>3</sup>	1796
Number of valves per cylinder	2
Compression ratio	10.5:1
Nominal power, kW (rpm)	85 (6000)
Maximum torque, Nm (rpm)	175 (3800)
Fuel system	Multipoint injection
Valve mechanism	OHC

Source: Authors

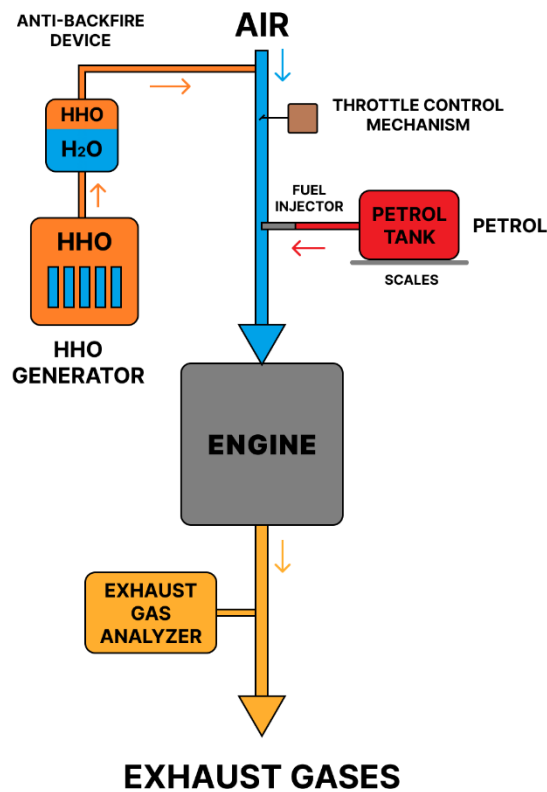


Fig. 1. Internal combustion engine test scheme  
Source: Authors

Fuel mixtures E10 and E70 were prepared mixing pure gasoline and bioethanol. Bioethanol contains significantly less carbon, which reduces the C/H ratio and has plenty of excess oxygen acting as an oxidizer during combustion. Bioethanol has a significantly lower heating value compared to gasoline, but burns faster at slightly lower temperatures. Bioethanol injected into the intake manifold has a cylinder cooling effect during evaporation. Also, bioethanol combustion is more resistant to knock. Hydrogen enters the engine alongside with the air and HHO gas. H<sub>2</sub> has a significantly higher and laminar flame speed

and wider flammability limits, although combustion temperature is lower. Therefore, more air is required for combustion compared to gasoline and bioethanol. Due to its low density, H<sub>2</sub> takes up a large volume and impairs the volumetric efficiency of the cylinder.

A flow (1.98 – 2.23 l/min) of HHO gas was additionally supplied to the engine through the intake manifold. HHO gas was produced using an electrolysis unit that used an external energy source. However, a car alternator was also applied. The electrolyte consisted of 4% of potassium hydroxide (KOH) alkali and the distilled water mixture. The HHO generator was made of four cells, each of which used a voltage of approximately 11 V.

The tests were performed at a constant engine speed of approximately 2000 rpm. The interval of taking measurements was 1 minute and the experiment lasted for 5 minutes. Then averages were used from each measurements and compared by the type of mixture.

## 2. Engine energy indicators

In this section energetic properties of the engine when using E10 and E70 fuels as well as the effects of HHO gas additive are examined in more detail.

### 2.1. Indicated power

The indicated power (Fig. 2) is calculated by using the indicated mean effective pressure (IMEP) and cylinder volume ( $V_h$ ). The addition of HHO gas to the fuel improves combustion, supplying more chemical energy to the mixture and allowing the engine to produce more motion energy. When using fuel with a higher proportion of ethanol, the power output is lower due to the lean fuel mixture and the lower energy content of the fuel.

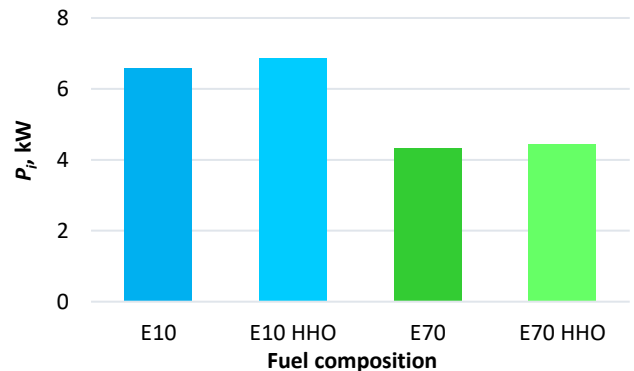
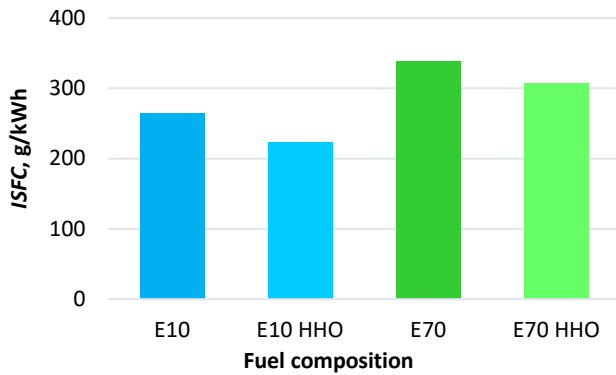


Fig. 2. Indicated power running on different fuel blends  
Source: Authors

### 2.2. Indicated specific fuel consumption

Indicated specific fuel consumption (ISFC) shows the amount of fuel used per unit of power (kWh). ISFC is calculated by dividing fuel consumption by engine power. As shown in the graph (Fig. 3), E10 fuel has a higher power than E70 and lower ISFC because increasing the concentration of bioethanol in the

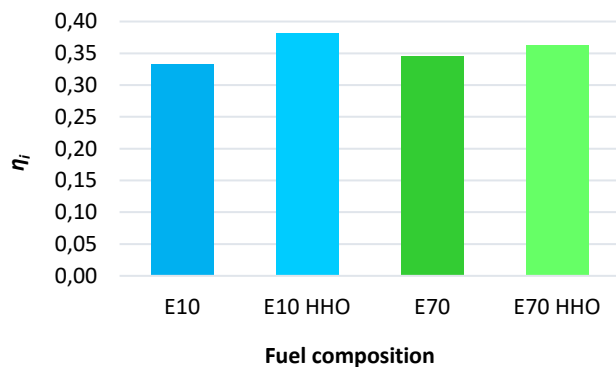
fuel mixture (from 10 to 70%) decreases the lower heating value (LHV) of the mixture. Conversely, E70 has a lower power output and a higher ISFC value. It is important to adhere strictly to metrics and units, and to use precise subject-specific vocabulary when it conveys the meaning more accurately than a similar non-technical term. Additionally, a greater difference can be observed in ISFC values after the addition of HHO gas. The ISFC value decreased with the addition of hydrogen gas, resulting in a fuel consumption decrease of 11% for E10 and 6% for E70.



**Fig. 3.** Indicated specific fuel consumption running on different fuel blends  
*Source: Authors*

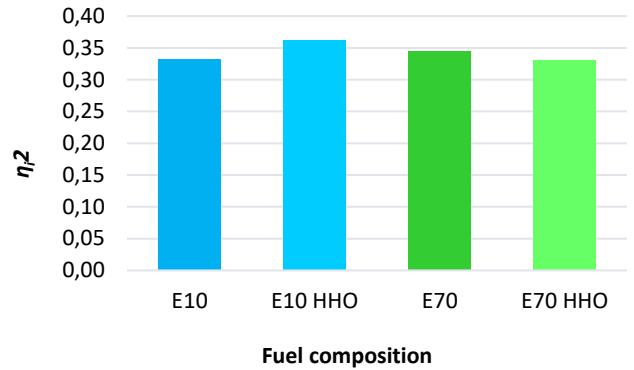
### 2.3. Indicated efficiency

The first paragraph explains that the efficiency (Fig. 4) of HHO gas production is not limited by the engine power when an external source is used. The use of hydrogen results in higher efficiency due to the additional chemical energy entering the cylinder with the base fuel. The hydrogen causes the mixture to burn faster, resulting in better utilization of the force transferred from the piston to the crankshaft. The use of E70 fuel results in slightly lower efficiency due to its higher ethanol content, which has a lower energy content.



**Fig. 4.** Indicated efficiency (charging battery for HHO generator using external source) running on different fuel blends  
*Source: Authors*

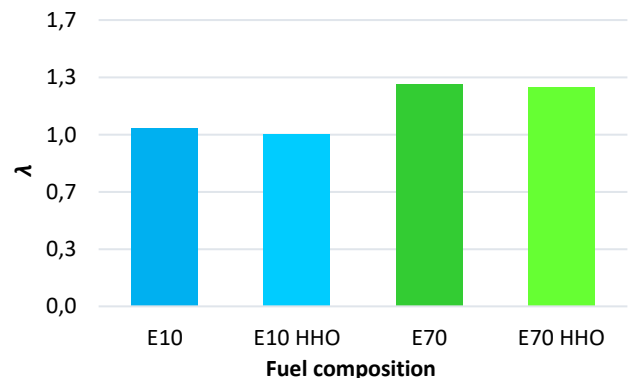
The second graph (Fig. 5) shows the engine efficiency with the energy required for hydrogen production taken from the engine output. Efficiency increases with E10 fuel, but decreases with E70 fuel when hydrogen is added due to the fuel's lower overall power output. Using some of the energy to produce hydrogen causes a significant drop in efficiency.



**Fig. 5.** Indicated efficiency (charging battery for HHO generator using combustion engine) running on different fuel blends  
*Source: Authors*

### 2.4. Lambda coefficient

The lambda value represents the air-to-fuel ratio in the combustion chamber. The engine can adjust the mixture to be almost stoichiometric based on the values. However, the engine used in this research did not have this control, and the lambda value was detected with an exhaust gas probe. When using E10 fuel, the value was close to 1 because the engine is tuned for this type of fuel. The addition of HHO gas to the combustion chamber results in a change in the air/fuel ratio, producing a richer mixture and causing a drop in lambda value (Fig. 6). The addition of hydrogen caused a similar drop in lambda value as observed for E10 fuel due to the hydrogen content reducing the amount of air entering the combustion chamber. The lambda value for E70 fuel was approximately 1.27 due to the higher oxygen content of ethanol, resulting in a lean mixture. To achieve a stoichiometric mixture with E70, the air/fuel ratio and the timing of the intake valve opening must be adjusted.



**Fig. 6.** Air-fuel ratio (λ) running on different fuel blends  
*Source: Authors*

### 3. Ecological indicators

This section of the research will focus on exhaust gases and their composition. Tested engine does not have a catalytic converter, so the exhaust gas ratios remain unchanged. Any changes in composition depend solely on the combustion process of the mixture.

#### 3.1. CO emission

Incomplete combustion produces CO emissions, which vary depending on the fuel used. Emissions of CO were approximately 0.6% when using E10 fuel, but increased significantly to 0.9% when HHO was added to the fuel (Fig. 7). This increase is due to the unchanged amount of fuel injected into the cylinder. According to some studies, emissions only decrease at higher engine speeds. However, test was conducted at relatively low speed without any load. It was observed that the use of E70 fuel resulted in a significant decrease in emissions due to the higher oxygen content of the mixture caused by the ethanol.

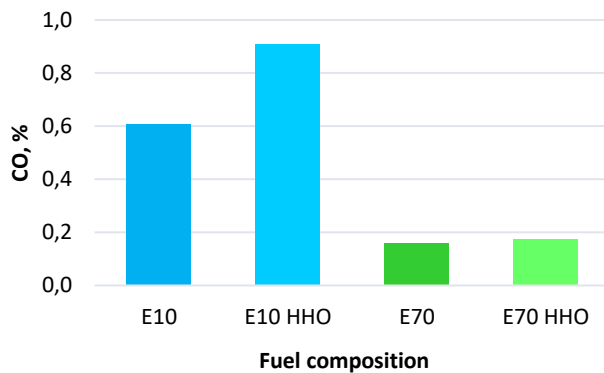


Fig. 7. Carbon monoxide (CO) emission running on different fuel blends  
Source: Authors

#### 3.2. HC emission

Hydrocarbons are present in exhaust gases resulting from incomplete combustion of hydrocarbon fuel. The use of HHO gas reduces HC emissions by almost 42% for E10 and 15% for E70 (Fig. 8). The addition of hydrogen ensures a more complete combustion of the fuel. In the case of E70, HC emissions are higher than E10 due to lean mixture and incomplete combustion of fuel molecules. Even with the addition of hydrogen, HC emissions could not be reduced as much as in E10.

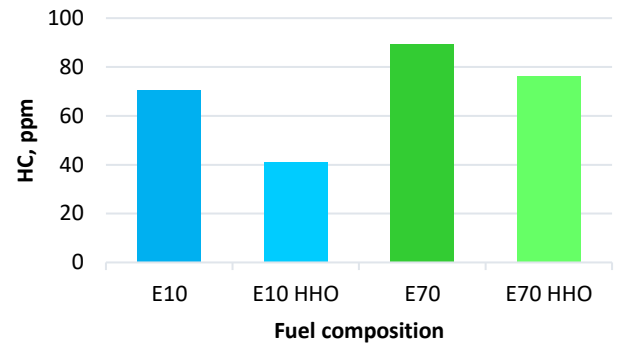


Fig. 8. Hydrocarbon (HC) emission running on different fuel blends  
Source: Authors

#### 3.3. NO<sub>x</sub> emission

NO<sub>x</sub> gases are produced when nitrogen and oxygen react, which is a natural occurrence in the atmosphere. This reaction occurs when hydrocarbon fuels are burned at high temperatures and pressures. The graph illustrates that NO<sub>x</sub> emissions (Fig. 9) for E10 fuel are slightly above 40 ppm. E10 fuel uses a near stoichiometric mixture with sufficient fuel, temperature, and pressure to generate NO<sub>x</sub>. The addition of HHO gas increases cylinder temperature, making conditions for NO<sub>x</sub> formation more favourable and causing emissions to rise to 60 ppm. However, when using E70 fuel, emissions drop significantly to 8 ppm due to the lean fuel mixture and lower combustion temperature. Reintroducing HHO raises the combustion temperature, resulting in a slight increase in emissions to 11 ppm.

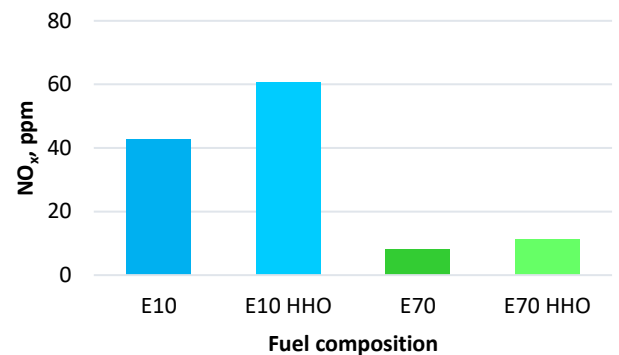
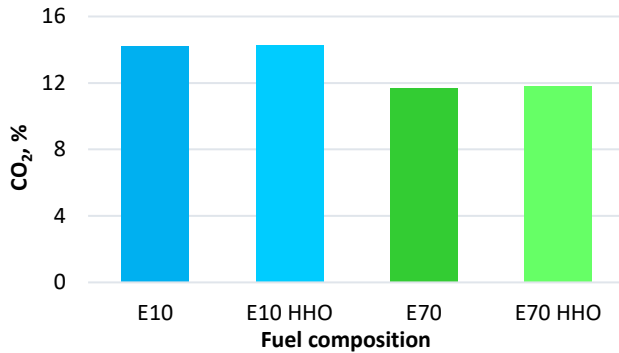


Fig. 9. Nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) emissions running on different fuel blends  
Source: Authors

#### 3.4. CO<sub>2</sub> emission

Carbon dioxide is a common component of exhaust gases and is currently not heavily regulated in the automotive industry. It is produced during the combustion of hydrocarbon fuels, along with H<sub>2</sub>O. Typically, the proportion of CO<sub>2</sub> in exhaust gas is around 14.2%, as shown in graph (Fig. 10) when using E10 fuel. However, when using E70 fuel, CO<sub>2</sub> emissions are reduced to

11.8% due to the lean mixture and higher oxygen content of the fuel. The impact of HHO gas on CO<sub>2</sub> emissions is negligible.

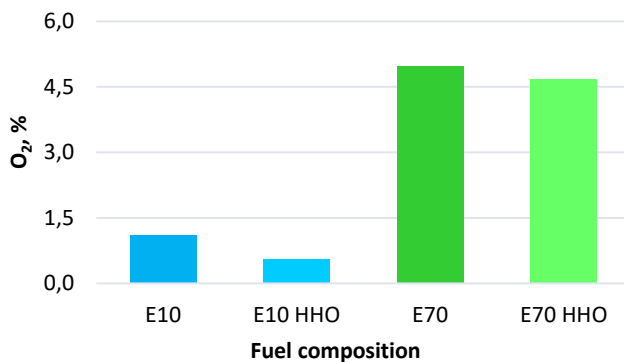


**Fig. 10.** Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emission running on different fuel blends

Source: Authors

### 3.5. O<sub>2</sub> emission

Oxygen emissions from spark ignition engines should ideally be close to zero, as all the oxygen in a stoichiometric mixture should theoretically be burned. However, combustion is never perfect and often incomplete. From the graph (Fig. 11) oxygen emissions of around 1.1% with E10 fuel can be observed. The addition of HHO gas resulted in a decrease in oxygen content, as it was consumed more efficiently and rapidly. When using E70 fuel, the oxygen content is much higher, around 5% without hydrogen admixture and 4.6% with hydrogen admixture. If the fuel-to-air ratio is not adjusted accordingly, there will be an excess of oxygen in the cylinder, which will not be used to burn the fuel. This can be detected in the exhaust.



**Fig. 11.** Oxygen emissions running on different fuel blends

Source: Authors

### Conclusions

Experimental tests of engine running on gasoline-bioethanol fuel mixtures of E10 and E70 fuels have been performed at 2000 rpm and the goal was to determine the influence of adding the HHO to gasoline on the pollutants, combustion and performance of petrol engine. The results of fuel consumption are not very accurate, because indirect method of measurement was used, that is by measuring the mass of petrol

tank and then calculating the fuel consumption based on the difference in mass.

It can be observed that by adding HHO to the fuel mixture the indicated power increased by approximately 4.2% when using E10 and by 3% when using E70. We can also see that when we changed the mixture from E10 to E70, there is a significant drop in indicated power due to lean mixture that occurred to not using lambda sensors.

With addition of HHO to both mixtures, the efficiency of the engine increased. This is due to better volumetric efficiency brought by HHO. The mixture then burns faster. If we compare Fig. 5 with Fig. 4, we can see a little overall drop in efficiency, which is caused by powering the HHO generator with internal combustion engine.

As mentioned before we can see that when we used E70, we had a lean mixture due to not using lambda sensors. Also, by adding HHO to the mixtures, there was an insignificant drop in excess oxygen.

When using E10, carbon monoxide emissions were 0.6%, hydrocarbons emissions were approximately 70 ppm, nitrogen oxides were around 42 ppm, carbon dioxide levels, even with the addition of HHO, stood on the level 14.2%. Oxygen level was around 1.1%. By adding HHO to E10, CO increased significantly by 30%, HC dropped remarkably by almost 42%, NO<sub>x</sub> increased by 18 ppm and O<sub>2</sub> level dropped by 50%. By changing the mixture to E70 and comparing with E10, we can observe large reduction of CO by 73%, HC increased by 20 ppm, NO<sub>x</sub> decreased significantly, especially due to lean mixture, by 34 ppm, CO<sub>2</sub> dropped by 17.5% and O<sub>2</sub> increased due to lean mixture up to 5%. By adding HHO to E70 and compared with E70 without HHO addition, CO increased by 7.5%, HC decreased by 14.5%, NO<sub>x</sub> increased by 3.2%, CO<sub>2</sub> changed insignificantly and O<sub>2</sub> decreased 6%.

### References

- Gad, M. S., El-Shafay, A. S., Ağbulut, Ü., & Panchal, H. *Impact of produced oxyhydrogen gas (HHO) from dry cell electrolyzer on spark ignition engine characteristics*, 554-562. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.210>
- Kul, B. S., & Ciniviz, M. *Assessment of waste bread bioethanol-gasoline blends in respect to combustion analysis, engine performance and exhaust emissions of a SI engine*, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118237>
- Li, Y., Gong, J., Deng, Y., Yuan, W., Fu, J., & Zhang, B. *Experimental comparative study on combustion, performance and emissions characteristics of methanol, ethanol and butanol in a spark ignition engine*, 68-74. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.037>
- Mejeras, G., Matijošius, J., & Rimkus, A. *The influence of hydrogen and oxygen (HHO) gas on engine characteristics under the effect of the lean mixtures of gasoline and bioethanol*, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.07.167>
- Ran, Z., Hariharan, D., Lawler, B., & Mamalis, S. *Experimental study of lean spark ignition combustion using gasoline, ethanol, natural gas, and syngas*, 530-537. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.08.054>



Subramanian, B., & Ismail, S. *Production and use of HHO gas in IC engines*, 7141-7153. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.02.120>

Synák, F., Synák, J., & Skrúčaný, T. *Assessing the addition of hydrogen and oxygen into the engine's intake air on selected vehicle features*, 31854-31878. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.07.064>

Thangavelu, S. K., Ahmed, A. S., & Ani, F. N. *Review on bioethanol as alternative fuel for spark ignition engines*, 820-835. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.089>

Zhang, B., Wang, S., & Ji, C. *Performance of a hydrogen-enriched ethanol engine at unthrottled and lean conditions*, 68-74. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.01.073>

Zhao, Z., Huang, Y., Yu, X., Guo, Z., Li, M., & Wang, T. *Effect of brown gas (HHO) addition on combustion and emission in gasoline engine with exhaust gas recirculation (EGR) and gasoline direct injection*, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132078>

Zhao, Z., Huang, Y., Yu, X., Sun, P., Li, M., Shi, W., Guo, Z., & Wang, T. *Effect of HHO addition on combustion and emission in SI engine with butanol direct injection and gasoline port injection*, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102746>

## BRAUNO DUJŲ (HHO) POVEIKIS BENZINO IR ETANOLIO MIŠINIAIS VEIKIANČIO KIBIRKŠTINIO UŽDEGIMO VARIKLIO DEGIMO PROCESUI IR EKOLOGINIAMS RODIKLIAMS

Jan Vanik<sup>1</sup>, Jan Lang<sup>1</sup>, Alfredas Rimkus<sup>2</sup>,  
Saulius Stravinskas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Pardubicės universitetas*

<sup>2</sup>*Vilniaus kolegija*

**Anotacija.** Tyrimo tikslas – parodyti oksivandenilio (HHO) poveikį emisijoms, degimo procesui ir kibirkštinio uždegimo variklio energiniams rodikliams lyginant su benzinu. Eksperimentai buvo atliekami su kibirkštinio uždegimo varikliu be apkrovos (nevertinant generatoriaus), nekeičiant variklio nustatymų tarp skirtingų matavimų ir nenaudojant deguonies jutiklių. Oksivandenilio dujos yra labai rekomenduojamos kaip alternatyvūs degalai, nes jos reikšmingai pagerina variklio energinius ir degimo proceso rodiklius bei sumažina išmetamųjų dujų teršalų kiekį.

**Reikšminiai žodžiai:** benzinas, Brauno dujos (HHO), degimo procesas, emisijos.

# OŽINIO KRANO DĖŽĖS SKERSPJŪVIO SIJOS KONSTRUKCIJOS MODELIAVIMAS

Aleksandr Vika<sup>1</sup>, Jelena Selivonec<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58, Vilnius

<sup>2</sup>Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, Vilnius

**Anotacija.** Ožiniai kranai naudojami įvairiose technikos srityse. Kranų konstrukcijos nuolat tobulinamos siekiant pagerinti kranų veikimą, optimizuoti kėlimo ir krovos darbus, padidinti saugumą ir sumažinti poveikį aplinkai. Mokslininkai skiria daug dėmesio naujoms medžiagoms ir technologijoms, siekdami sustiprinti konstrukcijas, pailginti jų naudojimo laiką ir sumažinti energijos sąnaudas. Tyrimo objektas – 40 t keliamumo ožinio kranu metalo konstrukcijos sija. Darbo tikslas – nustatyti ožinio kranu metalo konstrukcijos sijos standumo briaunų įtaką jos stiprumui ir standumui. Darbe taikomas baigtinių elementų metodas. Norint pasiekti tyrimo tikslą, pasirinkta nagrinėti sukurtu modelio ožinio kranu metalo konstrukcijos sijos standumo briaunų skaičiaus ir jų storio kaitos įtaką. Visų standumo briaunų storis keičiamas, stebint kranu sijos deformacijas. Skaičiavimo modelis sudarytas Solidworks programine įranga. Medžiagų bibliotekoje pasirinktas AISI 1020 plienas. Skaičiavimo rezultatai iliustruojami normalinių įtempių ir poslinkių pasiskirstymu ožinio kranu metalo konstrukcijos sijoje. Optimali kranu sijos konstrukcija, kai yra 10 briaunų, kurių storis siekia 10 mm.

**Reikšminiai žodžiai:** ožinis kranas, modeliavimas, dėžės skerspjūvis, baigtinių elementų metodas, sijos standumas.

## Įvadas

Pastarojo dešimtmečio mokslinių straipsnių apžvalga atskleidžia susidomėjimą tyrimais, susijusiais su ožiniais kranais ir jų pritaikymu/naudojimu įvairiose pramonės ir statybos srityse. Šios srities tyrimai apima įvairius aspektus, tarp jų kranu konstrukcijos tobulinimą, kėlimo ir krovos procesų optimizavimą, eksploatacijos saugos gerinimą ir poveikio aplinkai mažinimą.

Pagrindinis siekis yra tobulinti šiuolaikinės medžiagos ir technologijas, kurios gali padidinti kranu konstrukcijų stiprumą ir ilgaamžiškumą, taip pat sumažinti jų energijos sąnaudas. Pastarųjų metų straipsniuose taip pat atkreipiamas dėmesys į ožinių kranu priežiūros ir remonto problemas, įrangos diagnostikos ir būklės stebėsenos metodų kūrimą, siekiant išvengti avarinių situacijų.

Analizė ir modeliavimas leidžia tyrėjams geriau suprasti ožinių kranu veikimo dinamiką ir optimizuoti jų konstrukciją bei veikimą atsižvelgiant į įvairius veiksnius.

Straipsnio problemos naujumas – ožinio konteinerinio kranu sijos standumo briaunų įtakos analizė sijos stiprumui, standumui ir masei.

Ožinis kranas yra kėlimo mechanizmas, kurio konstrukcija ant vertikalių atramų sujungta su horizontalia sija ar sijomis (1 pav.). Dėl didelio keliamumo ir manevringumo jis plačiai naudojamas pramonėje, statybose ir pervežant krovinius. Nors ožiniai kranai naudojami ilgą laiką, tačiau tobulėjant technologijoms ir medžiagoms jų konstrukcija taip pat tobulinama. Atsižvelgiant į paskirtį ožiniai kranai gali būti skirtingų konfigūracijų ir kėlimo mechanizmų, pavyzdžiui, linų ar hidraulinių sistemų. Svarbi ožinių kranu ypatybė yra gebėjimas kelti ir perkelti krovinius vertikalia ir horizontalia kryptimis itin tiksliai. Naudojant ožinius kranus, būtina griežtai laikytis saugos taisyklių ir profesionaliai mokyti operatorius, kad būtų išvengta nelaimingų atsitikimų ir įrangos sugadinimo. Dėl pranašumų gabenti ir perkrauti sunkius krovinius ožiniai kranai yra nepakeičiami šiuolaikinėje pramonėje ir statyboje.



1 pav. Ožinis kranas  
Šaltinis: sudaryta autorių

*Tyrimo objektas* – ožinio kranu metalo konstrukcijos sija.  
*Darbo tikslas* – nustatyti ožinio kranu metalo konstrukcijos sijos standumo briaunų įtaką jos stiprumui ir standumui.

Šiam tikslui pasiekti buvo iškelti tokie uždaviniai:

- Sukurti ožinio kranu metalinės konstrukcijos sijos skaičiuojamąjį modelį.
- Ištirti ožinio kranu metalinės konstrukcijos sijos standumo priklausomybę nuo sijos standumo briaunų išdėstymo ir storio.
- Palyginti ožinio kranu metalinės konstrukcijos sijos įtempių pasiskirstymus, kai sijos standumo briaunų išdėstymas ir storis skirtingas.

*Tyrimo metodika.* Darbe taikomas baigtinių elementų metodas.

## 1. Literatūros apžvalga

Mokslinių straipsnių apžvalga rodo, kad tyrimai apie ožinius kranus ir jų naudojimą įvairiose pramonės ir statybos srityse išlieka populiarūs.

Tyrimo (Patel et al., 2020) metu analizės rezultatai lyginami su duomenimis, gautais naudojant baigtinių elementų analizės ir modeliavimo programinę įrangą. Pagrindinis tikslas – sumažinti sijos skerspjūvio matmenis, kad būtų kuo mažesnės medžiagos sąnaudos, kartu gerinant saugą. Siekiant optimizuoti konstrukciją, baigtinių elementų metodikoje atsižvelgiama į

šlyties įtempį, bendrą deformaciją, didžiausią ir mažiausią pagrindinį įtempį. Tiriama projektavimo parametru, tokių kaip lakštinio elemento dydis ir storis, pokyčiai. Optimizuotos sijos svoris sumažėjo 8,39%, palyginti su esama konstrukcija, o tai patvirtina jos efektyvumą ir ekonomiškumą.

Straipsnyje (Molnár et al., 2023) analizuojamos 500 kg keliamosios galios tiltinio kranų galinės važiuoklės sijos konstrukcijos ypatybės. Autoriai pabrėžė galinės važiuoklės ir sijos, kaip pagrindinio elemento, svarbą apkrovos ir stiprumo požiūriu. Įvertinę pradinės apkrovos ir matmenų duomenimis, pritaikę leistinųjų įtempių metodą mokslininkai apskaičiavo mažiausią skerspjūvio atsparumo momentą lenkimui ir parinko sijos profilį ir medžiagą. Vienas iš tyrimo tikslų buvo sukurti sijos 3D CAD modelį ir atlikti jos FEM analizę Ansys programine įranga, siekiant nustatyti didžiausią lenkimo įtempį ir įlinkį. Rezultatai parodė, kad siūloma konstrukcija atitinka stiprumo ir standumo reikalavimus.

Straipsnyje (Orobey et al., 2021) nagrinėjama aktuali mokslinė ir techninė portalinių kranų plieninių konstrukcijų, veikiančių sudėtingos apkrovos ir agresyvios terpės sąlygomis, diagnostikos problema. Pabrėžiama, kad tokiomis sąlygomis eksploatuojant kraną vyksta korozinis, abrazyvinis ir mechaninis dėvėjimasis, dėl kurio plonėja laikančiųjų elementų sienelės. Tai daro didelę įtaką konstrukcijos įtempių ir deformacijų būklei, į kurią reikia atsižvelgti siekiant užtikrinti kranų darbo saugą. Autorių sudarytos apatinių sijų ir kranų konstrukcijų projektavimo schemas, sukurti tikslūs elementų deformacijos lenkimo ir sukimo metu modeliai, atlikti plieninių konstrukcijų įtempių ir deformacijų būvio skaičiavimai. Autoriai pateikia iki šiol nenaudotą skaitinį kranų stiprumo ir standumo charakteristikų diagnostikos modelį, pagrįstą baigtinių skirtumų ir baigtinių elementų metodais, kuriame atsižvelgiama į agresyvios aplinkos veiksmus.

Tyrimas (Kopnov, 1999) nagrinėjamas vidinio nuovargio krevių taikymas, siekiant numatyti važiuojančių ožinių kranų metalinių konstrukcijų nuovargio trukmę, daugiausia dėmesio skiriant miško pramonėje naudojamam kranui. Čia nuovargio gedimo analizė atskleidė, kad tam tikri kranų elementų gedimai yra nuolatiniai, o to priežastis nesusijusi su atsitiktiniais įvykiais. Atkreipiamas dėmesys, kad važiuojamųjų ožinių kranų metalinių konstrukcijų nuovargio gedimai eksploatacijos metu dažni, tą liudija nuovargio įtrūkiai, atsirandantys ir plintantys kranų tilto ir atramų suvirintose jungtyse per 3–4 metus. Šie kranai, kurių keliamoji galia siekia 21 toną, plačiai naudojami miško pramonėje. Itin svarbu nustatyti silpniausius elementus, ribojančius kranų naudojimo laiką. Išanalizavus tyrimo duomenis siekiama numatyti šių elementų nuovargį, gamintojams pateikti rekomendacijas, kaip padidinti kranų ilgaamžiškumą.

Darbe (Yuan et al., 2016) autoriai pastebėjo, kad pastaraisiais metais didėjanti kranų paklausa pramoninėje gamyboje išryškino poreikį tobulinti kranų konstrukcijų projektavimą. Vyraujantis požiūris į kranų konstrukcijų projektavimą labai priklauso nuo tradicinių eksperimentinių metodų ir statinių skaičiavimų, todėl konstrukcijos per daug sveria, joms būdingos neoptimalios dinaminės savybės ir kitos

problemos. Atsižvelgiant į sudėtingą statinių ir dinaminių apkrovų, tarp jų kintamąsias, smūgines ir vibracines apkrovas, sąveiką, ožinių kranų konstrukcijų dinaminė optimizacija tapo svarbia tyrimų sritimi, kuria siekiama pagerinti kranų veikimą. Šiame tyrime, pripažįstant ožinio kranų konstrukcinės dinamikos sudėtingumą ir netiesiškumą, parametrinis baigtinių elementų modeliavimas ir eksperimentinio projektavimo metodai buvo naudojami siekiant nustatyti visapusišką ryšį tarp projektavimo kintamųjų ir kritinių dinaminių parametru. Visų pirma buvo iširtas ryšys tarp projektinių kintamųjų ir didžiausių dinaminių įtempių, dinaminio lenkimo standumo ir maksimalaus dinaminio santvaros sijos poslinkio pilnos apkrovos sąlygomis. Vėliau santvaros tarp mazgų išdėstymas buvo optimizuotas ir tokio dydžio, kad atitektų tokius kriterijus kaip žema įtampa, didelis natūralus dažnis ir lengvas dizainas. Naudojant genetinį nedominuojamą rūšiavimo algoritmą, buvo pritaikytas  $6\sigma$  patikimumo optimizavimo procesas, siekiant toliau tobulinti dizainą. Be to, naudojant didelio tikslumo aproksimacijos modelį, optimizavimo programos patikimumui įvertinti buvo pasirinkti atsako paviršiai ir Monte Karlo modeliavimo metodai. Tyrimo rezultatai parodė dinaminio konstrukcijų optimizavimo efektyvumą gerinant ožinių kranų projektavimo kokybę ir efektyvumą. Šiuo metodu kranų konstrukcija tobulinama nauja metodika, taip suteikiant vertingos praktinės informacijos tolesnei kranų plėtrai.

Straipsnyje (Gašić et al., 2013) nagrinėjamos judančios apkrovos problemos, būdingos didelių ožinių kranų konstrukcinei dinaminei analizei, ypač daug dėmesio skiriant kombinuotojo metodo taikymui, integruojant baigtinių elementų metodą ir analitines išraiškas, suformuluojant matematinį kranų modelį. Tiriama įvairūs judančių vežimėlių modeliai, tarp jų judėjimo jėga, masė, judantis osciliatorius ir osciliatorius su siūbuojančiu objektu, kurių kiekvieno skirtinga charakteristika turi įtakos kranų konstrukcijos atsakams ir dinaminėms savybėms. Pagrindinis tikslas yra išspręsti problemą apskaičiuojant dvimatės sistemos priverstines vibracijos reakcijas, įtraukiant nuo laiko priklausomas savybių matricas ir veikiant ją lygiaverte judančia apkrova. Tyrimu siekiama pagerinti judančių apkrovų modelius, pripažįstant padidėjusį postuliavimo ir sprendimo sudėtingumą kranų modelyje. Pateikta lyginamoji šių modelių analizė, išvados, kuriomis vadovaujamosi siekiant tinkamai parinkti modelius, įvardyti kranų problemą. Be to, darbe nagrinėjamas ant bėgių montuojamų ožinių konteinerinių kranų poveikis įvairiems judančių krovinių modeliams, vežimėlio konstrukcijai. Atsižvelgiama į iššūkius ir išlaidas, susijusias su eksperimentiniais kranų tyrimais, didėjančiu šiuolaikinių ant bėgių montuojamų ožinių kranų tarpatramio ir vežimėlio greičiu.

Darbe (Tang et al., 2019) nagrinėjama laivų nuleidimo kranų mechaninių savybių kaita po ilgalaikės eksploatacijos. Siekiant įvertinti jų saugumą, buvo analizuojamas pagrindinių konstrukcinių elementų, veikiamų dinaminių apkrovų, stiprumas. Tirtas 28 tonų keliamosios galios kranas. Autorių buvo sukurta bandymų sistema, užtikrinanti signalų registravimą, apdorojimą, rinkimą ir analizę. Remiantis lauko

bandymų rezultatais, atlikti įtempių nurodytuose konstrukcijos taškuose skaičiavimai, kurie parodė, kad įtempiai atitinka leistinas vertes. Autoriai pasiūlė sisteminį požiūrį į kranų konstrukcijų pagrindinių elementų, veikiamų dinaminės apkrovos, stiprumo vertinimą, kuris padidina diagnostikos tikslumą ir įrangos eksploatacijos patikimumą.

Siekiant griežtų standartų, energijos vartojimo efektyvumo tikslų ir sąnaudų mažinimo poreikių, tyrėjų (Ragueneau et al., 2024) nuomone, labai svarbu pasiekti optimalų sudėtingų pramoninių struktūrų dizainą. Parametrinis optimizavimas šiuo atžvilgiu yra galingas įrankis, leidžiantis atlikti didelio tikslumo skaitmeninį modeliavimą įtraukiant netiesinį elgesį į modelius. Tačiau taikant klasikiniai globalaus optimizavimo metodai kyla iššūkių, kai susiduriama su pramoninio masto struktūromis, turinčiomis netiesiškumo dėl didelio reikiamų sprendimų skaičiaus. Šiame tyrime pristatomas naujas požiūris į visuotinį suvaržytą struktūrų optimizavimą su vietiniais netiesiškumais vibracijos dinamikoje. Tyrime pasirinktas Bajeso optimizavimas, naudojant Gauso proceso surogatinį modelį ir specializuotą netiesinį mechaninį sprendiklį, pagrįstą harmoninio balanso metodu. Šių įrankių veikimas ir charakteristikos analizuojamos pateikiant akademinio ir pramoninio masto pavyzdžių. Šis metodas atskleistas naudojant Duffing osciliatorių ir portalinį kraną, iliustruojant jo riboto optimizavimo efektyvumą. Taip pat pateikiamos diskusijos apie optimalų pradinių imties taškų skaičių. Rezultatai atskleidžia gebėjimą siūlomu metodu nustatyti visuotinį optimalumą su ribotu sprendimo skambučių skaičiumi, todėl jis tinkamas integruoti į pramoninio dizaino procesus.

## 2. Skaičiuojamasis modelis

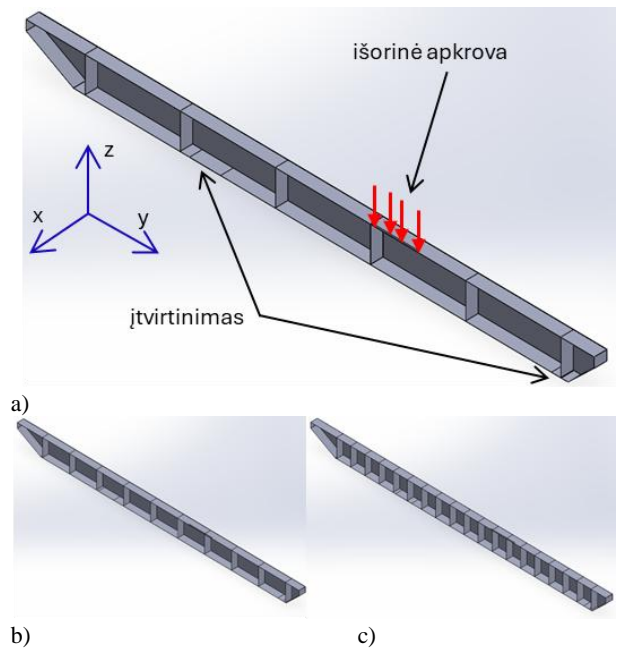
Darbe nagrinėjama ožinio kranio stambioji dalis – sija (2 pav.). Dauguma kranio dalių gaminama iš lakštinio plieno suvirinant atskirus elementus. Pasirinkto kranio keliamoji galia yra 40 t. Sijos išoriniai matmenys: ~ ilgis 59,7 m × plotis 1,38 m × aukštis 3,61 m.

Kranio sija yra dėžės skerspjuvio, kurio viršutinio ir apatinio lakštų storis – 16 mm, šoninių lakštų storis – 10 mm (2 pav.). Standumo briaunų storis – 10 mm, 16 mm, 20 mm. Dėl briaunų kiekio skaičiuota be briaunų, kai jų buvo 6 vnt., 10 vnt. ir 19 vnt. Šių briaunų storio ir skaičiaus keitimas, modeliuojant kranio siją, sudaro straipsnyje pateikto tyrimo naujumą.

Akrova sudaro krovinio ir vėžimėlio svorio jėgų suma. Tiriamas atvejis, kai krovinio vėžimėlis yra tarp sijos atramų vidurinėje padėtyje. Krovinio masė atitinka didžiausią kranio keliamumą (40 t).

Norint pasiekti tyrimo tikslą, reikia nagrinėti sukurto modelio ožinio kranio metalinės konstrukcijos sijos standumo briaunų skaičiaus ir jų storio kitimo įtaką (2 pav.). Visų standumo briaunų storis buvo keičiamas, stebint kranio sijos deformacijas (vertikalus poslinkis neturi viršyti leistinojo poslinkio). Skaičiavimo modelis buvo sudarytas naudojant Solidworks programinę įrangą (www.solidworks.com). Pasirinktas AISI 1020 plienas. Modelio medžiagų mechaninės

savybės: tamprumo modulis 205 GPa, Puasono koeficientas 0,29, ir takumo riba 350 MPa.



**2 pav.** Ožinio kranio metalinės konstrukcijos sijos skaičiuojamojo modelio išilginis pjūvis ir kraštinės sąlygos: a) šešios standumo briaunos; b) dešimt standumo briaunų; c) devyniolika standumo briaunų

Šaltinis: sudaryta autorių

Išorinės apkrovos dydis buvo pastovus. Kranio siją veikianti jėga, kaip parodyta 2a paveiksle, buvo taikyta vienoje vietoje ir tolygiai paskirstyta paviršiuje. Standus įtvirtinimas buvo taikytas prie kairiosios sijos atramos, paslankus šarnyras – prie dešinėsios sijos atramos. Buvo sprendžiamas statinis uždavinys.

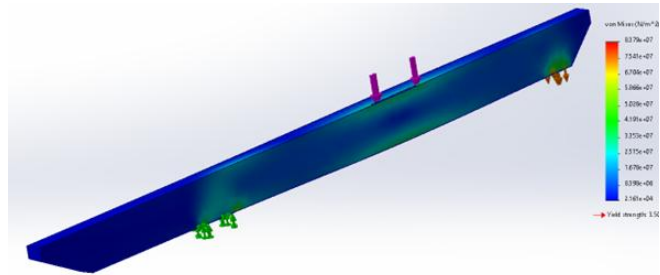
Siekiant užtikrinti ožinio kranio metalinės konstrukcijos sijos stiprumą, pritaikyta energinė plastiškumo hipotezė, kuri yra populiarė ir puikiai tinka naudojamai medžiagai. Ši hipotezė dar vadinama Mizeso hipoteze (Goodno et al., 2018). Kadangi susiduriame su sudėtingu triašiu įtempių būviu, stiprumas vertinamas pagal šią formulę:

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{1}{2}((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)} \quad (1)$$

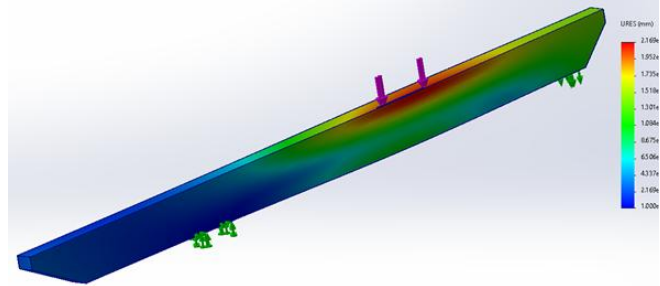
čia:  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – svarbiausieji įtempiai;  $\sigma_r$  – redukuotieji įtempiai.

## 3. Skaičiavimo rezultatai ir jų aptarimas

Gauti rezultatai iliustruojami normalinių įtempių ir poslinkių pasiskirstymu ožinio kranio metalinės konstrukcijos sijoje (3 pav.).



a)



b)

**3 pav.** Ožinio kranų metalinės konstrukcijos sijos skaičiuojamojo modelio Mizeso įtempių (a) ir poslinkių (b) pasiskirstymai  
Šaltinis: sudaryta autorių

Keičiantis kranų sijos geometriniams parametrams, pastebėtas maksimalių normalinių įtempių persiskirstymas ir poslinkių kaita. Straipsnyje pateikta dešimt modelių, kurių skaičiavimo rezultatai parodyti 3–6 paveiksluose ir 1 lentelėje.

Stiprumui užtikrinti buvo skaičiuojami Mizeso įtempiai. Apibendrinus rezultatus matyti, kad takumo riba nebuvo viršyta. Kranų sijos modelio įlinkio ir įtempių skaičiavimo rezultatų analizė rodo, kad didžiausias reikšmių skirtumas buvo gautas įvertinant tiriamąjį modelį be briaunų ir su briaunomis (neatsižvelgiant į standumo briaunų skaičių). Įlinkis sumažėjo apie 76%, maksimalūs Mizeso įtempiai – apie 34%.

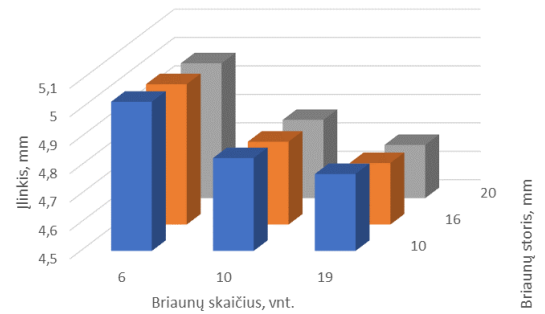
**1 lentelė.** Kranų sijos modelio skaičiavimo rezultatai

Nr	Standumo briaunų skaičius, vnt.	Standumo briaunų storis, mm	Įlinkis, mm	Mizeso įtempis, MPa
1	0	0	21,69	83,79
2	6	10	5,024	54,78
3	6	16	4,993	55,1
4	6	20	4,974	55,18
5	10	10	4,826	54,17
6	10	16	4,791	53,93
7	10	20	4,775	53,76
8	19	10	4,77	54,6
9	19	16	4,716	54,43
10	19	20	4,687	54,15

Šaltinis: sudaryta autorių

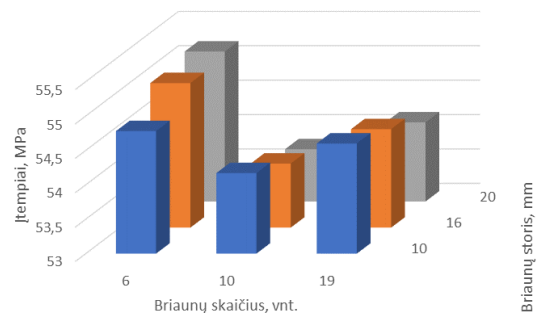
Kranų sijos standumo briaunos storį keičiant nuo 10 mm iki 20 mm (pav. 4), sijos įlinkis mažėja 0,99%, kai pasirinktos šešios

briaunos, 1,06%, kai pasirinkta dešimt briaunų ir 1,74%, kai pasirinkta devyniolika briaunų.



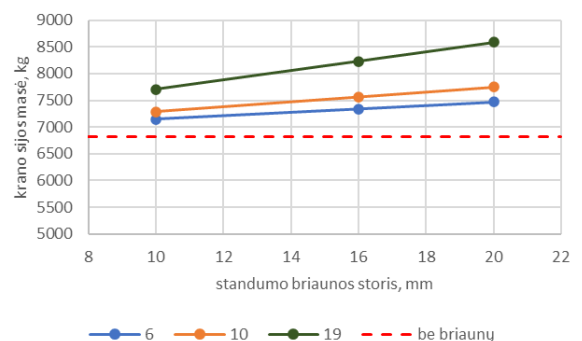
**4 pav.** Tarpatraminio vidurinio pjūvio įlinkio priklausomybė nuo standumo briaunų storio  
Šaltinis: sudaryta autorių

Kranų sijos standumo briaunos storį keičiant nuo 10 mm iki 20 mm (pav. 5), maksimalūs Mizeso įtempiai didėja 0,73%, kai pasirinktos šešios briaunos, mažėja 0,76%, kai pasirinkta dešimt briaunų ir mažėja 0,83%, kai pasirinkta devyniolika briaunų.



**5 pav.** Maksimalių Mizeso įtempių priklausomybė nuo standumo briaunų storio  
Šaltinis: sudaryta autorių

Kranų sijos standumo briaunos storį keičiant nuo 10 mm iki 20 mm (pav. 6), sijos masė didėja 4,34%, kai pasirinktos šešios briaunos, 5,98%, kai pasirinkta dešimt briaunų ir 10,25%, kai pasirinkta devyniolika briaunų.



**6 pav.** Kranų sijos masės priklausomybė nuo standumo briaunų storio  
Šaltinis: sudaryta autorių

Krano sijos masė su 20 mm storio briaunomis didėja 8,69%, 11,96% ir 20,52% didinant briaunų skaičių iki 6 vnt., iki 10 vnt. ir iki 19 vnt. atitinkamai.

## Išvados

Atlikus ožinio kran metalinės konstrukcijos sijos modelio skaičiavimo rezultatų analizę galima daryti išvadas:

1. Maksimalūs įtempiai neviršija naudoto plieno takumo ribos.
2. Standumo briaunos turi didelę įtaką kran sijos standumui. Pasirinkus standumo briaunas įlinkis sumažėjo apie 76%.
3. Standumo briaunos turi didelę įtaką kran sijos stiprumui. Pasirinkus standumo briaunas maksimalūs Mizeso įtempiai sumažėjo apie 34%.
4. Standumo briaunų skaičius ir storis neturi didelės įtakos sijos stiprumui. Keičiantis briaunų skaičiui nuo 6 iki 19 ir briaunų storiui nuo 10 mm iki 20 mm, maksimalūs Mizeso įtempiai kinta tik 2,57%.
5. Standumo briaunų skaičius ir storis neturi didelės įtakos sijos standumui. Keičiantis briaunų skaičiui nuo 6 iki 19 ir briaunų storiui nuo 10 mm iki 20 mm, įlinkis kinta tik 6,71%.
6. Optimali kran sijos konstrukcija, kai yra 10 briaunų, kurių storis siekia 10 mm. Tokia konstrukcija yra gana standi, stipri ir nedaug sveria.

## Literatūra

Gašić, V., Zrnić, N. & Milovančević, M. (2013). Considerations of Various Moving Load Models in Structural Dynamics of Large Gantry Cranes, *FME Transactions* 41, 311-316. 8.

Goodno B.J., & Gere J.M. (2018). *Mechanics of materials*. Boston, MA : Cengage Learning.

Yuan, Y., Meng, W. & Yang, Z. (2016). Multi-objective dynamic optimization of gantry crane based on reliability and robustness, *Journal of the Balkan Tribological Association* 22 (3-1), 2454-2468.

Kopnov, V.A. (1999). Fatigue life prediction of the metalwork of a travelling gantry crane, *Engineering Failure Analysis* 6, 131-141.

Molnár, D., Blatnický, M., Barta, D., & Grenčík, J. (2023). Design and strength analysis of the end carriage beam for the single girder bridge crane of a 500 kg load capacity, *Mechanization in agriculture & conserving of the resources issue 3/2023*, 89-94.

Orobey, V., Nemchuk O., Lymarenko, O., Piterska, V., Sherstiuk, O, Romanov, O., & Tkachuk, K. (2021). Diagnostics of the strength and stiffness of the loader carrier system structural elements in terms of thinning of walls by numerical methods, *Diagnostyka*, 2021, Vol. 22, No. 3, 73-81.

Patel, H., Upadhyay, D & Patel, D. (2020). Design Optimization of Box Girder in Gantry Crane using Finite Element Analysis Software, *International Research Journal of Engineering and Technology*, Vol.7 (8), 1906-1917.

Ragueneau, Q., Laurent, L., Legay, A., Larroque, T. & Crambuer, R. (2024). A constrained Bayesian Optimization framework for structural vibrations with local nonlinearities, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, doi.org/10.1007/s00158-024-03747-5.

Tang, G., Shi, C., Wang, Y., & Hu, X. (2019). Strength analysis of the main structural component in ship-to-shore cranes under dynamic load, *IEEE Access* Vol. 7, 23959-23966.

http://www.solidworks.com (Internetinis tinklalapis).

## GANTRY CRANE BOX CROSS-SECTION BEAM DESIGN MODELING

Aleksandr Vika<sup>1</sup>, Jelena Selivonec<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Vilniaus kolegija/Higher Education Institution

<sup>2</sup>Vilnius Gediminas Technical University

**Summary.** Gantry cranes are used in various technical fields. Crane designs are constantly being improved to enhance their performance, optimize lifting and loading processes, increase safety, and reduce environmental impact. Scientists are dedicating significant attention to developing new materials and technologies to strengthen structures, extend their service life, and reduce energy consumption. The object of the study is a beam of a metalwork of a 40 t gantry crane. The aim of the work is to determine the influence of the stiffening edges of the beam of the metalwork of the gantry crane on its strength and stiffness. The finite element method is used. In order to achieve the purpose of the research, we chose to study the influence of the number of stiffening edges of the metalwork beam of the gantry crane of the developed model and the variation in their thickness. The thickness of all stiffeners was varied by observing the deformations of the crane beam. The computational model was compiled using Solidworks software. AISI 1020 steel was selected in the material library. The calculation results are illustrated by the distribution of normal stresses and displacements in the beam of the metal structure of the gantry crane. The construction of the crane beam is optimal when it has 10 stiffening ribs of 10 mm thickness.

**Key words:** Gantry crane, modeling, box cross-section, finite element method, beam stiffness.

## THE USE OF AI TOOLS IN TEACHING ESP

Svetlana Toropovienė

*Vilniaus kolegija/Higher Education Institution, Saltoniskiu st. 58-1, Vilnius*

**Abstract.** This paper examines the problem of using modern digital technologies (based on AI) in the process of teaching English for Specific Purposes (ESP) in an academic learning environment. It aims to identify the educational potential of digital tools such as Google Translate, Elsa, Orai, ChatGPT, etc. in the ESP learning and teaching environment and develop methodological recommendations for their use. This paper demonstrates the relevance of digital technologies for the education system, provides an overview of digital tools that could be used in the College's ESP course, as well as a description of how they are methodologically effective for teaching English for Specific Purposes. Based on the study's findings, methodological recommendations can be made for integrating digital technology into the ESP learning / teaching environment, which includes organizing lectures as well as students' self-study tasks and assignments.

**Keywords:** digital technologies; digital educational tools; AI; ESP; tasks and assignments.

### Introduction

The industrial revolution has impacted people in adapting to fast changes. Globalization and the fourth industrial revolution have brought about new innovations, prospects, and obstacles, particularly in technology. As a result, technology plays a crucial role in transmitting information through text, visuals, and audio (Rahayu & Pujiyono, 2017). Technology was invented to assist human tasks and activities. One technology that is currently undergoing intensive development is Artificial Intelligence (AI).

Many areas of life, including education, are experiencing a boom in the development of neural networks and chatbots. Artificial intelligence is becoming increasingly popular every day. One area where AI has shown great potential is in the teaching of foreign languages. With its ability to personalize learning experiences and provide instant feedback, AI has the potential to revolutionize the way foreign languages are taught (Li, 2021). Recent developments have seen a rise in AI, with empirical findings (eg, Crompton et al., 2022) revealing a trend towards using AI in language learning and writing skills more frequently than in other disciplines.

The advancement of technology and digital platforms has made the teaching and learning of English more convenient. Technology is opening many new possibilities for language learning (Fryer & Carpenter, 2006). Luo & Cheng (2020) states that teaching foreign languages is powered by Artificial Intelligence (AI) technologies. Digital tools and apps provide valuable opportunities for enhancing English language proficiency. Lecture plans, presentations, images, texts, questions, mind maps, and other learning materials are generated in seconds by Artificial Intelligence (AI) tools. A chatbot can maintain a conversation, answer a question, comment on the work being done, and suggest improvements. As a consequence, many instructors believe it is useless to assign homework, since students are capable of writing essays and other assignments using AI. Furthermore, it has been suggested that the introduction of English teaching machines could potentially eliminate the need for traditional classroom instruction or English educators (Shin, 2018). Consequently, the question arises whether a foreign language teacher can not only withstand the risks and threats of digitalization, but also make AI an

assistant and a friend, and make the learning process more qualitative, effective and interesting. The focus should be on creating an English class model that incorporates Artificial Intelligence and complements traditional pedagogy. In this article the author will try to understand this problem and give examples of working with students of technical engineering field under the conditions of AI development.

**The aim of the study** to explore the potential of using available AI tools to teach Technical English to engineering students.

**The objectives** are the following:

- to analyse theoretical material on AI use for teaching English
- to analyse and systemize available AI tools for ESP teaching
- to provide examples of students' assignments while applying AI tools

**Materials and research methods.** This article used theoretical and empirical research methods to examine the use of artificial intelligence in education. Scientific literature on the topic was reviewed and analysed by means of secondary qualitative analysis method. The potential benefits and risks were explored. It also has been looked at how AI services could be used in teaching English for specific purposes. Tasks and assignments were designed and tested by applying primary qualitative analysis method.

### 1. The results of the study and the discussion

The incorporation of AI into the educational system is an unavoidable outcome of the shift towards digitalizing education. According to scientific and methodological literature, this digitalization is leading to the transformation of various professions, including that of a foreign language instructor. This transformation involves the emergence of online educational platforms, the substitution of in-person experts with virtual reality and AI. Mukhallafi (2020) states that in the present research, artificial intelligence (AI) is characterized as the use of AI systems for teaching / learning English to improve the processes of organizing, arranging, and selecting content. Consequently, the role of the teacher diminishes in value and significance, as new responsibilities and titles like tutor, moderator, curriculum designer, project-based learning facilitator, online platform coordinator, and game-based educator come to the forefront.

The incorporation of artificial intelligence (AI) for foreign language instruction is considered a vital aspect of a foreign language educator's digital proficiency, which encompasses the knowledge, skills, capabilities, and preparedness to facilitate educational activities in a digital setting. Proficiency in digital tools, applications, and online resources is imperative for foreign language instructors to effectively teach a foreign language, develop personalized digital teaching materials, and establish digital learning environments. An educator lacking a strong digital skill set will encounter limitations in employing AI technologies to their full potential during the instructional process. Technology provides teaching and learning resources, motivates pupils (Larsen-Freeman & Anderson, 2011), facilitates learning (Ahmadi, 2018) and provides new methods for learning (Gilakjani, 2017).

Numerous educational platforms such as Edvibe, Miro, Notion, Trello, and Canva are currently integrating AI assistants that have the capability to create various educational materials like texts, tasks, images, diagrams, and cards with a single click for foreign language teachers. These AI assistants are also being utilized in foreign language courses to address queries from students, which helps in decreasing the amount of time teachers spend on mundane tasks. GPT chatbots are proficient in reviewing written assignments, identifying errors, and providing guidance on how to rectify them. The literature discusses the idea of "augmented intelligence" or "human-computer tandem", which enables the correction of errors and improves the effectiveness of the learning process.

Gawate (2019) states that as an additional support system, AI will play a critical function for both students and teachers of the English language. There are a number of promising opportunities in higher education that rises together with artificial intelligence (Lynch, 2018), (Maud Chassignola, 2018), (Mehrnaz Fahimirad, 2018), (André, 2017). This statement is also supported by Li (2017) that "Artificial intelligence also acts as a tool for improving English teaching". The fundamental focus of AI in higher education is to grasp the best qualities of electronic devices and lecturers where they work together for the best outcome for students (Marr, 2019). AI technology gives teachers access to resources and reduces the time spent in planning, grading and managing project (Schroeder, 2019).

Teaching and learning English has become easier with the development of digital platforms. Artificial intelligence (AI) technology now offers the opportunity to improve English language skills. Language literacy and digital literacy are a neat combination to improve global competence. AI bases its process on the text processing of a language. The more sophisticated the AI, the more and more accurate the language is mastered. Therefore, the use of AI technologies would strengthen foreign language teaching and learning. (Yingsoon, 2021).

AI is expected to have a significant impact on personalized learning, as stated in a policy brief from the UNESCO Institute for Information Technologies in Education. The main focus will be on adjusting the content and delivery of education to cater to the individual needs of each student.

Therefore, based on the information provided, it can be inferred that a teacher can enhance the learning experience and delegate some responsibilities to AI, allowing more time for intellectual and creative activities.

## 2. AI tools for ESP teaching

Let's move into the review of AI technologies that can be used in the process of teaching and learning ESP:

1. **Google Translate.** Google has created an enormous suite of tools for users, but after their original search engine, possibly the most important application is Google Translate which can be accessed on <http://google.com/translate> (Smallwood, 2015). Text speech has even been replaced by a translator. Applications like Google Translate are already integrated with Google Board. So, translating Lithuanian to English, or vice versa is as easy as typing on a keyboard. Covili (2016) states that there are five things about Google Translate, they are: Google Translate can translate into up to 50 different languages. The users can translate entire documents using Google Translate. Google Translate can pronounce words in the new language and provide definitions of the words. By using the mobile app for „translate“, the users can translate street signs on the fly. Google Translate also can translate websites into a variety of languages.

2. **ELSA.** English Learning Speech Assistant (ELSA) and designed by Vu Van in 2015, and is based in San Francisco, United States. This application makes use of Artificial Intelligence (AI) and speech recognition to help improve and perfect English pronunciation. This technology allows users to practice pronunciation by speaking certain words or sentences, with the system analysing and providing feedback. The ELSA framework is trained to recognize the speech patterns of non-native English speakers, differentiating them from other speech recognition technologies. Users take an assessment test to determine their proficiency level, with scores ranging from zero to 100 (most native speakers scoring 95 or higher). The results help personalize the user's learning path, pinpointing areas of improvement and suggesting specific lessons based on their abilities.

3. **Orai.** Orai is a perfect option for public speaking. It can not only be used to support a teacher but can also be used as a teacher. Orai is getting excellent reviews and is enjoyable to use. Orai is user-friendly. Improving your oratory skills is a quick, self-directed strategy. Concerning teaching and learning English, Orai's strengths are being able to detect how many words we say to detect how many fillers we say while we speak. Orai is an application purposed to help students to be better English speakers (Suryani, 2019).

4. **Chatbot.** Chatbots as one of the artificially intelligent conversational systems are the latest technologies designed to communicate both with humans and computers automatically (Ngh, 2019). Kovačević (2023) discusses the areas in which ChatGPT can be leveraged to promote learning in the ESP context: the generation of specialized texts, the subsequent creation of appropriate vocabulary, grammar and comprehension activities, the employment of ChatGPT as a chatbot virtual tutor and the provision of real-time feedback and assessment. Several previous studies have



proven the use of chatbots as a learning medium, especially learning English (Afrianto et al., 2019). Chatbots in the Telegram channel, which are a mobile learning tool, can also help you to master a foreign language. There are such bots as @multitran\_bot, @AndyRobot, @eddy-en-bot, @EnglishSimpleBot. The @multitran\_bot chatbot provides the ability to automatically work with online dictionaries, The bot gives all possible translations and meanings, duplicating the main functionality of Multitran (an online system of bilingual dictionaries), @AndyRobot focuses on practicing spoken English, thus the bot offers the student to choose one of the everyday topics. @eddy\_en\_bot helps you learn new vocabulary; the free version allows you to learn five words a day. With @EnglishSimpleBot you can read texts in English and mark unfamiliar words for further study in a special mode, take tests on specific topics.

There are artificial intelligence tools that were not specifically made for learning foreign languages but can still be used for that purpose. One example is the GPT chatbot we mentioned earlier. This tool stands out for its ability to understand context and generate text, which means it can consider previous messages and reply accordingly, creating realistic and fitting communication scenarios. With this feature, instructors and students can have conversations, talk about different subjects, and ask and answer questions in a natural way.

Students can improve their reading, writing, and speaking skills, expand their vocabulary, and enhance their communication style by using GPT chat for extra practice and support outside of the classroom.

Besides language teaching programs, there are also artificial intelligence tools known as teacher assistants. One example of these tools is the Twee website. This platform was created to help with making assignments related to various aspects of learning a foreign language such as vocabulary, grammar, reading, listening, speaking, and writing. Users can create texts and questions with different types of exercises like open-ended, true/false statements, correcting mistakes, etc. Additionally, the platform generates exercises focusing on vocabulary and grammar like fill in the blanks, matching words with definitions, completing sentences with the right words, and more.

Twee transcribes videos and creates questions based on them. They also gather interesting facts and quotes from famous individuals related to the chosen topic. They compile discussion questions, lists of pros and cons, and essay topics. However, the assignments produced by the platform should be reviewed carefully as not all of them may be error-free. Despite this, the system helps teachers save time in class preparation and encourages creativity by providing a variety of ideas and assignments.

Below is a list of different AI tools that are used to help teach a foreign language.

**Table 1.** AI tools for foreign language teaching / learning

No.	AI tool	Types of activities that are being worked on	Functionality	Accessibility
1	Google Translate	translation	Text translation	Free access
2	Elsa	pronunciation	Communication practices	Free access
3	Orai	public speaking	Public speaking practices	Free access
4	ChatGPT	speaking letter reading	Text generation on user request	Free access & paid subscription
5	Multitran_bot	vocabulary letter reading	- bot translator - online bilingual dictionary system.	Free access
6	AndyRobot	speaking pronunciation	- Themed lessons - Communication practices - Grammar exercises	Free access
7	EnglishSimpleBot	grammar reading	Individual selection of words & grammar tasks	Free access
8	ELEVENLABS.IO	speaking letter listening	- text-to-speech translation - automatic audio / video dubbing	Free access & paid subscription

*Šaltinis: sudaryta autoriaus*

AI helps teachers by generating diverse and personalized educational content. For example, authoring platforms such as Wordwall, Quillionz, LeringApps use AI to create quizzes and comprehension questions based on text inputs, saving teachers time and offering a greater variety of exercises formats while boosting the learners' interest through elements such as gamification. (Boeru, 2024).

### 3. Examples of assignments

Here are some examples of assignments for students in various professional study programs. These examples are not exact, and the actual content may differ depending on the specific area of study.

#### **Assignment for students of Automobile Electronics (work on the site Character.AI):**

1. Choose any automobile inventor (Elon Musk, Henry Ford, Enzo Ferrari, etc.) Compose 15 questions you would like to ask him during an interview, including questions on the following topics: background facts, business, success, professionalism, money, product represented, etc.
2. Find the person of your choice on Character AI. Ask him your questions. Try to maintain a coherent conversation by responding to the character's line.
3. Take a screenshot of the conversation and attach it in the comments. Tell the rest of the group what you found most interesting from the conversation with the character.

#### **Assignment for students of Automobile Technical Exploitation (work on the site ELEVENLABS.IO):**

1. Write a presentation about a famous automotive manufacturer according to the suggested plan, using speech cliches as well as specific technical terminology.

2. Enter the text in the box provided on the ELEVENLABS.IO website. Select your favourite voice from the list (with British or American accent). Generate the audio of the written text.
3. Read the text after the speaker using the shadowing technique.
4. Give the presentation to your classmates.

**Assignment for students of Information Technology (work with ChatGPT):**

1. In the GPT chat room, ask for help compiling a list of reasons why AI should be developed and used in various aspects of human life in the future.
2. Inquire the GPT chatbot about its thoughts on the reasons opposing the advancement and use of AI in the coming years.
3. Select a side (either in favour or against). Discuss with a group presenting the opposite view, summarize, and reach a mutual agreement.

**Assignment for students of Mechanical Transport Engineering (work with ChatGPT):**

1. Write an essay on the latest innovations used in mechanical engineering field. Provide examples to illustrate your chosen information.
2. Copy the text of the essay into the GPT chat room. Give the GPT chat room the task of checking your mistakes.
3. Analyse the corrections made by the GPT chat. Do you comprehend why you made those errors? What kinds of mistakes do you tend to make frequently? What areas do you still need to focus on improving?
4. Make screenshots of the original version of the essay and the version with corrections. Post your mistake analysis in the comments to the assignment.

**Assignment for students of Electrical Automation and Power Engineering (work with ChatGPT):**

1. Use a prompt to gather information for your mini project on Drones, their applications, types, advantages and disadvantages.
2. Ask ChatGPT to search for history of drone discovery and some interesting facts.
3. Ask ChatGPT to generate appropriate images, pictures, diagrams for your mini presentation.
4. Summarise all provided information to you by ChatGPT, make Power Point Presentation and present it to your classmates.

The different tasks focus on improving various language skills. The first task helps with language practice in everyday communication by maintaining dialogue speech. The second task aims to enhance pronunciation and word articulation. Many students who are not fluent in English struggle with pronouncing words correctly during oral presentations, which can impact how the presentation is perceived. The third task is intended to make dialogues easier. The fourth task is designed to help improve writing skills. The fifth task helps to develop comprehension, reading, writing skills all together.

To make real progress in learning a foreign language, tasks need to be organized systematically instead of just doing them once. The teacher can also help by guiding students in their independent work, sharing links to different

AI sites and apps, and explaining how specific tools can be useful.

It is important to keep in mind that it is premature to assess how successful artificial intelligence is in teaching English for Specific Purposes or Technical English because the research is still in its early phases and requires experiments to gather statistical information. Yet, there is already evident interest and enthusiasm among students for AI, leading to a boost in their desire to learn a language and a reduction in errors when using AI to study for lectures.

## Conclusions

This research enables us to make the following conclusions. The integration of diverse modern digital tools in college teaching / learning process serves as an effective method for creating and enhancing the lecture content and student engagement. Additionally, advancements in digital technologies are leading to the introduction of new educational practices for both educators and students. Students have the option of using AI tools to enhance their foreign language skills without requiring assistance from tutors. In regard to using artificial intelligence to replace foreign language instructors, GPT chat stated that AI has the ability to enhance the educational experience but is improbable to completely substitute teachers. Unlike AI, teachers possess qualities such as empathy, motivation, and social interaction skills. They are more proficient in grasping context, providing explanations from various viewpoints, and encouraging critical thinking and independent opinions.

The use of AI for teaching ESP shows great potential and should be further explored, focusing on both the creation of new AI tools and the development of algorithms for facilitating teacher-student interactions with AI, as well as the design of relevant tasks. In general, using AI in ESP teaching makes learning more inclusive, interactive, and fun, getting students ready for a tech-driven world. This research emphasizes the importance of training English language teachers to effectively utilize a range of AI tools with ESP learners. Exploring various AI tools to enhance the primary language skills (writing, speaking, listening, and comprehension) by creating self-study tasks/assignments could offer additional insights for more extensive research.

## References

- Afrianto, I., Irfan, M. F., & Atin, S. (2019). Aplikasi Chatbot Speak English Media Pembelajaran Bahasa Inggris Berbasis Android. *Komputika: Jurnal Sistem Komputer*, 8(2), 99–109. doi.org/10.34010/komputika.v8i2.2273
- Ahmadi, M. R. (2018). The use of technology in English language learning: A literature review. *International Journal of Research in English Education*, 3(2), 115–125. doi.org/10.29252/ijree.3.2.115
- André, E. B. (2017). Artificial Intelligence in Education. In proceedings of the 18th International Conference on AIED.
- Boeru, M. (2024). Exploring the Use of AI Tools in Teaching English for Specific Purposes. *Scientific Bulletin of Naval Academy*. Vol. XXXVII 2024, pg. 91-96.
- Covili, J. J. (2016). *Going Google: Powerful Tools for 21st Century Learning*. Corwin Press.

- Crompton, H., & Burke, D. (2022). Artificial intelligence in K-12 education. *SN Social Sciences*, 2(113). doi.org/10.1007/s43545-022-00425-5
- Fryer, L., & Carpenter, R. (2006). Bots as Language Learning Tools. *Language Learning & Technology*, 7.
- Gawate, S. P. (2019). Artificial Intelligence (AI) Based Instructional Programs in Teaching Learning of English Language. *International Journal of English Language, Literature and Translation Studies (IJELR)*, 6, 6.
- Gilakjani, A. P. (2017). A review of the literature on the integration of technology into the learning and teaching of English language skills. *International Journal of English Linguistics*, 7(5), 95–106. doi.org/10.5539/ijel.v7n5p95
- Kovačević, D. (2023). Use of ChatGPT in ESP teaching process. 22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2023. doi.org/10.1109/INFOTEH57020.2023.10094133 [10], <https://www.yeschat.ai/>
- Larsen-Freeman, D., Anderson, M. (2011). *Techniques and principles in language teaching* (3rd ed.). Oxford University Press.
- Lynch, M. (2018, May 6). 7 Roles for Artificial Intelligence in Education. Retrieved from: <https://www.thetechdovocate.org/7-roles-for-artificial-intelligence-in-education/>
- Li M. An Immersive Context Teaching Method for College English Based on Artificial Intelligence and Machine Learning in Virtual Reality Technology. *Mobile Information Systems*, vol. 2021. Article ID 2637439.
- Li, R. (2020). Using Artificial Intelligence in Learning English as a Foreign Language: An Examination of IELTS LIULISHUO as an Online Platform. *Journal of Higher Education Research*, 1. doi.org/10.32629/jher.v1i2.178
- Luo, M., Cheng, L. (2020). Exploration of Interactive Foreign Language Teaching Mode Based on Artificial Intelligence. *2020 International Conference on Computer Vision, Image and Deep Learning*. doi.org/10.1109/CVIDL51233.2020.00-84
- Marr, B. (2019). *How Is AI Used In Education -- Real World Examples Of Today And A Peek Into The Future*. Retrieved from: <https://bernardmarr.com/default.asp?contentID=1541#:~:text=AI%20has%20already%20been%20applied,develop%20skills%20and%20testing%20systems.&text=AI%20can%20drive%20efficiency%2C%20personalization,capabilities%20where%20machines%20would%20struggle>
- Maud Chassignol, A. K. (2018). Artificial Intelligence trends in education: a narrative overview. *Procedia Computer Science*, 136, 16-24.
- Mehrmaz Fahimirad, S. S. (2018). A Review on Application of Artificial Intelligence in Teaching and Learning in Educational Contexts. *International Journal of Learning and Development*, 8(4), 106-118.
- Mukhallafi, T. R. A. (2020). Using Artificial Intelligence for Developing English Language Teaching/Learning: An Analytical Study from University Students' Perspective. *International Journal*. doi.org/10.5539/ijel.v10n6p40 *English Linguistics*, 10(6), 40.
- Nghi, T. T., Phuc, T. H., & Thang, N. T. (2019). Applying Ai Chatbot for Teaching a Foreign Language: *An Empirical Research*. 8(12), 6.
- Rahayu, S., Pujiyono, W. (2017). Media Pembelajaran Kecerdasan Buatan Pokok Bahasan Metode Pelacakan Menggunakan Multimedia Pada E-Learning. *JSTIE (Jurnal Sarjana Teknik Informatika)*. doi.org/10.12928/jstie.v5i1.10824 (E-Journal), 5(1), 136–145.
- Shin, M.-H. (2018). How to use artificial intelligence in the English language learning classroom. *Indian Journal of Public Health Research & Development*, 9(9), 557. doi.org/10.5958/0976-5506.2018.01058.6
- Schroeder, R. (2019, June 19). *Emerging Roles of AI in Education*. Retrieved from: <https://www.insidehighered.com/digital-learning/blogs/online-trending-now/emerging-roles-ai-education>
- Smallwood, C. (2015). *The Complete Guide to Using Google in Libraries: Research, User Applications, and Networking*. Rowman & Littlefield.
- Suryani, L., Syahrizal, T., & Fauziah, U. N. E. (2019). *Using Orai Application in Teaching Pronunciation*. *Indonesian EFL Journal*, 5(2), 93–102.
- Yingsoon, G. Y. (2021). Using AI Technology to Support Speaking Skill Development for the Teaching of Chinese as a Foreign Language [Chapter]. *Multidisciplinary Functions of Blockchain Technology in AI and IoT Applications*; IGI Global. doi.org/10.4018/978-1-7998-5876-8.ch010

**AI tools tested:**<https://elevenlabs.io/><https://elsaspeak.com/en/ai/><https://orai.com/><https://translate.google.com/?sl=lt&tl=en&op=translate>[https://www.mychatbotgpt.com/index4.html?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjwgL-3BhDnARIsAL6KZ69-8KgOG6pFPubeyIjztsB7ZXSid1g-zdaNtCSZ1YIBE9nQmeT4c-8aAraQEALw\\_wcB](https://www.mychatbotgpt.com/index4.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwgL-3BhDnARIsAL6KZ69-8KgOG6pFPubeyIjztsB7ZXSid1g-zdaNtCSZ1YIBE9nQmeT4c-8aAraQEALw_wcB)**DIRBTINIO INTELEKTO NAUDOJIMAS ESP  
KURSO METU****Svetlana Toropovienė***Vilniaus kolegija*

**Santrauka.** Straipsnyje nagrinėjama šiuolaikinių skaitmeninių technologijų (pagrįstų dirbtiniu intelektu) naudojimo problema mokant techninės anglų kalbos akademinėje mokykloje aplinkoje. Juo siekiama nustatyti skaitmeninių priemonių, tokių kaip *Google Translate*, *Elsa*, *Orai*, *ChatGPT* ir kt., edukacinį potencialą ESP mokymosi aplinkoje ir parengti jų naudojimo metodines rekomendacijas. Šiame darbe parodomas skaitmeninių technologijų aktualumas švietimo sistemai, apžvelgiamos skaitmeninės priemonės, kurios galėtų būti naudojamos kolegijos ESP kursuose, taip pat aprašomas jų veiksmingumas mokant techninės anglų kalbos. Remiantis tyrimo rezultatais, galima pateikti skaitmeninių technologijų integravimo į ESP mokymosi aplinką metodines rekomendacijas, kurios apima paskaitų ir studentų savarankiško mokymosi veiklos organizavimą.

**Reikšminiai žodžiai:** skaitmeninės technologijos, skaitmeninės mokymo priemonės, dirbtinio intelekto programėlės, ESP, užduotys.

# EKSPLOATUOTŲ PLIENINIŲ TECHNOLOGINIŲ VAMZDYNŲ IR APARATŪROS KOMPONENTŲ SU DEFEKTAIS LIEKAMOJO RESURSO VERTINIMAS

Lukas Garalis<sup>1</sup>, Nikolaj Višniakov<sup>1</sup>, Vitalijus Rudzinskas<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58-1, Vilnius

**Anotacija.** Straipsnyje nagrinėjamas chemijos pramonės objekte eksploatuoto aukštatemperatūrio chromo-molibdeno plieno vamzdyno liekamasis resursas, taikant eksperimentines ir skaičiuojamąsias metodikas, atliktas vertinimas ir skaičiavimo rezultatų palyginimas, siekiant išsiaiškinti skirtingų metodikų efektyvumą ir tikslumą. Eksploatuojamas vamzdynas veikiamas ciklinių apkrovų, kurios lemia metalo nuovargį. Dėl terpėje esančių žalingų vandenilio ir sieros junginių ilgainiui keičiasi plieno mikrostruktūra, intensyvėja metalo nuostolis dėl korozijos, atsiranda įtrūkio defektų. Visi šie veiksniai lemia įrangos liekamojo resurso mažėjimą. Vamzdyno būklei nustatyti ir liekamajam eksploataciniam resursui įvertinti buvo atliekami periodiniai neardomosios kontrolės bandymai: ultragarsiniai sienelės storio matavimai ir defektoskopija. Išanalizuoti ir palyginti skirtingais metais gauti tyrimų rezultatai. Atliktas metalo atsparumo nuovargiui vertinimas bei defektų atsiradimo greičio modeliavimas taikant irimo mechanikos principus esamomis eksploatacinėmis sąlygomis. Palyginti eksperimentinio ir modeliavimo būdu gauti tyrimų rezultatai.

**Reikšminiai žodžiai:** chemijos pramonė, chromo ir molibdeno plienas, liekamasis resursas, neardomoji kontrolė, korozija, metalo nuovargis, įtrūkiai, irimo mechanika.

## Įvadas

Karštyje patvarūs plienai skirti eksploatuoti iki 600 °C. Iš šių plienų dažnai gaminami chemijos pramonės įrenginiai ir vamdynai. Tokie plienai veikiami aukštų temperatūrų bei didelių slėgių, jų eksploatacijos sąlygos itin sudėtingos. Šiems plienams būdingos geros mechaninės savybės: stiprumas, atsparumas valkšnumui, patvarumas karštyje. Anksčiau chemijos pramonėje dažniausiai buvo naudojami gausiai legiruoti chromonikeliniai plienai, tačiau jų ekonomiškė alternatyva tapo mažai legiruoti chromo-molibdeno plienai. Šie plienai taip pat išlaiko savybes aukštoje temperatūroje, išsiskiria atsparumu valkšnumui (Valiulis, 2007). Įprastai šie plienai yra atsparūs aukštoms temperatūroms ir valkšnumui, todėl nesideformuoja 350–600 °C temperatūroje ir esant 15 – 30 MPa slėgiui. Vamdynų iš šio plieno eksploatacinis resursas gali siekti apie 250000 val. Projektuojant chemijos pramonės įrenginius atsižvelgiama į ribinius ilgalaikius įtempius – maksimalūs įtempiai tam tikroje temperatūroje per tam tikrą laiką, pvz., 600 °C ir 100000 val. Ši sąlyga būtina, kad įrenginys išlaikytų formą per visą eksploatacijos laikotarpį iki 20–30 metų. Eksploatuojant vamzdynus ir įrangą, pagamintą iš 5Cr-0,5Mo, plieno defektų atsiradimo priežastys gali būti skirtingos: sferoidizacija, nuovargis, terpės paveikta erozija ir korozija, aukštoje eksploatacijos temperatūroje atsirandanti vandenilinė korozija (API 571, 2020). Kai eksploatuojant kartu su nuovargiu ciklinių apkrovų metu atsiranda kokia nors korozijos atmaina, toks procesas vadinamas koroziniu nuovargiu. Chemijos pramonės technologinių vamzdynų terpėse dažnai yra sieros junginių, todėl susidaro palankios sąlygos sulfidinei korozijai. Įprastai šis reiškinys vyksta, kai eksploatacijos temperatūra didesnė nei 230 °C ir terpėje yra daugiau kaip 1 ppm sieros junginių, tokių kaip H<sub>2</sub>S. Korozija vyksta vandenilio sulfidui reaguojant su geležimi, proceso intensyvumas labiausiai priklauso nuo sieros kiekio terpėje ir terpės temperatūros (API 939, 2019). Aukštatemperatūre vandenilio korozija atsiranda esant aukštoms temperatūroms ir slėgiui. Reikia atkreipti dėmesį, kad šiuo

korozijos atveju galimi du plieninių konstrukcijų pažeidimo tipai: plieno paviršiaus dekarbonizacija ir vidinė dekarbonizacija. Paviršiaus dekarbonizacijos metu karbidai pašalinami iš plieno paviršiaus, todėl tolygiai prastėja paviršiaus mechaninės savybės. Vykstant vidinei dekarbonizacijai karbidai pašalinami iš vidinių plieno sluoksnių. Šio proceso metu susidaręs metanas užpildo struktūros mikrotuštumas, suformuoja dujų mikroporas. Todėl toje zonoje padidėja vidinis slėgis ir ilgainiui tai lemia įtrūkių atsiradimą (API 941, 2016). Siekiant aptikti defektus ir įvertinti tokių pažeidimų lygį paprastai atliekamas vamzdynų techninės būklės periodinis tikrinimas, kurio tikslas yra nustatyti, ar vamzdynai iki kitos patikros gali būti eksploatuojami, atsižvelgiant į jų korozinio bei mechaninio dėvėjimosi laipsnį, darbo valandų (ciklų) skaičių. Atsižvelgiant į tai, reikia nustatyti kitos patikros terminus. Techninių patikrų ir vertinimo tvarka, procedūros ir metodikos aprašomos įvairiuose standartuose ir reglamentuose. Pavyzdžiui, ASME API 579 standartas apima liekamojo resurso vertinimo procedūras, kurias galima naudoti siekiant įvertinti techninę būklę chemijos pramonės slėginių vamzdynų ir slėginių indų su defektais. Tokių tyrimų tikslas – įvertinti eksploatuotų chemijos pramonės slėginių vamzdynų iš 15X5M chromo-molibdeno plieno pavyzdžių techninę būklę, šių chemijos pramonės komponentų liekamąjį resursą (atsižvelgiant į dažniausiai aptinkamų defektų tipus) taikant irimo mechanikos principus ir skirtingas metodikas, taip pat atlikti palyginamąją duomenų analizę.

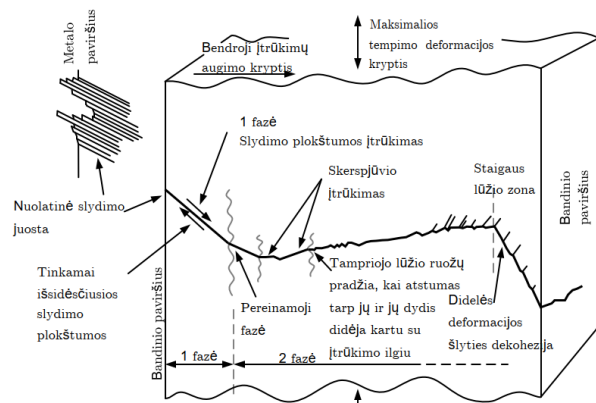
## 1. Metalu nuovargio reiškinys

Metalu nuovargis dažniausiai atsiranda, kai įrenginiai ilgą laiką yra veikiami ciklišku mechaniniu ir terminiu apkrovų. Dėl ciklinių apkrovų defektų gali atsirasti plieną veikiant gerokai mažesnėms apkrovoms nei jo takumo riba (API 579, 2021). Nuovargio sukelti įtrūkiai įprastai formuojasi pažeistuose paviršiuose, kadangi šios vietos tampa įtempių koncentracijos centrais (API 571, 2020). Nuovargio analizės metodikos aprašytos standartuose API

579, ASME XI bei mokslinėse publikacijose (M.M. Pedersen). Nuovargio procesą (žr. 1 pav.) galima suskaidyti į 3 fazes:

- Įtrūkių atsiradimo (iniciacijos) fazė. Kai įtempių amplitudės yra žemiau takumo ribos, mikroskopiniame lygmenyje gali atsirasti ciklinis slydimas, apimantis tik keletą medžiagos grūdelių. Dažniausia tai vyksta metalo paviršiuje, nes čia medžiaga yra ne tokia suvaržyta, palyginti su vidiniu tūriu. Plastiškose medžiagose slydimas dažniausiai vyksta didžiausio šlyties įtempio plokštumoje. Slydimas nėra grįžtamas procesas, todėl vėliau įvykstantys slydimai telkiasi aplink jau esamą. Tuomet susiformuoja mikroįtrūkis, kuris gali ir toliau didėti veikiamas ciklinės apkrovos. (Schijve, 2004).
- Įtrūkių plitimo fazė. Fiksuojama, kai plyšio augimas yra stabilus ir nuspėjamas.
- Galutinė lūžio fazė. Tam tikru momentu likęs medžiagos skerspjūvis negali išlaikyti veikiančios apkrovos ir įvyksta staigus lūžis (Pedersen, 2024).

Iniciacijos fazės trukmė priklauso nuo paviršiaus būklės, medžiagos stiprumo ir įtempių amplitudžių. Kita vertus, įtrūkio plitimo fazėje pakanka mažų įtempių amplitudžių, paviršiaus būklė yra nereikšminga, o įtrūkio plitimo greitis priklauso ne tiek nuo medžiagos stiprumo, kiek nuo medžiagos tamprumo modulio. Svarbu skirti šias fazes, nes jas lemia skirtingi irimo mechanizmai. Deja, nėra visuotinai priimto tikslaus kiekybinio rodiklio, kuris apibūdina, kada baigiasi viena fazė ir prasideda kita. Mikroskopiniam įtrūkiui atsirasti gali pakakti vieno ciklo. Tačiau praktikoje, norint atskirti įtrūkių atsiradimo ir plitimo fazes, dažnai naudojamas matomas ir/arba išmatuojamas  $\approx 0,1-1,0$  mm ilgio įtrūkis. Metalu gaminiuose įtrūkio iniciacijos fazė apima didžiąją dalį eksploatacijos laiko. Suvirintose konstrukcijose nedidelių įtrūkių dažnai atsiranda jau gamybos metu, todėl manoma, kad visas eksploatacijos laikas apima plitimo fazę.



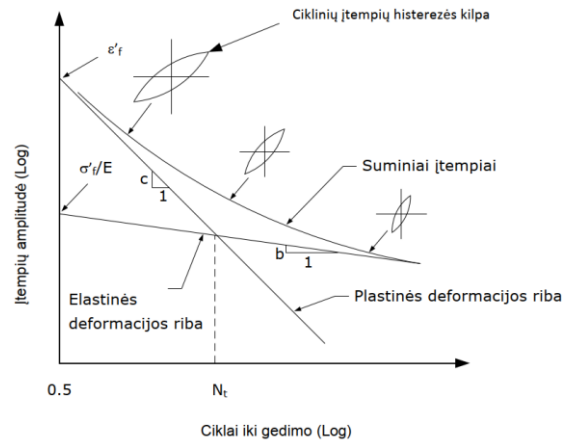
1 pav. Nuovargio įtrūkių raida  
Šaltinis: Fricke, 2009

Nuovargis paprastai skirstomas į dvi kategorijas: daugiacyklis nuovargis ir mažacyklis nuovargis. Daugiacyklis nuovargis būna, kai iki lūžio įvyksta daugiau kaip 10000 ciklų, veikiant mažiems ir daugiausia tampriems įtempimams, lemiantiems nežymų defektų augimą per ciklą. Mažacykliam nuovargiui būdingos didelės įtempių amplitudės ir akivaizdus defektų augimas per ciklą (The MathWorks, 2020).

Nuovargio dinamika perteikiama įtempių ir deformacijos S-N kreivėmis (Wohler curve) (žr. 2 pav.). S-N kreivėse y ašis parodo įtempių amplitudes, o x ašis – ciklų

skaičių. Šiomis kreivėmis ir apibūdinamas liekamasis resursas – t. y. ciklas esant atitinkamų įtempių amplitudėms (Pedersen, 2024).

Šis metodas taikomas metalo konstrukcijų elementams, kurie eksploatuojami cikliška apkraunant žemiau valkšnumo ribos ir kuriuose nėra aptikta matomų ir (arba) išmatuojamų įtrūkio defektų. Tačiau gali būti tam tikrų tūrinių defektų, pavyzdžiui, sienelės suplonėjimo, įdubų ir suvirinimo siūlių geometrijos nesutapimo (API 579, 2021).



1 pav. S-N kreivė  
Šaltinis: API 579, 2021

## 2. Irimo mechanikos principai

Netiesinės irimo mechanikos (kai taikoma netiesinė tamprumo ir plastiškumo teorija) metodu defektai vertinami atsizvelgus į defektų augimo sąlygas, kai defektų atsiradimo zonos veikia dideli įtempiai ir vyksta plastinės deformacijos (API 579, 2021). Taikomos vertinimo metodikos pateiktos standartuose API 579, ASME XI bei publikacijose (Pedersen, 2024). Defektų raida analizuojama remiantis įtempių intensyvumo faktoriumi  $\Delta K$ , kuris apibūdina vietinę apkrovą pasirinktame elemento segmente. Naudodami Paris lygtį, kiekvienai  $\Delta K$  reikšmei galima rasti įtrūkio augimo greitį  $da/dN$ , t. y. kiek įtrūkis padidės per vieną apkrovos ciklą, kurį integravus apskaičiuojama, per kiek ciklų toks įtrūkis išplis po visą elementą (Pedersen, 2024).

Analizuojant įtrūkio tipo defektus vietiniai įtempiai netaikomi, nes įtrūkio viršūnėje jie artėja prie begalybės. Tuomet taikomas įtempių intensyvumo koeficientas  $K$  (IIK), kuris nusako, kaip greitai įtrūkio viršūnėje įtempiai artėja link begalybės. Įtempių intensyvumo koeficientas priklauso nuo geometrijos, įtrūkio ilgio ir nominalių įtempių (Anderson, 2012):

$$K = f\sigma\sqrt{\pi a}, \quad (1)$$

čia  $f$  – geometrijos koeficientas,  $\sigma$  – nominalūs įtempiai,  $a$  – įtrūkio ilgis.

Paris (1961) eksperimentais nustatė, kad nuovargio įtrūkių augimo greitis koreliuoja su įtempių intensyvumo faktoriaus intervalu:

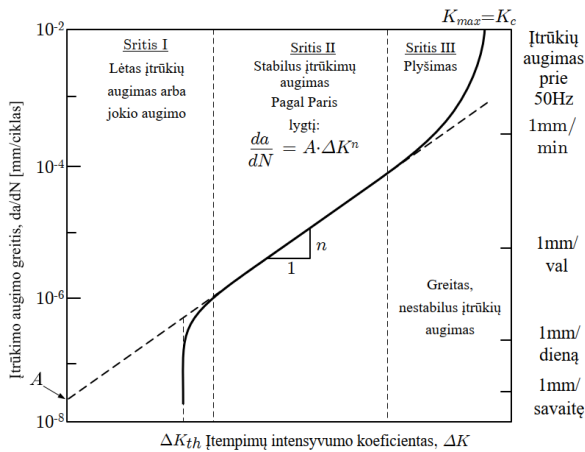
$$\frac{da}{dN} = A \times \Delta K^n, \quad (2)$$

čia  $da$  – įtrūkio ilgio prieaugis,  $dN$  – ciklų skaičius,  $A$  (sankirta, kai  $\Delta K = 1$ ) ir nuolydis  $n$  yra medžiagos parametrai,

tačiau jie priklauso nuo daugelio kitų veiksnių, pavyzdžiui, vidutinių įtempių, bandinio dydžio, aplinkos ir t. t.

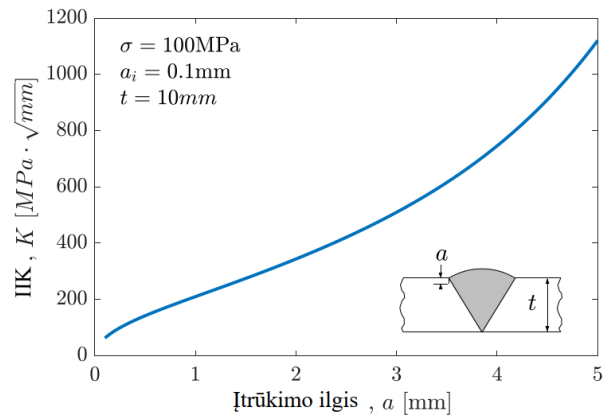
2 lygtis vadinama Paris lygtimi arba Paris dėsniumi. Ji apibrėžia, koks yra įtrūkio ilgio prieaugis per tam tikrą ciklų skaičių esant atitinkamam įtempių intensyvumo faktoriaus intervalui (Paris, 1961). Praktikoje taip pat naudojamos ir kitos Paris lygties modifikacijos. Walkerio lygtyje atsižvelgta į apkrovos santykį R, todėl taikant šią lygtį gali būti prognozuojamas spartesnis įtrūkių augimas, ką patvirtina empiriniai duomenys.

Kaip pavaizduota 3 paveiksle, 2 lygtimi aprašyta tiesinė elgsena gali būti taikoma tik centrinei srities II daliai  $\Delta K$  intervale. Tačiau ekstrapoliuoti į sritį I yra konservatyvu. Todėl buvo pasiūlyta daug išplėtimų, kad būtų galima apimti ir dvi netiesines schemas dalis (I ir III sritis). 3 paveiksle matyti, kad ribinė reikšmė  $\Delta K < \Delta K_{th}$ , žemiau kurios plyšių augimo greitis artėja prie nulio. Ribinė vertė nustatoma eksperimentiškai, mažinant  $\Delta K$ , kol įtrūkio plitimas sustoja. Ji laikoma medžiagos parametru, panašiu į nuovargio ribą (Pedersen, 2024).



3 pav. Įtrūkių augimo greičio priklausomybės nuo įtempių intensyvumo intervalo schema  
Šaltinis: Paris, 1961

Suvirinimo siūlių defektai, kuriuos galima analizuoti taikant irimo mechaniką: įpjovimas, užlaja, šaknies neįvirinimas. Tačiau svarbiausias parametras – tikrasis įtrūkio ilgis arba gylis  $a$  – paprastai nežinomas. Jį labai sunku išmatuoti, o praktikoje jis labai varijuoja. Todėl, užuot priėmus kažkokį pradinį įtrūkio gylį, analizė dažnai atliekama kaip skirtingo įtrūkio gylio jautrumo tyrimas. 4 paveiksle pavaizduota, kaip kai kuriais atvejais didėjant įtrūkiui didėja  $K$  reikšmė. Paprastai įtempių intensyvumo koeficientas didėja, nes mažėja nepažeista elemento skerspjuvio dalis, kuriai tenka visa apkrova (Pedersen, 2024).



4 pav. Įtempių intensyvumo koeficientas (IHK) sandūrinėje jungtyje  
Šaltinis: Pedersen, 2024

Yra daug publikacijų apie įtrūkių augimo greitį suvirintose jungtyse, kurių rezultatai ir patikimumas skiriasi. Pernelyg dažnai rezultatai pateikiami ištyrus mažos imties kompaktiško tempimo bandymų pavyzdžius, kurie neapima tempimo liekamųjų įtempių, paprastai būdingų suvirintoms jungtims. Remiantis mažos apimties kompaktiškais tempimo bandymais, rezultatai gali būti labai neobjektyvūs, nes jie neįvertina didelių liekamųjų įtempių realiose suvirinimo siūlėse (Pedersen, 2024).

### 3. Tyrimo objektas

Tyrimo objektas – chemijos pramonės feritinės klasės 15X5M (ASTM A335 gr.5 P5 analogas) chromo-molibdeno plieno vamzdyno, eksploatuoto 21 metus, DN500 elementai, kurių nominalus storis yra 25 mm. Vamzdynu transportuojama terpė (nestabilus katalizatas – dujų ir produkto mišinys). Darbinis slėgis nominalus:  $P_d = 18,9$  bar (1,89 MPa), darbinė temperatūra nominali:  $T_d = 480$  °C.

15X5M plieno mechaninės ir fizikinės savybės: takumo riba esant 20 °C  $R_{eH} = 581$  MPa, takumo riba esant 400 °C  $RP_{0,2\%} = 471$  MPa, stiprumo riba esant 20 °C  $R_m = 677$  MPa, smūginis atsparumas pagal Šarpio metodiką  $CVN = 239$  J, tankis  $\rho = 7610$  kg/m<sup>3</sup>, šiluminis laidumas  $K = 33$  Wm<sup>-1</sup>, savitoji šiluminė talpa  $C = 483$  J/kg, šiluminis plėtimosi koeficientas  $A = 12,3 \times 10^{-6}$  W/m°C, tamprumo modulis  $E = 145$  GPa.

Virintinės jungtys po terminio apdorojimo, atliktas aukštasis atleidimas. 15X5M plieno cheminė sudėtis pateikta 1 lentelėje.

1 lentelė. 15X5M plieno cheminė sudėtis

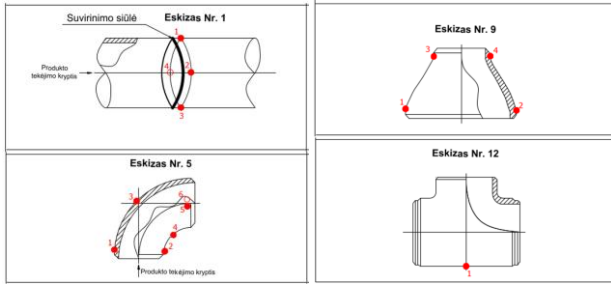
C, %	Mn, %	P, %	S, %	Si, %	Cu, %
0,084	0,517	0,02	0,003	0,334	0,061
Ni, %	Cr, %	Mo, %	Al, %	Nb, %	V, %
0,077	5,016	0,457	0,015	0,003	0,025

Šaltinis: sudaryta autorių

### 4. Tyrimų metodika

DN500 elementų ultragarsiniai storio matavimai buvo atlikti pagal EN ISO 16809. Matavimams pasirinktas OLYMPUS 38DL PLUS storio matuoklis ir 5 MHz daviklis. Storis matuotas naudojant 5 paveiksle pateiktas schemas, pasirinkta aplinkos temperatūra. Akustinis kontaktas tarp

jutiklių ir medžiagos užtikrintas naudojant skystį arba D2 gelį.



5 pav. Vamzdynų elementų sienelės storio matavimų schemas  
Šaltinis: BM-4, 2021

Vamzdyno elementų sąlyginis eksploatacijos laikas atsižvelgiant į elementų sienelės storį pagal GOST RD 38.13.004-86 skaičiavimo metodiką buvo nustatomas naudojant formulę (GOST RD 38.13.004-86, 1988):

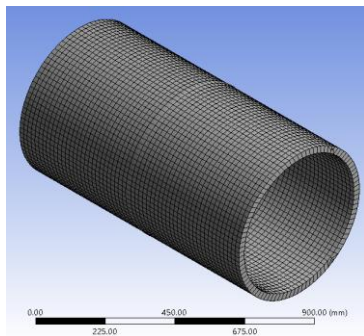
$$H = \frac{S_{VID} - S_{BR}}{KG}, \text{ metai}, \quad (3)$$

čia  $S_{VID}$  – vamzdyno elemento paskutinių matavimų vidutinis sienelės storis,  $S_{BR}$  – vamzdyno elemento brokavimo storis,  $KG$  – vamzdyno elemento korozijos greitis mm/metus. Korozijos greitis buvo skaičiuojamas pagal GOST RD 38.13.004-86, 1988:

$$G = \frac{S_{VID.T1} - S_{VID.T2}}{\Delta T \times K}, \text{ mm/metus}, \quad (4)$$

čia:  $S_{VID.T1}$  – apskaičiuotas vamzdyno elemento vidutinis sienelės storis ankstesnio matavimo metu,  $S_{VID.T2}$  – vamzdyno elemento vidutinis sienelės storis paskutinio matavimo metu,  $\Delta T$  – laiko skirtumas tarp paskutinio ir ankstesnio storių matavimų,  $K = 0,75$  – koeficientas, įvertinantis skirtumą tarp vidutinio numatomo korozijos greičio ir garantuojamo korozijos greičio.

Vamzdyno įtempių modeliavimas baigtinių elementų metodu (BEM) buvo atliktas taikant ANSYS programinę įrangą (žr. 6 pav.). „Von Mises“ įtempiai apskaičiuojami pagal krypties įtempių komponentes.

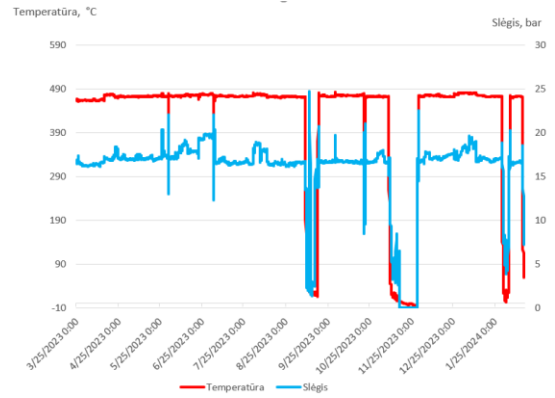


6 pav. DN500 vamzdyno segmentas suskaidytas į baigtinius elementus

Šaltinis: sudaryta autorių

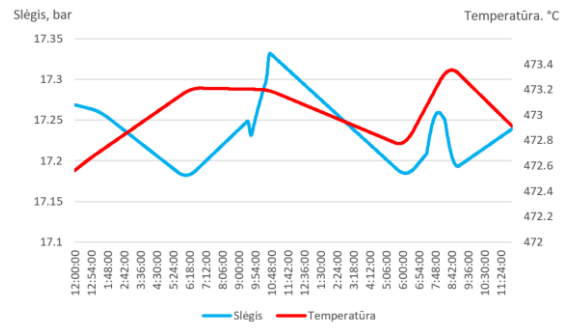
Nuovargio analizė atlikta FATLAB programine įranga. Nuovargio stipris gali būti išreikštas įtempių intervalais  $\Delta\sigma_R$  arba amplitudėmis  $\sigma_a$ , MPa (Pedersen, 2024):

$$\Delta\sigma_R = 2\sigma_a \quad (5)$$



7 pav. Vamzdyno metų trukmės apkrova  
Šaltinis: sudaryta autorių

15X5M vamzdyno 1 metų trukmės slėgio ir temperatūros apkrova, taikoma mažaciklio nuovargio skaičiavimams atlikti, pateikta 7 paveiksle, o paros trukmės slėgio ir temperatūros apkrova, taikoma daugiacyklio nuovargio skaičiavimams atlikti, pateikta 8 paveiksle.



8 pav. Vamzdyno paros trukmės apkrova  
Šaltinis: sudaryta autorių

Apkrovos ciklai skaičiuojami pagal „Rainflow counting“ metodiką, pateiktą ASTM E1049-85 standarte. Veikiančios apkrovos, tokios kaip jėga ir temperatūra esant tam tikriems įtempimams, buvo išreikštos apkrovos ir laiko priklausomybe  $\sigma(t)$  pagal 6 formulę (Pedersen, 2024):

$$\sigma(t) = \sum_i F_i(t) \cdot \sigma_{Fi=1}, \quad (6)$$

čia  $F_i$  – apkrovos  $N$ , °C (jėga, temperatūra),  $\sigma_{Fi=1}$  – įtempių reikšmė esant tam tikroms apkrovoms MPa. Išveriamų ciklų skaičius  $N$  apskaičiuojamas:

$$N = \frac{C_i}{\Delta\sigma^{m'}}, \quad (7)$$

čia  $\Delta\sigma^{m'}$  – nuovargio stipris esant vidutiniams įtempimams  $\sigma^m$  MPa,  $C$  – ištvermės riba MPa.

Nuovargio stiprį  $C_{50\%}$  galima nustatyti pagal 8 formulę:

$$N \log C_{50\%} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log C_i, \quad (8)$$

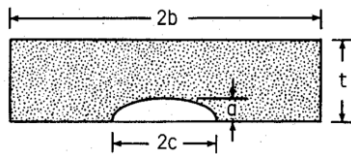
čia  $n$  – bandinių skaičius.  $C_i = N_i \times \Delta\sigma^m$ .

Projektinį nuovargio stiprį, atitinkantį 0,1 % gedimo tikimybę, reikia apskaičiuoti pagal 9 formulę.

$$\log C_{99,9\%} = \log C_{50\%} - k \cdot s_{\log C}, \quad (9)$$

čia  $k$  – bandinių skaičiaus  $n$  funkcija,  $s_{\log C}$  – standartinis  $\log C$  nuokypis.

Defekto raida modeliuota pagal metodiką, pateiktą ASME XI ir API 579 standartuose SACC programine įranga, pasirinkus centrinį pusiau elipsinį paviršinį defektą plokštumoje, kurios storis  $t = 25$  mm. Pradinio defekto matmenys: ilgis  $2c = 0,3$  mm ir gylis  $a = 0,1$  mm, kaip pavaizduota 9 paveiksle. Praktikoje tai gali atitikti įtrūkį, porą, įpjovą ar kirtimo žymę.



9 pav. Paviršiaus defekto forma  
Šaltinis: Newman, 1986

Walker lygtis (žr. 10 lygį) – tai Paris lygties modifikacija, kuria išreiškiamas nuovargio sukulto įtrūkio augimas  $c$  per ciklą  $N$  (Landes, 1986):

$$\frac{dc}{dN} = \left(\frac{\Delta K_I}{\Delta K_0}\right)^n \times 10^{-6} \frac{m}{\text{ciklą}}, \quad (10)$$

čia  $dc$  – įtrūkio pailgėjimas mm/ciklą,  $dN$  – ciklų skaičius,  $\Delta K_I$  – įtempių intensyvumo koeficiento amplitudė  $\text{MPa}\sqrt{m}$ ,  $\Delta K_0$  – medžiagos įtempių įtrūkių augimo konstanta  $\text{MPa}\sqrt{m}$ ,  $n$  – medžiagos konstanta.

2 lentelė. Įtrūkių augimo feritiniame pliene duomenys

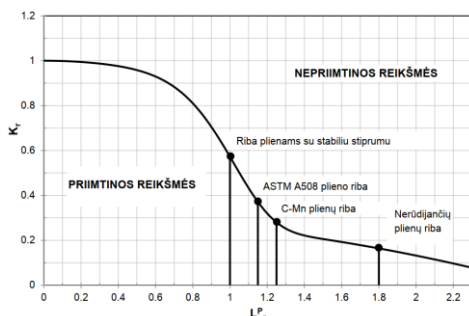
$\Delta K_I$ [ $\text{MPa}\sqrt{m}$ ]	$n$	$\Delta K_0$ [ $\text{MPa}\sqrt{m}$ ]		
		$R \leq 0,25$	$0,25 < R < 0,65$	$0,65 < R$
$\geq 23,4 - 15,8R$	1,95	23,42	$11,9(R+0,016)^{-0,513}$	14,65

Šaltinis: ASME XI, 2010

Nuovargio įtrūkių raidos rezultatai pateikiami įtrūkio matmenų pokyčio per ciklų skaičių kreive. Įtempties korozijos sukeltų įtrūkių augimo greitis  $c$  per laiko vienetą apskaičiuojamas 11 lygtimi (Hazelton, 1986):

$$\frac{dc}{dt} = \left(\frac{K_I}{K_0}\right)^\alpha \times 10^{-11} \frac{m}{s}, \quad (11)$$

čia  $dc$  – įtrūkio pailgėjimas mm/val,  $dt$  – laikas val,  $K_I$  – įtempių intensyvumo koeficientas  $\text{MPa}\sqrt{m}$ ,  $K_0 = 6,02$  MPa – medžiagos įtempties korozijos konstanta  $\text{MPa}\sqrt{m}$ ,  $\alpha = 2,161$  – medžiagos konstanta.



10 pav. Lūžio vertinimo kreivė  
Šaltinis: API 579, 2021

Defekto vertinimas buvo atliekamas pagal CEBG R6 metodiką (žr. 10 pav.), remiantis referenciniais įtempiams. Lūžio faktorius  $\rho$  (arba KR) apibrėžiamas kaip antrinių referencinių įtempių  $\sigma_{ref}$  ir ribinės apkrovos parametro LR funkcija. Antriniai referenciniai įtempiai priklauso nuo parametro  $\chi$  pagal 12 lygtį (Ainsworth, 1986):

$$\sigma_{ref}/\sigma_y = \chi f_R(\sigma_{ref}/\sigma_y), \quad (12)$$

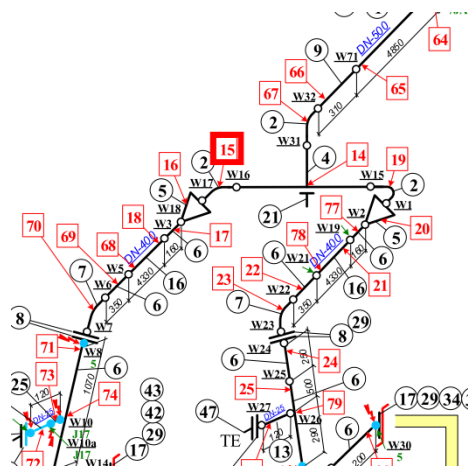
kur:

$$f_R(L_R) = (1 - 0,14L_R^2)[0,3 + 0,7 \exp(-0,65L_R^6)] \quad (13)$$

čia  $\sigma_{ref}$  – antriniai referenciniai įtempiai MPa,  $\sigma_y$  – plieno takumo riba MPa,  $\chi$  – skaičiavimo parametras,  $f_R$  – geometrijos funkcija.

## 5. Tyrimo rezultatai

5 matavimo taške (3 lentelė), kur terpė keičia tekėjimo kryptį (žr. 11 pav.), 2020–2024 metais vidutinis storio nuostolis buvo 1,3 mm, minimalaus storio nuostolis –2,9 mm. Apskaičiuotas korozijos greitis 2020–2024 laikotarpiu  $KG = 0,43$  mm/metus. Vidutinis sienelės storis sumažėjo 2,7 mm, minimalus sienelės storis – 4,3 mm, apskaičiuotas mažiausias resursas 15 matavimo taško DN500 elementui  $H = 22,15$  yra metai iki ribinio 18,6 mm sienelės storio (žr. 12 pav.). Apskaičiuoti ir palyginti 2006–2024 ir 2020–2024 laikotarpio 15 taško korozijos greičiai pateikti 13 paveiksle. Nustatyta, kad per paskutinių 4 metų laikotarpį, palyginti su paskutiniu 18 metų laikotarpiu, vidutinis sienelės storio korozijos greitis yra didesnis 0,23 mm/metus. Apskaičiuoti DN500 elementų pokyčių 2006–2024 laikotarpiu reikšmių vidurkiai  $-\Delta T_{vid} = 0,79$  mm,  $-\Delta T_{min} = 2,29$  mm (žr. 4 lentelę). 2024 metais išmatuotų DN500 elementų vidutinio ir minimalaus storio  $T_{vid}$  ir  $T_{min}$  reikšmių vidurkiai ir  $T_{vid1}$  ir  $T_{min1}$  sienelės storio vidurkiai iki ribinio  $T_{rib} = 18,6$  mm pateikti 5 lentelėje.



11 pav. 15 matavimo taškas – DN500 alkūnė  
Šaltinis: sudaryta autorių

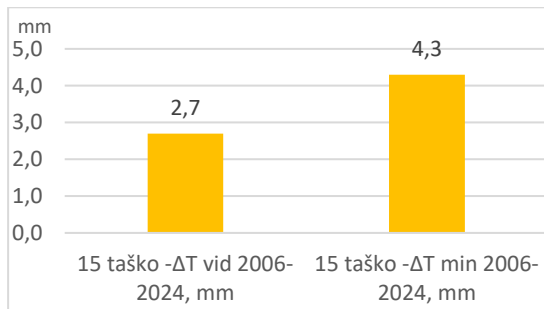
3 lentelė. 15 taško  $T_{vid}$  ir  $T_{min}$  reikšmės 2020 ir 2024 metais

2020		2024	
$T_{vid}$ , mm	$T_{min}$ , mm	$T_{vid}$ , mm	$T_{min}$ , mm
29.5	28.0	28.2	25.1

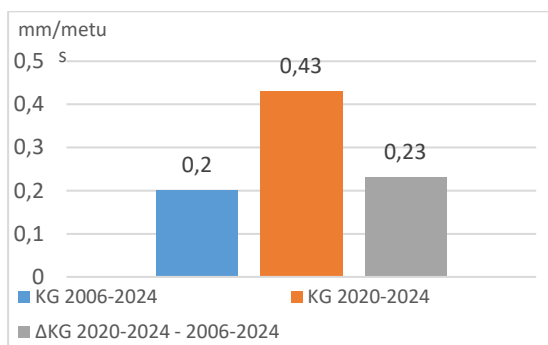
Šaltinis: sudaryta autorių



Mažaciklio nuovargio analizė atlikta FATLAB programine įranga susiejus ANSYS modelį su metiniais apkrovos duomenimis, kai skaičiuotinas ciklų skaičius  $n < 10000$ . Daugiaciklio nuovargio analizė atlikta, kai skaičiuotinas ciklų skaičius  $n > 10000$ . Vamzdynas jau buvo eksploatuojamas 21 metus.



12 pav. 15 taško  $-\Delta T_{vid}$  ir  $-\Delta T_{min}$  2006–2024 metais  
Šaltinis: sudaryta autorių



13 pav. 15 taško 2006–2024 ir 2020–2024 laikotarpiu korozijos greičio palyginimas  
Šaltinis: sudaryta autorių

4 lentelė. DN500 elementų  $-\Delta T_{vid}$ ,  $-\Delta T_{min}$  pokyčių reikšmės

Elementas	DN, mm	$-\Delta T_{vid}$ 2006–2024 vidurkis, mm	$-\Delta T_{min}$ 2006–2024 vidurkis, mm
Alkūnė 90	500	0,87	1,73
Trišakis	500	0,70	3,70
Vamzdis	500	0,80	1,43
Vidurkiaiai		0,79	2,29

Šaltinis: sudaryta autorių

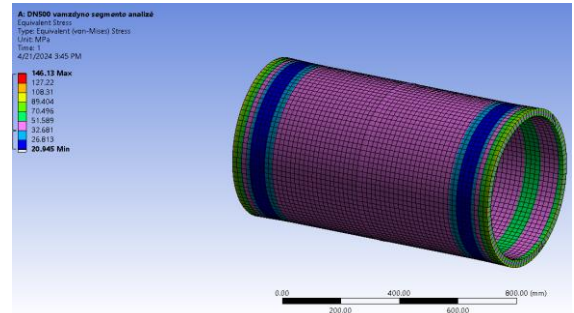
5 lentelė. Likęs DN500 elementų sienelių storis  $T_{vid}$ ,  $T_{min}$

2024 metų $T_{vid}$ , mm	Likęs $T_{vid} = T_{vid} - T_{rib}$ , mm	2024 metų $T_{min}$ , mm	Likęs $T_{min} = T_{min} - T_{rib}$ , mm
24,63	6,03	23,68	5,08

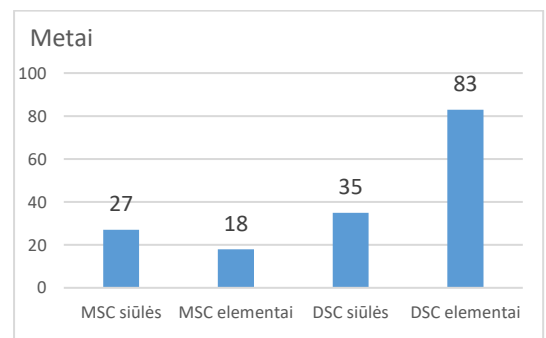
Šaltinis: sudaryta autorių

ANSYS programine įranga buvo sumodeliuotas 1 m ilgio DN500 vamzdyno segmentas su virintine sandūros jungtimi ir atlikta jo statinė mechaninė analizė taikant 1,89 MPa slėgio ir 480 °C temperatūrinės apkrovos (žr. 14 pav.). Apskaičiuota Von Misses įtempių reikšmė suvirinimo siūlėje ir TPZ siekė 51,589 MPa esant 1,89 MPa darbiniam slėgiui ir 480 °C temperatūrai, kai apkrova yra didinama tolygiai. Vyraujantys įtempiai mažesni nei 15X5M plieno takumo riba

esant 400 °C  $RP_{0,2\%} = 471$  MPa. Tai indikuoja, kad esamomis eksploataavimo sąlygomis plastinė deformacija dar nevyksta. Remiantis metiniais apkrovos duomenimis, daugiacyklio nuovargio atveju apskaičiuotas ciklų skaičius per metus buvo  $N_{metų} = 33$  ir maksimalių įtempių intervalas  $\Delta\sigma_R = 98,6$  MPa. Daugiacyklio nuovargio atveju apskaičiuotas ciklų skaičius per parą  $N_{paros} = 4$  ciklai ir maksimalių įtempių intervalas  $\Delta\sigma_R = 0,6$  MPa.

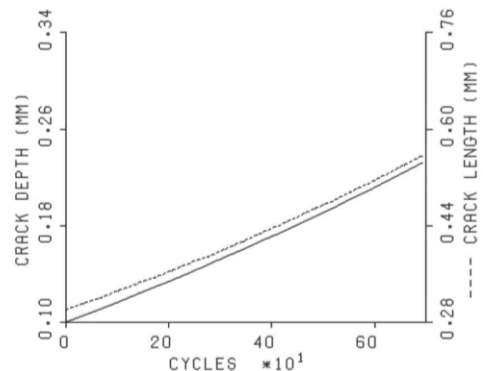


14 pav. Von Misses įtempiai esant 1,89 MPa slėgiui ir 480 °C temperatūrai  
Šaltinis: sudaryta autorių

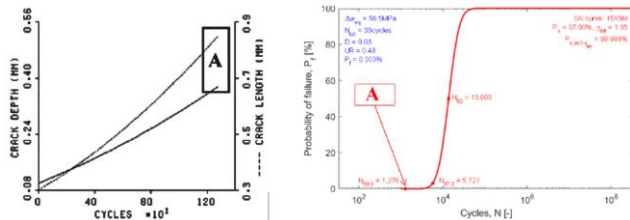


15 pav. Liekamasis resursas po 21 metų eksploatacijos, kai irimo tikimybė 0,1 %  
Šaltinis: sudaryta autorių

Apskaičiuotas resursas didesnis vamzdyną eksploatuojant, kai įtempių intervalai maži, t. y. esant daugiacykliam nuovargiui. Trumpiausias liekamasis resursas nustatytas fasoniniams vamzdynų elementams mažaciklio nuovargio atveju  $n = 18$  metų (594 ciklai), kaip pateikta 15 paveiksle. Mažaciklio nuovargio atveju suvirintų jungčių likęs resursas  $n = 27$  metai (891 ciklas). Daugiacyklio nuovargio atveju virintinėms jungtims likęs resursas  $n = 35$  metai (51458 ciklai), o fasoninių elementų likęs resursas  $n = 83$  metai (121308 ciklai).

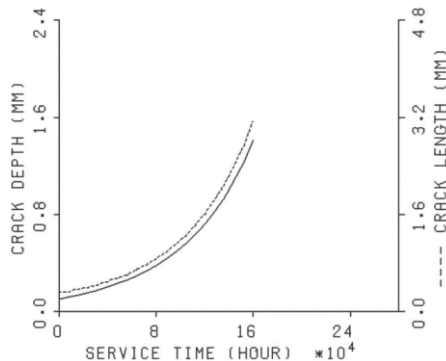


16 pav. Nuovargio įtrūkio matmenys po 21 metų (693 ciklų) eksploatacijos  
Šaltinis: sudaryta autorių

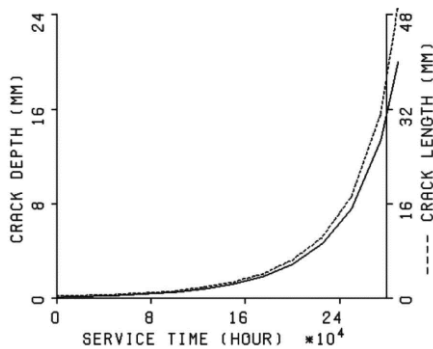


17 pav. Defecto matmenys A po 39 metų (1276 ciklų), kai irimo tikimybė 0,1 %  
Šaltinis: sudaryta autorių

Nuovargio įtrūkių raida buvo apskaičiuota SACC programine įranga mažaciklio nuovargio atveju (esant mažam ciklų skaičiui ir didelėms įtempių amplitudėms) pagal Walker lygtį pasirinktam defekto modeliui, kurio gylis 0,1 mm ir plotis 0,3 mm. Per 21 vamzdyno eksploatacijos metus (693 ciklus) apskaičiuotas nuovargio tipo defekto gylis bus 0,23 mm ir plotis 0,55 mm (žr. 16 paveikslą). Nustatytas įtrūkio gylis 0,37 mm ir ilgis 0,85 mm veikiant didelėms įtempių amplitudėms po 39 metų (1276 ciklų), kai gedimo tikimybė 0,1 % (žr. 17 paveikslą). Įtrūkių dėl įtempties korozijos raida apskaičiuota SACC programine įranga (esant mažam ciklų skaičiui ir didelėms įtempių amplitudėms). Pirmoje defekto plitimo fazėje iki 160000 vamzdyno eksploatavimo valandų (apie 21 metus) defekto gylis DG pasiekia 1,41 mm ir ilgis 3,12 mm. Defekto augimas dar nuosaikus (žr. 18 paveikslą). Po 289523 valandų (apie 38 metus) prognozuojamas defekto gylis bus 20 mm ir ilgis 49,01 mm. Įtempties korozijos atveju matyti, kad ilgainiui defekto augimas iš nuosaikaus tampa eksponentišku (žr. 19 paveikslą).



18 pav. Įtempties korozijos defekto raida ir matmenys po 693 ciklų (21 metų)  
Šaltinis: sudaryta autorių



19 pav. Įtrūkio raida apskaičiuota atsižvelgiant į įtempties koroziją  
Šaltinis: sudaryta autorių

6 lentelė. DN500 elementų KG pokyčio reikšmės

Elementas	KG T <sub>vid</sub> 2006–2024, mm/metus	KG T <sub>vid</sub> 2020–2024, mm/metus	ΔKG, mm/metus
Alkūnė 90	0,06	0,11	0,05
Trišakis	0,05	0,17	0,11
Vamzdis	0,06	0,19	0,13
Vidurkiai	0,06	0,16	0,10

Šaltinis: sudaryta autorių

Apskaičiuota prognozuojama defekto gylis DG 1,41 mm reikšmė yra didesnė nei ΔT<sub>vid</sub> vidurkis, tačiau mažesnė nei ΔT<sub>min</sub> vidurkis (žr. 4 lentelę). Palyginus 2006–2024 m. ir 2020–2024 m. laikotarpio DN500 elementų korozijos greičių vertes buvo nustatyta, kad korozijos greičio pokytis ΔKG koreliuoja su apskaičiuota defekto augimo tendencija. Remiantis duomenimis, pateiktais 5 lentelėje, kai T<sub>minl</sub> = 5,08 mm apskaičiuotas defekto gylis 6,6 mm ir ilgis 15 mm, o nustatytas bendras resursas siekia 243250 valandų (32 metai) (žr. 20 paveikslą). Įtempties korozijos defekto liekamojo resurso skaičiavimo rezultatai konservatyvesni nei eksploatacinio resurso skaičiavimo pagal išmatuoto sienelės storio pokyčio rezultatus. Remiantis irimo mechanikos principais, nustatytas gerokai mažesnis resursas, kol bus pasiektas ribinis sienelės storis 18,6 mm, 11 < 20, 25 metai. Atliktas įtempties korozijos defekto modelio, kurio pradinis gylis 1,41 mm ir ilgis 3,12 mm, raidos vertinimas. Nustatytas leistinas defekto gylis yra 14,24 mm ir ilgis 31,52 mm. Kritinis defekto gylis bus 18,40 mm ir ilgis 40,72 mm, kai įvyksta mišrusis lūžis (žr. 21 paveikslą).



20 pav. Įtempties korozijos defekto raida, kai T<sub>minl</sub> = 5,08 mm  
Šaltinis: sudaryta autorių

Crack depth	:1.41 mm
Crack length	:3.12 mm
KR	:0.21
LR	:0.57
KI, primary deepest point	:9.34 MPa(m=1/2)
KI, secondary deepest point	:9.34 MPa(m=1/2)
KI, primary intersection free surface	:9.77 MPa(m=1/2)
KI, secondary intersection free surface	:9.77 MPa(m=1/2)
Maximum KR at the intersection with the free surface	
Acceptable conditions:	
Crack depth	:14.24 mm
Crack length	:31.52 mm
KR	:0.86
LR	:0.73
Maximum KR at the intersection with the free surface	
Critical conditions:	
Crack depth	:18.40 mm
Crack length	:40.72 mm
KR	:0.76
LR	:0.65

21 pav. Defekto, kurio gylis 1.41 mm ir ilgis 3.12 mm, lūžio rizikos vertinimo rezultatai  
Šaltinis: sudaryta autorių

Kai defekto dydis pasiekia leistiną gylį 14,24 mm, tuomet taikant įtempties korozijos modelį apskaičiuotas resursas bus 117500 valandų (15 metų). Nustatyta, kad pavojingiausias įtrūkių raidos mechanizmo tipas – korozija. Įtempties korozijos atveju apskaičiuota pati mažiausia liekamojo resurso trukmė  $H = 11$  metų, kol sienelės suplonėjimas pasieks ribinį storį  $T_{rib} = 18,6$  mm.

7 lentelė. Skirtingais metodais nustatytas liekamasis resursas H

Vertinimo metodas	Resursas H, metai
Įtempties korozijos modelis iki $T_{rib} = 18,6$ mm	11
Irimo vertinimas iki leistino 14,24 mm defekto gylio	15
Mažaciklio nuovargio poveikis / Walker modelis, kai irimo tikimybė 0,1 %	17
Pagal sienelės storį iki $T_{rib} = 18,6$ mm	22,15
Daugiacyklio nuovargio poveikis, kai irimo tikimybė 0,1 %	35

Šaltinis: sudaryta autorių

Tam pačiam vamzdymo elementui likęs sąlyginis eksploatacijos laikas atsižvelgiant į elementų sienelės storį pagal GOST RD 38.13.004-86 bus  $H = 22,15$  metai. Mažacikliam nuovargiui skaičiuoti taikant Walker modelį pasirenkama, kad įrangos resursas  $H = 17$  metų yra pasiekiamas, kai irimo tikimybė 0,1 %. Taikant daugiacyklio nuovargio modelį nustatytas resursas  $H = 35$  metai (žr. 7 lentelę). Atlikus korozijos sukkelto defekto irimo rizikos analizę 21 eksploatuotame vamzdyne, nustatyta, kad liekamasis resursas sieks  $H = 15$  metų.

## Išvados

1. Remiantis tirtų objektų stebėsenos ir viešai prieinamais statistikos duomenimis, nustatyta, kad defektų raida priklauso nuo darbo sąlygų ir darbinių terpių. Vyrauja pažeidimo mechanizmai, tokie kaip metalo nuovargis ir agresyvios terpės nulemta korozija. Objektuose atliktų tyrimų rezultatai palyginti su tų pačių objektų ankstesnių patikrų duomenimis, kad būtų galima įvertinti defektų augimo greitį ir prognozuoti liekamąjį resursą.
2. Skaičiuojamosios irimo mechanikos metodais buvo prognozuojama defektų raida eksploatacijos sąlygomis ir objektų eksploatacijos resursas. Nustatyta, kad įtempties korozijos paveiktų objektų modeliavimo rezultatai koreliuoja su realių objektų sienelės storio matavimo duomenimis, kadangi apskaičiuota prognozuojama defekto gylio DG 1,41 mm reikšmė yra tarp  $-\Delta T_{vid}$  ir  $-\Delta t_{min}$  vidurkių. Taikant skirtingas skaičiavimo metodikas ir modelius nustatytos liekamojo resurso reikšmės: įtempties korozijos defekto modelis – 11 metų, lūžio iki leistino defekto gylio modelis – 15 metų, mažaciklio nuovargio poveikis, kai irimo tikimybė 0,1 %, – 17 metų, pagal sienelės storį iki ribinio storio – 22,15 metai, daugiacyklio nuovargis, kai irimo tikimybė yra 0,1 %, – 35 metai.

## Literatūra

- Ainsworth, R. A. (1986). The treatment of thermal and residual stresses in fracture assessments.
- American Society of Mechanical Engineers (ASME) (2010). Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) Section XI Rules for in-service inspection of nuclear power plant components.
- Anderson, T. L. (2012). Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications volume 58 (4th edition).
- Anderson, T.L., and Osage, D.A. (2021). API 579: A Comprehensive Fitness-For-Service Guide.
- American Petroleum Institute. (2020). API 571 Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry.
- American Petroleum Institute. (2021). API 579 Fitness-For-Service.
- American Petroleum Institute. (2019). API 939 Guidelines for Avoiding Sulfidation Corrosion Failures in Oil Refineries.
- American Petroleum Institute. (2016). API 941 Steels for Hydrogen Service at Elevated Temperatures and Pressures in Petroleum Refineries and Petrochemical Plants.
- E1049 – 85. (2023). Standard Practices for Cycle Counting in Fatigue Analysis.
- Forman and Newman at NASA, de Koning at NLR, and Henriksen at ESA. (2008). AFGROW Nasgro equation.
- Fricke, W. (2009). Guideline for the Fatigue Assessment by Notch Stress Analysis for Welded Structures. IIW Doc. XIII-2240r1-08.
- Hazleton, W. S. (1986). Technical report on material selection and processing guidelines for BWR coolant pressure boundary piping, NUREG-0313, Rev. 2, USNRC.
- ISO 16809. (2017). Non-destructive testing Ultrasonic thickness measurement.
- M.M. Pedersen. (2024). Introduction to Metal Fatigue, Technical Report ME-TR-11, 3rd edition. Aarhus University.
- Landes, J. D. and McCABE, D.E. (1986). *Toughness of austenitic stainless steel pipe welds*, Topical Report EPRI NP-4768.
- Levinskas, R., Baltušnikas, A. ir Lukošiuūtė I. (2008). *Assessment of state of power plant steel 12X1MΦ from the structure point of view*. Proceedings of the 13th International Conference Mechanica. 314–319p.
- Paris, P., Gomez, M., and Anderson, W. (1961). *A Rational Analytic Theory of Fatigue*. The Trend in Engineering. 13:9–14 p.
- Saucedo-Muñoz M. L., Shin-Ichi K. S., Erika O. A., Lopez-Hirata V. M. and Dorantes-Rosales H. J. (2020). Precipitation Characterization and Creep Strength at 600°C for Creep Resistant Cr-Mo Steel.
- Folanz E., Martynov N. AT., Silver V. B. and Folanets E.4 (1988). *RD 38.13.004-86 Operation and repair technological pipelines under pressure up to 10.0 MPa (100 kgf/cm<sup>2</sup>)*. Moscow.
- Rudzinskas, V., Valiulis, A. V., Černašėjus, O., Višniakov, N. (2003). *Dynamics of properties and structure changes of pearlite steel during long-live operation*, Materials Science (Medžiagotyra) 9(2). 164–168 p.
- Schijve, J. (2004). *Fatigue of Structures and Materials*. Springer, 2nd edition.
- Slėginių vamzdynų naudojimo instrukcija BM-4. (2021). Juodeikiai.
- The MathWorks. (2020). *Practical Introduction to Fatigue Analysis Using Rainflow Counting*. Prieiga per internetą: <https://se.mathworks.com/help/signal/ug/practical-introduction-to-fatigue-analysis-using-rainflow-counting.html>
- Valiulis, A. V. (2007). *Legiruotieji plienai ir jų suvirinimas*. Technika. 248 p.

## **RESIDUAL LIFE ASSESSMENT OF OPERATED INDUSTRIAL STEEL PIPING AND EQUIPMENT COMPONENTS WITH DEFECTS**

**Lukas Garalis<sup>1</sup>, Nikolaj Višniakov<sup>1</sup>, Vitalijus Rudzinskas<sup>1,2</sup>**

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

*<sup>2</sup>Vilniaus kolegija/Higher Education Institution*

**Summary.** The residual life of the high-temperature chrome-molybdenum steel pipeline operated in a chemical industry facility is analyzed in the work. The evaluation and comparison of the calculation results were carried out using experimental and computational methodologies in order to evaluate the efficiency and accuracy of different methodologies.

The operational pipeline is exposed to cyclic loads, which lead to metal fatigue. Due to the presence of harmful hydrogen and sulfur compounds in the medium, the microstructure of steel degrades over time, metal loss due to corrosion intensifies, and crack-type defects develop. All these factors lead to a decrease in the residual life of the equipment. In order to determine the actual condition of the pipeline and evaluate the remaining operational life, periodic non-destructive control tests were performed: ultrasonic wall thickness measurements and defectoscopy. Research results obtained in different years are analyzed and compared. Assessment of metal fatigue resistance and defect growth speed modeling by applying the principles of fracture mechanics to the existing operational conditions were carried out. The results of experimental and simulation studies are compared.

**Key words:** chemical industry, chromium-molybdenum steel, residual life, non-destructive testing, corrosion, metal fatigue, cracks, fracture mechanics.

## TECHNICAL FIELD STUDENTS' LEARNING MOTIVATION

Audrius Čereška<sup>1,2</sup>, Svetlana Toropovienė<sup>2</sup>, Roma Aleknienė<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Vilnius Gediminas Technical University, Plytinės str. 25, Vilnius*

<sup>2</sup>*Vilniaus kolegija/Higher Education Institution, Saltoniškių str. 58-1, Vilnius*

**Summary.** Learning motivation is one of the most important and relevant educational problems nowadays. Motivation research is important because it helps to reveal the motives that determine the motivation of learners. It is important for educators to know the motivation factors of students to apply appropriate learning strategies. This article presents research on the learning motivation of students of technical specialities in order to find out and evaluate the factors that determine their motivation. The study consists of two parts: theoretical and practical. The theoretical part includes the analysis of scientific literature and other sources about motivation and its determining factors. Students of Vilnius Gediminas Technical University (VILNIUS TECH) and Vilnius College (VC) were interviewed for the practical research. After summarizing the obtained results, the factors which increase or decrease students' motivation were clarified.

**Key words:** learning motivation, motivation factors, technical speciality, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius College.

### Introduction

The modernization of Lithuanian education system includes not only changes in quality studies improvement, but also the pursuit of new educational results that meet the requirements of educational standards. Professional knowledge, skills and abilities can only be achieved if students have a positive attitude towards educational activities. Therefore, one of the most important goals of higher education institutions is the development of a motivated student personality, capable of living and working in a dynamically changing environment. Currently, the emphasis lies on the need to reveal and develop the learner's personality as much as possible, to create conditions for students' self-realization, self-improvement, as well as the ability of graduates to adapt to the rapidly changing labor market and society.

The trends of higher modern education and their expression in Lithuanian higher education determine the relevance of the study of students' attitudes towards learning: since, based on the lifelong learning paradigm, a person learns not only formally but also informally and by himself (Teresevičienė 2001). Teachers, psychologists, sociologists and other specialists are actively studying the problem of university and college students' motivation in various learning activities. However, many authors limit themselves by establishing the learning motivation being one of the most important components of learning success and related structures, as well as by identifying conditions that can weaken or strengthen learning motivation. Learning motivation and motivation to learn can be identified as a global educational problem, so research in this area is always relevant from theoretical, practical and comparative point of view (Brophy, Everson 1976).

Research on students' motivation is particularly significant because it helps to reveal the negative motives that determine learners' motivation. Higher education teachers need to know students' motivational factors to apply appropriate learning strategies.

Goals:

- to describe the meaning of learning motivation for the learner, based on the analysis of scientific literature and other sources, to reveal the factors that weaken and strengthen

students' learning.

- to evaluate the motivation of students studying in the study programs of technical specialities.

The practical significance of the research is the possibility widely use its results, improve the educational components of any higher education institution, form a sustainable system of students' motivation, gain knowledge, and thus, further improve the quality of studies in VILNIUS TECH and VC.

Aim – to find out the factors that determine the learning motivation of students of technical specialities of Vilnius Gediminas Technical University and Vilnius College.

Research methods: analysis of scientific literature, questionnaire survey, questionnaire data analysis.

### Methodology

Motivation arises from personality traits that are embedded deep in the subconscious (McClelland 1987). Students' motivation and methodology are important factors that determine the success of studies and further career. These factors are closely related because the right methodology can help students to stay motivated and better focus on their goals. If the student understands the importance of the acquired theoretical and practical knowledge, it greatly promotes his further education (Beresnevičienė 1998).

The following seven groups of factors were used for conducting the survey:

- factors influencing the choice of profession;
- the most important life factors that determine students' learning motivation;
- preferences in the learning process;
- dislikes in the learning process;
- the most significant factors of the learning process;
- expectations from studies;
- employment plans.

A questionnaire survey analysis of the received research data, graphic data, interpretation and summarizing of the results were carried out.

### Theoretical aspects of motivation

The concept of motivation does not have generally

accepted meaning in the scientific literature. It is observed that the term motivation is usually used in two senses. Motivation as the cause of behavior, a source of behavioral energy that prompts a person to act, a theoretical construct used to explain the cause, direction, intensity and stability of behavior (Brophy 1998). Motivation is a process that encourages the person to behave in such a way that important goals are achieved, needs are satisfied, energy that directs behavior in one direction or another is revealed. (Barkauskaitė, Motiejūnienė 2004).

Educators associate motivation with personality and the factors influencing the educational process. Scientists state that there is no single, all-encompassing theory of learning motivation (Butkienė, Kepalaitė 1996).

Internal and external motivation factors can be distinguished. The origin of internal factors lies in the personality itself. These are needs, values, goals, aspirations, interests, emotions. External factors are external circumstances. Internal and external motivations are related. Dispositions can be updated under the influence of a certain situation, and when certain dispositions are activated, the subject changes its perception of the situation. Internal motivation consists of the pursuit of excellence, the desire to act and compete. Internal motivation has been found to generally lead to high achievements, which is not the case for external motivation (Myers 2000). We can inform students about their learning achievements and interesting work by means of external motivation, for example, praise and encouragement. Such a reward, when informed about the quality of performed work, improves internal motivation and strengthens the sense of competence. In addition, other types of motivation can be found as well. For example, R. Jusienė and A. Laurinavičius (Jusienė, Laurinavičius 2007) classify motivation into unconscious and conscious. The authors consider unconscious motivation to be the kind of motivation that is influenced by a person who acts without understanding the reasons for his behavior. Meanwhile, according to R. Jusienė and A. Laurinavičius, conscious motivation is characteristic of such people who can explain the reasons for their behavior. The term achievement motivation is often found in literature. Achievement motivation is perceived as a desire focused on various future achievements. On the other hand, it is not easy to define achievement motivation, as it is closely related to learning motivation, achievement motivation and future plans.

The most powerful motivating force is unsatisfied need (Hargreaves 2008). As society develops, new generations with different demands and needs appear at each development stage. There are many theories of motivation, and the origin of all theories are related to Maslow theory of needs, which is static and pays attention to human needs. It can be stated that human behavior is controlled by patterns of emotional, physical and psychological pleasures as well as dissatisfaction and discomfort. According to D. G. Myers (Myers 2000), motivation is the force that energizes and directs behavior. H. Benesch (Benesch 2001) describes it as a composite construct, stating that motivation can explain: mental drive (“that” something starts to happen), functional origin (“where” the drive comes from and “where” it leads) and variety of behavior (“why” one person reacts in one way

and the other in a different way). According to Stoškus and Beržinskienė (Stoškus, Beržinskienė 2005), the most important source of motivation is motive. The same ideas are reflected in the concepts of motivation presented by different scientists. L. Jovaiša states that “motivation is a psychological process that regulates personality activity and relationships with the environment on the basis of changing motives” (Jovaiša 2007). J. Laužikas (Laužikas 1974) believes that motivation is connected to regulating mental qualities and the “activity” of the personality is usually stimulated by the whole complex of motives”, i.e., drives, a certain set of needs, desires, interests, inclinations, values, attitudes, beliefs, sometimes feelings and emotions or character traits. Each need automatically raises the motives for its satisfaction, which directs the behaviour towards the pursuit of the goal.

Definitions of motivation formulated by various scientists lead to the conclusion that scientists emphasize three main points when formulating the definition of motivation (Rheinberg 2000):

- the expediency of human activity;
- efforts;
- direction in achieving set goals.

Motivation studies based on the works of foreign researchers (Jensen 1999; Pollard 2006), reveal that the same school, its learning environment, teaching methods and home environment may not stimulate students’ motivation. How students perceive learning tasks, or the entire course of study, is determined by their previous experience. We observe similar tendencies in Lithuanian schools as well.

The concept of motivation summarizes human activity, goal pursuits and variety of actions (Benesch 2002). Learning motivation slightly differs from the general definition of motivation. This is a totality of internal learning incentives and their focus on learning. The environment, social situation, professional prospects are of great importance for learning motivation.

Learning motivation focuses on cognitive response, for example, students’ propensity to pursue will be meaningful and useful when academic activities provide benefits from the activities performed (Santrock 2007). Students who are motivated to learn will pay special attention to the lectures, the material read, so they can understand the point and reinforce various learning strategies. In addition, students will be involved in learning activities, have curiosity in searching for related sources on a given topic, and completing assigned tasks.

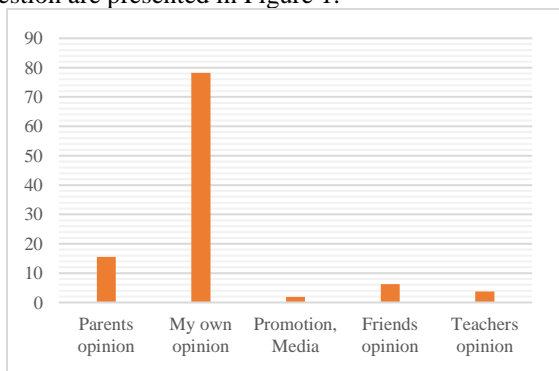
Examining the importance of motivation in learning, the German psychologist Hans Lowe considers motivation to be a necessary condition and prerequisite for lifelong learning. In perspective, the learning process is undoubtedly determined by motivation: no learning (except incidental learning) is possible without motivation. From the perspective of Lithuania motivation is an important factor that promotes action. The main purpose of higher education institutions is to give students the opportunity to become good specialists in their professional field. However, to achieve and implement this goal, the student should be motivated.

### Questionnaire, data results and analysis

A sociological survey of students was conducted in Vilnius Gediminas Technical University at the Faculty of Mechanics and in Vilnius College, in 2023, during spring semester. The survey contained 12 questions. An anonymous survey was conducted among I-IV-year students. 161 students answered the questionnaire.

The effectiveness of the educational process, the level of motivation, knowledge and individual success of students depends on the preparation at the school level. It is an important link in the school – college / university scheme of education. The students’ entries scores suggest that pre-college / university preparation of the students is of a good standard, but even when the grades were “Excellent” or “Good” it did not guarantee that the students had sufficient knowledge or the required level for college / university studies. In addition, experience shows that the school does not sufficiently teach students the basic skills of working with various sources, the principles of citing educational literature, and the presentation of educational materials in various formats. Therefore, first-year students gradually adapt to the academic activities of higher education, the lecture system and the absorption of specific professional material. This causes difficulties in the academic activities of the first-year students, failures during the exam sessions and a feeling of dissatisfaction with the study results.

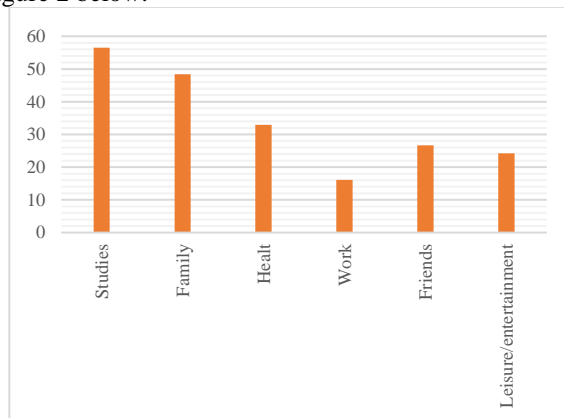
The identification and deeper analysis of this problem requires information that was obtained from the first-year students. To investigate the factors that influence the choice of profession and study areas, students were asked to answer the following question: “What led to the choice of your future profession?” The respondents’ answers to this question are presented in Figure 1.



**Figure 1.** Factors influencing the choice of profession  
*Šaltinis: sudarytas autorių*

The obtained data show sufficient independence of young people and awareness of their actions when choosing a speciality. The main reasons for choosing a technical speciality are the opportunity to study free of charge - 37,3 %, favorable fee for studies - 9,3 %, advice from friends and relatives - 16,8 %, the quality of studies offered - 18,0 %, the uniqueness of the study program - 20,5 %, the convenient geographical location of a college / university - 16,1 %. Studying the answers of students of various courses to the question “What is the most important thing in your life at the moment?” allowed us to conclude that science occupies a dominant place in students’ lives - 56,5 %.

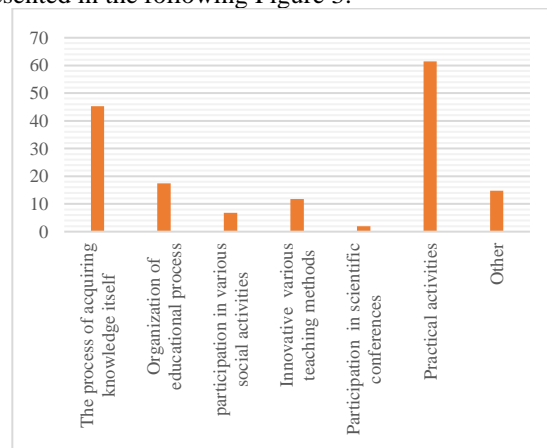
The second priority in students’ lives is family - 48,4 %. Health is an important factor that also determines the motivation of students nowadays, it accounts for 32,9 %. The importance of friends is - 26,7 %, entertainment - 24,2 %, work and leisure time - 16,1 %. The results are presented in Figure 2 below.



**Figure 2.** The most important life factors determining students’ learning motivation  
*Šaltinis: sudarytas autorių*

Students like to study, because the question “Do you like to study?” revealed the following answers: “yes” accounts for 67,1 %, “No” accounts for 7,5 % and “It was hard to answer” comprises - 21,7 %. Most college students noted that laziness (41,0 %), lack of knowledge (16,1 %) and time management skills (24,8 %) hindered them from studying successfully. 36,0 % of students surveyed answered that nothing hindered them from studying successfully.

The totality of all factors influences students’ motivation to obtain an education. Students’ expectations for learning can increase or decrease. Students’ answers to the question “What do you like in the learning process?” are presented in the following Figure 3.

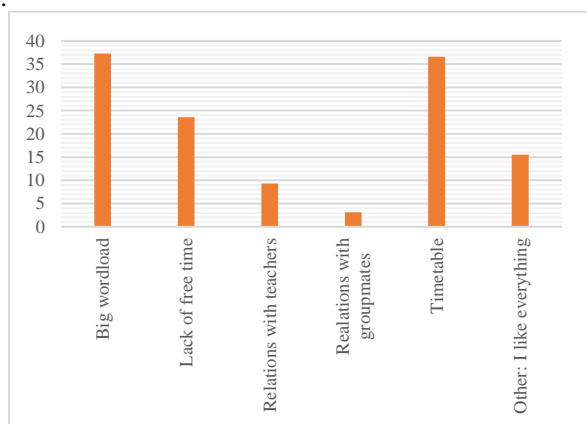


**Figure 3.** Likes in the learning process  
*Šaltinis: sudarytas autorių*

In the teaching process students like the practical sessions that help to deepen their professional knowledge. To the question “What do you like in the learning process?” 14,8% of respondents answered „Other” and commented as follows: “There is an opportunity to communicate with students of other specialities” or “Lecturers’ attitude towards the subject”. However, most students noted the point but left

the empty space without any comments.

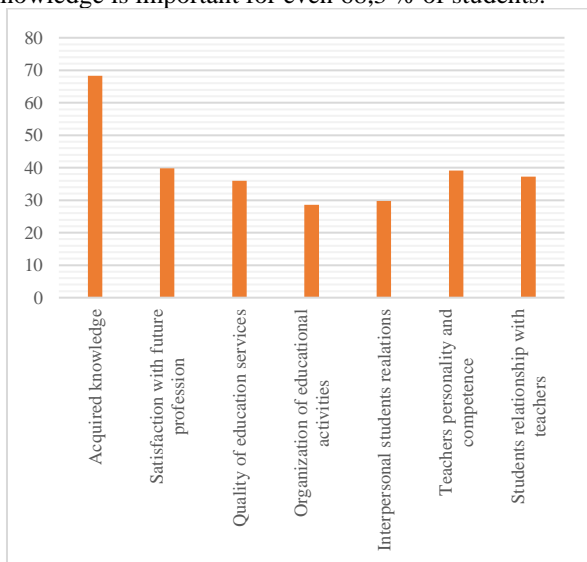
The students' answers to the question "What do you dislike about the learning process?" are presented in Figure 4.



**Figure 4.** Dislikes in the learning process  
*Šaltinis: sudarytas autorių*

These data show us that factors such as big workload and lecture time have a negative effect on the formation of motivation among college students. It is worrying that there are still problems in interpersonal relations among students and cooperation between students and lecturers. Coordinating these interactions is an important circumstance that affects the overall satisfaction of students to be members of the college and shapes the image and competitiveness of the college.

The result of the survey (Fig. 5) showed that the most important and significant factors in higher education are the motives of the students' education process. The acquired knowledge is important for even 68,3 % of students.

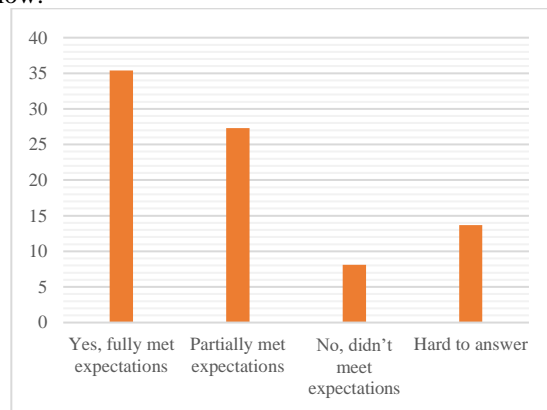


**Figure 5.** The most significant learning factors  
*Šaltinis: sudarytas autorių*

Regarding the questions of the questionnaire how students evaluate the study conditions and environment (auditoriums, laboratories and material base in general) the students' opinions were divided as follows: 50,3 % of students believe that the material base in higher education is good and 30,4 % agree that the material base is very good;

6,8 % of respondents found it difficult to answer this question.

The analysis of the answers to the question "Did the studies meet your expectations that you had before entering VILNIUS TECH and VC?" allowed us to determine the students' study expectations. 72,7 % of students admit that their studies met the expectations before entering the higher education institution, 8,1 % replied as it did not meet their expectations and for 13,7 % of students it was difficult to answer this question. The results are shown in Figure 6.



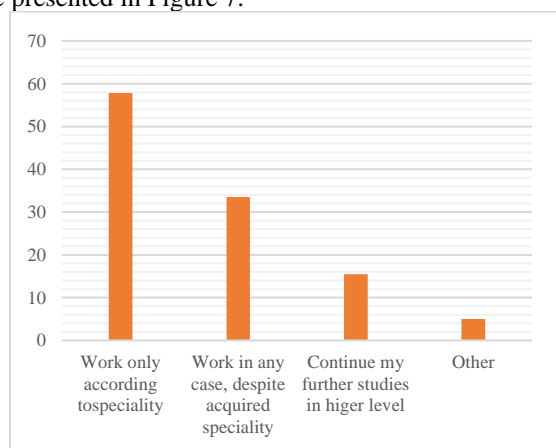
**Figure 6.** Compliance of expectations with studies  
*Šaltinis: sudarytas autorių*

According to some teachers, students' motivation to learn depends only on their own will, characteristics and their desire to acquire knowledge. However, this is not entirely true. A creative, individual teacher's approach while organizing work with students, can develop students' interest in learning and increase their motivation. The most important shortcoming of many teachers is to teach theoretical knowledge without concrete practical examples, the meaning of which is especially important for the current situation and future professional activities. A student enters college to gain knowledge that will enable him to become a good professional in his profession. The teacher must be able to prove that his topic will be useful in the future professional activities. If there is not contact between the students and the teacher, except for a minimal contact during the lecture in the classroom, there is no question about students' motivation then. It is very important for the student that the teacher is his mentor, who helps to develop his talents and achieve professional goals, to receive individual advice, consultations, assistance in planning his personal development. When asked about the influence of the teacher's personality and competence on their motivation 81,4% of students chose this factor as one of the most important.

In recent years, the problem of employment of graduates became particularly acute. The demand for employees of different specialities is increasing, employers' requirements for experience are growing, which young specialists simply do not have. How are students prepared for such conditions? What do they plan to do after graduation? What is the motivation for choosing a job? Do they feel they are prepared for their future professional career? The results of the answers to the question "What are your employment plans?"



are presented in Figure 7.



**Figure 7.** Employment plans  
*Šaltinis: sudarytas autorių*

More than half of the students plan to work according to their speciality. This is good news, because the biggest shortage or gap in the labor market is workers of technical specialities. There are those who plan to work in a field close to their speciality studied and it comprises 5,0 %.

The results of this survey are considered both complete and valid, given the comprehensive nature of the questionnaire and the sample size of 161 students from Vilnius Gediminas Technical University and Vilnius College. The diverse range of respondents, including students from I-IV years, provides a broad perspective on the academic and motivational challenges encountered at different stages of higher education. The anonymous nature of the survey likely encouraged honest and accurate responses, contributing to the reliability of the data. Furthermore, the survey's design addressed key factors such as academic adaptation, motivation, career plans, and student satisfaction, ensuring a well-rounded assessment of the student experience. The overall findings are consistent with existing research on student motivation and academic challenges, strengthening the validity of the conclusions drawn from the study.

## Conclusions

There are many difficulties in the life of a modern student. One of the most significant is increasing the motivation of learning activities. Many students need some help, support and development of will dedication and self-realization. The main aim of increasing learning motivation of educational activities lies in the revealing potential of the student's inner personality.

The survey conducted at Vilnius Gediminas Technical University and Vilnius College revealed key insights into students' educational experiences. Despite strong pre-university academic performance, 37.3% of students chose their technical speciality due to free study opportunities, but many still face challenges adapting to higher education due to gaps in essential academic skills, such as working with sources and citations. Motivation is primarily driven by science (56.5%), family (48.4%), and health (32.9%), though issues like laziness (41%), time management (24.8%), and

lack of knowledge (16.1%) hinder academic success. Students prefer practical sessions, but 36% cited a heavy workload and lecture scheduling as significant obstacles, and 81.4% emphasized the importance of teacher competence and mentorship. Regarding career plans, 58.1% intend to work in their field of study, with a focus on technical specialties, though 72.7% feel their studies met expectations. Addressing these issues could enhance student motivation and future career readiness.

Therefore, the focus must be put on the organization of purposeful activities for the learner's success. The main role in this process belongs to the teacher, who, using various new active teaching methods, would shape the purposeful academic and educational activities for the students. The quality of studies depends not only on the teachers, but also on the students' attitude towards studies, activities, cognitive interests and values, the personal meaning they give to the learning process itself. We can state that the responsibility for learning is most often determined by the students' motives for studying in higher educational institution and what exactly they seek.

The study found that learning is a specific mental activity, the nature of which is determined by many factors: the organization of education, age, individual characteristics, motivation of students' activities, and the mental and physical energy of a person, directed to perform a certain activity, to achieve the goal. The stronger is the motivation, the more is achieved.

## References

- Barkauskaitė, M., Motiejūnienė, E. (2004). *Mokymosi motyvacijos problema ir jos sprendimo galimybės*. Pedagogika.
- Benesch, H. (2001-2002). *Psichologijos atlasas*. Vilnius: Alma littera.
- Brophy, J. E., Evertson, C. M. (1976). *Learning from teaching a development perspective*. Boston: Allyn and Bacon.
- Beresnevičienė D. (1998). *Universiteto misija nuolatinio mokymosi sistemoje // Ugdymo psichologija*. Vilnius.
- Butkienė, G., Kepalaitė, A. (1996). *Mokymasis ir asmenybės brendimas*. Vilnius: Margi raštai.
- David C. McClelland (1987). *Human Motivation*.
- Hargreaves, A. (2008). *Mokymas žinių visuomenėje*. Vilnius: Homo Liber.
- Jensen, E. (1999). *Tobulas mokymas: daugiau kaip 1000 praktinių patarimų vaikų ir suaugusiųjų mokytojams*. Vilnius: AB OVO.
- Jovaiša, L. (2007). *Enciklopedinis edukologijos žodynas*. Vilnius: Gimtasis žodis.
- Jusienė, R., Laurinavičius, A. (2007). *Psichologija*. Vilnius: MRU.
- Laužikas, J. (1974). *Mokinių pažinimas ir mokymo diferencijavimas*. Kaunas: Šviesa.
- Maslow, A.H. (2006). *Motyvacija ir asmenybė*. Vilnius: Apostrofa.
- Myers, D. (2000). *Psichologija*. Kaunas: Poligrafija ir informatika.
- Pollard, A. (2006). *Reflektyvusis mokymasis*. Vilnius: Garnelis.
- Rheinberg, F. (2000). *Motivation*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Santrock, J. W. (2007). *Child development*. Boston: McGraw Hill.
- Stoškus, S., Beržinskienė, D. (2005). *Vadyba*. Kaunas: KTU Technologija.
- Teresevičienė, M. (2001). *Mokymosi visą gyvenimą edukologinės dimensijos*. Kaunas: VDU.

## TECHNINIŲ SPECIALYBIŲ STUDENTŲ MOKYMOSI MOTYVACIJA

**Audrius Čereška<sup>1,2</sup>, Svetlana Toropovienė<sup>2</sup>, Roma  
Aleknienė<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>*Vilniaus kolegija*

**Santrauka.** Mokymosi motyvacija – viena aktualių edukacinių problemų. Motyvacijos tyrimai padeda atskleisti motyvus, lemiančius studentų motyvaciją. Dėstytojams svarbu

susipažinti su studentų motyvacijos veiksniais, kad galėtų taikyti skirtingas mokymosi strategijas. Šiame straipsnyje pateikti techninių specialybių studentų mokymosi motyvacijos tyrimai, siekiant išsiaiškinti studentų mokymosi motyvaciją lemiančius veiksnius bei įvertinti studentų motyvaciją. Tyrimas sudarytas iš dviejų dalių: teorinės ir praktinės. Teorinė dalis apima mokslinės literatūros ir kitų šaltinių apie motyvaciją ir ją lemiančius veiksnius analizę. Atliekant tyrimą buvo apklausti Vilniaus Gedimino technikos universiteto ir Vilniaus kolegijos studentai. Apibendrinus gautus rezultatus, buvo išsiaiškinti studentų mokymąsi skatinantys ir mažinantys motyvai.

**Reikšminiai žodžiai:** mokymosi motyvacija, motyvacijos veiksniai, techninė specialybė, Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilniaus kolegija.

# KOMPIUTERINIŲ SAUGOS INCIDENTŲ APTIKIMO BEI VALDYMO TECHNOLOGIJOS

Romanas Tumasonis<sup>1</sup>, Inga Tumasonienė<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vilniaus kolegija, Saltoniškių 58-1, Vilnius

<sup>2</sup>Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, Vilnius

**Anotacija.** Straipsnyje nagrinėjami kompiuteriniai saugos incidentai, valdymo procesai bei tipai. Nustatoma, kaip identifikuojami dažniausi incidentai. Analizuojama Saugos operacijų centro (SOC) veikla, pagrindinės funkcijos, technologijos bei įrankiai, aptariama centro darbuotojų veikla bei atsakomybė. Atlikus analizę, buvo nustatyta, kad saugos incidentai valdomi įvairiais įrankiais ir technologijomis nuo SIEM aplikacijų iki teisinių dokumentų. Išsiaiškinta, kad šiuolaikinės technologijos, tokios kaip automatizavimas ir prevencinis grėsmių valdymas, suteikia galimybes efektyviau ir greičiau reaguoti į kibernetines grėsmes.

**Reikšminiai žodžiai:** saugos incidentai, SOC, saugos incidentų tipai, saugos incidentų valdymo/aptikimo įrankiai, saugos incidentų valdymo/aptikimo technologijos.

## Įvadas

Kompiuterių saugos išteklių centras (angl. *Computer Security Recourse Center*) apibrėžia saugos incidentą kaip „įvykį, kuris gali kelti pavojų informacinės sistemos konfidencialumui, vientisumui ar prieinamumui“ (Comptia, 2021). Vadinasi, incidentas yra bet kokia nenumatyta veikla, kuri gali turėti neigiamą poveikį organizacijos duomenims ar operacijoms. Šiais laikais, kai technologijos vis sparčiau tobulėja, saugumo grėsmių skaičius didėja kartu su technologiniais pasiekimais. „Verizon“ 2022 m. išleistoje duomenų pažeidimo ataskaitoje teigiama, kad kibernetinių atakų ir saugos incidentų skaičius vis auga. Nuo 2019 iki 2021 m. „išpirkos programos ir toliau tobulėjo bei išaugo beveik 13 proc.“. Šie duomenys rodo, kad per paskutinius keletą metų saugos incidentų skaičius išaugo, o šio laikotarpio kibernetinių atakų skaičius yra didesnis nei sudėjus praėjusių penkerių metų skaičius. Nuolat didėjančių incidentų skaičius ir jų įvairovė skatina organizacijas ieškoti vis efektyvesnių būdų, kaip apsaugoti ir reaguoti į problemas.

Organizacijų gebėjimas operatyviai valdyti saugos incidentus yra gyvybiškai svarbus ne tik dėl galimo finansinio nuostolio, bet ir dėl reputacijos rizikos, kuri gali turėti ilgalaikių pasekmių. Todėl „būtina suvokti duomenų svarbą organizacijos veikloje ir sukurti efektyvią informacijos saugumo valdymo sistemą įmonėje.“ (SGS, 2024). Taigi, reikia suprasti, kaip veikia Saugos operacijų centras (toliau SOC). SOC ne tik stebi, analizuoja ir reaguoja į incidentus realiuoju laiku, bet ir naudoja šiuolaikinius įrankius bei technologijas, kad užkirstų kelią būsimiems incidentams, tokiu būdu mažindami potencialią žalą ir užtikrindami organizacijos saugumą.

Vadinasi, svarbu atlikti saugos incidentų valdymo analizę bei nustatyti SOC veiklos principus, pagrindines funkcijas, svarbą ir naudojamas technologijas norint išanalizuoti, kaip SOC veiklos principai prisideda prie organizacijos saugumo užtikrinimo.

## 1. Saugos incidentų valdymas

Saugos incidentų valdymas – „tai organizacijoje kylančių saugumo grėsmių aptikimo, analizės, valdymo ir reagavimo į jas procesas, siekiant kuo greičiau sumažinti žalą ir atkurti jos veiklos tęstinumą.“ (Wadhwa, 2024). Saugos incidentų valdymas padeda sumažinti žalą, sukeltą saugumo incidentų. Saugos incidentai gali būti tyčiniai bandymai pakenkti įmonei ar jos IT infrastruktūrai arba atsitiktiniai pavojai įmonės saugumui. Saugos incidentas gali būti bet koks įvykis, kai organizacijos sistemoms ar duomenims buvo pakenkta arba sugedo jų apsaugai taikomos saugumo priemonės (Yasar, Shacklett, Wigmore, 2023).

### 1.1. Saugos incidentų tipai

Saugos incidentai apima daugybę saugumo grėsmių ir pažeidimų, su kuriais gali susidurti įmonės. Saugumo incidentai:

- **Neteisėtos prieigos atakos** (angl. *Unauthorized access*). Tokie kibernetinio saugumo incidentai „<...> apima neteisėtus kibernetinių nusikaltėlių bandymus pasiekti sistemas ar duomenis naudojant įgaliojtas vartotojų paskyras“ (Yasar et al., 2023). Bandymai gali būti atlikti pasitelkiant „brute-force“, „phishing“ atakas ar kitokius būdus ir siekiant pavogti konfidencialią informaciją.
- **Kenkėjiškų programų atakos** (angl. *Malware infections*). Tai kenkėjiška programinė įranga, įdiegta įrenginyje, serveryje ar tinkle. Tai gali būti tokios atakos kaip išpirkos programos (angl. *Ransomware*), virusai (angl. *Viruses*), interneto kirminai (angl. *Worms*), šnipinėjimo programos (angl. *Spyware*), Trojos arkliai (angl. *Trojans*) ir t. t. (Messuti, 2023). Tokio tipo programų gali atsirasti dėl neteisėtų atsisiuntimų ar failų dalijimosi nesaugiose svetainėse bei netikėtai pasirodančių skelbimų.
- **Vidinės grėsmės** (angl. *Insider threats*). Tokia grėsmė ne visada yra tyčinė. Nors kartais organizacijose dirbantys asmenys sukčiauja arba tyčia kenkia, pavyzdžiui,

parduoda konfidencialius duomenis, dažniausiai tokio tipo atakos kyla dėl vartotojų nerūpestingumo arba per didelio failų bendrinimo, pvz. netyčinis failų pakeitimas ar ištrynimasis, neteisingai nukreiptas el. laiškas į nepatikimas paskyras, nesudėtingų slaptažodžių naudojimas (lengva prieiga kibernetiniams nusikaltėliams). (Messuti, 2023).

- **Paslaugos trikdymo atakos** (angl. *DoS attacks – Denial of Service attack*). Tai atakos, skirtos „užtvindyti sistemą ar tinklą dideliu srautu, kad jis taptų neprieinamas vartotojams“ (Yasar et al., 2023).
- **Sukčiavimo atakos** (angl. *Phishing attacks*). Tai socialinės inžinerijos atakos rūšis, kai „nusikaltėlis el. paštu apsimeta patikimu subjektu, kad bendrintų kenkėjišką kodą ar nuorodas, siekdamas iš aukų išgauti prisijungimo duomenis arba paskyros informaciją.“ (Yasar et al., 2023).
- **Klaidingos saugos konfigūracijos** (angl. *Security misconfigurations*). Neteisinga sistemų, tinklų ar programų konfigūracija gali sukelti saugumo problemų, nes pažeidžiamumais gali pasinaudoti įsilaužėliai. “ (Yasar et al., 2023).
- **Duomenų nutekėjimas** (angl. *Data leaks*). Duomenys dažniausiai nutekinami dėl prastos infrastruktūros, o ne dėl kenkėjiškos veiklos. Duomenys gali nutekėti iš įvairių šaltinių, tokių kaip neapsaugotos duomenų bazės arba jų palikimas be tinkamų saugos naujinimų, taip pat anksčiau minėtos žmonių klaidos, kaip failų išsiuntimas į neteisingus el. pašto adresus ir t. t. (Messuti, 2023).

## 1.2. Incidentų valdymo procesas

Incidentų valdymas – tai incidentų aptikimo, tyrimo ir reakcijos į juos per kuo trumpesnę laiką. Nors tai ne visada lemia sprendimą, incidentų valdymas yra svarbus siekiant užbaigti projektus laiku arba kuo arčiau nustatyto termino. (Asana, 2024). Incidentų valdymo procesas dažnai apima 7 žingsnius (žr. 1. pav.), iš kurių kiekvienas sudaro incidentų valdymo gyvavimo ciklą ir padeda incidento valdymo komandoms stebėti ir spręsti kilusius incidentus.

1. **Aptikimas** (angl. *Detection*) – fiksuojami įspėjamieji signalai ar anomalijos, kurios gali reikšti saugumo incidentą. Tai gali apimti antivirusinių programų įspėjimus, nepaaiškinamą tinklo srautą ar sistemos sutrikimus. Aptikimas yra esminis, nes ankstyvas incidento nustatymas lemia viso valdymo proceso sėkmę.
2. **Reagavimas** (angl. *Response*) – kai incidentas nustatomas, imamasi veiksmų jį izoliuoti ir kontroliuoti. Tai apima incidento pranešimą atitinkamoms šalims, priegos teisių apribojimą ar netinkamos veiklos sustabdymą. Ši veikla užtikrina, kad incidentas neplistų ir jo poveikis būtų kuo mažesnis.
3. **Sušvelninimas** (angl. *Mitigation*). Imamasi veiksmų sumažinti arba pašalinti incidento sukeltą žalą. Gali būti taikomos specifinės techninės priemonės, tokios kaip kenkėjiškos programos šalinimas, sistemos atkūrimas arba pažeidžiamumo taisymas.

4. **Ataskaitų rengimas** (angl. *Reporting*). Rengiamos išsamios ataskaitos apie incidento eigą ir jo poveikį. Ataskaitos paprastai pateikiamos vadovybei ir kitoms suinteresuotoms šalims. Ataskaitos yra būtinos norint užtikrinti skaidrumą ir tolesnes veiklas.
5. **Atkūrimas** (angl. *Recovery*). Šis atkūrimo etapas susijęs su veiksmingomis priemonėmis, kurios leidžia atkurti įprastą veiklą po incidento. Tai gali apimti duomenų atkūrimą iš atsarginių kopijų, pažeistų sistemų pakeitimą ir kitus veiksmus.
6. **Šalinimas** (angl. *Remediation*). Šalinimo etapas apima pažeidžiamumo taisymą, saugumo politikos peržiūrą ir atnaujinimą bei kitas sistemas stiprinančias priemones, kad būtų išvengta panašių incidentų ateityje.
7. **Išmoktos pamokos** (angl. *Lessons Learnt*). Paskutinis etapas yra refleksija ir patirties apžvalga. Analizuojama, kaip buvo tvarkomasi kilus incidentui, ką galima padaryti geriau ateityje, ir įgyvendinami pokyčiai, kurie pagerina incidento valdymo procesą.



1 pav. Incidentų valdymo žingsniai  
Šaltinis: Khrihna Murthi, 2022

## 1.3. Saugos incidentų valdymo metodai

Incidento valdymas apima visas veiklas nuo incidento aptikimo iki galutinio atkūrimo ir analizės po incidento, o viena iš svarbiausių saugos incidentų valdymo dalis yra reakcija į incidentus. Dažniausiai įmonės tik reaguoja į jau įvykusį incidentą (angl. *Reactive approach*), tačiau dažnai būtina imtis aktyvesnių priemonių (angl. *Proactive approach*). Vadinasi, reikia nustatyti galimas problemas ir imtis veiksmų joms pašalinti, kad jos netaptų incidentais. Reagavimas į incidentą – tai „pasiruošimo saugumo incidentui ar duomenų pažeidimui ir reagavimo į jį procesas“ (Spirion, 2023). Tai apima visą procesą nuo incidento nustatymo, žalos ar grėsmės pašalinimo iki atsigavimo po incidento. Reagavimas į incidentą padeda įmonėms sumažinti saugumo incidento padarytą žalą ir užkirsti kelią incidentams ateityje (Spirion, 2023).

### 1.3.1. Reaktyvioji reakcija į incidentą (angl. *Reactive Incident response*)

Taikant šį metodą, saugumo incidentai sprendžiami tada, kai jie kyla. Pradedama nustatant įvykio priežastį, nurodant jo poveikį ir imantis švelninimo (angl. *Mitigation*) veiksmų. Tada atliekama peržiūra po incidento, siekiant patobulinti sistemą. (Wadhwa, 2024). Tai yra strategija, kuri apima reakciją „į jau

įvykusį saugumo incidentą“ (Spirion, 2023). Šis metodas yra orientuotas į incidento padarytos žalos apribojimą, atakos šaltinio nustatymą ir priemonių įgyvendinimą, kad būtų išvengta panašių incidentų ateityje.

Tačiau šiam metodui dažnai stinga planavimo ir pasirengimo, dėl kurio gali sulėtėti reakcijos laikas ir padidėti žala organizacijai. Reaktyviam metodui yra būdingos strategijos:

- Atkūrimo planavimas. Kai įvyksta ataka, reaktyvioji reakcija į incidentą padeda sumažinti žalą ir pradėti duomenų atkūrimą. „Siekiant nepriimti skubotų sprendimų, reikia duomenų atkūrimo plano, kuriame būtų aprašyti veiksmai atakos metu ir po jos“ (xmatters, 2023).
- Trumpalaikis problemų sprendimas. Dažniausiai pasirenkamas trumpalaikis problemų sprendimas, kai energija ir ištekliai panaudojami atsiradus problemai. Šis metodas yra veiksmingas siekiant nedelsiant sumažinti incidento poveikį, tačiau dažnai yra nepaisoma rizikos, susijusios su ilgalaikių prevencinių priemonių trūkumu. (SEO Brand, 2024). Pagrindiniai šio sprendimo aspektai yra reakcija į IT incidentus pagal poreikį, dėmesys greitoms pataisoms, o ne ilgalaikiams sprendimams, galimos didesnės ilgalaikės išlaidos ir išteklių naudojimas dėl pasikartojančių problemų.

### 1.3.2. Prevencinė reakcija į incidentą (angl. *Proactive Incident response*)

Kitaip nei reaktyvus metodas, prevencinė reakcija į incidentą – tai strategija, apimanti veiksmus, kurie padeda išvengti saugumo incidentų. „Šis metodas yra orientuotas į galimų grėsmių ir pažeidžiamumų nustatymą ir priemonių, skirtų šiai rizikai sumažinti, įgyvendinimą.“ (Spirion, 2023). Jiems būdingas gerai suplanuotas ir įvykdytas reagavimo į incidentus planas, kuris padidina reakcijos į incidentą laiką ir sumažina žalą įmonei. Tai yra būdas, kai imamasi įvairių prevencinių priemonių norint sustiprinti IT infrastruktūrą (Wadhwa, 2024). Pagrindinis tikslas yra pašalinti problemas pačioje pradžioje, kad jos netaptų rimtesnės. Vienas iš pavyzdžių prokativaus metodo yra periodinis rizikos vertinimas (angl. *Periodic risk assesment*) arba pažeidžiamumų skenavimas (angl. *Vulnerability scan*). Prevencinio metodo strategijos:

- Prevencinių priemonių taikymas. Ši strategija apima veiksmus ir politiką, skirtą problemų prevencijai ir sistemos saugumui bei efektyvumui didinti, kol problemos neišryškėjo ir nepadarė didelės žalos. Tai procesas nuo problemų nustatymo (programinės/techninės įrangos ir t. t.) iki įrangos atnaujinimo ir prevencinių priemonių, tokių kaip antivirusinės, ugniasienės, šifravimas, taikymo. (SEO Brand, 2024) Prevencinės priemonės gali apimti ir darbuotojų mokymus bei nuolatinę stebėseną.
- Pažeidžiamumų analizė. Saugos trūkumų įvertinimas padeda atrasti esamas sistemos spragas, pažeidžiamumo įvertinimas – analizuoti, įvertinti rizikas ir pasiūlyti saugumo rizikos sprendimus (xmatters, 2023).

- Duomenų apsauga. Viena iš geriausių duomenų saugumo praktikų yra duomenų grupavimas pagal turimą informaciją, jos naudojimo atvejus, įgaliojimų lygį, būtiną norint pasiekti duomenis, ir duomenų jautrumą. „Tai sumažina duomenų apsaugą nuo saugumo pažeidimų, nes jau yra sukurtas saugos perimetras aplink didelės vertės duomenų rinkinius“ (xmatters, 2023).
- Galinių taškų stebėseną (angl. *Monitoring endpoints*). Labai svarbu stebėti galinius taškus, pvz., nešiojamųjų kompiuterių, daiktų, interneto įrenginių, darbo stočių, telefonų, serverių ar virtualių aplinkų, turinčių prieigą prie jūsų sistemos paskyrų, saugumą. Ši strategija dažniausiai yra sutelkta į „paslėptų pažeidžiamumų aptikimą, saugos pataisų atnaujinimą ir žurnalų stebėseną“ (xmatters, 2023). Užpuolikai, norintys pažeisti duomenis arba tinklus, taikosi į neapsaugotus galinius taškus, nes jie suteikia lengvą prieigą. Užpuolikai taip pat gali naudoti galinius taškus kenkėjiškoms programoms diegti.

Pagrindiniai skirtumai tarp prevencinių ir reaktyvių metodų parodyti 1 lentelėje.

### 1.3.3. Hibridinė reakcija į incidentą (angl. *Hybrid Incident response*)

Nors prevenciniai metodai yra būtini kiekvienoje įmonėje (tokie kaip duomenų šifravimas, neteisėtoms prieigos vengimas ir t. t.) neįmanoma visiškai apsisaugoti nuo saugos incidentų. Saugos incidentų tikimybė vis dar labai didelė, todėl būtina naudoti ir reaktyvius metodus – reaguoti į įvykusius incidentus.

Geriausias sprendimas yra hibridinis metodas, kai organizacija pirma imasi priemonių užkirsti kelią saugumo pažeidimams, kartu turėdama reagavimo į incidentą planą įvykus įvykiui (Wadhwa, 2024).

**1 lentelė.** Skirtumai tarp prevencinio ir reaktyvaus reagavimo į incidentą

	Prevencinis metodas	Reaktyvus metodas
<b>Pagrindinis tikslas</b>	Užkirsti kelią incidentams	Reaguoti į jau įvykusius incidentus ir mažinti žalą
<b>Veiksmų pobūdis</b>	Nuolatinė rizikos analizė, grėsmių žvalgyba ir prevencija	Incidento analizė ir sprendimų priėmimas po įvykio
<b>Įrankiai ir metodai</b>	Grėsmių aptikimo sistemos, nuolatinis pažeidžiamumų tikrinimas, mokymai ir pratybos	Incidento atsakymo komandos, įvykio analizės ir tyrimo įrankiai, duomenų atkūrimas
<b>Veikimo laikas</b>	Nuolat, prieš incidentą	Po incidento atsiradimo.
<b>Rizikos valdymas</b>	Daugiausia dėmesio skiriama rizikai mažinti ir kontrolės mechanizmams	Dėmesys skiriamas žalai suvaldyti ir operacijoms atkurti
<b>Pasekmių sumažinimas</b>	Pabrėžiama galimų incidentų pasekmių	Pabrėžiama reakcija į incidentus ir jų pasekmių valdymas

	sumažinimas dar prieš jų atsiradimą	
<b>Organizacinis požiūris</b>	Strateginis planavimas ir prevencija	Taktinis, greitas reagavimas ir problemų sprendimas

Šaltinis: x matters, 2023

## 2. Saugumo operacijų centras (SOC)

Saugumo operacijų centras (SOC) yra gyvybiškai svarbi įstaiga organizacijoje, skirta užtikrinti kibernetinį saugumą. Pagrindinė SOC funkcija – nuolatinė organizacijos saugumo būklės stebėseną ir analizę, siekiant aptikti, išanalizuoti ir reaguoti į kibernetinius incidentus. SOC veikia visą parą, naudoja įvairias technologines priemones, tarp jų saugumo informacijos ir įvykių valdymo (SIEM) sistemas, kurios padeda valdyti saugumo perspėjimus ir nustatyti potencialias grėsmes. SOC komandą sudaro saugumo analitikai, grėsmių ir incidentų atsako specialistai, kurie dirba kartu, siekdami apsaugoti skaitmeninius turtus ir užtikrinti verslo tęstinumą (IBM - United States, 2024).

SOC komanda valdo kibernetinius incidentus nuo jų aptikimo iki sprendimo. Jie naudoja šiuolaikines priemones stebėdami tinklą, serverių žurnalus, programas ir duomenų bazines, siekdami aptikti neįprastą veiklą, kuri gali rodyti įsilaužimus. Kai aptinkamas saugumo incidentas, SOC komanda pradeda incidentų valdymo procesą, klasifikuoja incidento rimtumą, lokalizuoja grėsmę ir koordinuoja atkūrimo procesą. Jų tikslas – sumažinti galimą žalą ir kuo greičiau atkurti įprastą sistemų būseną (Proofpoint, 2020).

Be reaktyvaus incidentų valdymo SOC taip pat užsiima grėsmių nustatymu ir pažeidžiamumų valdymu, ieškodami ženklų apie piktybinę veiklą, kuri gali būti neaptikta įprastais metodais, tik atlikus papildomą infrastruktūros tyrimą, siekiant nustatyti saugumo spragas. Ši prevencinė veikla padeda anksti nustatyti ir sušvelninti rizikas, gerokai stiprinant organizacijos saugumą (CrowdStrike, 2022).

### 2.1. SOC pagrindinės funkcijos

Siekdamas apsaugoti organizaciją nuo kibernetinių grėsmių SOC atlieka šias pagrindines funkcijas:

- **Tinklo ir įrenginių stebėseną bei incidentų aptikimas.** SOC nuolat stebi tinklo srautą ir įrenginius, naudodamas įvairias technologijas, tokias kaip prevencinės grėsmių nustatymo sistemos (IPS), duomenų nuostolių prevencijos sistemos (DLP) ir saugumo incidentų bei įvykių valdymo sistemos (SIEM). Šios sistemos padeda aptikti įtartą veiklą ir laiku reaguoti į grėsmes (StateTech, 2021).
- **Incidentų valdymas.** Aptikęs incidentą SOC pradeda valdymo procesą, kuris apima incidento dokumentavimą, rizikos izoliavimą ir atkūrimo veiksmus. Ši funkcija užtikrina, kad grėsmės poveikis būtų sumažintas ir imtasi prevencinių veiksmų, kad panašūs incidentai nepasikartotų (Infosec Institute, 2022).
- **Grėsmių medžioklė ir pažeidžiamumo valdymas.** SOC

komanda aktyviai ieško slaptų grėsmių ir pažeidžiamumų organizacijoje. Tai apima nuolatinis galimų pažeidžiamumų tyrimus, prevencinių saugumo metodų taikymą, siekiant užkirsti kelią galimoms atakoms (CompTIA, 2021).

- **Atkūrimas ir šalinimas po incidentų.** Po kibernetinio incidento SOC yra atsakingas už organizacijos operacijų ir sistemų, duomenų atkūrimą ir kitas veiklas. Taip pat atliekamas išsamus incidento tyrimas, siekiant nustatyti pagrindines priežastis ir sukurti gaires ateities prevencijai (Microsoft, 2023).
- **Laikymasis reglamentavimo reikalavimų.** SOC užtikrina, kad visos organizacijos sistemos ir procesai atitiktų svarbiausius duomenų privatumo reglamentus, tokius kaip GDPR, CCPA ir HIPAA. Nuolat vykdomos audito patikros, siekiant užtikrinti atitiktį ir pranešti reguliavimo institucijoms apie duomenų saugumo pažeidimus (Microsoft, 2023).

Šios funkcijos yra gyvybiškai svarbios užtikrinant, kad organizacija galėtų veiksmingai atsispirti kibernetinėms grėsmėms ir užtikrinti savo veiklos tęstinumą.

### 2.2. SOC veiklos principai

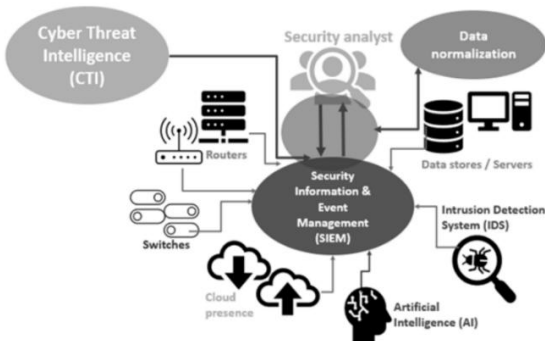
Saugumo operacijų centro (SOC) veiklos principai yra sudėtingi ir reikalauja išsamaus duomenų rinkimo, analizės ir veiksmingų sprendimų priėmimo. Šie principai užtikrina, kad SOC veikla būtų efektyvi, orientuota į prevenciją ir greitą reagavimą į kibernetines grėsmes. SOC veikla apima kelis esminius etapus (žr. 2.pav.):

- **Informacijos rinkimas.** SOC komanda nuolat renka informaciją iš įvairių šaltinių, tarp jų grėsmių žvalgybos kanalus (CTI), sistemos žurnalų failus ir duomenis iš įmonės turto, kurie gali būti tiek „debesyje“, tiek įmonės duomenų centruose. Informacijos rinkimas apima ne tik įprastus duomenų šaltinius, bet ir naujausius duomenų srautus iš išmaniųjų įrenginių bei kitų technologijų.
- **Duomenų normalizavimas.** Šis veiksmas svarbus, siekiant užtikrinti, kad surinkti duomenys atskleistų reikšmingą informaciją. SOC analitikai atrenka ir šalina pasikartojančius duomenis, nustato problemas ir transformuoja duomenis suprantamu formatu, kuris padeda lengviau atpažinti potencialias grėsmes ir suplanuoti atsaką.
- **Saugumo informacijos ir įvykių valdymas (SIEM).** SIEM sistemos yra kritinis SOC įrankis, kuris leidžia efektyviai stebėti ir analizuoti duomenis realiu laiku. SIEM sistemos susieja įvairius duomenų šaltinius, leidžia atlikti išplėstinę analizę ir automatizuoti tam tikras grėsmių aptikimo bei reagavimo procedūras. SOC komandos nariai turi turėti pakankamai patirties ir žinių, kad galėtų teisingai interpretuoti SIEM įrankio pateikiamą informaciją.
- **Pažeidžiamumo ir grėsmių identifikavimas.** SOC komanda nuolat ieško naujų pažeidžiamumų ir potencialių grėsmių. Tai apima ne tik technologines sistemas, bet ir

organizacijos darbuotojų elgsenos stebėseną, nes socialinė inžinerija yra vienas iš pagrindinių būdų, kuriais kibernetiniai nusikaltėliai gali gauti prieigą prie įmonės išteklių. SOC komanda taip pat atsakinga už tai, kad būtų identifiкуotos ir užblokuotos potencialios įsilaužėlių „pažeidžiamos vietos“, pvz., neaptikti serveriai arba ribojančių įrenginių pažeidžiamumai.

- **Bendradarbiavimas ir komunikacija.** SOC komanda glaudžiai bendradarbiauja su įmonės IT skyriumi, žmogiškųjų išteklių ir aukščiausio lygio vadovais užtikrinandama, kad visos suinteresuotosios šalys būtų informuotos apie galimas grėsmes ir sprendimus. SOC nariai taip pat dirba su galutiniais vartotojais, padėdami jiems suvokti ir išvengti galimų kibernetinių atakų, taip užtikrindami žmonių, kaip pagrindinių taikinių, apsaugą.

Igyvendindama šiuos veiklos principus, SOC komanda užtikrina, kad organizacija gali ne tik reaguoti į esamas grėsmes, bet ir prevenciškai (angl. *Proactive approach*) jas mažinti, taip stiprindama bendrą organizacijos kibernetinį atsparumą. Šios veiklos principai svarbūs formuojant SOC strategiją ir operacijas, kad būtų galima efektyviai apsaugoti organizacijos skaitmeninius išteklius ir užtikrinti jos veiklos tęstinumą (CompTIA, 2021).



2 pav. SOC veiklos žingsniai  
Šaltinis: CompTIA, 2021

### 2.3. SOC darbuotojų funkcijos

Saugumo operacijų centro (SOC) darbuotojų funkcijos yra gyvybiškai svarbios siekiant užtikrinti organizacijos kibernetinį saugumą. SOC komanda sudaryta iš įvairių specialistų, kurių kiekvienas atlieka specifines funkcijas, priklausančias nuo jų kompetencijų ir organizacijos dydžio. Darbuotojų funkcijos:

- **Incidentų atsako direktorius.** Šias pareigas užimantis ir dažniausiai tik labai didelėse organizacijose dirbantis asmuo yra atsakingas už aptikimo, analizės, izoliavimo ir atkūrimo koordinavimą per saugumo incidentą.
- **SOC vadovas.** SOC vadovas yra atsakingas už visos SOC veiklos priežiūrą ir paprastai praneša įmonės vyriausiajam informacijos saugumo pareigūnui (CISO).
- **Saugumo inžinieriai.** Šios srities specialistai užtikrina, kad organizacijos saugumo sistemos veiktų sklandžiai. Jų darbas apima saugumo architektūros kūrimą ir palaikymą,

naujų saugumo sprendimų tyrimą, įdiegimą ir priežiūrą.

- **Saugumo analitikai.** Saugumo analitikai pirmieji reaguoja į saugumo incidentus, nustato grėsmes, prioritetus ir imasi veiksmų, siekdami suvaldyti žalą. Incidento metu jie gali izoliuoti užkrėstą šeiminką, galutinį tašką ar naudotoją.
- **Grėsmių medžiotojai.** Patyrę saugumo analitikai, vadinami grėsmių medžiotojais, identifikuoja ir reaguoja į šiuolaikines grėsmes, kurių neaptinka automatizuoti įrankiai. Tai prevencinė veikla, skirta tobulinti organizacijos supratimą apie žinomas grėsmes ir atskleisti nežinomas grėsmes prieš ataką.
- **Forenziniai analitikai.** Didelėse įmonėse forenziniai analitikai renka įvykio informaciją po pažeidimo, siekdami nustatyti jo pagrindines priežastis. Jie analizuoja sistemos pažeidžiamumą, saugumo politikos pažeidimus ir kuria kibernetinio išpuolio modelius, kurie gali būti naudingi, siekiant išvengti panašaus pažeidimo ateityje (Casetto, 2022).

Organizacijos gali steigti SOC įvairiais būdais. Kai kurios renkasi sukurti dedikuotą SOC su visą darbo laiką dirbančiu personalu. Taip pat yra virtualių SOC, kurie veikia nuotoliniu būdu, naudodami skaitmenines priemones, arba išorės SOC, kurie valdomi išorinio saugumo paslaugų teikėjo. Hibridinis arba komandinis SOC modelis leidžia organizacijoms papildyti savo personalą, pavyzdžiui, samdant grėsmių tyrimo specialistus iš išorės, jei darbuotojų kompetencijų nepakanka.

SOC darbuotojai yra ne tik techniniai specialistai, bet ir strateginiai veikėjai, kurie formuoja organizacijos saugumo politiką ir praktiką. Jų gebėjimas analizuoti ir interpretuoti duomenis, atpažinti grėsmes ir veiksmingai reaguoti į incidentus lemia organizacijos gebėjimą apsisaugoti nuo kibernetinių atakų. Per visą savo veiklą SOC darbuotojai ne tik saugo organizacijos skaitmeninius išteklius, bet ir prisideda prie jos strateginio saugumo tikslų įgyvendinimo, tokiu būdu užtikrindami, kad saugumo operacijų centras būtų neatskiriama bet kurios į saugumą orientuotos organizacijos dalis (Microsoft, 2023).

### 2.4. SOC iššūkiai ir problemos

Saugumo operacijų centrai (SOC) susiduria su daugybe iššūkių, kuriuos sukelia sparčiai kintanti kibernetinio saugumo aplinka. Iššūkiai:

- **Įspėjimų nuovargis.** Dauguma SOC kasdien susiduria su milžinišku saugumo įspėjimų kiekiu. Tai sukelia problemų, kai įspėjimai yra netinkamai kategorizuojami arba nepakankamai adresuojami, nes galima nepastebėti galimų grėsmių. Vadinasi, svarbu naudoti šiuolaikiškus stebėsenos įrankius ir automatizuoti veiklą, suburti aukštos kvalifikacijos specialistų komandą, kuri gebėtų efektyviai valdyti ir išskirti svarbiausius gautus įspėjimus.
- **Kompleksiškumas.** Verslo globalizacija, darbo vietos kaita, debesijos technologijų plėtra ir kitos priežastys didina SOC veiklos sudėtingumą. Apsauga, kuri anksčiau buvo užtikrinama paprastais sprendimais, pavyzdžiui,

ugniasienėmis, dabar reikalauja kur kas sudėtingesnių saugumo sistemų, apimančių technologijas, žmogiškuosius išteklius ir procesus. Šių sistemų kūrimas, integravimas ir palaikymas yra sudėtingi uždaviniai.

- **Išlaidos.** SOC sukūrimas ir priežiūra reikalauja didelių laiko ir finansinių išteklių. Dėl kintančio grėsmių pobūdžio reikia nuolat diegti atnaujinimus, taip pat tobulinti personalo kvalifikaciją.
- **Kompetencijų trūkumas.** Vidaus saugumo sprendimų kūrimas ir įgyvendinimas yra sunkesni dėl riboto kandidatų skaičiaus. Kibernetinio saugumo specialistai yra labai paklausūs visame pasaulyje, o tai apunkina jų samdymą ir išlaikymą. Darbuotojų kaita gali turėti įtakos organizacijos saugumui.
- **Atitikties laikymasis.** Vyriausybės ir pramonės reglamentai nuolat keičiasi, o SOC turi būti pasirengęs stebėti šiuos pokyčius ir užtikrinti organizacijos atitikmenį.

Susidūrus su iššūkiais būtini sprendimai, reikalaujantys nuolatinio dėmesio ir inovacijų. SOC veiksmingumas priklauso nuo gebėjimo prisitaikyti prie kintančių sąlygų ir efektyviai tvarkyti kylančius iššūkius, todėl būtina investuoti į technologijas ir personalo tobulinimą. Tokios investicijos leidžia SOC lanksčiai prisitaikyti prie nuolat kintančios kibernetinio saugumo aplinkos ir užtikrinti organizacijos apsaugą (CrowdStrike, 2022).

## 2.5. SOC svarba

Saugumo operacijų centras (SOC) yra būtinas kiekvienai organizacijai, siekiančiai užtikrinti efektyvių saugumo valdymą ir atsakymą į incidentus. SOC teikia daugybę privalumų, kurie padeda stiprinti organizacijos saugumą.

- **Efektyvumas.** SOC centralizuoja saugumo stebėseną ir incidentų valdymą, leidžia racionalizuoti saugumo procesus, darbo eigą ir ataskaitų rengimą. Gerai dokumentuoti politikos dokumentai, procedūros ir protokolai mažina sąnaudas, sutaupo laiko ir padidina bendrą veiksmingumą. Tai suteikia galimybę greičiau ir tiksliau reaguoti į saugumo įvykius, mažinant klaidų tikimybę ir gerinant bendrą saugumo veiklos kokybę.
- **Parengtis.** SOC suteikia nuolatinis atnaujinimus ir prioritetų valdymo duomenis, kurie padeda sukurti visapusišką situacijos vaizdą realiu laiku. Tai leidžia organizacijai geriau pasirengti ir greitai reaguoti į krizes, užtikrinant efektyvesnį atsaką į įvairias nepaprastąsias situacijas.
- **Organizacija.** Integruotos vaizdo analizės ir vaizdo valdymo sistemos leidžia automatizuoti įvykių, kurie įvyko arba vyksta realiu laiku, analizę. SOC fiksuoja svarbius įvykius, jų vietą, laiką ir asmenų tapatybes, leidžiančias saugumo personalui efektyviau ir tiksliau peržiūrėti ir analizuoti duomenis.
- **Automatizavimas.** SOC yra protokolais valdoma sistema, kuri sistemingai renka, rūšiuoja ir analizuoja duomenis iš įvairių šaltinių. SOC leidžia saugumo personalui tiksliai ir

greitai reaguoti į įvykius ir incidentus, taikant automatizuotus atsakus ir komunikacijas, kurios yra optimizuotos kiekvienam įvykiui.

SOC yra neatsiejama organizacijos saugumo infrastruktūros dalis, užtikrinanti, kad saugumo strategijos būtų įgyvendinamos nuosekliai ir efektyviai. Organizacijoms, kurios investuoja į aukštos kokybės SOC, suteikiama galimybė ne tik apsisaugoti nuo esamų grėsmių, bet ir prevenciškai stebėti bei valdyti būsimas rizikas, taip užtikrinant tvarų saugumo lygį ilgalaikėje perspektyvoje.

## 3. SOC naudojami įrankiai ir technologijos

Saugumo operacijų centrai (SOC) naudoja įvairius įrankius ir technologijas, kad efektyviai atpažintų, analizuotų ir reaguotų į kibernetines grėsmes. Šie įrankiai ir technologijos yra būtini norint užtikrinti organizacijos informacijos saugumą.

- **SIEM (angl. Security Information and Event Management).** SIEM yra vienas iš pagrindinių SOC įrankių, kuris agreguoja įvairius žurnalų duomenis iš skirtingų šaltinių ir analizuoja juos, nes siekia aptikti įmanomas atakas. Ši sistema taip pat suteikia SOC komandoms vizualias ataskaitas, kurios padeda greitai atlikti grėsmių analizę ir stebėseną (ManageEngine, 2024).
- **EDR (angl. Endpoint Detection and Response).** EDR technologijos skirtos stebėti ir analizuoti įtartina veiklą galutiniuose taškuose arba prieglobose, teikiant pirmąją gynybos liniją prieš grėsmes, kurios gali apeiti perimetro apsaugas. EDR įrankiai nuolat stebi ir analizuoja duomenis, identifikuoja grėsmes ir informuoja apsaugos komandas (ManageEngine, 2024).
- **UEBA (angl. User and Entity Behavior Analytics)** UEBA įrankiai naudoja mašininio mokymosi technikas, kad analizuotų elgseną ir aptiktų anomalijas, kurios gali rodyti grėsmes. Šie įrankiai įvertina vartotojų ir kitų subjektų elgsenos modelius ir, pasikeitus įprastai veiklai, fiksuoja tai kaip anomaliją (ManageEngine, 2024).
- **SOAR (angl. Security Orchestration, Automation, and Response).** SOAR įrankiai automatizuoja ir orkestruoja saugumo procesus, leidžia SOC komandoms greičiau ir efektyviau reaguoti į grėsmes. SOAR technologijos integracija su kitais saugumo įrankiais ir grėsmių žvalgybos duomenimis leidžia automatizuoti incidentų atsako procesus (CloudPress, 2024).
- **Pažeidžiamumo valdymas (angl. Vulnerability Management).** Reguliarus pažeidžiamumų valdymas ir skenavimas yra būtinas, siekiant nustatyti ir šalinti galimas grėsmes. Automatizuoti skenavimai leidžia nuolat stebėti ir įvertinti IT infrastruktūros pažeidžiamumus (AT&T Cybersecurity, 2024).
- **Grėsmių žvalgyba (angl. Threat Intelligence).** Grėsmių žvalgyba suteikia SOC komandoms reikiamą informaciją apie naujausias grėsmes, jų veikimo būdus ir kaip su jomis kovoti. Tai apima duomenų apie įsilaužėlių naudojamus



IP adresus, URL, domenų ir el. pašto adresus analizę (ManageEngine, 2024).

## Išvados

1. Išnagrinėjus saugos incidentų valdymą, buvo identifikuoti dažniausi incidentai ir jų valdymo būdai. Geriausias sprendimas yra hibridinis metodas, kai organizacija ne tik operatyviai reaguoja į įvykusį incidentą, bet ir imasi visų prevencinių priemonių. Buvo nustatyta, kad efektyvus saugos incidentų valdymas yra esminis organizacijos saugumo aspektas, reikalaujantis greito reagavimo, nuoseklaus dokumentavimo ir tobulinimo.
2. Atlikus Saugos operacijų centro pagrindinių funkcijų, veiklos principų, svarbos ir iššūkių analizę, buvo nustatyta, kad SOC yra kritškai svarbus organizacijos saugumui. Kiekviena organizacija, kuri rūpinasi savo informacijos saugumu, privalo turėti savo SOC, kuris būtų atsakingas už kibernetinių grėsmių aptikimą bei valdymą. Tai turėtų būti tvirtos įmonės investicijos į duomenų saugumą, kurios visada atsipirks bei išgelbės nuo neabejotinai didesnių išlaidų po nevaldomo kibernetinio saugumo incidento. Buvo identifikuoti ir iššūkių, tokių kaip įspėjimų nuovargis, kompleksiškas ir technologinės infrastruktūros kūrimo išlaidos.
3. Atlikus analizę, buvo nustatyta, kad saugos incidentai valdomi įvairiais įrankiais ir technologijomis nuo SIEM aplikacijų iki teisinių dokumentų. Tokiu būdu prie kibernetinių grėsmių valdymo turi prisidėti ne tik informacinių technologinių specialistai, bet ir teisės žinovai. Taip pat nustatyta, kad šiuolaikinės technologijos, tokios kaip automatizavimas ir prevencinis grėsmių valdymas, suteikia galimybes efektyviau ir greičiau reaguoti į kibernetines grėsmes. Šios technologijos nuolat kinta, todėl viena iš svarbesnių įmonės investicijų turėtų būti investicija į darbuotojų kvalifikacijos tobulinimą.

## Literatūra

Asana. (2024). *What is incident management? Steps, tips, and best practices*. Prieiga per internetą: <<https://asana.com/resources/incident-management>>

AT&T. (2024). *Security operations center (SOC) tools*. Prieiga per internetą: <<https://cybersecurity.att.com/solutions/security-operations-center/building-a-soc/soc-tools>>

CompTIA. (2021). *What Is a Security Operations Center?* Prieiga per internetą: <<https://www.comptia.org/content/articles/what-is-a-security-operations-center>>

CrowdStrike. (2022). *What is a Security Operations Center (SOC)?* Prieiga per internetą: <<https://www.crowdstrike.com/cybersecurity-101/security-operations-center-soc/>>

CSRC – Computer Security Resource center. (2021). *Security Incident*. Prieiga per internetą: <[https://csrc.nist.gov/glossary/term/security\\_incident](https://csrc.nist.gov/glossary/term/security_incident)>

Goldstein, P. (2021). *What Are Security Operations Centers*

*and How Is Their Role Evolving in State Governments?* Prieiga per internetą: <<https://statetechmagazine.com/article/2021/12/what-are-security-operations-centers-and-how-their-role-evolving-state-governments-perfcon>>

Yasar, K., Shacklett, M. E., Wigmore, I. (2023). *Security Incident*. Prieiga per internetą: <<https://www.techtarget.com/whatis/definition/security-incident>>

IBM. (2024). *What is a security operations center (SOC)?* Prieiga per internetą: <<https://www.ibm.com/topics/security-operations-center>>

Infosec. (2021). *Infosec Train's SOC Analyst Training Program*. Prieiga per internetą: <<https://www.infosecrain.com/blog/infosecrain-soc-analyst-expert-training/>>

Krishna Murthi, B. (2022). *Incident Management Steps for CISSP*. Prieiga per internetą: <<https://www.linkedin.com/pulse/incident-management-steps-cissp-krishna-murthi-b-cissp-pmp-csm/>>

Mallory, P. (2022). *Security operations center: 5 key functions your SOC should perform*. Prieiga per internetą: <<https://www.infosecinstitute.com/resources/soc-analyst/security-operations-center/>>

ManageEngine Log360. *What are the tools and technologies used in SOCs?* Prieiga per internetą: <<https://www.manageengine.com/log-management/siem/soc-tools-technologies.html>>

Messuti, E. (2023). *6 Types of Security Incidents and How To Handle Them*. Prieiga per internetą: <<https://www.statuspal.io/blog/2023-11-02-6-types-of-security-incidents-and-how-to-handle-them>>

Wadhwa, P. (2024). *A complete guide on security incident management*. Prieiga per internetą: <<https://sprinto.com/blog/security-incident-management-guide/>>

Spirion. (2023). *Reactive vs. Proactive Incident Response: What's the Difference?* Prieiga per internetą: <<https://www.spirion.com/blog/reactive-vs-proactive-incident-response>>

Xmatters. (2023). *The differences between reactive vs proactive incident response*. Prieiga per internetą: <<https://www.xmatters.com/blog/reactive-vs-proactive-incident-response>>

## TECHNOLOGIES FOR DETECTING AND MANAGING COMPUTER SECURITY INCIDENTS

Romanas Tumasonis<sup>1</sup>, Inga Tumasonienė<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vilniaus Kolegija/Higher education institution

<sup>2</sup>Vilnius Gediminas Technical University

**Summary.** The article analyses computer security incidents, management processes and types. It identifies the principles used to identify the most common incidents. It analyses the activities of the Security Operations Centre (SOC), its main functions and the technologies and instruments used. Security incident management helps to reduce the risk of damage caused by security incidents. Security incidents can be either deliberate attempts to harm a company or its IT infrastructure, or accidental threats to a company's security. A security incident can be any event that means that an organisation's systems or data have been compromised or that the security controls used to protect them have failed. The activities and responsibilities of

the center's staff are described. The analysis has shown that the instruments and technologies used in security incident management range from SIEM applications to specific legal documents. It also found that modern technologies, such as automation and proactive

threat management, enable more effective and faster responses to cyber threats.

**Key words:** Security incidents, SOC, types of security incidents, security incident instruments, security incident technologies.

# IMAGE ANALYSIS SOFTWARE SYSTEM BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Valentyna, Pleskach<sup>1</sup>, Romanas, Tumasonis<sup>2</sup>, Oleksandr Shyshchuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Taras Shevchenko National University of Kyiv, Volodymyrska St, 60, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup> *Vilniaus Kolegija/Higher education institution, Saltoniškių 58-1, Vilnius*

**Summary** The aim is to effectively analyse images based on the developed software system for segmenting ships from satellite images using the Keras/Tensorflow framework. The approaches to the development of modern segmentation models are considered, in particular, the analysis of various methods and algorithms used for image segmentation is carried out, and the main architectures of segmentation models, in particular, U-Net, and the possibilities of using the ResNet50 coder are studied. Also, an analysis of software and technological solutions for system development using the Keras framework is carried out and a segmentation model based on U-Net with the ResNet50 coder is built, metrics and loss functions are defined, the model is trained on a specific dataset, and then a software system is built using Gradio.

**Key words:** Image analysis, Keras/Tensorflow framework, segmentation models, model training, ResNet50.t

## Introduction

Today, tracking the position of ships in the Black and Azov Seas is an extremely important applied task, especially in the context of the Russian-Ukrainian war. These regions are of strategic importance not only for international trade but also for Ukraine's national security. In the context of Russia's military aggression, constant monitoring of maritime traffic allows for a prompt response to potential threats, prevention of military provocations and effective coordination of defence operations.

The aim is to effectively analyse images based on the developed software system for segmenting ships from satellite images using the Keras/Tensorflow framework.

Image segmentation is an important task in computer vision and can be applied in many fields.

We can segment different images, including medical images, autonomous vehicles, face recognition, the oceans, images of forest fires, flood zones, glaciers to track environmental changes, defects on products or materials, ruins. In this paper, we segment ships from satellite images.

The aim of our research was building and training image segmentation models based on Keras/TensorFlow frameworks application.

The object of research is image analysis processes for detecting the location of ships.

Research methods: systematic approach, analysis, synthesis, descriptive, comparison, modelling.

Achievement of the research objective involves: study of approaches to the development of modern segmentation models; analysis of software and technological development solutions using the Keras framework; building a segmentation model and defining metrics and loss functions; model training on data sets; creation of a software prototype system with Gradio. The scientific result of the work is a clear and instant recognition of objects in the sea in the form of ships to identify enemy objects using computer vision.

## 1. Approaches to developing modern segmentation models

Image segmentation is an important task in computer vision that aims to divide an image into several meaningful parts, each of which corresponds to a specific object or area. Over the past decades, many methods and algorithms have been developed for image segmentation, which can be divided into classical and modern approaches based on deep neural networks.

Classical image segmentation methods include algorithms that use various image processing and feature analysis techniques. Well-known studies include the following scientific works (Bandarupally et al., 2020), (Chen X., et al., 2014), (Dhorajiya, et al., 2023). Among them there is a significant work (Khanykov et al., 2020) on devoting thresholding. Thresholding is one of the simplest and most widely applied segmentation methods. It involves selecting a threshold value to categorize pixels into different classes based on their intensity levels. Pixels with intensity values above or below the threshold are assigned to separate regions. While thresholding is computationally efficient and easy to implement, it is highly sensitive to variations in lighting conditions and image noise. This sensitivity can lead to inconsistent results, especially in non-uniformly illuminated images or those with significant background clutter.

Region-based methods focus on the spatial coherence of pixels. Segmentation begins with the identification of seed points, typically selected based on prior knowledge or pre-defined criteria. The algorithm iteratively includes neighboring pixels that satisfy a similarity criterion, such as intensity or texture homogeneity. This approach is particularly effective for segmenting images with well-defined homogeneous regions. However, its performance is influenced by the choice of seed points and similarity measures, which can make it less robust for images with complex structures or varying textures.

Clustering methods leverage unsupervised learning techniques to group pixels with similar characteristics, such as color, intensity, or texture. Algorithms like K-means and Gaussian Mixture Models (GMM) are commonly used in this

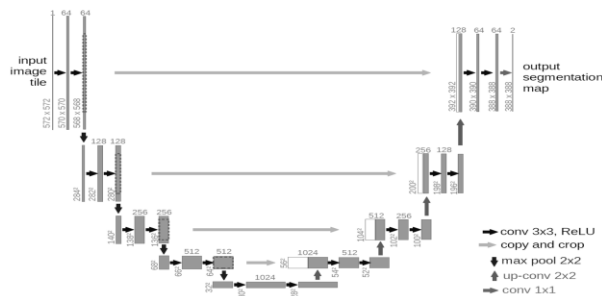
context. K-means partitions pixels into clusters by minimizing intra-cluster variance, while GMM assumes that pixel features are distributed according to a mixture of Gaussian distributions. These methods are versatile and can handle multi-dimensional feature spaces, but their effectiveness depends on selecting an appropriate number of clusters and initialization parameters.

Graph-based segmentation techniques model an image as a graph, where pixels are represented as vertices and their relationships (e.g., spatial proximity or feature similarity) are captured as edges. Algorithms such as normalized cuts divide the graph into sub-graphs by minimizing a cost function that balances the similarity within regions and the dissimilarity between them. These methods are particularly suited for complex segmentation tasks but can be computationally expensive, especially for high-resolution images or large datasets.

Modern segmentation methods based on deep neural networks. Deep neural networks, in particular Convolutional Neural Networks (CNNs), have significantly improved image segmentation results due to their ability to learn complex features without the need for manual feature selection. The main architectures cover such solutions.

### U-Net

The U-Net architecture (Zvng, J. 2019) is one of the most popular frameworks for image segmentation. It features a symmetrical encoder-decoder structure. The encoder extracts features through successive convolutional and pooling layers, reducing spatial resolution while capturing semantic information. The decoder reconstructs the spatial details using transposed convolutions, progressively upsampling the feature maps. Skip connections between corresponding encoder and decoder layers allow the network to combine high-level semantic features with low-level spatial details, improving segmentation accuracy, particularly for small objects. This architecture is highly effective in medical imaging and other domains requiring precise boundary delineation (See 1 Figure).

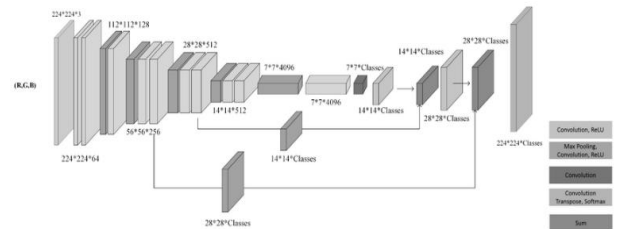


**Figure 1.** U-Net architecture  
Source: Zvng, J. 2019

### Fully Convolutional Networks (FCN)

FCNs replace fully connected layers with convolutional layers, allowing them to process images of varying sizes. The core idea is to apply convolutional filters across the entire image, generating spatially consistent output maps. By using

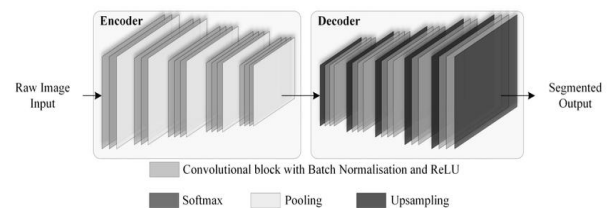
upsampling layers or transposed convolutions, FCNs achieve pixel-level predictions. The absence of fully connected layers reduces the number of parameters, making these networks computationally efficient and memory-friendly. FCNs are particularly well-suited for real-time segmentation tasks (See 2 Figure).



**Figure 2.** Architecture of Fully Convolutional Networks  
Source: Piramanayagam et al., 2018

### SegNet

SegNet (Xue et al., 2021) is designed with efficiency in mind, making it suitable for tasks with computational constraints. It features an encoder-decoder architecture where the encoder consists of convolutional and pooling layers to extract features, and the decoder uses the pooling indices from the encoder to upsample the feature maps. This pooling-index-based upsampling reduces computational overhead while preserving spatial accuracy. SegNet is particularly advantageous for applications where both speed and accuracy are critical (See 3 Figure).



**Figure 3.** SegNet architecture  
Source: Xue et al., 2021

### DeepLab

DeepLab (Torres et al., 2020) introduces several innovations to improve segmentation performance, particularly in handling scale variability and complex backgrounds. It employs atrous (dilated) convolutions to expand the receptive field without increasing the number of parameters, enabling the capture of contextual information at multiple scales. Additionally, DeepLab incorporates a fully connected Conditional Random Field (CRF) layer to refine segmentation boundaries by enforcing spatial consistency. This makes DeepLab highly effective for applications requiring high-quality segmentation in cluttered environments (See 4 Figure).

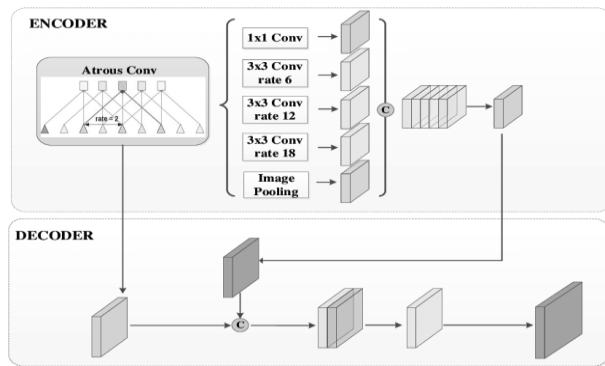


Figure 4. DeepLab architecture  
Source: Torres et al., 2020

### Mask R-CNN

Mask R-CNN (SKY ENGINE AI, 2023) extends the Faster R-CNN architecture to perform both object detection and instance segmentation. It achieves this by adding a parallel branch that generates binary masks for each detected object, enabling precise pixel-level classification. This additional segmentation branch integrates seamlessly with the existing object detection pipeline, ensuring minimal overhead while significantly enhancing functionality. The architecture is versatile and robust, making it suitable for a wide range of applications, including medical imaging and autonomous driving.

Mask R-CNN builds on Faster R-CNN by adding a segmentation branch that generates binary masks for each detected object, enabling precise instance-level segmentation while maintaining efficient object detection. (See 5 Figure)

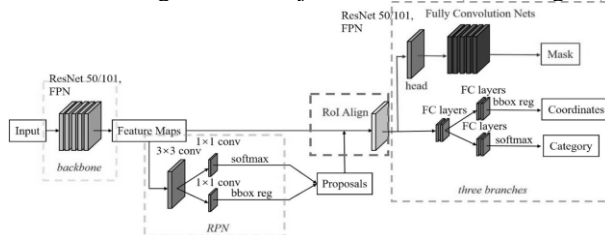


Figure 5. Architecture of Mask R-CNN  
Source: SKY ENGINE AI, 2023

Study of the main architectures of segmentation models, in particular U-Net and the possibilities of using the ResNet50 (Zeya LT, 2021) encoder.

U-Net was developed for biomedical segmentation applications, but its versatility allows it to be applied to a wide range of tasks. The main components of the U-Net architecture include the following elements:

- **Encode.** The encoder consists of a sequence of convolutional blocks, each of which includes two convolutions with a small kernel size (typically 3x3), each accompanied by a ReLU activation function and a max pooling operation to reduce the spatial resolution.
- **Bottleneck view (Bottleneck).** The central part of the network that stores the deepest and most

generalised features of the image. This part consists of several convolutional layers without reducing the size.

- **Decoder.** The decoder consists of a sequence of up-convolutions or transposed convolutions to gradually restore spatial resolution. Each decoder unit is connected to the corresponding encoder unit via skip connections, which allows detailed features from the encoder to be used for more accurate recovery.
- **Skip Connections.** These connections provide a direct path for information to be transferred from the encoder to the decoder, which helps to preserve details and improve segmentation quality.

The main advantages of U-Net include a symmetrical structure, efficient use of spatial information through skip links, and the ability to accurately segment objects even on small datasets.

ResNet50 is a deep convolutional neural network consisting of 50 layers built using residual blocks (See 6 Figure).

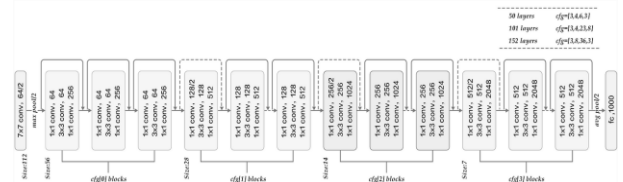


Figure 6. ResNet50 architecture  
Source: Zeya LT, 2021

The main components of ResNet50 include the following elements:

- **Residual Blocks.** Each block consists of several convolutional layers and an identical map attached to the convolutional result. This allows the network to learn the changes (residuals) from the input signal, making it easier to train even very deep models.
- **Global Average Pooling.** At the end of the network, the global mean elemental value is used to reduce the dimensionality and prepare for the classification layer.
- **Pre-training on large datasets.** ResNet50 is often used in a pre-trained state on large datasets such as ImageNet, which allows the use of already learned features for new tasks with less data.

The integration of ResNet50 into the U-Net architecture allows to create a powerful segmentation model that combines the benefits of both architectures. The main integration steps include:

- **Using the ResNet50 as an encoder.** The ResNet50 is used as an encoder in the U-Net architecture, where each encoding stage stores spatial information for later use in the decoder.
- **Merge skip links.** The skip links ensure that detailed features from the ResNet50 are transferred to the appropriate decoder levels, allowing spatial resolution and detail to be preserved.

- **Construction of the decoder.** The decoder in U-Net remains unchanged, but receives additional information from the ResNet50 skip links, which improves the accuracy of recovery and segmentation.

The integration of ResNet50 into U-Net has numerous advantages, including improved ability to learn complex features, reduced training time. The depth of ResNet50 allows learning more complex and abstract features, which improves the overall performance of the model. The use of pre-trained ResNet50 models significantly reduces training time and the amount of data required to achieve high accuracy.

However, there are also certain challenges: high computational complexity, setting up hyperparameters.

Deep models such as ResNet50 require significant computational resources to train and execute, which can be a limitation in some applications. The ResNet50 integration requires careful configuration of hyperparameters to ensure stable learning and avoid overlearning.

The U-Net architecture combined with the ResNet50 codec is a powerful image segmentation tool that combines the simplicity and efficiency of U-Net with the depth and learning capability of ResNet50's complex features.

## 2. Analysis of software and technological development solutions using the Keras framework

Keras (Chollet F., 2018) is a high-level framework for building and training neural networks that simplifies the development of deep models due to its simplicity, flexibility, and efficiency (Keras). In this section, we will explore the main features of Keras, its benefits, and integration with TensorFlow, which is one of the most popular frameworks for machine learning and deep learning.

Keras enables developers to easily create neural networks using a simple and intuitive API.

Keras offers a comprehensive range of built-in layers and activation functions that make it an ideal framework for building neural networks, including those used in image segmentation tasks. This functionality simplifies the design process, allowing researchers and engineers to focus on problem-solving rather than low-level implementation. In image segmentation, specific layers play a crucial role. Convolutional layers, such as Conv2D, are foundational for extracting spatial features from images. These layers scan over the input data to detect patterns, such as edges or textures, which are critical for understanding image content. To enhance these extracted features, Batch Normalization layers are commonly employed. They normalize activations, reducing internal covariate shifts and enabling faster and more stable training. Dimensionality reduction is another important aspect of segmentation architectures, achieved through MaxPooling2D or similar pooling layers. These layers downsample feature maps, preserving key information while discarding redundant data. On the other hand, upsampling is equally critical for generating high-resolution segmentation masks. This is accomplished using Conv2DTranspose, often

referred to as a transposed convolution or deconvolution layer. These layers reverse the pooling effect, reconstructing spatial details needed for pixel-level predictions. Fully connected layers, like Dense, while less frequently used in segmentation models, can still be valuable in classification components or auxiliary tasks. For instance, they may be included in models that combine segmentation with other objectives, such as identifying objects within segmented regions. Activation functions further enhance model performance by introducing non-linearity. ReLU (Rectified Linear Unit) is the most common choice for hidden layers, enabling models to learn complex mappings. For the output layer, functions like sigmoid are preferred for binary segmentation tasks, as they map predictions to a range between 0 and 1, indicating the probability of each pixel belonging to a target class. For multi-class segmentation, the softmax activation function is typically used, as it ensures the output probabilities across all classes sum to one. Together, these layers and activation functions create a highly versatile and efficient toolkit for designing state-of-the-art image segmentation models. This modularity allows users to customize architectures for specific tasks, ranging from medical image analysis to autonomous driving applications. The framework automatically optimises the performance of neural networks using vectorisation and parallel computing. One of the main advantages of Keras is its integration with TensorFlow (Said, 2022), which allows to use all the features of this powerful framework. Thanks to this integration Keras can be used as a high-level interface to TensorFlow, allowing developers to quickly build and train neural networks and developers can use Keras functionality together with TensorFlow tools such as TensorBoard to visualise models and monitor training.

Implementing effective models for image segmentation requires the use of various tools (Albumentations, Imgaug and etc.) and libraries (OpenCV, Pillow, Scikit-image and etc.). These libraries help with data processing, analysis, segmentation, and neural network building and training. In this section, we will review the main libraries and tools used for these purposes.

The use of appropriate tools and libraries is a key aspect of successful implementation of segmentation models. Image processing libraries such as OpenCV, Pillow, and scikit-image ensure efficient data preparation. Augmentation tools, such as Albumentations and imgaug, allow to increase the variety of training examples.

## 3. Building a segmentation model based on U-Net with the ResNet50 codec and defining metrics and loss functions

To encode the input image, we use the ResNet50 model pre-trained on ImageNet without top layers. This allows us to use deep features extracted from different levels of abstraction, which improves segmentation accuracy.

The decoder restores the spatial resolution of the image by applying transposed convolutions (Conv2DTranspose). We

use upsampling blocks that include transpose convolution, batch normalisation (BatchNormalisation) and the ReLU activation function.

To integrate the encoder and decoder, we use skip connections that allow us to merge the relevant layers from ResNet50 (encoder) with the decoder layers. This helps to preserve high-resolution details from the encoding stage in the decoding stage.

This architecture provides an efficient combination of ResNet50 as encoder and U-Net decoder, using skip connections to preserve and transfer spatial features between layers.

When assessing the quality of a segmentation model, it is important to select appropriate metrics and loss functions. The metrics and loss function selected for this project are described below:

**Precision.** This metric determines what proportion of the objects identified by the model as belonging to a particular class actually belong to that class. In the context of segmentation, precision measures how accurately the model identifies pixels in a particular class.

**Recall.** Recall determines what proportion of all objects in a particular class are correctly identified by the model, which allows to assess how well the model identifies all objects in a particular class in the image (See Figure7).

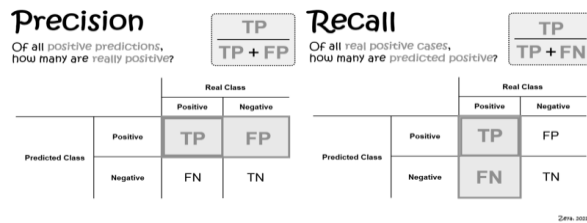


Figure 7. Precision and Recall formulas  
Source: Zeya LT, 2021

#### 4. Training a model on a dataset

The data for this task was taken from the Kaggle Airbus Ship Detection Challenge (<https://www.kaggle.com/competitions/airbus-ship-detection>).

##### EDA (Data Analytics) (Nabriya P, 2021).

The dataset contains a directory with images and a CSV file (train\_ship\_segmentations\_v2.csv) with two columns:

1. ImageId. These are the names of satellite image files.
2. EncodedPixels. This is an RLE (Run-Length Encoding) encoded segmentation mask.

RLE is a binary data encoding method where sequences of identical image values are compressed into pairs (start, length) corresponding to the starting position and length of the sequence.

For example, the string "1 3 10 5" in RLE means that from the beginning of the image (pixel 1) there is a sequence of 3

pixels with a value of 1, followed by a sequence of 10 pixels with a value of 0, and finally 5 more pixels with a value of 1.

When analysing train\_ship\_segmentations\_v2.csv, are decided to display the distribution of ships on one image (See 8 Figure).

The analysis of the dataset reveals a pronounced imbalance, with the number of images lacking ships significantly exceeding those containing ships. This uneven class distribution poses a risk of model overfitting. Specifically, the model may become biased towards predicting the majority class (images without ships), achieving superficially high accuracy while failing to effectively identify the minority class (images with ships). To mitigate this issue, it is essential to employ techniques for balancing the dataset, ensuring a more equitable representation of classes and improving the model's ability to generalize.

One approach to balancing (Hosgunor E., 2020) a dataset is to use downsampling (Hourcard N., 2024). Downsampling involves reducing the number of examples in the predominant class (images without ships) by randomly selecting a subset of these images. For example, if there are 10,000 images in the dataset without ships and only 1,000 with ships, can select a random 1,000 images without ships for the training set. This will give the model a balanced dataset where each class is represented by the same number of samples (See 9 Figure).

*Augmentation* (Sajid H., 2022) of the data is an important step in preparing the dataset as it helps to increase the variety of training samples, increasing the model's robustness to different variations in the input data. This project uses the DataGenerator class to generate image batches and corresponding masks for model training. This class also provides functionality for data augmentation.

*Augmentation* (Sajid H., 2022) of the data is an important step in preparing the dataset as it helps to increase the variety of training samples, increasing the model's robustness to different variations in the input data. This project uses the DataGenerator class to generate image batches and corresponding masks for model training. This class also provides functionality for data augmentation.

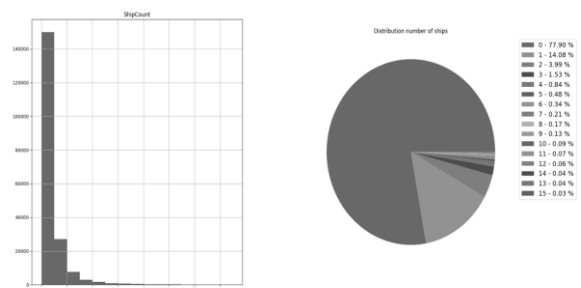
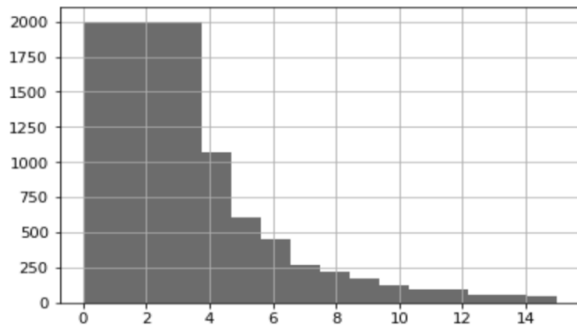


Figure 8. Distribution of ships in the dataset, demonstrating a heavy imbalance with most images featuring no ships  
Source: Authors



**Figure 9.** Distribution graph after downsampling  
*Source: Authors*

The main aspects of augmentation are implemented as follows.

When initialising the generator, specify the image directory, a DataFrame with information about images and masks, the size of the batch, the size of the image, and a flag to enable/disable augmentation.

For each batch of images and masks, augmentation parameters such as rotation angle, horizontal and vertical reflection are randomly generated.

The `augment_image` function applies a random angle rotation of the image, as well as random horizontal and vertical reflection.

If augmentation is enabled, these transformations are applied to both images and their corresponding masks.

Images are normalised before being fed into the model: pixel values are reduced to the range [0, 1] and standardised according to ImageNet means and standard deviations.

Thus, using the `DataGenerator` class with augmentation helps to provide a greater variety of data for training, which contributes to the overall performance and robustness of the segmentation model.

## 5. Comparative Analysis of Encoders for the UNet Model

The performance of the UNet model in image segmentation is significantly influenced by the choice of encoder integrated into its architecture. Encoders play a critical role in feature extraction, which directly impacts the segmentation quality. To evaluate the impact of different encoders, a series of experiments were conducted, measuring segmentation quality using the Dice Score metric. The results of these experiments are presented below:

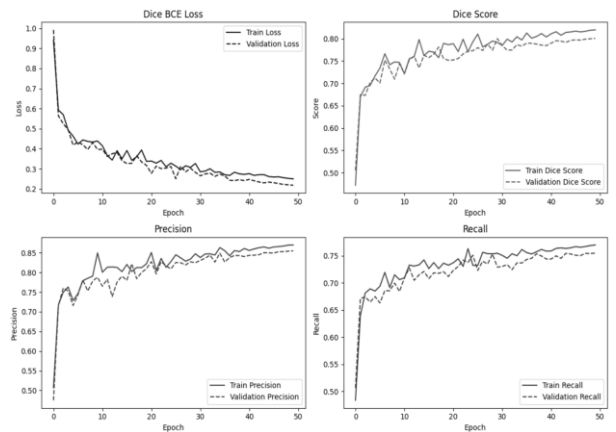
- UNet without an encoder achieved a Dice Score of 0.15.
- UNet with the VGG19 encoder achieved a Dice Score of 0.31.
- UNet with the EfficientNetB1 encoder achieved a Dice Score of 0.24.
- UNet with the EfficientNetB6 encoder achieved a Dice Score of 0.42.

- UNet with the ResNet50 encoder achieved the highest Dice Score of 0.81.

To further optimize the architecture, hyperparameters (Pandian S., 2022) were fine-tuned, and the loss function was adjusted. The final metrics for the best-performing configuration, which combined the UNet model with the ResNet50 encoder, are as follows:

- Dice BCE Loss: 0.218
- Dice Score: 0.801
- Precision: 0.855
- Recall: 0.755

The low Dice BCE Loss value indicates minimal prediction errors, while the high Dice Score confirms the model's overall accuracy. The Precision metric demonstrates that most predicted objects are true positives, minimizing false positives. Similarly, the Recall metric reveals the model's ability to detect most real objects in the images, with only occasional omissions. Figure 10 illustrates the training and validation performance across 50 epochs. The graphs highlight the convergence of the Dice BCE Loss, Dice Score, Precision, and Recall. The Dice BCE Loss plot shows a steady decline, indicating reduced errors during training and validation. Simultaneously, the Dice Score, Precision, and Recall exhibit consistent improvement, reflecting the model's increasing accuracy and reliability in segmentation tasks.



**Figure 10.** Training and validation performance for Dice BCE Loss, Dice Score, Precision, and Recall across 50 epochs  
*Source: Authors*

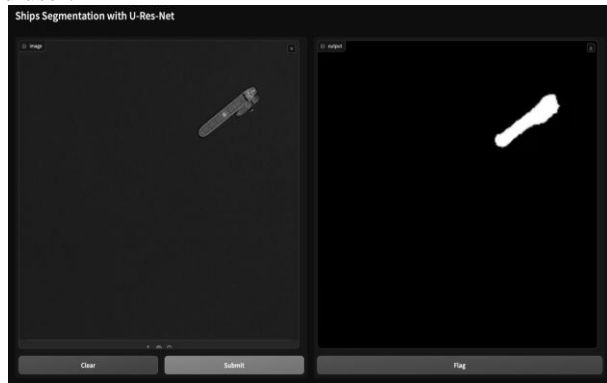
## 6. Creation of a software prototype system with Gradio

Gradio is a versatile and accessible framework designed for building interactive web interfaces that seamlessly integrate with machine learning models. Its simplicity and adaptability make it a go-to choice for developers aiming to prototype and showcase machine learning applications. By reducing the technical overhead typically associated with web development, Gradio enables both rapid deployment and user-friendly interactions. This flexibility proves being especially beneficial for applications like image segmentation, natural language



processing, object detection, and more, where real-time model interaction is essential. The prototype described in this work focuses on the task of ship segmentation in satellite imagery, leveraging the U-Res-Net architecture. Ship detection and segmentation are critical in domains such as maritime monitoring, environmental studies, and logistics. This prototype enables the extraction of ship masks from satellite images, which are essential for automating large-scale analysis tasks. Gradio's framework simplifies the entire development process, making it possible to rapidly move from model training to practical demonstrations. The interface provides an intuitive experience for users. On the left panel, users can upload a satellite image of a marine area containing ships. This image undergoes preprocessing, resizing, and normalization before being passed through the U-Res-Net segmentation model. The model produces a binary segmentation mask that highlights the detected ships, shown on the right panel. This visualization not only demonstrates the model's predictive capabilities but also underscores the seamless interaction enabled by the Gradio interface. Figure 11 illustrates the working prototype. The left side displays the uploaded satellite image of a ship, while the right side shows the corresponding binary mask produced by the segmentation model. The black-and-white output effectively isolates the ship from the surrounding water, providing a clear and precise result.

The development of this prototype involved several crucial steps. First, a preprocessing and prediction function was implemented to handle input data preparation and generate output masks. Second, the U-Res-Net model was initialized and configured for the segmentation task. Finally, the Gradio interface was designed with custom input-output settings tailored to the application, ensuring usability and clarity for the end user.



**Figure 11.** Screenshot of the working prototype  
*Source: Authors*

## CONCLUSIONS

A prototype of a software system for ship segmentation was designed and developed step by step based on the conducted research, which is an important practical task for preventing military provocations.

Image analysis systems based on artificial intelligence are important because of the practical application of these

technologies in various fields of application, in particular, it will contribute to the rapid development of artificial intelligence technologies, automation in transformation processes, application in various fields of application, especially security behaviour (video surveillance using AI allows to automatically detect suspicious objects or behaviour, increasing the efficiency of security systems), improving the accuracy and quality solutions.

The topic of image recognition, in particular satellite images of warships using computer vision, is extremely important for many reasons, including ensuring national security, analysing strategic activity, monitoring efficiency, development of innovative technologies for other purposes, development of modern artificial intelligence algorithms, monitoring compliance with international agreements, etc.

Real-time recognition of warships allows monitoring the movement of military forces, which is critical for assessing potential threats, helping to identify objects that may pose a threat and warn of possible invasions or unauthorised presence of military forces in territorial waters. Analysis of satellite images allows us to study the structure and operational models of military fleets, which can be useful for predicting military operations, assessing the level of military activity in the region and formulating appropriate policies.

Computer vision automates the analysis of large amounts of satellite data, significantly reducing the time and resources required for manual processing, which is especially important for real-time operations when efficiency is critical.

Technologies used in the military can be applied to civilian projects. For example, object recognition on satellite images can be useful for environmental monitoring, fisheries management, shipping, etc.

The development of deep learning algorithms allows us to improve the accuracy and reliability of object recognition.

Computer vision combined with artificial intelligence can identify ships even in difficult conditions, such as low visibility or partial overlap of objects.

Analysis of satellite imagery allows us to monitor whether countries are complying with international agreements, such as demilitarisation of certain regions or restrictions on the deployment of military forces.

The use of automated systems minimises possible errors caused by human factors such as fatigue or subjective perception.

The importance of this research topic is also growing in the context of increasing geopolitical tensions and the growing role of military intelligence.

## REFERENCES

- Bandarupally, H., Talusani, H. R., & Sridevi, T. (2020). Detection of Military Targets from Satellite Images using Deep Convolutional Neural Networks. *2020 IEEE 5th International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA)*. India. Access via internet: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9250864/authors>>

Chen, X., Xiang, Sh., Cheng-Lin, L., & Chun-Hong, P. (2013). Aircraft Detection by Deep Belief Nets. *Second IAPR Asian Conference on Pattern Recognition*. doi:10.2197/ipsjtcva.7.10.

Chollet, F. (2018). Deep Learning with Python. Access via internet: < <https://www.manning.com/books/deep-learning-with-python> >

Dhorajjiya, A., Rakhi, A.M., Pachamuthu, & S. (2023). Ship Detection from Satellite Imagery Using RetinaNet with Instance Segmentation. *Proceedings of International Conference on Recent Trends in Computing 2023* (pp.627-639). doi:10.1007/978-981-19-8825-7\_54

Hosungor, E. (2020). *How to Handle Imbalance Data and Small Training Sets in ML*. Access via internet: <<https://towardsdatascience.com/how-to-handle-imbalance-data-and-small-training-sets-in-ml-989f8053531d> >

Hourcard, N. 2024. Downsampling (data processing). *QuestDB*. Access via internet: <<https://questdb.io/glossary/downsampling/> >

Keras. (n.d.). *Deep Learning for humans*. Access via internet: <<https://keras.io/> >

Khanykov, I. G., Tolstoj, I. M., & Levonevskiy, D. K. (2020). The classification of the image segmentation algorithms. *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*, 8(2), 115-127. doi.org/10.1108/IJUS-07-2019-0031

Koehn, K. E. Cross-Entropy Loss Function. *Towards Data Science*. Access via internet:< <https://towardsdatascience.com/cross-entropy-loss-function-f38c4ec8643e> >

Nabriya, P. (2021). What is Exploratory Data Analysis (EDA) and How Does it Work? Access via internet: <<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/08/exploratory-data-analysis-and-visualization-techniques-in-data-science/>>

Pandian, S. A. (2022). Comprehensive Guide on Hyperparameter Tuning and its Techniques. *Analytics Vidhya*. Access via internet: <<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2022/02/a-comprehensive-guide-on-hyperparameter-tuning-and-its-techniques/> >

Piramanayagam, S., Saber, E., & Schwartzkopf, W. (2018). Supervised Classification of Multisensor Remotely Sensed Images Using a Deep Learning Framework. *Remote Sensing*, 10(9). doi:10.3390/rs10091429

PycadBlog. (2024). The Difference Between Dice and Dice Loss. Access via internet:< <https://pycad.co/the-difference-between-dice-and-dice-loss/>. >

Sajid, H. (2022). *What Is Image Data Augmentation?* Access via internet: <<https://www.picsellia.com/post/image-data-augmentation> >

SKY ENGINE AI. (2023). What is Mask R-CNN? Access via internet: <<https://skyengine.ai/se/skyengine-blog/119-what-is-mask-r-cnn> >

TensorFlow. (n.d.). *An end-to-end platform for machine learning*. Access via internet: <<https://www.tensorflow.org/>>

Torres, D. L., Feitosa, R., Happ, P. N., Cue La Rosa, L. E., Marcato Junior, J., Bressan, P. O., Gonçalves, W. N., & Liesenberg, V. (2020). Applying Fully Convolutional Architectures for Semantic Segmentation of a Single Tree Species in Urban Environment on High Resolution UAV Optical Imagery. *Sensors* 20. doi:10.3390/s20020563

Xue, H., Chen, X., Zhang, R., Wu, P., & Li, X. (2021). Deep Learning-Based Maritime Environment Segmentation for Unmanned Surface Vehicles Using Superpixel Algorithms. *International Journal of Intelligent Systems*. doi:10.3390/jmse9121329

Zeya, LT. (2021). Precision and Recall Made Simple. Access via internet: <<https://towardsdatascience.com/precision-and-recall-made-simple-afb5e098970f>. >

Zhang, J. (2019). UNet - Line by Line Explanation. Access via internet: <<https://towardsdatascience.com/unet-line-by-line-explanation-9b191c76baf5>.>

## VAIZDO ANALIZĖS PROGRAMINĖ SISTEMA, PAGRĮSTA DIRBTINIŲ INTELEKTU

Valentyna Pleskach<sup>1</sup>, Romanas Tumasonis<sup>2</sup>,  
Oleksandr Shyshchuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Kijivo Taraso Ševčenkos nacionalinis universitetas*  
<sup>2</sup> *Vilniaus kolegija*

**Anotacija.** Pagrindinis tyrimo tikslas yra išanalizuoti sukurta programine įranga gautus vaizdus. Šia įranga galima segmentuoti laivus iš palydovinių vaizdų *Keras/Tensorflow* sistema. Straipsnyje pirmiausia apžvelgiami šiuolaikiniai segmentavimo modeliai, atlikta algoritmų analizė bei nagrinėjami pagrindiniai segmentavimo modeliai (ypač *U-Net*). Taip pat atlikta programinės įrangos ir technologijų sprendimų, skirtų sistemoms kurti, naudojant *Keras* karkasą, analizė. Yra sukurtas *U-Net* pagrindu su *ResNet50* koduotuvu segmentavimo modelis, kuris buvo pritaikytas konkrečiam duomenų rinkiniui. Tokiu būdu sukurta programa galima efektyviai aptikti įvairius laivus vandens telkiniuose. Tikimasi, kad sukurta sistema padės užtikrinti efektyvią jūrų eismo Juodojoje ir Azovo jūrose stebėseną. Tai gerokai padidintų saugumo lygį ir operatyvumą, reaguojant į grėsmes. Mokslinis rezultatas yra esamų mašininio mokymo ir mokymosi modelių tobulinimas, kad būtų galima geriau atpažinti ir segmentuoti objektų dinaminis vaizdus. Straipsnyje nagrinėtos vaizdo analizės sistemos, pagrįstos dirbtiniu intelektu, yra svarbios dėl praktinio technologijų pritaikymo įvairiose srityse.

**Reikšminiai žodžiai:** vaizdų analizė, *Keras/Tensorflow framework*, segmentavimo modeliai, modelių pritaikymas, *ResNet*.

# SKAITMENINIŲ GEBĖJIMŲ PLĖTRA ŠVIETIME PAGAL *DIGCOMP 2.2* MODELĮ: TYRIMŲ APŽVALGA

Jolanta Pileckienė, Brigita Šustickienė, Kristina Višnevskienė

Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58-1, Vilnius

**Anotacija.** Straipsnyje analizuojamas Vilniaus kolegijos ir partnerių vykdomas tyrimas, susijęs su skaitmeninių kompetencijų ugdymu aukštajame moksle, remiantis „Erasmus+“ projektu „SIMOnS: Students Improvement and Monitoring of ONline Skills“ („SIMOnS: studentų skaitmeninių įgūdžių tobulinimas ir stebėseną“). Tyrime nagrinėjami būdai, kaip interaktyvios mokymo priemonės gali padėti studentams tobulinti skaitmeninius įgūdžius pagal *DigComp 2.2* kompetencijų sistemą. Pateikiama interaktyvios mobiliosios programėlės idėja, siūloma mokomoji medžiaga, pritaikyta įvairiems įgūdžių lygiams – nuo pradedančiųjų iki pažengusiųjų. Ši programėlė ne tik suteiks prieigą prie įvairių išteklių, tokių kaip vaizdo įrašai, infografikai ir vadovėliai, bet ir skatins praktinį mokymąsi bei interaktyvius veiklus. Straipsnyje taip pat pateikta literatūros analizė. Buvo išnagrinėti 65 moksliniai straipsniai bei 14 kursų ir testų, atrinktų iš *Web of Science* ir *Scopus* duomenų bazių, siekiant išsiaiškinti efektyvius skaitmeninių kompetencijų ugdymo metodus. Tyrimo rezultatai parodė, kad savęs vertinimo testai kartu su praktiniais uždaviniais yra itin naudingi vertinant ir gerinant šias kompetencijas. Straipsnyje akcentuojama skaitmeninių įgūdžių svarba tiek asmeniniam, tiek profesiniam tobulėjimui, pabrėžiant jų svarbą skatinant švietimo inovacijas ir socialinę įtrauktį.

**Reikšminiai žodžiai:** skaitmeninės kompetencijos, *DigComp* sistema, interaktyvi sistema, moksliniai straipsniai, kiekybinio vertinimo priemonės.

## Įvadas

Daugiau kaip dešimtmetį *Skaitmeninės kompetencijos programa (DigComp)* visoje Europos Sąjungoje (ES) padėjo suprasti, kas yra skaitmeninė kompetencija, todėl jos pagrindu buvo formuojama skaitmeninių įgūdžių politika. *DigComp* yra skaitmeninių kompetencijų sistema, skirta apibrėžti ir vertinti piliečių skaitmenines kompetencijas, kurios būtinos šiuolaikiniame pasaulyje.

*DigComp* suteikė moksliškai pagrįstą ir nuo technologijų nepriklausomą pagrindą skaitmeninių įgūdžių suvokimui bei politikos raidai. Ši sistema, kaip svarbiausia priemonė, padėjo sukurti bendrą šių kompetencijų vertinimo ir ugdymo pagrindą. Paskutinį kartą *DigComp* buvo atnaujinta 2017 m., tačiau nuo to laiko skaitmeninė aplinka ir technologijos pakito. Ypač sparčiai tobulėjant tokioms sritims kaip dirbtinis intelektas, robotizacija, daiktų internetas bei duomenų apdorojimas, iškilo naujų iššūkių, susijusių su klaidingos informacijos ir dezinformacijos sklaida. Dėl šių pokyčių kyla vis didesnių reikalavimų skaitmeniniam raštingumui, kad būtų galima saugiai ir efektyviai prisidėti prie šiuolaikinės skaitmeninės visuomenės veiklos.

Europos Komisijos mokslinių tyrimų padalinio Jungtinio tyrimų centro (JTC) atliktas mokymosi ir skaitmeninio amžiaus įgūdžių tyrimas pradėtas 2005 m. Jo tikslas buvo Europos Komisijai suteikti moksliškai grįstą pagalbą kuriant politiką dėl skaitmeninių technologijų potencialo panaudojimo, skatinant švietimo naujoves ir mokymo praktikas; gerinant prieigos prie mokymosi visą gyvenimą galimybes; suteikiant naujų (skaitmeninių) įgūdžių ir kompetencijų, kurių reikia įsidarbinant, asmeniniam tobulėjimui bei socialinei įtraukčiai.

Naujausiose tyrimų ataskaitose apie skaitmeninės švietimo ir mokymosi transformacijos gebėjimų ugdymo reikalavimus visas dėmesys buvo skiriamas skaitmeninio raštingumo sistemoms *DigComp* tobulinti, švietimo organizacijoms (*DigCompOrg*) ir vartotojams (*DigCompConsumers*) (Švietimo

skaitmenizavimas, 2022; Europos pedagogų skaitmeninių kompetencijų sistema *DigCompEdu*, 2017), sukurtos aukštojo mokslo institucijų atvėrimo (*OpenEdu*) bei verslumo (*EntreComp*) sistemos.

Vilniaus kolegija (VIKO) dalyvauja „Erasmus+“ bendradarbiavimo partnerystės projekte „SIMOnS: Students Improvement and Monitoring of ONline Skills“ („SIMOnS: studentų skaitmeninių įgūdžių tobulinimas ir stebėseną“), Nr. 2023-1-PT01-KA220-HED-000160187. Šio projekto tikslas yra tobulinti aukštųjų mokyklų studentų skaitmeninius gebėjimus, padėti jiems kritiškai ir kūrybiškai naudotis technologijomis ir skaitmenine informacija. Vienas projekto rezultatų – sukurta patraukli mobilioji programėlė, kuri suteiktų studentams galimybę tobulinti įgūdžius, skatintų sąmoningą ir kritišką požiūrį į skaitmeninę informaciją.

Viena projekto dalis apima į mokymąsi orientuotos skaitmeninių įgūdžių medžiagos tyrimą ir kūrimą, skirtą interaktyviai mobiliajai programėlei. Sukurta mokymosi medžiaga siekiama sumažinti skaitmeninių įgūdžių atotrūkį tarp aukštųjų mokyklų studentų, suteikiant kvalifikacijos kėlimo galimybes ir sprendžiant lyčių lygybės bei nepakankamai atstovaujama grupių įtraukos klausimus. *SIMOnS* programėleje pateikiama mokymosi medžiaga grindžiamas penkiais ES *DigComp 2.2* sistemos aspektais (informacijos ir duomenų raštingumas, bendravimas ir bendradarbiavimas, skaitmeninio turinio kūrimas, saugumas ir problemų sprendimas) ir skirta keturiems skirtingo skaitmeninio raštingumo lygio vartotojams: pradedančiajam, pagrindiniam, pažengusiam, žinovui/ekspertui. Mokymosi medžiaga apima praktines užduotis, interaktyvius pristatymus, tarp jų vaizdo įrašus, vadovėlius, infografikus ir kt., siekiant padėti studentams tobulinti skaitmeninius įgūdžius.

Tyrimo objektas – skaitmeninių kompetencijų mokymosi ir vertinimo turinys, grindžiamas Europos skaitmeninių kompetencijų sistema *DigComp*, bei esamų vertinimo instrumentų (testų, kursų) veiksmingumas ir jų taikymas švietimo srityje.

Straipsnio tikslas – atlikti literatūros apžvalgą, įvertinti skaitmeninių įgūdžių mokymosi ir vertinimo praktiką, grindžiamą *DigComp* sistema, siekiant tobulinti švietimo institucijų skaitmeninių įgūdžių ugdymo ir vertinimo galimybes.

Tyrimo uždaviniai:

1. Išanalizuoti mokslinę literatūrą apie skaitmeninių kompetencijų tobulinimą ir vertinimą naudojant *DigComp* sistemą.
2. Nustatyti vertinimo ir mokymosi praktikas, kurios gali būti pritaikytos šiuolaikiniame švietime, atsižvelgiant į sparčiai kintančias šiuolaikines technologijas.
3. Kuriant *SIMOnS* programėlę analizuoti skaitmeninių kompetencijų vertinimo priemonių svarbą, atsižvelgiant į praktinį naudingumą ir veiksmingumą.

**Tyrimo metodika:** Tyrimas pagrįstas kokybine analize, kuri leidžia nuodugnai įvertinti skaitmeninių kompetencijų vertinimo priemones, jų efektyvumą ir praktinę reikšmę. Šis metodas apima įvairių dokumentų, *DigComp 2.2* sistemos ir *SIMOnS* projekto medžiagos analizę, siekiant nustatyti, kaip šie elementai prisideda prie studentų skaitmeninių įgūdžių ugdymo.

## 1. Skaitmeninių įgūdžių mokymosi ir vertinimo turinio analizė

Europos skaitmeninių kompetencijų sistema *DigComp* yra vienas pagrindinių instrumentų, naudojamų apibrėžti skaitmeninių įgūdžių ugdymą. Ji apima kelias dimensijas, tokias kaip informacijos valdymas, komunikacija, turinio kūrimas, saugumas ir problemų sprendimas. *DigComp* padeda struktūruoti mokymosi procesą ir vertinimo metodikas (pvz., testus ar klausimynus), leidžia išsamiau įvertinti įgūdžių lygį.

Skaitmeninių įgūdžių mokymosi ir vertinimo turinio analizė yra aktuali, ypač atsižvelgiant į spartų technologijų tobulėjimą ir skaitmeninės kompetencijos svarbą kasdieniniame gyvenime bei darbo rinkoje. Skirtingų autorių nuomone, skaitmeninių kompetencijų vertinimui aukštajame moksle siekiama skirti daugiau dėmesio, ypač pabrėžiant vertinimo instrumentų pagrįstumą ir patikimumą (Linda Helene Sillat ir kt.). Be to, svarbu tirti vertinimo priemonių naudojimą, siekiant skatinti sisteminius skaitmeninių kompetencijų vertinimo procesus. Analizė pateikia idėjų, susijusių su skaitmeninių kompetencijų vertinimu aukštajame moksle.

Ala-Mutka pristatė pirmą skaitmeninių kompetencijų vizualizaciją 21-ojo amžiaus įgūdžių kontekste. 21-ojo amžiaus įgūdžiai ir skaitmeninė kompetencija laikomi svarbiais ateities įgūdžiais žiniomis pagrįstoje visuomenėje, nors ryšys tarp šių sąvokų dar nėra aiškus (Ala-Mutka, 2011). Van Laar ir kt. pasiūlė terminą „21-ojo amžiaus skaitmeniniai įgūdžiai“, kurie yra esminiai tiek pavieniams žmonėms, tiek organizacijoms, siekiančioms prisitaikyti prie pokyčių ir kurti naujus produktus (Van Laar ir kiti, 2017). Tačiau šie įgūdžiai neapsiriboja tik žiniomis apie programinę įrangą, o turi didesnę poveikį žmogaus gebėjimui funkcionuoti technologijų kupinoje visuomenėje. Nors technologijos yra inovacijų pagrindas, jos nesukuria žiniomis pagrįstų inovacijų, tai daro žmonės, vertindami žmogiškąjį kapitalą darbo rinkoje, vadinasi, ateityje reikės

darbuotojų, turinčių 21-ojo amžiaus įgūdžių: bendradarbiavimo, komunikacijos, skaitmeninio raštingumo, pilietiškumo, problemų sprendimo, kritinio mąstymo, kūrybiškumo ir produktyvumo (Voogt & Roblin, 2012). Sparčiai kintančioje žinių ekonomikoje 21-ojo amžiaus skaitmeniniai įgūdžiai skatina organizacijų konkurencingumą ir inovacijas.

Įvairių šalių mokslininkų tyrimų rezultatai atskleidė skaitmeninių įgūdžių svarbą rengiant šiuolaikinius specialistus (Cham ir kiti, 2022), analizavo magistrantų skaitmeninių įgūdžių lygį ir jų pasirengimą darbui skaitmeniniame sveikatos sektoriuje, kas ypač aktualu rengiant specialistus, atitinkančius rinkos reikalavimus. Autorių nuomone, dauguma studentų pasitikėjo savo gebėjimais naudotis kasdienėmis technologijomis, kurių reikia jų studijoms. Studentai buvo susipažinę su skaitmeninio privatumo ir saugumo svarba, tačiau vienas tobulintų aspektų buvo pačios institucijos per mažas indėlis skatinant studentų skaitmeninių įgūdžių plėtrą (Cham ir kiti, 2022). Tai rodo, jog institucijos neužtikrina pakankamų išteklių ir galimybių, dėl ko studentų pasirengimas neatitinka darbo rinkos reikalavimų. Ši situacija pabrėžia būtinybę ugdyti studentų skaitmeninius įgūdžius, didinant investicijas į infrastruktūros plėtrą, mokymų organizavimą bei mentorystės programų kūrimą ir įgyvendinimą.

Skaitmeninė revoliucija pakeitė informacijos prieigos, komunikacijos, mokymo ir mokymosi būdus. Pasaulinės iniciatyvos, skirtos plėtoti skaitmeninius mokymosi įgūdžius ir skaitmeninio švietimo praktikas, paspartina pažangą siekiant darnaus vystymosi tikslų, ypač „užtikrinti įtraukų ir vienodą kokybišką švietimą bei skatinti visapusiško mokymosi galimybes visiems“ (United Nations, 2021). Švietimo sistemos visame pasaulyje turi aprūpinti tiek mokytojus, tiek mokinius skaitmeninio raštingumo priemonėmis, kad jie galėtų sėkmingai įveikti XXI amžiaus iššūkius. Šri Lankos atvirasis universitetas 2020–2021 m. įgyvendino projektą, kurio tikslas buvo skatinti skaitmeninį švietimą Šri Lankos vidurinėse mokyklose, pritaikant C-DELTA programą (*Commonwealth Digital Education Leadership Training in Action*). Karunanayaka, S. P. ir kt. straipsnyje analizuoja, kaip C-DELTA prisidėjo prie mokytojų ir mokinių skaitmeninio mąstymo bei praktikų plėtros, kokių iššūkių jie patyrė, kokią paramą gavo ir kokį poveikį ši priemonė turėjo. Tyrimo rezultatai parodė, kad šis projektas prisidėjo prie mokytojų ir mokinių skaitmeninio mokymosi įgūdžių tobulinimo, jų mąstymo ir praktikos pokyčių, nepaisant įvairių iššūkių (Karunanayaka ir kiti, 2022). Nors C-DELTA įgyvendinimas mokyklose vyko lėtai COVID-19 pandemijos metu, pandemija ir išryškino skaitmeninio raštingumo ir skaitmeninių praktikų gerinimo svarbą.

Skaitmeniniai įgūdžiai pasauliniu mastu yra esminė švietimo sritis, kurią mokyklos turėtų plėtoti sistemingai. Tyrimai apie skaitmeninius įgūdžius dažniausiai grindžiami savianalizės metodais, pasiekimų testais ir kt. Tačiau žinių apie mokinių ir mokytojų technologijų taikymą mokyklose trūksta, todėl itin svarbu tirti faktinį technologijų ir skaitmeninių įgūdžių taikymą klasėje. Kure ir bendraminčių atliktas tyrimas atskleidė unikalius duomenis apie mokinių technologijų naudojimą ir skaitmeninių įgūdžių taikymą privalomuose anglų kalbos

kursuose, vykstančiuose Norvegijos vidurinėse mokyklose. Pagrindinis atradimas, atskleistas visose mokyklose, buvo tas, kad mokiniai dažniausiai taikė pagrindinius, o ne šiuolaikiškus skaitmeninius įgūdžius (Kure ir kiti, 2023). Nors mokytojai suteikia galimybes mokiniams taikyti skaitmeninius įgūdžius mokykloje, tačiau šiuolaikinių įgūdžių vis dar trūksta.

Švietimo aplinkoje dažnai daroma prielaida, kad studentai yra skaitmeniškai raštingi ir pasirengę aukštojo mokslo iššūkiams, tačiau ši nuostata ne visada atitinka realybę. Tokias išvadas padarė Bentlio universiteto dėstytojai (McCarron & Frydenberg, 2023). Tirdami kokių skaitmeninių kompetencijų ir įgūdžių studentai įgyja prieš stodami į kolegiją ir ar šie įgūdžiai yra pakankami akademiniam pasiekimui užtikrinti. Tyrimas buvo atliktas mažoje Naujosios Anglijos verslo mokykloje. Autorių manymu, į kolegiją stojantiems studentams gali prireikti įgyti papildomų skaitmeninių įgūdžių, nes dauguma jų neturi (McCarron & Frydenberg, 2023). Dauguma studentų vertina savo skaitmeninio raštingumo kompetencijas kaip pradedančiojo arba vidutinio lygio. Vadinasi, būtina rengti informacinių technologijų (IT) raštingumo kursus ir kitas priemones, kad studentai galėtų tobulinti savo skaitmeninius įgūdžius ir sėkmingai studijuoti aukštosiose mokyklose.

## 2. Tyrimo imtis ir metodologija

2024 m. vasario–kovo mėnesiais Vilniaus kolegijos (VIKO) ir Maia universiteto (UMAIA) komandų nariai atliko literatūros ir internetinių kursų bei testų apie skaitmeninių įgūdžių mokymosi ir vertinimą apžvalgą. Surinkęs duomenis, kiekvienas projekto partneris išnagrinėjo straipsnius, kursus ir testus bei pateikė įvertinimus ir komentarus apie indėlį į *SIMOnS* programėlės kūrimą. Tyrimo imtį sudarė 65 moksliniai straipsniai ir 14 testų bei kursų. Kiekvienas elementas (straipsnis, kursas arba testas) buvo įvertintas pagal svarbą projektui balais nuo 1 iki 5 (Melro ir kiti 2024).

Projekto komanda atliko mokslinių straipsnių analizę trijose skaitmeninėse duomenų bazėse: *Web of Science* (<https://www.webofscience.com/wos>), *ERIC* (<https://eric.ed.gov>) ir *Scopus / Elsevier* (ScienceDirect <https://www.sciencedirect.com/>) penkerių metų laikotarpiu (2020–2024 m.). Paieškai pasitelkti reikšminiai žodžiai: „skaitmeniniai įgūdžiai ir vertinimas“, „skaitmeniniai įgūdžiai ir mokymasis“, „DigComp“. Straipsniai atrinkti pagal PRISMA diagramą (1 lentelė), taikant atrankos kriterijus, įtraukiant reikiamus šaltinius.

1 lentelė. Mokslinių straipsnių skaičius

Kriterijai	Aprašymas	Straipsnių skaičius
1	WoS	49
2	ERIC	35
3	IScienceDirect	21
4	Imties papildymai (išimtytys)	1
5	Iš viso surinkta straipsnių	106
6	Iš viso straipsnių po pirmo peržiūros etapo (partnerių pastabos)	65

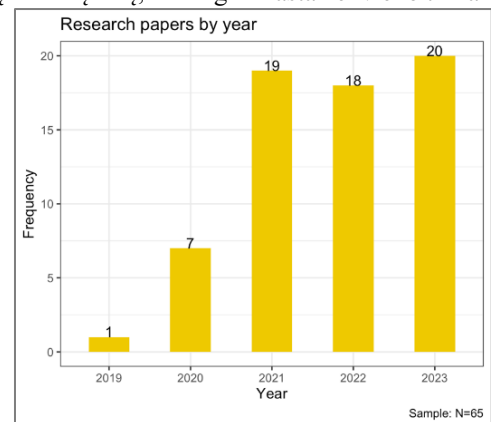
Šaltinis: sudaryta autorių

**Kursai ir vertinimo testai.** VIKO komandos nariai, naudodamiesi trimis skirtingomis paieškos sistemomis *Google*, *Bing* ir *Ecosia* rinko informaciją apie internetinius kursus ir testus. Paieškai pasitelkti reikšminiai žodžiai: „skaitmeninių įgūdžių internetinis testas ir vertinimas“, „skaitmeninių įgūdžių internetiniai kursai ir vertinimas“, „internetinis testas“, „DigComp“, „IT sauga ir internetinė viktorina“, „asmens duomenų ir privatumo apsauga ir vertinimas“, „naršymas“, „informacijos ir skaitmeninio turinio paieška“, „skaitmeninių įgūdžių vertinimo klausimynas“. Iš viso buvo surinkta informacija apie 27 testus ir kursus, tačiau po peržiūros pagal atrankos kriterijus į projektą buvo įtraukti tik 14, iš kurių 6 buvo internetiniai kursai, 7 – testai, ir 1 – mišrus testas.

Atliekant peržiūrą abu pavyzdžių rinkiniai (literatūra ir testai/kursai) buvo kaupiami duomenų bazėje, sudarytoje iš kelių kintamųjų. Per pirmąjį peržiūrų etapą buvo įtrauktas papildomas kintamasis, kuriuo buvo prašoma nurodyti, ar surinktas elementas turi būti pašalintas, ar paliktas, taikant „Taip“ (Y) arba „Ne“ (N) atsakymus. Kiekvienas elementas buvo pažymėtas nurodytu identifikavimo kodo numeriu, užtikrinant tikslią analizės seką.

Mokslinių straipsnių duomenų bazėje buvo šie kintamieji: Duomenų bazė (šaltinis); ID; Autoriai; Metai; Šalis; Pavadinimas; Žurnalas; Vertinimas (A)/Mokymas (L)/Teorija (T); Indėlis į *SIMOnS*; Įvertinimas (1–5). Kursų ir klausimynų duomenų bazėje buvo šie kintamieji: ID; Tipas: Testas (T) arba kursas (C); Organizacija; Pavadinimas; Aprašymas / tikslai; Trukmė / Klausimų skaičius; Nemokamas / mokamas; Tikslas; Įnašas į *SIMOnS*; Įvertinimas (1–5). Šių kintamųjų sistema buvo sukurta siekiant užtikrinti tikslią ir struktūrizuotą informaciją apie surinktus duomenis, kad būtų galima efektyviai analizuoti ir vertinti literatūros šaltinius bei kursus/testus apie *SIMOnS* projekto kūrimą.

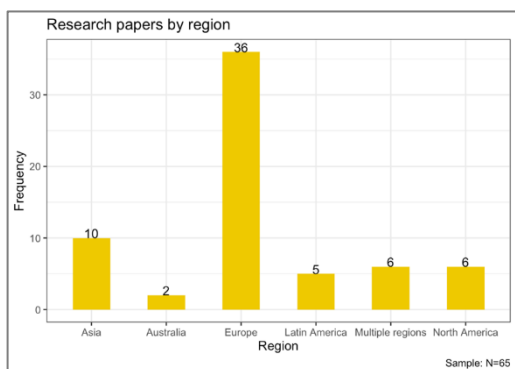
Analizuojant mokslinių straipsnių kiekį pagal publikavimo metus, pastebėta, kad daugiausia straipsnių parengta 2021–2023 metais, 2020–2024 metais rasta mažiau straipsnių (1 pav.). 2024 metų straipsniai nebuvo įtraukti į atrinktų šaltinių imtį, kadangi nerasta nei vieno tinkamo darbo.



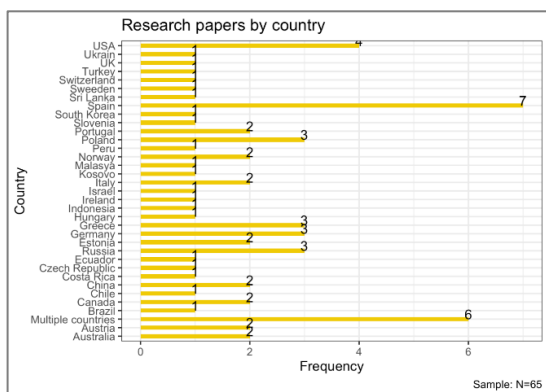
1 pav. Mokslinių straipsnių kiekis pagal metus  
Šaltinis: sudaryta autorių

Vertinant pagal atliktų tyrimų geografinius regionus, didžiausias mokslinių straipsnių skaičius yra Europos regione,

sudarančiame 55 procentus visos imties (2 pav.). Atsižvelgiant į darbų skaičių visame pasaulyje, pirma Ispanija (3 pav.), po to Šiaurės ir Pietų Amerikos šalys, taip pat tam tikros Azijos šalys.



2 pav. Mokslinių straipsnių kiekis pagal regioną  
Šaltinis: sudaryta autorių



3 pav. Mokslinių straipsnių kiekis pagal šalis  
Šaltinis: sudaryta autorių

Ištyrus mokslinių straipsnių dažnumo rodiklius pagal duomenų bazes, nustatyta, kad beveik pusę straipsnių sudaro publikacijos iš *Web of Science* (n = 32), o likusieji – iš ERIC ir *Scopus* duomenų bazių. Kaip rodo tyrimo duomenys, straipsniai, susiję su nagrinėjama tema, dažniausiai publikuojami moksliniuose žurnaluose, tokiuose kaip „Computers & Education“ (n = 8), „Education and Information Technologies“ (n = 7) ir „Educational Sciences“ (n = 7) (2 lentelė).

2 lentelė. Mokslinių straipsnių kiekis

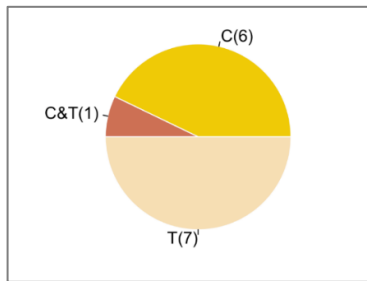
Žurnalas	n	%
<i>Kompiuteriai ir švietimas</i>	8	0.12
<i>Švietimas ir informacinės technologijos</i>	7	0.11
<i>Švietimo mokslai</i>	7	0.11
<i>Švietimo ribos</i>	4	0.06
<i>Elektroninis e. mokymosi žurnalas</i>	3	0.05
<i>Kompiuteriai ir žmogaus elgesys</i>	2	0.03
<i>Tarptautinis žurnalas apie švietimo technologijas aukštajame moksle</i>	2	0.03
<i>Kompiuteriu paremta mokymosi žurnalas</i>	2	0.03
<i>Pažangus švietimas</i>	1	0.02
<i>Vertinimas ir įsivertinimas aukštajame moksle</i>	1	0.02

<i>Australazijos švietimo technologijų žurnalas</i>	1	0.02
<i>Britų švietimo technologijų žurnalas</i>	1	0.02
<i>Kompiuteriai ir švietimas Open</i>	1	0.02
<i>Šiuolaikinės švietimo technologijos</i>	1	0.02
<i>Skaitmeninio švietimo apžvalga</i>	1	0.02
<i>Švietimas ir mokymas</i>	1	0.02
<i>Europos švietimo žurnalas</i>	1	0.02
<i>Informacinių sistemų švietimo žurnalas</i>	1	0.02
<i>Naujų technologijų mokymosi srities tarptautinis žurnalas</i>	1	0.02
<i>Tarptautinis aukštojo mokslo žurnalas</i>	1	0.02
<i>Techninio švietimo ir mokymo žurnalas</i>	1	0.02
<i>Žurnalistikos ir masinės komunikacijos vadovas</i>	1	0.02
<i>Bibliotekinių tyrimų ir informacijos mokslų tyrimai</i>	1	0.02
<i>Obra Digital</i>	1	0.02
<i>Open Praxis</i>	1	0.02
<i>Procedia Kompiuterių mokslai</i>	2	0.03
<i>Psichologijos mokslas ir švietimas</i>	1	0.02
<i>Publikacijos</i>	1	0.02
<i>Relieve</i>	1	0.02
<i>Švietimo ir žiniasklaidos moksliniai tyrimai</i>	1	0.02
<i>Nuotolinio mokymo žurnalas</i>	1	0.02
<i>Socialinių mokslų kompiuterinė apžvalga</i>	1	0.02
<i>Švietimo vertinimo studijos</i>	1	0.02
<i>Mokytojai ir mokymas</i>	1	0.02
<i>Telekomunikacijų politika</i>	1	0.02
<i>TESL Canada Journal</i>	1	0.02
<i>Wiley internetinė biblioteka</i>	1	0.02

Šaltinis: sudaryta autorių

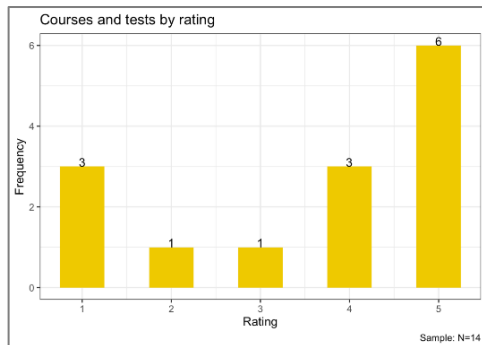
Iš visų 65 darbų daugiau nei pusę (54 proc.) sudaro darbai, kuriuose analizuojamas skaitmeninių įgūdžių vertinimas naudojant savikontrolės testus. Šis rodiklis padidėja iki 69 proc., jei į šią grupę įtraukiami ir mokymosi bei teoriniai straipsniai. Tik 17 proc. publikacijų yra skirtos mokymosi strategijoms aptarti, skaitmeniniams įgūdžiams ugdyti. Šis atskyrimas buvo naudingas siekiant surinkti informaciją apie dvi pagrindines *SIMOnS* programėlės dimensijas: mokymąsi ir vertinimą. Renkant duomenis, daug straipsnių, susijusių su ugdymo praktikomis, buvo atmesta, kadangi jie buvo priskirti prie mokymų, grindžiamų *DigComp-Edu* sistema.

Kursų ir testų kiekio analizė pateikta 4 paveikslėlyje. Internetinių kursų ir testų šaltiniai yra įvairūs. Dauguma imties kursų ir testų buvo surinkta iš tokių mokymosi platformų kaip *Coursera* (n = 3), *Future Learn* (n = 2) ir *PharmaState Academy* (n = 2). Savęs vertinimo testus naudoja kelios platformos, kuriose vyrauja *DigComp* sistema, tarp jų Europos Sąjungos skaitmeninių įgūdžių ir darbo vietų platforma, *DSA*, *MyDigiSkills* ir kt. Dauguma šių platformų yra skirtos plačiajai visuomenei, išskyrus Kvynslendo universiteto platformą, kuri orientuota tik į studentus. Dauguma kursų ir testų yra nemokami (n = 10), tik mažesnei daliai reikia registracijos mokesčio (n = 4).



**4 pav.** Peržiūrai atrinktų kursų ir testų kiekis  
Šaltinis: sudaryta autorių

Savęs vertinimo testuose, pagrįstuose *DigComp* sistema, įprastai numatytas klausimynas apima 82 atsitiktinius klausimus, suskirstytus pagal penkias pagrindines dimensijas. Šie klausimai buvo patvirtinti Europos Komisijai ir Jungtiniame tyrimų centrui atlikus tyrimus (Clifford, Kluzer, Troia, Jakobsonė ir Zandbergs, 2020). Kursų trukmė – nuo 6 iki 144 valandų. Recenzantai beveik pusę imties kursų įvertino penkiausiais balais, vadinas, jie buvo itin svarbūs projektui (5 pav.). Kursų ir testų pasiskirstymas pagal įvertinimus nėra vienodas, tik vieni kursai buvo įvertinti 5 balais, tačiau net penki testai – aukščiausiu balu.



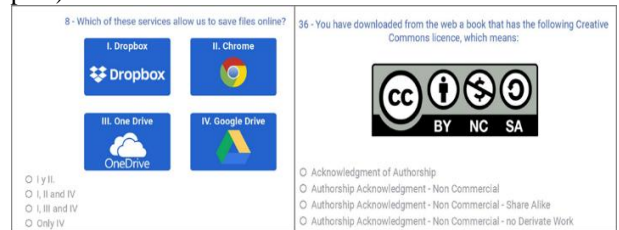
**5 pav.** Kursų ir testų vertinimo analizė pagal recenzentų išvadas  
Šaltinis: sudaryta autorių

Atliekant literatūros apžvalgą, buvo išanalizuoti recenzentų komentarai apie kiekvieną darbą, testą ir kursą, siekiant išsiaiškinti svarbiausius aspektus, turinčius įtakos *SIMOnS* projektui. Projektuojant mokymosi metodiką ypatingas dėmesys buvo skiriamas interaktyvumo aspektui, kuris svarbus užtikrinant efektyvų ir įtraukų mokymosi procesą. Todėl siekiama sukurti patogią mobiliojo mokymosi aplinką, pagrįstą lengvais ir įdomiais mokymosi metodais, kurie skatintų aktyvų studentų įsitraukimą ir nuolatinį įgūdžių tobulinimą.

### 3. Skaitmeninių įgūdžių vertinimo priemonės

Dauguma į tyrimo imtį įtrauktų mokslinių straipsnių yra kiekybiniai skaitmeninių įgūdžių vertinimo tyrimai. Surinktoje literatūroje buvo identifikuotos kelios vertinimo priemonės, susijusios su savęs vertinimo testais ir žinių įrankiais, skirtais skaitmeninių įgūdžių lygiui bei požiūriui į technologijas įvertinti.

Kuriant kiekybinio vertinimo priemones, skirtas skaitmeninio raštingumo lygiams nustatyti, svarbus aspektas yra skirtumas tarp savęs vertinimo ir faktinio skaitmeninio raštingumo lygio nustatymo (Casillas-Martín ir kt., 2020). Pasak Casillas-Martín, pirmenybė teikiama savęs vertinimo procesui, kuris pagrįstas asmeniniu suvokimu, tačiau tai gali lemti neobjektyvius ar subjektyvius atsakymus, tarp jų socialiai priimtinius atsakymus. Kita vertus, įgūdžių tikrinimas, tiesiogiai atliekant užduotis ar sprendžiant problemas, yra patikimesnis, nes reikia vertinti studentų gebėjimus konkrečioje situacijoje (Casillas-Martín ir kiti, 2020). Žinių tikrinimo testų pavyzdžių galima rasti daugelyje literatūros šaltinių, tokių kaip *Silva-Quiroz* ir *Morales-Morgado*, (2022) (6 pav.).



**6 pav.** Žiniomis pagrįstų testo klausimų pavyzdys  
Šaltinis: *Silva-Quiroz* ir *Morales-Morgado*, 2022

Yra įvairių metodų, skirtų savęs vertinimo problemoms identifikuoti, pavyzdžiui, perteklinio deklaravimo technika (angl. *overclaiming technique*, OCT), kuri plačiai taikoma *DigCompSAT* priemonėje. Ši technika apima netikrų elementų įtraukimą pagal nustatytus kriterijus metodu, siekiant įvertinti, kiek asmuo tiksliai suvokia savo skaitmeninius įgūdžius (Clifford ir kiti, 2020; Muszyński ir kiti, 2023). Perteklinio deklaravimo technikos taikymas gali reikšmingai pagerinti skaitmeninės kompetencijos savęs vertinimo įrankių patikimumą ir galiojimą, kadangi ji padeda identifikuoti tendencijas, kurios rodo pervertintą gebėjimų suvokimą. Be to, ši technika suteikia galimybę ištaisyti netikslumus, todėl taikant ją kartu su kitais vertinimo metodais, galima pagerinti duomenų kokybę. Tyrimo rezultatai yra reikšmingi, kadangi jie prisideda prie tikslesnio skaitmeninės kompetencijos vertinimo, o tai savo ruožtu gali skatinti geresnius sprendimus, susijusius su individualiu visą gyvenimą trunkančiu mokymusi.

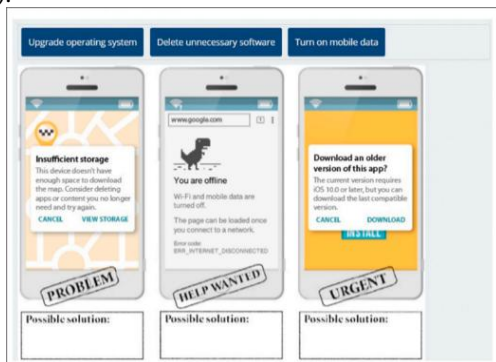
### 4. Interaktyvi aplinka ir žaidimo metodas

Interaktyvumas skatina studentų įsitraukimą į mokymosi procesą, nesvarbu, ar mokymas vyksta skaitmeninėje aplinkoje, ar tradiciniu būdu. Tyrimai rodo, kad interaktyvūs mokymosi išteklių ne tik padeda pritraukti studentų dėmesį, bet ir sustiprina jų motyvaciją, todėl mokymosi procesas tampa dinamiškas ir įtraukus. Carabregu-Vokshi ir kt. (2023) teigimu, antras pagal svarbą skaitmeninių įgūdžių mokymosi veiksnys po aktyvaus dėstytojo įsitraukimo yra e-mokymosi interaktyvumas. Šis veiksnys palengvina dėstytojų ir studentų bendravimą, skatina studentų tarpusavio ryšį, apima

veiksmingas bendravimo priemonės, padeda studentams pasiekti geresnių informacijos valdymo, bendradarbiavimo ir bendravimo įgūdžių, problemų sprendimo, kritinio mąstymo ir novatoriškumo rezultatų (Carabregu-Vokshi ir kt., 2023). Patogi mokymosi platforma ne tik leidžia studentams efektyviai naudoti informaciją, bet ir skatina kritinį vertinimą bei kūrybiškumą kuriant mokymosi turinį, taip prisidedant prie veiksmingesnio mokymosi proceso.

Interaktyvumas svarbus lavinant studentų kūrybiškumo įgūdžius, ypač pasitelkiant žaidybinius metodus. Pasak Falcinelli ir Moscetti, (2021), skaitmeninių įgūdžių ugdymo aplinka turi būti interaktyvi, kūrybiška, smagi. Tokia aplinka skatina studentus aktyviai dalyvauti mokymosi procese, kurio metu jie susiduria su įvairiais iššūkiais. Žaidybinių metodų taikymas, kur studentai raginami kurti projektus, padeda išlaikyti jų susidomėjimą ir motyvaciją. Pramoginių ar linksmų elementų (memų) naudojimas padeda studentams kritiškai vertinti informaciją (Nguyen ir kt., 2022). Interneto memai turi didelį potencialą kalbos mokymui ir mokymuisi. Memai yra skaitmeninės kūrybos darbai, kurie perduoda koncepcijas ir idėjas per įvairius medijos tipus, tarp jų vaizdus, tekstus, garsą ir vaizdo įrašus.

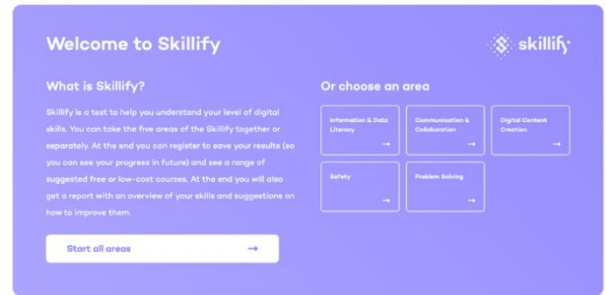
Tyrimuose, kuriuose buvo nagrinėjami interneto memai, nustatyta, kad šios populiaros kultūros ikonos gali būti efektyviai naudojamos ugdant studentų kritinį mąstymą. Memai, kaip skaitmeninės kūrybos elementai, suteikia galimybę studentams analizuoti ir interpretuoti informaciją, taip pat vertinti šaltinių patikimumą ir reikšmę, kas yra svarbu ugdant kritinį mąstymą šiuolaikinėje skaitmeninėje aplinkoje. Be to, memai gali būti integruoti į žinių vertinimo priemones, suteikiant galimybę pritaikyti naujus, interaktyvius vertinimo metodus. Jin ir kiti (2020) aprašo interaktyvių vertinimo klausimų pavyzdžius, kuriuose naudojami fiktyvūs scenarijai (7 pav.).



7 pav. Interaktyvių vertinimo klausimų pavyzdžiai  
Šaltinis: Jin et al. (2020)

Dauguma internetinių priemonių atitinka *DigComp* sistemos sričių ir gebėjimų seką, užtikrindamos struktūruotą ir nuoseklų skaitmeninių įgūdžių vertinimo procesą. Pavyzdžiui, *Skillify* platforma leidžia respondentams pasirinkti, nuo kurios srities jie nori pradėti mokymąsi, taip suteikdama galimybę individualizuoti mokymosi kelią. Be to, šioje priemonėje testų pradžioje pateikiama interaktyvi sąsaja (8 pav.), kuri padeda

lengviau naviguoti po įvairias skaitmenines kompetencijas, o interaktyvūs elementai gerina įsitraukimą, skatindami respondentus pasiekti geresnių rezultatų ir tobulinti įgūdžius įvairiose *DigComp* nustatytose srityse.



8 pav. Interaktyvi *Skillify* sąsaja  
Šaltinis: <https://www.medialiteracyireland.ie/training-development/skillify/>

Atsižvelgiant į skaitmeninį prieinamumą, piktogramų ir spalvotų elementų naudojimas yra efektyvus būdas organizuoti sudėtingą informaciją ir padaryti ją lengviau prieinamą vartotojams. Tokie vizualiniai elementai, kaip piktogramos ir spalvų kodavimas, padeda sukurti intuityvias ir patogias sąsajas, leidžiančias greitai orientuotis bei efektyviau įsiminti informaciją, jos ne tik vizualiai atskiria skirtingas kompetencijas, bet ir palengvina vartotojo navigaciją. Be to, piktogramos, atspindinčios žinias (knyga), įgūdžius (dviratis) ir nuostatas (širdis), suteikia papildomą informacinį kontekstą ir padeda vartotojui geriau suprasti, kaip skirtingi gebėjimai yra susiję su *DigComp* sistemos modeliu.



8 pav. *DigComp* sritys  
Šaltinis: Vuorikari at al, 2022

Literatūros apžvalga buvo naudinga renkantis vertinimo priemones, pagrįstas *DigComp* sistema. Tačiau šioje apžvalgoje nebuvo pateikta informacijos apie mokymąsi ir skaitmeninių įgūdžių vertinimą mobiliuosiuose įrenginiuose. Atlikta paieška turėjo apimti bendresnius reikšminius žodžius, pvz., „mokymasis mobiliajame telefone“ arba „žaidimas ir mokymasis mobiliajame telefone“, kaip įrankius, kurie naudoja mobiliuosius telefonus kaip mokymosi aplinką su žaidimais ar pramoginiais metodais, skirtais studentams, siekiantiems lavinti skaitmeninius įgūdžius. Tikimasi, kad tokių įrankių integracija bus įtraukta į *SIMOnS* programėlę,



taip užtikrinant plačias galimybes studentams mokytis interaktyviai ir lanksčiai, naudojant šiuolaikines technologijas.

## Išvados

1. Tyrimo rezultatai atskleidė esminį trūkumą – nėra pakankamai priemonių, kurios integruotų skaitmeninių įgūdžių vertinimą ir mokymąsi į vieningą sistemą.
2. Skaitmeninių įgūdžių vertinimo ir mokymosi priemonės, pritaikytos mobiliesiems įrenginiams, praktiškai nėra.
3. Savarankiško vertinimo testai išlieka vienu iš populiariausių ir dažniausiai taikomų metodų vertinant skaitmeninius įgūdžius.
4. Daugelis vertinimo priemonių remiasi *DigComp* sistema. Jas sudaro savęs vertinimo ir (arba) praktiniai skirtingo lygio klausimai. Iš jų nedidelę dalį sudaro *DigComp* sistemos internetiniai kursai.

## Literatūra

Ala-Mutka, K. (2011). *Mapping digital competence: Towards a conceptual understanding*. Institute for Prospective Technological Studies. Prieiga per internetą: <<https://pdfs.semanticscholar.org/6282/f40a4146985cfef2f44f2c8d45fdb59c7e9c.pdf>>

Casillas-Martin, S., Cabezas-Gonzalez, M., & Garcia-Valcarcel Munoz-Repiso, A. (2020). Psychometric analysis of a test to assess the digital competence of compulsory education students. *RELIEVE - Revista Electronica de Investigacion y Evaluacion Educativa*, 6(2), 1–20. doi.org/10.7203/relieve.26.2.17611

Carabregu-Vokshi, M., Ogruk-Maz, G., Yildirim, S., Dedaj, B., & Zeqiri, A. (2023). 21st century digital skills of higher education students during Covid-19—is it possible to enhance digital skills of higher education students through E-Learning? *Education and Information Technologies*. doi.org/10.1007/s10639-023-12232-3

Cham, K. M., Edwards, M.-L., Kruesi, L., Celeste, T., & Hennessey, T. (2022). Digital preferences and perceptions of students in health professional courses at a leading Australian university: A baseline for improving digital skills and competencies in health graduates. *Australasian Journal of Educational Technology*, 38(1), 69–86.

Clifford, I., Kluzer, S., Troia, S., Jakobsone, M., & Zandbergs, U. (2020). *DigCompSAT A Self-reflection Tool for the European Digital Competence Framework for Citizens*. doi.org/10.2760/77437

Europos pedagogų skaitmeninių kompetencijų sistema „DigCompEdu“. (2017). Prieiga per internetą: <<https://www.nsa.smm.lt/wp-content/uploads/2020/10/DigCompEdu-LT.pdf>>

Falcinelli, F., & Moscetti, C. (2021). Teaching digital skills to future teachers: a distance workshop experience. *Research on Education and Media*, 13(2), 11–17. doi.org/10.2478/rem-2021-0007

Jin, K. Y., Reichert, F., Cagasan, L. P., de la Torre, J., & Law, N. (2020). Measuring digital literacy across three age cohorts: Exploring test dimensionality and performance differences. *Computers and Education*, 157. doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103968

Karunanayaka, S. P., Weerakoon, W. M. S., Wijesekera, H. D., Nawarathna, N. M. R. K., Ramathass, P., & Weerasinghe, M. D. B. P. (2022). Towards Digital Thinking and Practices: Experiences of Sri

Lankan Teachers and Students. *Open Praxis*, 13(4), 365–377. doi.org/10.55982/openpraxis.13.4.262

Kure, A. E., Brevik, L. M., & Blikstad-Balas, M. (2023). Digital skills critical for education: Video analysis of students' technology use in Norwegian secondary English classrooms. *Journal of Computer Assisted Learning*, 39(1), 269–285. doi.org/10.1111/jcal.12745

Mccarron, E., & Frydenberg, M. (2023). Digitally Prepared for Success? Technology Skills of Incoming First-Year College Students. In *Information Systems Education Journal (ISEDJ)* (Vol. 21). Prieiga per internetą: <<https://isedj.org/>; <<https://iscap.info>>

Melro, A., Girão, O., Pileckiene, J., Šustickienė, B. (2024). State of the art report on learning and assessing digital skills. Student Improvement and Monitoring of Online Skills - 2023-1-PT01-KA220-HED-000160187. <https://simonsproject.eu>

Muszyński, M., Pokropek, A., Castano-Munoz, J., & Vuorikari, R. (2023). Can Overclaiming Technique Improve Self-Assessment Tools for Digital Competence? The Case of DigCompSat. *Social Science Computer Review*, 41(6), 2318–2341. doi.org/10.1177/08944393221117269

Nguyen, H., Chambers, W., & Abbott, M. (2022). Building ESL Learners' Digital Literacy Skills Using Internet Memes. *TESL Canada Journal*, 39(1). doi.org/10.18806/tesl.v39i1/1368

Sillat, L. H., Tammets, K., Laanpere, M. (2021). Digital Competence Assessment Methods in Higher Education: A Systematic Literature Review. *Education sciences*, 11(8). doi:10.3390/educsci11080402Digital

Silva-Quiroz, J., & Morales-Morgado, E. M. (2022). Assessing digital competence and its relationship with the socioeconomic level of Chilean university students. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19(1). doi.org/10.1186/s41239-022-00346-6

Nacionalinė švietimo agentūra. (2022). *Švietimo skaitmenizavimas: Į atnaujinamą mokyklinį turinį įtraukiama skaitmeninė kompetencija*. Prieiga per internetą: <<https://www.nsa.smm.lt/2021/12/02/i-atnaujinama-mokyklini-turini-itraukiama-skaitmenine-kompetencija/>>

United Nations. (2021). *Concept note: Scaling-up digital learning and skills to accelerate progress towards SDG4*. Prieiga per internetą: <[https://en.unesco.org/system/files/concept\\_note\\_consultation\\_e9\\_6\\_april\\_2021.pdf](https://en.unesco.org/system/files/concept_note_consultation_e9_6_april_2021.pdf)>

Van Laar, E.; Van Deursen, A.J.A.M.; Van Dijk, J.A.G.M.; & De Haan, J. (2017) The relation between 21st-century skills and digital skills: A systematic literature review. *Comput. Hum. Behav.*

Voogt, J.; & Roblin, N.P. (2012) A comparative analysis of international frameworks for 21st-century competences: Implications for national curriculum policies. *J. Curric. Stud.* 44, 299–321

## DEVELOPING DIGITAL COMPETENCES IN EDUCATION WITHIN THE DIGCOMP 2.2 MODEL: A REVIEW OF RESEARCH

**Jolanta Pileckienė, Brigita Šustickienė, Kristina Višnevskienė**

*Vilniaus kolegija/Higher Education Institution*

**Summary.** The article analyses the research carried out by Vilnius College and its partners on the development of digital competences in higher education, based on the Erasmus+ project "SIMOnS: Students Improvement and Monitoring of ONline Skills".

The study explores the ways in which interactive teaching tools can help students improve their digital skills in line with the DigComp 2.2 competency framework. The idea of an interactive mobile application is presented, offering learning materials adapted to different skill levels, from beginner to advanced. The app will not only provide access to a wide range of resources such as videos, infographics and tutorials, but will also encourage hands-on learning through exercises and interactive activities. The paper also presents the results of the literature analysis. 65 scientific articles and 14 courses and tests selected from the Web of Science and Scopus databases were analysed in order to identify the most effective methods for developing digital

competences. The results showed that self-assessment tests combined with practical exercises are very useful in assessing and improving these competences. The paper highlights the importance of digital skills for both personal and professional development, emphasising their role in educational innovation and social inclusion.

**Key words:** Digital competences, DigComp system, interactive system, scientific articles, quantitative assessment tools.

# BIOETANOLIO ĮTAKOS DIDELĖS GALIOS AUTOMOBILIO ENERGINIAMS IR EKOLOGINIAMS RODIKLIAMS VERTINIMAS AVL CRUISE PROGRAMA ATLIEKANT WLTC SKAITINĮ MODELIAVIMĄ

Aronas Kairys<sup>1</sup>, Alfredas Rimkus<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Plytinės g. 25, Vilnius

<sup>2</sup>Vilniaus kolegija, Olandų g. 16, Vilnius

**Anotacija.** Automobilių tarša ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos – opi aplinkosaugos problema. Vertinant automobilių atitiktį Euro standartams šios emisijos matuojamos pagal realias sąlygas atitinkantį pasaulinį darnų lengvųjų automobilių bandymo ciklą (angl. *Worldwide harmonized Light Duty Test Cycle – WLTC*). Mokslinių šaltinių apžvalgoje pateikti skirtingų tipų automobilių WLTC važiavimo ciklo tyrimai, kuriuose analizuojama energinių rodiklių ir išmetamos taršos (CH, CO ir NO<sub>x</sub>) bei šiltnamio efektą sukeliančių CO<sub>2</sub> dujų emisijų pokytis, didinant bioetanolio koncentraciją benzine. Analizuoti automobilio, varomo „Flex Fuel“ kibirkštinio uždegimo variklio, ir hibridinio automobilio rodikliai. Tiriamojoje dalyje AVL CRUISE programa atliktas didelės galios automobilio „Maserati MC20“ skaitinis WLTC ciklo modeliavimas. Aprašytas automobilio komponentų ir bendro skaitinio modelio sudarymas bei važiavimo ciklo metodika. Skaičiavimai atlikti naudojant benzina su 5 % bioetanolio priedu ir benzina su 85 % bioetanolio priedu. Nustatytos momentinės degalų sąnaudos ir teršalų emisijos skirtingais automobilio važiavimo etapais bei suminės rodiklių reikšmės per WLTC. Atlikta didelės galios automobilio energinių ir ekologinių rodiklių, nustatytų skaitinio modeliavimo būdu, pokyčio analizė, pateiktos apibendrinančios išvados.

**Reikšminiai žodžiai:** WLTC važiavimo ciklas, AVL CRUISE, skaitinis modeliavimas, CO<sub>2</sub> emisija, teršalai.

## Įvadas

Automobiliai išmeta apie 48 % transporto sektoriaus emisijų, kurios sudaro 20,7 % pasaulinių CO<sub>2</sub> emisijų (Statista, 2022) bei kitų kenksmingų teršalų. Dėl šios priežasties svarbu, kad automobiliai būtų kuo mažiau kenksmingi aplinkai ir jų sertifikavimo metu turi būti atliekami realias vairavimo sąlygas atitinkantys emisijų matavimo tyrimai. Naujų automobilių taršai matuoti naudojamas WLTC bandymų ciklas, skirtas imituoti realias automobilio vairavimo sąlygas atliekant stendinius bandymus. Tai dalis pasaulinės darnios lengvųjų automobilių bandymo procedūros (angl. *Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure – WLTP*), kuri naudojama matuojant degalų sąnaudas ir kenksmingų medžiagų emisijas lengvųjų automobilių išmetamosiose dujose (*Emission Standards: Europe: Cars and Light Trucks*, 2024).

Vienas iš būdų sumažinti kibirkštinio uždegimo (KU) variklių taršą ir CO<sub>2</sub> emisiją – pakeisti iškastinius degalus (benziną) iš augalų gaminamu bioetanoliu (Kruczyński ir kt., 2019). Ant dinamometrinio apkrovos stendo atliktas WLTC važiavimo ciklas „Ford Focus“ automobiliu, kurio „Flex Fuel“ KU variklis yra 1798 cm<sup>3</sup> darbinio tūrio. Šis variklis pagal gamintojo nurodymus gali naudoti benzina su bioetanolio priedu iki 85 % mišinio tūrio (E85). Bandymų metu pasirinktas benzinas su 10 %, 40 % ir 85 % etanolio priedu. Naudojant E85 degalus NO<sub>x</sub> ir CO emisijos sumažėjo atitinkamai 7 % ir 13 % palyginti su 10 % etanolio priedu (E10). CH ir CO<sub>2</sub> emisijos naudojant E85 sumažėjo atitinkamai 9 % ir 5 %. Tai lėmė mažesnis anglies kiekis degaluose. Tačiau degalų sąnaudos, pasirinkus E85 dėl žemesnės degalų energinės vertės padidėjo apie 37 %.

Bandymams naudojant dinamometrinių apkrovos stendą WLTC režimu buvo ištirtas hibridinis automobilis „Toyota Prius“, varomas E0, E10 ir E70 degalais. Bandymų metu degalų sąnaudos išaugo 0,1 % ir 23,9 % pasirinkus E10 ir E70 degalus atitinkamai (Rimkus ir kt., 2024). Gryną benzina E0 pakeitus E10 ir E70 degalų mišiniais anglies viendeginio (CO) emisijos sumažėjo 15 % ir 19 %, nesudegintų angliavandenilių (CH) emisijos – 17 % ir 27 %, azoto oksidų (NO<sub>x</sub>) emisijos – 24 % ir 30 %, anglies dvideginio (CO<sub>2</sub>) emisijos – 3,5 % ir 5 % pasirinkus E10 ir E70 degalus atitinkamai. Tokius variklio rodiklių pokyčius lėmė dėl bioetanolio priedo pasikeitęs anglies/vandenilio santykis ir išaugusi deguonies koncentracija benzino mišiniuose su etanolio.

Siekiant paspartinti tyrimų eigą, vis labiau populiarėja įvairūs skaitinio modeliavimo tyrimai. Tai matematinė, fizinė (ar kitokia) raiška, pagrįsta atitinkama hipoteze ir supaprastintomis prielaidomis (Sirois & Grilli, 2015). Viena iš transporto priemonių rodiklių tyrimams skirtų programų yra įmonės AVL *Advanced Simulation Technologies* sukurta AVL CRUISE skaitinio modeliavimo programa. Straipsnyje pristatomo tyrimo tikslas – apskaičiuoti didelės galios lengvojo automobilio energinių ir ekologinių rodiklių pokytį E5 degalus pakeitus E85 degalais.

## 1. Skaitinio modeliavimo metodika

Sukurta automobilio „Maserati MC20“ skaitinis WLTC važiavimo ciklo modelis, skirtas palyginti degalų sąnaudas ir išmetamų teršalų emisiją, naudojant „gamyklinį“ šio automobilio variklį, pritaikytą E5 degalams, ir modifikuotą variklį, skirtą E85 degalams. Gryno benzino (E0) ir gryno bioetanolio (E100) bei mišinių E5 ir E85 pagrindinės fizinės ir cheminės savybės pateiktos 1 lentelėje.

**1 lentelė.** Degalų pagrindinės fizinės ir cheminės savybės

Rodiklis	Degalai			
	E0	E5	E85	E100
Bioetanolio tūrio koncentracija, %	0	5	85	100
Bioetanolio masės koncentracija, %	0	0,053	0,857	100
Tankis (15°C), kg/m <sup>3</sup>	748	750	784	790
Specifinė garavimo temperatūra, kJ/kg	364	-	-	840
Adiabatinė degimo temperatūra, °C	2307	-	-	2247
Oktaninis skaičius	95	-	-	109
Degalų elementinė sudėtis, %	C	86,4	84,6	57,0
	H	13,6	13,6	14,2
	O	0,0	1,8	28,8
C/H santykis	6,36	6,21	4,01	3,64
Stechiometrinis mišinys, kg oro/1 kg degalų	14,70	14,47	10,30	9,00
Degalų žemutinis šiluminumas, MJ/kg	43,53	42,70	30,03	27,78

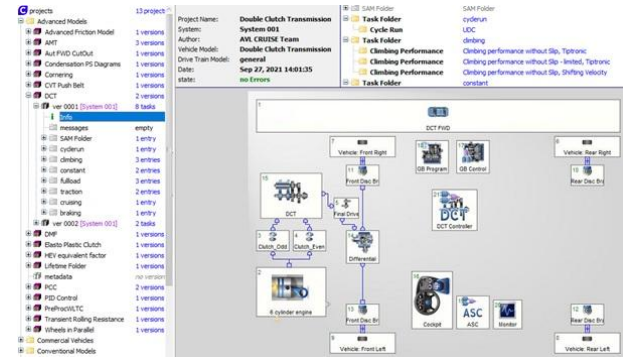
Šaltinis: Awad ir kt., 2018; Li ir kt., 2017; Liu ir kt., 2016

Prieš WLTC simuliaciją buvo atlikti šiluminiai ir energiniai variklio skaičiavimai gerinant variklio veikimo efektyvumą (Butkus, 1985, 2009; Giedra ir kt., 2006; Heywood, 1988, 2018). Atliekant šiuos skaičiavimus automobilio variklis, varomas E85 degalais, dar buvo papildomai modifikuotas, padidinant turbokompresoriaus slėgį 10 % (nuo 2,0 bar iki 2,2 bar). Variklio galia padidėjo nuo 463 kW (E5) iki 514 kW (E85).

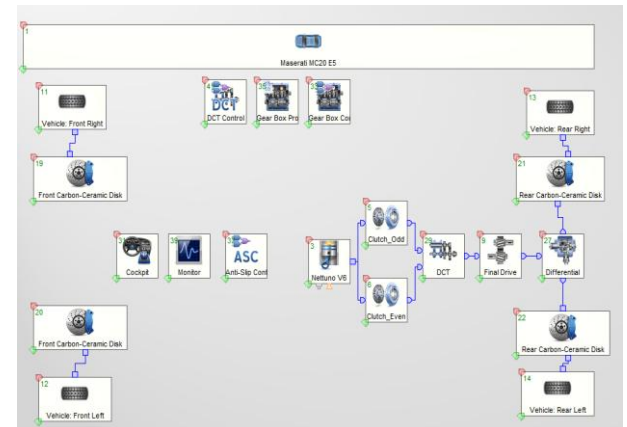
Atliekant WLTC ciklo skaitinį modeliavimą naudotasi programinės įrangos gamintojo pateikta instrukcija (AVL CRUISE™ M / AVL, 2024). Tyrimui paspartinti buvo pritaikytas programinėje aplinkoje esantis priekiniai ratais varomo automobilio prototipas su dviejų sankabų automatine pavarų dėže (angl. *Dual Clutch Transmission – DCT*) (1 pav.). Šis prototipas pasirinktas, nes „Maserati MC20“ vidurinėje ir galinėje padėtyje sumontuotas 3 L darbinio tūrio, dviejų turbinų V6 variklis, sujungtas su 8 pavarų DCT pavarų dėže. AVL CRUISE programinėje aplinkoje esantis modelis taip pat turi šešių cilindrų KU variklį. Šis skaitinis modelis buvo sukurtas skaičiuoti WLTC parametrus ir naudotas kaip prototipas. Palyginti su „Maserati MC20“ modeliu, šio prototipo darbinis tūris mažesnis (2,5 L), jis neturi turbokompresoriaus ir jo galia yra mažesnė.

Naudojantis prototipu AVL CRUISE programa buvo sukurtas originalus „Maserati MC20“ skaitinis modelis (2 pav.). Kiekvienas sukurto modelio elemento „langas“ buvo užpildytas aktualia informacija, kad modeliavimo metu atliekant skaičiavimus būtų tiksliai įvertinti variklio ir naudojamų degalų duomenys (3 pav.), pavarų dėžės pavarų keitimo žemėlapis (4 pav.) ir kt. Duomenys paimti iš papildomos programos (*Emission Standards: Europe: Cars and Light Trucks*, 2024). Kiti duomenys sužinoti tik analizuojant automobilio gamintojo informaciją. Tačiau ir gamintojo duomenų bazėse nėra galimybės rasti išsamios informacijos, pavyzdžiui, apie ekologinių rodiklių reikšmes, kai variklis veikia įvairiais režimais. Tokiu atveju buvo

vadovautasi kitų panašių charakteristikų modelių duomenimis arba mokslinių tyrimų rezultatais, publikuotais moksliniuose žurnaluose, pritaikant analogiškos konstrukcijos variklio CH ir NO<sub>x</sub> emisijų žemėlapius.

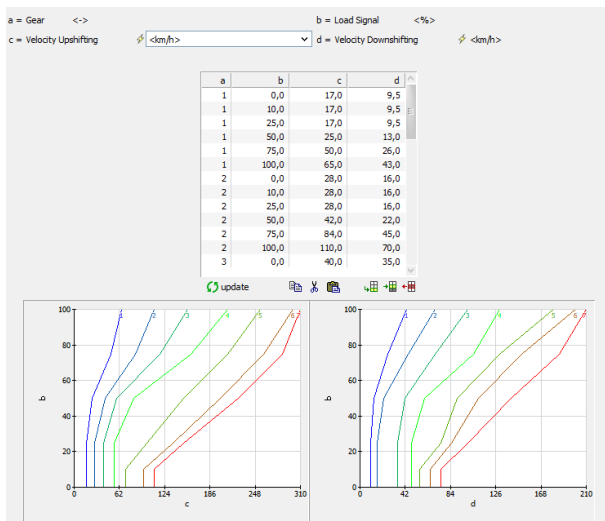


**1 pav.** Automobilio su 6 cilindrų varikliu ir DCT transmisija modelio prototipas  
Šaltinis: sudaryta autorių



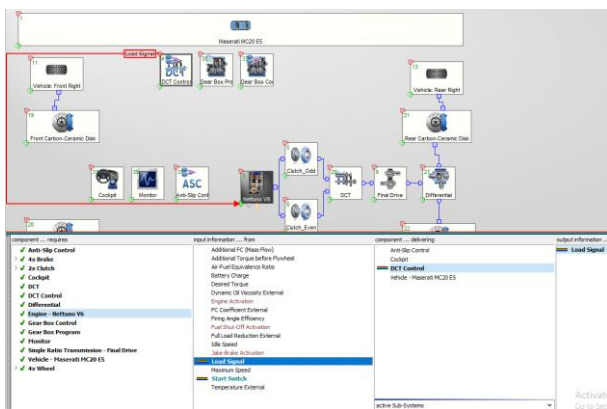
**2 pav.** „Maserati MC20“, AVL CRUISE modelis  
Šaltinis: sudaryta autorių

**3 pav.** Variklio ir degalų duomenų langas  
Šaltinis: sudaryta autorių



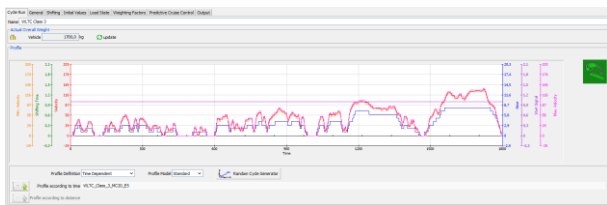
4 pav. Pavarų dėžės pavarų valdymo žemėlapis  
Šaltinis: sudaryta autorių

Suformavus atskirų komponentų „langus“ įvairūs komponentai buvo sujungti, kad gautų tinkamus signalus simuliacijai atlikti, pvz., variklio apkrovos signalas būtinas pavarų dėžės kontrolei (5 pav.).



3 pav. Vienas iš daugelio komponentų ryšių, kurių reikia simuliacijai  
Šaltinis: sudaryta autorių

Atliekant važiavimo ciklo WLTC simuliaciją, užduočių aplankale „Task Folder“ sukurta važiavimo ciklo programa „Cyclerun“ surašant važiavimo ciklo duomenis (6 pav.) bei atliktas važiavimo ciklo skaičiavimas.



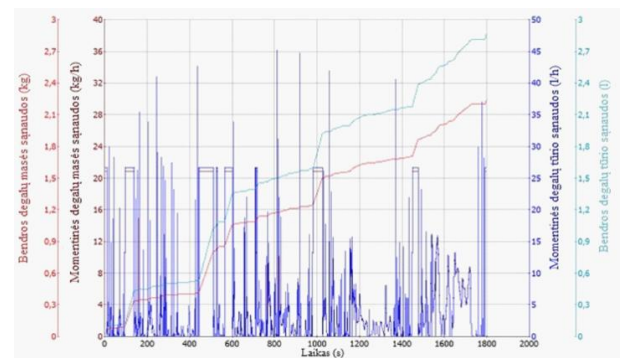
4 pav. WLTC važiavimo ciklas AVL CRUISE programa  
Šaltinis: sudaryta autorių

WLTC trukmė 30 min (1800 s) ir per ciklą nuvažiuojamas ~23,3 km atstumas.

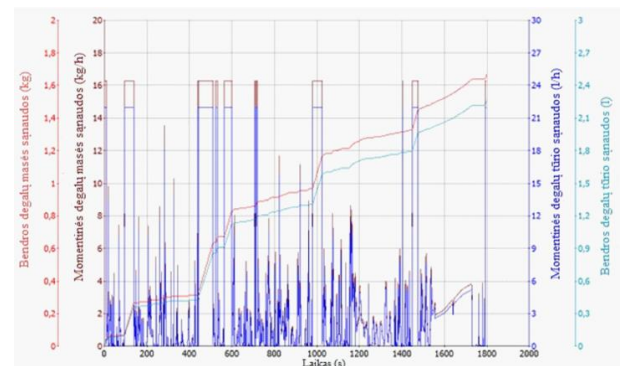
## 2. Skaitinio modeliavimo rezultatai

Didelės galios automobilio „Maserati MC20“, varomo benzinu su 5 % ir 85 % bioetanolio priedu, WLTC važiavimo ciklo energiniai ir ekologiniai rezultatai pavaizduoti grafikuose, suformuotuose naudojant AVL CRUISE programos skaitinio modeliavimo duomenis.

E85 degalais (7 pav.) varomas automobilis ciklo metu, nepaisant to paties važiavimo laiko, nuvažiuo 795 m ilgesnį atstumą nei E5 degalais varomas automobilis (23262 m, palyginti su 22467 m) (8 pav.) ir E85 sunaudojo ~27 % didesnę degalų tūrį (2,85 L) nei E5 degalai (2,25 L). Ciklo metu sunaudotų degalų masė: 2,15 kg (E85 degalų mišiniui) ir 1,7 kg (E5 degalų mišiniui). E85 degalų masė ~0,45 kg (~26%) didesnė palyginti su E5 degalų mase. Masės skirtumas mažesnis dėl didesnio bioetanolio tankio. Degalų sąnaudų padidėjimas paaiškinamas mažesniu bioetanolio žemutiniu šilumingumu, o didesnis nuvažiuotas atstumas, kaip ir momentiniai verčių šuoliai, gali būti paaiškinti nevisiškai optimizuotu variklio ir pavarų dėžės valdymu.



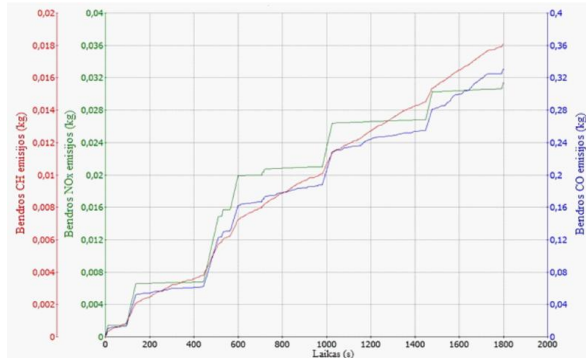
7 pav. WLTC važiavimo ciklo bendrosios ir momentinės degalų sąnaudos, naudojant E85 degalus  
Šaltinis: sudaryta autorių



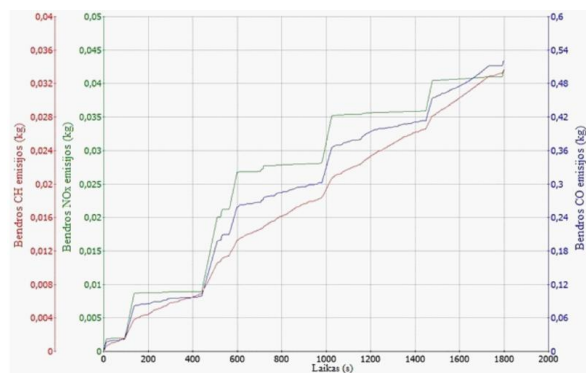
8 pav. WLTC važiavimo ciklo bendrosios ir momentinės degalų sąnaudos, naudojant E5 degalus  
Šaltinis: sudaryta autorių

WLTC važiavimo ciklu E85 degalus naudojantis automobilis išmetė mažiau NO<sub>x</sub>, CH ir CO emisijų: 0,31 kg; 0,36 kg ir 0,33 kg atitinkamai (9 pav.), palyginti su benzinu varomo automobilio 0,5 kg, 0,5 kg ir 0,52 kg atitinkamai (10 pav.), tai yra 38 %, 28 % ir 36,5 % mažiau. NO<sub>x</sub> emisijos sumažėjo degalus E5 pakeitus E85 dėl aukštesnės bioetanolio savitosios garavimo temperatūros (1 lentelė).

Bioetanolis garuodamas kolektoriuje labiau atšaldo įsiurbiamą orą, degimas vyksta žemesnėje temperatūroje ir mažiau susiformuoja aukštatemperatūrių azoto oksidų. Mažesnis anglies/vandenilio santykis ir didesnė deguonies koncentracija bioetanolyje (1 lentelė) lemia mažesnes nepilno degimo produktų (CO ir CH) emisijas.

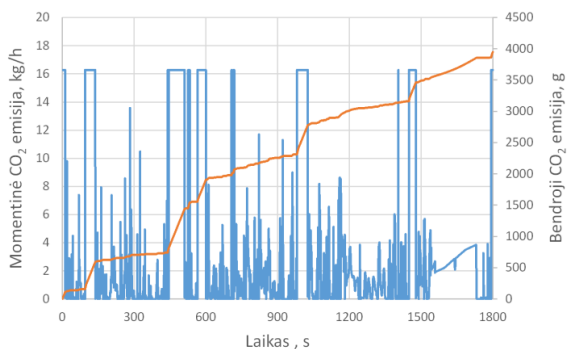


9 pav. WLTC važiavimo ciklo kaupiamosios CH, NO<sub>x</sub> ir CO emisijos, naudojant E85 degalus  
Šaltinis: sudaryta autorių

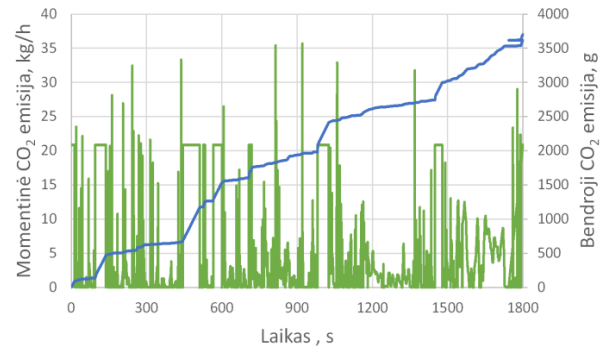


10 pav. WLTC važiavimo ciklo kaupiamosios CH, NO<sub>x</sub> ir CO emisijos, naudojant E5 degalus  
Šaltinis: sudaryta autorių

Važiavimo ciklo metu E5 degalus naudojantis automobilis išmetė 3947 g suminę CO<sub>2</sub> dujų emisiją (11 pav.), o E85 degalus naudojantis automobilis – 3702 g CO<sub>2</sub> (12 pav.).



11 pav. WLTC važiavimo ciklo momentinės ir bendrosios CO<sub>2</sub> emisijos, naudojant E5 degalus  
Šaltinis: sudaryta autorių



12 pav. WLTC važiavimo ciklo momentinės ir bendrosios CO<sub>2</sub> emisijos, naudojant E85 degalus  
Šaltinis: sudaryta autorių

Pasiekta 6,6 % WLTC ciklo suminės CO<sub>2</sub> emisijos sumažėjimas bioetanolio koncentraciją padidinus nuo 5 % iki 85 %, nepaisant to, kad E85 degalų didžiausia momentinė CO<sub>2</sub> emisija siekė 35 kg/h, o naudojant E5 momentinė CO<sub>2</sub> emisija siekė tik 16 kg/h. Staigūs momentiniai CO<sub>2</sub> emisijų verčių šuoliai gali būti paaiškinti nepilnai optimizuotu variklio ir transmisijos valdymo algoritmu atliekant skaitinę simuliaciją.

Naudojant E5 degalus WLTC CO<sub>2</sub> lyginamoji emisija siekė ~ 175 g/km (Euro emisijų standartas), o naudojant E85, CO<sub>2</sub> lyginamoji emisija buvo ~ 159 g/km (~9,1 % mažesnė palyginti su E5 degalais). Nors E85 degalai geriau sudega (mažiau CO ir CH), kas įprastai didina CO<sub>2</sub> emisiją, tačiau ši emisija sumažėja dėl mažesnio anglies/vandenilio santykio bioetanolyje. Emisijų reikšmės naudojant ir E10 ir E85 degalus yra gerokai žemesnės už gamintojo skelbiamas kombinuoto ciklo CO<sub>2</sub> lyginamąsias emisijas – 262 g/km, nes automobilio gamintojas pateikia realaus tyrimo rezultatus, o automobilio skaitinis modelis, kaip anksčiau minėta, naudoja supaprastintas prielaidas ir turi kalibracinių netikslumų. Siekiant eliminuoti galimus netikslumus planuojama tobulinti automobilio važiavimo ciklo skaitinio modeliavimo įgūdžius AVL CRUISE programa.

## Išvados

AVL CRUISE programa atlikus didelės galios lengvojo automobilio su kibirkštinio uždegimo varikliu skaitinį modeliavimą, važiuojant WLTC ciklu, ir degalus E5 pakeitus E85 gauti šie rezultatai:

1. Degalų E85 tūrio ir masės sąnaudos išaugo atitinkamai 27 % ir 26 %. Tai lėmė mažesnis bioetanolio žemutinis šilumingumas. Degalų masės sąnaudos augo mažiau dėl didesnio bioetanolio tankio palyginti su benzinu.
2. Naudojant E85 NO<sub>x</sub> emisija sumažėjo ~38 % dėl sumažėjusios degimo temperatūros, nes bioetanolio savitoji garavimo energija yra aukštesnė, ir didinant bioetanolio koncentraciją buvo labiau atšaldytas oro-degalų mišinys įsiurbimo metu.
3. Degalų E85 CO ir CH emisija sumažėjo atitinkamai 28 % ir 36 % dėl geresnio degimo proceso, kurį lemia mažesnis anglies/vandenilio santykis ir išaugusi deguonies koncentracija bioetanolyje.

4. E85 degalų suminė CO<sub>2</sub> emisija (g) per WLTC sumažėjo 6,6 %, tačiau lyginamoji CO<sub>2</sub> emisija (g/km) sumažėjo daugiau – ~9,1 % dėl didesnio automobilio nuvažiuoto atstumo. CO<sub>2</sub> emisijų skirtumai atsirado dėl skaitinio modeliavimo paklaidų, tačiau abiem atvejais fiksuotas emisijų sumažėjimas, kurį lėmė mažesnis anglies/vandenilio masių santykis degaluose didinant bioetanolio koncentraciją.

## Padėka

Autoriai dėkoja AVL kompanijai už galimybę pritaikyti transporto priemonių sistemų ir transmisijos skaitinio modeliavimo programą AVL CRUISE. Ši programa panaudota didelės galios lengvojo automobilio taršos emisijoms tirti važiuojant WLTC ciklu. Tarp Vilniaus Gedimino technikos universiteto Transporto inžinerijos fakulteto ir AVL *Advanced Simulation Technologies* sudaryta bendradarbiavimo sutartis.

## Literatūra

- AVL CRUISE™ M | AVL. (2024). Prieiga per internetą: <<https://www.avl.com/en/simulation-solutions/software-offering/simulation-tools-a-z/avl-cruise-m>>
- Awad, O. I., Mamat, R., Ali, O. M., Sidik, N. A. C., Yusaf, T., Kadrigama, K., & Kettner, M. (2018). Alcohol and ether as alternative fuels in spark ignition engine: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2586–2605. doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.074
- Butkus, A. (1985). *Automobilių ir traktorių variklių projektavimas*. Mokslas.
- Butkus, A. (2009). *Vidaus degimo variklių projektavimo pagrindai*. Vilnius Gediminas Technical University.
- Emission Standards: Europe: Cars and Light Trucks. (2024). Prieiga per internetą: <<https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php>>
- Giedra, K., Kirka, A., & Slavinskas, S. (2006). *Automobiliai (2-asis patais. ir papild. leid. leid.)*. „Smaltijos“ leidykla.
- Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill.
- Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals* (Second edition). McGraw-Hill Education.
- Kruczyński, S. W., Gis, W., & Zin, D. (2019). The comparison of harmful substances emission from flex-fuel vehicle during NEDC and WLTC test cycles. *Combustion Engines*, 179(4), 156–159. <https://doi.org/10.19206/CE-2019-426>
- Li, Y., Gong, J., Deng, Y., Yuan, W., Fu, J., & Zhang, B. (2017). Experimental comparative study on combustion, performance and emissions characteristics of methanol, ethanol and butanol in a spark ignition engine. *Applied Thermal Engineering*, 115, 53–63. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.037
- Liu, X., Wang, H., Zheng, Z., Liu, J., Reitz, R. D., & Yao, M. (2016). Development of a combined reduced primary

reference fuel-alcohols (methanol/ethanol/propanols/butanols/n-pentanol) mechanism for engine applications. *Energy*, 114, 542–558. doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.001

Rimkus, A., Mejeras, G., Dittrich, A., Pukalskas, S., & Barta, D. (2024). Effect of the Concentration of Bioethanol Mixed with Gasoline on the Energy and Environmental Performance of a Hybrid Vehicle in the Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC). *Applied Sciences*, 14(23), Article 23. <https://doi.org/10.3390/app142310858>

Sirois, F., & Grilli, F. (2015). Potential and limits of numerical modelling for supporting the development of HTS devices. *Superconductor Science and Technology*, 28(4), 043002. doi.org/10.1088/0953-2048/28/4/043002

Statista. (2022). *Transport CO2 emissions shares by type*. Statista. Prieiga per internetą: <<https://www.statista.com/statistics/1185535/transport-carbon-dioxide-emissions-breakdown/>>

## EVALUATION OF THE IMPACT OF BIOETHANOL ON THE ENERGY AND ECOLOGICAL PERFORMANCE OF A HIGH-POWER VEHICLE USING AVL CRUISE SOFTWARE FOR WLTC NUMERICAL MODELING

Aronas, Kairys<sup>1</sup>, Alfredas Rimkus<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Vilnius Gediminas Technical University: Vilnius  
<sup>2</sup>Vilniaus kolegija/Higher Education Institution

**Summary.** Pollution and greenhouse gas emissions caused by cars are a significant environmental problem. When evaluating cars compliance with Euro standards, these emissions are measured according to the Worldwide Harmonized Light Duty Test Cycle (WLTC) corresponding to real conditions. The review of scientific sources presents studies of the WLTC driving cycle of different types of cars analyzing the change in energy indicators and emissions (HC, CO and NO<sub>x</sub>) and greenhouse gas emissions of CO<sub>2</sub> by increasing the concentration of bioethanol in gasoline. Analyzed the indicators of car with “Flex Fuel” spark ignition engine and hybrid car. In the research section, numerical WLTC cycle modeling of the high-power vehicle “Maserati MC20” was conducted using the AVL CRUISE software. The process of creating individual components and the overall numerical model of the vehicle, as well as the methodology for developing the driving cycle, are described. Calculations were performed using gasoline with a 5% bioethanol additive and gasoline with an 85% bioethanol additive. Instantaneous fuel consumption and emissions of pollutants during various driving stages of the vehicle were determined, along with the cumulative values of these indicators over the WLTC. The analysis of changes in the energy and ecological performance indicators of the high-power vehicle, determined through numerical modeling, was performed, and summarizing conclusions were provided.

**Key words:** WLTC driving cycle, AVL CRUISE, numerical modelling, CO<sub>2</sub> emission, pollutants.

**TECHNOLOGIJOS IR MENAS  
TECHNOLOGY AND ART**

2024/15

Lietuvių kalbos redaktorė / Lithuanian language Editor

**Jolita GRAŠIENĖ**

Anglų kalbos redaktorė / English Editor

**Svetlana TOROPOVIENĖ**

ISSN 2783-8064

2024-12-12

**Redakcijos adresas**

**Vilniaus kolegija**

Saltoniškių g. 58-1, 08105, Vilnius, Lietuva

Tel +370 521 91600; el.p. journal@viko.lt

**Address of the publisher**

**Vilniaus kolegija/Higher Education Institution**

Saltoniškių st. 58-1, 08105, Vilnius, Lithuania

Phone: +370 521 91600; e-mail journal@viko.lt