

ISSN 2029-9303



KAUNO TECHNIKOS KOLEGIJA
KAUNAS UNIVERSITY OF APPLIED ENGINEERING SCIENCES

**INŽINERINĖS IR EDUKACINĖS
TECHNOLOGIJOS**

Mokslinių straipsnių žurnalas

**ENGINEERING AND EDUCATIONAL
TECHNOLOGIES**

Scientific journal

Kaunas, 2021

<p>Vyriausioji redaktorė Doc. Dr. Marija Jotautienė <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)</i></p>	<p>Socialiniai mokslai/ Social Sciences</p>
<p>Vykdančioji redaktorė Doc. Dr. Giedrė Adomavičienė <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)</i></p>	<p>Socialiniai mokslai/ Social Sciences</p>
<p>Mokslinė sekretorė Doc. Dr. Esmeralda Štjyps <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Redaktorių kolegija/Editorial Board:</p>	
<p>Prof. Habil. Dr. Algirdas Vaclovas Valiulis <i>Vilniaus Gedimino technikos universitetas/Vilnius Gediminas Technical University (LT)</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Prof. Dr. Elmar Heinemann <i>Šmalkaldeno taikomųjų mokslų universitetas/University Of Applied Sciences Schmalkalden (DE)</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Prof. Habil. Dr. Gál József <i>Šegedo universitetas/ University of Szeged, Hungary (HUN)</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Mgr. Dominika Trębacz <i>Automobilių pramonės institutas, mokslinio žurnalo „The Archives of Automotive Engineering“ vykdančioji redaktorė/Automobile Industry Institute, Executive editor of scientific journal „The Archives of Automotive Engineering (POL)</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Doc. Dr. Ernestas Ivanauskas <i>Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University Of Technology (LT)</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Doc. Dr. Gediminas Pupinis <i>Vytauto Didžiojo universitetas Žemės ūkio akademija / Vytautas Magnus University Agriculture Academy (LT)</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Doc. Dr. Marius Saunoris <i>Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University Of Technology (LT)</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Doc. Dr. Šarūnas Kilius <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Doc. Dr. Vytenis Naginevičius <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>

Dr. Kastytis Laurinaitis <i>Vytauto Didžiojo universitetas Žemės ūkio akademija / Vytautas Magnus University Agriculture Academy (LT)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Dr. Rolandas Samajauskas <i>IĮ „Pastatų sertifikavimo biuras“ / IE „Building Certification Office“ (LT)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Dr. Rosita Norvaišienė <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (LT)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Prof. Dr. Genutė Gedvilienė <i>Vytauto Didžiojo universitetas/ Vytautas Magnus University (LT)</i>	Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Prof. Habil. Dr. Vilija Targamadžė <i>Vilniaus universitetas/Vilnius University (LT)</i>	Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Doc. Dr. Vita Krivickienė <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)</i>	Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Doc. Dr. Daiva Lepaitė <i>Vilniaus universitetas/Vilnius University (LT)</i>	Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Dr. Lina Girdauskienė <i>Kauno technologijos universitetas/Kaunas University Of Technology (LT)</i>	Socialiniai mokslai/ Social Sciences

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

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

Redakcijos adresas:

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

Address:

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

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

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

© Kauno technikos kolegija, 2021
ISSN 2029-9303

REDAKTORIAUS ŽODIS

Gerbiamiems skaitytojams pristatome mokslinio žurnalo „Inžinerinės ir edukacinės technologijos“ 2021 metų pirmąjį numerį. Žurnale publikuojamas dvidešimt du moksliniai straipsniai.

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

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

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

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

Su pagarba,
Vyriausioji redaktorė



socialinių mokslų dr. Marija Jotautienė

TURINYS

DARBUOTOJŲ SAUGOS IR SVEIKATOS REIKALAVIMŲ SVARBA RENGIAN STATYBOS TECHNOLOGINES KORTELES	9
Danguolė Juknienė, Rūta Laučienė Klaipėdos valstybinė kolegija	
STATYBŲ VALSTYBINIO VALDYMO EFEKTYVUMAS TEISĖKŪROS ATVIRUMO IR SKAIDRUMO PRINCIPŲ KONTEKSTE	17
Kęstutis Vitkauskas Kauno technikos kolegija	
MALTO DOLOMITO ĮTAKA SAVAIME ATSINAUJINANČIO BETONO ILGAAMŽIŠKUMUI.....	27
Darius Mlečka, Ernestas Ivanauskas Kauno technologijos universitetas	
SPECIALAUS KĖLIMO ĮTAISO STABILUMO ANALIZĖ.....	33
Jelena Selivonec ^{1,2} , Aleksandr Vika ² ¹ Vilniaus Gedimino technikos universitetas, ² Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija	
A FORECAST ANALYSIS FOR ADOPTION OF AUTONOMOUS AND CONNECTED FREIGHT VEHICLES IN LITHUANIA.....	37
Nalina Hamsaiyni Venkatesh Kaunas University of Technology, Department of Transport Engineering	
ANALYSIS OF CONTACT MATERIAL OF SINGLE FRICTION PLATE IN CLUTCH SYSTEM	47
Rengim Özokutgen, Melih Okur Gazi University, Faculty of Technology, Department of Automotive Engineering	
DEGALŲ SAŃAUDŲ POKYČIO NAUDOJANT EKOVAIRAVIMO PRINCIPUS TYRIMAS	53
Manvydas Bagavičius Šiaulių valstybinė kolegija	
EXPERIMENTAL STUDY OF THE NOVEL HINGE VANE MICRO COMPRESSOR.....	59
Rengim Özokutgen ¹ , Melih Okur ¹ , İbrahim Sinan Akmandor ² Gazi University, Faculty of Technology, Department of Automotive Engineering 1, Pars Makina Sanayi Ve Ticaret Limited Sirketi ²	
PLEIŠTO GRIOVELIO ĮTAKA VELENO POLINIAM INERCIJOS MOMENTUI.....	65
Jurijus Tretjakovas Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija	
PLOKŠČIO PAVIRŠAIUS, FREZUOTO VIENAŠMENIU PJOVIMO ĮRANKIU, PAVIRŠIAUS ŠIURKŠTUMO TYRIMAS.....	70
Rapolas Ruzveltas, Vadim Mokšin Vilniaus Gedimino technikos universitetas	
LENGVOJO AUTOMOBILIO SU DYZELINIU VARIKLIU PRITAIKYMAS DUJINIAMS DEGALAMS	75
Darius Juodvalkis, Andrius Dargužis Kauno technikos kolegija	

AUTOMOBILIŲ MERCEDES-BENZ UŽVEDIMO SISTEMŲ DIAGNOSTINĖS IR VEIKIMO ATSTATYMO PRIEMONĖS PROJEKTAVIMAS IR TYRIMAS	80
Rūta Jančaitė ^{1,2} , doc. dr. Rasa Žygyienė ¹ , doc. dr. Marius Saunoris ¹	
¹ Kauno technikos kolegija, ² Kauno technologijų universitetas	
BANDINIŲ ATSPAUSDINTŲ 3D TECHNOLOGIJA SLUOKSNIŲ KRYPTIES ĮTAKA STIPRUMUI LENKIANT	89
Audrius Žunda, Albinas Andriušis	
Kauno technikos kolegija	
VIDAUS DEGIMO VARIKLIO RODIKLIŲ KOMPLEKSINIS VERTINIMAS NAUDOJANT AUTOMOBILIO APKROVOS STENDĄ IR DIAGNOSTIKOS ĮRANGĄ.....	94
Alfredas Rimkus ^{1,2} , Tadas Vipartas ¹	
¹ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, ² Vilniaus Gedimino technikos universitetas	
BIODUJŲ GAMYBOS TENDENCIJOS IR JŲ KOKYBĖS GERINIMO TECHNOLOGIJOS	100
Tadas Vipartas ¹ , Alfredas Rimkus ^{1,2}	
¹ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, ² Vilniaus Gedimino technikos universitetas	
ADAPTIVE TESTING IN ELECTRONIC EQUIPMENT MANUFACTURING	108
Lyudmila Taneva, Rumens Bagalev	
Department of Electronics and Automation, South-West University, Blagoevgrad, Bulgaria	
MIKROVALDYKLIO GALYMIBIŲ TYRIMAS NAUDOJANT KONVOLIUCINIUS TINKLUS	112
Martinus Septilko ¹ , Algirdas Vaitkevičius ² , Egidijus Valma ^{1,2}	
¹ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, ² Kauno Technikos kolegija	
DIMENSION CAPTURING CAMERA BASED QUALITY INSPECTION USING MACHINE LEARNING	117
Nalina Hamsaiyni Venkatesh	
Kaunas University of Technology, Department of Transport Engineering	
OBJEKTŲ JUDĖJIMO PATALPOSE KONTROLĖS SISTEMA	124
Jurij Tekutov ^{1,2,3} , Dovydas Auryla ¹ , Julija Smirnova ¹	
¹ Klaipėdos valstybinė kolegija, Technologijų fakultetas, Inžinerijos ir informatikos katedra	
² Klaipėdos universitetas, Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas, Informatikos ir statistikos katedra	
³ Lietuvos verslo kolegija, Technologijų katedra	
EULERIO FUNKCIJOS REIKŠMĖS PAIEŠKOS ALGORITMAI.....	135
Petras, Nefas, Rūta, Jankūnienė	
Kauno technikos kolegija	
EDUCATING AND TRAINING FOR A NEW EUROPEAN BAUHAUS: A PROPOSED RENOVATION WAVE FOR STUDENTS AND PROFESSIONAL AEC CURRICULA	142
Luca Caruso, Vincent Buhagiar	
Univerisity of Malta	
DISTANCE EDUCATION STUDY MATERIAL DEVELOPMENT.....	155
Vladimirs Gudakovskis ¹ , Vytenis Naginevičius ¹ , Viktors Gutakovskis ² , Esmeralda Štyps ¹ , Gintaras Rimša ³ , Edvinas Dubinskas ³	
¹ Kaunas University of Applied Engineering Sciences, ² Riga Technical University, Latvia,	
³ JSC Baltec CNC technologies	

DARBUOTOJŲ SAUGOS IR SVEIKATOS REIKALAVIMŲ SVARBA RENGIANČIŲ STATYBOS TECHNOLOGINES KORTELES

Danguolė Juknienė, Rūta Laučienė
Klaipėdos valstybinė kolegija

Anotacija

Straipsnyje analizuojama darbuotojų saugos ir sveikatos reikalavimų svarba rengiant statybos technologines korteles, aptariamas technologinių kortelių rengimo teisinis reglamentavimas. Straipsnyje nagrinėjama Klaipėdos apskrityje statybos darbus vykdančiose įmonėse technologinių kortelių rengimo patirtis ir problemos. Tyrimo tikslas – išsiaiškinti statybos technologinių kortelių rengimo ir naudojimo apimtį statybos įmonėse, akcentuojant darbuotojų saugos ir sveikatos reikalavimų svarbą. Tyrime naudoti šie metodai: mokslinės literatūros, teisės aktų analizė ir sisteminimas, kiekybinis (anketinės apklausos) ir kokybinis (pokalbio) metodas, koreliacinė ir regresinė analizė. Rezultatai: nustatyta, kad ne visos įmonės sugebėtų savarankiškai parengti technologines korteles, o įmonėse, kuriose technologinės kortelės parengiamos – ne visi darbuotojai su jomis išsamiai supažindinami. Tai kelia klausimus apie tai, kaip įgyvendinama rizikos prevencija, siekiant numatyti saugius darbų atlikimo būdus statybvietėje.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Technologinė kortelė, darbuotojų sauga ir sveikata, nelaimingi atsitikimai darbe.

Įvadas

Temos aktualumas: Statyba – tai viena pavojingiausių ekonominės veiklos sričių. Remiantis LR Valstybinės darbo inspekcijos (toliau – VDI) duomenimis 2015 – 2020 m. laikotarpiu, statyba viena iš veiklų, kurioje įvyko daugiausiai mirtinų ir sunkių nelaimingų atsitikimų darbe. Dėl šios priežasties būtina užtikrinti visas prevencines priemones, kurių dėka būtų galima išsaugoti darbuotojų darbingumą, sveikatą ir gyvybę. Tam, kad darbuotojai būtų apsaugoti nuo profesinės rizikos arba ji būtų kiek įmanoma sumažinta, šios prevencinės priemonės privalo būti naudojamos ar planuojamos visuose įmonės veiklos etapuose (LR darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas, 2003).

Pradedant statybos darbus, svarbu iki darbų pradžios įgyvendinti daug organizacinių priemonių. Viena šių priemonių yra instruktavimas darbuotojų saugos ir sveikatos (toliau – DSS) klausimais. Darbuotojų saugos ir sveikatos instrukcijų rengimo ir darbuotojų, darbdavių susitarimu pasiūstų laikinam darbui į įmonę iš kitos įmonės, instruktavimo tvarkos apraše (2012) instruktavimas apibrėžiamas taip: „Tai darbuotojo informavimas apie jo darbovietėje, darbo aplinkoje, darbo vietoje esančius ar galimus pavojus, jų keliamą riziką darbuotojo saugai ir sveikatai, būtinus veiksmus ir apsaugos priemones, kad išvengtų nelaimingų atsitikimų darbe ir sveikatos sutrikimų“. Remiantis LR darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymu (2003) darbuotojas turi būti instruktuojamas atsižvelgiant į jo darbo vietą ar atliekamą darbą, jį priimant į darbą, perkeltiant į kitą darbą ar darbo vietą, pradėjus naudoti naujas ar modernizuotas darbo priemones, naujas technologijas. Dažniausiai darbuotojai įmonėje instruktuojami pagal darbdavio parengtas ir darbdavį atstovaujančio asmens patvirtintas DSS instrukcijas. Tačiau vykdant statybos darbus konkrečioje statybvietėje, iš anksto parengtoje DSS instrukcijoje neįmanoma numatyti visų rizikų ir saugių darbų atlikimo būdų, kadangi statybos sektoriui būdinga nepastovi darbo vieta, skirtingų priemonių pasirinkimas darbo atlikimui, pvz., darbui aukštyje gali būti naudojami pastoliai, kopėčios, bokšteliai ar kitos priemonės. Taip pat darbai gali būti vykdomi tiek statinio viduje, tiek išorėje. Darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymo (2003) 15 str. nurodyta, kad konkrečios priemonės, užtikrinančios darbuotojų saugą ir sveikatą statinio statybos metu turi būti numatytos Statybos darbų technologijos projekte. Remiantis LR Statybos įstatymu (1996), taip pat STR 1.06.01:2016 „Statybos darbai. Statinio statybos priežiūra“, statybos darbų technologijos projektą privalo parengti rangovas. Statybos darbų technologijos projekto viena iš sudėtinių dalių – technologinės kortelės. Taigi, konkretūs saugos reikalavimai turėtų atsispindėti technologinėse kortelėse.

Tyrimo problema formuluojama keliant klausimą, ar užtikrinamos darbuotojų saugos ir sveikatos priemonės rengiamose technologinėse kortelėse. Straipsnio tikslas – išsiaiškinti statybos technologinių kortelių rengimo ir naudojimo apimtį statybos įmonėse, akcentuojant DSS reikalavimų svarbą. Uždaviniai:

1. apibūdinti statybos technologinių kortelių apibrėžtį teoriniu aspektu;
2. įvertinti, ar technologinės kortelės turi įtakos nelaimingų atsitikimų darbe prevencijai;
3. identifikuoti statybos įmonių vadovų, jų įgaliotų asmenų žinias apie technologinę kortelę;
4. nustatyti statybos įmonių vadovų, jų įgaliotų asmenų technologinių kortelių rengimo įgūdžius;

Tyrimo objektas: Klaipėdos apskrityje statybos darbus vykdančių įmonių vadovai ir jų įgalioti asmenys. Tyrimo dalykas: technologinių kortelių įtaka nelaimingų atsitikimų prevencijai, statybos įmonių vadovų, jų įgaliotų asmenų žinios apie technologinę kortelę, technologinių kortelių rengimo įgūdžiai.

Tyrime naudoti šie pagrindiniai tyrimų metodai: mokslinės literatūros, teisės aktų analizė ir sisteminimas, kiekybinis (anketinės apklausos) ir kokybinis (pokalbio) metodas, koreliacinė ir regresinė analizė. Straipsnis parengtas tokia tvarka: literatūros analizė, kurioje aptariama technologinių kortelių apibrėžtis ir svarba; tyrimo rezultatai, kuriuose išsiaiškinamos statybos technologinių kortelių rengimo ir naudojimo apimtys statybos įmonėse, akcentuojant DSS reikalavimų svarbą bei pateikiamos išvados.

Tyrimo metodika

Atrenkant respondentus buvo orientuojamasi į statybos sektorių. Šiam tikslui įgyvendinti atlikta Klaipėdos apskrityje statybos darbus vykdančių įmonių vadovų ir jų įgaliotų asmenų (padalinių vadovų) apklausa. Remiantis LR Statistikos departamento duomenimis 2021 m. Klaipėdos apskrityje veikiančių ūkio subjektų skaičius pagal visas ekonomines veiklos rūšis sudarė 12244, o Klaipėdos apskrityje veikiančių ūkio subjektų skaičius statyboje sudarė 1313, t.y. 11 proc. nuo visų įmonių Klaipėdos apskrityje. Kadangi visumos dydis žinomas, tai imties dydis nustatytas Rudzkienės V. (2005) nurodyta skaičiavimo formule:

$$n = \frac{N \cdot 1,96^2 \cdot p \cdot q}{\varepsilon^2 \cdot (N-1) + 1,96^2 \cdot p \cdot q} \quad (1)$$

N – populiacijos dydis; reikšmė 1,96 atitinka standartizuoto normaliojo skirstinio 95 proc. pasiklovimo lygmenį; p yra numatoma įvykio baigmės tikimybė, kad nagrinėjamas požymis pasireiškis tiriamoje populiacijoje (dažniausiai imama blogiausio varianto tikimybė – požymis būdingas pusei, t. y. 50 proc. populiacijos, ir pasirenkama $p = 0,5$); q yra tikimybė, kad nagrinėjamas požymis nepasireiškis tiriamoje populiacijoje ($q = 1-p = 0,5$); ε yra pageidautinas tikslumas, dažniausiai $\varepsilon=0,05$ (Rudzkienė V., 2005). Kadangi apklausoje turėjo dalyvauti įmonių vadovai ir jų įgalioti asmenys (padalinių vadovai), kurių pasiekiamumas yra problematiškas, tai paklaidos dydis buvo padidintas iki 6 proc. Imties dydis, esant 12244 tiriamųjų populiacijai yra 261. Įvertinus tai, kad Klaipėdos apskrityje veikiančių ūkio subjektų skaičius statyboje sudarė 11 proc. iš visų įmonių, todėl atitinkamai pagal statybos ekonominės veiklos rūšį nustatytas imties dydis 29. Tyrime apklausta trisdešimt Klaipėdos regiono statybos įmonių. Anketa patalpinta apklausų internetinėje svetainėje <http://www.apklausa.lt/>. Prašymas užpildyti anketą ir nuoroda į ją įmonių vadovams ir jų įgaliotiems asmenims (padalinių vadovams) buvo išsiųsta elektroniniu paštu. Tyrimo klausimyno teiginiai suformuluoti, remiantis pateikta mokslinės literatūros ir teisės aktų analize.

Siekiant įvertinti, ar tarp veikiančių ūkio subjektų skaičiaus statybos sektoriuje ir sunkių nelaimingų atsitikimų bei mirtinų nelaimingų atsitikimų darbe statybos sektoriuje egzistuoja tam tikras statistinis ryšys, buvo atlikta koreliacinė analizė. Kai tarp dviejų kintamųjų egzistuoja tam tikras statistinis ryšys (koreliacija), tai galima teigti, kad jų reikšmių kitimas yra susijęs. Dviejų kintamųjų ryšys gali būti tiesioginis ir atvirkštinis. Siekiant apibrėžti sąryšį tarp veiksmų ir atsakyti į klausimą, kaip keičiasi nagrinėjamo rodiklio reikšmė, kintant jį įtakojančiam veiksmui, buvo sudarytas tiesinės regresijos modelis. Tiesinės regresijos modelis yra toks modelis, kuris nurodo, kad vienas kintamasis nuo kito priklauso tiesiškai. Tiek koreliacijos analizės rezultatams, tiek tiesiniam regresijos modeliui sudaryti buvo naudota MS EXCEL programa.

Teorinis tyrimo pagrindimas

Technologinė kortelė – tai techninis dokumentas, kuriame aprašyta statybos darbų pagrindinių ir pagalbinių operacijų technologija, įrenginiai, režimai, darbo laiko normatyvai, nurodyta reikalinga darbuotojų kvalifikacija, kokybės kontrolės metodai ir būdai, darbuotojų saugos ir sveikatos priemonės (STR 1.06.01:2016 „Statybos darbai. Statinio statybos priežiūra“). Statybos technologinės kortelės yra statybos technologijos projekto sudėtinė dalis. Remiantis STR 1.06.01:2016 „Statybos darbai. Statinio statybos priežiūra“, statybos darbų technologijos projektas yra techninis dokumentas, kuris nustato konkretaus statinio statybos, kaip technologijos proceso, reikalavimus, nurodo statinio projekto įgyvendinimo būdus bei metodus ir numato konkrečius sprendinius bei priemones, užtikrinančias darbuotojų saugą ir sveikatą. Darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas (2003) taip pat reglamentuoja, kad statybos darbų technologijos projekte būtų numatytos konkrečios priemonės, užtikrinančios darbuotojų saugą ir sveikatą statinio statybos metu. Minėtų priemonių atsiradimą statybos darbų technologijos projekte turi užtikrinti statytojas (užsakovas) arba statinio statybos valdytojas (Darboviečių įrengimo statybvietėse nuostatai, 2008). Statybos darbų technologijos projektas yra privalomas statant, rekonstruojant ar kapitališkai remontuojant ypatinguosius statinius, statinius saugomose teritorijose, statinius apsaugos zonose, nustatytose įstatymais ir Vyriausybės nutarimais, taip pat atliekant statybos darbus sudėtingomis sąlygomis, veikiančios įmonės (kito objekto) ar veikiančių inžinerinių tinklų bei susisiekimo komunikacijų teritorijose bei tretiesiems asmenims priklausančiuose sklypuose, taip pat atliekant žemės darbus greta esamų statinių, po vandeniu ir kitur. LR Statybos įstatymas (1996) numato, kad aplinkos ministro nustatytais atvejais statybos darbų technologijos projektą parengti ir pagal jį vykdyti statybos darbus privalo rangovas. Statant neypatingus statinius, atliekant smulkius statybos darbus, technologijos

projektai nėra privalomi, taip pat neprivalomos technologinės kortelės. Dėl šios priežasties nėra visiškai aišku, ar technologinės kortelės naudojamos visuose projektuose, atliekant statybos darbus, ir kaip atliekama rizikos prevencija, siekiant numatyti saugius darbų atlikimo būdus.

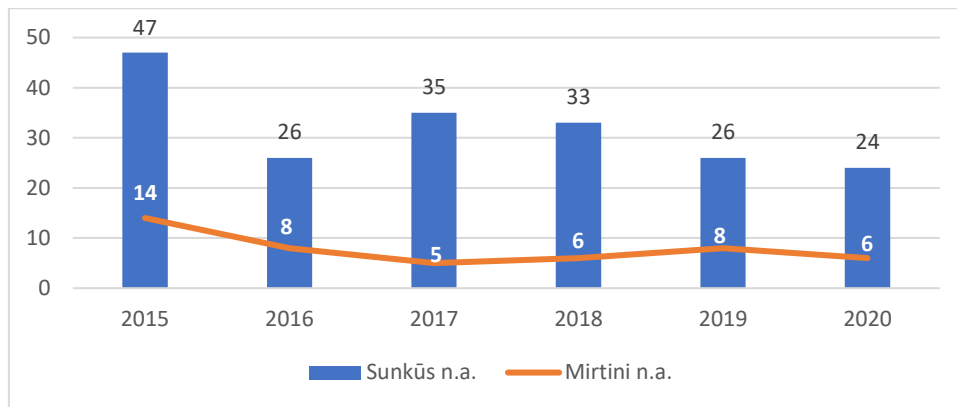
Technologines korteles, remiantis STR 1.06.01:2016 „Statybos darbai. Statinio statybos priežiūra“, sudaro technologinių operacijų aprašymas; techninių išteklių ir darbo sąnaudų skaičiavimas; kokybės kontrolės schemas su nurodytais didžiausiais leistiniais nuokrypiais; darbo vietų schemas, kuriose pažymėtas mechanizmų ir darbuotojų išsidėstymas, jų judėjimo kryptys; technologinių operacijų atlikimo grafikas, kuriame nurodytas operacijų eiliškumas ir trukmė; darbuotojų saugos ir sveikatos sprendiniai su nurodytomis kolektyvinėmis ir asmeninėmis apsaugos priemonėmis. Rengiant statybos darbų technologijos projektą (taip pat ir technologinę kortelę), privaloma vadovautis techninio projekto statybos paruošimo ir organizavimo sprendimais bei Saugos ir sveikatos taisyklėmis statyboje DT 5-00 (2000). Saugos ir sveikatos taisyklių statyboje DT 5-00 5 priede nurodyti pagrindiniai saugos sprendimai statybos darbų technologijos (vykdymo) projekte (technologinėse kortelėse). Taigi, technologinėje kortelėje pateikiami konkretūs DSS sprendiniai konkrečiai statybvietai, kas kituose privalomuose įmonėje rengti DSS dokumentuose (instrukcijose, taisyklėse ir pan.) išsamiai neatsispindi. Statybos verslas yra pakankamai specifinis ir ši specifika iš dalies lemia DSS valdymo specifika (Klumbytė E., 2011). Autorės teigimu, dėl specifinių statybos bruožų: daugiaplaniškumo, daugialypiškumo ar dinamiškumo, DSS valdymas statybos įmonėse yra sudėtingesnis ir komplikuočiau nei kitokį verslą plėtojančiose įmonėse. Klumbytės E. (2011) nuomone, dėl šios priežasties rengiant norminius teisės aktus buvo parengti specifiniai dokumentai, kurie taikytini tik statybos įmonėms. Tuo pat metu jiems taikytini norminiai teisės aktai, galiojantys visoms kitoms įmonėms. Daugelyje pasaulio šalių yra įdiegtos tam tikros priemonės, siekiant užkirsti kelią profesinėms ir su darbu susijusioms ligoms bei traumoms (Verbeek J., Ivanov I., 2013). Autoriai išskyrė tris pagrindines prevencines priemones, padedančias apsisaugoti nuo neigiamo poveikio darbe ir dėl to atsirandančios profesinės ligos ar traumos. Tai aplinkos (didžiausias dėmesys skiriamas darbo aplinkos pasikeitimui), elgesio (individualus darbuotojų elgesys), klinikinės (metodai, priemonės, padedančios apsisaugoti nuo ligų). Tokios priemonės galėtų atsispindėti rengiamose technologinėse kortelėse, pvz. saugos priemonių (aptvarų, saugos diržų tvirtinimo vietų ir kt.) numatymas konkrečiai darbo aplinkai aukštyje.

Dėjus T. (2009) teigia, jog iš atsitiktine tvarka atrinktų 22 ikiteisminio tyrimo medžiagų, kuriose ikiteisminis tyrimas buvo pradėtas dėl nelaimingų atsitikimų, įvykusių statybvietais, viena iš vyraujančių įvykių priežasčių – statybos darbų technologijos projekto neparengimas ir, kaip minėto projekto neparengimo pasekmė, darbuotojų papildomas neinstruktavimas darbo vietoje. Autorius, siūlydamas konkrečias priemones saugos darbe sistemos efektyvumui didinti, pateikė saugaus darbo statybvietais projektavimo pagal statybos darbų technologijos projektą schemą, kurioje pavaizduotas tinkamų saugos darbe sprendimų suprojektavimas statybos darbų technologijos projekte. Pasak Dėjaus T. (2009), vaizduojant saugos darbe sprendinius statybos darbų technologijos projekte (iš esmės – technologinėse kortelėse) taikytinas 3S (trijų schemų) principas, kai suprojektuoti sprendiniai pateikiami darbo vietos plane (su pavaizduotomis ar nurodytomis naudojamomis techninėmis saugos priemonėmis), tos pačios darbo vietos pjūvyje ir trečioje scheme, kurioje vaizduojama techninės saugos priemonės įrengimo ar naudojimo detalė ar mazgas. Tinkamai, kokybiškai parengtos technologinės kortelės nesumažins nelaimingų atsitikimų darbe rizikos, jei su jomis nebus supažindinti (instrukuoti) darbuotojai. Pastatų konstruktorius ir statybininko žinyne (2009) teigiama, kad darbų vadovai statybvietais labai dažnai naudoja tik formalius darbuotojų instruktavimo saugos ir sveikatos klausimais metodus, darbuotojai visai nesupažindinami su konkrečiomis priemonėmis, užtikrinančiomis darbuotojų saugą ir sveikatą atliekant statybos darbus, numatytais statybos darbų technologijos projekte, technologinėse kortelėse, darbų vykdymo aprašuose ir kituose dokumentuose.

Išanalizavus teisės aktų reikalavimus bei minėtų autorių teiginius dėl darbų saugos sistemos tobulinimo, konkrečių priemonių saugos darbe sistemos efektyvumui didinti, tame tarpe technologinių kortelių rengimo, darbuotojų supažindinimo su jomis, tikslinga išanalizuoti, patikslinti, kokia praktinė technologinių kortelių įgyvendinimo patirtis šios dienos statybos įmonėse.

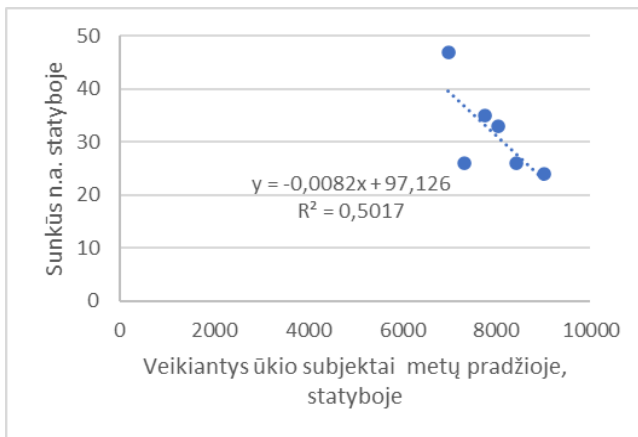
Tyrimo rezultatai ir jų analizė

Kaip jau buvo minėta anksčiau, statyba yra viena pavojingiausių ekonominės veiklos rūšių Lietuvoje, kadangi šioje ekonominėje veikloje įvyksta daugiausiai sunkių nelaimingų atsitikimų ir mirtinų nelaimingų atsitikimų darbe. Remiantis VDI duomenimis 2015-2020 m. laikotarpiu statyboje vidutiniškai sudarė 24 proc. visų sunkių nelaimingų atsitikimų darbe. Žemiau pateiktame paveiksle (žr. 1 pav.) parodyti sunkių nelaimingų atsitikimų darbe ir mirtinų nelaimingų atsitikimų darbe duomenys.

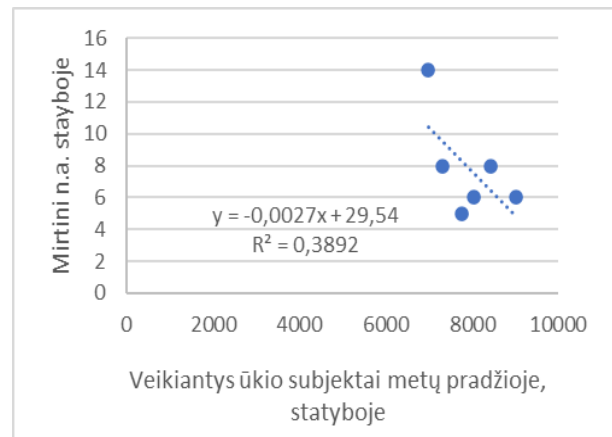


1 pav. Sunkūs ir mirtini nelaimingi atsitikimai darbe statybos ekonominėje veikloje 2015-2020 m.
Šaltinis: Sudaryta autorių

Remiantis 1 pav. nustatyta, kad sunkių nelaimingų atsitikimų darbe skaičius kiekvienais metais mažėjo, išskyrus 2017 m. Apskaičiavus nustatyta, kad lyginant su ankstesniais metais 2017 – 2020 m. laikotarpiu sunkių nelaimingų atsitikimų darbe skaičius kiekvienais metais vidutiniškai mažėjo 12 proc. Pateikti duomenys rodo, kad keičiantis sunkių nelaimingų atsitikimų darbe skaičiui, mirtinų nelaimingų atsitikimų darbe kitimas buvo netolygus, pvz. 2017 m. išaugus sunkių nelaimingų atsitikimų skaičiui statyboje, mirtinų nelaimingų atsitikimų skaičius sumažėjo, tačiau 2020 m. sunkių nelaimingų atsitikimų darbe sudarant mažiausią dydį, mirtinų nelaimingų atsitikimų skaičius išliko panašus. Pasak Balčiūno S. (2021) daugiausiai mirtinų ir sunkių nelaimingų atsitikimų darbe įvyko darbuotojams nukritus iš aukščio. Remiantis autoriumi, darbuotojai buvo mirtinai traumuoti užvirtus gruntui, virstant nupjautam medžiui, užtroškus vamzdyne susikaupusiomis dujomis, atliekant techninių priemonių ar mechanizmų aptarnavimo ir remonto darbus, įjungus montuojamą įrenginį. Pasak Balčiūno S. (2021) tiriant nelaimingų atsitikimų priežastis nustatyta, kad didesnę pusę mirtinų ir sunkių nelaimingų atsitikimų darbe, įvykusių per 2020 m., sąlygojo darbdavio neįgyvendinti darbuotojų saugą ir sveikatą reglamentuojančių teisės aktų reikalavimai. Beveik šeštadalį nelaimingų atsitikimų darbe įvyko, kai atlikdami darbus darbuotojai nesilaikė vadovų duotų nurodymų ir taip rizikavo savo sveikata ar gyvybe. Žemiau pateiktuose 2 ir 3 paveiksluose parodyta sudarytas veikiančių ūkio subjektų metų pradžioje statyboje ir sunkių nelaimingų atsitikimų darbe bei mirtinų nelaimingų atsitikimų darbe statyboje 2015-2020 m. tarpusavio ryšio tiesinės regresijos modeliai.



2 pav. Veikiančių ūkio subjektų metų pradžioje ir sunkių nelaimingų atsitikimų darbe tarpusavio ryšio tiesinės regresijos modelis
Šaltinis: Sudaryta autorių



3 pav. Veikiančių ūkio subjektų metų pradžioje ir mirtinų nelaimingų atsitikimų darbe tarpusavio ryšio tiesinės regresijos modelis
Šaltinis: Sudaryta autorių

Tarp veikiančių ūkio subjektų metų pradžioje statyboje ir sunkių nelaimingų atsitikimų darbe statyboje 2015-2020 m. nustatytas vidutinio stiprumo neigiamas koreliacinis ryšys $r = -0,708$. Determinacijos koeficientas rodo, kad modelis paaiškina 50,17 proc. nelaimingų atsitikimų darbe duomenų sklaidos. Tarp veikiančių ūkio subjektų ir mirtinų nelaimingų atsitikimų darbe taip pat nustatytas vidutinio stiprumo neigiamas koreliacinis ryšys $r = -0,624$. Regresijos lygtys rodo, kad padidėjus veikiančių ūkio subjektų skaičiui

statyboje, tikėtina, kad sunkių nelaimingų atsitikimų darbe skaičius išaugs labiau negu mirtinų nelaimingų atsitikimų darbe skaičius.

Atlikus statybos įmonių vadovų ir jų įgaliotų asmenų apklausą, 47 proc. apklaustųjų pažymėjo, kad jų įmonėse yra buvę nelaimingų atsitikimų. Iš visų atsakiusių respondentų 56 proc. teigė, jog tam darbui, kurio metu įvyko nelaimingas atsitikimas, buvo parengta technologinė kortelė. Jei įmonė turėjo technologinę kortelę, tačiau įvyko nelaimingas atsitikimas, tai galima daryti šias prielaidas:

1. darbuotojai su technologine kortele nesupažindinami arba supažindinami tik formaliai.
2. technologinė kortelė parengta nekokybiškai, nenumatytos konkrečios prevencinės priemonės.
3. darbuotojai nesilaiko numatytų reikalavimų arba neatliekama pakankama vidinė kontrolė.

Atsakant į pirmąjį klausimą, apklausos rezultatai parodė, kad iš visų atsakiusių respondentų statybos įmonėse visi darbuotojai supažindinami su technologinėmis kortelėmis, tačiau tik pusė iš jų (52 proc.) supažindinami išsamiai. Tai reiškia, kad nors įmonės turi visą privalomą dokumentaciją, tačiau ne visuomet užtikrinama darbuotojų sauga ir sveikata, suteikiant žinias apie saugius darbų atlikimo būdus bei naudojamas priemones darbuotojų saugai ir sveikatai užtikrinti. Atsakant į antrąjį klausimą iš visų atsakiusių respondentų, 51 proc. pažymėjo, kad jų rengiamoje technologinėje kortelėje atsispindi statybos darbų technologija, jos eiliškumas ir 49 proc. – darbuotojų sauga ir sveikata. Atsakant į trečiąjį klausimą būtina užtikrinti, kad darbuotojai laikytųsi numatytų DSS reikalavimų, kad būtų įgyvendinama pakankama vidinė kontrolė. Tikslinga tobulinti technologines korteles akcentuojant konkrečių DSS reikalavimų įgyvendinimą.

Priklausomai nuo įmonės veiklos specifikos statybos srityje, statybos darbų apimties, kaip jau buvo minėta anksčiau, ne visais atvejais privaloma rengti statybos technologinę kortelę, dėl šios priežasties buvo siekiama išsiaiškinti bendrąsias respondentų žinias apie statybos technologinę kortelę (žr. 1 lent.).

1 lentelė

Žinios apie technologinę kortelę

Teiginiai	Teigiamai atsakę respondentai, proc.
1. Žino, kas yra statybos darbų technologinė kortelė	93
2. Žino, kokiais atvejais privaloma rengti technologinę kortelę	77
3. Parengtą technologinę kortelę savarankiškai	67
4. Vykdamas statybos darbus visada turi technologinę kortelę	37
5. Yra rengę technologinę kortelę	67

Šaltinis: sudaryta autorių

Remiantis gautais duomenimis nustatyta, kad dauguma respondentų (93 proc.) žino, kas yra statybos technologinė kortelė, bei žino, kokiais atvejais ją privaloma rengti (77 proc.), tačiau tik mažiau nei pusė respondentų (37 proc.) atsakė, jog vykdamas statybos darbus, visada turi technologines korteles. Tai reiškia, jog technologinių kortelių rengimas, nėra labai paplitęs tarp statybos įmonių. Siekiant išsiaiškinti, kodėl statybos įmonėse rengiamos technologinės kortelės, nustatytos šios pagrindinės priežastys: teisės aktų (37 proc.) statinio statybos techninio prižiūrėtojo (40 proc.), VDI (7 proc.), reikalavimai. 2 lentelėje pateikta darbdavių nuomonė apie technologinės kortelės rengimo privalumus.

2 lentelė

Technologinės kortelės privalumai

Privalumai	Teigiamai atsakę respondentai, proc.
1. Darbuotojai žino, kaip kokybiškai dirbti	33
2. Darbuotojai žino, kaip saugiai dirbti	35
3. Pareikalavus tikrinančiai institucijai, būtų įrodoma, jog įmonė rengia privalomą dokumentaciją	30
4. Kitas variantas	2

Šaltinis: sudaryta autorių

Dauguma respondentų (98 proc.) įvardijo technologinės kortelės privalumus. Respondentų atsakymai pasiskirstė tolygiai. Tačiau maža dalis respondentų (2 proc.) apie technologinės kortelės privalumus įvardijo taip: „Daroma tik kad daryti, realiai nesinaudojama“. Kalbant apie technologinių kortelių rengimo tikslingumą, 82 proc. respondentų teigia, kad technologinė kortelė yra naudinga. Technologinė kortelė yra naudinga dėl:

1. Mažiau neaiškumų, vykdamas statybos darbus, nes technologinėje kortelėje numatyti darbų atlikimo būdai ir priemonės (41 proc.)
2. Technologinėje kortelėje numatomi saugūs darbo atlikimo būdai konkrečiai darbo vietai. Mažinama incidentų, nelaimingų atsitikimų darbe tikimybė (41 proc.).

Kalbant apie technologinių kortelių rengimo įgūdžius, 67 proc. respondentų nurodė, jog yra rengę technologines korteles ir jas sugebėtų parengti savarankiškai. Šis procentas nėra pakankamai didelis, ir kelia klausimus apie tai, kaip įgyvendinama rizikos prevencija, siekiant numatyti saugius darbų atlikimo būdus. Iš visų respondentų, rengusių technologines korteles, tipines naudojo 54 proc. Tai reiškia, kad dažnai rengiant korteles remiamasi ankstesnių kortelių pavyzdžiu. Pagrindiniais sunkumais rengiant technologines korteles respondentai įvardijo laiko stoką (47 proc.) bei kvalifikuoto personalo trūkumą (33 proc.). 3 lentelėje pateikti duomenys apie tai, kur respondentai įgijo technologinių kortelių rengimo įgūdžius.

3 lentelė

Technologinių kortelių rengimo įgūdžiai

Įgūdžių įgijimas		Teigiamai atsakę respondentai, proc.
1.	Studijuodami	16
2.	Seminaruose, kursuose, ir kituose renginiuose	16
3.	Savarankiškai, pasitarę su kolegomis, bendradarbiais	52
4.	Konsultuojantis su valstybinių institucijų (Valstybinės teritorijų planavimo ir statybos inspekcijos, VDI ir kt.) pareigūnais	16

Šaltinis: sudaryta autorių

Nustatyta, kad daugiausia respondentų technologinės kortelės rengimo įgūdžius įgijo savarankiškai, pasitarę su kolegomis. Tai reiškia, kad studijų, seminarų, kursų ir kt. organizuojamų renginių metu, gaunamų žinių nėra pakankama. Technologinės kortelės rengimą palengvintų: instrukcijos, aprašymai, metodinės rekomendacijos, nurodančios, kaip tinkamai rengti technologinę kortelę (47 proc), tikslūs, konkretūs reikalavimai technologinės kortelės rengimui (17 proc.) ir 37 proc. respondentų nurodė, kad tokio poreikio nėra, nes rinkoje yra specialistai, teikiantys technologinių kortelių rengimo paslaugas. Tai reiškia, kad rinkoje egzistuoja tam tikri specialistai, kurie koncentruojasi į technologinių kortelių rengimą. Pažymėtina, kad yra tik technologines korteles rengti įpareigojantys Lietuvos Respublikos teisės aktai (LR Statybos įstatymas (1996), STR 1.06.01:2016 „Statybos darbai. Statinio statybos priežiūra“ (2016)), tačiau aiškių, išsamių metodikų, atspindinčių DSS užtikrinimo priemones, pasigendama.

Taigi, apibendrinant galima teigti, jog remiantis apklausos duomenimis nustatyta, kad, įvykus nelaimingam atsitikimui, technologines korteles turi daugiau nei 50 proc. įmonių. Jei įmonės turi technologines korteles, tai su jomis supažindinami visi darbuotojai, tačiau darbuotojai ne visada supažindinami išsamiai. Dauguma respondentų žino, kas yra technologinė kortelė, žino, kuomet privaloma ją rengti, tačiau ne visi ją parengtų savarankiškai. Dažnai naudojamos tipinės technologinės kortelės. Daugiausia technologinių kortelių rengimo įgūdžius asmenys įgyja savarankiškai, pasitarę su kolegomis, bendradarbiais. Tai reiškia, kad organizuojamų renginių metu, gaunamų žinių nėra pakankama.

IŠVADOS

1. Technologinė kortelė – tai techninis dokumentas, kuriame aprašyta statybos darbų pagrindinių ir pagalbinių operacijų technologija, įrenginiai, režimai, darbo laiko normatyvai, nurodyta reikalinga darbuotojų kvalifikacija, kokybės kontrolės metodai ir būdai, darbuotojų saugos ir sveikatos priemonės. Statybos technologinės kortelės yra statybos technologijos projekto sudėtinė dalis. Statyboje 2015-2020 m. laikotarpiu įvykusių sunkių nelaimingų atsitikimų darbe dalis vidutiniškai sudarė 24 proc. visų sunkių nelaimingų atsitikimų darbe. Sudaryti veikiančių ūkio subjektų metų pradžioje statyboje ir sunkių nelaimingų atsitikimų darbe bei mirtinų nelaimingų atsitikimų darbe statyboje tarpusavio ryšio tiesinės regresijos modeliai parodė, jog padidėjus veikiančių ūkio subjektų skaičiui statyboje, tikėtina, kad sunkių nelaimingų atsitikimų darbe skaičius išaugs labiau negu mirtinų nelaimingų atsitikimų darbe skaičius.

2. Remiantis respondentų apklausos duomenimis, iš atsakiusiųjų didesnė dalis teigė, jog tam darbui, kurio metu įvyko nelaimingas atsitikimas, buvo parengta technologinė kortelė. Nustatyta, kad jei įmonėje rengiama technologinė kortelė, darbuotojai su ja ne visada supažindinami išsamiai, kas gali turėti įtakos tam, kad ne visuomet užtikrinama DSS, suteikiant žinias apie saugius darbų atlikimo būdus bei naudojamas priemones DSS užtikrinti.

3. Dauguma respondentų žino, kas yra statybos technologinė kortelė, bei žino, kokiais atvejais ją privaloma rengti. Mažiau nei pusė respondentų nurodė, jog vykdant statybos darbus, visada turi technologines korteles. Tai reiškia, jog technologinių kortelių rengimas, nėra labai paplitęs. Kalbant apie technologinių kortelių rengimo tikslumą dauguma respondentų teigė, kad technologinė kortelė yra naudinga.

4. Apie pusė visų apklaustų respondentų nurodė, jog yra rengę technologines korteles ir jas sugebėtų parengti savarankiškai. Tai nėra pakankamai didelis rodiklis ir kelia klausimus apie tai, kaip įgyvendinama

rizikos prevencija, siekiant numatyti saugius darbų atlikimo būdus. Iš visų respondentų, rengusių technologines korteles, tipines naudojo apie pusę apklaustųjų. Tai reiškia, kad dažnai rengiant korteles remiamasi ankstesnių kortelių pavyzdžiu. Pagrindiniais sunkumais rengiant technologines korteles respondentai įvardijo laiko stoką bei kvalifikuoto personalo trūkumą. Daugiausia respondentų technologinių kortelių rengimo įgūdžius įgijo savarankiškai, pasitarę su kolegomis. Tai reiškia, kad studijų, seminarų, kursų ir kt. organizuojamų renginių metu gaunamų žinių nėra pakankama. Pažymima, kad LR teisės aktuose nustatyti tik technologinių kortelių rengimo principai, tačiau kaip tinkamai parengti technologinę kortelę su DSS sprendiniais, informacijos, geros praktikos pavyzdžių trūksta.

Siekiant užtikrinti DSS reikalavimus konkrečioje statybvietėje, rekomenduotina tobulinti technologines korteles, akcentuojant konkrečių DSS reikalavimų įgyvendinimą. Tikslinga parengti rekomendacijas technologinių kortelių rengimui, pritaikant geros praktikos pavyzdžius. Tikslinga tęsti tyrimus, išgilinant į technologinių kortelių turinį ir jų panaudojimą darbe, į tyrimus įtraukiant ne tik statybinių įmonių vadovus, jų įgaliotus asmenis, bet ir darbuotojus.

Literatūra

1. Balčiūnas S. (2021) Nelaimingi atsitikimai darbe. Informacija apie nelaimingus atsitikimus darbe, įvykusius per 2020 metus. <https://osp.stat.gov.lt/informaciniai-pranesimai?articleId=8411591>
2. Dėjus T. (2009) Pavojingi statybos konstrukcijų įrengimo veiksniai ir priemonės nepageidaujama jų poveikiui mažinti. *Statybinės Konstrukcijos ir Technologijos*. 2009 1(2): 111–121 ISSN 2029-2317 print / ISSN 2029-2325 online <https://journals.vgtu.lt/index.php/EST/article/download/7541/6513>
3. Klumbytė E. (2011) Darbų saugos sistemos tobulinimas statyboje. *Vilniaus Gedimino technikos universitetas* 2011 3(2): 26–29, ISSN 2029-2341 print / ISSN 2029-2252 <https://journals.vgtu.lt/index.php/MLA/article/view/5030/4335>
4. Lietuvos statybos inžinierių sąjunga, Vilniaus Gedimino technikos universitetas (2009) Pastatų konstruktorius ir statybininko žinynas. ISBN 978-9955-03-565-7
5. LR aplinkos ministro įsakymas (2016) Dėl statybos techninio reglamento STR 1.06.01.2016 „Statybos darbai. Statinio statybos priežiūra“ patvirtinimo Nr. D1-848, 2 skyrius. Galiojanti suvestinė redakcija: 2018-07-01 <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/e0458643b88611e6a3e9de0fc8d85cd8/asr>
6. LR darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas (2003) 3 skyrius, 15 straipsnis, 4 skyrius, 27 straipsnis, 1 punktas. Galiojanti suvestinė redakcija nuo 2020-05-01. <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.95C79D036AA4/asr>.
7. LR socialinės apsaugos ir darbo ministro įsakymas (2008) Dėl darboviečių įrengimo statybvietėse nuostatų patvirtinimo Nr. A1-22/D1-34. 9 p. galiojanti suvestinė redakcija nuo 2009-05-27. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.313431/asr>
8. LR Statybos įstatymas (1996) 18 str. 7 d. 3 p. galiojanti suvestinė redakcija nuo 2021-01-01. <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.F31E79DEC55D/asr>
9. LR Statistikos departamentas (2021) Veikiantys ūkio subjektai metų pradžioje. <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize/#/>
10. LR Valstybinė darbo inspekcija (2019) Mirtinų ir sunkių nelaimingų atsitikimų darbe pasiskirstymas pagal įmonių ekonominės veiklos rūšis 2016 – 2019 metais. <https://www.vdi.lt/PdfUploads/NAprognoseVeikla2019.pdf>.
11. LR Valstybinė darbo inspekcija (2020) Informacija apie nelaimingus atsitikimus darbe, įvykusius per 2020 metus (2020-12-31 duomenimis) https://www.vdi.lt/Forms/Tekstas1.aspx?Tekstai_ID=3134.
12. LR vyriausiojo valstybinio darbo inspektoriaus įsakymas (2000) Dėl saugos ir sveikatos taisyklių statyboje patvirtinimo Nr.346; 5 priedas. galiojanti suvestinė redakcija nuo 2021-01-01. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.117505/asr>
13. LR vyriausiojo valstybinio darbo inspektoriaus įsakymas (2012) Dėl darbuotojų saugos ir sveikatos instrukcijų rengimo ir darbuotojų, darbdavių susitarimu pasiūstų laikinam darbui į įmonę iš kitos įmonės, instruktavimo tvarkos aprašo patvirtinimo. Nr. V-240, 1 skyrius, 2.2 punktas. Galiojanti suvestinė redakcija nuo 2018-07-04 <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.431394/asr>
14. Rudzkienė V. (2005) Socialinė statistika. Vilnius: Mykolo Romerio universiteto Leidybos centras, 2005. 257 p. : iliustr. ISBN: 9955190027
15. Verbeek J., Ivanov I. (2013) Essential Occupational Safety and Health Interventions for Low- and Middle-income Countries: An Overview of the Evidence. *Safety and Health at Work* 4 (2013) 77-83. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209379111300005X?via%3Dihub>

THE IMPORTANCE OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH REQUIREMENTS IN THE PREPARATION OF THE CONSTRUCTION TECHNOLOGY CARDS

Summary

The article analyzes the importance of occupational safety and health requirements in the preparation of construction technological cards, discusses the legal regulation of technological card preparation. According to the State Labor Inspectorate of Republik of Lithuania, construction has been identified as one of the most dangerous economic activities. The largest number of fatal and serious accidents at work occurred in this economic activity. For this reason, it was chosen

to analyze the construction sector in order to find out whether preventive measures are in place to preserve the working capacity, health and lives of workers. The article analyzes the experience and problems of preparing technological cards in companies performing construction works in Klaipėda County. The aim of the research is to find out the extent of preparation and use of construction technology cards in construction companies, emphasizing the importance of occupational safety and health requirements. The following main research methods were used in the study: analysis and systematization of scientific literature, legal acts, quantitative (questionnaire survey) and qualitative (interview) method, correlation and regression analysis. Results: The research showed that not all construction companies are able to prepare technological cards independently, and in companies where technological cards are prepared - not all employees are fully acquainted with them. This raises questions about how risk prevention is implemented so that work can be carried out safely on site.

Key words: technological card, occupational safety and health, accidents at work.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Danguolė Juknienė

Mokslo laipsnis ir vardas: magistrė, lektorė

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

Autoriaus mokslinių interesų sritys: darbuotojų sauga ir sveikata

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 615 20513, d.jukniene@kvk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Rūta Laučienė

Mokslo laipsnis ir vardas: magistrė, lektorė

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

Autoriaus mokslinių interesų sritys: statybos ekonomika

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 647 77204, r.lauciene@kvk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Danguole Jukniene

Science degree and name: master, lecturer.

Workplace and position: Klaipeda State University of Applied Sciences, Faculty of Technologies, Department of Environmental and Construction Engineering, lecturer.

Author's research interests: employees safety and health

Telephone and e-mail address: 8 603 20280, d.jukniene@kvk.lt

Author name, surname: Rūta Laučienė

Science degree and name: master, lecturer.

Workplace and position: Klaipeda State University of Applied Sciences, Faculty of Technologies, Department of Environmental and Construction Engineering, lecturer.

Author's research interests: construction economics

Telephone and e-mail address: 8 647 77204, r.lauciene@kvk.lt

STATYBŲ VALSTYBINIO VALDYMO EFEKTYVUMAS TEISĖKŪROS ATVIRUMO IR SKAIDRUMO PRINCIPŲ KONTEKSTE

Kęstutis Vitkauskas
Kauno technikos kolegija

Anotacija. Straipsnyje, remiantis teisės aktų analize, siekiama atskleisti statybų valstybinio valdymo teisinio reglamentavimo efektyvumą teisėkūros atvirumo ir skaidrumo principų kontekste. Tuo tikslu straipsnyje aptariama statybos proceso valstybinio valdymo samprata, nagrinėjamas statybos leidimo išdavimo ir statybos užbaigimo procedūrų teisinio reglamentavimo efektyvumas.

Straipsnyje laikomasi nuomonės, kad statybos sektoriaus veiklos efektyvumą ir skaidrumą didele dalimi lemia įstatymo leidėjo formuojamas statybos proceso teisinio reguliavimo tikslas, idėja, problemos suvokimas, žinojimas, ar planuojamas reguliavimas tarnaus viešajam interesui ar tik atskiroms grupėms.

Tyrimo metu nustatyta, jog sukurtos statybą leidžiančių dokumentų išdavimo ir jos užbaigimą patvirtinančios procedūros bei atliekama statybos valstybinė priežiūra ne visada užtikrina statybos proceso skaidrumą, teisėtumą, ko pasėkoje, statybas pripažinus neteisėtomis, žalą patiria visuomenė, aplinka ir valstybė, nes neužtikrinama jų interesų apsauga.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Statybos valstybinis valdymas, statybos leidimas, statybos užbaigimas

Įvadas

Statyba – kompleksinė sritis, kurios procesą sudaro specialaus teisinio reglamentavimo, kontrolės ir įvairių institucijų darbo reikalaujantys skirtingi etapai: teritorijų planavimas, statinio projektavimas, statybų priežiūra, statinio pripažinimas tinkamu naudoti, registracija, naudojimo priežiūra bei savavališkos statybos atvejais – nugriovimas [Lietuvos Aukščiausio Teismo 2013 m. nutartis]. Siaurąja prasme statybų valstybinis valdymas apima statybos leidimų išdavimą ir statybos užbaigimo procedūrų atlikimą.

Labai svarbu, kad statybos procese dalyvaujančios valstybės institucijos, vykdydamos savo funkcijas, skaidriai ir sąžiningai laikytųsi teisės normų reikalavimų ir orientuotųsi į visuomenės teisėtą interesų apsaugą (Vitkauskas, 2019: 68). Teisės doktrinoje pripažįstama, jog vykdomosios valdžios institucijų kompetenciją ir veiklos efektyvumą didele dalimi lemia galiojančios teisės veiksmingumas, matuojamas teisei keltų tikslų pasiekimu bei pasiektų tikslų ir sąnaudų santykiu (Šlapkauskas, 2002: 47). Teisės aktų parengimui įtakos turi ekonominiai, politiniai, socialiniai ir ideologiniai veiksniai, o jų kokybė ir veiksmingumas priklauso nuo to, kiek tiksliai ir išsamiai jie ištirti rengiant ir priimant teisės aktus ir kiek adekvačiai juose atspindima objektyvi tikrovė (Vaišvila, 2004: 457).

Siekiant užtikrinti statybos proceso skaidrumą Lietuvoje periodiškai keičiamas *Lietuvos Respublikos statybos įstatymas* (2012 -2020 metų laikotarpiu įstatymo nuostatos buvo keičiamas net 12 kartų), griežtinamos įmokos už savavališką statybą, tačiau statybų sektoriaus problemos išlieka. Pavyzdžiui, Lietuvoje 2015 - 2018 metais statybos teisėtumą vertinusios institucijos kasmet iš visų tikrintų statinių po 18 proc. pripažindavo savavališkai pastatytais, iš visų išduotų statybos leidimų – 7 proc. pripažindavo neteisėtai išduotais, vidutiniškai įsiteisindavo 60 teismų sprendimų, kuriais statytojas būdavo įpareigojamas nugriauti statinį (Valstybinis auditas, 2019: 22). Jei į susidariusią padėti statybos sektoriuje pažiūrėsime iš šalies – jos „vartotojo“ arba statytojo akimis ir vadovausimės teisinės valstybės samprata, tai turime priimti ir teiginį, kad toną statybos sektoriaus veiklos efektyvumui ir skaidrumui diktuoja arba bent turi diktuoti teisėkūra, kuri lemia ne tik atskiros normos turinį, bet ir tai, kas ir kiek leidžiama nustatant ar įgyvendinant tą normą. Visuose teisėkūros proceso stadijose be galo svarbus įstatymo leidėjo formuojamas teisės normos tikslas, idėja, problemos suvokimas, žinojimas, kokius asmenis planuojamas reguliavimas palies ir ar bus naudingas didžiajai visuomenės daliai ar tik atskiriems individams (*Šimašius, 2004: 62*). Kitaip tariant, nepriklausomai nuo to, kurią visuomeninių santykių sritį ketinama reglamentuoti, būtina vadovautis teisėkūros principais, išreiškiančiais imperatyvius reikalavimus teisės normas kuriantiems subjektams, siekiant sukurti vientisą, nuoseklią ir darnią teisinio reguliavimo sistemą.

Teisės aktų leidyboje ir jų įgyvendinimo proceso skaidrumas akademiniam diskurse suvokiamas kaip valdžios, įmonių, organizacijų ir individų veiklos charakteristika, kai veikla, planai, finansavimas bei teisės aktų leidyba yra pateikiama viešai ir aiškiai (Transparency International, 2009). Nors skaidrumo principas nėra tiesiogiai paminėtas LR Konstitucijoje tačiau jis traktuojamas kaip iš Konstitucijos kylantis imperatyvas. Remiantis Lietuvos Konstitucinio Teismo nutarimu, skaidrumas yra veiklos principas, susijęs su viešosios valdžios ir pareigūnų informacijos sklaida, komunikavimu, atvirumu, viešumu, atskaitingumu bendruomenei, priimančiųjų sprendimus atsakomybe, tų sprendimų pagrįstumu ir aiškumu (KT byla Nr. 24/07, 2008). *Lietuvos Respublikos teisėkūros pagrindų įstatyme* įtvirtinti atvirumo ir skaidrumo principai įpareigoja nustatančius teisinį reguliavimą subjektus vadovautis bendraisiais interesais, nepriimti

sprendimų visuomenei nežinant ir neturint galimybių dalyvauti teisėkūros procese, visada paviešinti teisės aktų projektų rengimo iniciatorius ir teisinio reguliavimo poveikio vertinimą atlikusius asmenis. *Efektyvumo* principas įpareigoja rengiant teisės aktų projektus įvertinti visas galimas teisinio reguliavimo alternatyvas ir pasirinkti geriausią iš jų (Teisėkūros pagrindų įstatymas, 2012).

Lietuvos Prezidentė D. Grybauskaitė vetavo *Statybos įstatymo* pataisus motyvuodama, kad „įstatymui trūksta *skaidrumo*, todėl jo efektyviai taikyti neįmanoma. Įstatymo pataisus neleidžia išspręsti smulkių pažeidimų šalinimo problemų, o piktybiškiems įstatymo pažeidėjams atsiranda galimybė pasinaudoti įstatymo neapibrėžtumu ir įteisinti netoleruotinas, visuomenės ir valstybės interesus pažeidžiančias nelegalias statybas. Už vykdymą atsakingiems valstybės pareigūnams pataisus sudaro galimybę laisvai interpretuoti įstatymą ir plisti korupcijai“ (Grybauskaitės veto, 2018). Specialiųjų tyrimų tarnybos atliekami teisės aktų poveikio korupcijos atžvilgiu vertinimai (STT ataskaita, 2020), žiniasklaidoje viešinami atvejai, kai statytojai savavališkai, nesuderinę su atitinkamomis institucijomis ar kaimynais statybos leidimų, imasi nelegalios pastatų, verslo objektų statybos (*LAT byla: 3K-3-143/2010 „Sabonio klubas ir partneriai“*), kurių metu galimai pažeidžiami visuomenės interesai, gyventojų teisėti lūkesčiai ir juos ginančios teisės normos leidžia manyti, kad statybos sektoriuje skaidrumo deficitas dar yra gana didelis. Šios aplinkybės suponuoja klausimą, ar statybos proceso – statybos leidimų išdavimo ir statybos užbaigimo etapų – teisinis reguliavimas pilnai atitinka teisėkūros skaidrumo, efektyvumo principus ir yra orientuotas į viešojo intereso gynimą.

Straipsnio tikslas – remiantis teisės aktų analize atskleisti statybų valstybinio valdymo teisinio reglamentavimo efektyvumą teisėkūros atvirumo ir skaidrumo principų kontekste. Tuo tikslu straipsnyje aptariama statybos proceso valstybinio valdymo samprata, nagrinėjamas statybos leidimo išdavimo ir statybos užbaigimo procedūrų teisinio reglamentavimo efektyvumas.

Tyrime naudojami mokslinės literatūros, teisės aktų ir teismų praktikos lyginamosios analizės bei institucijų, atsakingų už statybos vykdymo priežiūrą, veiklos analizės metodai.

Statybos proceso valstybinio valdymo samprata

Statybų valstybinis valdymas – tai procesas, apimantis tris pagrindinius etapus: 1) statybos leidimų išdavimą, 2) statybos užbaigimą ir 3) baigtų statinių naudojimo priežiūrą. Statybų legitimumo užtikrinimui būtina atsižvelgti į daugelį veiksnių: gamtos apsaugos reikalavimus, bendrą teritorijos planavimo koncepciją, greta esančių gyventojų interesus ir kt., todėl su statybos procesą reglamentuojančių teisės aktų sąrašė yra 64 įstatymai, 1 vyriausybės nutarimų, kitų teisės aktų bei reglamentų. Statybų procese dalyvauja įvairios valstybinės, savivaldos ir privačios institucijos bei tarnybos (1 pav.).



1 pav. Statybų procesas

Šaltinis: sudaryta autoriaus pagal teisės aktus

Lietuvos Respublikos Statybų įstatymu (toliau – *Statybų įstatymas*) statybos valstybinio valdymo vykdymas pavestas Vyriausybei. Vyriausybės įgaliota Aplinkos ministerija formuoja, įgyvendina ir kontroliuoja statybos ir jos priežiūros politiką: ji organizuoja visą procesą nuo statybos leidimo išdavimo iki statybos pabaigimo bei statinio naudojimo pagal paskirtį užtikrinimo. Savivaldybės aplinkos ministerijos nustatyta tvarka tikrina pateiktus statybai prašymus, išduoda statybos leidimą bei vykdo statinių naudojimo pagal paskirtį priežiūrą.

Statybos teisėtumui užtikrinti vykdoma statybos valstybinė priežiūra, o baigtiems statyti pastatams – statinių naudojimo priežiūra. Statybos valstybinė priežiūra atliekama *Lietuvos Respublikos teritorijų planavimo ir statybos valstybinės priežiūros įstatymo* (toliau *Statybos valstybinės priežiūros įstatymas*) nustatyta tvarka. Ją vykdo Valstybinė teritorijų planavimo ir statybos inspekcija prie Aplinkos ministerijos (toliau – Statybų inspekcija). Statybų inspekcija, atlikdama įstatyme jai priskirtas funkcijas, tikrina prisijungimo sąlygų bei kitų statybai vykdyti reikalavimų tinkamumą, statybą leidžiančių dokumentų ir statybos vykdymo teisėtumą, statybos užbaigimo procedūrų atlikimą, atlieka statomų statinių avarijų tyrimą, nagrinėja asmenų prašymus, skundus, susijusius su statybos procesu, konsultuoja ir teikia metodinę pagalbą bei organizuoja ir įgyvendina įvairias prevencines priemones skirtas statybų pažeidimams mažinti (LR Teritorijų planavimo įstatymas). Šioms funkcijoms įgyvendinti Statybų inspekcijai 2015 -2017 metais kasmet buvo skiriama po 3008,8 tūkst. eurų, 2019 asignavimų suma išaugo iki – 4173,0 tūkst. eurų, o 2020 m. - 4466,0 tūkst. eurų, kas sudarė apie 66 – 68 proc. visų šiai institucijai skirtų asignavimų (Valstybinės teritorijų planavimo 2020 m. veiklos planas).

Lietuvoje kasmet vidutiniškai išduodama 17 tūkst. statybos leidimų, iš kurių apie 50 -70 Statybų inspekcija, vykdamą statybos valstybinę priežiūrą, pripažįsta neteisėtais. Taip pat kasmet išaiškinama po kelis šimtus nelegalių statybų (1 lentelė).

1 lentelė. Išduotų statybai leidimų ir nustatytų savavališkų statybų skaičius

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Išduota statybos leidimų	8319	7290	10072	11934	11235	13550	16555	16160	16658	16836
Nustatyta savavališkų statybų	290	549	717	618	498	462	482	375	423	319
Savavališkų statybų dalis nuo išduotų leidimų skaičiaus (proc.)	3,48	7,5	7,1	5,1	4,4	3,4	2,9	2,3	2,5	2,0

Šaltinis: sudaryta autoriaus pagal Statybos inspekcijos metinių ataskaitų bei Lietuvos statistikos metraščio duomenis

Kad būtų tinkamai įgyvendinamas statybos procesas bei užtikrinama visuomenės teisėtų interesų apsauga būtina efektyvi ši procesą reglamentuojanti teisinė bazė bei jame dalyvaujančių institucijų tarpusavio sąveika. Analizuojant pastarųjų dešimtmečių statybos teisinį reglamentavimą Lietuvoje, iki 2010 metų išsiskiria reikalavimų griežtėjimo statyboms tendencija, o vėliau – jų liberalizavimo (ypatingai savavališkų statybų įteisinimo srityje). Vienas iš pagrindinių argumentų griežtinti reikalavimus statyboms buvo siekis apsaugoti viešąjį interesą, aplinką ir žmogaus sveikatą, o liberalizavimas buvo siejamas su bandymu atgaivinti ekonominės krizės metu sulėtėjusį statybų verslą (Vitkauskas, 2016: 46). Nors abiem atvejais statybas reglamentuojančių įstatymų pataisomis buvo siekiama statybų vykdymui suteikti daugiau skaidrumo ir viešumo - užkirsti kelią neteisėtoms statyboms ir mažinti savavališkų statybų skaičių, tačiau, reikia pripažinti, kad kai kurie teisinio reglamentavimo aspektai apsunkino galimybę visaverčiai ginti visuomenės interesą bei sudarė prielaidas plisti neteisėtoms statyboms. Pavyzdžiui, nuo 2010 metų *Statybos įstatyme* buvo išplėsta „statinio rekonstravimo“ sąvoką pagal kurią leidžiama perstatyti statinį ne tik pakeičiant jo laikančiąsias konstrukcijas, bet ir bendrą statinio plotą (keičiant ilgį, aukštį, plotį), nepateikiant keičiamų parametru duomenų. Manytina, kad tai galėjo sudaryti prielaidas vykdyti statybas, pavyzdžiui, regioniniuose parkuose ar draustiniuose, kuriuose draudžiama nauja statyba leidžiant tik rekonstruoti esamus pastatus.

Statybos leidimo išdavimo proceso valdymas

Statybos leidimo išdavimo proceso efektyvumą lemia reglamentuojančios teisinės bazės veiksmingumo lygis, procese dalyvaujančių institucijų ir subjektų vykdomų funkcijų efektyvumas bei viešo intereso užtikrinimo įgyvendinimas. Statybą pradėti vykdyti galima tik turint tai leidžiančius galiojančius (kai jie yra privalomi) dokumentus, t.y. leidimą statyti naują ar rekonstruoti bei atnaujinti seną statinį, daryti kapitalinį ar paprastą pastato remontą, pakeisti jo paskirtį ir kt. (Statybos įstatymas, 27 str. 1d.). Statybą leidžiančius dokumentus išduoda savivaldybės administracijos direktorius ar jo įgaliotas tarnautojas (toliau – Savivaldybė). Jeigu statyba vykdoma kelių savivaldybių teritorijoje, kiekviena savivaldybė išduoda tos statinio dalies, kuri yra tos savivaldybės teritorijoje, statybą leidžiantį dokumentą (Statybos įstatymas, 22 str. 4 d). Jeigu statyba vykdoma Lietuvos teritoriniuose vandenyse, išskirtinėje ekonominėje zonoje ir kontinentiniame šelfe arba įgyvendinant ypatingos valstybinės svarbos projektus, statybos leidimą išduoda Statybų inspekcija.

Norint gauti statybos leidimą per IS „Infostatyba“ savivaldybės administracijai reikia pateikti *Statybos įstatymo* 27 str. 5 d. nustatytus (iš viso 18 pozicijų) statybos leidimui gauti reikalingus dokumentus. *Statybos techniniame reglamente 1.05.01:2017* (toliau – *Reglamentas*) nurodyta, kad jeigu dokumentai pristatomi ne visi, tai sistemoje prašymas fiksuojamas kaip nepriimtinas ir 3 dienų eigoje informuojamas prašymą teikęs

asmuo (*Reglamentas*, 13 p). Pastebėtina, jog iki 2019 metų asmuo būdavo informuojamas tik apie trūkstamų dokumentų faktą nenurodant, kokių konkrečiai dokumentų trūksta, todėl prašymą teikė asmenys privalėdavo patys identifikuoti reikalingus dokumentus, dėl ko dokumentų pateikimo trukmė užsitęsdavo. Nuo 2019 metų prašymą teikęs asmuo informuojamas apie trūkstamus dokumentus konkrečiai juos įvardijant, kas, tikėtina, padės sutrumpinti šių procedūrų trukmę. Kita vertus, *Reglamento* nuostata, įpareigojanti prašymą teikiančią asmenį visus reikalaujamus dokumentus pateikti savivaldybės administracijai, kuri kai kuriuos dokumentus pati gali rasti valstybės registruose ar kitų institucijų tinklalapiuose prasilenkia su *Viešojo administravimo įstatymo* nuostata, jog administracinei procedūrai reikalinga informacija, kurią turi viešojo administravimo subjektas arba kuri yra valstybės registruose ar kitose valstybės ar savivaldybių informacinėse sistemose, surenkama pačio viešojo administravimo subjekto (*Viešojo administravimo įstatymas*, 23 str. 3 d.). Pavyzdžiui, reikalingą pristatyti „Statinio kadastro duomenų byla“ savivaldybė gali rasti Registrų centre, o „Atrankos išvadą dėl planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo“ – Aplinkos apsaugos agentūros registre. Savivaldybių argumentas, kad šių operacijų atlikimas padidintų administracijos darbuotojų krūvius nėra pateisinamas, todėl reikia pripažinti, kad tokia praktika akivaizdžiai apsunkina statybos leidimo išdavimo procesą bei užkerta kelią savivaldybei gauti pačią naujausią informaciją tiesiai iš atitinkamų informacijos centrų.

Vienas iš statybos leidimo išdavimo proceso etapų – statinio projekto atitikties teisės aktų reikalavimams patikrinimas. Statinio projekto atitiktį nustatytiems reikalavimams tikrina savivaldybės administracija ir *Statybu įstatyme* nurodytos institucijos: saugomų teritorijų direkcija, kultūros paveldo departamentas, nacionalinis visuomenės sveikatos centras, radiacinės saugos centras, įstaiga, atsakinga už geležinkelių transporto eismo saugą, neįgaliųjų reikalų departamentas, aplinkos apsaugos agentūra, valstybinė energetikos inspekcija ir inžinerinių tinklų ir susisiekimo komunikacijų, prie kurių prijungiami sklypo inžineriniai tinklai ar susisiekimo komunikacijos, savininkai, valdytojai ar naudotojai (*Statybos įstatymo* 9 ir 10 str.). Atskirais atvejais leidimui gauti reikalingi ir *Reglamente* nurodytų subjektų privalomi rašytiniai pritarimai statinio projektui (*Reglamento* 6 priedas).

Institucijos, aplinkos ministro nustatyta tvarka tikrinamos naujo (ypatingojo ir neypatingojo) statinio statybos, jo rekonstravimo ar modernizavimo projekto atitiktį teisės aktų reikalavimams, per įstatyme numatytą terminą (10 -20 dienų) turi pateikti savo išvadas savivaldybės administracijai. Statinio projektui pritarus visiems jį tikrinti turėjusiems subjektams savivaldybės administracija per 3 darbo dienas išduoda statybos leidimą. Pastebėtina, kad savivaldybės administracijai suteikta teisė (kai išvadą turėjęs pateikti subjektas nepateikia argumentuotų neigiamo vertinimo išvadų arba kilus abejonių dėl pritariančių statinio projektui išvadų pagrįstumo) laikinai sustabdyti statybą leidžiančio dokumento išdavimą ir atlikti papildomą tyrimą (*Reglamento* 19 p.). Galima sutikti, kad šia nuostata siekiama išvengti galimų klaidų ar korupcijos atvejų išduodant statybos leidimus, tačiau, kita vertus, neaišku, kokiais kriterijais vadovaujantis savivaldybės tarnautojas gali pritarimą statinio projektui pripažinti abejotinu ir kokiais argumentais jis turi pagrįsti savo abejones dėl išvados teisėtumo. Dėl sunormintų kriterijų nebuvimo atsiranda prielaidos vilkinti statybos procesą, kas sukelia abejonių savivaldybės sprendimų skaidrumu bei gali padidinti statybos kaštus. Todėl manytina, kad *Reglamente* turėtų būti aiškiau apibrėžti kriterijai, kuriais remiantis savivaldybės administracija gali kvestionuoti projektą vertinančios institucijos išvadą.

Atkreiptinas dėmesys į tai, kad šiuo metu galiojantis teisinis reguliavimas sudaro prielaidas išduoti statybos leidimą ir tais atvejais, kai nėra visų statybos projektą vertinančių subjektų išvadų. Ši galimybė atsiranda dėl to, kad statinio projektą vertinančiai institucijai (subjektui) per įstatyme nustatytą terminą nepateikus savo sprendimo kvestionuojama, kad projektui subjektas pritarė (*Reglamento* 18 p.). Nustatant tokį teisinį reguliavimą buvo tikimasi į statybos verslą pritraukti daugiau investuotojų sutrumpinant bendrą statybos leidimų išdavimo procedūros trukmę nuo 85 iki 35 -30 dienų (Aiškinamasis raštas, 2017). Tačiau praktikoje gausu atvejų, kai projektą vertinančioms institucijoms laiku nepateikus išvadų informacinė sistema „Infostatyba“ automatiškai sugeneruoja statinio projekto pritarimą, pavyzdžiui, 2015 -2018 m. Lietuvoje savivaldybės iš viso išsiuntė 480,8 tūkst. paraiškų patikrinti statinio projektą. Subjektams laiku nepateikus išvadų (pritavimo ar nepritarimo), IS „Infostatyba“ 33,8 tūkst. (7 proc.) paraiškų sugeneravo automatinį pritarimą, iš jų 3,3 tūkst. atvejų (10 proc.) dėl pritarimo ypatingųjų statinių projektams (Valstybės audito ataskaita, 2019: 22). Tokia praktika, galima sakyti, naikina vieną esminių teisės normos požymių – jos privalomumą, nes dingsta subjektams imperatyvus įpareigojimas atlikti projekto vertinimą ir pateikti išvadą nustatytu laiku, nes už šios prievolės nesilaikymą jiems nekyla jokia teisinė atsakomybė, todėl atsiranda galimybė piktnaudžiauti pareiga atlikti institucijai pavestą funkciją. Siekiant išvengti galimų ginčų dėl statybos leidimo išdavimo legitimacymo bei užtikrinti skaidrumo principą šiame procese tikslinga būtų teisinio reguliavimo priemonėmis įtvirtinti visų subjektų vienodą prievolę įvertinti joms priskirtus statinio projektus.

Savivaldybės administracijai tenka atsakomybė už statybos leidimo išdavimo teisėtumą, todėl savivaldybė prieš jį išduodama *Reglamente* nustatyta tvarka privalo tikrinti visus statinio projektus ir statybos legitymumą galinčias lemti aplinkybes, pavyzdžiui, norminio atstumo tarp statinių laikymąsi, juridinių faktų, galinčių riboti statybą ar trečių asmenų teises buvimą, ar statinio projektui pritarė visi projektą turėję patikrinti subjektai, ar statinio projektuotojas apsidraudęs civilinės atsakomybės privalomuoju draudimu ir kt. (*Reglamento* 5 priedas). Tačiau *Statybos įstatyme* (2 str.69 d) atsakomybė už projekto rengimo organizavimą bei jo atitiktį normatyvinių techninių, statinio saugos bei kitų privalomų statinio projekto rengimo dokumentų reikalavimams įtvirtinta statinio projekto vadovui, o „*Statybos dalyvių atestavimo ir teisės pripažinimo tvarkos apraše*“ – statinio projekto dalies vadovo atsakomybė už jo rengiamos projekto dalies atitikimą reikalavimams (*Statybos techninis reglamentas STR 1.02.01:2017*). Tokiu būdu savivaldybės administracijai tenka atsakomybė už veiklas, kurias iš esmės turi atlikti ir už jas atsakyti statinio projekto (ar jo dalies) vadovai. Tokiu teisiniu reglamentavimu sukuriama perteklinis statybos leidimo išdavimo procese dalyvaujančių subjektų funkcijų dubliavimas bei neteisingai paskirstoma atsakomybė tarp subjektų. Skirtingas atsakomybės už numatytas veiklas paskirstymas nedera su teisėkūros skaidrumo ir viešumo principų samprata ir jų taikymu. Tikėtina, kad aiškiau apibrėžus visų šiame procese dalyvaujančių subjektų atsakomybę, ją individualizuojant (pavyzdžiui, kompetencijas patvirtinančių atestatų ar licencijų suspendavimas) galima būtų sumažinti neteisėtai išduodamų statybos leidimų skaičių.

Statybos užbaigimo proceso valstybinis valdymas

Statybos užbaigimo procesas – tai procedūrų, skirtų pagrįsti statinio atitiktį projektui (kai statybai būtinas projektas) ar teisės aktuose nustatytiems reikalavimams (kai statybos projektas nebūtinas), atlikimas. Statybos užbaigimo procesas norminamas priklausomai nuo statybą leidžiančio dokumento rūšies (leidimas duotas statyti naują pastatą, jį rekonstruoti ar modernizuoti) ir statinių klasifikavimo (ypatingas, neypatingas ar nesudėtingas statinys). Statybą gali būti užbaigiama: 1) išduodant *statybos užbaigimo aktą* - statybos užbaigimo komisijos surašytą dokumentą, patvirtinantį, kad statinys pastatytas ar rekonstruotas pagal statinio projekto sprendinius (*Reglamento* 10.2 p.); 2) Statybos inspekcijai patvirtinant *statybos užbaigimo deklaraciją* – statytojo pasirašytą dokumentą, kuriuo paskelbiama, kad statybos darbai užbaigti ar statinio paskirtis pakeista pagal statinio projekto (kai jis privalomas) sprendinius ar teisės aktų reikalavimus, jei statinio projektas nebuvo rengiamas (*Reglamento* 10.3 p). Tačiau, jeigu atlikta statinio ar jo dalies ekspertizė įrodanti statinio ar jo dalies atitiktį *Statybos įstatymo* 4 str. nurodytiems statinių reikalavimams, procedūros dėl deklaracijos tvirtinimo neprivalomos (*Reglamento* 101 p.)

Atlikus statybos užbaigimo proceso norminimo analizę pastebėtini kai kurie šio proceso procedūrų teisinio reguliavimo trūkumai, kurie galimai neužtikrina savalaikio ir skaidraus statybų užbaigimo įgyvendinimo, kas gali paskatinti statytoją siekti užbaigti statybą nesilaikant teisės normų reikalavimų arba sudaryti palankesnes sąlygas korupcijai. Vertinant šiame kontekste statybos proceso efektyvumą išskirtini žemiau pateikiami teisinio reguliavimo trūkumai, kurių pašalinimas, tikėtina, prisidėtų prie statybos veiklos skaidrumo stiprinimo.

Pirma, statytojas, norėdamas gauti statybos užbaigimo aktą, teikia prašymą kartu su *Reglamento* 61 punkte nurodytais dokumentais savivaldybės, kurios teritorijoje yra statinys Inspekcijos padaliniiui, turinčiam per 3 darbo dienas patikrinti statinio teisėtumą patvirtinančius faktus, iš kurių vienas - ar statytojas turi statybos leidimą (kai jis privalomas). Atkreiptinas dėmesys, kad Inspekcijai pateikiamas statybos leidimas nebūtinai turi būti galiojantis (*Reglamento* 62.1.2 p). Lingvistinis šios nuostatos vertinimas leidžia teigti, kad statybą užbaigti galima ir su nebegaliojančiu statybos leidimu, kas iš esmės prieštarautų *Statybos įstatymo* imperatyvui, kad statyba be galiojančio statybą leidžiančio dokumento, kai jis privalomas, draudžiama (*Statybos įstatymas*, 27 str.22 d.). Kita vertus, *Reglamento* 45 punkto nuostata, kad 2010 m. spalio 1 d. galioję, taip pat po 2010 m. spalio 1 d. išduoti ir galiojantys statybą leidžiantys dokumentai galioja *neterminuotai* aiškumo šiai situacijai nepriduoda, nes lieka neaišku, ar statybos leidimo galiojimas, jeigu jis nepanaikinamas *Statybos įstatymo* 27 str. 23 d. nurodytais atvejais, yra neribotas visais kitais atvejais ir kokiais atvejais statytojas turi kreiptis dėl naujo leidimo išdavimo. Toks teisinio reguliavimo neapibrėžtumas palieka erdvę dviprasmiškai vertinti statinio užbaigimo aplinkybes, kas kelia grėsmę proceso skaidrumui. Todėl tikslinga būtų suderinti *Reglamento* ir *Statybos įstatymo* atitinkamas nuostatas.

Antra, vertinant statybos užbaigimo proceso norminimą bendrame statybos teisinio reguliavimo kontekste, išskirtini statybos leidimo išdavimo ir užbaigimo procesų teisinio reguliavimo skirtumai (pavyzdžiui, skirtingų subjektų dalyvavimas išduodant statybos leidimus ir priduodant statinį) kas, mūsų nuomone, mažina statinio juridinį legitymumą. *Statybos įstatymo* 27 str.9 d. ir *Reglamento* 5 priede numatytos institucijos ir subjektai savo kompetencijų ribose tikrina statinio projektų sprendinių atitiktį nustatytiems reikalavimams bei vertina statybos užbaigimo procedūras. Galutinį statybos proceso rezultatą apsprendžia tiek

statinio projektinė dalis, tiek ir projektuose numatytų techninių sprendimų įgyvendinimas, todėl svarbu teisės aktais užtikrinti statybos procesą tikrinančių institucijų galimybę vertinti visų statybos proceso stadijų procedūras. Deja, kai kurios institucijos tokios galimybės neturi, nes į statybos leidimo išdavimo ir statybos užbaigimo procedūras įtrauktos skirtingos institucijos (1 pav.) Pavyzdžiui, Aplinkos apsaugos agentūra aplinkos ministro nustatytais atvejais ir tvarka tikrina statinio projektą, tačiau jo sprendinių realizavimo praktikoje nevertina. Kita vertus, tokios institucijos kaip priešgaisrinės apsaugos ir gelbėjimo departamentas, valstybinė darbo inspekcija, valstybinė maisto ir veterinarijos tarnyba, maitinės departamentas, Lietuvos kelių policijos tarnyba bei valstybės sienos apsaugos tarnyba dalyvauja statybos užbaigimo procese pagal kompetenciją tikrinamos statinių atitiktį statinio projekto sprendiniams, bet nedalyvauja statybos leidimo išdavimo procedūrose. Pavyzdžiui, priešgaisrinės apsaugos ir gelbėjimo departamentas tikrina esminius statinio gaisrinės saugos reikalavimus, valstybinė darbo inspekcija - statinyje numatytų darbo vietų reikalavimų įgyvendinimą, Lietuvos kelių policijos tarnybos atstovas – su eismo saugumu susijusių reikalavimų įgyvendinimą, pavyzdžiui, privažiavimus, automobilių parkavimo vietas ir pan. Nors paprastai teisės aktuose statybos leidimui gauti yra nustatomi konkretūs reikalavimai projektiniams sprendimams, tačiau praktikoje institucijos, nedalyvaujamos statinio projektų svarstyme, negali užkardyti galimų projektavimo trūkumų, pavyzdžiui, projekte nenumatant arba netinkamai suprojektuojant statinio techninius sprendimus, dėl ko gali kilti problemų patvirtinant statybos baigimą. Tarkim, vadovaujantis *Reglamento* nuostatomis statytojas su prašymu gauti statybos leidimą, privalo pateikti projektą su aiškiu gaisrinės saugos aprašu, kuriame turi būti aprašytos gaisrinės saugos priemonės, kurių privaloma laikytis statybos procese. Tačiau, ar šie reikalavimai yra įgyvendinti paaiškėja tik priešgaisrinei tarnybai tikrinant baigtą statyti statinį. Dėl to kyla grėsmė laiku nepriduoti statinio, padidinti jo statybos kaštus arba statytoją paskatinti ieškoti neteisėtų statybos užbaigimo būdų, t.y. sudaryti prielaidas pasireikšti korupcijai. LR Specialiųjų tyrimų tarnyba 2020 m. gruodžio 15 dieną paskelbtoje *Antikorupcinio vertinimo dėl statybų užbaigimo procedūras reglamentuojančių teisės aktų išvadoje* tokią situaciją laiko „rizikinga tiek antikorupcinio požiūriu, tiek statybos užbaigimo procedūrų efektyvumo, teisėtumo, kokybiškos statybos aspektu, nes sudaro sąlygas nepatikrinti ar netinkamai patikrinti visų sprendinių atitikimą nustatytiems reikalavimams, ypač tų, dėl kurių buvo nustatyta pažeidimų ar neatitikimų pradiniam etape“ (LR Specialiųjų tyrimų tarnyba, 2020).

Trečia, statybos užbaigimo procese statinio atitiktį projektiniams reikalavimams iš esmės nulemia subjektyvi vertintojų nuomonė, todėl svarbu, kad sprendimus dėl statinio kokybės priimtų nešališka ir kompetentinga komisija. *Reglamente* numatyta, kad Inspekcijos padalinių vadovų potvarkiais statybos užbaigimo komisijos sudaromos (keičiamos, panaikinamos) iš institucijų, kurių įgalioti atstovai dalyvauja statybos užbaigimo procedūrose. Pastebėtina, kad *Reglamentas* konkretaus komisijos narių skaičius nenustato, tik nurodo, kad ją turi sudaryti tiek įvairių sričių subjektų, kad ji galėtų visapusiškai atlikti visas būtinas bet kurios statybos užbaigimo procedūras (*Reglamento* 58 p.). Komisijos sudėties formavimo teisinis neapibrėžtumas išvelgtinas ir *Reglamento* 64 punkto nuostatoje, kurioje nurodyta, kad priėmęs prašymą Inspekcijos padalinio pareigūnas IS „Infostatyba“ pažymi institucijas (subjektus), kurie privalo paskirti savo atstovus statybos užbaigimo procedūroms atlikti. Atkreiptinas dėmesys, kad Inspekcijos pareigūnas, reikalui esant, gali į komisijos sudėtį įtraukti ir *Reglamento* 9 priede nenurodytų institucijų atstovus (*Reglamento* 64 p.), tačiau jokiose teisės normose nėra paaiškinta, kokių institucijų atstovai gali būti pakviesti į komisiją ir kokias atvejais ar aplinkybėmis tai galima daryti. Taigi Inspekcijos pareigūnams suteikta teisė kiekvienu atveju patiems formuoti statybos užbaigimo komisijos sudėtį, t.y. pasirinkti, kurių institucijų atstovus deleguoti į komisiją, o kurių – ne. Toks teisinis komisijos sudėties formavimo mechanizmas praktiškai leidžia į komisiją paskirti ne visus atstovus, privalančius pagal kompetenciją patikrinti statinio baigtumą arba paskirti su statinio tikrinimu nesusijusius asmenis. Abiem atvejais atsiranda galimybė pažeisti statybos proceso skaidrumo principą.

Ketvirta, statybos užbaigimas (kaip ir statybos leidimo išdavimas) taip pat gali būti įteisintas nepritarus visiems statinio baigtumą vertinusiems asmenims. Gali būti preziumuojama, jog statybos užbaigimo aktas pasirašytas jeigu: iki statybos užbaigimo procedūrų atlikimo termino pabaigos nėra vienas iš nepasirašiusių akto subjektų nepatvirtina el. parašu, kad akto jis nepasirašo ir nenurodo šio sprendimo motyvų (*Reglamento* 74.2 p.), arba, jeigu iki komisijos paskutinės darbo dienos pabaigos komisijos narys nepasirašo akto ir to nepatvirtina el. parašu (*Reglamento* 75.1. 2 p.). Taigi, esant tokiam teisiniam reglamentavimui gali susidaryti situacija kai nėra vienam komisijos nariui nepasirašius statybos užbaigimo akto ir to nepatvirtinus parašu IS „Infostatyba“ automatiškai būtų sugeneruojamas komisijos pritarimas statinio užbaigimui. Taip pat subjektui patvirtinus savo atsisakymą pasirašyti protokolą nenurodant motyvų, neišku, ar protokolą laikomas pasirašytu, ar ne. Minėtos situacijos norminimas laikytinas ydingu, nes sudaro sąlygas statybos užbaigimo procedūras vertinantiesiems asmenims „ignoruoti“ akto pasirašymą tuo legalizuojant galimus statybos

pažeidimus. Siūlytina minėtas *Reglamento* normas keisti nustatant kvalifikuotos daugumos principą, pavyzdžiui, laikyti aktą pasirašytu, jeigu jį pasirašė pusė ar du trečdaliai komisijos narių.

Penkta, Praktikoje pasitaiko atvejų kai statytojai skundžia Komisijos sprendimus laikinai sustabdyti statybas nepateikiant šio sprendimo aiškių priežasčių ar nepagrindžiant sustabdymo termino. Komisijai suteikta teisė sustabdyti statybos užbaigimo procedūras iki šešių mėnesių (skaičiuojant nuo prašymo registracijos dienos) *Reglamento* 69 punkte nustatytais atvejais: jeigu reikia pašalinti komisijos procedūrą nustatytus trūkumus, būtina atlikti reikalingus bandymus ar matavimus, atlikti statybos leidimo išdavimo teisėtumo patikrinimą, dėl nenumatytų objektyvių priežasčių, kai nėra galimybės vykdyti statybos užbaigimo ir kt. Tačiau šioje normoje nėra aiškiai reglamentuotos procedūros stabdymo priežastys (pateiktų atvejų neturėtume tapatinti su priežastimis), neapibrėžtas statybų procedūros stabdymo termino ir priežasties ryšys, pavyzdžiui, neaišku, koks gali būti trumpiausias terminas arba kokiam terminui galima stabdyti statybą dėl konkrečios priežasties. Vertinant šios normos turinį statybos proceso skaidrumo kontekste, darytina išvada, kad komisijai palikta absoliuti diskrecija neargumentuojant sprendimo nustatyti statybos stabdymo terminą, dėl ko gali susidaryti skirtingos statinio užbaigimo sąlygos. Tikėtina, kad atitinkamai sunorminus minėtų terminų nustatymą atsižvelgiant į statybos stabdymo priežasčių pobūdį galima būtų sumažinti piktnaudžiavimo teise rizikos atvejų skaičių.

Atkreiptinas dėmesys, jog vertinant statybos užbaigimą esamas teisinis reguliavimas leidžia Inspekcijos ir komisijos pareigūnams atlikti skirtingus procedūrinius vertinimo veiksmus. Pavyzdžiui, išduodami statybos užbaigimo aktą komisijos nariai privalo *vizualiai* patikrinti statinio atitiktį jo projekto sprendiniams ir teisės aktų reikalavimams. Tuo tikslu jie gali reikalauti inžinerinių sistemų ir tinklų veiklos statybvietėje patikrinimo dalyvaujant darbų vadovams (*Reglamento* 68 p.). Tuo tarpu pildant deklaraciją, ją gali tvirtinti vienas Inspekcijos pareigūnas, kuris atlieka tik pateiktų dokumentų patikrą ir iš jų sprendžia, ar nėra nukrypimų nuo esminių statinio projekto sprendinių, viršijančių nustatytas normas. Inspekcijos pareigūnui palikta teisė tikrinti statinio atitiktį ne visiems *Reglamente* numatytiems reikalavimams, bet pasirinktinai (*Reglamento* 93 ir 97.1p.). Taip pat šiam pareigūnui nėra prievolės vizualiai įsitikinti, jog statinys praktiškai atitinka projektinius sprendinius. Manytina, kad skirtingų procesinių veiksmų komisijai ir Inspekcijos pareigūnams įteisinimas didina riziką pažeisti statybai keliamus reikalavimus ir prasilenkia su skaidrumo principo įgyvendinimu. Siūlytina įtvirtinti Inspekcijos pareigūnams vizualaus patikrinimo prievolę, kuri galėtų būti įgyvendinama pasirinktinai (pvz. ne mažiau kaip 40 ar 50 proc. visų tikrinamų atvejų) pagal aiškiai apibrėžtus kriterijus.

Teisėkūros pagrindų įstatyme įtvirtinta, kad įstatymų įgyvendinamieji teisės aktai negali pakeisti paties įstatymo ir sukurti naujų bendro pobūdžio taisyklių, kurios savo galia konkuruotų su įstatymo normomis, taip pat negali praplėsti ar susiaurinti įstatymuose numatyto teisinio reguliavimo. Šiame kontekste *Reglamento* 78 punkto nuostata, leidžianti išduoti statybos baigimo aktą ar deklaraciją atskiroms statinio dalims, jeigu kitų statinio projekte suprojektuotų statinio dalių statyba dar neužbaigta (*Reglamento* 78 p) prieštarauja *Statybos įstatymui*, kuriame statinio užbaigimo dalimis galimybė nenumatyta. Todėl būtinas *Reglamento* 78 punkto nuostatos suderinimas su įstatymo normomis.

Statybos skaidrumo užtikrinimo kontekste atskirai aptartinas privataus sektoriaus įtraukimo į statybų užbaigimo procedūras klausimas. Siekiant sutrumpinti statybos užbaigimo procedūras, taupyti valstybės institucijų administracinius resursus, taip pat atsižvelgiant ketinimą teisiniu reguliavimu didinti statybos techninės veiklos sričių vadovų atsakomybę ir kompetenciją bei nustatyti atsakomybės taikymo mechanizmą (esant nusižengimams taikyti jų kvalifikacijos atestatų galiojimo sustabdymą ar panaikinimą aplinkos ministro patvirtinta tvarka), įstatymo leidėjai 2016 m. pasiūlė supaprastinti statybos baigimo procedūras surašant ne statybos užbaigimo aktą, bet deklaraciją apie statybos užbaigimą, o kaip alternatyva deklaracijos tvirtinimui - statinio ekspertizės aktą, patvirtinantį statinio mechaninį atsparumą ir pastovumą, gaisrinę saugą reglamentuojančių bei kitų teisės aktų reikalavimus (Aplinkos apsaugos komitetas, 2016: 30 p). Seime pritarus šioms pasiūlymams nuo 2017 metų nebeliko prievolės tvirtinti statybos užbaigimo deklaracijos, jei yra atlikta statinio ekspertizė, kurią gali atlikti ekspertizės įmonės, turinčios kvalifikacinius sertifikatus. Taigi liberalizuojant statybos veiklą privačiam sektoriui suteikta galimybė dalyvaujant statybos užbaigimo procedūrose nulemti statinio tinkamumo įteisinimą. Pastebėtina, jog pirmieji privataus sektoriaus dalyvavimo statybos užbaigime procese metai neparodė kiek aktyvesnės šių subjektų veiklos. Pavyzdžiui, 2018 metais privatus sektorius atliko 556 ekspertizes, kai tuo tarpu Inspekcijos pareigūnai patvirtino apie 8 tūkstančius deklaracijų (Valstybės kontrolė, p.31). Vienareikšmiškai vertinti šio reiškinio priežastis sunku, tačiau tam galėjo turėti įtakos ir informacijos apie šias paslaugas trūkumas, ir gana aukšti (600-800 eurų) už pastato ekspertizę ir pridavimą įkainiai. Tačiau pastarieji metai atskleidžia privačių statinio ekspertizę atliekančių subjektų gausėjimo Lietuvoje tendenciją, pavyzdžiui, 2021 m. buvo užregistruotos 148 atestuotos įmonės (Atestuotos įmonės, 2021:3)], kas iš vienos pusės skatins paslaugų kainų mažėjimą, o iš kitos – didins pažeidimų statybos procese riziką, kadangi bus sunku objektyviai įvertinti visų šia veikla užsiimančių subjektų

profesionalumą ir sąžiningumą. Manytina, kad šią riziką be subjektyvių priežasčių (statytojo ir vertintojo suinteresuotumas laikytis teisės normų) didina teisės aktuose įtvirtinti skirtingi statybos užbaigimo procedūrų reikalavimai Inspekcijai ir privačiai ekspertizės įmonei [Reglamentas 94 p.].

Taikant teisės normų lyginamojo vertinimo metodą, matome, kad statybos užbaigimo procedūras atliekant statinio ekspertizės būdu labiau orientuojamasi į statinių techninės būklės vertinimą, o renkantis deklaravimą – pastato atitikties teisės normų reikalavimams nustatymą. Pavyzdžiui, atliekant statinio ekspertizę, netikrinama, ar dėl statinio nėra surašytų savavališkos statybos aktų, ar apmokėti draudimo bendrovių laidavimo draudimo raštai, ar buvo gauti 12 subjektų rašytiniai sutikimai (jei jie privalomi) ir įvykdytos juose nurodytos sąlygos, o pildant deklaracijas – šios procedūros privalomos. Kita vertus, reikalavimus, kad statinys atitiktų esminius statinio projekto sprendinius arba, kad būtų įgyvendinami specialieji saugomos teritorijos tvarkymo ir paveldosaugos reikalavimai atliekant ekspertizę privaloma tikrinti visais atvejais, o tvirtinant deklaraciją – galima pasirinktinai. Statinio užbaigimo procedūras atliekantiems subjektams reikalavimų skirtumai sudaro prielaidas korupcijai ir atveria galimybes užbaigti statybą nesilaikant visų nustatytų reikalavimų. Pavyzdžiui, nepatikrinus galimo savavališkos statybos fiksavimo fakto atveriamas kelias savavališkos statybos įteisėjimui. Siekiant išvengti galimų pažeidimų tikslinga būtų suvienodinti privataus sektoriaus ir Inspekcijos atliekamas procedūras.

Išvados

1. Statybų valstybinis valdymas apima statybos leidimų išdavimą, statybos užbaigimą ir baigtų statinių naudojimo priežiūrą. Statybų legitimumo užtikrinimui būtina atsižvelgti į gamtos apsaugos reikalavimus, bendrą teritorijos planavimo koncepciją, greta esančių gyventojų interesus ir kitus veiksnius. Statybos sektoriaus veiklos efektyvumą ir skaidrumą didele dalimi lemia įstatymo leidėjo formuojamas statybos proceso teisinio reguliavimo tikslas, idėja, problemos suvokimas, žinojimas, ar planuojamas reguliavimas tarnaus viešajam interesui ar tik atskiroms grupėms. Šiuos tikslus galima pasiekti kuriant teisinę statybų sektoriaus teisinę bazę griežtai laikantis teisėkūros principų, išreiškiančių imperatyvius reikalavimus teisės normas kuriantiems subjektams.

2. Statybos leidimo išdavimo proceso efektyvumą lemia teisinės bazės veiksmingumo lygis, procese dalyvaujančių institucijų ir subjektų vykdomų funkcijų efektyvumas bei viešo intereso užtikrinimo įgyvendinimas. Teisės aktuose įtvirtintos statybą leidžiančių dokumentų išdavimo procedūros bei jas atliekančių subjektų veikla ne visada užtikrina, kad statyba bus teisėta ir optimaliais terminais vykdoma. Tokie teisiniu reglamentavimo sukurti atvejai, kai, pavyzdžiui, reikalavimas visus statybos leidimui gauti būtinus dokumentus statytojui pateikti pačiam, kai savivaldybės administracija juos gali rasti atitinkamuose registruose, galimybė išduoti statybos leidimą kai nėra visų statybos projektą vertinančių subjektų išvadų arba atsakomybės už statybos leidimo išdavimo teisėtumą delegavimas savivaldybių administracijai, kai už tai turėtų būti atsakingi statinio projekto vadovai rodo, esamus statybos leidimo išdavimo proceso teisinio reglamentavimo trūkumus, kas skatina piktnaudžiavimą pareigomis, vilkina statybos procesą bei skatina korupciją.

3. Statybos užbaigimo procesas norminamas priklausomai nuo statybą leidžiančio dokumento rūšies ir statinių klasifikavimo. Statybą gali būti užbaigiama statybos užbaigimo komisijai išduodant *statybos užbaigimo aktą* ir Statybos inspekcijai patvirtinant *statybos užbaigimo deklaraciją*. Statybos užbaigimo proceso teisinio reguliavimo analizė išryškino kai kuriuos trūkumus, kurie apsunkina savalaikį ir skaidrų statybų užbaigimo įgyvendinimą. Vertinant statybos užbaigimo proceso efektyvumą išskirtini šie teisinio reguliavimo trūkumai: 1) reglamente įtvirtinta galimybė dėl statybos užbaigimo akto gavimo savivaldybei pateikti negaliojantį statybos leidimą, kas prieštarauja *Statybos įstatymo* nuostatoms; 2) statybos leidimo išdavimo ir statybos užbaigimo procedūrose dalyvauja ne tos pačios institucijos; 3) statybos užbaigimo procese statinio atitiktį projektiniams reikalavimams vertinančių komisijų sudarymo procedūros bei narių funkcijos nėra aiškiai reglamentuotos, todėl toks komisijų sudėties formavimo teisinis neapibrėžtumas leidžia į komisiją paskirti ne visus atstovus, privalančius pagal kompetenciją patikrinti statinio baigtumą arba paskirti su statinio tikrinimu nesusijusius asmenis, todėl atsiranda galimybė pažeisti statybos proceso skaidrumo principą; 4) statybos užbaigimas (kaip ir statybos leidimo išdavimas) gali būti įteisintas nepritarus visiems statinio baigtumą vertinusiems asmenims; 5) komisijai, vertinančiai statybos užbaigimo atitikimą teisės aktams, palikta absoliuti diskrecija neargumentuojant sprendimo nustatyti statybos stabdymo terminą, dėl ko gali susidaryti skirtingos statinio užbaigimo sąlygos.

4. Paminėti teisinio reglamentavimo trūkumai rodo, jog sukurtos statybą leidžiančių dokumentų išdavimo ir jos užbaigimą patvirtinančios procedūros bei atliekama statybos valstybinė priežiūra ne visada užtikrina statybos proceso skaidrumą, teisėtumą, ko pasėkoje, statybas pripažinus neteisėtomis, žalą patiria visuomenė, aplinka ir valstybė, nes neuztikrinama jų interesų apsauga.

Literatūra

1. Aiškinamasis raštas dėl Lietuvos Respublikos statybos įstatymo pakeitimo įstatymo projekto. [interaktyvus], 2017, [žiūrėta 2020.11.12]. Prieiga per internetą: <https://seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAK/TAIS.151442?positionInSearchResults=2&searchModelUUID=ee%201597b6-dd31-46ac-9e1b-5634d94b7cff> ;
2. Aplinkos ministro 2016-11-07 įsakymu Nr. D1-738 patvirtintas statybos techninis reglamentas Nr. STR. 1.04.04:2017 „Statinio projektavimas, projekto ekspertizė“, 94 p., <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/25ec49c2a58311e68987e8320e9a5185>
3. Bielevska J. *Seime – nesutarimai dėl kelių priežiūros finansavimo*. [interaktyvus], 2019, [žiūrėta 2020.02.16], Prieiga per internetą: <https://www.diena.lt/naujienos/verslas/ekonomika/seime-nesutarimai-del-keliu-prieziuros-finansavimo-897970>;
4. Dar vienas D. Grybauskaitės veto: „Statybų įstatymas neturi tapti korupcijos įrankiu“ *Lietuvos rytas*, [interaktyvus], 2018-07-29, [žiūrėta 2021.01.15], Prieiga per internetą: <https://www.lrytas.lt/lietuvosdiena/aktualijos/2009/07/29/news/dar-vienas-d-grybauskaites-veto-statybu-istatymas-neturi-tapti-korupcijos-irankiu--5783785/> ;
5. Lietuvos Respublikos Konstitucinio Teismo 2008 - 01-22 d. nutarimas *Dėl konkursų į valstybės tarnautojų pareigas*, Bylos Nr. 24/07. [interaktyvus], 2008, [žiūrėta 2021.04.21]. Prieiga per internetą: <https://www.lrkt.lt/lt/teismo-aktai/paieska/135/ta483/content> .
6. Lietuvos Aukščiausiojo Teismo 2013 m. kovo 18 d. nutartis Civilinėje byloje Nr. 3K-3-148/2013. [interaktyvus], 2013, [žiūrėta 2020.10.14]. Prieiga per internetą: <http://eteismai.lt/byla/29174096506186/3K-3-312-421/2015/2015.08.17> ;
7. Lietuvos Respublikos Seimo aplinkos apsaugos komiteto 2016.06.08. posėdžio protokolas Nr. 107-P-18, (30,31 punktai). Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAK/bb1010602e1211e6a222b0cd86c2adfc?jfwid=5qig2stsv>
8. Lietuvos Respublikos specialiųjų tyrimų tarnybos „Antikorupcinio vertinimo išvada dėl statybų užbaigimo procedūras reglamentuojančių teisės aktų“ (2020 m. gruodžio 15 d. Nr. 4-01-10307). [interaktyvus], 2020, [žiūrėta 2021.04.154]. Prieiga per internetą <https://eseimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAK/e496aee03ee711eb8c97e01ffe050e1c?positionInSearchResults=1&searchModelUUID=e5eb5bac-7b0d-444b-a72f-4f81388ce3ac>
9. Lietuvos Respublikos statybų įstatymas. *Valstybės žinios*, 1996, Nr. 32-788.
10. Lietuvos Respublikos teisėkūros pagrindų įstatymas. *Valstybės žinios*, 2012-09-22, Nr. 110-5564.
11. Lietuvos Respublikos teritorijų planavimo ir statybos valstybinės priežiūros įstatymas. *Valstybės žinios*, 2013 07-16, Nr. 76-3848.
12. Lietuvos Respublikos viešojo administravimo įstatymas, *Valstybės žinios*, 1999-07-09, Nr. 60-1945.
13. Statybos techninis reglamentas STR 1.02.01:2017 „Statybos dalyvių atestavimo ir teisės pripažinimo tvarkos aprašas. Patvirtintas Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2016 m. gruodžio 12 d. įsakymu Nr. D1-880, TAR, 2016-12-12, Nr. 28703;
14. Šimašius R. Teisėkūra ir teisės socialinis veiksmingumas. *Jurisprudencija*, T.54 (46), Vilnius, 2004, p. 62.
15. Šlapkauskas V. Teisės socialinio veiksmingumo sampratos tyrimas. *Filosofija, sociologija*, LTU, 2002, Nr.1
16. Transparency International “The Anti-Corruption Plain Language Guide” [interaktyvus], 2009, Prieiga per internetą: <https://www.transparency.org/en/glossary>
17. Vaišvila A. Teisės teorija, *UAB „Justitia“*, 2004, p. 457.
18. Valstybės audito ataskaita. *Statybos leidimų išdavimas ir statybos proceso atitiktis nustatytiems reikalavimams*. 2019 m. birželio 11 d. Nr. VA-2 [interaktyvus], 2019, [žiūrėta 2020.09.15]. Prieiga per internet: [file:///C:/Users/Kestas/Downloads/Ataskaita Statybos leidimu isdavimas.p](file:///C:/Users/Kestas/Downloads/Ataskaita%20Statybos%20leidimu%20isdavimas.p)
19. Valstybinės teritorijų planavimo ir statybos inspekcijos prie Aplinkos ministerijos 2020 m. veiklos planas, patvirtintas Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2020 m. balandžio 15 d. įsakymu Nr. D1-220. [interaktyvus], 2020, [žiūrėta 2021.02.16]. Prieiga per internetą: [https://vtpsi.lrv.lt/uploads/vtpsi/documents/files/VTPSI%202020%C5%B3j%C5%B3%20met%C5%B3%20veiklo%20planas\(1\).pdf](https://vtpsi.lrv.lt/uploads/vtpsi/documents/files/VTPSI%202020%C5%B3j%C5%B3%20met%C5%B3%20veiklo%20planas(1).pdf) .
20. Vitkauskas K. Savavališkų statybų padarinių šalinimo aspektai. *Viešoji politika ir administravimas*, 2016, T. 15, Nr.1, p, 70-85.

EFFECTIVENESS OF PUBLIC MANAGEMENT OF CONSTRUCTION IN THE CONTEXT OF THE PRINCIPLES OF LEGISLATIVE OPENNESS AND TRANSPARENCY

Summary

Based on the analysis of legal acts, the article seeks to reveal the effectiveness of public management of construction in the context of the principles of legislative openness and transparency. To this end, the article discusses the concept of

public management of the construction process, examines the effectiveness of legal regulation of construction permit issuance and construction completion procedures.

The article is of the opinion that the efficiency and transparency of the construction sector activities are largely determined by the way legislator forms the goal and idea of the legal regulation of the construction process, as well as by perception of the problem, knowledge of whether the planned regulation will serve the public interest or only individual groups. These objectives can be achieved by creating a legal framework for the construction sector in strict compliance with the principles of legislation, which express the imperative requirements for legal entities.

The investigation revealed that the established procedures for issuing construction permits and construction completion, as well as public supervision of construction, do not always ensure the transparency and legitimacy of the construction process, as a result of which, once construction is declared illegal, society, the environment and the state suffer as their interests are not protected.

Keywords: public management of construction, construction permit, construction completion

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Kęstutis Vitkauskas

Mokslo laipsnis ir vardas: Humanitarinių mokslų daktaras, socialinių mokslų docentas

Darbo vietą ir pozicija: Kauno technikos kolegijos Kelių inžinerijos studijų programos docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: teisė ir viešas administravimas.

Telefonas ir el. pašto adresas: kestutis.vitkauskas@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Kęstutis Vitkauskas

Science degree and name: doctor, associated professor.

Workplace and position: Associate Professor of Road Engineering study programme at Kaunas University of Applied Engineering Sciences.

Author's research interests: law and public administration

Telephone and e-mail address: kestutis.vitkauskas@edu.ktk.lt

MALTO DOLOMITO ĮTAKA SAVAIME ATSINAUJINANČIO BETONO ILGAAMŽIŠKUMUI

Darius Mlečka, Ernestas Ivanauskas
Kauno technologijos universitetas

Anotacija

Šiame darbe yra tiriama malto dolomito įtaka savaime atsinaujinančio betono fiziniams ir mechaniniams savybėms bei ilgaamžiškumui. Nauji betonai savo fiziniams savybėms turėtų būti geresni negu įprastas betonai bei būti ilgaamžiškesni. Kad tai iširti buvo atlikti vandens nelaidumo, vandens filtracijos betone bandymai ir šalčio atsparumo prognozavimas. Atlikus bandymus buvo nustatyta, kad bandiniai su kristalinių priedais lyginant su kontroliniais bandiniais be kristalinių priedų pasižymėjo 46,15 % geresniu vandens nelaidumu, kai tuo tarpu bandiniai kuriuose buvo 10% cemento pakeista dolomitu pasižymėjo 16,9 % geresniu vandens nelaidumu. Pagal vandens nelaidumą bandymą buvo nustatytas vandens filtracijos koeficientas per betoną K_f $5 \cdot 10^{-11}$ - $1 \cdot 10^{-10}$ cm/s, kuris parodo didelį vandens nelaidumą betone. Betono šalčio atsparumo prognozavimo metodika buvo nustatyta, kad betonai su kristaliniu priedu ir 10 % cemento pakeistu malto dolomitu pasižymėjo 48 % geresniu atsparumu šalčiui ciklais lyginant su kontroliniais bandiniais.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Dolomitas, kristalinių priedas, filtracijos koeficientas

Įvadas

Betonas yra viena pagrindinių statybinių medžiagų pasaulyje, o jo gamyba neatsiejama nuo cemento gamybos. Cemento gamyba pasauliniu mastu užima vieną pirmųjų vietų pramonėje, kuri labiausiai teršia aplinką išskirdama į orą anglies dioksidą. Dėl šios priežasties yra ypač aktualūs savaime atsinaujinančio betono tyrimai, kurie gali padėti sukurti naujo tipo betoną. Betono gamyboje naudojant įvairiausių priedus ir keičiant dalį paties cemento kitomis medžiagomis galima pakeisti jo fizines savybes ir taip sumažinti cemento kiekį, sunaudojamą pasauliniu mastu. Betono didesnis ilgaamžiškumas sąlygotų mažesnę cemento gamybą ir naudojimą laikui bėgant.

Darbo tikslas: iširti malto dolomito įtaką savaime atsinaujinančio betono ilgaamžiškumui.

Tyrimo objektas: iširti naujo betono fizines ir mechanines savybes.

Uždaviniai:

1. Atlikti vandens prasiskverbimo per betoną bandymus.
2. Nustatyti vandens per betoną filtracijos koeficientą.
3. Atlikti šalčio atsparumo ciklais prognozavimo skaičiavimus.

Tyrimo metodai:

1. Vandens prasiskverbimo bandymai pagal LST EN 12390-8 standartą.
2. Vandens per betono filtracijos bandymas pagal GOST 12730.5:2018 standartą.
3. Šalčio atsparumo prognozavimas ciklais pagal GOST 12730.4-78 standartą.

Yra atlikta nemažai tyrimų su savaime atsinaujinančiu betonu naudojant bakterijas bei grybus, tačiau tyrimų su tokiu betonu naudojant kristalinius priedus yra sąlyginai nedaug. Yra ypač nedaug tyrimų tiriant savaime atsinaujinantį betoną su kristalinių priedais šalčio atsparumo tema. Kadangi vanduo yra viena pagrindinių medžiagų ardančių betoną, vandens prasiskverbimo gylio irgi turi būti nustatytas atliekant vandens prasiskverbimo bandymus.

Atlikus bandymus ir sukūrus betoną, kurio gamybai būtų galima panaudoti antrines pramonės atliekas, jomis pakeičiant dalį cemento, būtų galima sumažinti pasaulinę taršą anglies dioksidu. Pasiekus daug efektyvesnį savaiminį atsinaujinimą su kristalinių medžiagomis būtų prailgintas konstrukcijų eksploatavimo laikas kas taip pat duotų ekonominę naudą ir leistų sutaupyti gamtos išteklius.

Naudotos medžiagos ir tyrimo metodai

Buvo gaminami 4 skirtingų kompozicijų betono mišiniai. Pirmą sudėtis tai kontrolinis bandinys be kristalinių priedų ir malto dolomito. Antra sudėtis su kristaliniu priedu, trečia su 10% cemento pakeistu dolomitu ir 4 sudėtis kai pakeista 20% cemento dolomitu. 1 lentelėje pateiktos bandinių sudėtys:

1 lentelė

Bandinių sudėtys

Medžiagų santykis bandinyje (vienam kubui)				
Sudėties nr.	K	KP	KPD10	KPD20
Cementas CEM I 42.5 N, kg.	350	350	315	280

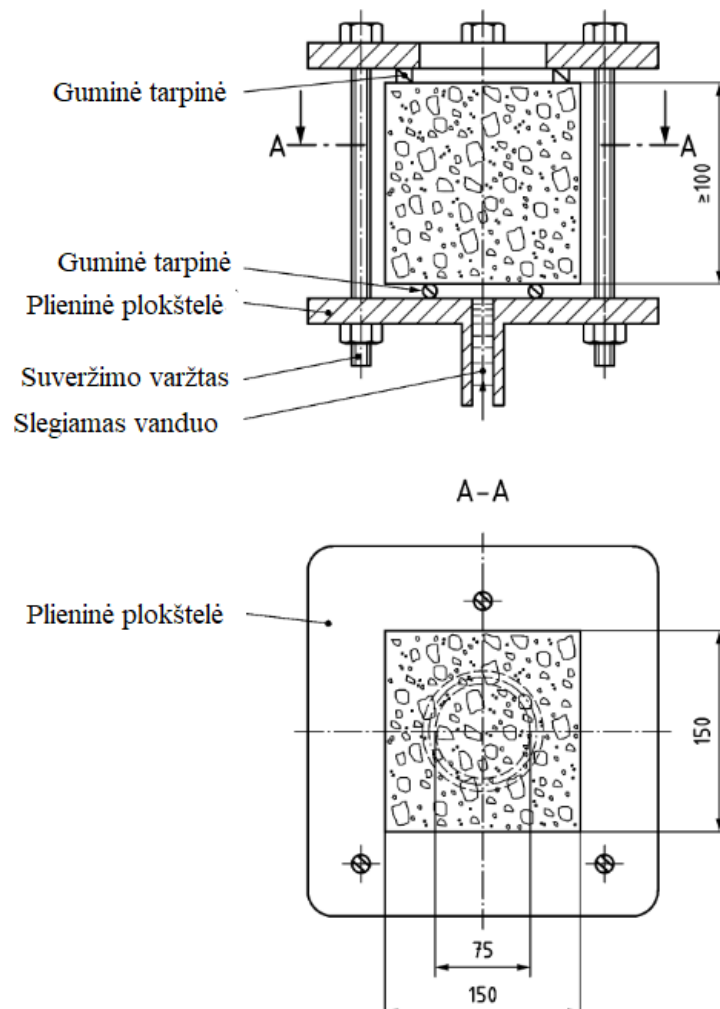
Medžiagų santykis bandinyje (vienam kubui)				
Smėlis fr. 0/4, kg	890	890	890	890
Žvirgždas fr. 4/16, kg	990	990	990	990
Vanduo, kg	157.5	157.5	157.5	157.5
Superplastiklis ViscoCrete D-187, kg	3.5	3.5	3.5	3.5
Betocrete CP-360 WP, kg	-	2.8	2.8	2.8
Maltas dolomitas, kg	-	-	35	70

Šaltinis: sudaryta autoriu.

Vandens įsiskverbimo gylį veikiant slėgiui bandymas

Bandiniais K, KP, KPD10, KPD20 buvo tirti nustatant vandens įsiskverbimo gylį veikiant slėgiui pagal LST EN 12390-8 standartą. Atliekant tyrimą buvo norima nustatyti kristalinių priedų įtaką vandens prasiskverbimui betone. Tyrimui buvo naudojami 150 mm aukščio betono bandiniai, po 90 parų kietėjimo. Prieš atliekant bandymą bandiniai 1 parą buvo išlaikyti orasausėje laboratorijos aplinkoje, o bandymui atlikti buvo naudojamas bandymo stendas matomas 2 pav. Iš kurio galima matyti, kad atliekant bandymą vandens slėgis veikia bandinį iš apačios 500 kPa slėgiu su 50 kPa paklaida 3 paras.

Praėjus 72 h nuo bandymo pradžios bandiniai buvo išimti iš bandymo stendo ir perskelti pusiau išilgai bandymo metu besiskverbiančiam vandeniui. 1 pav. pateikta bandymo schema ir matoma vandens skverbimosi kryptis. Perskėlus bandinius nebuvo pastebėtas vandens prasiskverbimas, todėl bandymas buvo kartojamas tokiomis pačiomis sąlygomis, išskyrus bandymo metu naudotą slėgį, kuris buvo pakeistas į 1,2 MPa. Pakartojus bandymą ir vėliau perskėlus bandinį rezultatai buvo nustatyti linioje 1 mm tikslumu išmatuojant giliausiai į bandinius prasiskverbusio vandens gylį.



1 pav. Vandens įsiskverbimo bandymo schema.

Šaltinis: LST EN 12390-8 standartas



2 pav. Vandens įsikverbimo į betoną bandymo stendas ir vandens prasiskverbimo gylio nustatymas.

Šaltinis: sudaryta autorių.

Vandens filtracijos koeficiento K_f nustatymas

Vandens filtracijos koeficientas K_f gali būti nustatomas tiesiogiai matuojant deaeruooto vandens prasifiltravimą per betono bandinį, esant tam tikram pasirinktam vandens slėgiui, arba šis koeficientas gali būti nustatomas netiesiogiai – priskiriant tam tikrą filtracijos koeficiento atitiktens reikšmę (cm/s) atlikus vandens nelaidumo markės W bandymą pagal LST 1974:2012, priedas O, arba vandens įsikverbimo gylio į betoną bandymą pagal LST EN 12930-8 ir sulyginant gautus duomenys pagal GOST 12730.5:2018 standartą.

2 lentelė

Filtracijos koeficientas K_f

Filtracijos koeficientas K_f , cm/s	Betono vandens nelaidumo markė W
Nuo $7 \cdot 10^{-9}$ iki $2 \cdot 10^{-8}$	W2
Nuo $2 \cdot 10^{-9}$ iki $7 \cdot 10^{-9}$	W4
Nuo $6 \cdot 10^{-10}$ iki $2 \cdot 10^{-9}$	W6
Nuo $1 \cdot 10^{-10}$ iki $6 \cdot 10^{-10}$	W8
Nuo $5 \cdot 10^{-11}$ iki $1 \cdot 10^{-10}$	W10-W14
iki $5 \cdot 10^{-11}$	W16-W20

Šaltinis: GOST 12730.5:2018 standartas.

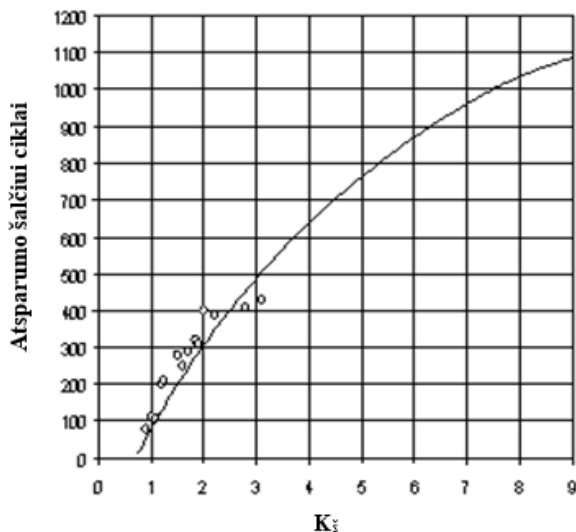
Vandens įgerties ir atsparumo šalčiui pagal poringumą nustatymas betone

Šiame bandyme buvo vertinamas betono atsparumas šalčiui pagal poringumą. Bandymui atlikti buvo naudojami bandiniai su indeksais K, KP, KPD10, KPD20. Kiekvienai skirtingai bandinio sudėčiai tirti buvo naudojama po keturis bandinius. Bandymo pagrindą sudaro sausų bandinių pasvėrimas ir vandens įgerties nustatymas po 15 min., 1 valandos, 24 valandų, 48 valandų, bandinio masės nustatymas vandenyje. Bandymas buvo atliktas remiantis GOST 12730.4-78 standarte pateikta metodika, pagal kurią galima prognozuoti betono atsparumą šalčiui ciklais pagal betono šalčiui atsparumo kriterijų K_s , kuris išreiškiamas formule:

$$K_s = \frac{P_u}{0,09P_a} \quad (1)$$

čia: P_u - uždaras betono poringumas (įtrauktas oras betono mišinyje ir kontrakcinės poros); P_a - atviras integralinis betono poringumas (kapiliarinės poros); P_u , - kuris apytiksliai lygus oro kiekiui betono mišinyje ir P_a , randami eksperimentiškai pagal rusų mokslininko Šeikino pateiktas metodikas. Iš formulės 1 išraiškos matoma, kad betono atsparumas šalčiui yra priklausomas nuo betono atviro poringumo, kurį nulemia vandens ir cemento santykis, bei oro kiekio betone, kurį atitinka uždaras poringumas betone. Didinant įtraukto oro kiekį betono mišinyje, didėja betono atsparumas šalčiui. Tai patvirtina daugelis skirtingų autorių atliktų eksperimentų. Remiantis šiuo atsparumo šalčiui kriterijumi betonas yra laikomas šalčiui atsparus, kuriame

rezervinių porų tūris didesnis už vandens, esančio betono porose, tūrio prieaugį, virstant jam ledu. Eksperimentais yra nustatyta betono atsparumo šalčiui ciklų skaičiaus priklausomybė nuo įtraukto oro kiekio. Bendroji šios priklausomybės išraiška pateikta 3 pav.



3 pav. Betono atsparumo šalčiui priklausomybė nuo atsparumo šalčiui kriterijaus K_3 .

Šaltinis: GOST 12730.4-78 standartas.

Tyrimo rezultatai

Atliekant vandens nelaidumo bandimą buvo perskelti bandiniai bei išmatuotas maksimalus vandens įsiskverbimo gylis ir gauti tokie rezultatai, pavaizduoti 3 lentelėje:

3 lentelė

Vandens įsiskverbimo rezultatai

Sudėtis:	Maksimalus įsiskverbimo gylis, (mm)
K	13
KP	7
KPD10	10,8
KPD20	13,5

Šaltinis: sudaryta autorių.

Pagal gautus rezultatus matoma, kad vandens įsiskverbimo gylis svyruoja nuo 7 mm iki 13,5 mm, todėl betoną galima laikyti vandeniui nelaidžiu. Pagal LST EN 12390-8, betonas yra nelaidus vandeniui, kai vandens ir cemento santykis neviršija 0,6 ir cemento kiekis ne mažesnis kaip 280 kg/m^3 ; vidutinis vandens įsiskverbimo į jį gylis bandant ne mažiau kaip trijų ėmimų bandinius turi būti mažesnis kaip 20mm, o didžiausias vandens įsiskverbimo gylis turi neviršyti 50 mm. Bandiniai KP su kristalizaciniu priedu pasižymėjo geriausiu nelaidumu vandeniui, kuris buvo 46,15 % geresnis lyginant su kontroliniais bandiniais. Naudojant 10 % dolomito, laidumas vandeniui buvo 16,9 % mažesnis lyginant su kontroliniais bandiniais. Bandiniuose KPD10 ir KPD20 laidumas vandeniui padidėjo lyginant su bandiniais KP, todėl galima daryti išvadą, kad kuo daugiau naudojama dolomito miltelių, tuo bandiniai labiau yra laidus vandeniui.

Atlikus bandymą pagal LST EN 12390-8 ir nustatius vandens nelaidumo per betoną markę buvo nustatytas vandens filtracijos koeficientas pagal GOST 12730.5:2018 6 lentelę, kai vandens nelaidumo markė W10-W14 atitinka vandens filtracijos koeficientą $5 \cdot 10^{-11} - 1 \cdot 10^{-10} \text{ cm/s}$. Tai rodo didelį vandens nelaidumą betone.

Atliekant betono šalčio atsparumo ciklais prognozavimą buvo išmatuota po 4 bandinius kiekvienai skirtingai betono sudėčiai. Matavimus apėmė sausų bandinių pasvėrimas bei vandens įgerties matavimas po tam tikro laiko ir bandinių svėrimas vandenyje. Atlikus matavimus iš bandinių duomenų buvo išvesti vidurkiai ir buvo apskaičiuoti kiti fizikiniai dydžiai, reikalingi prognozuoti betono atsparumą šalčiui, ciklais. Gauti rezultatai pateikti 4 lentelėje:

Betono prognozuojamas atsparumas šalčiui

Bandinio Nr.	Bendras poringumas, %	Atviras poringumas, %	Uždaras poringumas, %	α	λ	Atsparumo šalčiui kriterijus, Kš	Prognozuojamas atsparumas šalčiui, ciklais
K	13,09	9,23	3,86	0,39	0,91	1,49	~201
KP	13,05	9,22	3,83	0,41	1,01	1,51	~204
KPD10	14,94	9,25	5,69	0,58	0,55	1,94	~298
KPD20	15,02	11,56	3,46	0,33	1,12	1,42	~184

Šaltinis: sudaryta autorių.

Apibendrinant gautus rezultatus, matyti, kad vidutinių porų dydžio rodiklis λ kinta nuo 0,55 iki 1,01 ir yra mažesnis už vertę 1,50. Tai rodo kad visi bandiniai turi vidutinio didumo porų ir turi ganėtinai gerą atsparumą šalčiui. Tačiau bandinys KPD10, kurio $\lambda=0,55$, turi daugiausiai smulkių porų lyginant su kitais bandiniais, kas įtakoja šio bandinio 48 % didesnį atsparumą šalčiui, ciklais, negu kontroliniai bandiniai. Porų pasiskirstymo pagal dydį rodiklis α kinta nuo 0,33 iki 0,58, kas rodo, kad bandiniuose yra skirtingas atvirų ir uždarų porų pasiskirstymas. Bandiniuose KPD10 uždarų porų kiekis yra 48,7 % didesnis negu kontroliniuose bandiniuose. Kuo rodiklis α artimesnis 1,0, tuo betonas yra atsparesnis užšalimo ir atšilimo ciklams.

Išvados

1. Vandens prasiskverbimo bandymai veikiant 1,2 MPa slėgiui parodė, kad visi bandiniai yra nelaidūs vandeniui, tačiau lyginant kontrolinius bandinius, betonas K P su kristaliniu priedu buvo 46,15 % mažiau laidus vandeniui. Į bandinius patekęs vanduo sureagavo su kristaliniiais priedais, dėl ko susidarė kalcio karbonato junginiai, kurie nulėmė mažesnę vandens laidumą per betoną.
2. Pagal GOST 12730.5:2018 6 lentelę nustatytas vandens filtracijos per betoną koeficientas $5 \cdot 10^{-11} \cdot 10^{-10}$ cm/s.
3. Betono šalčio atsparumo prognozavimo metodika buvo nustatyta, kad betonas su kristaliniu priedu ir 10% cemento pakeistu maltu dolomitu pasižymėjo 48 % geresniu atsparumu šalčiui ciklais, negu kontroliniai bandiniai.

Literatūra

1. Al- Ansari M.; Abu-taqa Ala. G.; Hassan Marva M.. *Performance of Modified Self-Healing Concrete with Calcium Nitrate Microencapsulation*. ISBN - 0950-0618. DOI - <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.152>.
2. Bengson N. P.; Hang Keung L.; Ho Ch. W. *Silica-Based Self-Healing Microcapsules for Self-Repair in Concrete*. DOI - 10.1002/app.43090.
3. GOST 12730.4-78. Betonai. Akytumo nustatymo metodai.
4. GOST 12730.5:2018. Betonai. Vandens nelaidumo nustatymo metodai.
5. Hans-Wolf R.; Jooss M. *Permeability and Self-Healing of Cracked Concrete as a Function of Temperature and Crack Width*. ISBN - 0008-8846. DOI - [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01099-2](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01099-2).
6. Jiang Zh.; Wenting L.; Zhengvheng Y. *Influence of Mineral Additives and Environmental Conditions on the Self-Healing Capabilities of Cementitious Materials*. ISBN - 0958-9465. DOI - <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.11.014>.
7. Jiang Zh.; Wenting L.; Zhengvheng Y. *Self-Healing of Cracks in Concrete with various Crystalline Mineral Additives in Underground Environment*. DOI - 10.1007/s11595-014-1024-2.
8. LST EN 12390-8:2019. Sukietėjusio betono bandymai. 8 dalis. Vandens įsiskverbimo gylysis veikiant slėgiui.
9. Luo J.; Xiaobo Ch.; Crump J. *Interactions of Fungi with Concrete: Significant Importance for Bio-Based Self-Healing Concrete*. , 10 March 2018, 2018 Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061817326399> ISBN 0950-0618. DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.233>.
10. Manoj Kumar C. *Thermal Analysis on Self-Healing Concrete using Poly Vinyl Alcohol*. DOI - 10.1080/01430750.2018.1531260.
11. Qureshi T.; Kanellopoulos A. *Autogenous Self-Healing of Cement with Expansive Minerals-I: Impact in Early Age Crack Healing*. DOI - 10.1016/j.conbuildmat.2018.10.143.
12. Restuccia L.; Reggio A.; Andrea Ferro G. *New Self-Healing Techniques for Cement-Based Materials*. ISBN - 2452-3216. DOI - <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2017.04.016>.

13. Roig Flores M.; Serna P.; Moscato S. *Self-Healing Capability of Concrete with Crystalline Admixtures in Different Environments*. ISBN - 0950-0618. DOI - <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.091>.
14. Sahmaran M.; Yildirim G.; Erdem. T. *Self-Healing Capability of Cementitious Composites Incorporating Different Supplementary Cementitious Materials*. , January 2013, 2013 Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946512001771> ISBN 0958- 9465. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.08.013>.
15. Sukhotskaya S.; Mazhorova V. P.; Terekhin Yu. N. *Effect of autogenous healing of concrete subjected to periodic freeze-thaw cycles*. ISBN - 1570-1468. DOI - 10.1007/BF01427180.
16. Wang X.; Fang Ch.; Dawang L. *A Self-Healing Cementitious Composite with Mineral Admixtures and Built-in Carbonate*. ISBN - 0958-9465. DOI - <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.05.013>.

THE INFLUENCE OF GROUND DOLOMITE ON THE DURABILITY OF SELF-HEALING CONCRETE

Summary

This research investigates influence of ground dolomite to self-healing concrete physical, mechanical properties and durability. New concrete should have better physical properties than normal concrete and should be more durable. Water penetration test, water filtration coefficient K_f and frost resistance prediction calculations were made to investigate new concrete properties. After research it was established that specimens with crystalline additives have had 46,15 % better water resistant, while specimens with 10 % concrete replaced with dolomite have had 16.9 % better water resistant comparing with control specimens. According to water penetration test, water filtration coefficient through concrete $K_f 5 \cdot 10^{-11} - 1 \cdot 10^{-10}$ cm/s was established and it shows strong concrete water resistant. After frost resistance prediction methodics calculations was established that concrete with crystalline additives and 10% concrete replaced with ground dolomite have had 48 % better frost resistance in cycles comparing with control specimens.

KEYWORDS: dolomite, crystalline additives, filtration coefficient.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas ir pavardė: Darius Mlečka.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras.

Darbo vieta ir pozicija: Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: architektūra, statybos technologijos, medžiagų technologijos, pastatų konstrukcijos.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 60357829, dariusmlecka1@gmail.com

Autoriaus vardas ir pavardė: Ernestas Ivanauskas

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.

Darbo vieta ir pozicija: Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas, Statybinių medžiagų ir konstrukcijų tyrimų centras, direktorius

Autoriaus mokslinių interesų sritys: medžiagų technologija

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 610 26652, ernestas.ivanauskas@ktu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Darius Mlečka.

Science degree and name: master.

Workplace and position: Kaunas University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture.

Author's research interests: architecture, building technologies, material technologies, building constructions.

Phone and e-mail address: 8 60357829, dariusmlecka1@gmail.com

Author name, surname: Ernestas Ivanauskas.

Science degree and name: doctor, assoc. Prof.

Workplace and position: Kaunas University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture, director of Research Center for Building Materials and Construction

Author's research interests: material technologies

Phone and e-mail address: 8 610 26652, ernestas.ivanauskas@ktu.lt

SPECIALAUS KĖLIMO ĮTAISO STABILUMO ANALIZĖ

Jelena Selivonec^{1,2}, Aleksandr Vika²

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

Anotacija

Energetikos pramonės srityje naudojami kėlimo įtaisai su tikslųjų krovinio pozicionavimu. Tiltiniai kranai gaminami pagal individualius užsakovo techninės užduoties reikalavimus. Darbe taikomas baigtinių elementų metodas, naudojant Autodesk Inventor programinę įrangą. Sudarytas tiltinio kranų teleskopinio kėlimo įtaiso modelis leidžia analizuoti įtempių pasiskirstymus bei poslinkius.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Teleskopinis kėlimo įtaisas, automatinis pozicionavimas, svyravimų slopinimas, tiltinis kranas, baigtinių elementų metodas.

Įvadas

Tam tikrose pramonės srityse naudojami kėlimo įtaisai su tiksluoju krovinio pozicionavimu. Tokie įrenginiai projektuojami, užtikrinant konstrukcijos stabilumą. Taip pat turi būti slopinami svyravimai, norint tiksliai pernešti ar nuleisti krovinį.

Šiame straipsnyje nagrinėjamas tiltinio kranų su teleskopinių kėlimo įtaisu stabilumas. Tiltiniai kranai gaminami pagal individualius užsakovo techninės užduoties reikalavimus. Dažniausiai tai yra vienetinės gamybos produkcija.

Daug tyrimų atliekama analizuojant tiltinių kranų patikimumą ir ilgaamžiškumą. Feau et al., 2015, remdamiesi eksperimentinių ir analitinių tyrimų paliginimais bei gautais skaičiavimo rezultatais, pasiūlė supaprastintą tiltinio kranų modelį tik su keliais laisvės laipsniais. Mokslininkai sukūrė sijų elementų skaitinį modelį, kuriame įvertinamos smūginės apkrovos ir trintys bei yra galimybė tirti kranų tilto atsaką į žemės drebėjimą.

Kuriant skaitinius modelius tyrėjai dažnai pasitelkia kompiuterines programas. Nemažai dėmesio skiriama tiltinių kranų vertikalioms deformacijoms. Kaip valdyti vertikalią deformaciją įtaką kranų konstrukcijos elementų svyravimams, Yongming et al. 2018, pasiūlė kranų vežimėlių sistemos tamprųjį dinaminį modelį, kurio pagrįstumą patikrino „Mathlab“ programinio paketo pagalba.

Kranų konstrukcijos ilgaamžiškumas priklauso nuo atskirų jos elementų ilgaamžiškumo. Geometrinių veiksnių įtaką tiltinio kranų veleno gedimams nagrinėjantis Zambrano et al., 2014, parodė standartų laikymosi svarbą projektuojant pleištinę jungtis. Dėka sudaryto baigtinių elementų modelio demonstruojama, kaip išvengti didelės įtempių koncentracijos.

Kranų svyravimams mažinti naudojami specialūs įrenginiai. Wu et al., 2020, sudarė matematinį modelį, įgalinantį nagrinėti dvigubą švytuoklinį kraną su išskirstytos masės sijomis. Čia pagal gautus sijų svyravimus, sudaromos skaičiavimo lygtys optimaliajam anti-svyravimo valdymo metodui parinkti.

Tiltinio kranų kreipiamųjų konstrukcijų susidėvėjimas dažnai pasitaiko techninėje praktikoje ir yra nepageidaujamas, nes sumažina kėlimo mechanizmo patikimumą. Kulka et al., 2020, pateikė eksperimentinę ir skaičiavimo analizę, kurį buvo atlikta siekiant iširti didelį kranų kreipiamosios konstrukcijos nusidėvėjimą, būtent, kai kėlimo įranga naudojama realiai ją eksploatuojant.

Atlikta literatūros analizė rodo pramoninių kranų įtempių ir deformacijų nagrinėjimo aktualumą.

Straipsnyje pateikta sudaryto skaičiuojamojo modelio poslinkių bei maksimaliųjų Mizeso įtempių pasiskirstymo analizė.

Tyrimo objektas – teleskopinis kėlimo įtaisas.

Tyrimo tikslas – analizuoti teleskopinio įtaiso poslinkius, užtikrinant konstrukcijos stabilumą, stiprumą ir standumą

Uždaviniai: sudaryti teleskopinio kėlimo įtaiso skaičiuojamąjį modelį; rasti atskirų dalių įtempių reikšmes; nustatyti poslinkius.

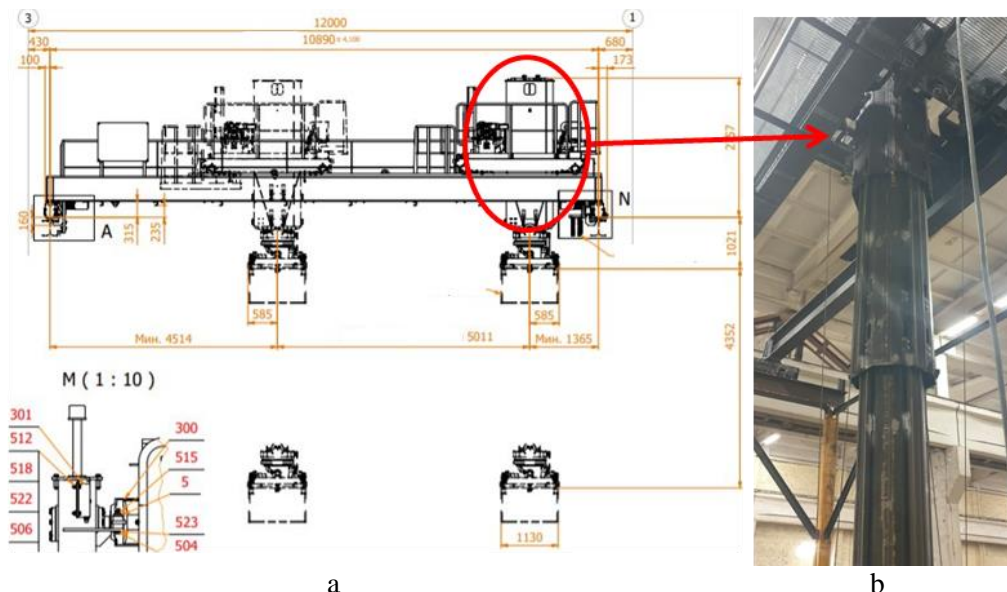
Darbe buvo taikomas baigtinių elementų metodas.

Sudarytas tiltinio kranų teleskopinio kėlimo įtaiso modelis leidžia analizuoti įtempių bei deformacijų pasiskirstymus.

Skaičiuojamasis modelis

Priklausomai nuo pramoninio kranų darbo pobūdžio specifikos, keliamoji galia būna įvairi. Mūsų analizuojamojo kranų keliamoji galia yra 2 t. Kėlimo įtaiso viršutinės sekcijos išoriniai matmenys ~ 1,13 m × 3 m. Visą teleskopinį kėlimo įtaisą sudaro trys sekcijos.

Skaičiuojamasis modelis buvo sudarytas naudojant Autodesk Inventor programinę įrangą [4]. Iš medžiagų bibliotekos parinkome S355J2 plieną. Modelio medžiagos mechaninių savybių rodikliai: tamprumo modulis 210 GPa; medžiagos sustiprėjimo modulis 1,49 GPa; Puasono koeficientas 0,3; takumo riba 345 MPa. Ir S235JR plieną, kurio takumo riba 207 MPa.



1 pav. Tiltinio krano teleskopinis kėlimo įtaisas: a – bendras tiltinio krano vaizdas; b – teleskopinis kėlimo įtaisas

Šaltinis: sudaryta autorių

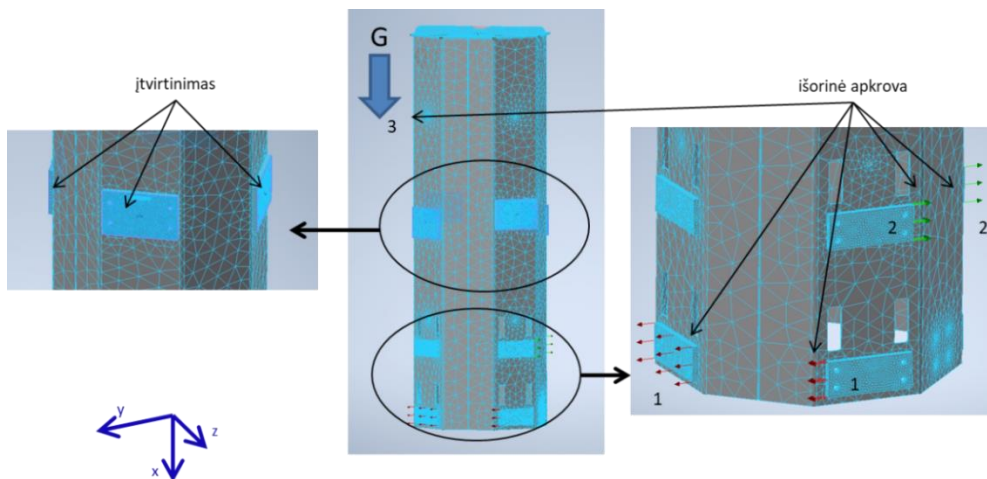
Sudarytas erdvinis modelis buvo suskaidytas tetraedro formos tūriniais elementais. Kiekvienas mazgas turi tris poslinkių komponentes (Barauskas R. ir kt. 2004)

Skaičiuojamasis modelis buvo apkrautas pastoviomis jėgomis. Apkraunant modelį jėgos buvo pridėtos skersai teleskopinio kėlimo įtaiso sekcijos, taip imituojant inercijos jėgas, atsirandančias perkeliant krovinį. Lentelėje 1 galima pastebėti, kad nemažą dalį apkrovos sudaro ir konstrukcijos savasis svoris. Apkrovos buvo parinktos, vadovaujantis ISO 8686-1 standartu.

1 lentelė

Teleskopinio kėlimo įtaiso apkrova

apkrovos vieta	jėgos dedamoji pagal x ašį, N	jėgos dedamoji pagal y ašį, N	jėgos dedamoji pagal z ašį, N
1	-	8000	-
2	-	-8000	-
3	5666	-	-



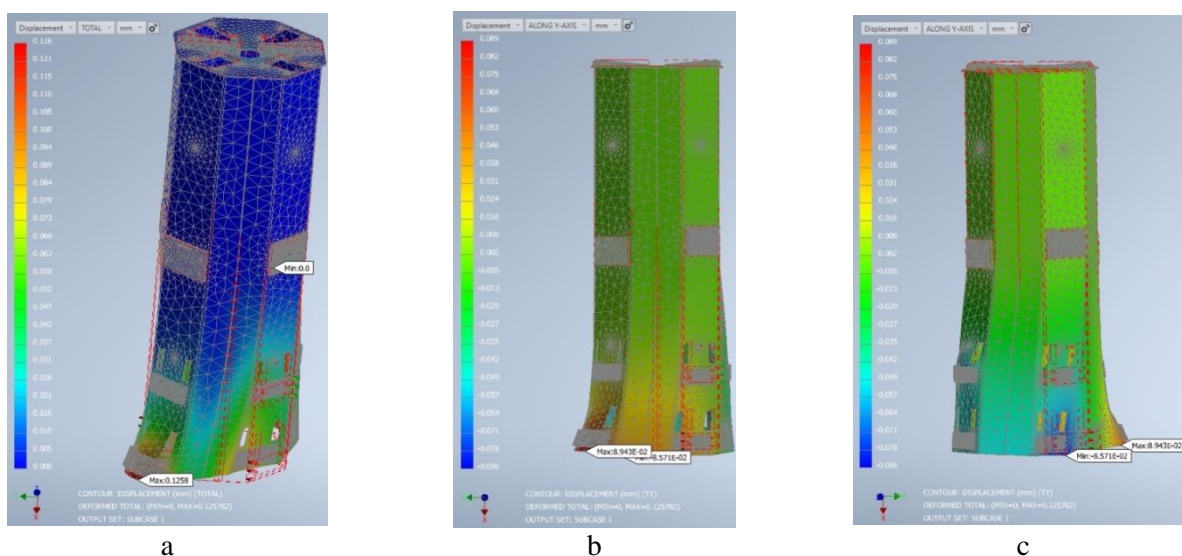
2 pav. Tiltinio krano teleskopinio kėlimo įtaiso skaičiuojamasis modelis su kraštinėmis sąlygomis

Šaltinis: sudaryta autorių

Išorinių apkrovų pridėjimo vietos nėra atsitiktinės. Būtent čia pirmasis teleskopinio įtaiso segmentas liečiasi su antruoju segmentu, jam būnant išskleistoje padėtyje. Standusis įtvirtinimas pasirinktas dėl kėlimo įtaiso tvirtinimo prie kranų vėžimėlio keturiose vietose (pav.2). Sprendžiamas statinis uždavinys.

Skaičiavimo rezultatai ir jų analizė

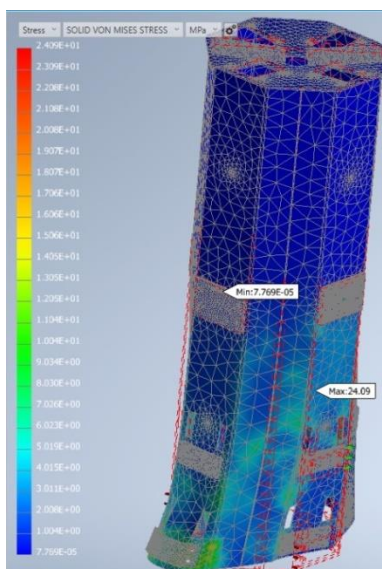
Nagrinėjant kėlimo įtaiso stabilumą svarbiausias parametras yra skersiniai poslinkiai (3 pav.). Gauti rezultatai rodo, kad didžiausi poslinkiai vyksta y ašies kryptimi (3b, c pav). Todėl, kad mes sudarytame modelyje įvertinome tik krovinio perkėlimą kartu su kranu tiltu. Bet sudarytas skaičiuojamasis modelis leidžia nagrinėti krovinio perkėlimą visomis judėjimo kryptimis. Paveiksle 3a galima matyti, kad didžiausias suminis poslinkis vyksta labiausiai nuo įtvirtinimo nutolusiame pjūvyje ir sudaro apie 0,13 mm.



3 pav. Poslinkių pasiskirstymas teleskopinio kėlimo įtaiso pirmajame segmente

Šaltinis: sudaryta autorių

Maksimalių Mizeso įtempių pasiskirstymas parodė, kad labiausiai apkrauta vietą pirmame segmente nutolusi segmento apačios per trečdajį jo aukščio (4 pav.). Dėl priešingomis kryptimis veikiančių skersinių jėgų maksimalūs įtempiai atsiranda ne prie įtaiso įtvirtinimo vietos.



4 pav. Maksimalių Mizeso įtempių pasiskirstymas teleskopinio kėlimo įtaiso pirmajame segmente

Šaltinis: sudaryta autorių

Įtempių reikšmės iki 10 kartų mažesnės už naudojamų medžiagų takumo ribą, dėl kėlimo įtaisų gaunamų apkrovų darbo metu. Nes jo paskirtis ne kelti krovinį, o stabilizuoti jo padėti perkėlimo metu. Mažųjų įtempių srityje galioja Huko dėsnis (Goodno B.J., Gere J.M. 2018).

Išvados

Analizuojant tiltinio kranų teleskopinio kėlimo įtaiso skaičiavimo rezultatus buvo gautos tokios išvados:

1. Maksimalūs poslinkiai neviršija standartų rekomendacijų;
2. Suminis viršutinio kėlimo įtaiso segmento poslinkis sudaro 0,009% gembinės segmento dalies ilgio;
3. Didžiausias poslinkis y ašies kryptimi sudaro 71% suminio poslinkio;
4. Mizeso įtempiai neviršija naudojamų medžiagų leistinųjų įtempių.

Literatūra

1. Barauskas R. et al. *Baigtinių elementų metodo pagrindai*. Vilnius: Technika, 2004.
2. Feau C. et al. *Experimental and numerical investigation of the earthquake response of crane bridges*. Engineering Structures. 2015. 84, 89 – 101
3. Goodno B.J., Gere J.M. *Mechanics of materials*. Boston, MA : Cengage Learning, 2018.
4. HYPERLINK „[http:// www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)“ [autodesk.com](http://www.autodesk.com) [žiūrėta: 2021-02-10]
5. Yongming B. et al. *Research on Elastic Dynamic Model of Trolley System for Anti-sway Control System of Bridge Crane*. Procedia CIRP. 2018. 78, 285 – 288
6. ISO 8686-1:1989 Cranes — Design principles for loads and load combinations — Part 1: General
7. Kulka J. et al. *Failure analysis concerning causes of wear for bridge crane rails and wheels*. Engineering Failure Analysis. 2020. 110, 104441
8. Wu Q. et al. *Dynamic analysis and time optimal anti-swing control of double pendulum bridge crane with distributed mass beams*. Mechanical Systems and Signal Processing. 2020, 144, 106968
9. Zambrano O. A. et al. *Failure analysis of a bridge crane shaft*. Case Studies in Engineering Failure Analysis. 2014. 2(1) 25 – 32

ANALYSIS OF THE STABILITY OF A SPECIAL LIFTING DEVICE

Summary

Lifting devices with precise load positioning are used in the energy industry. Bridge cranes are manufactured according to the individual requirements of the customer's technical task. The finite element method is used in this work. Autodesk Inventor software is applied. The developed model of the telescopic lifting device of the bridge crane allows to analyze the stress distributions and displacements.

Key words: telescopic lifting device, automatic positioning, oscillation damping, overhead crane, finite element method.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Jelena Selivonec.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktarė, docentė

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

Autoriaus mokslinių interesų sritys: baigtinių elementų metodo taikymas konstrukcijų elementų skaičiavimuose.

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

Autoriaus vardas, pavardė: Aleksandr Vika.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras

Darbo vietą ir poziciją: Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Technikos fakulteto Mechanikos inžinerijos katedros lektorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: konstrukcijų elementų kompiuterinis modeliavimas

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 676 00473, a.vika@vtdko.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Jelena Selivonec.

Science degree and name: doctor, associate professor.

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering Faculty, Applied Mechanics Department Associate Professor.

Author's research interests: application of finite element method in calculations of structural elements.

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

Author name, surname: Aleksandr Vika.

Science degree and name: master.

Workplace and position: Vilnius Technology and Design College, Technical Faculty Mechanical Engineering Department Lecturer.

Author's research interests: computer modeling of structural elements

Telephone and e-mail address: +370 676 00473, a.vika@vtdko.lt

A FORECAST ANALYSIS FOR ADOPTION OF AUTONOMOUS AND CONNECTED FREIGHT VEHICLES IN LITHUANIA

Nalina Hamsaiyni Venkatesh

Kaunas University of Technology, Department of Transport Engineering

Abstract

Experimentation and studies are in progress to achieve on road Connected and Autonomous Mobility (CAM) in reality. The different aspects and scenarios of the physical and digital infrastructure of the system are being analysed to be fed as a potential variable to train decision making of such vehicles. This research particularly focuses on the adoption of this concept of CAM in the freight vehicle sector in Lithuania. Bass model analysis is used to determine the adoption of the CAM enabled freight system based on the historical sales statistics. Different parameters and scenarios that affect the sales and market of CAM freight system are analysed to obtain an overview of sales forecast to plan ahead before the market fluctuations. Bass model fails to include failure of innovation cases and cases where mass critical reach is not achieved. These factors have been taken into considerations and possible solution outcome are discussed to handle such situations to retain or improve the market with strategies.

KEY WORDS: Bass diffusion model, Connected and Auttonomous Mobility (CAM), Freight Vehicles, Sales Forecast, Market Scenario Analysis.

1. Introduction

The global need for improvement in mobility technology has given birth to Connected and Autonomous Mobility(CAM) which is revoluzationing the transportation future(Ainsalu, 2018). European Countries are making progress in determining the scope of these vehicles in reality. The autonomous vehicles are being tested in some parts of Europe on road (Litman, 2019). The physical and digital infrastructure integration is being advanced with every scenario consideration to upgrade the decision making capbilities of the autonomous vehicles with respect to the weather, road and traffic conditions. These vehicles are expected to exhibit high level of decision making while analysing appropriate parameter of the analysed conditions (Kassens-Noor et al., 2020). The population of Lithuania has been steadily increasing despite the increased rate of death over the years. The increase in population directly reflects the need for in flow of more goods and services (Statistics Lithuania, 2018). Thus resulting in increased import and export good exchange. These factors have greatly influenced the increase in number of freight vehicles in Lithuania over the years. The sales trend and market growth of Lithuania in the transport sector has been increasing steadily (Statistical Yearbook of Lithuania, 2019). With respect to the freight vehicles, the increasing trend has continued with increase in population. There are several reasons to why CAM can be advantageous of which the main reason would be the reduced labor charges and the operational costs involved when employed a human (Bosch, 2018). The reason why CAM adoption will be beneficial in the freight vehicle sector is that it can help eliminate the time wasted due to legal law legislation on the maximum number of driving hours for a driver will not be applicable in the case of a CAM vehicle. The established legislation and laws for on road autonomous vehicles have not been framed as the determination of certain factors are beyond imagination. The reality of autonomous vehicles on road is unimaginable as the features and parameters details have not been clearly elaborated by any autonomous vehicle building organization (Jaller et al., 2019).

There are several studies and predicting models to create a forecast of the adoption of new technologies in the market. In transportation and mobility sector are in research to develop CAM. Many researchers have contributed towards predicting the outcome of these various technologies under different scenarios using different prediction models.(Ismail and Abu, 2013; Simpson et al., 2019; McManus et al., 2016; Kolar and Lindstorm, 2018; Wells, 2013; Fritschy and Spinler, 2019; Monois, 2020; Kaltenhauser et al., 2020). The adoption of autonomous taxis in Germany was studied by using a discrete dynamic model by analysing variables every year (Kaltenhäuser, 2020). The looped system dynamics model was used as the prediction was more accurate to sensitive set of parameters and variables involved in the prediction model. The study significantly shows that the autonomous taxis will be adopted by the market at a particular rate despite the factor of customizing and advertising based on the customer feedbacks. The introductory phase of this technology will be slow and is assumed to be a period of 15 years without any accelerating factors (Kaltenhäuser et al., 2020). The market trend can be altered with improvements strategically to achieve increased rate which will result in higher costs. The research also covers a survey of the population of people who showed interest to readily accept the technology and trusting the change, which was mostly men. The figures have being discussed to conclude that the market adoption will be steady and is achievable with positive parameters into consideration (Kaltenhäuser et al., 2020).With new technologies proposals in market, as Mobility is treated as a service for passenger transport many transforming enhancements are being developed

everyday. Wherein such advancements with respect to freight vehicles have not been discussed enough to come up with strategic ideas. The adoption of autonomous electric vehicles in the freight sector can completely revolutionize when they incorporated with fully smart network and a non-ownership model (Pedraza, 2017). The model and plan of the new logistics system along with the business model has been discussed to furnish the study results. It is concluded that the successful implementation of this system will definitely abolish the product based system in existence (Monios and Bergqvist, 2020).

A Delphi-based situation study to explore the impact of autonomous trucks in market in the near future. The research states that the industries should be more vigilant to the change in technology in future and must adapt their policies with the stakeholders and partner companies and motivate their adoption towards the change as it will directly reflect on the business aspect of the industry. The steady adoption and gradual movement contributing towards the future technology must be considered in order to survive in the market with changing trends as investing in the future would be an appropriate decision for a futuristic industry (Fritschy and Spinler, 2019). Electric Autonomous Vehicles (EAVs) and Autonomous Vehicles (AVs) employed model are being created to handle intermodal transport between nodes. The EAVs are considered to be employed in a short intermodal link on geographic routes which can be achieved by a single full charge drive. The general safety policy, regulations and establishing of the modal nodes are discussed along with the potential challenges (Monios and Bergqvist, 2019). The challenges in the existing automotive industry and the status of sustainability of the industry is discussed as a case in research. The major constraints that contribute towards challenges are the economic, social and environmental impacts. The research strongly states that there is a need for creating new business models that has a strong innovation quotient to achieve a leap in the increasing demand in the industry (Wells, 2013).

2. Main Objectives

The objective of this study is to determine the adoption rate towards a new technological introduction to the transportation market in Lithuania. Using Bass diffusion business model as a predicting or forecasting tool to determine the expected trend of market capture for the introduction of CAM in freight vehicle sector. Bass diffusion business model is based on the analysis of the sales trend with respect to the market potential being considered as two categories of audiences based on the time required for them to show interest towards a new technology. The immediate adopters are called the innovators and the slow adopters are termed as the imitators which is governed by the factor of word of mouth. The model can be made complex by including other factors such as advertising, marketing and so on that affect the sales. The basic model is used to analyse the values of coefficient representing the different sales scenarios. Several researchers have adopted this model to obtain forecasts of the outcome assuming different scenarios and how it could possibly affect the market trend (Simpson et al., 2019). New technologies with merely no historical data of sales can be analysed in two: 1) Compare with a similar model or product and its sale having an uncertainty factor, 2) Generate sales predict using a sales of the first year of introduction for the market potential. The method of analysing sales data history of a similar technology in the market for its market trend has been adopted generally in several research papers with uncertainty factors. The Bass diffusion model is employed as a robust model with the available historic data to adopt to the new technology. In research, to launch a new call model which was similar to an existing model in the market was analysed using the Bass diffusion model to obtain the sales forecast outcomes (Ismail and Abu, 2013).

3. Methodology

The geographical analysis for Lithuanian transportation was done to determine the challenges and potential outcomes of implementing new technologies such as CAM and Electric Vehicles (EVs). The context of policy and technical aspects were analysed with available data of the EVs penetration in market. The potential aspects of scope was determined by a SWOT analysis which clearly shows that the weakness is the lack of OEM manufacturing industries, prevalence of old vehicle market, low purchasing population, high global rates of EVs and their parts, lack of municipality initiatives. On the brighter side, the opportunities are looking for new technology development in transportation and to support them by employing strategic business models to reduce the dependency on petroleum products (Raslavičius et al., 2015).

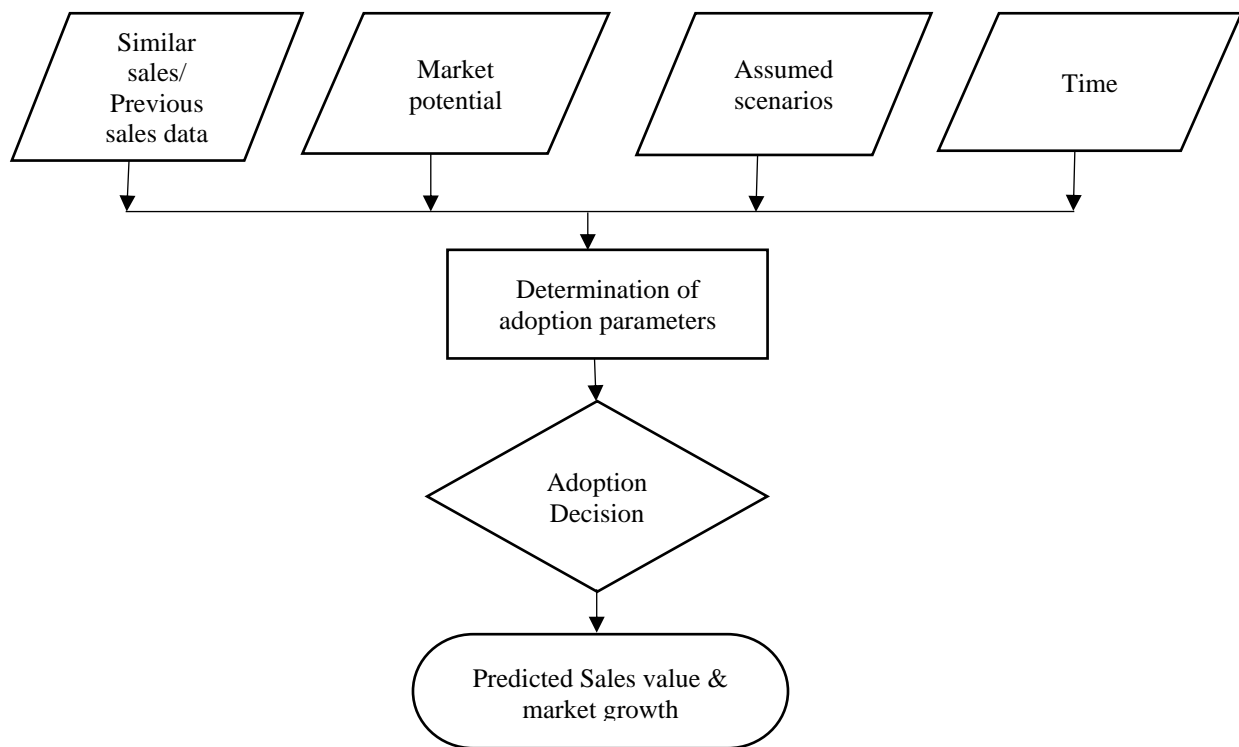


Fig.1 Process Flow

With these earlier discussion into consideration, a statistical data accumulation was done to analyze the market trend of freight vehicles in Lithuania. The numericals are important to determine the status of the country in specific transport section (Statistical Yearbook of Lithuania, 2018). The number of freight vehicles registered at the end of every year was obtained from sources as denoted in Fig.1. The graph shows that the number of freight vehicles are gradually and steadily increasing every year due to the increased population and increased need of transportation of goods from one place to another Fig.1. Despite the other means of transportation such as air and waterways, the road freight vehicles are the most popular is due to the fact that there are relatively cheaper in cost and required the least amount of time for transportation in comparison to the others. This clearly explains the steady increase in the freight vehicles with the country’s growing economy and population. The number of freight vehicles registered for the first time at the end of every year denotes the sales. These figures were determined as shown in Fig.2 (Statistical Yearbook of Lithuania, 2018).

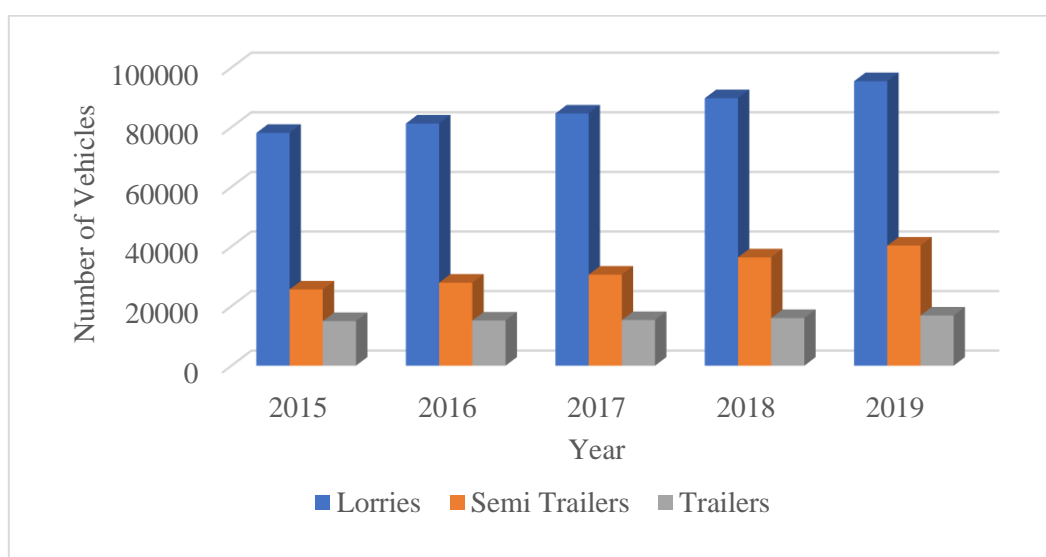


Fig.2 Number of vehicles Vs year

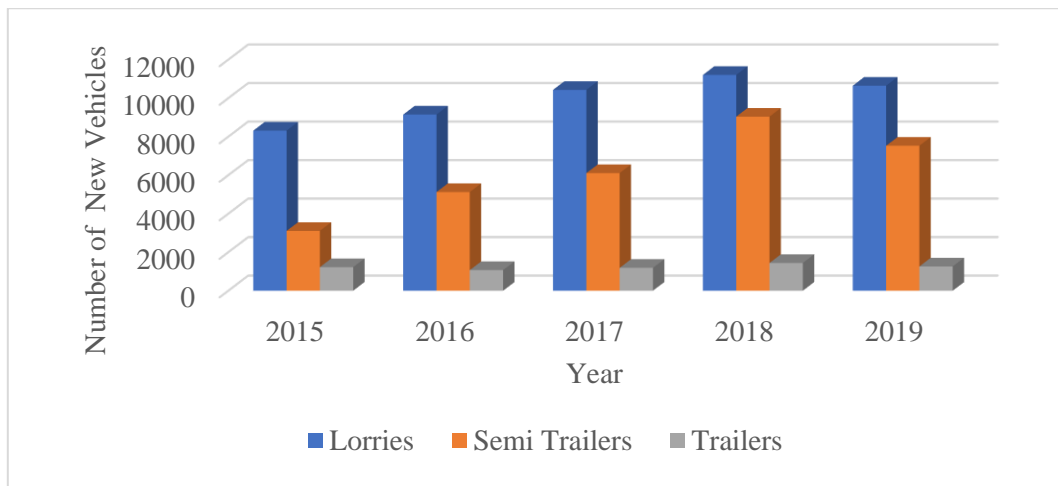


Fig.3 Number of new vehicles Vs year

The graph clearly denotes that the number of freight vehicles have been increasing to attain a peak and once the peak is achieved the trend decelerates gradually as the market saturation point was achieved. In general any business is expected to have a introductory phase, peak phase or saturation phase, post saturation phase. With trend in a business the sales curves usually forms a S-shape, starting at the lowest point in the introductory phase. Similar trend can be observed in the graph Fig.2. Clearly this shows the trend in the market is increasing with time, the sales in the year 2019 seems to decline as it was year of global auto sales declension. However these data are sufficient to study the trend and analyse the adoption of CAM freight vehicles and its opportunities. For the pupose of study, freight vehicles by road that is lorries, semi-trailers and trailers data are taken and analysed.

4. Market Forecast

The general market forecast analysis was performed on excel using the forecast function to obtain an overview of the expected sales without the consideration of the model parameters and scenarios to acquire the approximate deviation in sales that can be expected. The sales forecast curves predict the outcome of sales.

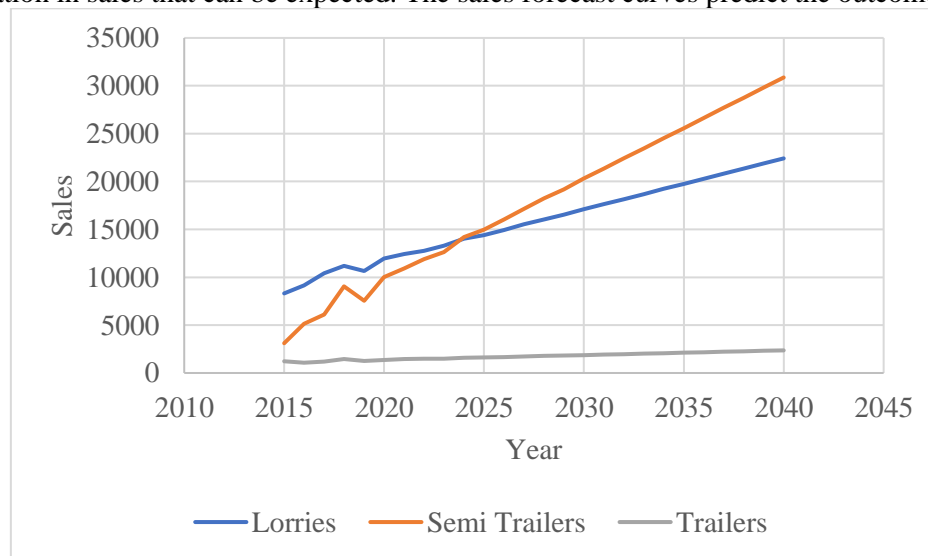


Fig.4 Sales forecast

This forecast shows that the sales of the freight vehicles on road will increase with time despite the factors. The increasing population and needs justifies the increase in sales. Similarly the market trend for this forecast was obtained to analyse the fluctuations in the market.

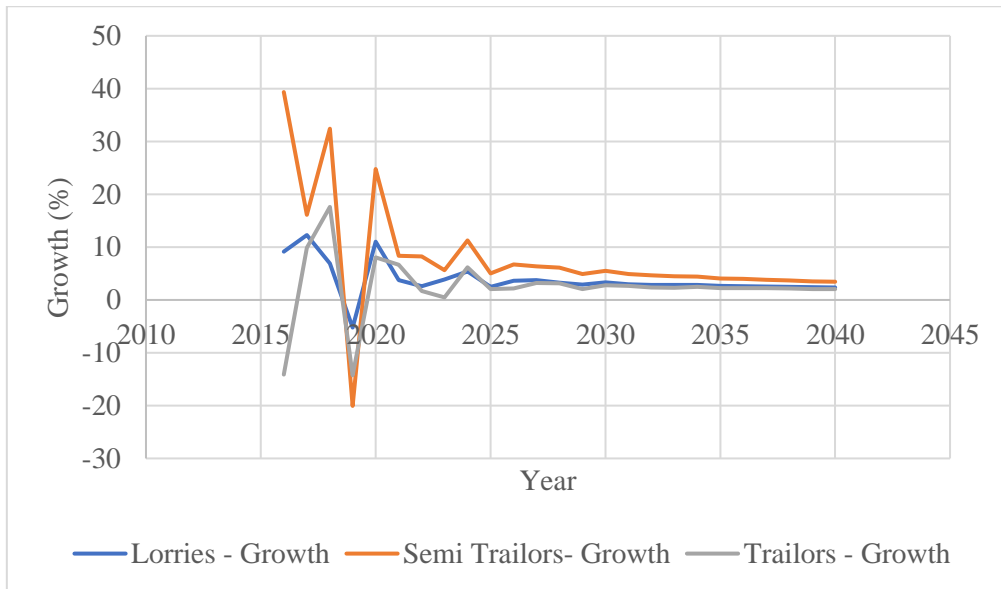


Fig.5 Market growth

The market trend graph traces a curve that drastically declines in the year 2019, which denotes the global auto sales declension after which the market is expected to improve. The peak in the forecast values in the year 2020 is due to the huge leap in sales compared to the declension year. Hence this year is not considered to be the peak sales period. It can be addressed as the recovery year. The next peak is denoted as the peak period of the sales which is expected in the year 2024 according to this prediction. Beyond the year 2024, the sales seems to gradually decline as the market is saturated. During the saturation period, the industries usually come up with new models or upgraded versions of the vehicle to accelerate the sales once again to gain market. To understand the fluctuation in the market and predict the outcome to plan a alternate strategy, this sales is analysed using a bass business model. The uncertainty percentage expected in sales with respect to the forecast of the market growth was analysed. An appromation of 2% of the market uncertainty can be expected in model and that seems to be more or less equal to the predicted numbers.

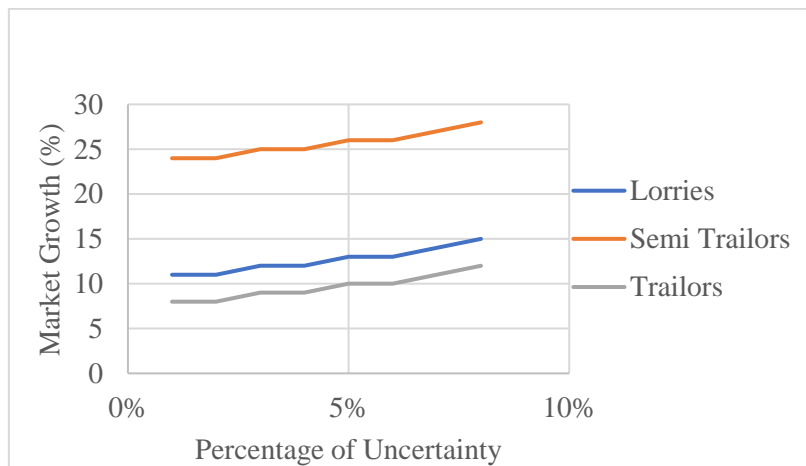


Fig.6 Uncertainty in market

5. Bass diffusion model

The bass diffusion model estimates number of adopter of a new technology or a product based on diffusion of innovations theory that includes various parameters such as relative advantage, observability, reinventability, trialability, compatibility and complexity. The adopters are determined based on the two consolidated parameters of discussed factors namely innovators and imitators. (Simpson et al., 2019) The group of audience who respond immediately to a new product without the review or feedback of a previous users are called the innovators and the set of audience who are driven my previous adopters are termed as the imitators. The rate of adoption and the number of adoptors at n^{th} year can be determined using the formula as stated below,

$$n(t) = p * [m - N(t)] + \left(\frac{q * N(t)}{m}\right) * [m - N(t)]$$

Where $n(t)$ is the number of adopters at time t with a market potential of m , $N(t)$ cumulative adopters at time t , p is the coefficient of adoption of innovators and q is the coefficient of adoption of imitators. With this equation, the model prediction can be made using different values of p and q where it can be stated that $0 \leq p, q \leq 1$ (Ismail and Abu, 2013; Simpson et al., 2019). For a business model analysis, p ranges from 0-0.03 and q ranges from 0.3-0.5 of which 0.38 is said to be idealistic value. For this purpose of study three different values of each set is of p and q is considered as a case and the prediction for the sales outcomes are calculated to analyse the market trend as shown in Table 1.

Table 1

Parameter Description of Futuristic Scenarios

Description	Assumed Scenarios	p Value	q Value
Case 1	Steady advertising and marketing of the vehicle and it's features	0.01	0.35
Case 2		0.01	0.4
Case 3		0.01	0.5
Case 4	Steady advertising and marketing of the vehicle and it's features with additional discounts	0.02	0.35
Case 5		0.02	0.4
Case 6		0.02	0.5
Case 7	Accelerated advertising and marketing of the vehicle with added feature to enhance safety	0.03	0.35
Case 8		0.03	0.4
Case 9		0.03	0.5

The bass model was used for the mentioned combination of parameters to determine the forecasted sales quantity of the freight vehicles by road in Lithuania. The forecasted sales figures represent the adoption of the freight vehicle by the market potential despite the external factors with respect to the accelerating values of increase in population and need for freight vehicles. The obtained forecasted sales quantities was plotted as a graph for which the market growth was also determined for every year. For this study, the bass model was applied to lorries, semi-trailors, and trailers for the nine cases as explained in the Table 1. The various predicted sales figures were plotted against the year as a graph to determine the trend of effect of the diffusion model parameters. From all the obtained graph it is evident that the parameters great affect the capture of market and the peak sales duration varies with the parameter and intial sales values. The forecasted sales quantity graph is as shown in Fig.6.

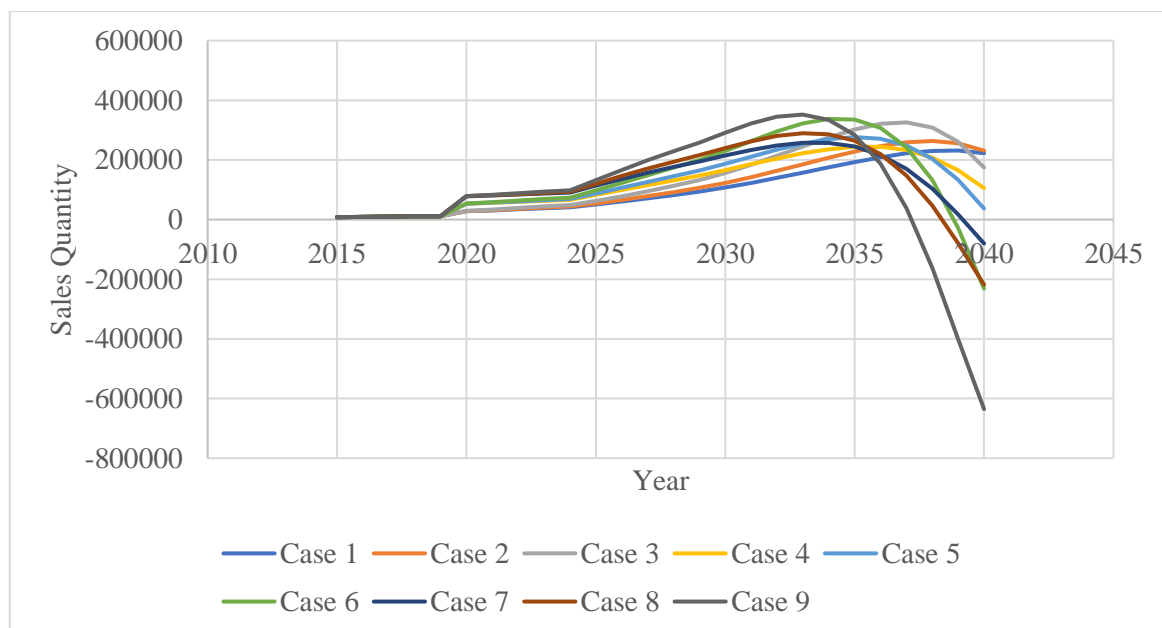


Fig.6 Sales prediction for lorries

The sales quantity curve depends on the p and q parameters and the effect of the parameters can be seen in the graph, the graph tends to have early peak point when the q values are greater and tend to have a quicker

sales fall. From the graph and trend in Lithuania with respect to the sales observed , We can conclude that the most ideal values of parameter are cases 1 and 2 for a steady business.

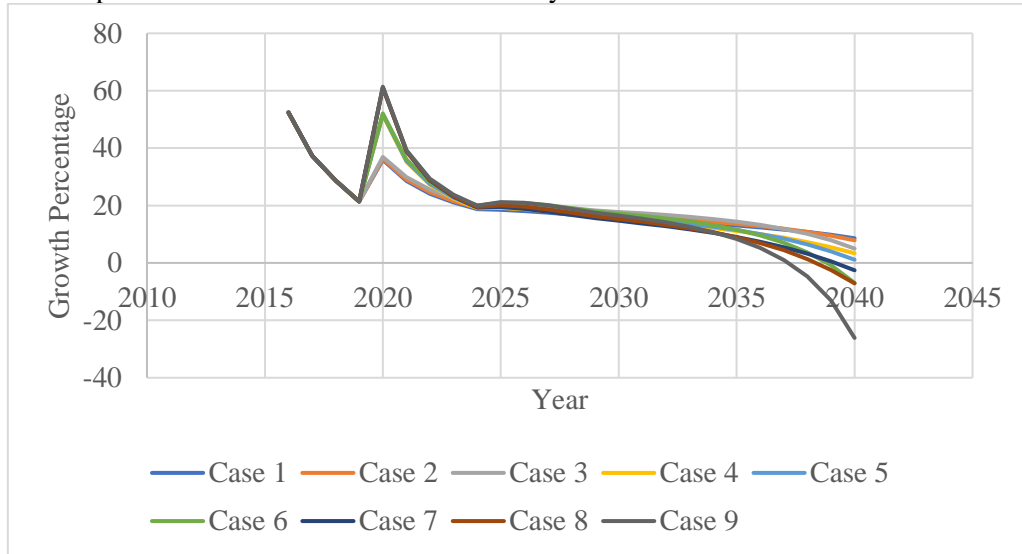


Fig.7 Market growth prediction for lorries

The market growth is based on the sales quantities obtained from the bass model calculation as shown in Fig.7 . These two graphs can be used to analyse the trend of freight vehicle market in Lithuania and have prediction of how the sales would reflect in certain scenarios to have a measure of industries can come up with new features and technologies for implementation on road. For which the CAM has been in considered in most of the countries in European Union. The cost analysis, market analysis, challenges, regulations and so on have been addressed and discussed in different researches (Bosch, 2018; Raslavičius et al.,2015; Kautshcau et al., 2021; Zhuge and Wang, 2021; Kulmala et al., 2018; Hancock et al., 2019; Hansson, 2020; Dokic et al., 2020). With th relevant research study, it was inportant to determine the most used freight vehicle by road in Lithuania to consider the upgradation of technology. Hence the same study conditions was applied to both the sales trends of semi trailers and trailers to compare and determine the outcomes. The obtained graphs are as shown in Fig. 8,9,10,11.

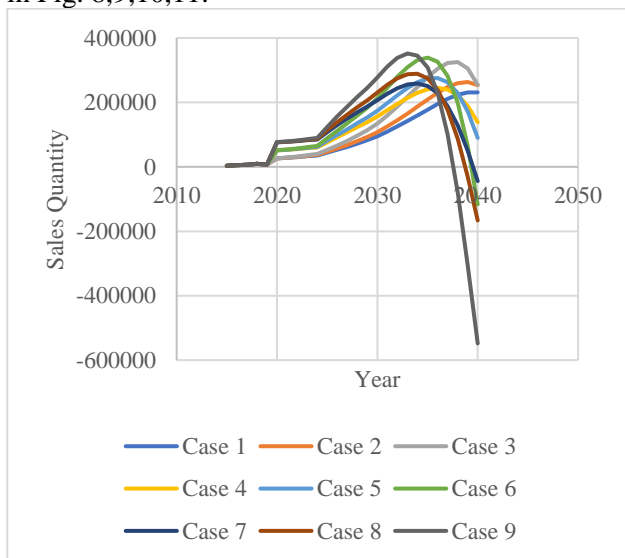


Fig.8 Sales quantity prediction for semi trailers

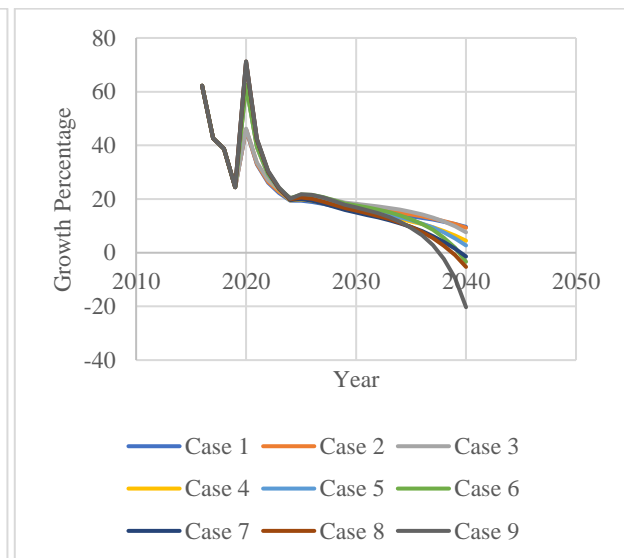


Fig.9 Market growth prediction for semi trailers

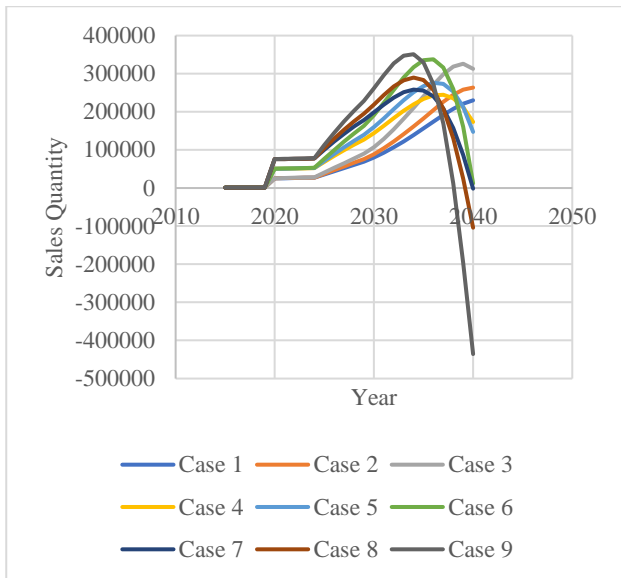


Fig.10 Sales quantity prediction for trailers

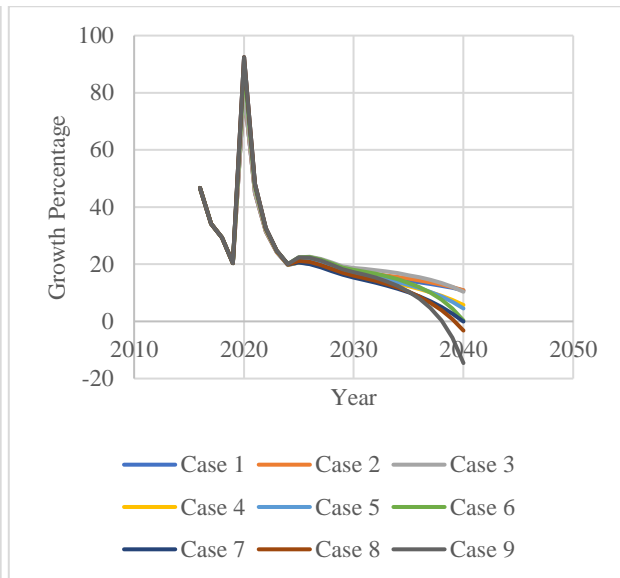


Fig.11 Market growth prediction for trailers

6. Discussion and Conclusion

With trend analysis and sales quantity analysis by using the prediction values, it is evident that the freight vehicles are greatly affect the transfer of goods from one place to another in Lithuania. The numericals clearly show that the need for lorries in a market are more than that of trailers and semi-trailors. As the category of trailers and semi – trailers are not as easy as lorries while it comes to handling. Relatively the use of lorries as the scope of carrying varied goods makes it versatile. Hence, with all these observed data and analysis, the introduction and implementation of the CAM enabled freight vehicles can be a beneficial technological improvement for various reasons. The potential strengths, weakness, opportunities and threats can be analysed using a SWOT analysis method to understand the outcomes better and come up with appropriate plan of action.

Table 2

SWOT ANALYSIS FOR ADOPTION OF CAM ENABLED FREIGHT VEHICLES

<u>Strengths</u>	<u>Opportunities</u>
<ul style="list-style-type: none"> Strong science position in transport and CAM related areas. Research alliance with EU CAM for latest technologies and developments. Steady and constant need of freight system to serve public needs. Strong position in business and IT enabled services. 	<ul style="list-style-type: none"> Reduced dependence on the availability of commercial vehicle drivers. Reduced operational costs, as driver charges can be eliminated. Increased quantity of goods transferred to serve needs better and quicker. Tactical strategy modal planning to obtain efficiency. Improved movement of goods.
<u>Weaknesses</u>	<u>Threats</u>
<ul style="list-style-type: none"> Low purchasing capacity of the population. Expected high cost of CAM enabled vehicles. Taxation of vehicles and potentially raised insurance rates. Existence of secondary automobile market. Lack of OEM and transport based parts manufacturing companies. 	<ul style="list-style-type: none"> Conservative political approach to new technologies. Investments necessary for developing a CAM infrastructure is high. As CAM is under construction, the uncertainty of details such as features, legislation, standards, and parameters. The lack of technicians and their knowledge to handle CAM. The elevated market rate of CAM technology will affect the rate of market capture. Lack of information in the market might lead to rejection of CAM. Alternate fuel technology can affect as they are easier to adopt.

From the graph and trends it is clear that the sales peak of lorries are expected to be in the year 2032, during which alternate strategies can be developed for CAM enabled freight system in Lithuania. The system infrastructure, planning and cost analysis for the proposed implementation of CAM can be analysed to organise and structure the action plans. Several researchers have developed analysis on different aspects of adoption of CAM mobility which can be taken into consideration while performing the same for Lithuania. (Erhart et al., 2019; Hansson, 2020; Kassens-Noor et al., 2020; Litman, 2020; Bosch et al., 2018; Gyergyay et al., 2019).

In this research, The Lithuanian transport market was analyzed to determine the rate of adoption of new technology by using the bass model of diffusion. A relative comparison of the existing freight vehicles sales to a CAM enabled freight system was successfully carried out to determine that the sales and adoption rates that completely lies on the parameter called the imitators and innovators. The effect of parameter was obtained, and any new technological development can be introduced within the period before peak time of the predicted sales of freight as shown in the graphs. It would be ideal for the market to slowly adapt to the change to steadily grow with a newer technology before the current becomes obsolete. A SWOT analysis was performed to obtain the potential outcomes and scope of improvement areas to focus on to make CAM enabled freight system to be successful in Lithuania. Furthermore, the infrastructure planning, strategy planning, cost estimation and so on for CAM enabled freight system in Lithuania can be a huge scope for future work to progress this into a reality before 2032.

References

- [1] Kaltenhäuser B, Werdich K, Dandl F, Bogenberger K. Market development of autonomous driving in Germany. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* [2020;132](#): 882-910.
- [2] Monios J, Bergqvist R. Logistics and the networked society: A conceptual framework for smart network business models using electric autonomous vehicles (EAVs). *Technological Forecasting and Social Change* [2020;151](#): 119824.
- [3] Fritschy C, Spinler S. The impact of autonomous trucks on business models in the automotive and logistics industry—a Delphi-based scenario study. *Technological Forecasting and Social Change* [2019;148](#): 119736.
- [4] Monios J, Bergqvist R. The transport geography of electric and autonomous vehicles in road freight networks. *Journal of Transport Geography* [2019;80](#): 102500.
- [5] Simpson JR, Mishra S, Talebian A, Golias MM. An estimation of the future adoption rate of autonomous trucks by freight organizations. *Research in Transportation Economics* [2019;76](#): 100737.
- [6] Wells P. Sustainable business models and the automotive industry: A commentary. *IIMB Management Review* [2013;25\(4\)](#): 228-239.
- [7] Ismail Z, Abu N. New car demand modeling and forecasting using bass diffusion model. *American Journal of Applied Sciences* [2013;10\(6\)](#): 536.
- [8] Raslavičius L, Azzopardi B, Keršys A, Starevičius M, Bazaras Ž, Makaras R. Electric vehicles challenges and opportunities: Lithuanian review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [2015;42](#): 786-800.
- [9] Pedraza PD. Memorandum of understanding for the implementation of the COST Action IS1004: WEBDATANET, [2017](#).
- [10] Gyergyay B, Chaniotakis E, Louen C, Klar W, Antoniou C. Wider impacts and scenarios evaluation of autonomous and connected transport: the WISE-ACT COST Action. *Transportation Research Procedia* [2019;41](#): 447-449.
- [11] McManus W, Senter R. Market models for predicting PHEV adoption and diffusion. [Technical challenges of plug-in hybrid electric vehicles and impacts to the U.S. power system, Subcontract No. 46827, Task 2c, Final report, 2009.](#)
- [12] Bösch PM, Becker F, Becker H, Axhausen KW. Cost-based analysis of autonomous mobility services. *Transport Policy* [2018;64](#): 76-91.
- [13] KÄutsch R, Martins-Turner K, Ehmke JF, Nagel K. Combining simulation and optimisation to design reliable transportation services with autonomous fleets. *Transportation Research Procedia* [2021;52](#): 59-66.
- [14] Jaller M, Otero-Palencia C, Pahwa A. Automation, electrification, and shared mobility in urban freight: opportunities and challenges. *Transportation Research Procedia* [2020;46](#): 13-20.
- [15] Zhuge C, Wang C. Integrated modelling of autonomous electric vehicle diffusion: From review to conceptual design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [2021;91](#): 102679.

- [16] Kolar E, Lindström L. Future business model for OEMs in the automotive industry business model adaptation based on the role an OEM takes in a future business network. Master thesis. Chalmers University of Technology, 2018.
- [17] Kulmala R, Jääskeläinen J, Pakarinen S. The impact of automated transport on the role, operations and costs of road operators and authorities in Finland. EU-EIP Activity, 4. Finnish Transport and Communications Agency Traficom, 2018.
- [18] Litman T. Autonomous vehicle implementation predictions: Implications for transport planning. Final report, Victoria Transport Policy Institute, 2018.
- [19] Kassens-Noor E, Dake D, Decaminada T, Kotval-K Z, Qu T, Wilson M, Pentland B. Sociomobility of the 21st century: Autonomous vehicles, planning, and the future city. Transport Policy 2020;99: 329-335.
- [20] Hancock PA, Nourbakhsh I, Stewart J. On the future of transportation in an era of automated and autonomous vehicles. Proceedings of the National Academy of Sciences 2019;116(16): 7684-7691.
- [21] Hansson L. Regulatory governance in emerging technologies: The case of autonomous vehicles in Sweden and Norway. Research in Transportation Economics 2020;83: 100967.
- [22] Dokic J, Müller B, Meyer G. European roadmap smart systems for automated driving. European Technology Platform on Smart Systems Integration, 39, 2015. Available from Internet: <<https://www.h2020.md/en/european-roadmap-smart-systems-automated-driving>>.
- [23] Erhart J, Carreras A, Daura X, Innerwinkler P, Reckenzaun J, Ruehrup S, Solmaz S. Novel approaches for analysing and testing the effect of autonomous vehicles on the traffic flow. In proceedings of the 26th ITS World Congress (ITSCWC 2019), Singapore, 2019.
- [24] Lithuania in Europe 2018. Leaflet (in Lithuanian), Statistics Lithuania. September. 2019. Available from Internet: <<https://osp.stat.gov.lt/services-portlet/pub-edition-file?id=33740>>.
- [25] Statistical Yearbook of Lithuania 2019. Statistics Lithuania. November 2019. Available from Internet: <<https://osp.stat.gov.lt/lietuvos-statistikos-metrastis/lsm-2019/izanga>>.

ANALYSIS OF CONTACT MATERIAL OF SINGLE FRICTION PLATE IN CLUTCH SYSTEM

Rengim Özokutgen, Melih Okur

Gazi University, Faculty of Technology, Department of Automotive Engineering

Summary

Many different materials are used in the clutch systems to satisfy different types of clutches. Research on different types of clutch systems and consequently friction materials is still ongoing. The transmission systems are still needed even if the number of electric cars is increasing, because of the effect of the transmission systems on energy efficiency. In this paper, the 3D design and FEA simulation of a single friction plate material in a clutch system are studied.

KEYWORDS: clutch system, material analysis, electric vehicle

Introduction

Alternative energy sources are the way to create a clean and green environment for the world and are used for sources other than fossil fuels, which are commonly used to generate energy (Michaelides, 2012). The alternative energy source implementations are increasing day by day. It is sustainable, even if the high initial cost, maintainability is cheaper than regular dirty energy sources. Germany is one of the best examples of alternative energy usage. Germany planned to produce with the combining all alternative energy sources, like wind, solar, hydro, tidal etc. the electricity production will be 65% in 2030 (Telli et al., 2020).

Europe achieves to decrease in greenhouse gas emissions by 23.45% from 1990 to 2017 (González-Sánchez and Martín-Ortega, 2020). Likewise, the automobiles involved in this change. Hybrid or fully electric cars prefer rather than gasoline and diesel cars. As part of this change, some of the traditional automotive parts have to develop and change to adapt to hybrid or electric cars. Some of the automobile parts are no longer needed, additionally, some of them change in form or material. The part involved in this change is the transmission system. The transmission system is between the engine and the gearbox. Different transmission systems are still in the development phase (Tian et al., 2020; Jinglai et al., 2018; Ruan et al., 2016; Sorniotti et al., 2011; Sorniotti et al., 2012; Maguire et al., 2013; Walker et al., 2015; Walker et al., 2011; Mousavi et al., 2015; Di Nicola et al., 2012). Because of the characteristic of the electric motor that provides high torque even at high speeds without a gearbox. However, the transmission systems are not only used for transferring engine power to the gearbox but also used for creating additional power without lowering the efficiency.

The entire transmission system for internal combustion engines is divided into seven parts which are the clutch, the gearbox, propeller shaft, universal joints, axle, wheel, and tires. However, the only clutch will be investigated in this paper. The clutch system is made of several discs in the transmission system. Around the clutch plates, there are numerous types of friction materials and also patterns that affect the performance and wear of the clutch (Jonoaji et al., 2020; Nyman et al., 2006; Yagi et al., 2015; Jang et al., 2011). There are two different types of clutches: wet clutches and dry clutches. The difference is the fluid inside the transmission system. Dry clutches work with no oil. Wet clutches work with lubricating or engine oil. Oil helps to reduce the friction between plates, reduce heat generation, and increase heat dissipation. Relatively, wet clutches work more silent than dry clutches (Kim and Choi, 2010).

This paper analyzes different wet clutch friction materials with the help of 3D modeling and ANSYS structural and thermal analysis for hybrid or fully electric cars.

Material and Method

The clutch friction disks have similar features to the brake disks. The common brake disk materials and its characteristics are listed below:

Table 1

Characteristics of Materials

Material	Characteristics
Metallic	Low to medium dynamic friction Excellent resistance to heat Excellent durability High compressive strength
Polymeric	High dynamic friction Good resistance to heat Excellent durability

	High compressive strength
Graphitic	Medium dynamic friction Excellent resistance to heat Excellent durability Medium compressive strength
Paper	High dynamic friction Fair to very good resistance to heat Fairly good to very good durability Low to medium compressive strength
Woven	Medium dynamic friction Good resistance to heat Very good durability Medium compressive strength

Source: (Chan and Stachowiak, 2004; Lloyd and DiPino, 1980)

Popescu et al.' mentions that the new electric vehicles can provide 430 Nm peak torque and their highest speed values can reach up to 12000 RPM 95Kw (Popescu et al., 2015). Also, in this paper, uniform pressure theory and uniform wear theory are used (Brar and Bansal, 2010).

$$T = \frac{2 * \mu * (r_o^2 - r_i^2) * F_{upt}}{(r_o^3 - r_i^3)} \quad (1)$$

$$F_{upt} = \frac{3 * T * (r_o^2 - r_i^2)}{2 * \mu * (r_o^3 - r_i^3)} \quad (2)$$

$$P_{upt} = \frac{F}{\pi * (r_o^2 - r_i^2)} \quad (3)$$

For the uniform wear theory;

$$T = \frac{\mu * F_{uwt} * (r_o^2 + r_i^2)}{2} \quad (4)$$

$$F_{uwt} = \frac{2 * T}{\mu * (r_o + r_i)} \quad (1)$$

$$P_{uwt} = \frac{F_{uwt}}{2 * \pi * (r_o - r_i) * r_{mean, effective}} \quad (5)$$

For the heat generation and heat flux; (1)

$$A = \pi * (r_o^2 - r_i^2) \quad (6)$$

$$\omega = \frac{2 * \pi * N}{60} \quad (7)$$

$$Q_{Gain} = \mu * P_{max, intensity} * \omega \quad (8)$$

$$Q_{Flux} = Q_{Gain} * A \quad (9)$$

Even though the hybrid and electric vehicles' working principle is different from the traditional internal combustion engines, the traditional materials can be used for the hybrid vehicles and electric vehicles' clutches in the view of supply and cost. The acceleration of the vehicle differs depending on this principle. Which also leads to the different heat generation and dissipation characteristics. The traditional and new clutch materials that investigated in this paper according to the materials stiffness, coefficient of friction, and heat dissipation characteristics, which are listed below:

Table 2

Properties of Selected Materials

Material	Density (g/cm ³)	Young's modulus (GPa)	Poisson ratio	Ultimate Tensile strength (Mpa)	Coefficient of Friction
Titanium diboride (TiB ₂)	4.50	420	0.108	373.6	0.9
AL6063-T83	2.70	241	0.33	255	0.19
Gray Cast Iron (I)	7.20	124	0.29	400	0.4
AL/T-800	1.80	234.5	0.24	124.1	0.04

Source: (Munro, 2000; Metals handbook, 1990; Holt et al., 1996; Mohammed et al., 2019; Vlack, 1982; Jang et al., 2004; Speich et al., 1980; Chapman and Hatch, 1977; Potluri, 2018; Wei et al., 2015)

Analysis

The model for this paper can be seen in Figure 1.

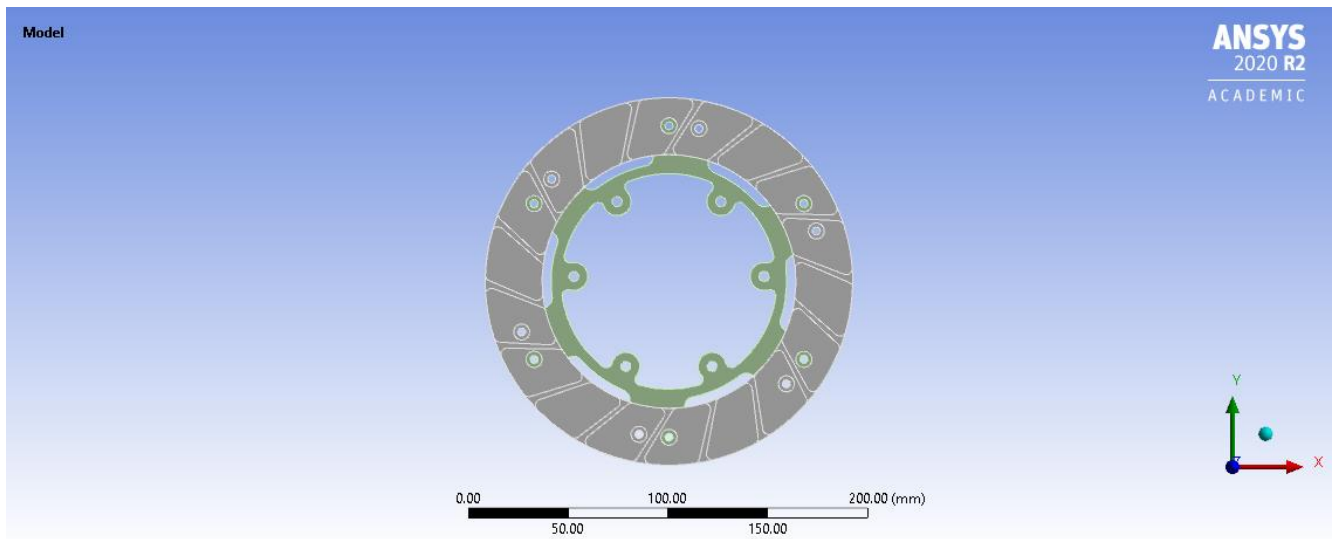


Fig. 1. Clutch Model

According to the results of the formulas (1)-(6) on Matlab, the results of the formulas can be seen in Table 3.

Table 3

Properties of Selected Materials

Material	Uniform Pressure Theory		Uniform Wear Theory		Heat Gen. Watt	Heat Flux Clutch
	F [N]	P [MPa]	F [N]	P [MPa]		
TiB ₂	5653	0.4060	5716.3	0.4060	565.4867	0.0406
AL6063-T83	26778	1.9233	27077	1.9233	119.3805	0.0086
Gray Cast Iron (I)	12719	0.9136	12862	0.9136	251.3274	0.0181
AL/T800	127190	9.1356	128620	9.1356	25.1327	0.0018

According to Table 3's results, ANSYS FEA analysis results can be seen in Table 4 for Uniform Pressure Theory;

Table 4

Total Deformation, Directional Deformation and Equivalent Stress Results for Uniform Pressure Theory

Material	Uniform Pressure Theory								
	Total Deformation			Directional Deformation			Equivalent Stress		
	Maximum	Average	Minimum	Maximum	Average	Minimum	Maximum	Average	Minimum
TiB ₂	4.2517e-003 mm	3.7276e-004 mm	0	4.3158e-004 mm	4.1167e-010 mm	-5.1797e-004 mm	47.909 MPa	2.3126 MPa	2.8517e-012 MPa
AL6063-T83	0.11242 mm	9.5542e-003 mm	0	1.0756e-002 mm	1.2237e-006 mm	-1.3058e-002 mm	196.44 MPa	11.202 MPa	4.342e-011 MPa
Gray Cast Iron (I)	3.5695e-002 mm	3.0592e-003 mm	0	3.4962e-003 mm	2.8081e-007 mm	-4.2191e-003 mm	102.25 MPa	5.5659 MPa	1.6859e-011 MPa
AL/T800	0.17017 mm	1.4672e-002 mm	0	1.6881e-002 mm	9.7558e-007 mm	-2.0315e-002 mm	1088.9 MPa	57.343 MPa	1.2646e-010 MPa

According to Table 3's results, ANSYS FEA analysis results can be seen in Table 5 for Uniform Wear Theory;

Table 5

Total Deformation, Directional Deformation and Equivalent Stress Results for Uniform Wear Theory

Material	Uniform Wear Theory								
	Total Deformation			Directional Deformation (X-Direction)			Equivalent Stress		
	Maximum	Average	Minimum	Maximum	Average	Minimum	Maximum	Average	Minimum
TiB ₂	4.2993e-003 mm	3.7693e-004 mm	0	4.3641e-004 mm	4.5045e-010 mm	-5.2377e-004 mm	57.625 MPa	2.7815 MPa	3.43e-012 MPa
AL6063-T83	0.11368 mm	9.6609e-003 mm	0	1.0876e-002 mm	1.2374e-006 mm	-1.3203e-002 mm	198.63 MPa	11.327 MPa	4.3904e-011 MPa
Gray Cast Iron (I)	3.6096e-002 mm	3.0936e-003 mm	0	3.5355e-003 mm	2.8396e-007 mm	-4.2665e-003 mm	103.4 MPa	5.6285 MPa	1.7049e-011 MPa
AL/T800	0.17208 mm	1.4837e-002 mm	0	1.7071e-002 mm	9.8655e-007 mm	-2.0543e-002 mm	1101.2 MPa	57.988 MPa	1.2788e-010 MPa

According to Table 3's results, ANSYS transient thermal analysis results can be seen in Table 6 for temperature and heat flux;

Table 5

Temperature and Heat Flux results according to the materials

Material	Temperature			Heat Flux		
	Maximum	Average	Minimum	Maximum	Average	Minimum
TiB ₂	281.95 °C	281. °C	276.52 °C	0.35015 W/mm ²	3.6791e-002 W/mm ²	1.5696e-003 W/mm ²
AL6063-T83	433.89 °C	429.26 °C	407.55 °C	0.35013 W/mm ²	3.679e-002 W/mm ²	1.5949e-003 W/mm ²
Gray Cast Iron (I)	163.18 °C	156.21 °C	124. °C	0.1557 W/mm ²	1.637e-002 W/mm ²	7.0425e-004 W/mm ²
AL/T800	22.186 °C	22.022 °C	21.99 °C	6.9671e-004 W/mm ²	6.0607e-005 W/mm ²	2.0077e-016 W/mm ²

Conclusion

1. The electric vehicles both full electric or hybrid ones have different needs for the clutch system due to the high performance and speed. However, the tested materials have different material characteristics for different vehicle characteristics. There is no rule of thumb to find an optimal material for all vehicles. For the specific vehicle, specific materials should be used only for that kind of transmission.

2. The Gray Cast Iron is the most optimal material given total deformation and temperatures. However, the material should be investigated how long it will last. This way, it can be understood that material is the optimal choice or not.

3. TiB₂ is the second-best selection due to the temperature and total deformations. TiB₂ has known as a strong material with good heat conductivity. In this case, TiB₂ reaches up to 281.95 °C with the 4.2993e-003 mm at maximum at uniform wear conditions.

4. This paper is for the preparation for future researches. Later, it can be investigated to different materials with similar mechanical characteristics with Gray Cast Iron and TiB₂. Also, for future works, these materials can experiment on the car itself.

Nomenclature

T = Torque

$P_{max,intensity}$ = Maximum Pressure Intensity

ω = Angular Velocity

A = Frictional Area

N = Revolution

F_{upt} = Axial force according to the Uniform Pressure Theory

F_{uwt} = Axial force according to the Uniform Wear Theory

r_o = outer radius

r_i = inner radius

μ = coefficient of friction

Literature

1. American Society for Metals International. (1990). Metals handbook (10th ed.).
2. Brar, J., & Bansal, R. (2015). A Textbook of theory of machines. Laxmi Publications.
3. Chan, D., & Stachowiak, G. (2004). Review of automotive brake friction materials. Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part D: Journal Of Automobile Engineering, 218(9), 953-966. <https://doi.org/10.1243/0954407041856773>
4. Chapman, B., & Hatch, D. (1977). Method of producing grey cast iron brake rotors with uniform friction and wear characteristics. United States. Retrieved 11 May 2021, from.
5. Di Nicola, F., Sornioti, A., Holdstock, T., Viotto, F., & Bertolotto, S. (2012). Optimization of a Multiple-Speed Transmission for Downsizing the Motor of a Fully Electric Vehicle. SAE International Journal Of Alternative Powertrains, 1(1), 134-143. <https://doi.org/10.4271/2012-01-0630>
6. González-Sánchez, M., & Martín-Ortega, J. (2020). Greenhouse Gas Emissions Growth in Europe: A Comparative Analysis of Determinants. Sustainability, 12(3), 1012. <https://doi.org/10.3390/su12031012>
7. Jang, H., Ko, K., Kim, S., Basch, R., & Fash, J. (2004). The effect of metal fibers on the friction performance of automotive brake friction materials. Wear, 256(3-4), 406-414. [https://doi.org/10.1016/s0043-1648\(03\)00445-9](https://doi.org/10.1016/s0043-1648(03)00445-9)
8. Jang, J., Khonsari, M., & Maki, R. (2010). Three-Dimensional Thermohydrodynamic Analysis of a Wet Clutch With Consideration of Grooved Friction Surfaces. Journal Of Tribology, 133(1). <https://doi.org/10.1115/1.4003019>
9. Jonoadji, N., Sutrisno, Siahaan, I., Simanjuntak, M., Hamonangan Sitorus, M., & Suryajaya, M. (2021). Dimensional optimization of clutch disc with simulation of stress analysis (Study cases : clutch disc Hino FM 260Ti). IOP Conference Series: Materials Science And Engineering, 1034(1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1034/1/012005>
10. Kim, J., & Choi, S. (2011). Design and Modeling of a Clutch Actuator System With Self-Energizing Mechanism. IEEE/ASME Transactions On Mechatronics, 16(5), 953-966. <https://doi.org/10.1109/tmech.2010.2059034>
11. Lloyd, F., & DiPino, M. (1980). Advances in Wet Friction Materials 75 Years of Progress. SAE Transactions, 89, 3088-3096. Retrieved May 11, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/44729903>
12. Maguire, J., Peng, H., & Bai, S. (2013). Dynamic analysis and control system design of automatic transmissions. SAE International.
13. Materials for Engineering: Concepts and Applications, L. H. Van Vlack, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA (1982)
14. Michaelides, E. (2012). Alternative energy sources. Springer.
15. Mohammed, Alaa & Abang Haji Abdul Majid, Dayang Laila & Ishak, Mohamad & Basheer, Uday. (2019). Effects of Solid Fly Ash on Wear Behaviour of AA6063 Aluminum Alloy. 10.1016/B978-0-12-803581-8.11582-6.
16. Munro, Ronald. (2000). Material Properties of Titanium Diboride. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. 105. 709. 10.6028/jres.105.057.
17. Nyman, P., Mäki, R., Olsson, R., & Ganemi, B. (2006). Influence of surface topography on friction characteristics in wet clutch applications. Wear, 261(1), 46-52. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.09.020>

18. Popescu, M., Foley, I., Staton, D., & Goss, J. (2015). Multi-physics analysis of a high torque density motor for electric racing cars. In 2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) (pp. 6537-6544). Montreal, QC, Canada; IEEE. Retrieved 11 May 2021, from <https://doi.org/10.1109/ECCE.2015.7310575>.
19. Potluri, R. (2018). Mechanical properties evaluation of T800 carbon fiber reinforced hybrid composite embedded with silicon carbide microparticles. *Multidiscipline Modeling In Materials And Structures*, 14(3), 589-608. <https://doi.org/10.1108/mmms-09-2017-0106>
20. Rahimi Mousavi, M., Pakniyat, A., Wang, T., & Boulet, B. (2015). Seamless dual brake transmission for electric vehicles: Design, control and experiment. *Mechanism And Machine Theory*, 94, 96-118. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2015.08.003>
21. Ruan, J., Walker, P., & Zhang, N. (2016). A comparative study energy consumption and costs of battery electric vehicle transmissions. *Applied Energy*, 165, 119-134. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.081>
22. Sornioti, A., Loro Pilone, G., Viotto, F., Bertolotto, S., Everitt, M., Barnes, R., & Morrish, I. (2011). A Novel Seamless 2-Speed Transmission System for Electric Vehicles: Principles and Simulation Results. *SAE International Journal Of Engines*, 4(2), 2671-2685. <https://doi.org/10.4271/2011-37-0022>
23. Sornioti, A., Holdstock, T., Pilone, G., Viotto, F., Bertolotto, S., & Everitt, M. et al. (2012). Analysis and simulation of the gearshift methodology for a novel two-speed transmission system for electric powertrains with a central motor. *Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part D: Journal Of Automobile Engineering*, 226(7), 915-929. <https://doi.org/10.1177/0954407011431415>
24. Speich, G., Schwoeble, A., & Kapadia, B. (1980). Elastic Moduli of Gray and Nodular Cast Iron. *Journal Of Applied Mechanics*, 47(4), 821-826. <https://doi.org/10.1115/1.3153797>
25. *Structural Alloys Handbook*, 1996 edition, John M. (Tim) Holt, Technical Ed; C. Y. Ho, Ed., CINDAS/Purdue University, West Lafayette, IN, 1996
26. Telli, A., Erat, S., & Demir, B. (2020). Comparison of energy transition of Turkey and Germany: energy policy, strengths/weaknesses and targets. *Clean Technologies And Environmental Policy*, 23(2), 413-427. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01950-8>
27. Tian, Y., Zhang, N., Zhou, S., & Walker, P. (2020). Model and gear shifting control of a novel two-speed transmission for battery electric vehicles. *Mechanism And Machine Theory*, 152, 103902. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2020.103902>
28. Walker, P., Zhang, N., & Tamba, R. (2011). Control of gear shifts in dual clutch transmission powertrains. *Mechanical Systems And Signal Processing*, 25(6), 1923-1936. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2010.08.018>
29. Walker, P., Abdul Rahman, S., Zhu, B., & Zhang, N. (2013). Modelling, Simulations, and Optimisation of Electric Vehicles for Analysis of Transmission Ratio Selection. *Advances In Mechanical Engineering*, 5, 340435. <https://doi.org/10.1155/2013/340435>
30. Wei, W., Rongjin, H., Chuanjun, H., Zhao, Y., Li, S., & Laifeng, L. (2015). Cryogenic performances of T700 and T800 carbon fibre- epoxy laminates. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Tucson, AZ, USA; IOP Publishing. Retrieved 11 May 2021, from.
31. Wu, J., Liang, J., Ruan, J., Zhang, N., & Walker, P. (2018). Efficiency comparison of electric vehicles powertrains with dual motor and single motor input. *Mechanism And Machine Theory*, 128, 569-585. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2018.07.003>
32. Yagi, S., Katayama, N., Hasegawa, H., Matsushita, H., & Okihara, S. (2015). Effects of Microscale Texture on the Tribological Behavior of Paper-Based Friction Materials for a Wet Clutch. *Tribology Online*, 10(5), 390-396. <https://doi.org/10.2474/trol.10.390>

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Rengim Özokutgen

Science degree and name: master's degree, student.

Workplace and position: Gazi University, Faculty of Technology, Department of Automotive Engineering.

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

E-mail address: rengimozokutgen@gmail.com

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Melih Okur

Science degree and name: Doctor, associate professor.

Workplace and position: Gazi University, Faculty of Technology, Department of Automotive Engineering. associate professor.

Author's research interests: machine elements, computer aided design and manufacturing, machining technologies

E-mail address: mokur@gazi.edu.tr

DEGALŲ ŠAŅAUDŲ POKYČIO NAUDOJANT EKOVAIRAVIMO PRINCIPUS TYRIMAS

Manvydas Bagavičius
Šiaulių valstybinė kolegija

Anotacija

Straipsnyje nagrinėjamos benzininio variklio degalų sąnaudos. Aptariamas ekovairavimas teoriniu aspektu. Aprašoma padaryta papildomo degalų bako sistema, kurios pagalba tiksliai nustatomos degalų sąnaudos. Sudaryti skirtingi maršrutai ir jais važiuota įprastai ir pritaikant ekovairavimo principus. Gautos ir palygintos visų maršrutų degalų sąnaudos. Gauti rezultatai palyginti tarpusavyje ir paskaičiuotas vidutinis degalų sutaupymas. Apskaičiuota ekologinė ir finansinė ekovairavimo nauda. Paskaičiuota kiek mažiau anglies monoksido (CO), angliavandenilių (CH), azoto oksidų (NOX), sieros dioksido (SO₂) teršalų bus išmetama į atmosferą bei kiek pinigų bus sutaupoma degalams pritaikant ekovairavimo taisykles ir principus.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Ekovairavimas, degalų sąnaudos, benzinas, ekologija

Įvadas

Transportas yra neatsiejama šiuolaikinio pasaulio dalis. Kuo geriau yra išvystyta transporto sistema, tuo greičiau bus pristatyti kroviniai bei keleiviai pasieks savo kelionės tikslą. Visa tai turi savo kainą, nes transporto priemonės yra viena pagrindinių oro taršos šaltinių ir labai prisideda prie klimato kaitos. Norint išvengti klimato kaitos pasekmių yra kuriamos įvairios strategijos, kaip būtų galima sumažinti oro taršą, o viena iš jų yra ekovairavimas.

Ekovairavimas (efektyvus vairavimas) – šiuolaikinis atsakingas ir racionalus vairavimo stilius, kai važiuojama atsižvelgiant į eismo srauto dinamiką, bet kartu saugiai, tausojant transporto priemonę ir sunaudojant mažiau degalų [2].

Norint pritaikyti ekovairavimo stilių važiuojant automobiliu, reikia atlikti daug skirtingų veiksmų, tiek prieš pradėdant važiuoti, tiek važiuojant, nes kiekvienas iš jų sumažins bendras degalų sąnaudas.

Uždaviniai:

- Apžvelgti ekovairavimo sąvoką, taisykles ir principus teoriškai.
- Padaryti papildomo degalų bako sistemą sudegintam degalų kiekiui matuoti.
- Atlikti važiavimus maršrutais įprastai ir pritaikant ekovairavimo principus ir palyginti gautus degalų suvartojimo rezultatus.
- Paskaičiuoti ekologinę ir finansinę ekovairavimo naudą.

Ekovairavimo taisyklės ir principai

Ekovairavimo naudai pasiekti reikia pritaikyti tam tikras taisykles ir principus ir juos naudoti vairuojant automobilį. Jie gali būti:

- Tinkamas pavarų perjungimas. Kiekvienas automobilis turės skirtingas variklio apsuokų ribas, bet važiuojant reikėtų neviršyti 2000 apsuokų per minutę ribos. Važiuojant 50 km/val. greičiu, reikėtų būti įjungus 4 arba 5 pavarą.
- Pastovaus greičio išlaikymas važiuojant. Važiuojant automobilio greitis turi būti kuo pastovesnis. Degalų sąnaudos bus mažesnės, jei važiuojant akseleratoriaus ir stabdžio pedalai bus spaudžiami kuo rečiau. Didžiausios degalų sąnaudos yra automobiliui įsibėgėjant.
- Aplinkos stebėjimas. Važiuojant reikėtų stebėti kas vyksta priekyje ir aplink automobilį. Jei yra matoma kažkokia kliūtis, ją bus galima apvažiuoti ir nereikės stabdyti dėl ko padidėtų degalų sąnaudos.
- Automobilio stabdymas atleidus greičio pedalą. Važiuojant ir stebint aplinką ir pamačius, kad priekyje yra kliūtis dėl kurios automobilis bus priverstas sustoti, tokios kaip raudonas šviesoforo signalas, vairuotojas turėtų atleisti greičio pedalą ir neišjungęs pavaros riedėti, kol nuriedės iki kliūties. Taip bus tausojamas automobilis bei persijungus žaliai šviesoforo signalui bus galima tęsti kelionę vis dar riedant. Tokiu būdu norint įsibėgėti bus sudeginama mažiau degalų.
- Užkurtas automobilis turėtų važiuoti, o ne stovėti. Patartina tik užkūrus automobilį, pradėti su juo važiuoti. Jei automobilis sustojo ir ten stovės bent 1–2 minutes, reikėtų išjungti variklį.
- Elektros prietaisai automobilyje. Elektros energija, tokiems prietaisams kaip: automobilio radijas, kondicionierius, elektriniai langai, šildomos sėdynės ir kiti, yra gaunama sudeginant papildomą degalų kiekį. Kuo mažiau įjungtų prietaisų, tuo mažesnės degalų sąnaudos.

- Automobilio techninė priežiūra. Automobilis turėtų būti prižiūrimas ne tik prieš jam atliekant techninę apžiūrą, bet reguliariai. Laiku keičiami variklio skysčiai, uždegimo ar pakaitinimo žvakės, diržai, filtrai ir kita, padės varikliui veikti optimaliau.
- Oro slėgis padangose. Labai svarbu pastoviai pasitikrinti slėgį padangose. Dėl skirtingų slėgių padangose gali smarkiai padidėti degalų sąnaudos.
- Automobilio aptakumas. Kuo automobilis bus aptakesnis, tuo sudarys mažesnę oro pasipriešinimą su oru, taip mažins degalų sąnaudas. Automobilis gali tapti mažiau aptakus dėl ant automobilio tvirtinamų dviračių laikiklių, daiktadėžių, krovinių ir pan. Net ir reguliariai plaunamas automobilis bus aptakesnis nei nešvarus automobilis.
- Automobilio svoris. Kuo automobilio svoris didesnis, tuo jis suvartos daugiau degalų. Reikėtų apžiūrėti automobilį ir išsivalyti jį nuo nereikalingų daiktų/krovinių.
- Maršrutų planavimas. Prieš išvažiuojant reikėtų sudaryti optimalų maršrutą. Naudojantis šiuolaikinėmis technologijomis, galima sudaryti maršrutą, kuriame nebūtų kelio remontų ar papildomų nepageidaujamų sustojimų. Reikėtų prisiminti, kad trumpiausias maršrutas ne visada bus greičiausias ar ekologiškiausias.

Automobilio charakteristika

Norint atlikti šį tyrimą buvo nupirkta automobilis ir į jį sumontuotas papildomas degalų bakas. Tokiu būdu, atlikus važiavimus buvo galima nustatyti tikslų degalų suvartojimą. Pasidomėjus skirtingų automobilių degalų tiekimo sistemomis buvo pasirinktas 2000 metų Peugeot 206 automobilis su 1.1 litro benzininiu varikliu. Automobilio Peugeot 206 techniniai duomenys pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė

Automobilio Peugeot 206 techniniai duomenys [1]

Metai	2000
Variklio darbinis tūris, cm ³	1124
Degalų tipas	Benzinas
Variklio galia, Kw (AG)	44 (59)
Maksimalus greitis, km/val	158
Įsibėgėjimas 0–100 km/val., sek	15,4
Varantieji ratai	Priekiniai
Pavarų dėžės tipas	Mechaninė
Pavarų skaičius	5
Svoris, kg	885
Degalų sąnaudos mieste 100km, l	8,3
Degalų sąnaudos užmiestyje 100km, l	5,2
Vidutinės degalų sąnaudos 100km, l	6,2
Degalų bako talpa, l	50
CO2 emisija, g/km	148

Šaltinis: Peugeot 206 1.1 XR –XT Specs (1998 – 2002) – Technical Specifications for Years 1998, 1999, 2000, 2001, 2002; Prieiga per internetą: < <https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Peugeot/2105/Peugeot-206-11-XR---XT.html> >

Iš lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad automobilis turi 59 arklio galių variklį ir sveria 885 kg. Vidutinės degalų sąnaudos 100 kilometrų yra 6,2 litro. Registruojant šį automobilį, taršos mokestis paskaičiuotas su registracijos mokesčio skaičiuokle, kuris buvo 0 eurų. Jeigu mokestis būtų nustatytas remiantis techniniais duomenimis, kad CO2 emisija yra 148 g/km, taršos mokestis būtų buvęs 30 eurų ir 6 centai.

Bake esantis degalų siurblys (1 pav.) šiame modelyje yra sumontuotas po galine sėdyne, dešinėje pusėje. Ją pakėlus ir nuėmus metalinį dangtelį galima matyti siurblio korpusą. Papildomas degalų bakas (2 pav.) buvo sumontuotas salono gale, dešinėje, po „keleivio kojomis“.



1 pav. Automobilio bako degalų siurblys
Šaltinis: sudaryta autoriaus



2 pav. Siurblys sumontuotas į bako dangtį
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Tokia vieta pasirinkta dėl to, kad tai buvo arčiausia vieta šalia automobilio degalų siurblio montavimo vietos (3 pav.).



3 pav. Pajungtas naujas degalų bakas
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Buvo surastas ir nupirktas naudotas degalų siurblys, kuris buvo išimtas iš tokio pat automobilio Peugeot 206 su 1,1 litro tūrio varikliu. Montuojant siurblių atskirame degalų bake nuo siurblio buvo nuimta degalų lygio matuoklė (plūdė), nes ji nebūtų rodžiusi teisingų rodmenų, bet ir fiziškai netilpo naujoje talpoje.

Maršrutų aprašymas

Atliekant tyrimą važiuota penkiais skirtingais maršrutais. Kiekvienu iš maršrutų buvo važiuota po du kartus: įprastai ir pritaikant ekovairavimo principus. Maršrutais buvo važiuota mieste, užmiestyje, taip pat keliuose su asfaltbetonio danga ir žvyrkeliuose bei keliuose su skirtingais greičio apribojimais nuo 30 iki 90 kilometrų per valandą. Taip buvo siekiama gauti skirtingus degalų sunaudojimo rodiklius.

Maršrutai buvo važiuojami tokie pat, bet jų nuvažiuoti su vienodų sustojimų skaičiumi praktiškai neįmanoma. Sustojimai gali būti dėl nereguliuojamų pėsčiųjų perėjų, šviesoforų, autobusų išvažiuojančių iš sustojimų užleidimo, vairuotojų vienos eismo juostos kelyje, važiuojančio žymiai lėčiau nei yra leistina ir t.t. Pasitaikė atvejų, kai važiuojant įprastai stoti beveik nereikėdavo, o važiuojant ekovairavimo būdu reikėdavo stoti beveik prie visų šviesoforų. Tokie automobilio sustojimai ir įsibėgėjimai didina degalų sąnaudas.

Tyrimo metu atlikus važiavimus A–E, jų bendras atstumas yra 64,7 kilometro. Šis atstumas buvo nuvažiuotas du kartus: važiuojant „įprastai“ ir pritaikant ekovairavimo taisykles. Iš viso buvo važiuota 30 skirtingų gatvių bei vienu krašto keliu. Daugiau maršrutų A–E duomenų pateikta 2 lentelėje.

Maršrutų A–E duomenys

Bendras visų maršrutų atstumas, km	64,7
Kelio danga	
Asfaltbetonis, km	57,9
Žvyras, km	6,8
Galimos sustojimo vietos A-E maršrutuose	
Reguliuojamos sankryžos, vnt	46
Nereguliuojamos sankryžos, vnt	22
Pėsčiųjų perėjos, vnt	71
Iš viso, vnt	139
Greičio ribojimai	
Keliuose su asfalto ar betono danga – 90 km/val.	Taip
Kiti keliai – 70 km/val.	Taip
Gyvenvietėse visoms transporto priemonėms – 50 km/val.	Taip
Gyvenvietėse visoms transporto priemonėms – 40 km/val.	Taip
Gyvenvietėse visoms transporto priemonėms – 30 km/val.	Taip

Šaltinis: sudaryta autoriaus

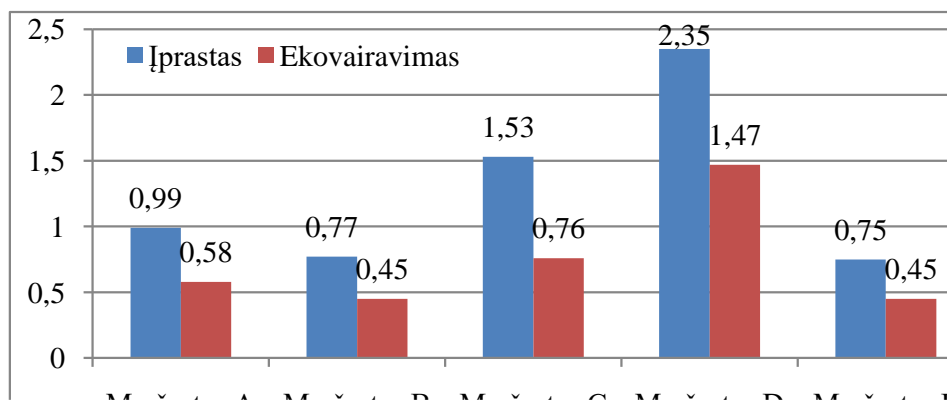
Iš lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad 57.9 km (89,49%) viso maršruto buvo asfaltbetonio danga ir 6.8 km (10.51%) – žvyro danga. Šiame maršrute buvo 139 galimos sustojimo vietos, tai yra po 2 galimas sustojimo vietas viename nuvažiuotame kilometre.

Daugiausiai potencialių sustojimų atliekant šį tyrimą buvo galima tikėtis prie pėsčiųjų perėjų. Antroje vietoje – reguliuojamos sankryžos ir trečioje – nereguliuojamos sankryžos. Kuo dažniau reikia sustoti ar stabdyti ir vėl didinti greitį, tuo didesnės bus degalų sąnaudos.

Reikėtų paminėti, kad tai yra sustojimo vietos, kurias galima nuspėti. Važiuojant maršrute pasitaiko ir tokių sustojimų, kurių nuspėti yra neįmanoma.

Degalų suvartojimo rezultatai

Papildomos degalų bako sistemos pagalba buvo galima tiksliai nustatyti kiekvieno pravažiavimo metu sudegintą degalų kiekį. Apskaičiuotos įprasto vairavimo ir ekovairavimo maršrutų degalų sąnaudos litrais (4 pav.).

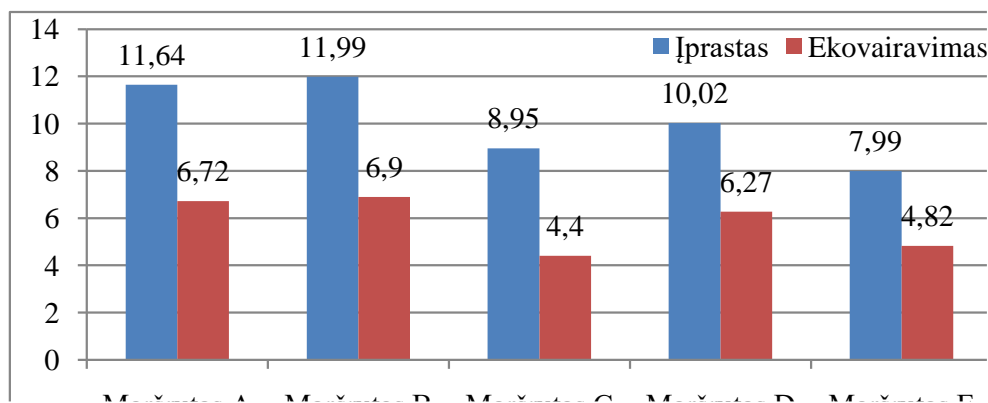


4 pav. Įprasto vairavimo ir ekovairavimo maršrutų degalų sąnaudos litrais

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Iš diagramos matyti, kad visuose maršrutuose A–E degalų sąnaudos sumažėjo, jei būdavo važiuojama pritaikant ekovairavimo principus.

Apskaičiuotos visų maršrutų degalų sąnaudos litrais 100 kilometrų atstumui. (5 pav.).



5 pav. Įprasto vairavimo ir ekovairavimo maršrutų degalų sąnaudos litrais 100 kilometrų atstumui
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Tyrimo metu didžiausios sąnaudos 100 kilometrų atstumui buvo 11,99 litro, o mažiausios – 4,4 litro. Ekovairavimo degalų sąnaudos nei karto neviršijo įprasto vairavimo degalų sąnaudų.

Mažiausias skirtumas tarp įprasto ir ekovairavimo sąnaudų 100 kilometrų atstumui yra gaunamas D maršrute. D maršruto sąnaudos yra 10,02 ir 6,27 litro, o skirtumas 37,49%. Net ir mažiausias sutaupymas, sutaupyty daugiau negu trečdalį išlaidų už degalus.

Didžiausias skirtumas tarp įprasto ir ekovairavimo sąnaudų 100 kilometrų atstumui yra gaunamas C maršrute. C maršruto sąnaudos yra 8,95 ir 4,4 litro, o skirtumas 50,89%, tai yra daugiau negu pusė. Tai parodo, kaip gali skirtis automobilio degalų sąnaudos ir kokią įtaką sąnaudoms turi ne tik maršruto ypatumai, bet ir vairuotojo vairavimo stilius. Maršrutų A–E tyrimo rezultatų vidurkiai pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė

Maršrutų A–E sąnaudų, važiuojant įprastai ir ekovairavimo būdu, palyginimas

Maršrutai A–E	Įprastas vairavimas	Ekovairavimas	Skirtumas, l	Skirtumas, %
Maršrutų A–E sąnaudos, l	6,372812921	3,676985196	2,695827725	42,31
Vidutinės degalų sąnaudos 100 kilometrų, l	10,1148081	5,817196367	4,297611733	

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Ekovairavimo principų pritaikymas maršrutuose A–E leido sumažinti sąnaudas apie 2,7 litro arba 42,3%. Vidutinės degalų sąnaudos šimto kilometrų atstumui sumažėjo apie 4,3 litro arba 42,3%.

Ekologinė ekovairavimo nauda

Ekovairavimas padeda taupyti degalus ir tausoti gamtą, nes į orą yra išmetama mažiau teršalų. Atlikus šį tyrimą, nustatyta, kad ekovairavimo principų pritaikymas sumažino degalų sąnaudas 42,3%. Pasinaudojus Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerijos įsakymu: „Teršiančių medžiagų, išmetamų į atmosferą iš mašinų su vidaus degimo varikliais, vertinimo metodika“ galima paskaičiuoti, kiek teršalų buvo išmesta į orą tyrimo metu [4]. Įprasto vairavimo ir ekovairavimo metu išmestų teršalų palyginimas pateiktas 4 lentelėje.

4 lentelė

Įprasto vairavimo ir ekovairavimo teršalų kiekių palyginimas

Teršalų tipas	Įprasto vairavimo teršalų kiekis, kg	Ekovairavimo teršalų kiekis, kg	Skirtumas, kg
Anglies monoksidas (CO)	2,960199	1,707975	1,252224
Angliavandeniliai (CH)	0,612898	0,35363	0,259268
Azoto oksidai (NOX)	0,12614	0,07278	0,05336
Sieros dioksidas (SO ₂)	0,008997	0,005191	0,003806

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Iš 4 lentelės matyti, kad ekovairavimas sumažino visų teršalų išmetimą. Tokiu būdu yra prisidedama prie oro taršos mažinimo.

Finansinė ekovairavimo nauda

Iš 3 lentelės matyti, kad ekovairavimo maršrutų degalų sąnaudos yra apie 2,7 litro mažesnės nei važiuojant įprastu būdu. A98 benzino kaina spalio 16 dieną, kada buvo įsipilta degalų, buvo 1 euras ir 3 centai už litrą.

Apskaičiuota, kad ekovairavimo principų pritaikymas sutaupo po 4 eurus ir 32 centus nuo nuvažiuoto šimto kilometrų atstumo.

Lrt.lt atliko apklausą, kiek kilometrų lietuviai nuvažiuoja per metus. Apklausos respondentai dažniausiai rinkosi atsakymo variantą, kuriame pažymėta 10–20 tūkst. metinė rida – tiek kasmet nuvažiuojantys teigė 39 proc. vairuotojų [3].

Paėmus šio atsakymo vidurkį, 15 tūkstančių kilometrų, apskaičiuota, kad per metus naudojant ekovairavimo principus, galima sutaupyti 648 eurus. Tokia pinigų suma būtų sutaupoma pakeitus savo vairavimo įpročius ir pradėdant taikyti ekovairavimo taisykles.

Išvados

- Padaryta papildomo degalų bako sistema, kurios pagalba buvo galima išmatuoti tikslų suvartotų degalų kiekį ir tiksliai paskaičiuoti degalų suvartojimo skirtumą.
- Visų penkių maršrutų degalų sąnaudos važiuojant ekovairavimo būdu buvo mažesnės nei važiuojant įprastai. Atlikus penkis skirtingus maršrutus vidutinės degalų sąnaudos šimto kilometrų atstumui sumažėjo apie 4,3 litro arba 42,3%, taikant ekovairavimo taisykles ir principus.
- Atlikus skaičiavimus matoma, kad važiuojant ekovairavimo būdu sumažėjo anglies monoksido (CO), angliavandenilių (CH), azoto oksidų (NOX), sieros dioksido (SO₂) teršalų išmetimas į atmosferą. Parinktas vidutinis atstumas, kurį nuvažiuoja lietuviai per metus, tai yra 15 tūkstančių kilometrų ir paskaičiuota, kad tokį atstumą nuvažiavus ekovairavimo būdu būtų sutaupomi 648 eurai.

Literatūra

1. Automobilio Peugeot 206 techniniai duomenys. Prieiga per internetą: <https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Peugeot/2105/Peugeot-206-11-XR---XT.html>.
2. Ekovairavimas, kas tai? Prieiga per internetą: <https://ecodriving.lt/ekovairavimas/>.
3. Kokia Lietuvoje važinėjančių automobilių metinė rida? Prieiga per internetą: <https://www.lrt.lt/naujienos/eismas/7/212899/kokia-lietuvoje-vazinejanciu-automobiliu-metine-rida>
4. Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerijos įsakymas Dėl teršiančių medžiagų, išmetamų į atmosferą iš mašinų su vidaus degimo varikliais, vertinimo metodikos patvirtinimo. Vilnius, 1998. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.60273/CbltngxLOi>.

RESEARCH OF CHANGE IN FUEL CONSUMPTION USING ECO-DRIVING RULES

Summary

The article examines the fuel consumption of a gasoline engine. Eco-driving is described in theoretical terms. The making of an additional fuel tank system is described which is used to accurately determine fuel consumption. Different routes have been developed and they have been run normally and in accordance with the principles of eco-driving. Fuel consumption for all routes was obtained and compared. The obtained results were compared with each other and the average fuel savings were calculated. The ecological and financial benefits of eco-driving have been calculated. It is estimated that the emissions of carbon monoxide (CO), hydrocarbons (CH), nitrogen oxides (NOX), sulfur dioxide (SO₂) will be reduced and how much money will be saved on fuel by applying eco-driving rules and principles.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Manvydas Bagavičius

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorius

Darbo vieta ir pozicija: Šiaulių valstybinės kolegijos, Verslo ir technologijų fakulteto, Transporto inžinerijos katedros lektorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: transporto priemonės, vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, ekovairavimas.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 675 11197, m.bagavičius@svako.lt

EXPERIMENTAL STUDY OF THE NOVEL HINGE VANE MICRO COMPRESSOR

Rengim Özokutgen¹, Melih Okur¹, İbrahim Sinan Akmandor²

*Gazi University, Faculty of Technology, Department of Automotive Engineering 1,
Pars Makina Sanayi Ve Ticaret Limited Sirketi²*

Summary

Many different types of compressors are used in the industry to meet the need for compressed air. Research on different types of compressors is still ongoing. Vane compressors from the body are more preferred than the less number of parts, high efficiency, and simplicity. The design, manufacture, assembly, and optimization of a vane micro-compressor from a body with a unique structure by this connection joint assembly method was studied.

KEYWORDS: micro-compressor, unique valve design, optimization, vane compressor

Introduction

Today, there are hundreds of types of pumps that are frequently used in our lives and in almost every branch of industry. Sliding vane-rotary compressors are one of the most used types (Okur et al., 2011:1031-1033). There are many kinds of research about building upon the spring-loaded rolling piston compressors to build it more efficient, easy to maintain, and manufacture it cheaper (Bianchi et al.,2015:95-107; Bianchi et al.,2018:1038-1048; Al-Hawaj, 2009:1555-1562; Ma et al.,2016:1-5; Ooi et al.,2006:1-4; Milovanov et al.,1992:1352-1358). Rather than the spring-loaded rolling piston compressors, there are also many papers to build different compressors.

Piston, gear, screw, and vane pumps, which are among the volumetric pumps in the industry, find more usage areas, and in some applications diaphragm, bellows, lobe, flexible element pumps, and air bells are also used (Volk,2014:12-39). Piston pumps have high suction and pumping capabilities, and their flow rates are proportional to the number of cycles. However, since they have crank connecting rods and valve mechanisms, their manufacturing, repair, and maintenance are difficult (Bloch et al.,1996:107-158). Although gear pumps have a simple structure, they break down easily when they are not manufactured precisely. Screw pumps have found wide use in various industries where viscous and heavy liquids are sucked and pumped, as the fluid flow between volumetric pumps takes place along the rotation axis. Due to the low part inertia forces, some steam and gas turbines can be operated above 10000 RPM (El-Sayed,2017:1059-1070). However, the need to produce longer for high tolerances and high pressures is a disadvantage.

Vane pumps, which are one of the pumps used frequently in the industry, are divided into two main groups as rotating vane and body-to-vane. It has high suction and compression capabilities, and its flow rates vary in proportion to the number of cycles. Since they are manufactured in smaller sizes than centrifugal pumps for the same flow and head, they are more economical than similar ones. They are one of the ideal pumps that can be used for sucking and pumping all kinds of clean liquids, and they must be manufactured precisely (Ma et al.,2015:81-92; Facci et al.,2015, 243-254).

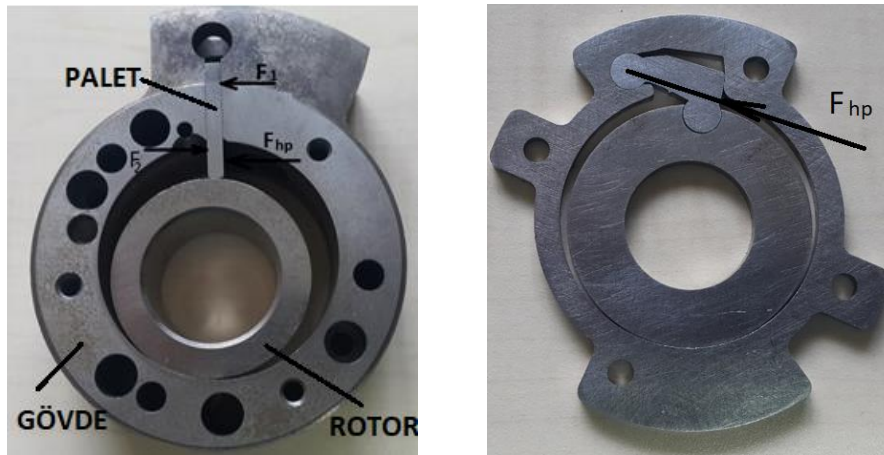
There are 3 main elements in the cooling system: compressor, evaporator, and condenser. In the cooling system, various equipment such as a valve or capillary pipe, thermostat, dryer filter, liquid trap, manometer, and thermometer are used to control the coolant flow. Finally, there are refrigerants and oils (Kim et al.,2002:54-60).

The function of the cooling compressor in the system is to remove the heat-laden refrigerant from the evaporator and the cooler from there, and thus to provide space for the unloaded heat from the back and to ensure the continuity of the flow, to increase the pressure of the vapor refrigerant to the level opposite to the condensing temperature in the condenser.

In this study, a two-stage micro-compressor with a unique hinge vane system and manufacturing method with a vane from the body has been designed and the pressure characteristic at different speeds has been created. It is aimed to determine the performance values of the compressor by comparing the results obtained in different volumes with the new stages added modularly due to the ease of manufacture.

Material and Method

Vane-body compressors; consist of body, rotor, eccentric shaft, vane, and side covers. Fig. 1 shows the structure of the compressor with fins from the body and the force on the vane. As seen in the figure, the rotor rotating on the eccentric shaft moves inside the body. The body chamber is divided into two volumes using the vane bedded on the body. While one side of these volumes is sucking, the other side is performing the pressing process. Friction forces occur on the vane surface due to this pressure difference.



*Fig. 2. Classical and Novel vane Designed Compressor Body, Rotor, and Palet
Source: Compiled by the author*

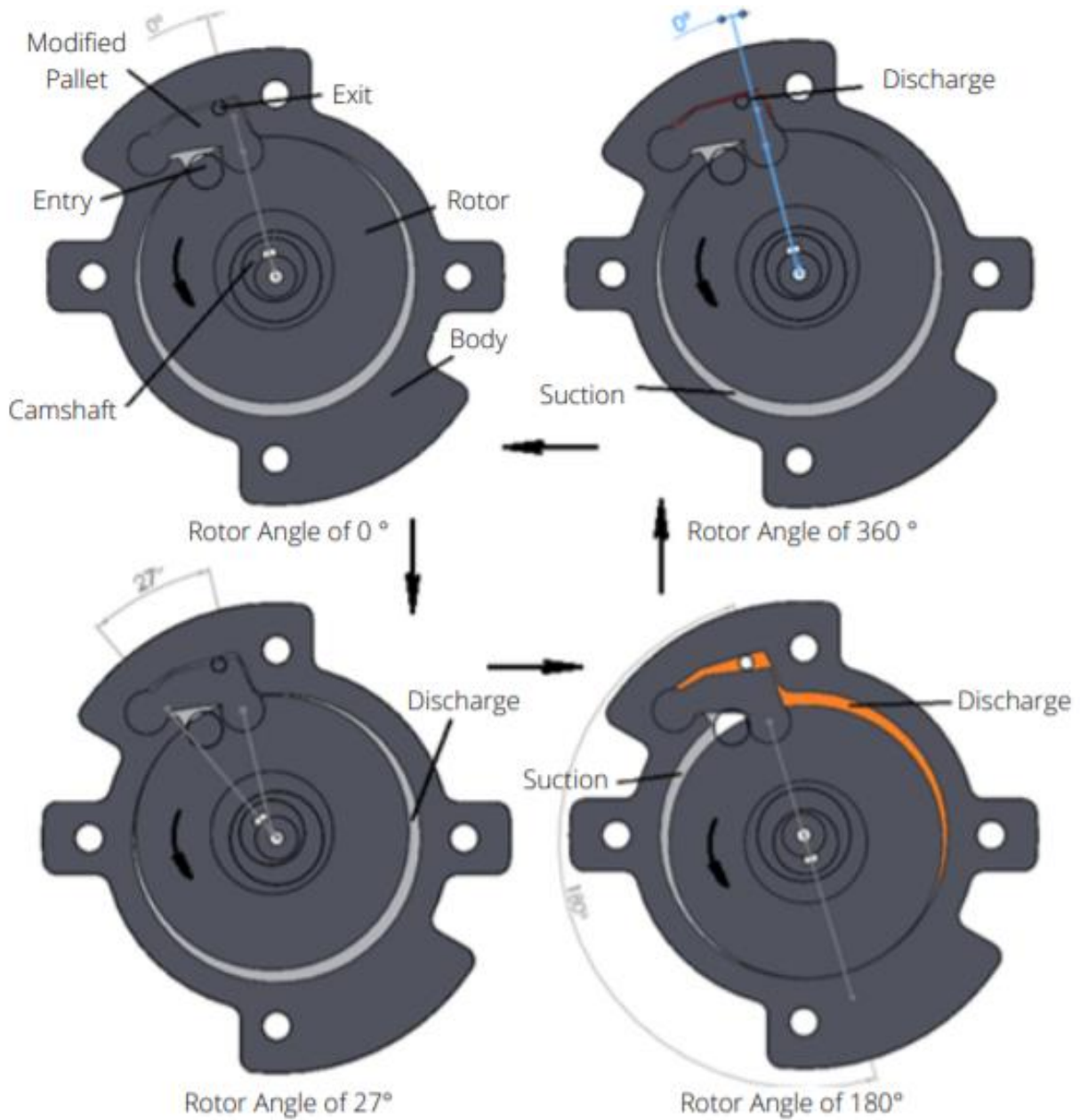
As seen in Fig. 1, it has been designed in such a way that the pressure friction on the vane surface is gathered only at the hinge center. While designing vane compressors from the body, the sweeping volume determined at the end of the calculations is manufactured in a single body by casting. This requires making separate casting molds for each different compressor volume. With the new design, it is possible to manufacture compressors in different volumes with a single unit volume by using the method of adding units one after another, thanks to a single unit produced in thin plates. Fig. 3 shows different body components making up the compressor.



*Fig. 3. Manufactured and Assembled Parts of the Compressor
Source: Compiled by the author*

If the rotor and the vane have the same thickness as the body, because the rotor and the vane will get stuck due to the cover, it will not work. In this parameter, the effect of friction and gas leakage on efficiency in the most optimal conditions was examined by examining the operation of the rotor and the vane with different thicknesses. In this optimization, the effect of friction on efficiency has been greater. While this study was carried out, as can be seen in Figure 2, different vanes, rotors, and body thicknesses were produced in more than one thickness, and experimenting in different combinations with each other gave us a workforce advantage. Because in a normal vane compressor, it is necessary to constantly remove chips from the rotor and vane to perform these experiments. If the clearance amount is increased while changing tolerances, gas leakage increases but friction decreases. Conversely, if the amount of space is reduced, gas leakage decreases but friction increases. As a result, the most optimal value is a 0,02 mm gap. If a gap above this value is given, the

effect of gas leakage on efficiency compared to friction is less when it is above this value. On the contrary, if a gap below this value is given, the effect of gas leakage on efficiency compared to friction is greater when it is above this value. Fig. 33 shows Suction- Discharge phase concerning the rotor angles of the compressor.



*Fig. 4. Suction- Discharge phase concerning the rotor angles
Source: Compiled by the author*

Experiments

The experiment setup consists of the electric motor, electronic barometer, oil supply system, rpm indicator, and timer. Experiments performed after prototype production was repeated at different RPM values. In the experiments, pressure-time, pressure-power, pressure-ampere, pressure-volt, and pressure-pressure increase graphs were obtained and evaluated.

The environment temperature, hydraulic oil density, hydraulic oil temperature is taken as the same for every RPM value to be sure that the compressor does not get affected by the environment. Also, it is assumed that the wear between the plates is minimal that can be negligible.

The first parameter is pressure-time graphs with different RPM values. The experimental results are given in

Fig. 5.

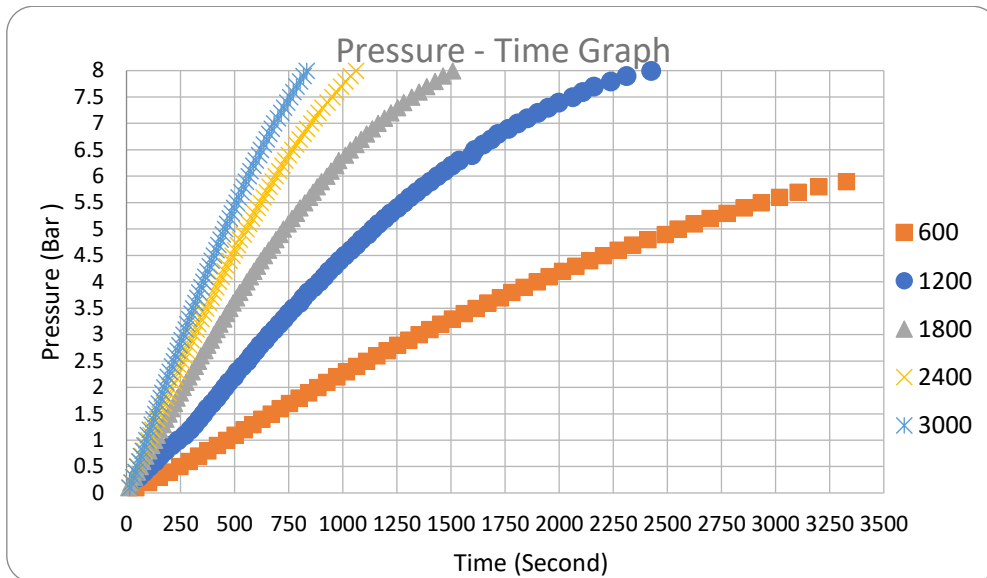


Fig. 5. Pressure (Bar) - Time (Second) Graph
Source: Compiled by the author

For the experiments 8 bars are selected for the limit for the applications, to analyze the characteristic of the compressor. The experiments show that at 600 RPM the compressor cannot exceed the 6 bars. Also, at 600 RPM to reach 6 bars take 55 minutes. The longer waiting time does not affect the pressure at this point. The compressor has a different characteristic at 1200 RPM than 600 RPM. At 1200 RPM, the compressor able to reach the 8 bars in 40 minutes. In this case, the time spend to reach the maximum level is 27% reduced concerning 600 RPM. For the 1800 RPM, it can be seen from the graph that the compressor reaches 8 bars within 1507 seconds which is under 26 minutes. The reaching maximum pressure time is 57.4% lower than the 600 RPM, and 37.8% is lower than 1200 RPM. From the graph, it seems that the slope of the pressure line is increased, which means the compressor works more efficiently at 1800 RPM than 1200 RPM or 600 RPM. In 2400 RPM, the compressor can create pressure of 8 ATMs at lower than 17 minutes. At 2400 RPM, the compressor reaches the maximum of 8 ATMs within 18 minutes. It shows that it takes a 29% shorter time than at 1800RPM. Lastly, at 3000 RPM, the compressor has able to reach at 8 ATMs less than 14 minutes, which is 21% faster than the 2400 RPM. As it seems from the graph, reaching the 8 ATM-related with the RPM value.

The second parameter is pressure-time difference graphs at the different RPM values. The results are given in Fig. 6. This graph shows the time difference between the unit pressure increase which is 0.1 bar.

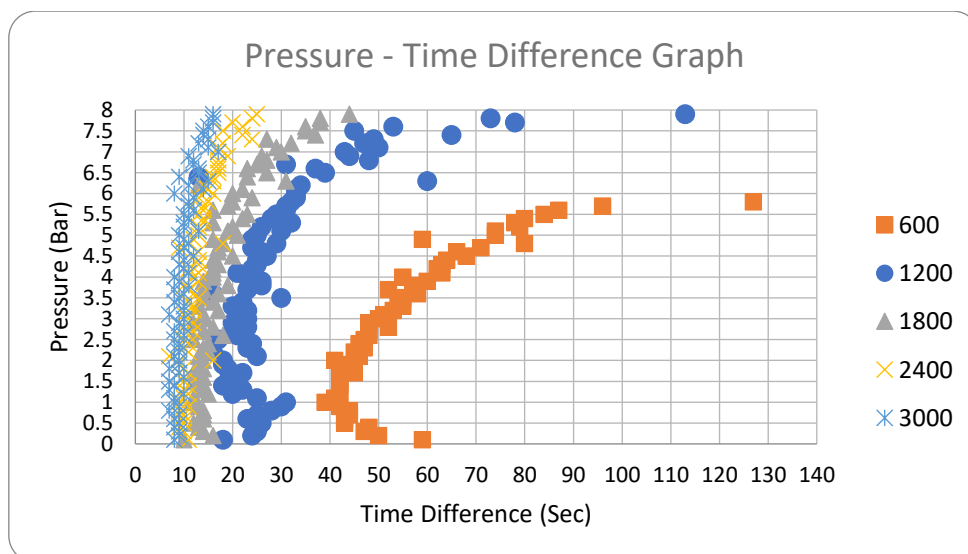


Fig. 6. Pressure - Time Difference Graph
Source: Compiled by the author

The points on the graph show that the compressor at 600 RPM does not work efficiently and even at the beginning of the experiment, it takes to build up pressure 0.1 bar takes 59 seconds. Also, it can be seen that the shape of the points on the graph for 600 RPM looks like a quarter circle which is expected. As the experiment continues from 600 RPM to 3000 RPM it can be seen that the quarter-circle shape becomes more like a line. This implies that even after 1200 RPM, the compressor can build higher pressure.

The third and last parameter is pressure-power at different RPM values. The results are given in Fig. 6

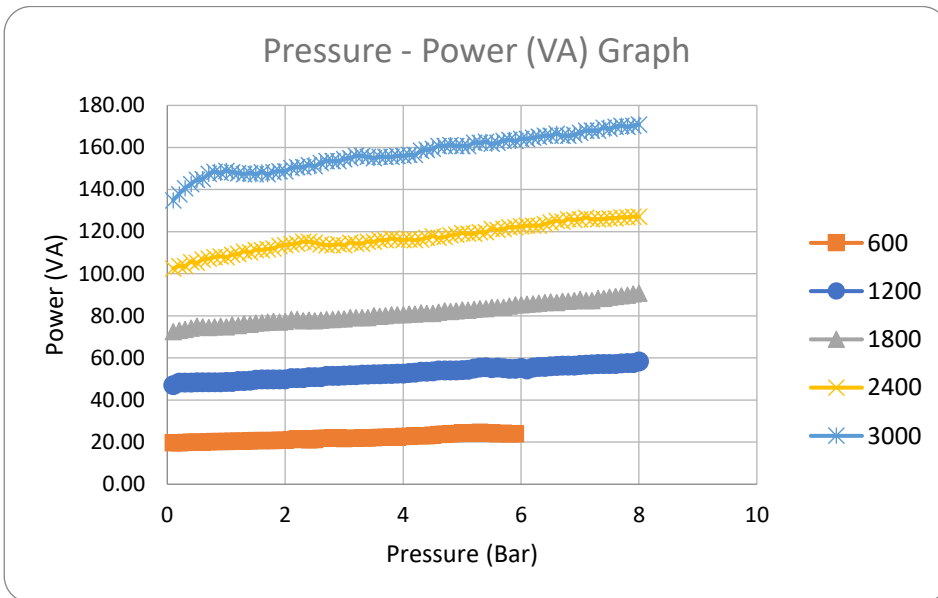


Fig. 7

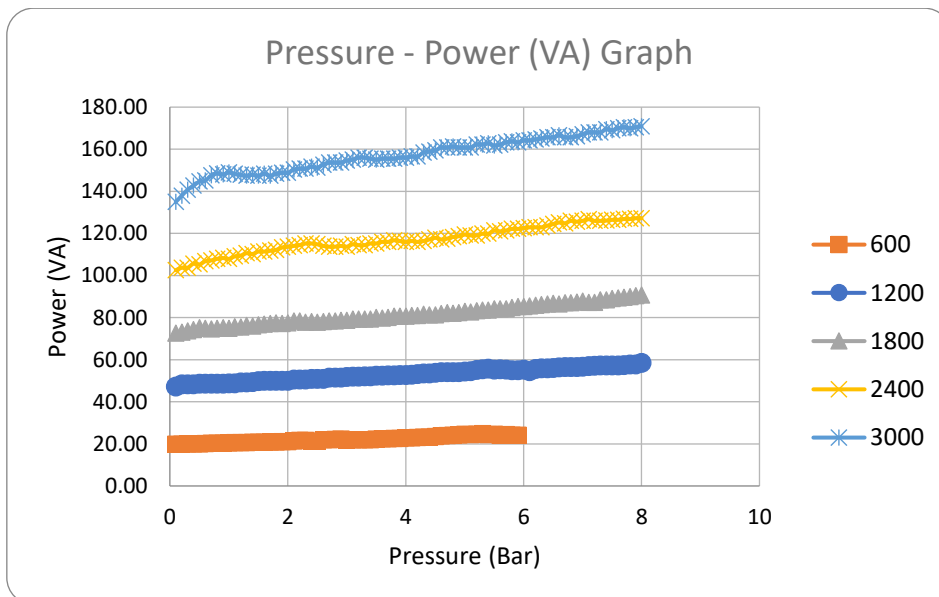


Fig. 7. Pressure - Power Graph
Source: Compiled by the author

To see the given total power to the compressor, these values are taken from the motor controller itself. These values differentiate depending on the RPM values. As we provide more power to the compressor, the compressor reaches the limit pressure quicker, which is expected.

Conclusion

1. Additive manufacturing and assembly technique create flexibility to build different compressors with identical parts. Later, it can be investigated to build different volumed compressors. Also, when designing a micro compressor, even small tolerances play an important role. When the manufacturing defects occur, the whole part could be scrap. However, thanks to the additive assembly and manufacturing technique, the only defective part can be changed.

2. At small speeds, 1200 RPM or lower, the compressor the ability to build up pressure is limited.
3. At the higher RPM speeds achieved, the higher-pressure value can be expected, which is limited by the material specifications.
4. For future scientific experiments, the maximum pressure for different RPM values can be determined.

Literature

1. Al-Hawaj, O. (2009). Theoretical modeling of sliding vane compressor with leakage. *International Journal Of Refrigeration*, 32(7), 1555-1562. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2009.07.005>
2. Bianchi, G., & Cipollone, R. (2015). Theoretical modeling and experimental investigations for the improvement of the mechanical efficiency in sliding vane rotary compressors. *Applied Energy*, 142, 95-107. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.055>
3. Bianchi, G., Fatigati, F., Murgia, S., & Cipollone, R. (2017). Design and analysis of a sliding vane pump for waste heat to power conversion systems using organic fluids. *Applied Thermal Engineering*, 124, 1038-1048. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.06.083>
4. Bloch, H., & Hoefner, J. (1996). *Reciprocating compressors* (pp. 107-158). Gulf.
5. El-Sayed, A. (2017). *Aircraft propulsion and gas turbine engines* (2nd ed., pp. 1059-1070). CRC Press.
6. Facci, A., Sánchez, D., Jannelli, E., & Ubertini, S. (2015). Trigenerative micro compressed air energy storage: Concept and thermodynamic assessment. *Applied Energy*, 158, 243-254. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.026>
7. Kim, J., Lee, G., Zhu, F., & Smith, R. (2002). Cooling System Design. *Heat Transfer Engineering*, 23(6), 49-61. <https://doi.org/10.1080/01457630290098754>
8. Ma, J., Chen, X., Yang, X., & Qu, Z. (2016). Optimal Structural Design of Swing Double-Vane Compressor. In *INTERNATIONAL COMPRESSOR ENGINEERING CONFERENCE* (pp. 1-9). Purdue; Purdue University.
9. Ma, R., Wu, Y., Du, C., Chen, X., Zhang, D., & Ma, C. (2016). The performance test of a modified miniature rotary compressor in upright and inverted modes subjected to microgravity. *Applied Thermal Engineering*, 92, 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.09.091>
10. Milovanov, V., & Limar, V. (1992). Dynamic Analysis and Geometrical Optimization of the Details of Rotary Compressor with Rolling Piston. In *INTERNATIONAL COMPRESSOR ENGINEERING CONFERENCE* (pp. 1351-1361). Purdue; Purdue University.
11. Okur, M., & Akmandor, I. (2011). Experimental investigation of hinged and spring loaded rolling piston compressors pertaining to a turbo rotary engine. *Applied Thermal Engineering*, 31(6-7), 1031-1038. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.11.027>
12. Ooi, K., & Teh, Y. (2006). Geometrical Optimisation of the Revolving Compressor. In *International Compressor Engineering Conference* (pp. 1-7). Purdue; Purdue University.
13. Volk, M. (2014). *Pump characteristics and applications* (3rd ed., pp. 12-39). CRC Press.

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Rengim Özokutgen

Science degree and name: master's degree, student.

Workplace and position: Gazi University, Faculty of Technology, Department of Automotive Engineering.

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

E-mail address: rengimozokutgen@gmail.com

Author name, surname: Melih Okur

Science degree and name: Doctor, associate professor.

Workplace and position: Gazi University, Faculty of Technology, Department of Automotive Engineering. associate professor.

Author's research interests: machine elements, computer-aided design and manufacturing, machining technologies

E-mail address: mokur@gazi.edu.tr

Author name, surname: İbrahim Sinan Akmandor

Science degree and name: Professor.

Workplace and position: Pars Makina Sanayi ve Ticaret Limited Sirketi co-founder.

Author's research interests: compressor and turbine blade design, aerodynamics of internal flows, novel rotary engine design, industrial power generation system design and integration, computational fluid dynamics

E-mail address: sinan.akmandor@parsmakina.com

PLEIŠTO GRIOVELIO ĮTAKA VELENO POLINIAM INERCIJOS MOMENTUI

Jurijus Tretjakovas

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

Anotacija. Velenais mechanikos inžinerijoje laikomi strypai veikiami tik vienos vidinės jėgos - sukimo momento. Transporto, aviacijos ir mechanikos inžinerijoje norint perduoti sukimo momentą nuo veleno skriemulio stebulei arba atvirkščiai naudojami sujungimai pleištu, išdrožomis, presuojant, klijuojant, kaiščiuojant ir kt. Tačiau kiekvienas iš šių sujungimų (gal išskyrus presavimą ir kljavimą) veleną silpnina, nes apdirbant mechaniškai plienas šalinamas ir atsiranda įtempių koncentradoriai. Straipsnyje nagrinėjama atsirandančios pleištavietės įtaka veleno geometrijos pasikeitimui ir stiprumo sumažėjimui.

REIŠMINIAI ŽODŽIAI. Velenas, pleišto griovelis, skerspjūvio inercijos momentai, veleno pleišto sujungimas

Įvadas

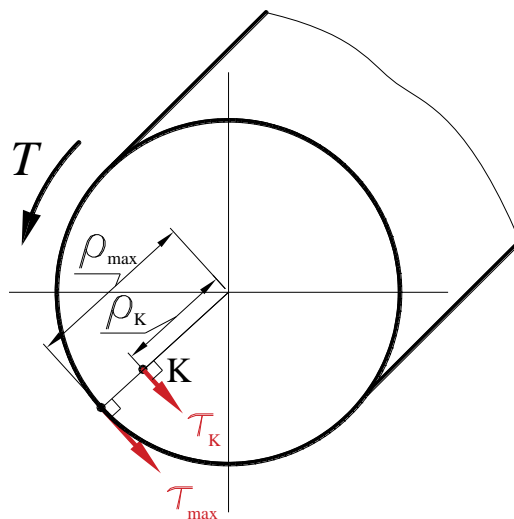
Veleno pleišto jungtis yra iki šiol labai populiarus būdas perduoti judesį [1]. Nagrinėsime strypą veikiamą tik viena vidine jėga – sukimo momentu T . Taip veikiami strypai vadinami velenais ir juos veikia tik šlyties deformacija. Savojo svorio, kuris veleną išlenkia, nepaisysime dėl nykstamai mažo veleno svorio lyginat su perduodamu sukimo momentu.

Įtempiai bet kuriame veleno (Pav. 1) skerspjūvyje taške skaičiuojami naudojant formulę:

$$\tau_K = \frac{T}{I_p} \cdot \rho_K \quad (1)$$

čia T – veleno skerspjūvyje veikiantis sukimo momentas; I_p - veleno skerspjūvio ploto polinis inercijos momentas; ρ_K - taško K polinė koordinatė.

Veleno skritulinio skerspjūvio atveju tangentinio įtempio τ_K kryptis yra statmena spinduliui ρ_K [2-3].

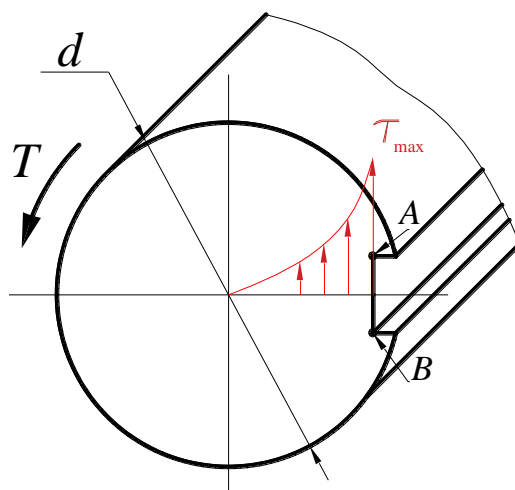


1 pav. Veleno skerspjūvis, įrąža ir įtempiai

Tangentiniai įtempiai skrituliniame skerspjūvyje pasiskirsto pagal tiesinę priklausomybę (1 pav.) ir didžiausią reikšmę turi skerspjūvio labiausiai nuo poliaus nutolusiuose taškuose kai spindulys ρ yra maksimalus ir įgyja maksimalią reikšmę ρ_{\max} .

$$\tau_{\max} = \frac{T}{I_p} \cdot \rho_{\max} \quad (2)$$

Esant išfrezuotam grioveliui literatūroje [4-6] teigiama, kad maksimalūs įtempiai τ_{\max} atsiranda taškuose A ir B, kurie yra griovelio kampuose (2 pav.), ir yra apskaičiuojami naudojant įtempių koncentracijos koeficientą K , kuris gaunamas iš eksperimentų.



2 pav. Veleno griovelis pleištui ir įtempis

Literatūroje [5] tangentinio įtempio išraišką siūloma skaičiuoti pagal tokią formulę:

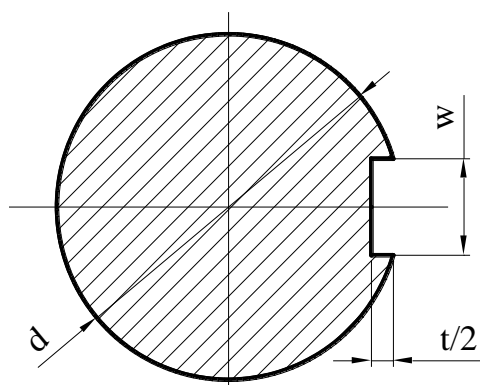
$$\tau_{\max} = K \cdot \left(\frac{T}{I_p} \cdot \rho_A \right) \quad (3)$$

čia K – įtempių koncentracijos koeficientas; ρ_A - taško A polinė koordinatė.

Tačiau šioje formulėje skaičiuojant skerspjūvio polinį inercijos momentą nevertinamas skerspjūvio sumažėjimas dėl griovelio atsiradimo.

Nagrinėjant veleną su išfrezuotu grioveliu prizminiam pleištui, kurio plotis w ir aukštis t , skerspjūvio plotas juk sumažėja (3 pav.) dydžiu.

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} - w \cdot \frac{t}{2} \quad (4)$$



3 pav. Veleno skerspjūvis su grioveliu pleištui

Akivaizdu, kad pakinta svorio centro padėtis ir sumažėja ir skerspjūvio ploto polinis inercijos momentas. Straipsnyje vertinama ploto pokyčio įtaka poliniam inercijos momentui.

Temos aktualumas. Tema aktuali tuo, kad inžinieriui, atliekančiam velenų projektavimą ar stiprumo patikrą, būna neaišku kiek griovelio atsiradimas sumažina skerspjūvio polinį inercijos momentą.

Tyrimo objektas. Darbe nagrinėjami skritulinio skerspjūvio su grioveliu prizminiam pleištui geometrinė charakteristika – polinis inercijos momentas.

Darbo tikslas – nustatyti kiek griovelis sumažina veleno polinį inercijos momentą.

Šiam tikslui pasiekti buvo iškelti tokie uždaviniai:

1. Aprašyti veleno su grioveliu geometriją;
2. Apskaičiuoti pilnavidurio veleno skerspjūvio polinį inercijos momentą;
3. Apskaičiuoti veleno su grioveliu skerspjūvio ploto polinį inercijos momentą neatsižvelgiant į svorio centro padėties pokytį ir palyginti rezultatus su pilnavidurio veleno sprendiniais.

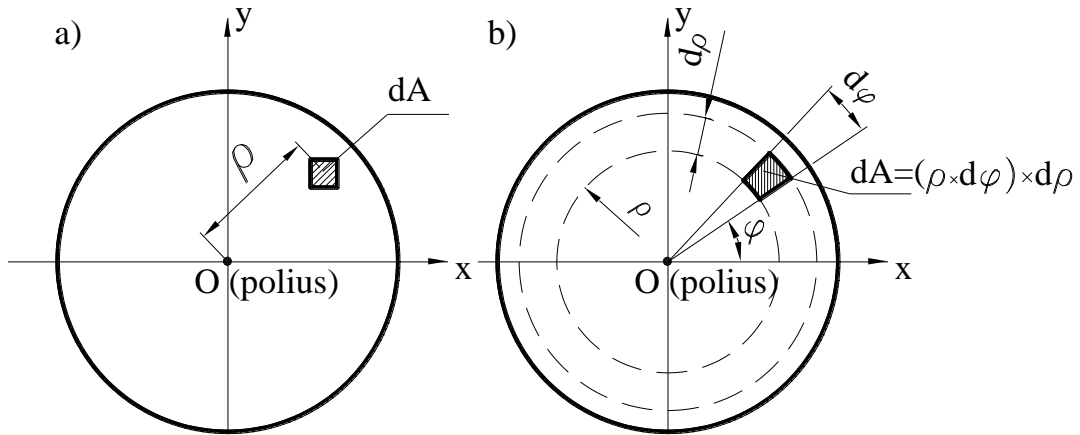
Tyrimo metodika grindžiama teoriniu analizinės geometrijos skaičiavimu.

Pilnavidurio veleno skerspjūvio ploto polinis inercijos momentas

Plokščio skerspjūvio ploto polinis inercijos momentas yra šio skerspjūvio ploto elementų dA ir jų atstumų ρ nuo centrinio poliaus (4 pav. a) kvadratų sandaugų suma.

Formule polinis inercijos momentas išreiškiamas taip:

$$I_p = \int_A \rho^2 dA \tag{5}$$



4 pav. Skerspjūvio ploto elementas

Nykstamai mažas plotas keičiamas ploteliu, kurį išpjauna du spinduliai ir du lygiagretūs apskritimai (4 pav. b).

$$dA = (\rho \cdot d\varphi) \cdot d\rho \tag{6}$$

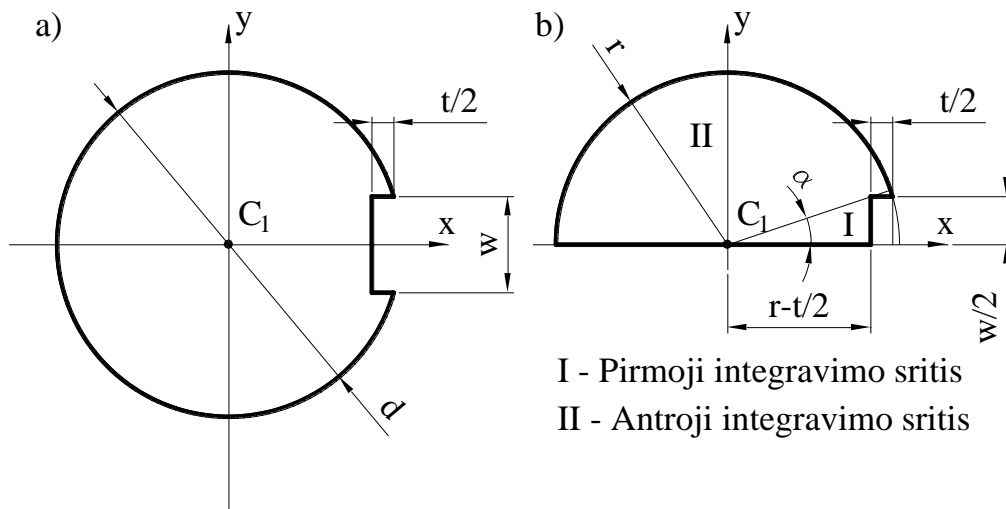
Tuomet integravimas per visą plotą keičiamas dvigubu integravimu:

$$I_p = \iint_A \rho^2 \cdot \rho d\varphi d\rho = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^r \rho^3 d\rho \tag{7}$$

Ši formulė bus naudojama veleno be griovelio poliniam inercijos momentui rasti.

Veleno su pleišto griovelio skerspjūvio ploto polinis inercijos momentas

Esant išpjovai integruojamas plotas sumažėja ir toliau dėl simetrijos skaičiuodami integralą imame tik pusę ploto (5 pav.).



5 pav. Skerspjūvis su griovelio (a) ir integravimo sritis (b)

Integralas apima dvi sritis: pirmoji nuo nulio iki kampo α ir antroji nuo kampo α iki π :

$$I_p = \left[\int_0^\alpha d\varphi \int_0^{(r-t/2)} \rho^3 d\rho + \int_\alpha^\pi d\varphi \int_0^r \rho^3 d\rho \right] \cdot 2 \tag{8}$$

$$\text{Kampas } \alpha \text{ randamas iš trigonometrinės priklausomybės: } \alpha = \arctan\left(\frac{w/2}{r - t/2}\right) \quad (9)$$

Pasirenkami velenų skersmenys d yra lygūs 10, 20, 30, 40, 50 mm. Tokiems velenams pagal [Vaičiulis, 2010] naudojami pleištai, kurių plotis ir aukštis parodyti 1 lentelėje.

1 lentelė

Veleno skersmuo d , mm	Pleišto matmenys, mm	
	Plotis w , mm	Aukštis t , mm
10	3	3
20	6	6
30	8	7
40	12	8
50	16	10

Pagal formulę [7] velenui be griovelio ir pagal formulę [8] velenui su grioveliu atliekami skaičiavimai. Straipsnyje parodomas tik veleno su 10 mm skersmeniu skaičiavimas:

$$\text{Veleno be griovelio polinis inercijos momentas } I_p = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^5 \rho^3 d\rho = 981 \text{ mm}^4.$$

Veleno su grioveliu polinio inercijos momento skaičiavimas:

$$\text{- kampas } \alpha = \arctan\left(\frac{3/2}{5 - 3/2}\right) = 0,405 \text{ rad.}$$

$$\text{- Polinis inercijos momentas } I_p = \left[\int_0^{0,405} d\varphi \int_0^{\left(5 - \frac{3}{2}\right)} \rho^3 d\rho + \int_{0,405}^{\pi} d\varphi \int_0^5 \rho^3 d\rho \right] \cdot 2 = 886 \text{ mm}^4.$$

Kiti skaičiavimų rezultatai pateikiami 2 lentelėje.

2 lentelė

Veleno skersmuo d , mm	Polinis inercijos momentas, mm^4		Pokytis, %
	Velenas su grioveliu	Velenas be griovelio	
10	886	981	9,68
20	$1,42 \cdot 10^4$	$1,57 \cdot 10^4$	9,55
30	$7,40 \cdot 10^4$	$7,95 \cdot 10^4$	6,91
40	$23,4 \cdot 10^4$	$25,1 \cdot 10^4$	6,77
50	$57,0 \cdot 10^4$	$61,4 \cdot 10^4$	7,17

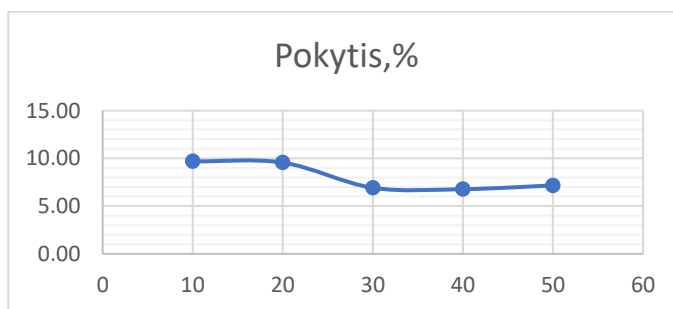
Apskaičiuojama griovelio įtaka procentiniu pavidalu poliniams inercijos momento sumažėjimui:

$$\Delta = \frac{|981 - 886|}{981} \cdot 100 = 9,68\%.$$

Ta pati procedūra pakartojama su likusiais skersmenimis ir rezultatai surašomi į 2 lentelę.

Rezultatai, apibendrinimai ir išvados

Gautus rezultatus iliustruoja priklausomybės veleno skersmuo d – polinio inercijos momento pokyčio grafikas (6 pav.), kuriame matosi, kad esant velenams iki 20 mm skersmens, susilpnėjimas dėl griovelio išpjovimo viršija yra daugiau nei 9,6%.



6 pav. Polinio inercijos momento pokytis dėl griovelio

Velenams su skersmenimis 30, 40 ir 50 mm pokytis viršija 6,8 %. Todėl tolesni tyrimai bus akcentuojami į velenus su skersmenimis iki 30 mm skermens.

Šie tyrimai parodė tik griovelio įtaką poliniams inercijos momentui nevertinant skerspjūvio centro padėties pokyčio.

Literatūra

1. Kresinskya F., Leidicha E., Hasse A., Different Failure Mechanisms in Keyed Shaft-Hub Connections under Dynamic Torque Load, *Procedia Structural Integrity* 17, p. 162–169, 2019.
2. Čižas, A. *Medžiagų atsparumas. Konstrukcijų elementų mechanika*. Vilnius: Technika, 1993.
3. Budynas–Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, Eighth Edition, 2008.
4. Birger, I.A., Mavliutov, R.R., *Mechanics of materials, (in Russian), Moscow, 1986*.
5. Hibbeler, R.C. *Mechanics of materials*. Prentice Hall, 2011.
6. Vislavičius, K. *et al. Medžiagų atsparumo elektroninis vadovėlis*. Vilnius, 2008 m.
7. Vaičiulis D. *Mašinų elementų kursinis projektavimas*. Kaunas, Technologija, 2010.

INFLUENCE OF THE KEYSEAT TO THE POLAR MOMENT OF INERTIA

Summary

Shafts in mechanical engineering are subjected to only one internal force - torque. In transport, aerospace and mechanical engineering, key, splines, pressing, gluing, etc. connections are used to transmit torque from the shaft pulley to the hub. However, each of these joints (perhaps with the exception of pressing and gluing) weakens the shaft as machining removes the steel and creates stress concentrators. The article investigate the influence of the keyseat to geometry and the decrease of strength.

Key words: shaft, key, polar moment of inertia.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Authoriaus vardas, pavardė: Jurijus Tretjakovas.

Mokslų laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

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

Authoriaus mokslinių interesų sritys: netiesinė mechanika, stiprumo mechanika, irimo mechanika.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 68621859

jurijus.tretjakovas@vilniustech.lt; j.tretjakovas@vtdko.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Jurijus Tretjakovas

Science degree and name: doctor, associated professor.

Workplace and position: Vilnius Gediminas technical university Faculty of Civil engineering Department of Applied Sciences associated professor. Vilnius College of Technologies and Design Technical faculty Department of Mechanical engineering, associated professor.

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

Telephone and e-mail address: +370 68621859

jurijus.tretjakovas@vilniustech.lt; j.tretjakovas@vtdko.lt

PLOKŠČIO PAVIRŠIAUS, FREZUOTO VIENAŠMENIU PJOVIMO ĮRANKIU, PAVIRŠIAUS ŠIURKŠTUMO TYRIMAS

Rapolas Ruzveltas, Vadim Mokšin
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija

Straipsnyje pateikiami detalės plokščio paviršiaus, frezuoto įvairiais pjovimo režimais vienašmeniu pjovimo įrankiu, pagamintu iš tekinimo peilio, paviršiaus šiurkštumo matavimo rezultatai. Pjovimo greitis buvo keičiamas nuo 200 iki 1300 m/min, pastūma nuo 0,05 iki 0,15 mm/sūk., pjovimo gylis buvo pastovus – 0,2 mm. Nustatyta, kad apdirbus paviršių tokiu įrankiu galima pasiekti vidutinį aritmetinį paviršiaus profilio nuokrypį $Ra = 0,16 \mu\text{m}$. Nustatyta, kad toks įrankis labiau tinka glotniajam frezavimui, nes prie didesnių pastūmų labai padidėja paviršiaus šiurkštumas. Tai gali būti dėl mažesnio įrankio standumo lyginant su galinėmis frezomis.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. CNC vertikalusis apdirbimo centras, aliuminio lydinys, vienašmenis pjovimo įrankis, vidutinis aritmetinis paviršiaus profilio nuokrypis, pjovimo greitis, pastūma.

Įvadas

Metalo apdirbimo įmonėse detalių plokšti paviršiai dažniausiai frezuojami surenkamomis galinėmis frezomis. Tokios frezos yra brangios ir gaminamos tik tam tikrų skersmenų, didėjant frezos skersmeniui didėja ir jos kaina. Tačiau gamyboje dažnai reikia greitai pertvarkyti gamybos procesus keičiantis gaminio matmenims ir savybėms. Esant poreikiui atlikti pakeitimus, efektyvu turėti pigų įrankį, kurį būtų galima lengvai perderinti kitam matmeniui, keičiant jo skersmenį. Tai padėtų išvengti papildomų išlaidų skirtingo skersmens frezoms įsigyti, tai ypač aktualu smulkioms įmonėms ir dirbtuvėms. Plokštumoms frezuoti gali būti naudojamas paprastas vienašmenis įrankis (1 pav.), kuris gali būti pagamintas iš įprastinio tekinimo peilio. Nepaisant to, kad tokie įrankiai naudojami smulkiose dirbtuvėse ir įmonėse, mokslinėje literatūroje pateikta mažai duomenų apie jų užtikrinamą paviršiaus kokybę ir apdirbimo našumą.



1 pav. Vienašmenis frezavimo įrankis su laikikliu
Šaltinis: sudaryta autorių

A. P. LaMarca (2016) teigia, kad vienašmenis įrankis (angl. *fly cutter*) gali būti naudojamas frezavimui frezavimo staklėmis ir CNC apdirbimo centrais. Teigiama, kad toks įrankis gerai tinka rupiajam plokštumų frezavimui prieš glotniai apdirbant. Taip yra dėl didelio įrankio skersmens, galima frezuoti didelius pločius viena įrankio eiga. Toks įrankis taip pat gali būti naudojamas pusiau glotniam arba glotniajam frezavimui. Tačiau šie įrankiai turi ir neigiamų savybių. Juos sunku subalansuoti, todėl jų pjovimo greitis yra ribotas. Įrankio disbalansas yra labai svarbus norint dirbti dideliais sukiais ir pjovimo greičiais. Išsibalansavimas sukelia vibracijas, kurios veikia tiek stakles, tiek ir ruošinį, pablogėja paviršiaus kokybė ir matmenų tikslumas. Disbalanso neigiamas poveikis ypač pasireiškia esant dideliame pjovimo greičiui.

Remiantis Y. Liang et al. (2013) atliktais frezavimo vienašmeniu pjovimo įrankiu tyrimais, galimi atviro tipo ir uždaro tipo įrenginiai. Abiejuose įrenginiuose naudojamas vakuuminis staliukas siekiant padidinti tikslumą. Atviro tipo įrenginyje suklys išdėstytas horizontaliai, o uždaro tipo įrenginyje – vertikalčiai. Atviro tipo įrenginys yra kompaktiškas, trumpas, patogus naudoti dėl atviros konstrukcijos, tačiau šis tipas labiau veikiamas terminių deformacijų. Šis tipas labiau tinka smulkioms detalėms apdirbti. Antras tipas, portalinių

staklių tipo, yra simetriškos konstrukcijos, dėl kurios staklės yra standesnės ir atsparesnės terminėms deformacijoms. Temperatūros nuo suklio guolių ir variklio pasiskirsto simetriškai.

Galimybę pritaikyti vienašmenį pjovimo įrankį tiksliam frezavimui, kai pjovimo gylis svyruoja nuo 25 iki 50 μm , o tam tikrais atvejais yra mažesnis negu 1 μm , tyrė E. Marsh et al. (2006). Įprastai tokie darbai atliekami labai tiksliais tekinimo staklėmis. E. Marsh et al. (2006) tyrė vienašmeniu pjovimo įrankiu apdirbto ruošinio plokštumos nuokrypį. Tyrimo rezultatai rodo, kad reikia rinktis tokį suklio greitį, kad dominuojantis struktūrinis rezonansas nevyktų esant suklio greičio sveiką skaičiaus kartotiniui. Be to, suklio greitį galima tiksliai nustatyti taip, kad virpantis įrankis atliktų sveiką svyravimų skaičių, kol liečiasi su ruošiniu. Šiame darbe buvo pasiūlytas matematinis modelis, kuris gali būti naudojamas vienašmenio įrankio frezavimo operacijoje gaunamam paviršiaus plokštumos nuokrypiui nustatyti atsižvelgiant į ruošinio geometriją ir suklio greitį.

H. Yanhua et al. suprojektavo didelio tikslumo vienašmenį pjovimo įrankį, besisukantį oro guoliuose, kurių judesio paklaida yra 0,1 μm . Vienašmenis įrankis tvirtinamas CNC tekinimo centre taip, kad netrukdytų atlikti tekinimo operacijų. Tokiu būdu staklėmis galima tekinti mažas detales ir frezuoti plokštumas. Buvo tiriamas vienašmeniu įrankiu apdirbtos plokštumos paviršiaus šiurkštumo ir plokštumos nuokrypio ryšys su pagrindiniais pjovimo proceso parametrais: pastūma, pjovimo gyliu ir suklio greičiu. Frezuojant plokštumą gauta pozicionavimo paklaida $\pm 2 \mu\text{m}$, plokštumos nuokrypis iki 1 μm ir apdirbto paviršiaus šiurkštumas $Ra = 0,03 \mu\text{m}$.



2 pav. Hurco VMX50 CNC vertikalusis apdirbimo centras
Šaltinis: sudaryta autorių

Tyrimo objektas ir metodika

Tyrimams atlikti buvo naudojamas įmonės „Hurco“ 3-jų ašių vertikalusis apdirbimo centras modelio VMX50, kuris pateiktas 2 pav. Frezavimui vienašmeniu įrankiu buvo naudojami ruošiniai pagaminti iš aliuminio lydinio EN-AW 5083[AlMg4.5Mn0.7]. Medžiagos tipas: vidutinio stiprumo, atsparus korozijai lydinys. EN-AW 5083 lydinio cheminė sudėtis pateikta 1 lentelėje.

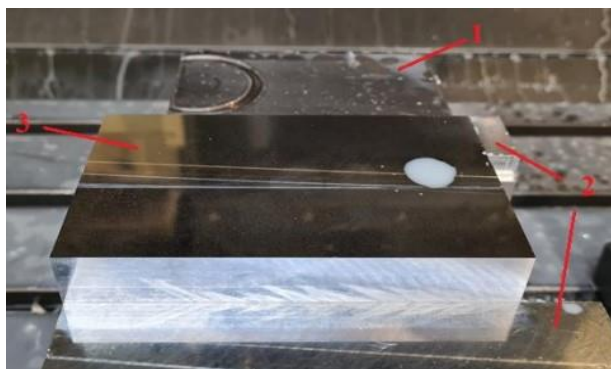
1 lentelė

EN-AW 5083 lydinio cheminė sudėtis, %

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Kiti elementai	
								Vieno	Bendrai
<0,4	<0,4	<0,1	<0,4–1,0	4,0–4,9	0,05–0,25	<0,25	<0,15	<0,05	<0,15

Ruošiniu viršutiniai paviršiai prieš apdirbant vienašmeniu įrankiu buvo rupiai frezuojami galine freza. Ruošinys užspaustas spaustuve prieš apdirbant vienašmeniu įrankiu parodytas 3 pav.

Tyrimams buvo naudojamas laikiklis su tekinimo peiliu parodytas 1 pav. Įrankis reguliuojamas, galimas įrankio skersmuo nuo 88,4 iki 238,4 mm. Tyrimui įrankis buvo sureguliuotas skersmeniui $\varnothing 90 \text{ mm}$. Laikiklis įsistato į SK40 tipo vertikalojo apdirbimo centro įrankių laikiklį. Buvo naudojamas įmonės „TeaguTec“ tekinimo peilis, kurio ISO kodas: HCLNL1212K0904-RS. Peilis įstatomas į laikiklį, galima reguliuoti jo iškišą, norint suderinti reikiamam skersmeniui. Peilis priveržiamas trimis M5 varžtais (1 pav.). Peilyje naudojama CNGG 090402ML plokštelė, kuri, remiantis gamintojo pateikiama specifikacija, skirta aliuminiui, medžiagoms, neturinčioms geležies ir karščiui atspariems lydiniams apdirbti.



3 pav. Ruošiny užspaustas spaustuve: 1 – spaustuvas; 2 – „minkštosios“ žiaunos; 3 – ruošinys
Šaltinis: sudaryta autorių

Gamintojo rekomenduotas pjovimo greitis aliuminio lydiniams: 200–1000 m/min, pastūma – 0,05–0,15 mm/sūk. Tyrimams buvo naudojamas mažiausias rekomenduojamas pjovimo gylis – 0,2 mm. Buvo apdirbami 36 ruošiniai pagal planą, pateiktą 2 lentelėje. Kiekvienai pjovimo greičio reikšmei buvo naudojamos tokios pastūmos: 0,05, 0,10 ir 0,15 mm/sūk. Pjovimo greitis kiekviename bandyme buvo didinamas 100 m/min. Pjovimo režimo elementai 36 ruošiniams pateikti 3 lentelėje.

2 lentelė

Pjovimo režimo elementai bandymams (paryškintu šriftu pažymėti pjovimo režimo elementai, viršijantis tekimo plokštelės gamintojų rekomenduotus)

Eil. Nr.	Pjovimo greitis, m/min	Pastūma, mm/sūk. (mm/dančiui)	Pjovimo gylis, mm	Minutinė pastūma, mm/min	Suklio sukiai, sūk./min
1	200	0,05	0,2	35	707
2	200	0,1		71	
3	200	0,15		106	
4	300	0,05		53	1061
5	300	0,1		106	
6	300	0,15		159	
7	400	0,05		71	1415
8	400	0,1		142	
9	400	0,15		212	
10	500	0,05		88	1768
11	500	0,1		177	
12	500	0,15		265	
13	600	0,05		106	2122
14	600	0,1		212	
15	600	0,15		318	
16	700	0,05		124	2476
17	700	0,1		248	
18	700	0,15		371	
19	800	0,05		142	2829
20	800	0,1		283	
21	800	0,15		425	
22	900	0,05		159	3138
23	900	0,1		318	
24	900	0,15		478	
25	1000	0,05		177	3537
26	1000	0,1		354	
27	1000	0,15		531	
28	1100	0,05		195	3891
29	1100	0,1		389	
30	1100	0,15		584	
31	1200	0,05		212	4244
32	1200	0,1		424	
33	1200	0,15		637	
34	1300	0,05		230	4598
35	1300	0,1		460	
36	1300	0,15		690	

Apdirbto paviršiaus viduriniam aritmetiniam profilio nuokrypiui Ra įvertinti buvo naudojamas įmonės „Mitutoyo“ paviršiaus šiurkštumo matavimo prietaisas modelio SurfTest SJ-210. Matavimo prietaisas komplektuotas su „Mitutoyo“ granitiniu stovu 178-039. Ra parametras buvo matuojamas trijose paviršiaus vietose, po to skaičiuojamas aritmetinis vidurkis.

Tyrimų rezultatai

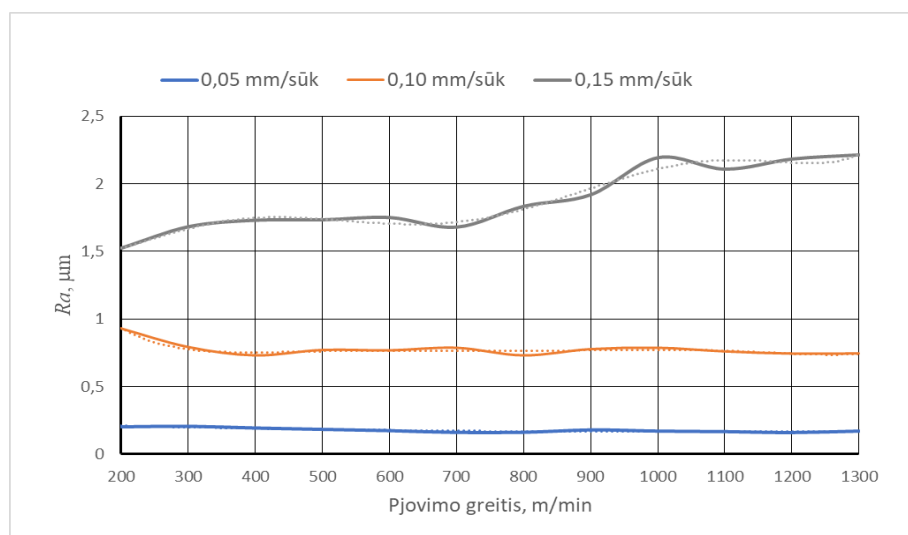
Tyrimo metu gauti paviršiaus šiurkštumo matavimo rezultatai pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė

Paviršiaus šiurkštumo matavimo rezultatai

Bandymo Nr.	Vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis Ra , μm	Bandymo Nr.	Vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis Ra , μm
1	0,203	19	0,162
2	0,928	20	0,729
3	1,521	21	1,831
4	0,207	22	0,180
5	0,791	23	0,775
6	1,680	24	1,917
7	0,194	25	0,171
8	0,729	26	0,785
9	1,728	27	2,191
10	0,184	28	0,167
11	0,769	29	0,758
12	1,731	30	2,106
13	0,174	31	0,160
14	0,766	32	0,742
15	1,748	33	2,181
16	0,161	34	0,171
17	0,785	35	0,743
18	1,677	36	2,212

Paviršiaus vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio priklausomybės nuo pjovimo greičio grafikai gauti skirtingoms pastūmoms pateikti 4 pav.



4 pav. Paviršiaus šiurkštumo parametro Ra priklausomybė nuo pjovimo greičio esant skirtingoms pastūmoms

Šaltinis: sudaryta autorių

Iš 4 pav. pateiktų grafikų galima matyti, kad didėjant pjovimo greičiui paviršiaus šiurkštumas mažėja kai pastūma yra 0,05 mm/sūk. Kai pastūma yra 0,05 mm/sūk., mažiausios vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio Ra reikšmės 0,160–0,163 μm intervalė pasiektos esant pjovimo greičiui didesniau už 700 m/min. Didžiausia parametro Ra reikšmė 0,207 μm pjovimo greičiui gauta esant 300 m/min pjovimo greičiui.

Kai pastūma yra 0,10 mm/sūk., vienašmeniu įrankiu frezuoto paviršiaus vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis Ra sparčiai mažėja didėjant pjovimo greičiui, kai greitis yra 200–400 m/min intervale, toliau nežymiai padidėja ir vėl ima šiek tiek mažėti. Mažiausia vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio Ra reikšmė 0,729 μm gauta esant pjovimo greičiams 400 m/min ir 800 m/min. Didžiausia parametro Ra reikšmė 0,928 μm buvo gauta esant mažiausiam pjovimo greičiui 200 m/min.

Esant 0,15 mm/sūk. pastūmai, mažiausia vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio $Ra = 1,521 \mu\text{m}$ reikšmė pasiekta esant mažiausiam pjovimo greičiui 200 m/min. Didžiausia parametro Ra reikšmė 2,212 μm buvo gauta esant didžiausiam pjovimo greičiui 1300 m/min. Esant 0,15 mm/sūk. pastūmai, stebimas parametro Ra didėjimas didėjant pjovimo greičiui (4 pav.). Tai gali būti susieta su mažesniu įrankio standumu.

Išvados

Frezuojant aliuminio lydinį vienašmeniu pjovimo įrankiu, mažiausia pasiekta vidutinio aritmetinio paviršiaus profilio nuokrypio reikšmė yra $Ra = 0,160 \mu\text{m}$. Toks šiurkštumas pasiektas esant pjovimo greičiui 1200 m/min ir pastūmai 0,05 mm/sūk.

Vienašmenis pjovimo įrankis labiau tinkamas naudoti glotniajam frezavimui, kai dirbama mažomis pastūmomis.

Literatūra

1. LaMarca, A.P. 2016. Fly cutter cutting tool. US Patent No. US 9,486,862.
2. Liang, Y., Chen, W., Bai, Q., Sun, Y., Chen, G., Zhang, Q., Sun, Y. 2013. Design and dynamic optimization of an ultraprecision diamond flycutting machine tool for large KDP crystal machining. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 69(1–4), 237–244.
3. Marsh, E., Arneson, D., Van Doren, M., Blystone, S. 2006. Interferometric measurement of workpiece flatness in ultra-precision flycutting, Sensor Review, 26(3), 209–217.
4. Yanhua, H., Daxing, H., Guanghui, Y. 2009. Transformation and application of the lathe with fly-cutter milling equipment. Manufacturing Technology and Machine Tool, 12, 128–131.

RESEARCH INTO SURFACE ROUGHNESS OF FLAT SURFACE MILLED WITH SINGLE-POINT CUTTING TOOL (FLY CUTTER)

Summary

The paper presents the results of measurements of surface roughness of a flat surface milled at various cutting data with a single-point cutting tool (fly cutter), which was made from external lathe tool. The cutting speed was varied from 200 to 1300 m/min, the feed was varied from 0.05 to 0.15 mm/rev, the cutting depth was constant – 0.2 mm. It was found that after machining the flat surface with such a tool it is possible to achieve the arithmetical mean deviation of the surface profile $Ra = 0.16 \mu\text{m}$. Such a tool has been found to be more suitable for finishing operation, as surface roughness is greatly increased at higher feedrates. This may be due to the lower rigidity of the tool compared to face milling cutters.

Key words: CNC vertical machining centre, aluminium alloy, fly cutter, arithmetical mean deviation of surface profile, cutting speed, feed.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Rapolas Ruzveltas

Mokslo laipsnis ir vardas: inžinerijos mokslų bakalauras

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

Autoriaus mokslinių interesų sritys: medžiagų apdirbimas pjovimu

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 5 2370594, rapolas.ruzveltas@stud.vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Vadim Mokšin

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, profesorius

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

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

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

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Rapolas Ruzveltas

Science degree and name: bachelor of engineering

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

Author's research interests: metal cutting

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

Author name, surname: Vadim Mokšin

Science degree and name: Ph. D., professor

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

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

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

LENGVOJO AUTOMOBILIO SU DYZELINIŲ VARIKLIŲ PRITAIKYMAS DUJINIAMS DEGALAMS

Darius Juodvalkis, Andrius Dargužis
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Automobiliai su dyzeliniais varikliais Lietuvoje išlieka populiariausi. Pastaruoju metu pastebima tendencija, kad automobiliai su dyzeliniais varikliais nebelaikomi "švariais". Nors dyzeliniai varikliai, lyginant su panašios galios benziniais varikliais, išmeta į aplinką mažiau CO₂, tačiau tuo pačiu metu išmeta daugiau azoto oksidų NO_x. Vienas iš būdų senesniems dyzeliniams varikliams atitikti vis griežtėjančias išmetamųjų deginių toksiškumo normas, yra galimybė juos pritaikyti dujiniais degalais. Šiame straipsnyje nagrinėjama galimybė pritaikyti lengvojo automobilio BMW 320d E46 dyzelinį variklį dujinių degalų naudojimui.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. dyzelinis variklis, dujiniai degalai.

Įvadas

Automobiliai yra vienas iš didžiausių teršėjų. Lietuvos lengvųjų automobilių parkas yra senesnis, negu Vakarų Europos valstybių, taigi ir automobilių tarša yra didesnė.

Atlikti tyrimai parodė, kad dyzeliniai varikliai, naudojant kartu dyzeliną bei suskystintas naftos dujas (SND), gali mažiau teršti aplinką [1].

Dyzeliniai varikliai be didelių pakeitimų gali būti paleisti SND-dyzelino režimu. SND po išgarinimo yra sumaišomas su įsiurbiamu oru, o dyzelinio kuro įpurškimo sistema vis dar tiekia tam tikrą kiekį dyzelinių degalų, tačiau veikiant dvigubų degalų režimu, išpurškiamo dyzelino kiekis yra sumažinamas proporcingai su įsiurbimo kolektorių įleidžiamomis naftos dujomis [2].

Siekiant paleisti dyzelinu varomą vidaus degimo variklį, prieš tai agregatas turi būti minimaliai modifikuotas dirbti dvigubų degalų režimu. Norint pritaikyti dyzelinį variklį dvigubiems degalams, būtini tam tikri pakeitimai įvairiose variklio sistemose:

- *Pakeitimai degalų tiekimo sistemoje.* Pritaikant dyzelinį variklį dirbti su dujomis, instaliuojami dujų įpurškimo antgaliai kolektoriuje arba oro paėmimo vamzdyje, esančiame už oro aušintuvo. Užtikrinti sklandų sistemos veikimą viena iš būtinų sąlygų yra gerai susimaišęs oro ir įpurkštų dujų mišinys. Montuojant purkštukų antgalius būtina atsižvelgti į variklio konstrukciją, individualiai ir parinkti tinkamiausius dujų įleidimo taškus. Prie jėgainės patikimai ir saugiai tvirtinama SND tiekimo linijos vedančios iš dujų purkštukų į antgalius. Įsiurbimo kolektoriuje montuojamas išvadas slėgio jutikliui ir dujų reduktoriui.

- *Pakeitimai elektros instaliacijos sistemoje.* Dujų įrangai reikalingi variklio apsisukimų dažnio ir akseleratoriaus padėties, detonacijos jutiklių signalai. Prie alkūninio veleno daviklio išvadų papildomai prijungiami laidai iš dujų įrangos instaliacijos, taip pat prie dujų įrangos valdiklio prijungiamas ir akseleratoriaus padėties jutiklis. Prie variklio bloko, kuo arčiau centro tvirtinamas detonacijos jutiklis.

- *Pakeitimai išmetamųjų dujų sistemoje.* Dujų įrangos valdikliui reikalingi išmetamųjų dujų temperatūros duomenys, esant per aukštai valdiklyje nustatytai temperatūros reikšmei, dujų tiekimas nutraukiamas. Išmetimo vamzdyje, kuo arčiau išmetimo kolektoriaus montuojamas temperatūros jutiklis [2].

1. Dujinės įrangos parinkimas

Dujinių degalų pritaikymui dyzeliniam varikliui naudotas BMW-320d E46 automobilis, kurio variklio techninės charakteristikos pateiktos 1 lentelėje.

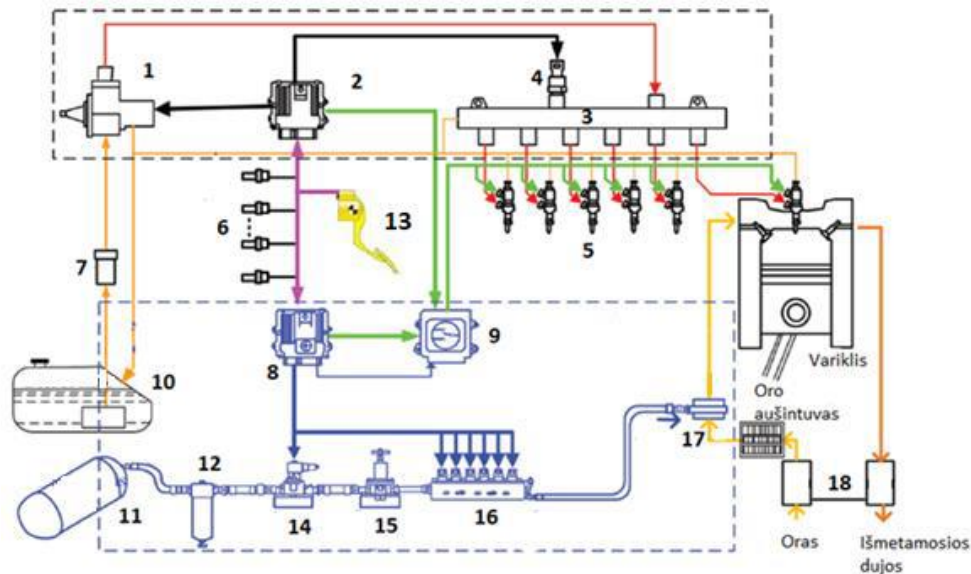
1 lentelė

Variklio charakteristikos [3]

Variklio tipas	Vienaėilis 4 cilindrų, 1995 cm ³ , 16 vožtuvų, turbokompresorius su tarpiniu oro aušinimu
Degalų tiekimo sistema	Common Rail Bosch CP3.2
Suslėgimo laipsnis	17
Didžiausia galia	150 AG (110 kW) esant 4000 aps/min.
Didžiausias sukimo momentas	330 Nm esant 2000 aps/min.
Variklio kodas	M47D20TU

Dauguma įrangų yra universalios ir tinka įvairioms dyzelinių degalų tiekimo sistemoms. Dvigubų degalų sistemos dyzeliniams varikliams yra panašios sandaros ir atlieka tuos pačius pagrindinius veiksmus – valdo dyzelinę ir dujinę degalų tiekimo sistemas, renka ir apdoroja informaciją iš jutiklių, valdo purkštukų įpurškimo laiką, perduoda informaciją vairuotojui į saloną, valdo dujų slėgį garintuve, kontroliuoja dyzelinės

degalų sistemos darbą. Šiems veiksams atlikti ir funkcionuoti antrai degalų tiekimo sistemai reikalingas visas rinkinys komponentų, kurį sudaro pagrindinis įrangos komplektas: ECU, laidų pynės, jutikliai ir atskirai pagal transporto priemonės tipą ir kėbulo formą, variklio galią parenkami komponentai, pavaizduoti 1 pav.





1 pav. Dyzelino/dujų dviguba degalų tiekimo sistema: 1 – CR aukšto slėgio degalų siurblys, 2 – dyzelinio variklio ECU, 3 – dyzelinių degalų akumuliatorius, 4 – dyzelinių degalų slėgio jutiklis, 5 – CR purkštuvai, 6 – jutikliai (6.1 – rato greičio, 6.2 – variklio sūkių dažnio, 6.3 – aušinimo skysčio temperatūros, 6.4 – detonacijos, 6.5 – išmetimo kolektoriaus temperatūros, 6.6 – oro slėgio, 6.7 – dujų slėgio), 7 – dyzelino filtras, 8 – dujų įrangos ECU, 9 – dujų įrangos jungiklis ir indikatorius, 10 – dyzelinių degalų bakas, 11 – SND/ SGD bakas, 12 – skystos fazės dujinis filtras, 13 – akseleratoriaus pedalas ir padėties jutiklis, 14 – vožtuvas, 15 – dujų garintuvas, 16 – dujų purkštuvų linija, 17 – dujinių degalų maišytuvas, 18 – turbokompresorius

Dujinių degalų įrangos gamintojų yra įvairių, todėl palyginti du skirtingų gamintojų komplektai - „Stag Diesel“ ir „Tegas TE-GD4“ (2 lentelė).

2 lentelė

Dujinių degalų įrangos palyginimas

„Stag diesel“ įranga [3]	„TE-GD4“ įranga [4]
	
<p>Įrangos komponentai:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ECU; 2. Detonacijos jutiklis; 3. Išmetimo kolektoriaus temperatūros jutiklis; 4. Oro ir dujų slėgio jutiklis; 5. Jungiklis su indikatoriumi; 6. Dujinių degalų lygio indikatorius; 7. Laidų pynės; 8. Deguonies jutiklis; 9. Reduktoriaus-garintuvo temperatūros jutiklis. 	<p>Įrangos komponentai:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Detonacijos jutiklis; 2. ECU; 3. Išmetimo kolektoriaus temperatūros jutiklis; 4. Oro slėgio jutiklis; 5. Dujų slėgio jutiklis; 6. Jungiklis su indikatoriumi; 7. Reduktoriaus-garintuvo temperatūros jutiklis; 8. Laidų pynės.
<p>Pagrindiniai šios įrangos privalumai: lambda zondo palaikymas, galima naudoti dyzelinėms transporto priemonėms turinčioms iki 16 cilindrų, automatinė derinimo sistema, autopiloto nustatymai, suderinama su visomis dyzelinėmis degalų sistemomis, tinka naudoti SND ir SGD, apsauga nuo variklio perkaitimo.</p>	<p>Pagrindiniai šios įrangos privalumai: automatinė derinimo sistema, autopiloto nustatymai, suderinama su visomis dyzelinėmis degalų sistemomis, tinkama naudoti su visomis dyzelinių degalų sistemoms ir varikliais iki 4 cilindrų, pakaitinės dalys lengvai prieinamos, kaina žemesnė, lyginant su kitomis panašiomis įrangomis.</p>

Nors „Stag Diesel“ įranga yra šiek tiek pranašesnė, montavimui į automobilį buvo parinkta „Tegas TE-GD4“ įranga dėl mažesnės pastarosios kainos. Ši sistema nuskaito automobilio TPS jutiklio parodymus ir automobilio variklio valdymo blokui siunčia TPS signalą jį sumažindama. Priklausomai nuo to kiek sumažinamas TPS jutiklio signalas, sistema tiekia papildomus dujinius degalus per purkštuvus. Purkštuvai gali būti montuojami kiekvienam cilindriui atskirai įsiurbimo kolektoriuje, arba vienas ar keli purkštuvai įsiurbimo kolektoriaus pradžioje, nepriklausomai nuo variklio cilindų skaičiaus.

Priklausomai nuo variklio darbo režimo, iki 40 proc. dyzelinių degalų gali būti pakeičiami dujiniais degalais. „Tegas TE-GD4“ sistemoje integruoti išmetamųjų dujų temperatūros ir detonacijos jutikliai. Remiantis šių jutiklių parodymais, sistema automatiškai koreguoja degiojo mišinio sudėtį keisdama dyzelino ir dujinių degalų santykį. LPG degalų masės dalis Z naudojama dvigubų degalų režime apskaičiuojama pagal išraišką:

$$Z = \frac{m_{LPG}}{m_{diesel} + m_{LPG}} \times 100\% \quad (1)$$

LPG po išgarinimo reduktoriuje, yra sumaišomas su įsiurbiamu oru įsiurbimo kolektoriuje, o dyzelinių degalų įpurškimo sistema vis dar tiekia tam tikrą kiekį dyzelinių degalų, tačiau veikiant dvigubų degalų režimu, išpurškiamo dyzelino kiekis yra sumažinamas proporcingai su įsiurbimo kolektorių įleidžiamomis naftos dujomis.

2. Dujinės įrangos svarbiausių komponentų parinkimas

Svarbiausi dujinės įrangos komponentai, pritaikant dujinius degalus dyzeliniam varikliui, yra purkštuvai ir dujų reduktorius – garintuvas. Jie parenkami pagal variklio tipą ir charakteristikas. Kiti komponentai parenkami pagal automobilio gabaritus ir tinkamą vietą montavimui.

Purkštuvų parinkimas

Valdiklio komplekto gamintojas rekomenduoja purkštukus pasirinkti priklausomai nuo automobilio variklio maksimalios galios, kuriai pasiekti sudeginamas dyzelinių degalų kiekis pakeičiamas dujiniais degalais. Vadovaujantis rekomendacijomis, dujinių degalų maksimalūs santykiniai kiekiai 30% SND ir 50% SGD. Parenkama, kad 30% dyzelinių degalų kiekį bus pakeičiama dujiniais. Apskaičiuojama teorinė galia, pasiekta sudegus dujiniais degalais:

$$N_d = \frac{N \cdot X_c}{100} = \frac{110 \cdot 30}{100} = 33 \text{ kW} = 45 \text{ AG}$$

N - automobilio galia, kW; X_c - dujinių degalų kiekis %.

Reikiamai galiai užtikrinti parenkami purkštuvai su atitinkamo skersmens purkštukais. Apskaičiuojamas purkštukų antgalių skersmuo:

$$D = \frac{P_g}{N \cdot 5,89} = 2,8 \text{ mm}$$

D - purkštuko antgalio skersmuo, mm; P_g - dujiniais degalais pasiekama teorinė galia, kW.

Pagal teorinę galią 33 kW (45AG) parenkami „Alex Barracuda“ purkštukai. Priimama, kad prie 1,5 bar slėgio ir 2,8 mm purkštuko antgalio skersmens 2 vienetų „Barracuda“ purkštukų pakanka M47N varikliui, kurio maksimali galia yra 150 AG, kurios teorinę dalį (45 AG) pasiekama naudojant dujinius degalus.

Dujų reduktoriaus – garintuvo parinkimas

Reduktoriui-garintuvui keliamas reikalavimas – skirtas varikliams, kurių maksimali galia yra ne mažesnė negu 33 kW ir reduktoriaus dujų slėgis prie išėjimo jungties ne mažesnis negu 1,5 bar. Atitinkamai parenkamas reduktorius-garintuvas „Tomasetto Alaska AT-09“. Specifikacija pateikta 3 lentelėje.

3 lentelė

Dujinio reduktoriaus-garintuvo charakteristikos

Išėjimo slėgis, bar	3,0
Variklio galia, AG	90 - 135
Dujinio vamzdelio skersmuo, mm	12
Aušinimo skysčio pajungimo angos skersmuo, mm	16
Vožtuvo maitinimo įtampa, V	12
Matmenys, mm	120 x 125 x 105
Masė, kg	1,7

Kitų komponentų parinkimas

Dujų balionai parenkami atsižvelgiant į naudojamų dujinių degalų rūšį (SND ar SGD) ir TP kėbulo formą ir tipą. Parinktas vidinis toroidinis balionas „Atrama“, kurio skersmuo 600 mm ir aukštis 200 mm, talpa 42 l., montuojamas vietoje atsarginio rato.

Pagal baliono tipą ir matmenis parenkamas vidinis multivožtuvas su 6 tvirtinimo taškais montuojamas 30° kampu 200 mm aukščio balionui. Parenkamas BRC MV EUROPA 200/30 multivožtuvas su išoriniu lygio indikatoriumi ir elektrine lygio jutiklio išvestimi.

Dujų vamzdelių parenkami pagal reikalavimą nr. 70: vamzdžio sienelės storis turi būti mažiausiai 0,8 mm [40]. Parinkti 6 mm (dujinių degalų tiekimui iš baliono į reduktorių-garintuvą) ir 8 mm (degalų pildymui) storio vamzdeliai.

Aušinimo sistemos detalių parinkimas. Iš automobilių detalių katalogo parinkta standartinė žarna, atspari aušinimo skysčiui, kurios vidinis matmuo D16.

Degalų pildymo vožtuvas parinktas, kad tiktų 8 mm skersmens plastikiniam vamzdeliui.

3. Tyrimo rezultatai

Degimo proceso metu gali atsirasti neigiamų reiškinių, tokių kaip detonacija ir uždegimo pertrūkiai [5]. Jie atsiranda dėl per didelės dujinių degalų koncentracijos. Dujinių degalų porcijos, patenkančios į degimo kameras, turi būti optimalios siekiant išvengti degimo procesui neigiamą įtaką turinčių reiškinių. Padidinus pirminį dyzelinių degalų išpurškimo kiekį, galima sumažinti variklyje vykstančią detonaciją variklio apkrovimo metu. SND dvigubų degalų varikliuose maksimalus slėgis yra visada didesnis nei tik dyzelinu varomuose varikliuose. Taip yra dėl aukštesnės degimo temperatūros degant dujiniais ir dyzeliniais degalais. Didinamas SND santykis dvejojų degalų režime sukelia du reiškinius. Pirma, susimaišiusio mišinio degimo ir sklidimo greitis didėja, bet tuo pačiu metu mažėja degimo stabilumas, kurį galima padidinti gausesniu išpurškiamo dyzelino kiekiu. Antra, sumažintas įpurškiamų padegamųjų degalų kiekis sudaro mažiau uždegimo šaltinių, todėl padidėja kelias, kuriuo liepsna turi pasklisti tam, kad sudegintų visą mišinį, esantį degimo kameroje.

Išvados

1. Šiuolaikinių automobilių dyzelinių varikliai gali naudoti dyzelino/dujų degalų mišinį.
2. Remiantis atliktais tyrimais, pastebėta, dvigubų degalų naudojimas gali pagerinti dyzelinių variklių efektyvumą.
3. Apžvelgus dujų įrangos sistemas ir jas sudarančius komponentus, nustatyta, kad dyzelinu varomus variklius pritaikant dvigubų degalų naudojimui galima panaudoti daug standartinių automobilinių SND sistemų komponentų.
4. Sudarytas ir realizuotas dyzelinio automobilio „BMW 320D“ pritaikymo dujiniais degalais projektas. Nustatyta, kad šiuolaikinis dyzelinis VDV be didelių konstrukcinių pakeitimų gali dirbti dyzelino/dujų degalų mišiniu.

Literatūra

1. Garbala, K., Piekarski, W., Andrzejewska, S., Witaszek, K. Analysis of operating parameters and indicators of a compression ignition engine fuelled with LPG. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2016, 93, 13-22. ISSN: 0209-3324. [žiūrėta 2021-02-25]. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2016.93.2>.
2. Pal, A. and Tiwari, A. An investigation of the combustion and emission characteristics of compression ignition engines in dual-fuel mode. *International Journal of Advance Research and Innovation [interaktyvus]*. 2013, 1(3), 98–106 [žiūrėta 2021-02-25]. Prieiga per: doi: <https://pdfs.semanticscholar.org/5f21/5cd8bc545e91b8ff625cd0bd559a18760454.pdf>
3. **STAG Diesel - LPG Conversion Kit** [žiūrėta 2021-02-25]. Prieiga per: <https://www.lpgshop.co.uk/ac-stag-diesel-lpg-conversion-kit/>
4. TE-GD4 GAS Diesel system. Technical manual for installation and calibration [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2021-02-25]. Prieiga per: <http://files.tegas.lt/User%20Manuals/TE-GD4%20user%20manual%20ENG.pdf>
5. Ogawa, H., et al. Low Emission and Knock-Free Combustion with Rich and Lean Biform Mixture in a Dual-Fuel CI Engine with Induced LPG as the Main Fuel Low Emission and Knock-Free Combustion with Rich and Lean Biform Mixture in a Dual-Fuel CI Engine with Induced LPG as the Main Fuel. *SAE Technical Paper [interaktyvus]*. 2001, Paper No 2001-01-3502, 1-9 [žiūrėta 2021-02-25]. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.4271/2001-01-3502>

ADAPTATION OF A DIESEL CAR WITH DIESEL ENGINE TO GAS FUEL

Summary

Diesel cars remain the most popular in Lithuania. Recently, there has been a trend that diesel cars are no longer considered “clean”. Although diesel engines emit less CO₂ compared to petrol engines of similar power, they also emit more NO_x. One way for older diesel engines to meet increasingly stringent exhaust emission standards is to adapt them to gaseous fuels. This article examines the possibility of adapting the diesel engine of the BMW 320d E46 passenger car to the use of gaseous fuels.

Studies have shown that the use of dual fuels can improve the efficiency of diesel engines. A review of gas equipment systems and their components has shown that a number of standard automotive LPG system components can be used in the conversion of diesel engines to dual-fuel applications.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Darius Juodvalkis.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

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

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

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 682 14365, darius.juodvalkis@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Andrius Dargužis.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto lektorius.

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

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 614 77194, andrius.darguzis@edu.ktk.lt

AUTOMOBILIŲ MERCEDES-BENZ UŽVEDIMO SISTEMŲ DIAGNOSTINĖS IR VEIKIMO ATSTATYMO PRIEMONĖS PROJEKTAVIMAS IR TYRIMAS

Rūta Jančaitė^{1,2}, doc. dr. Rasa Žygienė¹, doc. dr. Marius Saunoris¹

¹Kauno technikos kolegija, ²Kauno technologijų universitetas

Anotacija

Straipsnyje apžvelgiami automobilių diagnostikos metodai bei analizuojamos sistemos klasifikacija. Analizuojama EIS mikrovaldiklio atmintis ir tos atminties aktualūs parametrai, kurių pakitimas gali įtakoti užvedimo sistemų gedimus. Taip pat, aprašomas suprojektuotas užvedimo spynelių diagnostikos ir veikimo atstatymo prietaisas. Atliekamos suprojektuoto prietaiso elektrinės principinės schemos tranzistorių bei ritės mazgų simuliacijos LTspice aplinkoje, tiriamas pasirinktų grandinės komponentų tinkamumas bei atliekamas prietaiso testavimas realiuose automobilių pavyzdžiuose.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. EIS, skaitytuvas, mikrovaldiklis, ritė, tranzistorius, SSID, EIS skaitliukas, EIS statusas.

Įvadas

Miestai kasdien vis labiau plečiasi, o žmogus vis dažniau nusprendžia pabėgti nuo dinamiškos miesto rutinos ir apsigyventi ramesniame užmiestyje. Tokiu būdu kelias nuo namų iki darbo pailgėja, ir automobilis žmogui tampa nepakeičiama transporto priemone.

Įvairios automobilių sistemos tobulėja, o su vis sudėtingesnėmis elektroninėmis sistemomis atsiranda ir sudėtingiau pašalinamų gedimų.

Vienas nemaloniausių automobilių gedimų yra nesikuriantis automobilio variklis. Šis gedimas gali įvykti dėl bet kurios užvedimo sistemos dalies neveikimo, tačiau šiame darbe labiausiai orientuojamasi į elektroninių užvedimo spynelių (toliau EIS) gedimus ir šių gedimų šalinimo būdus.

Kartais automobilių gamintojai neveikiantį komponentą siūlo keisti nauju, nors dažnai gedimą galima pašalinti paprasčiausiai perrašius mikrovaldiklį, taip saugant ekologiją, sutaupant gamtinius išteklius, bei automobilio savininko pinigus.

Kai kurie automobiliai turi tokio tipo elektroninio užvedimo spyneles, kurių gedimų negali aptikti ir pašalinti įprastos diagnostinės priemonės. Analizuojant mokslinę literatūrą, pastebėtina, kad užvedimo sistemos, kurių rakteliai su EIS komunikuoja IR spindulių signalu, nėra tyrinėjamos. Todėl yra tikslinga tirti tokio tipo užvedimo sistemas bei suprojektuoti automobilio EIS diagnostinę ir veikimo atstatymo priemonę, nustatančią, kokios yra galimos EIS gedimų priežastys.

Automobilių užvedimo spynelių veikimas, diagnostikos ir veikimo atstatymo metodai

Skirtingų markių automobilių užvedimo sistemos skiriasi komunikacijomis tarp sistemos komponentų. Vienų automobilių užvedimo sistemose EIS komunikuoja su vairo užraktu, antrų – su komforto valdymo bloku arba variklio kompiuteriu, su prietaisų skydeliu, o trečių – EIS net nekomunikavusi su variklio elektroniniu valdymo bloku duoda (arba ne) leidimą užvesti automobilį.

Kaip ir buvo minėta ankstesniame straipsnyje (Jančaitė et al, 2021: 154 – 158), automobilių užvedimo sistemos gali būti klasifikuojamos pagal raktelio tipą. Šiame straipsnyje tiriama užvedimo sistema veikia su nuotolinio valdymo IR rakteliu.

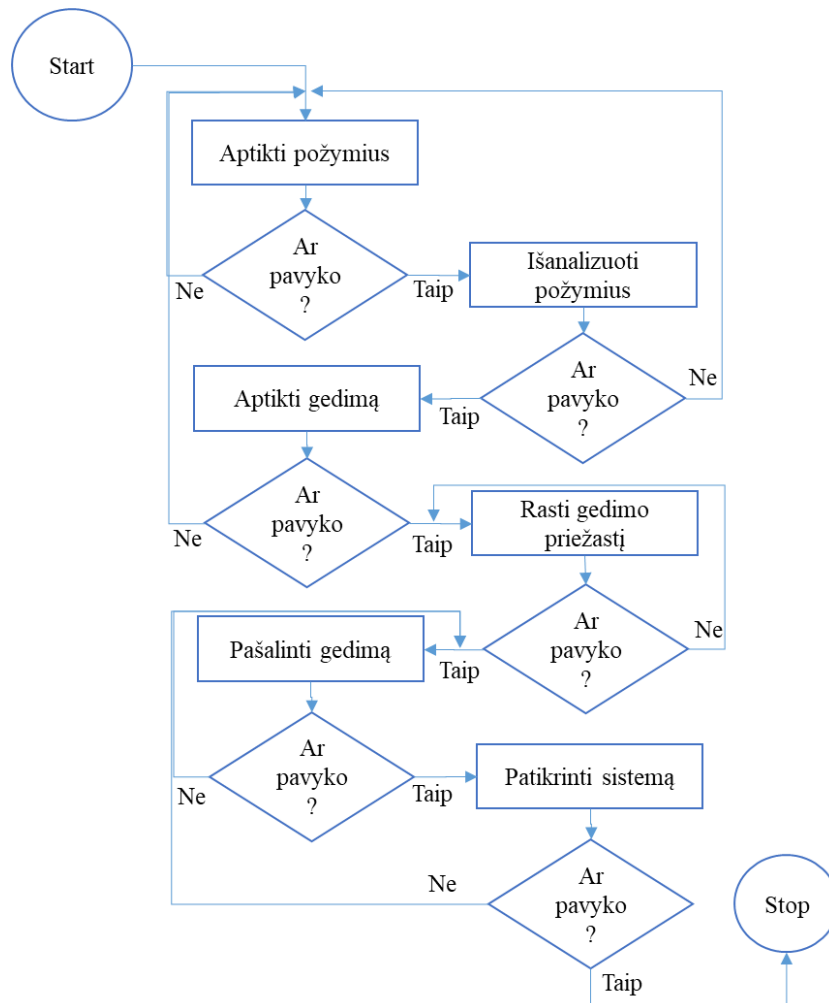
Norint atlikti automobilių diagnostiką, visų pirma, reikia išsiaiškinti, kas tai yra diagnostika, išmanyti diagnostikos atlikimo eigą ir pasirinkti tinkamą būdą ją atlikti.

Diagnostika – tai įvairaus pobūdžio trūkumų ar gedimų numatymas ar nustatymas. Automobilio kompiuterinė diagnostika tai kompleksinė (Denton, 2006: 288; Denton, 2017: 365; МИГАЛЬ, 2014: 402; МИГАЛЬ, 2014: 515) automobilio elektroninių sistemų patikra, siekiant nustatyti defektus ar pažaidas.

Diagnostika leidžia realiai įvertinti tyrinėjamų mazgų, detalių bei elektroninių valdymo blokų techninę būklę. Diagnostikos procese matuojamos įvairios charakteristikos, kurios tiesiogiai lemia automobilių darbą.

Literatūros šaltiniuose aptinkama keletas automobilių diagnostikos metodų, tačiau vienas paprasčiausiai suprantamų ir pritaikomų, pateikiamas A. Bonnick knygoje „Automotive computer controlled systems“. Autorius (Bonnick, 2001: 173 – 174) pateikia „šešių žingsnių“ metodą atlikti diagnostiniam darbui.

Pagal A. Bonnick diagnostikos metodą sudarytas algoritmas (1 pav.), kuris padeda suprasti žingsnių svarbą.



1 pav. Diagnostinio darbo atlikimo algoritmas, sudarytas pagal A. Bonnick „šešių žingsnių“ metodą
Šaltinis: sudaryta autorių

Neretai, surinkus ir išanalizavus gedimo požymius, paties gedimo aptikti nepavyksta, todėl reikia požymius surinkti ir išanalizuoti dar kartą.

Aptikus gedimą, būtina rasti jo priežastį, o tada gedimą pašalinti ir galiausiai patikrinti sutaisytą sistemą. Jei patikrinus sistemą gedimas tebėra, gedimą reikia pašalinti iš naujo ir vėl patikrinti sistemą. Tai reikia kartoti tol, kol sistema veiks kaip pridera.

Automobilių užvedimo spynelių diagnostikos ir veikimo atstatymo priemonės projektavimas ir tyrimas

Kaip ir buvo aptarta praeitame straipsnyje (Jančaitė et al, 2021: 154 – 158), kai kurių Mercedes-Benz automobilių užvedimo spynelėse, yra tokio tipo mikrovaldikliai, kurių atmintis gali pakisti dėl įtampos šuolių bei kritimų. Atminties vietos, kurios dažniausiai pakinta, saugo tokius svarbius parametrus, kaip SSID (identifikacinis kodas, nusakantis užvedimo spynelės arba raktelio būseną), statusas bei skaitliukas. Išvardintų parametrų pakitimai gali įtakoti automobilio nesikūrimą.

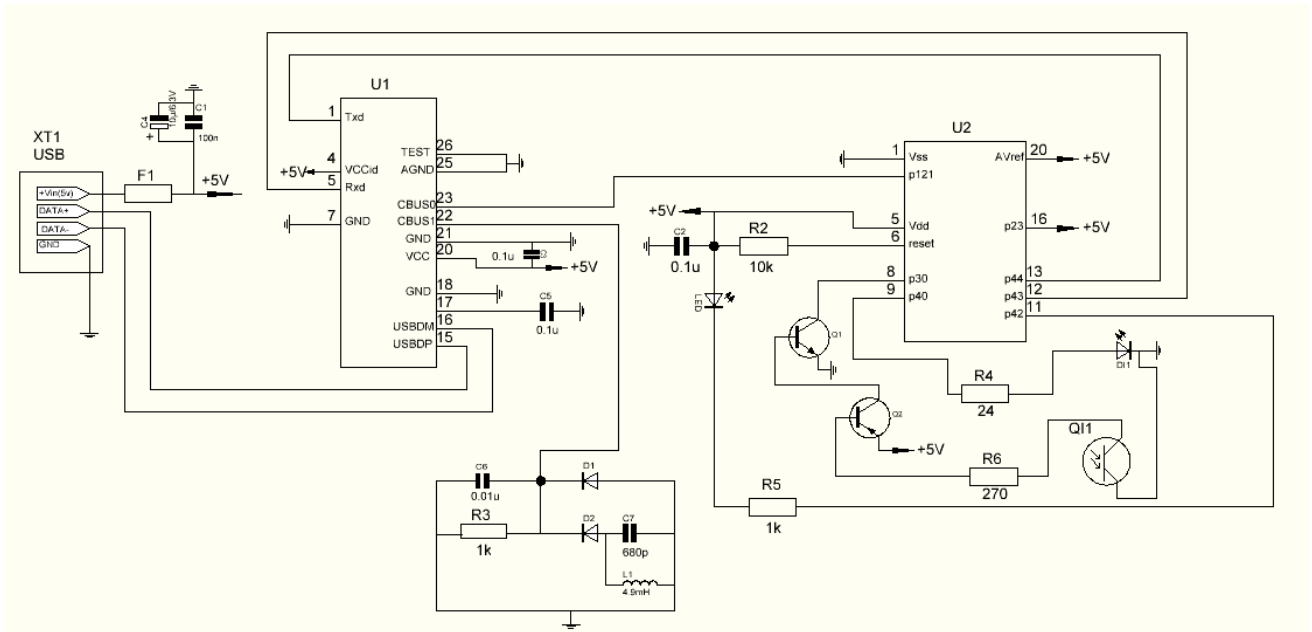
Pakitęs užvedimo spynelės SSID (angl. service set identifier). Atsitikus SSID gedimui, nustoja veikti raktas (kartu ir centrinis valdymas), tačiau yra galima diagnostika su originalia įranga.

Pakitęs užvedimo spynelės statusas. Gerai funkcionuojanti EIS, pajungus diagnostinę įrangą, parodo savo statusą, kuris būna: personalizuota (angl. personalized), aktyvuota (angl. activated), panaikinta transportavimo apsauga (angl. transport protection released) ir pan. Blogai funkcionuojančios arba nefunkcionuojančios EIS, diagnostinė įranga diagnozuoti negali – norint diagnozuoti EIS gedimus, atsiranda klaida: „no communication“, reiškianti, jog komunikacija su EIS negalima.

Pakitęs skaitliukas. Dažniausiai automobiliuose yra numatyti aštuoni rakteliai, kuriuos galima užprogramuoti užvedimo spynelei. EIS skaitliukas parodo, kiek kartų vienas ar daugiau užprogramuotų raktelių buvo pasukti užvedimo spynelėje. Mercedes-Benz w204 modelio automobilyje yra numatyta, kad toks skaitliukas negali pasiekti 198000 kartų ribos, nes kuomet ta riba yra pasiekta, raktelis nustoja veikti. Nutikus

tokiam gedimui, nustoja veikti rakteliai bei centrinis valdymas, tačiau yra galima diagnostika originaliais diagnostiniais prietaisais.

Norint diagnozuoti tokio tipo EIS atminties pakitimus bei atstatyti EIS veikimą, yra reikalinga nauja, tinkamai funkcionuojanti diagnostinė priemonė. Šiuo tikslu, buvo suprojektuotas skaitytuvas, galintis nuskaityti EIS mikrovaldiklio atmintį, bei ją perrašyti pakeistais duomenimis.



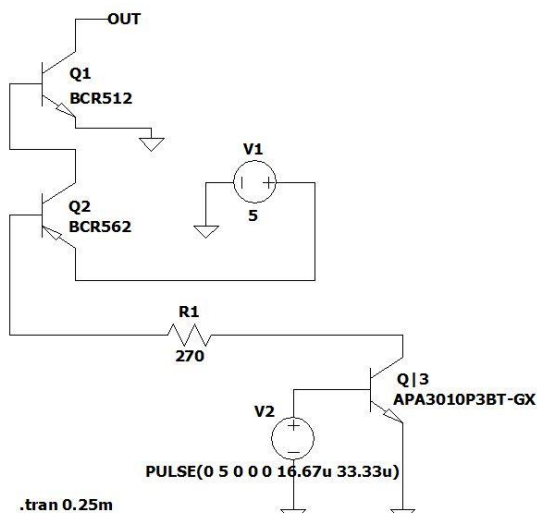
2 pav. Suprojektuoto EIS skaitytuvo elektrinė principinė schema
Šaltinis: sudaryta autorių

Elektrinėje principinėje schemoje (2 pav.) matomas signalo perdavimo kelias tarp skaitytuvo komponentų. Ritė L1 yra atsakinga už skaitytuvo sinchronizaciją su užvedimo spynele. Kai skaitytuvo ritė kartu su EIS rite sukuria elektromagnetinį lauką, signalas yra siunčiamas į skaitytuvo mikrovaldiklį, kuris, spynelei reikiamu laiku, gali nuskaityti EIS mikrovaldiklį. Fototranzistorius Q1 yra atsakingas už duomenų priėmimą IR spindulių signalu iš EIS, o fotodiodas D1 – už pakoreguotų duomenų perdavimą į EIS.

Norint nustatyti, kokių parametrų turi būti pasirinkti pagrindiniai grandinės komponentai, buvo atlikti grandinės mazgų veikimo modeliavimai.

Tranzistorių mazgo simuliacija.

Elektrinės principinės schemos tranzistorių mazgo dalis (3 pav.) yra atsakinga už informacijos perdavimą iš EIS į skaitytuvo mikrovaldiklį IR signalu. Tranzistorių mazgo schema buvo simuliuojama LTspice aplinkoje.

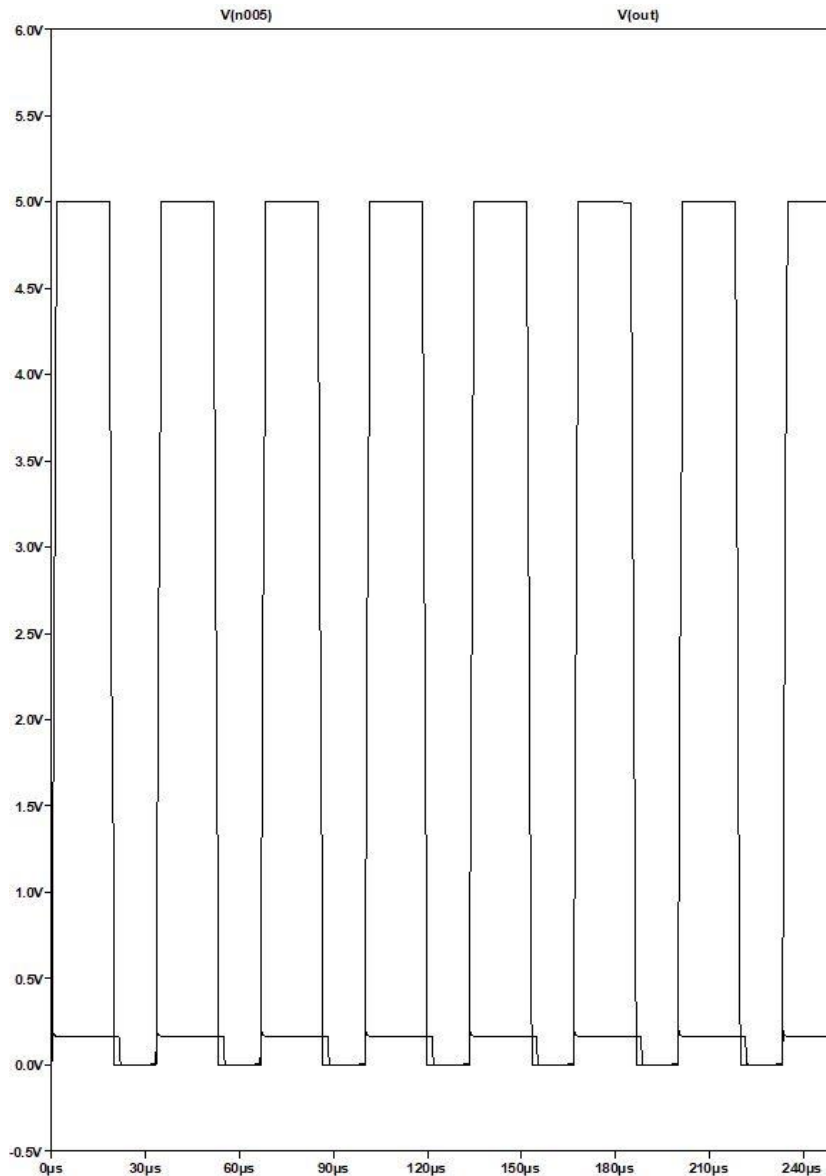


3 pav. Projektuojamo skaitytuvo tranzistorių mazgo simuliacija LTspice aplinkoje
Šaltinis: sudaryta autorių

Kadangi fototranzistoriaus, kuris priima IR signalą, simuliacija grandinėje negalima, vietoje fototranzistoriaus yra naudojamas paprastas NPN sandūros tranzistorius, o į jį paduodamas 5 V stačiakampis signalas, kuris imituoja IR signalą.

Mikrovaldiklio programinėje aparatinėje įrangoje (angl. firmware) yra numatyta, kad į mikrovaldiklį ateinančio signalo įtampa turi būti nedidesnė nei keli šimtai mV, ir neinvertuota. Kadangi fototranzistorius IR signalą invertuoja, yra reikalingi tranzistoriai, kurie signalą atstatytų ir sumažintų.

Imituoto IR signalo įėjimo bei išėjimo laikinės charakteristikos atvaizduotos 4 paveikslėlyje.

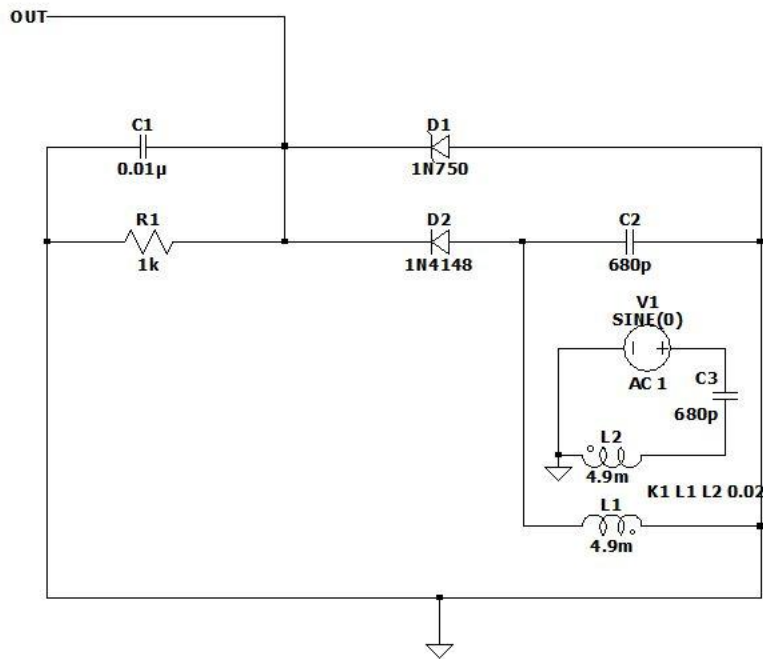


4 pav. Imituoto IR įėjimo (iki 5 V) ir išėjimo (iki 0,16 V) signalų laikinės charakteristikos
Šaltinis: sudaryta autorių

Imituoto IR įėjimo ir išėjimo signalų laikinės charakteristikos (4 pav.) parodo, kad signalas, praėjęs pro fototranzistorių Q3, rezistorių ir tranzistorius Q1 bei Q2, yra atstatytas, t. y. jo fazė išlikusi tokia pati, kaip įėjimo signalo. Taip pat, galima pastebėti, kad įtampa signalo išėjime yra sumažėjusi iki 160 mV, o tai parodo, jog IR signalas iš EIS skaitytuvo mikrovaldikliui perduos reikiamą informaciją.

Ričių mazgo simuliacija.

Suprojektuoto EIS skaitytuvo ritės mazgas, kaip ir buvo minėta, yra atsakingas už sinchronizaciją. Kad sinchronizacija įvyktų, EIS bei skaitytuvo ričių rezonansiniai dažniai turi sutapti.



.ac lin 10000 10000 200k

5 pav. Projektuojamo skaitytuvo ričių mazgo simuliacija LTspice aplinkoje
Šaltinis: sudaryta autorių

Projektuojamo skaitytuvo ritė yra tokio paties induktyvumo, kaip EIS ritė – 4,9 mH. Tam, kad tarp ričių susidarytų elektromagnetinis laukas, iki EIS ritės turi ateiti kintama įtampa. Dėl šios priežasties, simuliuojamame ričių mazge yra prijungiamas 12 V kintamos įtampos šaltinis.

Kelios grupės mokslininkų (Huang et al, 2014; Liang et al, 2017; Lyu et al, 2015; Xue et al, 2015), savo darbuose yra tyrinėję dažnių pasidalijimo efektą. Anot Liang, Xue ir kt., kai formulė (1) yra tenkinama, sistema patirs dažnių pasidalijimo efektą.

$$k \geq \frac{1}{\sqrt{Q_s \cdot Q_i}} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{Q_s}{Q_i} + \frac{Q_i}{Q_s} \right)}, \quad (1)$$

čia k – sujungimo koeficientas, Q_s – siųstuvo ritės kokybės faktorius, Q_i – imtuvo ritės kokybės faktorius.

Kokybės faktoriai Q_s ir Q_i randami pagal (2) formulę.

$$\begin{cases} Q_s = \frac{\omega \cdot L_s}{R_s}, \\ Q_i = \frac{\omega \cdot L_i}{R_i}, \end{cases} \quad (2)$$

čia L_s – siųstuvo ritės induktyvumas, R_s – siųstuvo ritės varža, L_i – imtuvo ritės induktyvumas, R_i – imtuvo ritės varža, o ω – kampinis dažnis.

Norint sužinoti kampinį dažnį, galima naudotis formule (3).

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f. \quad (3)$$

Kadangi dažnis f yra žinomas ir lygus 87 kHz, kokybės faktorių formulę (2) galima išplėsti į formulę (4).

$$\begin{cases} Q_s = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_s}{R_s}, \\ Q_i = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_i}{R_i}. \end{cases} \quad (4)$$

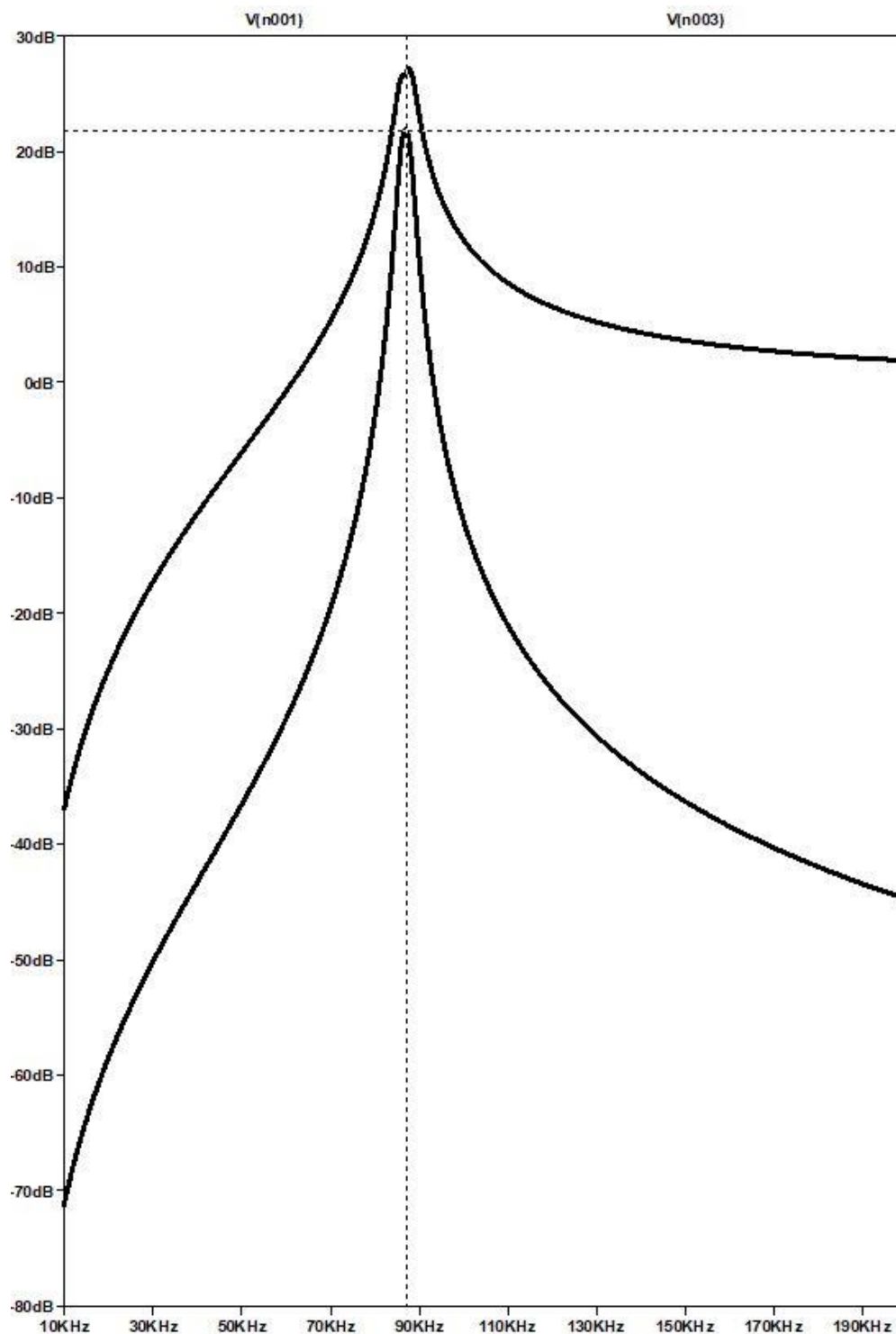
Atlikus skaičiavimus, gaunamos kokybės faktorių reikšmės:

$$\begin{cases} Q_s = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 87000 \cdot 0,0049}{93} = 28,79, \\ Q_i = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 87000 \cdot 0,0049}{93} = 28,79. \end{cases}$$

Tuomet, gaunama kokybės koeficiento nelygybė:

$$k \geq \frac{1}{\sqrt{28,79 \cdot 28,79}} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{28,79}{28,79} + \frac{28,79}{28,79} \right)} = 0,038.$$

Vadinasi, norint išvengti dažnių pasidalijimo efekto, sujungimo koeficientas turi būti mažesnis už 0,038.

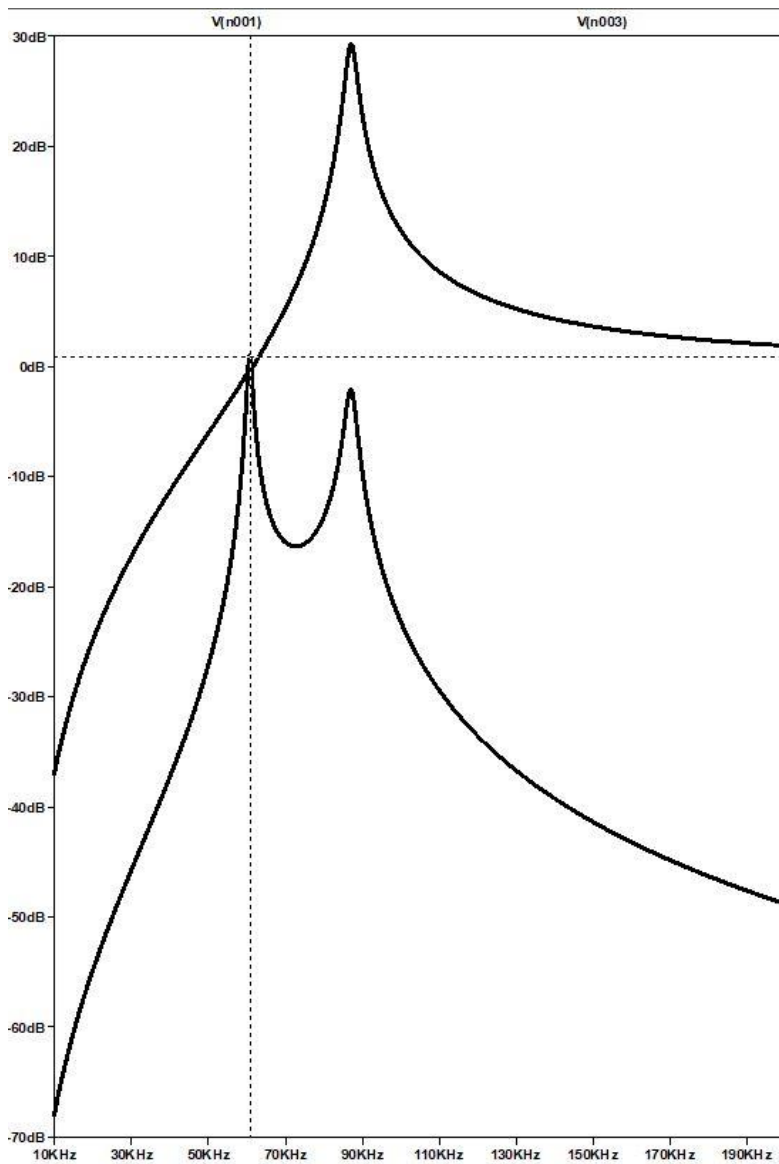


6 pav. Susimuliuoto ričių mazgo įtampų dažninės charakteristikos: viršutinė kreivė – siųstuvo ritės, žemutinė kreivė – imtuvo ritės

Šaltinis: sudaryta autorių

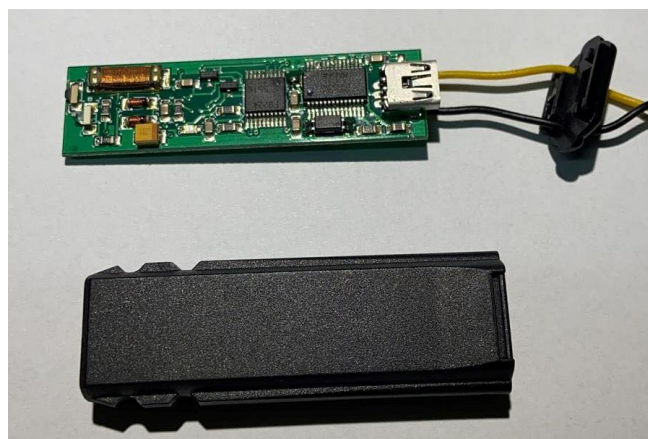
Kaip matoma 6 paveikslėlyje pateiktose dažninėse charakteristikos, antrosios ritės dažnis rezonuoja su pirmosios ritės dažniu ties 87 kHz.

Atlikus eksperimentą su didesnio induktyvumo rite (10 mH) gaunamas, jau minėtas dažnių pasidalijimo efektas (7 pav.).



7 pav. Susimuluoto ričių mazgo, pasirinkus didesnio induktyvumo ritę, įtampų dažninės charakteristikos: viršutinė kreivė – siųstuvo ritės, žemutinė kreivė – imtuvo ritės
Šaltinis: sudaryta autorių

Paveikslėlyje (7 pav.) matoma, kad pasidalijus dažniams, imtuvo ritės dažnis, kuriame signalo priėmimo galia yra didžiausia yra 60 kHz. Tai reiškia, kad signalas gaunamas ties 87 kHz, nebus taip gerai priimamas, kaip suderintų ričių atveju.



8 pav. Suprojektuotas EIS skaitytuvas ir jo plastmasinis korpusas
Šaltinis: sudaryta autorių

Suprojektuoto EIS skaitytuvo (8 pav.) veikimas buvo patikrintas dešimčiai skirtingų Mercedes-Benz automobilių modelių, nuskaitant EIS mikrovaldiklio duomenis ir įrašant juos atgal į EIS mikrovaldiklį. Atlikus suprojektuoto prietaiso bandymus, buvo pastebėta, kad prietaisas yra tinkamas šalinti šių automobilių EIS mikrovaldiklio atminties gedimus:

- 1) MB W117 (2013-2014 m.);
- 2) MB W156 (2013-2014 m.);
- 3) MB W164 (2006-2011 m.);
- 4) MB W166 (2011-2014 m.);
- 5) MB W204 (2007-2014 m.);
- 6) MB W207 (2009-2014 m.);
- 7) MB W212 (2009-2014 m.);
- 8) MB W216 (2007-2014 m.);
- 9) MB W221 (2007-2014 m.).

Išvados

1. Išanalizavus skirtingus literatūros šaltinius, buvo nustatyta, kad užvedimo sistemos gali būti klasifikuojamos pagal raktelio tipą. Tiriamose užvedimo sistemose naudojami nuotolinio valdymo rakteliai, kurie su užvedimo spynele komunikuoja IR signalu. Apžvelgti automobilių diagnostikos ir veikimo atstatymo metodai; pagal A. Bonnick „Šešių žingsnių metodą“, sudarytas algoritmas.

2. Suprojektuotas užvedimo spynelių mikrovaldiklio atminties nuskaitymui ir įrašymui skirtas prietaisas, kuris komunikuoja su EIS IR signalu. Atlikta skaitytuvo tranzistorių mazgo analizė, parodė, kad pasirinkti komponentai yra teisingi, nes signalas, kaip ir nurodyta gamintojo, iki skaitytuvo mikrovaldiklio nueina neinvertuotas bei sumažintos (iki 160 mV) amplitudės. Atlikus ričių mazgo simuliaciją, buvo atlikti skaičiavimai, kurie parodė, kad skaitytuvo ritės dažniai patirs dažnių pasidalijimo efektą, jei ričių sujungimo koeficientas bus didesnis už 0,038.

3. Suprojektuoto prietaiso veikimas išbandytas su skirtingų modelių Mercedes-Benz automobiliais. Rezultatai parodė, kad keliuose skirtinguose Mercedes-Benz automobilių modeliuose, yra tokio paties tipo užvedimo spynelės, kurių SSID, skaitliuko bei statuso pozicijos EIS mikrovaldiklio atmintyje sutampa. Dėl šios priežasties, darbo metu, buvo identifikuoti devyni skirtingi Mercedes-Benz automobilių modeliai, kuriems suprojektuotas skaitytuvas yra tinkamas.

Literatūra

1. BONNICK, A. Automotive Computer Controlled Systems. Butterworth-Heinemann, 2001, pp. 173 – 174.
2. DENTON, T. Advanced Automotive Fault Diagnosis. Utterworth-Heinemann, 2006, pp 288.
3. DENTON T. Advanced Automotive Fault Diagnosis: Automotive Technology. Vehicle Maintenance and Repair: Routledge, 2017, pp. 365. ISBN 978-0-415-72576-7.
4. HUANG, R. B. et al. Frequency Splitting Phenomena of Magnetic Resonant Coupling Wireless Power Transfer. IEEE Transactions on Magnetics. 2014 50(11). ISSN 0018-9464.
5. JANČAITĖ, R., ŽYGIENĖ, R., SAUNORIS, M., VITONIS, P. Automobilio užvedimo spynelės mikrovaldiklio įtampos šuolių tyrimas. Inžinerinės ir edukacinės technologijos, Kauno technikos kolegija, 2020. pp. 154 – 158. ISSN 2029-9303
6. LIANG, L. H. et al. Study on frequency characteristics of wireless power transmission system based on magnetic coupling resonance. 2017 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 93 012063.
7. LYU, Y. et al. A Method of Using Nonidentical Resonant Coils for Frequency Splitting Elimination in Wireless Power Transfer. IEEE Transactions on Power Electronics, VOL. 30, NO.11, 2015.
8. МИГАЛЬ В. Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей. Том 2 Неисправности, параметры и средства диагностики. Учебное пособие в 3-х томах. Харьков: Майдан, 2014, pp. 402. ISBN:978-966-372-551-2.
9. МИГАЛЬ, В. Д. Техническая диагностика автомобилей. Теоретические основы: учеб. Пособие. Электронный ресурс. Харьков: Майдан, 2014, pp. 515.
10. XUE, H. et al. Research of Load Characteristics of Wireless Power Transmission System Based on Magnetic Coupling Resonance, Ind. And Mine Automat. 2015, 41, 366-9.

DESIGN AND RESEARCH OF MERCEDES-BENZ AUTOMOBILES IGNITION SYSTEMS DIAGNOSTIC AND REPAIR EQUIPMENT

Summary

Car manufacturers often replace a non-functioning component with a new one, although the malfunction can be removed simply by overwriting the microcontroller. Therefore, by overwriting the memory of the microcontroller, one would preserve ecology, save natural resources, and save the car owner's money.

Some automotive systems have a type of electronic ignition switch (EIS), which fails to be diagnosed and repaired by standard diagnostic tools. To solve this problem, a new diagnostic and repair tool is needed.

The purpose of this article is to research and design an automotive EIS diagnostic and repair equipment determining the possible causes of EIS failures.

The article reviews the methods of car diagnostics and the classification of the analyzed system. The memory of the EIS microcontroller, the relevant parameters of that memory and the changes which may affect the failures of the ignition systems, are analyzed. Also, the design of the ignition switch diagnostic and repair device is described. The transistors and coil nodes of the electrical scheme of the designed equipment is performed in the LTspice environment. The suitability of the selected circuit components is researched, and the designed device is tested in some types of Mercedes-Benz automobiles.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Rūta Jančaitė

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Elektronikos technikos studijų programos asistentė.

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

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 652 49510, ruta.jancaite@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Rasa Žygienė

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

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

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

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 620 69206, rasa.zygiene@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Marius Saunoris

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Autotransporto elektronikos studijų programos docentas; VšĮ Kauno technologijų universiteto, Elektros ir elektronikos fakulteto, Elektronikos inžinerijos katedros docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Energetiškai efektyvios elektroninės sistemos.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 684 53462, marius.saunoris@ktu.lt

BANDINIŲ ATSPAUSDINTŲ 3D TECHNOLOGIJA SLUOKSNIŲ KRYPTIES ĮTAKA STIPRUMUI LENKIANT

Audrius Žunda, Albinas Andrieušis
Kauno technikos kolegija

Anotacija

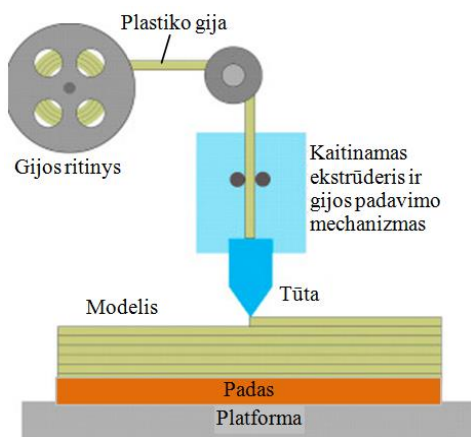
Vienas iš svarbių spausdinto 3D išlydyto plastiko technologija gaminio struktūrinių parametru, įtakančių jo stiprumą, yra jo sluoksniuota struktūra. Straipsnyje pateikiama medžiaga apie pavyzdžių, spausdintų 3D išlydyto plastiko technologija, atsparumo lenkimui bandymus, priklausomai nuo pluošto krypties veikiančios jėgos atžvilgiu. Bandiniai eksperimentui buvo pagaminti remiantis ASTM E23-02a, kurių matmenys buvo 10x10x400mm. Nustatyta, kad didžiausias atsparumas lenkimui ir stiprumo riba buvo lenkiant statmenai spausdintam pluoštui ir esant užapvalintam įpjovos dugnui. Projektuojant ir ruošiant gaminius spausdinti 3D išlydyto plastiko technologija yra svarbu atkreipti dėmesį į eksploatacijos metu vyraujančias jėgas.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. 3D spausdinimas, sluoksnių kryptis, atsparumas lenkiant

Įvadas

Skaitmeninės technologijos pamažu keičia įprastus gamybos būdus mašinų pramonėje, prietaisų gamyboje, statybų ar net žemės ūkyje. Kompiuteriu valdomi skaitmeniniai įrenginiai suteikia galimybę darbus atlikti efektyviau, su didesniu tikslaus pakartojimo laipsniu, arba sukurti naujas technologijas. Tokia, palyginti nauja technologija yra 3D spausdinimas, ypač, greitai prototipų gamybai. Net 31,7% šios gamybos dalies, tenka motorinio transporto pramonei, 18,8% - vartojimo prekių gamybai, 11,2% tenka verslo mašinoms ir 8% medicinai (D.T.Pham, S.S.Dimov. 2001: 6). Keletas pagrindinių trimačio spausdinimo technologijų: stereolitografija (SLA), skaitinis apdorojimas šviesa (DLP), modeliavimas išlydytais sluoksniais (FDM), selektyvus lazerinis sukepinimas (SLS), selektyvus lazerinis lydymas (SLM), lydymas elektronų spinduliu (EBM), gamyba laminavimo būdu (LOM). Šiuo metu populiariausias yra modeliavimas išlydytais sluoksniais. Tai 3D modelių kūrimas išlydyto plastiką išspaudžiant pro ekstruderio tūtą ir sluoksnis po sluoksnio auginant gaminio „kūną“ (1 pav.).

Tokia sluoksniuota struktūra turi trūkumų, kurie išryškėja priklausomai nuo to, kokia kryptimi sluoksnių atžvilgiu gaminių veikia deformuojančios jėgos. Tai ypač svarbu, kalbant apie realių spausdintų eksploatacines savybes. Svarbu, kad gijos medžiagos prieš spausdinimą ir medžiagos (PLA - polilaktinės rūgšties; ABS – akrilnitrilo butadieno stireno) po spausdinimo savybės praktiškai nesikeičia, dėl to yra galimas antrinis modelių, kaip žaliavos panaudojimas (Letcher ir Waytashek, 2014: 1-8).



1 pav. Modeliavimo išlydytais sluoksniais schema

Šaltinis: R.Zoua, Y.Xia ir kt., 2016: 506-513

Mokslininkai tyrinėdami MIS/FDM technologija atspausdintų bandinių iš PLA atsparumą tempimui nustatė, kad atspariausi tempimui ir lenkimui (suirimo) yra tie pavyzdžiai, kurių sluoksniai tūryje buvo išdėstyti 45° kampu bandinio išilginės ašies atžvilgiu. Mažiau atsparūs, esant 0° - išilgai sluoksnio. Mažiausias atsparumas – kai kampas 90°, t.y. kai jėga veikia lygiagrečiai sluoksniams kryptimi. (Letcher ir Waytashek, 2014: 1-8; Zoua, Xia ir kt., 2016: 506-513; Kovan, Tezel ir kt., 2018: 126-128). Tie patys mokslininkai nustatė, kad esant 0° ir 45° kampui, bandinių atsparumas nuovargiui (tempiant/gniuždant) praktiškai toks pats, o esant 90° - mažiausias. Panašius rezultatus gavo ir kiti tyrėjai (M.Galeja, A.Hejna ir kt. 2020, 1-12) analizuodami kitą

medžiaga – ABS. Jie pastebėjo kad smūginis atsparumas didžiausias buvo, kai sluoksniai buvo išdėstyti 55° kampui.

Kiti stiprumą įtakojantys veiksniai yra tūrio užpildymo laipsnis (Novoa and A.Flores, 2019: 745-765). Jis priklauso nuo medžiagos erdvinio paskirstymo modelio viduje, jei užpildymas mažesnis nei 100%. Įprastai formuojamos erdvinės struktūros (panašios į korį ar sujungtas celes). Užpildymo celių forma gali būti įvairi. Celių dydis ir sienelių storis įtakoja užpildymo laipsnį (ir atvirkščiai). Priklausomai nuo programinės įrangos valdoma arba užpildymo vertė, arba celių parametrai. Nustatyta, kad esant didesnei galimai spausdinimo tūtos temperatūrai bei didžiausiam tirtam užpildymui, bandinių stiprumas buvo didžiausias. Celių forma ženklios įtakos stiprumui neturėjo.

Spausdinimo greičio įtakos gaminio stiprumui tyrimai rodo, kad yra tam tikras greičio intervalas ($50-80 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$), kuriame spausdintų pavyzdžių stiprumas yra maksimalus ir kinta nežymiai. Tačiau kai greitis viršija $80 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ stiprumas ženkliai sumažėja (Miazio. 2019: 33-38).

Dar vienas svarbus 3D spausdintų konstrukcijų mikrostruktūros parametras, kuriam įtakos turi ir greitis, yra sluoksnio storis. Tyrimai rodo, kad esant mažesniai spausdinamo sluoksnio storiui gaminio stiprumas didėja. Tai yra dėl to, kad mažinant sluoksnio storį, didėja adhezija tarp sluoksnių, nes didėja kontaktinis paviršiaus plotas. Pažymėtina, kad to paties tipo, tačiau skirtingų gamintojų gijų savybės ir atspausdintų pavyzdžių savybės skiriasi (Kuznetsov, Solonin ir kt. 2018: 1-11).

Apibendrinant galima sakyti, kad spausdinant modeliavimo išlydytais sluoksniais (FDM) technologija, sluoksnių kryptis yra vienas svarbiausių veiksnių, nusakantis gaminio stiprumą. Anksčiau aprašytiems bandymams (ypač lenkiant) būdingas atstumas tarp atramų, lygus 10 cm, t.y. pakankamai didelis lenkimo lankas (atkarpa), kuriame koncentruojasi įtempiai. Realiose gaminiuose dažnai įtempių koncentracija būna labiau lokali: užapvalinimai velenų skersmens pasikeitimo zonose ar korpusinių detalių sienelių susikirtimo vietose ir pan.. Nepavyko rasti duomenų apie bandymus, kai deformacija vyksta lokaliai.

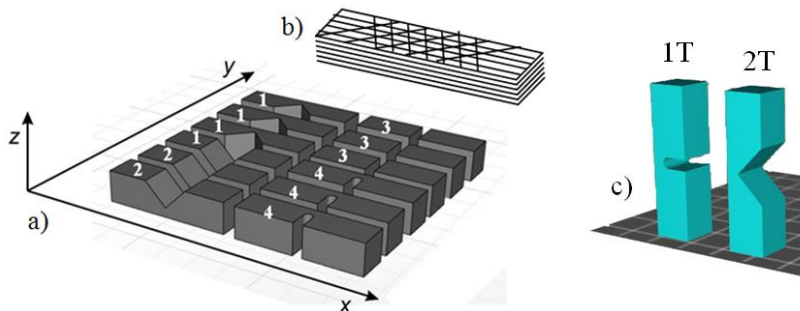
Tyrimo tikslas buvo nustatyti 3D technologija pagamintų bandinių iš ABS medžiagos atsparumą lenkimui iki suirimo, esant lokaliai deformacijai, priklausomai nuo sluoksnių krypties deformuojančios jėgos krypties atžvilgiu.

Tyrimo rezultatai yra svarbūs 3D modeliavimo išlydytais sluoksniais technologija spausdintų gaminių patikimumui, ypač projektuojant korpusinių ar veleno tipo detalių elementus.

Medžiagos ir tyrimo metodika

Bandinių gamybai buvo naudotas modeliavimo išlydytais sluoksniais spausdintuvas Zortrax M200, programinė įranga Zortrax Z-Suite. Naudota medžiaga: Zortrax ABS Z-Ultrat. Medžiagos atsparumo tempimui riba – 32,6 MPa; trūkimo įtempiai – 30,7 MPa.

Bandinių forma eksperimentui parinkta remiantis ASTM E23 and ISO 148-1 standartais, kuris skirtas smūginio tūsumo „Charpy“ bandymams. Bandinių matmenys: 10x10x40. Įpjovos V ir U tipo. U tipo įpjovos plotis – 3mm, dugno užapvalinimo spindulys – 1,5mm. V formos įpjovos kampas – 90°, užapvalinimo spindulys– 0,25mm. Bandinių išdėstymo ant spausdintuvo stalo schema pateikta 2 pav..



2 pav. Bandinių išdėstymo ant spausdintuvo stalo schema ir sluoksnių formavimo išdėstymo atžvilgiu schema b)

Šaltinis: Sudaryta autorių

Plokštumoje x-y buvo formuojami sluoksniai, o priešinga ašiai z kryptimi perstumiamas stalelis pereinant prie kito sluoksnio spausdinimo. 3D atspausdintų bandinių sluoksnių padėtis lenkimo jėgos atžvilgiu ir kitos charakteristikos pateiktos 1-oje lentelėje.

3D spausdintų bandinių charakteristika

Bandinio Nr./sluoksnio pozicija lenkimo jėgos atžvilgiu	0° (išilgai) 5 pav. c)	90° (statmenai- sluoksnis po sluoksniumi) 5 pav. a)	S90° (statmenai- sluoksnis prie sluoksnio) 5 pav. b)	Įpjova	Įpjovos dugno užapvalinimo spindulys, mm
N1			X	V	0,5
N2		X		V	0,5
N3		X		U	1,5
N4			X	U	1,5
N1T	X			U	1,5
N2T	X			V	0,5

Šaltinis: Sudaryta autorių

Lenkimo bandymai buvo atlikti universaliu stendu Instron 5960, deformacijos greitis – 1 mm/min. 3 pav. pateiktas lenkimo bandymo vaizdas. Eksperimento metu, bandinys buvo dedamas ant atramų, kurios pritvirtintos prie prietaiso stalo. Tarpas tarp atramų buvo 20 mm. Lenkimo prizmė pridedama virš įpjovos, kad lenkimas vyktų ties įpjovos centru. Prietaisas matuoja spaudžiamo bandinio deformaciją ir lenkiančią jėgą.



3 pav. Bandinių universaliame stende Instron 5960 vaizdas: 1 – lenkimo prizmė, 2 – bandinys, 3 – atramos

Šaltinis: Sudaryta autorių

Lenkimo bandymo duomenys gaunami grafiniu pavidalu bei skaitine forma, kurie yra pateikiami sekančiame skyriuje.

Tyrimo rezultatai

3D modeliavimo išlydytais sluoksniais spausdintų bandinių atsparumo lenkimui tyrimas parodė keletą charakteringų veiksnių, įtakančių gaminių stiprumą. 2-oje lentelėje pateikti bendri ribiniai lenkimo bandymo duomenys. Iš jų matosi, kad stipriausi (lūžio įtempiai 78,7 MPa vidutiniškai) buvo bandiniai N4. Tuo tarpu silpniausi (14,6 ar 19,3 MPa) buvo bandiniai N1T ir N2T.

2 lentelė

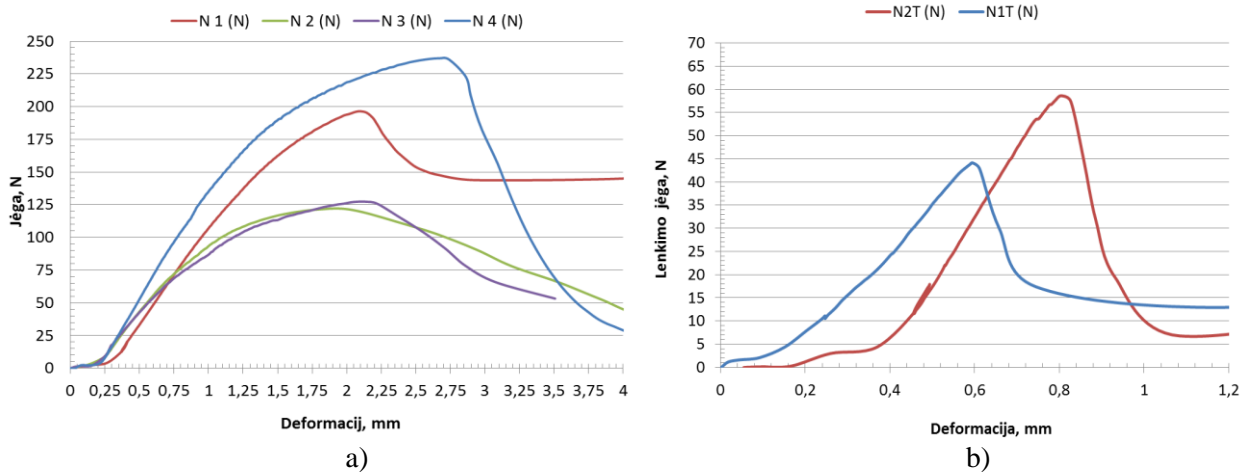
Bandinių lenkimo bandymo ribiniai duomenys

Bandinys	Suirimo jėga, N	Deformacija iki suirimo, mm	Stiprumo riba, MPa
N1	196	2,1	65,3
N2	125	1,9	41,7
N3	127	2,1	42,3
N4	236	2,7	78,7
N1T	44	0,6	14,6
N2T	58	0,8	19,3

Šaltinis: Sudaryta autorių

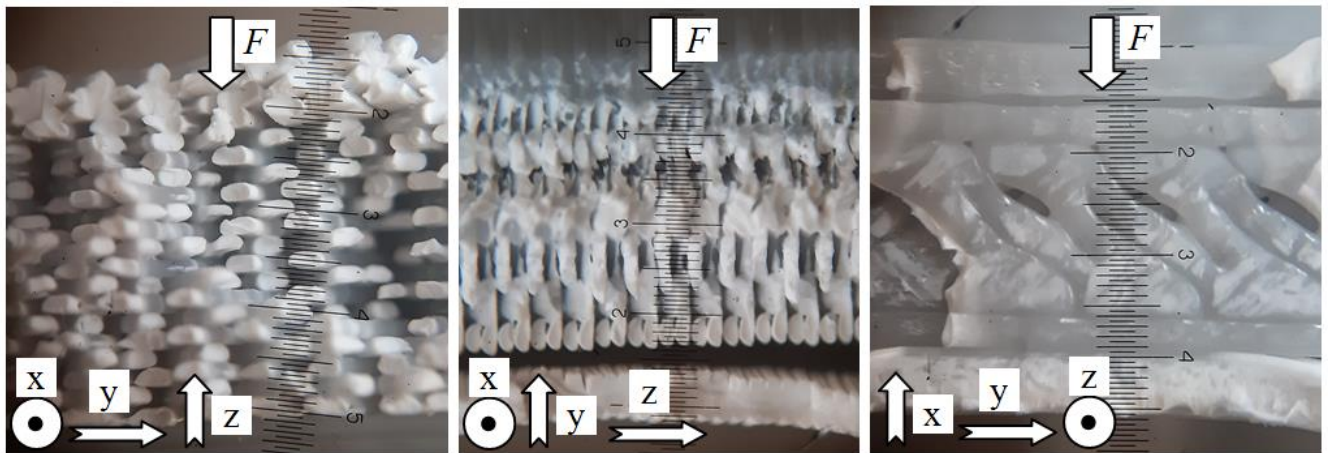
Analizuojant lenkimo grafikus, galima pažymėti, kad bandinių deformacijos charakteris yra skirtingas ir jis yra susijęs su bandinio struktūra. Grafike (žiūrėti 4 pav.) aiškiai skiriasi N2 ir N3 bei N1 ir N4 kreivės. Dviejų pastarųjų ribinė deformacijos jėga ženkliai didesnė. Tai yra dėl to, kad šių dviejų bandinių struktūros

atžvilgiu, lenkimo jėga veikia lygiagrečiai sluoksnių sandūrai (5 pav., b). Tokiu atveju gaunama standesnė ir stipresnė struktūra, mat spausdintos gijos būna deformuotos (suplotos) spausdinimo krypties atžvilgiu.



4 pav. Bandinių lenkimo bandymų kreivės, kai lenkimo jėgos kryptis buvo statmena sluoksniams a) ir kai lenkimo jėgos kryptis buvo lygiagreti sluoksniams b)

Šaltinis: Sudaryta autorių



5 pav. Bandinių, lūžusių lenkimo bandymo metu vaizdai: rodyklėmis pažymėta sluoksnių formavimo ir lenkimo jėgos veikimo kryptis.

Šaltinis: Sudaryta autorių

Santykinai gaunama didesnis sluoksnių skaičius ploto vienetui, tankesnis išoriniai dengiamieji sluoksniai. Bandinių N2 ir N3 struktūra matoma 5 pav., a vaizde. Spausdinti pavyzdžiai N1T ir N2T buvo silpniausi (4 pav.) nes lenkimo jėga veikė išilgai sluoksnių (struktūra 5 pav., c). Lenkiant, sluoksniai buvo atplėšiami vienas nuo kito. Yra žinoma, kad adhezija tarp sluoksnių paprastai yra ženkliai silpnesnė, nei pačios medžiagos stiprumas ir priklauso nuo sluoksnių storio ir tūtos temperatūros (Kuznetsov, Solonin ir kt. 2018: 1-11). Deformacijos laipsnis prieš suyrant taip pat labai ženkliai priklauso nuo sluoksnių orientacijos veikiančios jėgos atžvilgiu.

Kalbant apie konstrukcinių elementų, tokių kaip kraštinių susikirtimo zonų užapvalinimai, įtaką gaminio stiprumui, galima pasakyti, kad didesnis užapvalinimo spindulys turi teigiamos įtakos bandinio stiprumui. N1T ir N2T grafikuose, kreivių pradžioje yra matomi „mikrolūžiai“ (4 pav., b). Tai yra struktūros įtrūkimo požymis, kuris atsiranda sluoksniams atitrūkstant vienas nuo kito. Ir bandinio N2T su U formos įpjova, kurios dugno spindulys buvo 1,5 mm tie „mikrolūžiai“ pasireiškia vėliau. Kai jėga veikia kryptimi statmena sluoksniams, tokių atsiskuksniavimo požymių grafikuose nepastebėta. Tačiau siekiant geriau įvertinti užapvalinimo spindulio įtaką 3D technologija spausdinto gaminio stiprumui, reikalingi detalesni tyrimai.

Išvados

1. Tyrimas parodė, kad spausdintų FDM technologija iš ABS medžiagos bandinių atsparumas lenkimui, standumas ir stiprumas labai priklauso nuo vidinės struktūros, o būtent nuo sluoksnių padėties

bandinį deformuojančios jėgos atžvilgiu. Stipriausi buvo bandiniai N1 ir N4 (stiprumo riba lenkiant-65,3 ir 78,7 MPa atitinkamai). Spausdinant gaminius, reikia įvertinti būsimas vyraujančias apkrovas, gaminio formos ypatumus bei modelio pozicionavimą ant spausdintuvo stalo tam, kad maksimaliai būtų realizuotas gaminio konstrukcinis stiprumas.

2. Tyrimo metu pastebėta, kad konstrukciniam spausdinto bandinio stiprumui įtakos turi konstrukcinių elementų užapvalinimo spinduliai, tačiau siekiant geriau įvertinti minėto parametro įtaką gaminių stiprumui, reikalingi papildomi tyrimai.

Literatūra

- [1] V.Kovan, T.Teziel. Camurlu H.E., Topal E.S. Effect of Printing Parameters on Mechanical Properties of 3D Printed Pla/Carbon Fibre Composites. (2018) "Materials Science. Non-Equilibrium Phase Transformations" Year Iv, Issue 4, P.P. 126-128
- [2] V.E.Kuznetsov, A.N.Solonin, O.D.Urzhumtsev, R.Schilling and A.G.Tavitov. Strength of PLA Components Fabricated with Fused Deposition Technology Using a Desktop 3D Printer as a Function of Geometrical Parameters of the Process (2018). Polymers, V- 10, 313; pp. 1-11. doi:10.3390/polym10030313
- [3] T.Letcher, M.Waytashek. Material Property Testing of 3d-Printed Specimen in PLA on an Entry-Level 3d Printer (2014). Proceedings of the Asme 2014 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Imece2014, November 14-20, 2014, Montreal, Quebec, Canada, pp. 1-8.
- [4] L.Miazio. Impact of Print Speed on Strength of Samples Printed in Fdm Technology (2019). Agricultural Engineering Vol.23, No.2, Pp.33-38. doi:10.1515/Agriceng-2019-0014
- [5] C.Novoa and A.Flores. Optimizing the Tensile Strength for 3D Printed PLA Parts. Solid Freeform Fabrication (2019). Proceedings of the 30th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium – An Additive Manufacturing Conference. pp.745-765
- [6] D.T.Pham, S.S.Dimov. Rapid Manufacturing: The Technologies and Applications of Rapid Prototyping and Rapid Tooling. Springer-Verlag, 2001, p.6
- [7] R.Zoua, Y.Xia, S.Liu, P.Hua, W.Houa. Isotropic and anisotropic elasticity and yielding of 3D printed material (2016). Qingyuan Hua, Chunlai Shana. Composites Part B: Engineering, Volume 99, P.506-513
- [8] M.Whitaker. The history of 3D printing in healthcare (2014). The Royal College of Surgeons of England, bulletin. Volume: 96 Issue: 7, pp. 228-229. <https://doi.org/10.1308/147363514X13990346756481>

LAYER DIRECTION INFLUENCE ON BENDING STRENGTH OF SAMPLE PRINTED 3D TECHNOLOGY

Summary

One of the important structural parameters of products, printed by 3D fused deposition modelling technology, which affect strength, is the layered structure of prints. The paper provides material of the bending resistance tests of specimens printed using 3D FDM technology, depending on the direction of the layers relatively to the direction of applied bending force. Samples for the experiment were prepared from ABS material according to ASTM E23-02a with dimensions of 10x10x40 mm using two types of notch – V and U shape. The highest flexural strength and strength limit were found using sample with a rounded notched bottom and when it was bent perpendicularly to the printed layer. When designing and preparing products for printing by 3D fused deposition modelling technology, it is important to pay attention to the forces prevailing during exploitation.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Audrius Žunda.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, lektorius

Darbo vieta ir pozicija: VŠĮ Kauno Technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakultetas.

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

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 675 27255, audrius.zunda@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Albinas Andriušis.

Mokslo laipsnis ir vardas: lektorius

Darbo vieta ir pozicija: VŠĮ Kauno Technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakultetas.

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

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 687 95805, albinas.andriusis@edu.ktk.lt

VIDAUS DEGIMO VARIKLIO RODIKLIŲ KOMPLEKSNIS VERTINIMAS NAUDOJANT AUTOMOBILIO APKROVOS STENDĄ IR DIAGNOSTIKOS ĮRANGĄ

Alfредas Rimkus^{1,2}, Tadas Vipartas¹

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

Anotacija

Yra taikomos įvairios vidaus degimo variklių rodiklių tyrimų metodikos. Tai specialūs važiavimo testai laboratorijoje ar kelyje, variklio greičio, apkrovos ar reguliavimo charakteristikų tyrimai. Daugelyje atveju reikalinga sudėtinga ir brangi tyrimo įranga. Straipsnyje pateikiama metodika, kuria remiantis galima ištirti visą eilę variklio rodiklių naudojant nebrangų automobilio diagnostinį prietaisą „ROSS-TECH VCDS“. Straipsnyje pristatomas variklio išorinės greičio charakteristikos tyrimas, kurio metu automobilio apkrovos stendu matuojamas variklio sukimo momentas ir galia, o diagnostikos prietaisu matuojamos degalų ir oro sąnaudos, pripūtimo slėgis, degalų įpurškimo momentas. Remiantis išmatuotais rodikliais galima kompleksiskai įvertinti variklio veikimą. Pateiktos pastabos apie galimas tiriamų rodiklių matavimo problemas.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Slėginio uždegimo variklis, variklio rodikliai, diagnostikos įranga, apkrovos stendas.

Įvadas

Tiriant vidaus degimo variklių rodiklius yra naudojamos įvairios metodikos ir standartai (Heywood, 2019; Martyr & Rogers, 2021; Reif, 2014). Automobilio vartotojui aktualiausi energetiniai rodikliai – variklio efektyvusis sukimo momentas M_e (Nm), efektyvioji galia P_e (kW), degalų sąnaudos (Ramlan et al., 2020; Seifi et al., 2016; Tormos et al., 2020; Vong et al., 2006). Taip pat ypač aktualūs ir ekologiniai rodikliai – įvairių teršalų (CO, CH, NO_x, kietųjų dalelių) ir CO₂ emisijos (Bendrich et al., 2021; Kenanoğlu et al., 2020).

Automobilių tyrimai atliekami laboratorijose, daugiausia tai specialūs važiavimo ciklai. Tokie bandymai gali būti atkuriami, o rezultatai – palyginami. Tai svarbu, nes tik laboratoriniai bandymai, atliekami laikantis standartizuotų kartotinių procedūrų, leidžia vartotojams palyginti skirtingus automobilių modelius (*Emission Test Cycles: WLTC*, n.d.). 2017 metų rugsėjo 1 dieną įsigaliojo naujoji pasaulinė darnioji mažos galios transporto priemonių bandymų procedūra (angl. Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle WLTP). Naujuoju protokolu siekiama vartotojams suteikti realesnius duomenis, geriau atspindinčius kasdienį transporto priemonės naudojimą. Naująją WLTP procedūrą apibūdina dinamiškesnės važiavimo charakteristikos ir ženklėsi pagreičiai. Maksimalus greitis nuo 120 km/h padidintas iki 131,3 km/h, vidutinis greitis – 46,5 km/h, suminė ciklo trukmė yra 30 minučių – 10 minučių ilgesnė už ankstesniojo naujojo Europos važiavimo ciklo NEDC (angl. New European Driving Cycle NEDC). Dvigubai padidintas nuvažiuojamas atstumas – nuo 11 iki 23,25 kilometro. Priklausomai nuo maksimalaus greičio, WLTP bandymą sudaro keturios dalys: mažo greičio (iki 56,5 km/h), vidutinio greičio (iki 76,6 km/h), didelio greičio (iki 97,4 km/h), itin didelio greičio (iki 131,3 km/h). Šiomis ciklo dalimis imituojamas važiavimas mieste ir priemiestyje bei užmiesčio keliais ir greitkeliais. Procedūroje taip pat atsižvelgiama į papildomą visų transporto priemonių įrangą, kuri turi įtakos aerodinamikai, riedėjimo pasipriešinimui ir transporto priemonės masei; to rezultatas – CO₂ vertė, kuri atspindi atskiros transporto priemonės charakteristikas (*WLTP Ir RDE*, n.d.). WLTP bandymų procedūra geriau atspindi dabartines važiavimo sąlygas nei NEDC procedūra, tačiau joje neįmanoma atsižvelgti į visus įmanomus atvejus, įskaitant vairavimo stiliaus, kuris būdingas kiekvienam atskiram vairuotojui, poveikį. Dėl šios priežasties tik standartizuoti laboratoriniai bandymai leidžia gauti vertes, pagal kurias galima nešališkai palyginti skirtingų modelių transporto priemones.

Siekiant įvertinti teršalų emisiją transporto priemonei važiuojant keliais – realaus važiavimo teršalų emisija (angl. Real Driving Emissions RDE), bandomojoje transporto priemonėje sumontuojamos nešiojamosios matavimo sistemos (angl. Portable Emissions Measurement System PEMS), kurios užtikrina pagrindinių transporto priemonės išmetamų teršalų kontrolę realiuoju laiku. PEMS yra sudėtingi prietaisai, kuriuose sumontuoti modernūs dujų analizatoriai, išmetamųjų dujų masės srauto matuokliai, klimato stotelė, palydovinė geografinės padėties nustatymo ir tinklinio ryšio įranga. Surinkti duomenys analizuojami siekiant patikrinti, ar išlaikytos ribinės RDE kelionės sąlygos ir ar teršalų emisija neviršija teisės aktų nustatytų ribų. Neleidžiamos viršyti ribos nustatomos laboratoriniais bandymais (WLTP), nustatytąsias vertes padauginant iš atitikties koeficientų (*WLTP Ir RDE*, n.d.).

Aukščiau aprašyti WLTC ir RDE tyrimai vertina ekologinius rodiklius varikliui veikiant įvairiais režimais. Yra naudojamos tyrimų metodikos, kurios vertina variklio rodiklius keičiant variklio sukimosi greitį, apkrovą ar reguliuojant vieną iš variklio parametrų (pvz. mišinio sudėtį, uždegimo momentą, pripūtimo slėgį ar kt.) (Escalante Soberanis & Fernandez, 2010; Hao et al., 2018; Ruan et al., 2018). Variklio išorinė greičio charakteristika demonstruoja variklio rodiklius esant pilnai nuspaustai akseleratoriaus paminai keičiant

variklio sukimosi greitį (Heywood, 2019). Tai atliekama automobilio apkrovos stendo pagalba (*CARTEC Chassis Dynamometers LPS - Google Search*, n.d.; Martyr & Rogers, 2021). Tačiau stendas pateikia informaciją tik apie variklio sukimo momentą ir galią.

Tyrimo tikslas – automobilio diagnostinės įrangos pagalba nustatyti slėginio uždegimo variklio rodiklius atliekant variklio galios matavimą.

Tyrimo metodika

Eksperimentiniai tyrimai atlikti Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijoje, Automobilių diagnostikos laboratorijoje. Bandymams atlikti naudotas automobilis „Volkswagen Golf III“, turintis 4 cilindrų, 1896 cm³ darbinio tūrio TDI (kodas – 1Z) slėginio uždegimo variklį. Išvystoma maksimali variklio galia 66 kW prie 4000 min⁻¹, maksimalus sukimo momentas 202 Nm prie 1900 min⁻¹.

Automobilio variklio sukimo momentas ir galia nustatyta kompiuterizuotu lengvųjų automobilių apkrovos stendu „CARTEC LPS 2510“ (1 pav.). Apkrovos stendas turi galimybę testuoti automobilius bet kuria pavarą, su pasirinkta apkrova ar apskaičiuota važiavimo pasipriešinimo varža. Automobiliui apkrovą sukuria sūkurinių srovių elektromagnetinis stabdys, kuris ratams perduodamą mechaninę variklio energiją paverčia šilumine energija ir išspinduliuoja ją į aplinką. Apkrovos stendo techniniai duomenys pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė

Automobilių apkrovos stendo techniniai duomenys

Parametras	Įrenginys	Automobilio apkrovos stendas CARTEC LPS 2510
Apkrovos įrenginys		Elektromagnetinis sūkurinių srovių stabdys
Maksimali matuojama apkrova, t		3,5
Didžiausia stendo matavimo galia, kW		400
Didžiausia stendo stabdymo galia, kW		360
Matavimo paklaida		± 2

Šaltinis: (*CARTEC Chassis Dynamometers LPS - Google Search*, n.d.)

Automobilio diagnostinis prietaisas „ROSS-TECH VCDS“ naudotas nuskaityti iš variklio elektroninio valdymo bloko (per OBDII jungtį) gaunamą informaciją apie degalų sąnaudas, pripūtimo slėgį, degalų įpurškimo momentą ir kt.



1 pav. Variklio rodiklių matavimas naudojant lengvųjų automobilių apkrovos stendą „CARTEC LPS 2510“

Šaltinis: sudaryta autorių



2 pav. Diagnostinis prietaisas „ROSS-TECH VCDS“

Šaltinis: (Ross Tech, n.d.)

Prietaisas „ROSS-TECH VCDS“ siunčia informaciją kas ~2.5 s ir apkrovos stendu matuojant išorinę greičio charakteristiką šiuo dažniu gaunama ir užrašoma papildoma informacija (~10 taškų) iš variklio elektroninio valdymo bloko (2 lentelė).

Variklio elektroninio valdymo bloko duomenys

ADVMB	1.9l R4 EDC SG D60													
	G001	F0	G001	F1	G003	F2	G005	F2	G011	F2	G015	F1	G015	F2
TIME	Group 1 - f TIME		Group 1 - f TIME		Group 3 - f TIME		Group 5 - f TIME		Group 11 - TIME		Group 15 - TIME		Group 15 - Field 2	
STAMP	Engine spe	STAMP	Injection C	STAMP	MAF (actu	STAMP	Actual Sta	STAMP	Actual MA	STAMP	Inj Qty (ac	STAMP	Fuel Consumption	
	/min		mg/str		mg/str		°BTDC		mbar		mg/str		l/h	
	2.1	1302	2.1	13.4	0	532	0.58	1.8	1.05	1092	1.63	19.6	1.63	3.7
	4.66	1365	4.66	16.6	2.56	492.1	3.15	4	3.61	1100.4	4.2	18.8	4.2	4.5
	7.22	1470	7.22	31.6	5.12	515.4	5.71	7.7	6.17	1243.2	6.76	30.4	6.76	6.66
	9.79	1848	9.79	34.2	7.69	641.7	8.27	9.4	8.74	1461.6	9.32	34	9.32	8.88
	12.35	2373	12.35	35.2	10.25	841.2	10.84	5.7	11.3	1890	11.89	35.2	11.89	11.84
	14.91	2877	14.91	35.2	12.81	847.9	13.4	7.3	13.87	1999.2	14.45	35.2	14.45	14.43
	17.48	3381	17.48	34.6	15.38	847.9	15.97	10.2	16.43	1864.8	17.01	35	17.01	17.02
	20.04	3843	20.04	34.2	17.94	771.4	18.53	13	18.99	1890	19.58	34.2	19.58	19.24
	22.61	4284	22.61	30.4	20.51	721.5	21.09	15	21.56	1890	22.14	32.2	22.14	19.98
	25.17	4515	25.17	24.4	23.07	671.7	23.66	14.3	24.12	1738.8	24.71	25.4	24.71	16.65

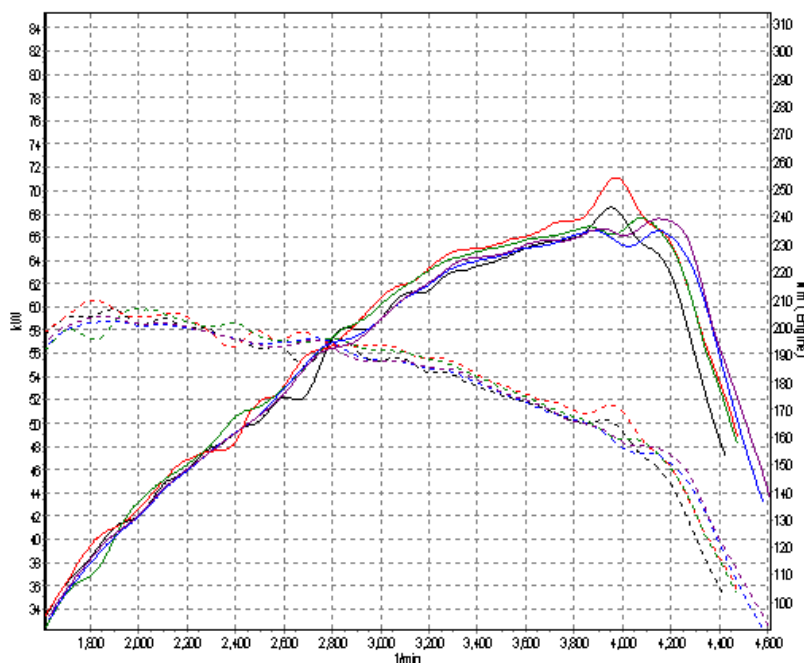
Šaltinis: sudaryta autorių

Analizuojant variklio valdymo bloko duomenis pastebima kad informacija (variklio sukimosi dažnis (min^{-1}), ciklinis degalų kiekis (mg/cikl), ciklinis oro kiekis (mg/cikl), degalų įpurškimo momentas ($^{\circ}\text{BTDC}$), pripūtimo slėgis (mbar), degalų sąnaudos (l/h)) siunčiama atskirais blokais, kurių taškai nėra tiksliai sinchronizuoti laiko atžvilgiu.

Tyrimo metu 5 kartus apkrovos stendu „CARTEC LPS 2510“ išmatuota variklio išorinė greičio charakteristika ir tuo pačiu metu automobilio diagnostiniu prietaisu „ROSS-TECH VCDS“ užfiksuoti variklio valdymo bloko duomenys.

Tyrimo rezultatai ir jų analizė

Slėginio uždegimo variklio efektyvusis sukimo momento M_e (Nm) ir efektyvios galios P_e (kW) priklausomybė nuo variklio sukimosi dažnio n (min^{-1}) (išorinė greičio charakteristika) pateikta 3 pav. Grafike matome, kad atlikus 5 bandymus variklio maksimali galia svyravo nuo 67 kW iki 71 kW (~6%). Tam įtakos turėjo apkrovos stendo tikslumas, variklio valdymo sistemos veikimo tikslumas, variklio techninis stovis.

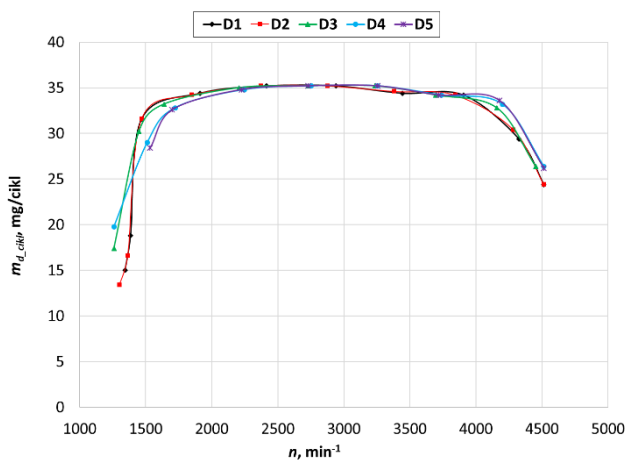


3 pav. Volkswagen Golf III variklio 1.9 TDI išorinė greičio charakteristika

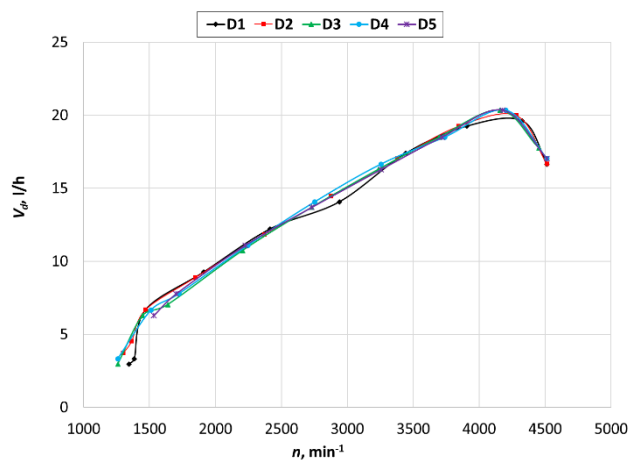
Šaltinis: sudaryta autorių

4 – 8 pav. pateiktas įvairių variklio rodiklių pokytis priklausomai nuo variklio sukimosi dažnio, kai akseleratoriaus pamina nuspausta maksimaliai. Šie duomenys nustatyti diagnostiniu prietaisu „ROSS-TECH VCDS“. Ciklinės degalų sąnaudos (4 pav.) visame variklio apkrovos diapazone ($1500 - 4000 \text{ min}^{-1}$) mažai kito ir siekė ~35 mg/cikl . Tačiau valandinės degalų sąnaudos (5 pav.) šiame greičių diapazone išaugo nuo

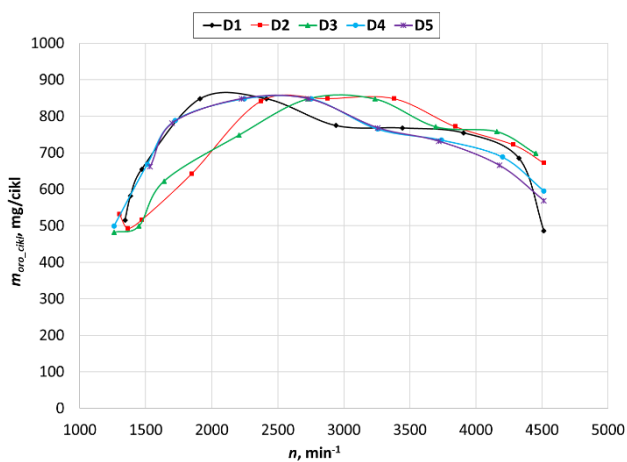
6,6 l/h iki 20 l/h (~3 kartus). Tai lėmė beveik tris kartus išaugęs variklio greitis (tiek kartų dažniau kartojasi degalų įpurškimas) ir padidėję variklio mechaniniai nuostoliai (Heywood, 2019). Oro sąnaudų (mg/cikl) grafikas (6 pav.) turi didesnę duomenų skirtumą varikliui veikiant vienodais greičiais. Labiausiai tikėtina to priežastis – atskirų bandymų atveju šių duomenų masyvas buvo siunčiamas skirtingu laiku nei variklio sukimosi dažnis. Tačiau galime įžvelgti, kad cilindras maksimaliai pripildomas oru kai variklio greitis yra ~2000 min⁻¹. Esant šiam greičiui į cilindrus tiekiamas maksimalus ciklinis degalų kiekis ir pasiekiamas maksimalus variklio sukimo momentas (3 pav.). Maksimalus pripūtimo slėgis pasiekiamas prie didesnių greičių (2500 – 2000 min⁻¹). Šiame diapazone sukimo momentas jau mažesnis už maksimalų, nes išauga variklio mechaniniai nuostoliai. Daugiau didinant variklio greitį pripūtimo slėgis turi tendenciją mažėti (7 pav.), nes didėjant greičiui daugiau oro įsiurbia variklio cilindrai. Pastebimas pripūtimo slėgio padidėjimas ~4000 min⁻¹ diapazone, ką lemia išaugęs išmetamųjų dujų srautas ir turbokompresoriaus valdymas. Šiame diapazone yra pasiekiamas maksimali variklio galia. Nors variklio sukimo momentas intervale 2000 min⁻¹ – 4000 min⁻¹ mažėja, tačiau galia auga, nes sukimo momentas santykinai sumažėja mažiau nei išauga variklio greitis. Viršijus 4200 min⁻¹ greitį variklio elektroninis valdymo blokas atlieka sukimosi greičio ribojimą – mažina ciklinį degalų kiekį ir variklio galia krenta. Turint duomenis apie variklio išvystomą galią ir degalų sąnaudas galima apskaičiuoti variklio lyginamąsias degalų sąnaudas, naudingumo koeficientą ir kitus rodiklius įvairiuose variklio veikimo režimuose.



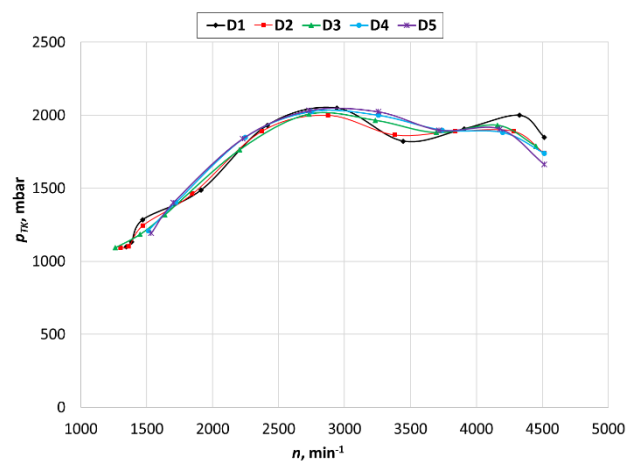
4 pav. Ciklinės degalų sąnaudos
Šaltinis: sudaryta autorių



5 pav. Valandinės degalų sąnaudos
Šaltinis: sudaryta autorių



6 pav. Ciklinės oro sąnaudos
Šaltinis: sudaryta autorių



7 pav. Pripūtimo slėgis
Šaltinis: sudaryta autorių

2 lentelėje matome, kad diagnostiniu prietaisu „ROSS-TECH VCDS“ surenkama informacija ir apie degalų įpurškimo pradžią. Degalų įpurškimo pradžios momentas didėjant variklio greičiui palaipsniui ankstinamas (nuo ~2° AV prieš VGT iki ~15° AV prieš VGT) ir taip pasiekiamas, kad degalai sudega optimaliu momentu kompleksiskai užtikrinant geriausius energetinius ir ekologinius rodiklius (Heywood, 2019). Priklausomai nuo tyrimo poreikių galima diagnostinio prietaiso pagalba surinkti duomenis ir apie kitus bandymo metu kintančius variklio rodiklius (pvz. deginių recirkuliaciją, aušinimo skysčio temperatūrą ir kt.)

ir juos panaudoti analizuojant tyrimo medžiaga.

Išvados

Atlikus slėginio uždegimo variklio išorinės greičio charakteristikos tyrimą automobilio variklio apkrovos stendu „CARTEC LPS 2510“ ir variklio rodiklių fiksavimą diagnostiniu prietaisu „ROSS-TECH VCDS“ bei atlikus rezultatų analizę pateikiamos apibendrinančios išvados:

1. Atskirai analizuojant variklio išorinę greičio charakteristiką ir neturint papildomos informacijos apie kitų variklio rodiklių pokytį sudėtinga atlikti išsamią tyrimo analizę.
2. Diagnostinio prietaiso pagalba galima užfiksuoti visą eilę variklio veikimo rodiklių (variklio sukimosi greitį, ciklinį degalų kiekį, ciklinį oro kiekį, degalų įpurškimo momentą, pripūtimo slėgį, degalų sąnaudas, deginių recirkuliaciją, aušinimo skysčio temperatūrą ir kt.), kuriuos naudojant galima kompleksiskai vertinti variklio veikimą.
3. Diagnostikos prietaisais informaciją apie variklio atskirus rodiklius fiksuoja skirtingu laiko momentu, todėl reikia atidžiai juos įvertinti ir sinchronizuoti. Jeigu tyrimas atliekamas keičiant variklio greitį, sinchronizacija turi būti atlikta šio rodiklio atžvilgiu.
4. Surinkus informaciją variklio apkrovos stendu ir diagnostiniu prietaisu galima apskaičiuoti visą eilę variklio rodiklių, kurie nėra užfiksuoti matuojant, pvz.: oro perteklius, lyginamosios degalų sąnaudos, efektyvūs naudingumo koeficientas, variklio tūrinis efektyvumas.

Literatūra

1. Bendrich, M., Scheuer, A., & Votsmeier, M. (2021). Importance of nitrates in Cu-SCR modelling: A validation study using different driving cycles. *Catalysis Today*, 360, 252–262. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2020.03.015>
2. *CARTEC Chassis dynamometers LPS - Google Search*. (n.d.). Retrieved February 24, 2021, from https://www.google.com/search?rlz=1C1GCEA_enLT924LT924&ei=xVkJYL6kGYqdjLsPjdOOwA0&q=CARTEC+Chassis+dynamometers+LPS&oeq=CARTEC+Chassis+dynamometers+LPS&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EawyBQgHEKABUM3IH1jN5R9g9vMfaABwAngAgAHGAYgBnwKSAQMxLjGYAQCgAQKgAQGqAQqnd3Mt2l6wAEB&scient=gws-wiz&ved=0ahUKEwj-mrKa1YLvAhWKDmMBHY2pA9gQ4dUDCA0
3. *Emission Test Cycles: WLTC*. (n.d.). Retrieved February 24, 2021, from <https://dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>
4. Escalante Soberanis, M. A., & Fernandez, A. M. (2010). A review on the technical adaptations for internal combustion engines to operate with gas/hydrogen mixtures. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(21), 12134–12140. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.09.070>
5. Hao, D., Zhao, C., Li, Y. H. G., Zeng, W., & Li, H. (2018). Dynamic Indicated Torque Estimation for Turbocharged Diesel Engines Based on Back Propagation Neural Network. *IFAC-PapersOnLine*, 51(31), 720–725. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.10.164>
6. Heywood, J. (2019). *Internal Combustion Engine Fundamentals 2E*. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260116106>
7. Kenanoğlu, R., Baltacıoğlu, M. K., Demir, M. H., & Erkinay Özdemir, M. (2020). Performance & emission analysis of HHO enriched dual-fuelled diesel engine with artificial neural network prediction approaches. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(49), 26357–26369. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.02.108>
8. Martyr, A. J., & Rogers, D. R. (2021). Dynamometers: The measurement and control of torque, speed, and power. In *Engine Testing* (pp. 235–263). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821226-4.00009-7>
9. Ramlan, N. A., Yahya, W. J., Ithnin, A. M., Abd Kadir, H., Abu Kassim, K. A., Abdul Rahman, H., Ezzat Chan, A. F., Mazlan, N. A., Abdul Rashid, M. A., & Sugeng, D. A. (2020). Emissions and performance analysis of diesel powered road vehicle equipped with real-time non-surfactant emulsion fuel supply system. *Fuel*, 273, 117257. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117257>
10. Reif, K. (Ed.). (2014). *Diesel Engine Management*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-03981-3>
11. *Ross Tech: Vcbs Car Scanner*. (n.d.). Indiamart.Com. Retrieved February 24, 2021, from <https://www.indiamart.com/proddetail/ross-tech-vcbs-car-scanner-15796427755.html>
12. Ruan, D., Xie, H., Song, K., Zhang, G., & Tong, Q. (2018). MAP Learning and Disturbance Observation based Engine Torque Control for Dynamometer Test Bench. *IFAC-PapersOnLine*, 51(31), 833–839. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.10.117>
13. Seifi, M. R., Hassan-Beygi, S. R., Ghobadian, B., Desideri, U., & Antonelli, M. (2016). Experimental investigation of a diesel engine power, torque and noise emission using water–diesel emulsions. *Fuel*, 166, 392–399. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.10.122>
14. Tormos, B., Martín, J., Pla, B., & Jiménez-Reyes, A. J. (2020). A methodology to estimate mechanical losses and its distribution during a real driving cycle. *Tribology International*, 145, 106208. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106208>

15. Vong, C.-M., Wong, P.-K., & Li, Y.-P. (2006). Prediction of automotive engine power and torque using least squares support vector machines and Bayesian inference. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 19(3), 277–287. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2005.09.001>
16. *WLTP ir RDE*. (n.d.). Fiat Lithuania. Retrieved February 24, 2021, from <https://www.fiat.lt/wltp-ir-rde/>

COMPREHENSIVE EVALUATION OF INDICATORS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE USING VEHICLE CHASSIS DYNAMOMETER AND DIAGNOSTIC EQUIPMENT

Summary

Various research methodologies for internal combustion engine performance are used. There are special tests in the laboratory or on the road, tests of engine speed, load or adjustment characteristics. In many cases, complex and expensive research equipment is required. The article presents a methodology that can be used to study a huge number of engine indicators using the inexpensive automotive diagnostic device „ROSS-TECH VCDS“. The article presents a study of the external speed characteristic of the engine, where the engine torque and power are measured with vehicle chassis dynamometer bench while the diagnostic equipment measures fuel and air consumption, boost pressure, fuel injection timing. Based on the measured indicators, the performance of the engine can be comprehensively evaluated. Notes are provided on possible measurement problems of the studied indicators.

Key words: compression ignition engine, indicators of engine, diagnostic equipment, chassis dynamometer.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Alfredas Rimkus.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Technikos fakulteto Automobilių transporto inžinerijos katedros docentas. VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Automobilių inžinerijos katedros docentas.

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

Telefonas ir el. pašto adresas: a.rimkus@vtdko.lt, alfredas.rimkus@vilniustech.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Tadas Vipartas.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorius.

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Technikos fakulteto Automobilių transporto inžinerijos katedros lektorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto techninis eksploatavimas, alternatyvioji energetika.

Telefonas ir el. pašto adresas: t.vipartas@vtdko.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Alfredas Rimkus.

Science degree and name: associated professor.

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

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

Telephone and e-mail address: a.rimkus@vtdko.lt, alfredas.rimkus@vilniustech.lt

Author name, surname: Tadas Vipartas.

Science degree and name: master, lector

Workplace and position: Vilnius Technology and Design College, Technical faculty Automobile Transport Engineering department lector.

Author's research interests: Technical exploitation of transport, alternative energy.

Telephone and e-mail address: t.vipartas@vtdko.lt

BIODUJŲ GAMYBOS TENDENCIJOS IR JŲ KOKYBĖS GERINIMO TECHNOLOGIJOS

Tadas Vipartas¹, Alfredas Rimkus^{1,2}

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

Anotacija

Energijos gamyba iš alternatyvių išteklių yra būtina siekiant sumažinti aplinkos taršą šiltnamio efektą sukeliančiomis dujomis ir priklausomybę nuo iškastinio kuro. Biomasė yra įvardinama kaip viena perspektyviausių netradicinių energijos išteklių, galinčių patenkinti dabartinį energijos poreikį visame pasaulyje. Biodegalai yra svarbūs siekiant užsibrėžto Europos Sąjungos tikslo, kad atsinaujinantys energijos šaltiniai transporto degaluose sudarytų 10 proc. Metanas yra įvardijamas kaip geri pereinamieji degalai šio tikslo įgyvendinimui, be to gali būti paverstas kitais degalais garų reformavimo ir kataliziniu būdu. Šiame straipsnyje apžvelgiamos biodujų ir biometano gamybos tendencijos, perspektyvos ir potencialas šių dujinių degalų panaudojime. Taip pat nagrinėjamos plačiausiai naudojamos biodujų gerinimo technologijos.

Reikšminiai žodžiai: biodujos, metanas, biometanas, biodujų gerinimo technologijos, anglies dioksidas.

Ivadas

Šiuo metu plačiai pripažįstama, kad žemės atmosferoje temperatūra didėja dėl išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų, žmogui vykdant įvairias veiklas. 2015 m. Jungtinių Tautų klimato kaitos konferencijos tikslas Paryžiuje turėjo pateikti atsakymą į šią problemą. Susitarimu buvo patvirtinta išlaikyti temperatūros didėjimą mažesnę kaip 2 °C, o tai reiškė reikšmingus pokyčius pasaulinėje energijos tiekimo sistemoje, nes jau kitų metų liepos mėn. CO₂ koncentracija atmosferoje turėjo būti ne didesnė nei 450 ppm (Ferella et al., 2017).

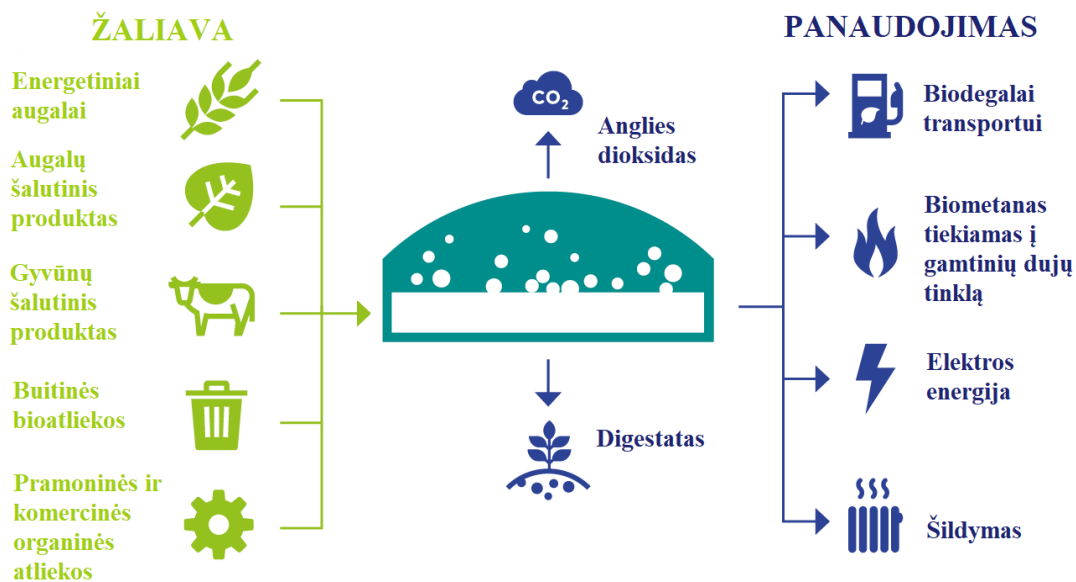
Staigus energijos poreikio augimas visame pasaulyje privertė ieškoti alternatyvių energijos šaltinių panaudojimo galimybių (Weiland, 2010). Be to, neiški situacija dėl angliavandenilių kainų, tarptautinių sutarčių ir ekonomikos neramumų, pavyzdžiui, *Kioto protokolas* ir *Agenda 21*, privertė šalis priimti netradicinių ir atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo strategiją (Nizami et al., 2017). Taigi, energijos gamyba iš alternatyvių išteklių yra būtina siekiant sušvelninti aplinkos problemas ir sumažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro (Quereshi et al., 2020). Šiuo atžvilgiu biomasė buvo įvardyta kaip vienas perspektyviausių netradicinių energijos išteklių, galinčių patenkinti dabartinius energijos ir chemijos poreikio visame pasaulyje (Ahmad et al., 2019).

Biodegalai yra labai svarbūs siekiant ir Europos Sąjungos tikslo, kad atsinaujinantys energijos šaltiniai transporto degaluose sudarytų 10 proc. Metanas yra įvardijamas kaip geri pereinamieji dujiniai degalai šio tikslo įgyvendinimui. Taip pat svarbu, kad jis gali būti paverstas kitais degalais garų reformavimo ir kataliziniu būdu. Biodujos yra dujinis mišinys, gaunamas anaerobinio organinių medžiagų skaidymo proceso metu (Ferella et al., 2017), kurias galima gaminti iš daugybės skirtingų šaltinių: pasėlių ar jų likučių, mėšlo, organinių miesto atliekų, nuotekų ir organinių atliekų, gautų pvz. maisto ir miškų pramonėje. Be atsinaujinančių energijos šaltinių, biodujų gamyba dažnai turi ir kitų privalumų, tokių kaip mėšlo ir nuotekų dumblo kiekio sumažinimas bei maistinių medžiagų recirkuliacijos didinimas (Hagman et al., 2016.). Biodujose daugiausia yra metano CH₄ (40 – 70 %), anglies dioksido CO₂ (35 – 55 %), vandenilio sulfido H₂S (0,1 – 3 %), nedidelis kiekis drėgmės ir kitų dujų pėdsakų (Elwell et al., 2018).

Biometano išgavimas naudojant biodujų gerinimo technologijas (biodujų išskaidymas į biometano ir anglies dioksido dujų srautus) ir tolesnės platesnio galutinio vartojimo programos gali būti įsivaizduojamas kaip kita sektoriaus augimo galimybė (Brémond et al., 2021). Biometanas gaminamas anaerobinio skaidymo būdu arba dujinant biomasę, tačiau norint pasiekti aukšto grynumo CH₄, po dujinimo reikalingas metaninimo procesas (Sun et al., 2015). Nustatyta, kad biodujų gerinimas iki biometano yra gera alternatyva energijos ir šilumos gamybai, nes jas galima laikyti gamtinių dujų tinkle. Tada jis gali būti naudojamas švariam transportavimui arba miesto kogeneracinėse jėgainėse, kur šiluma efektyviai valorizuojama (Scarlat et al., 2018).

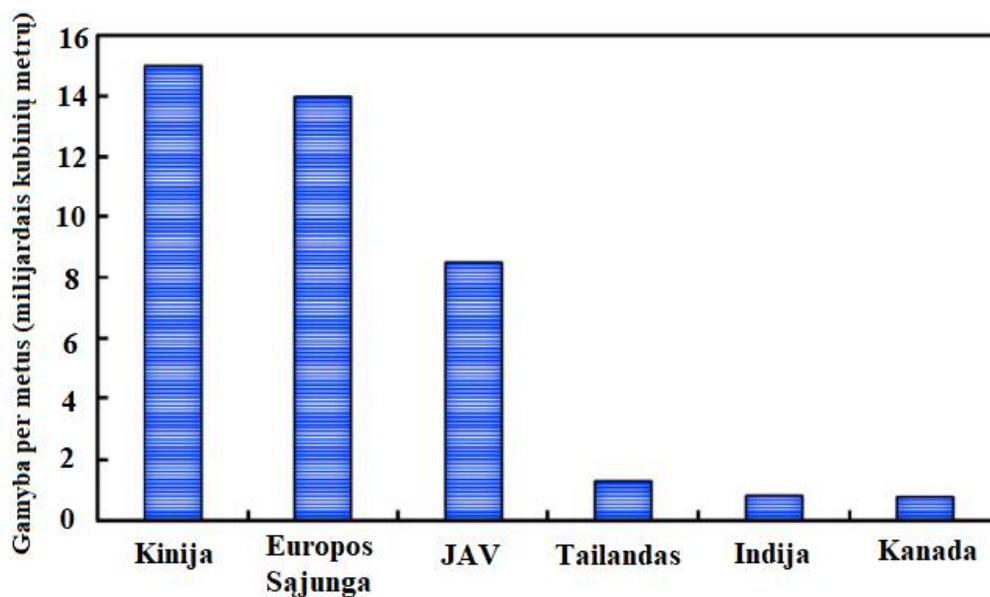
Biodujų gamybos tendencijos ir panaudojimas

Biodujų ir biometano gamybai kaip žaliava tipiškai yra naudojami energetiniai augalai, augalų ir gyvūnų šalutinis produktas, buitinės bioatliekos, pramoninės ir komercinės organinės atliekos, o gautos dujos yra panaudojamos transporto sektoriuje, elektros energijos gamybai, pastatų šildymui ar tiekiamos į gamtinių dujų tinklą. Biodujų ir biometano gamybos proceso struktūra pavaizduota 1 pav.



1 pav. Biodujų ir biometano gamybos proceso struktūra
Šaltinis: (Europos biodujų asociacija, 2020)

Šiuo metu Kinija yra pirmaujanti biodujų gamintoja pasaulyje su maždaug 15 milijardų kubinių metrų produkcijos per metus. Europos sąjungos šalys kasmet pagamina apie 14 milijardų m³, JAV apie 8 milijardų m³ (2 pav.). Didžiausia biodujų gamintoja ES 2018 m. buvo Vokietija, gaminanti apie 55 % visos ES produkcijos, t.y. ~90 TWh biodujų. Italija pagamina ~13 % (~21 TWh), Prancūzija ~7 % (~11 TWh) biodujų (Europos Komisija, 2020).

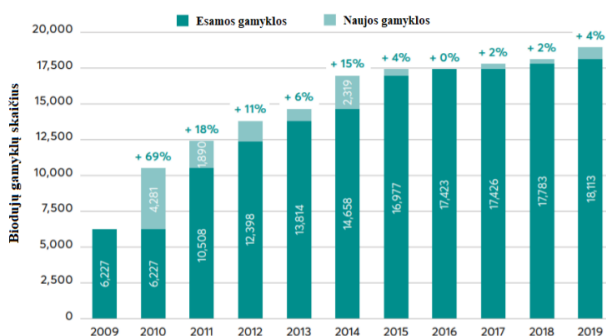


2 pav. Pasaulinės biodujų gamybos pasiskirstymas per metus
Šaltinis: (Bacsik et al., 2016)

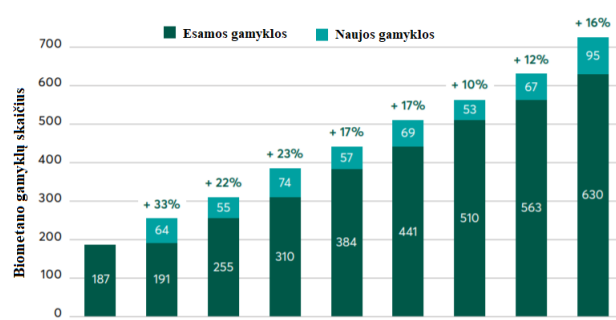
Kiekvienais metais ES laikydamosi tarptautinių susitarimų, protokolų ir direktyvų sparčiai plečia biodujų ir biometano gamyklų skaičių šalyse narėse. Pateiktuose duomenyse matyti (3 pav.), kad per dešimtmetį nuo 2009 m. iki 2019 m. biodujų gamyklų skaičius išaugo daugiau nei tris kartus. Jos bendrai pagamino 15,8 mlrd. m³ biodujų. Nors pastarųjų metų tendencija nėra taip sparčiai didėjanti, tačiau kasmet yra fiksuojamas ~2 – 4 % naujų gamyklų skaičiaus stabilus augimas.

Vokietija yra Europos biodujų gamybos lyderė, 2018 m. pabaigoje turinti 9500 biodujų jėgainių, įkūrė savo biodujų sektorių, paremtą atsinaujinančių energijos išteklių aktu, kuris buvo priimtas 2000 m. (Europos biodujų asociacija, 2019). Šis aktas privertė energijos tiekimo įmones pirkti elektros energiją, gautą iš atsinaujinančių energijos šaltinių fiksuotu tarifu per ateinančius 20 metų (Theuerl et al., 2019).

Biometaną gaminančių įmonių skaičius Europos Sąjungoje (4 pav.) per 2011 – 2019 m. laikotarpį padidėjo beveik keturis kartus. Šiuo metu biometano gamyklų jau yra 18 – oje šalių, tačiau didžiausia jų dalis pastatyta Vokietijoje (232), kurios sudaro daugiau nei trečdalių visų gamyklų Europoje. Prancūzijoje ir Jungtinėje Karalystėje atitinkamai 131 ir 80. Pastaraisiais metais naujai atsirandančių įmonių skaičius išlieka pakankamai stabilus, kuris sudaro ~10 – 17 %, o bendras pagaminamo biometano kiekis 2,4 mlrd. m³.



3 pav. Biodujų gamyklų skaičius Europos Sąjungoje
Šaltinis: (Europos biodujų asociacija, 2020)

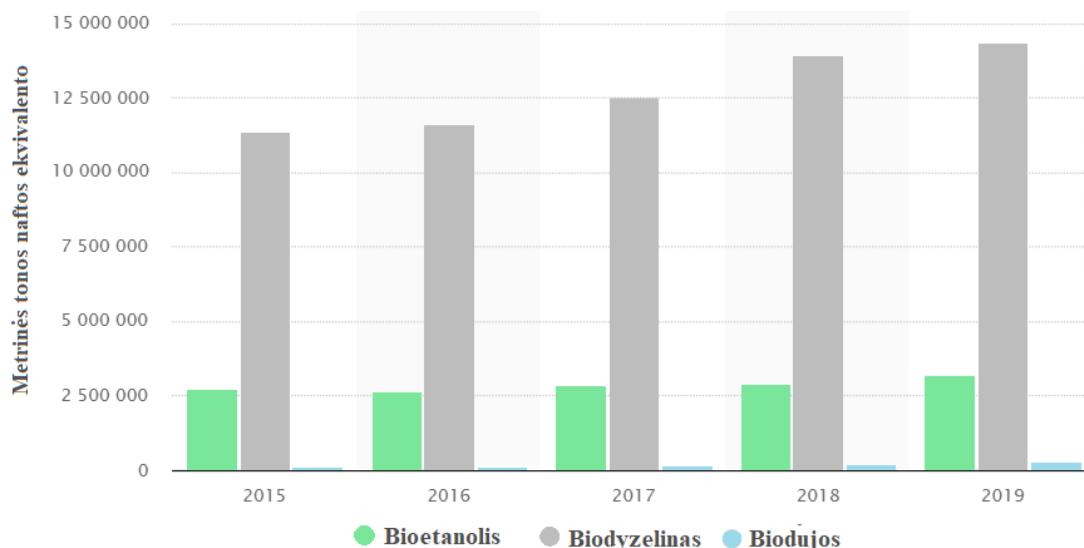


4 pav. Biometano gamyklų skaičius Europos Sąjungoje
Šaltinis: (Europos biodujų asociacija, 2020)

2018 m. biometanas sudarė tik 11,5 % iš biodujų pagaminamos elektros energijos ES (EurObserv'ER, 2019). Taip yra todėl, kad biometano sektorius plėtrą pradėjo žymiai vėliau, nes trūko subsidijavimo mechanizmo ypač mažoms jėgainėms, nes jų atnaujinimo kaštai buvo žymiai didesni nei kogeneracinių jėgainių (Kampman et al., 2016).

Remiantis Europos biodujų asociacijos pateiktais 2020 m. ataskaitos duomenimis ir perspektyvomis, jei bus išlaikyta tokia gamyklų didėjimo tendencija, teigiama, kad iki 2030 m. biodujų ir biometano sektoriai gali beveik padvigubinti savo produkciją, o iki 2050 m. gamyba gali išaugti daugiau nei keturis kartus. Apskaičiuotas potencialas svyruoja nuo 34 iki 42 mlrd. m³ iki 2030 m (tai atitiktų 370 – 467 TWh). Iki 2050 m. numatomas 95 mlrd. m³ (1008 – 1020 TWh). Ateinančių metų strategijoje prognozuojama, kad vien biometano sektorius iki 2030 m. galės pasiekti 34 mlrd. m³ tvaraus biometano gamybą.

Vertinant ES transporto sektoriuje sunaudojamus trijų rūšių biodegalus per penkerių metų laikotarpį (2014 – 2019 m.), bendras kiekis padidėjo ~25,5 %. Daugiausiai yra sunaudojama biodyzelino, kuris 2019 m. sudarė ~14,35 mln. metrinių tonų naftos ekvivalento, t.y. net ~81 % visų sunaudotų biodegalų, bioetanolis 3,21 mln. (~18 %), o biodujos tik 0,27 mln. (~1,5 %). Nors biodujų sunaudojimas per šį laikotarpį transporto sektoriuje išaugo ~51 %, tačiau bendras jų kiekis lyginant su sunaudojamu biodegalų kiekiu yra mažas.

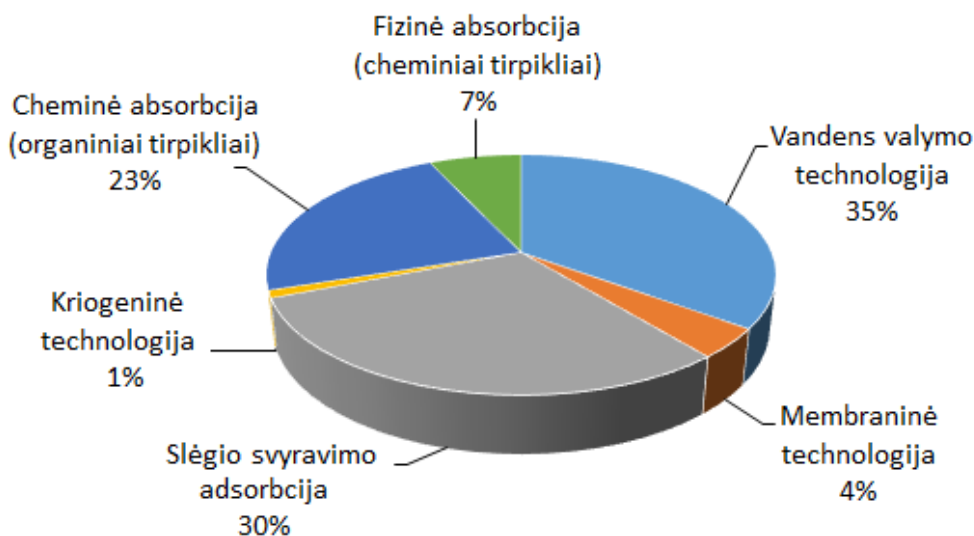


5 pav. Biodegalų sunaudojamas kiekis ES transporto sektoriuje
Šaltinis: (Europos Komisija, 2020)

Biodujų gerinimo technologijos

Pasaulyje yra žinomos kelios pagrindinės biodujų gerinimo technologijos, pasižyminčios itin aukštu metano išgryninimo rodikliu, tačiau kiekviena jų turi privalumų ir trūkumų. Svarbus faktorius yra ne tik dujų

sudėtis, bet ir jų gamybos, aptarnavimo ar investicijų kaštai. Dažniausiai naudojamos technologijos yra vandens valymo (35 %), slėgio svyravimo adsorbpcija (30 %) ir cheminė adsorbpcija (23 %). Fizinė adsorbpcija, membraninė ir kriogeninė technologijos bendrai sudaro tik 12 %.



6 pav. Biodujų valdymo technologijos
Šaltinis: (Angelidaki et al., 2018)

Vandens valymo technologija

Tarp visų procesų vandens valymo technologija yra dažniausiai naudojama gerinant biodujas, kuri pagrįsta adsorbpcijos principu (Kapoor et al., 2020).

Neapdorotos biodujos pirmiausia patenka į valymo įrenginį, kuriame pašalinamas sieros vandenilis desulfuracijos būdu. Vėliau biodujos suslegiamos maždaug iki 4 – 6,5 bar ir iš apačios įleidžiamos į plovimo koloną, kurioje tiesiogiai kontaktuoja su vandeniu, purškiamu iš viršaus. CO₂ absorbuojamas vandenyje, o CH₄ iš plovimo kolonos per viršutinę jos dalį patenka į džiovinimo ir rafinavimo etapus. Lakiųjų organinių junginių pėdsakai pašalinami aktyvintos anglies filtre ir gali būti tiekiamos į gamtinių dujų tinklą. Kolonoje naudojamas vanduo yra prisotintas didele koncentracija CO₂, tačiau jame taip pat yra apie 5 – 6 % metano, kurio negalima prarasti išleidžiant į atmosferą. Dėl šios priežasties vanduo nukreipiamas į pliūpsnio koloną, slėgis sumažinamas iki 2 – 4 bar ir tokiu būdu yra atskiriamas metanas (Rotunno et al., 2017).

Ši technologija pasižymi tuo, kad CO₂ pašalinimo efektyvumas visada yra didesnis nei 98 %, o metano nuostoliai yra tik nuo 1 iki 2 % (Angelidaki et al., 2018).

Slėgio svyravimo adsorbpcija

Šioje technologijoje naudojama poringa adsorbentinė terpė, kurioje iš dujų mišinio atskiriamos kai kurios molekulės, vėliau išleidžiamos keičiant skirtingas slėgio reikšmes (Bauer et al., 2013). Atnaujinant biodujas, slėgio svyravimo adsorbpcijos įrenginiuose yra pasinaujama skirtingais molekuliniais dydžiais – CO₂ (0,34 nm) ir CH₄ (0,38 nm). Taigi adsorbpcijančių medžiagų panaudojimas, kurių erdmės yra 0,37 nm dydžio, leidžia sulaukyti CO₂, o CH₄ prasiskverbia netrukdomai (Patterson et al., 2011).

Ceolitai ir aktyvuota anglis yra plačiausiai naudojami adsorbpcijančių medžiagų tipai dėl savo didelio efektyvumo. Išankstinėje biodujų apdorojimo fazėje su aktyvuota anglimi yra šalinamas H₂S, džiovinimo etape pašalinamas vanduo, tada suslegiama iki maždaug 4 bar prieš patenkant į adsorbpcijos įrenginį. Pastarasis susideda iš keturių nuosekliai einančių kolonų, kurios užpildytos ceolitu. Keturių kolonų konfigūracijoje yra atliekami skirtingi procesų etapai. Pirmiausia suslėgtos biodujos tiekiamos į koloną, kurioje yra absorbuojamas anglies dioksidas ir tokiu būdu atskiriamas nuo metano. Kitame etape dėl sumažėjusio slėgio desorbpcuojamas anglies dioksidas, trečiajame – išvaloma nuo likusio CO₂ įpurškiant biometano ir pabaigoje perslegiama (Bauer et al., 2013)

Likusieji lakieji organiniai junginiai pašalinami iš biometano kitame aktyvintos anglies filtre, o tada biometanas suslegiamas iki 24 bar. Ši technologija leidžia išgryninti metaną iki 96 %, nuostoliai yra iki 3 % (Lima et al., 2018).

Fizinė absorbcija

Biodujų gerinimo procesai naudojant fizinės absorbcijos technologiją paprastai vykdomi specializuotose dujų – skysčių talpyklose (kolonose) naudojant vandenį, organinius tirpiklius arba vandeninius cheminius tirpalus. Organiniai glikoliai yra labiausiai paplitę absorbentai, pvz. polietilenglikolis. Fiziniai organiniai tirpikliai užtikrina didesnę H_2S ir CO_2 tirpumą nei vandenyje, todėl sumažėja tirpiklių poreikis ir sumažėja cirkuliacijos poreikis. Procesas gali būti labai naudingas tada, kai plovimui nėra pakankamo kiekio vandens išteklių (Murray et al., 2014).

Fizinė absorbcija yra panaši į vandens valymo technologiją. Siekiant pagerinti absorbciją, dujos suslegiamos iki 4 – 8 bar, o temperatūra sumažinama iki 10 – 20 °C. Fiziniai valymo tirpikliai veikia panašiai kaip vandens valymo, naudojant priešpriešinės srovės srautus ir pakopinę koloną su užpildais. Norint regeneruoti prisotintą tirpiklį, jis patenka į pliūpsnio koloną, kurioje temperatūra yra 40–80 °C ir tuomet į desorbcijos koloną.

Priklausomai nuo slėgio, temperatūros ir kitų veiksnių, pagerintos dujos paprastai susideda iš 95 – 98 % metano, o nuostoliai sudaro 1,5 – 4 %. Norint fizinį tirpiklį pakartotinai naudoti sistemoje, būtina sumažinti slėgį pliūpsnio kolonoje. Nors tirpiklis gali būti regeneruojamas, jis negali būti naudojamas neribotą laiką ir jį reikia periodiškai keisti dėl susidarancių skystų pavoju atliekų (Bashar, 2018).

Cheminė absorbcija

Cheminės absorbcijos technologija pagal biodujų perdavimo principus yra iš esmės tokia pati kaip vandens valymo technologija, skirtumas tas, kad tarp tirpiklio ir absorbuotų medžiagų vyksta cheminė reakcija. Technologija paremta CO_2 reaktyviais absorbentais, tokiais kaip alkanolio aminai (monoetanolio aminas) arba dimetiletanolio aminas ir šarminiais vandeniniais tirpalais: KOH , K_2CO_3 , $NaOH$, $Fe(OH)_3$, $FeCl_2$ (Lasocki et al., 2015).

Amino tirpalai yra plačiai naudojami absorbuojant CO_2 , o metano nuostoliai yra nedideli arba jų iš vis nėra (0,1 – 1,2 %). Metano regeneracija yra didesnė nei 99%, nes cheminis tirpiklis selektyviai reaguoja su anglies dioksidu.

Nepaisant didelio CO_2 pašalinimo efektyvumo, energijos suvartojimas yra santykinai didelis (reikalinga didelė temperatūra regeneracijos metu). Taip pat proceso metu gali atsirasti druskos nuosėdos ir putas, kurios kartu su deguonimi amino tirpalui ar kitoms cheminėms medžiagoms (Bauer et al., 2013).

Membraninė technologija

Membraninė atskyrimo technologija naudoja specialias membranas, sudarytas iš tuščiavidurių pluoštų, kurie gaminami iš polimerinių medžiagų: polisulfono, poliimido ar polidimetilsiloksano, ir yra montuojamos į nerūdijančio plieno vamzdį. Dujų srautas, kurį sudaro CO_2 , NH_3 , H_2O ir kitos priemaišos, prasiskverbia pro šiems junginiams laidžias mikroporas, o CH_4 lieka nepašalintas. Norint užtikrinti pakankamą paviršiaus plotą, šios membranos naudojamos kaip kelių modulių ar pakopų kompleksas (Chen et al., 2015).

Šis procesas nepriklauso nuo lakiųjų organinių junginių koncentracijos, o tai išskirtinė šios technologijos savybė lyginant su kitomis. Taip pat yra paprasta, kompaktiška ir ženkliai lengvesnė, gamyboje nebūtina aukštos kvalifikacijos darbo jėga, reikalaujanti mažiau priežiūros (Basu et al., 2010).

Biodujos pirminiame etape patenka į džiovintuvą ir valymo įrenginius, kad būtų pašalintas vanduo ir sieros vandenilis, kurie gali turėti neigiamos įtakos gerinimo efektyvumui pasiekti. Valymo procese naudojamas sieros pašalinimo mišinys iš natrio hidroksido, polivinilo alkoholio ir vandens. Tada aktyvintos anglies filtras leidžia pašalinti likusius H_2S ir LOJ (lakiųjų organinių junginių) pėdsakus. Biodujos suslegiamos iki 10 – 16 bar slėgio ir tiekiamos į 3 pakopų recirkuliacijos poliimido membranos bloką, kur pasiekiamas aukštas CO_2 pašalinimo efektyvumas (apie 98 %) su labai mažu metano praradimu (baziniu atveju tik ~0,69 %) (Ardolino et al., 2018).

Kriogeninė technologija

Kriogeninis procesas grindžiamas kondensacijos ir distiliavimo principu, kurio metu selektyviai yra atskiriamas metanas, anglies dioksidas ir kitos priemaišos (Tuinier and van Sint Annaland, 2012). Tačiau prieš biodujų tiekimą kriogeniniuose separatoriuose būtina iš anksto apdoroti biodujas, t.y. pašalinti vandenilio sulfidą, amoniaką, siloksanus ir sieros dioksidą. Mažiau metano nuostolių viso proceso metu yra vienas iš svarbiausių kriogeninio atskyrimo technologijos pranašumų (Surra et al., 2019).

Visgi kriogeninės technologijos taikymas CO_2 pašalinimui iš biodujų vis dar tobulinamas. Taip pat kriogeniniame procese reikalingas išankstinis biodujų valymas, kad būtų išvengta užšalimo ir kitų problemų, todėl šis procesas yra sudėtingas ir pakankamai retai naudojamas (Shah et al., 2021).

Ši technologija leidžia biodujas pagerinti itin efektyviai – metano koncentraciją padidinant net iki 99 % su minimaliais nuostoliais (iki 0,1 %), tačiau yra labai brangi ir reikalaujanti didelių investicijų (Scarlat et al., 2018).

Išvados

Siekiant sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį ir priklausomybę nuo iškastinio kuro, biomasė yra minima kaip viena perspektyviausių energijos išteklių, galinčių patenkinti dabartinę energijos poreikį. Apžvelgus literatūros šaltinius, nagrinėjančius biodujų gamybos technologijas, galima daryti tokias išvadas:

1. Norint pasiekti valstybių užsibrėžto tikslo, kad atsinaujinantys energijos šaltiniai transporto degaluose sudarytų 10 %, metano panaudojimas kaip dujiniai degalai yra įvardijami ypač svarbiu faktoriumi šiam tikslui pasiekti.

2. Kiekvienais metais Europos Sąjunga laikydamosi tarptautinių susitarimų, protokolų ir direktyvų sparčiai plečia biodujų ir biometano gamyklų skaičių šalyse narėse. Nuo 2009 m. iki 2019 m. biodujų gamyklų skaičius padidėjo daugiau nei tris kartus. Jos bendrai pagamino 15,8 mlrd. m³ biodujų. Kiekvienais metais yra fiksuojamas ~2 – 4 % naujų gamyklų skaičiaus stabilus augimas.

3. ES transporto sektoriuje sunaudojamų trijų rūšių bendras biodegalų kiekis per 2014 – 2019 m. laikotarpį padidėjo ~25,5 %. Daugiausiai yra sunaudojama biodyzelino, kuris 2019 m sudarė ~14,35 mln. metrinių tonų naftos ekvivalento (net ~81 %), bioetanolis 3,21 mln. (~18 %), o biodujos tik 0,27 mln. (~1,5 %). Nors biodujų sunaudojimas per šį laikotarpį transporto sektoriuje išaugo ~51 %, tačiau bendras jų kiekis lyginant su sunaudojamu biodegalų kiekiu yra nedidelis.

4. Vertinant pagrindinės biodujų gerinimo technologijas, pasižyminčias itin aukštu metano išgryninimo rodikliu, kiekviena jų turi privalumų ir trūkumų, atsižvelgiant į dujų sudėtį, gamybos, aptarnavimo ar investicijų kaštus. Dažniausiai naudojamos technologijos – vandens valymo (35 %), slėgio svyravimo adsorbcija (30 %) ir cheminė adsorbcija (23 %). Fizinė adsorbcija, membraninė ir kriogeninė technologijos bendrai sudaro tik 12 %.

5. Vandens valymo technologija dažniausiai naudojama ne tik dėl didelio CO₂ pašalinimo efektyvumo, kuris yra bent 98 %, o metano nuostoliai yra tik nuo 1 iki 2 %, bet ir dėl vienu mažiausių aptarnavimo bei investavimo kaštų.

Literatūra

1. Ahmad, E., Alam, Md. I., Pant, K. K., & Haider, M. A. (2019). *Insights into the Synthesis of Ethyl Levulinate under Microwave and Nonmicrowave Heating Conditions*. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 58(35), 16055–16064. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b01137>
2. Angelidaki, I., Treu, L., Tsapekos, P., Luo, G., Campanaro, S., Wenzel, H., & Kougias, P. G. (2018). *Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives*. *Biotechnology Advances*, 36(2), 452–466. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.01.011>
3. Ardolino, F., Parrillo, F., & Arena, U. (2018). *Biowaste-to-biomethane or biowaste-to-energy? An LCA study on anaerobic digestion of organic waste*. *Journal of Cleaner Production*, 174, 462–476. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.320>
4. Bacsik, Z., Cheung, O., Vasiliev, P., & Hedin, N. (2016). *Selective separation of CO₂ and CH₄ for biogas upgrading on zeolite NaKA and SAPO-56*. *Applied Energy*, 162, 613–621. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.109>
5. Bashar, A. (2018). *Biogas Quality Improvement Using Water Wash and Phosphorus Recovery as Struvite in Jones Island Wwtp*.
6. Basu, S., Khan, A. L., Cano-Odena, A., Liu, C., & Vankelecom, I. F. J. (2010). *Membrane-based technologies for biogas separations*. *Chem. Soc. Rev.*, 39(2), 750–768. <https://doi.org/10.1039/B817050A>
7. Bauer, F., Persson, T., Hultheberg, C., & Tamm, D. (2013). *Biogas upgrading—Technology overview, comparison and perspectives for the future*. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 7(5), 499–511. <https://doi.org/10.1002/bbb.1423>
8. Brémond, U., Bertrandias, A., Steyer, J.-P., Bernet, N., & Carrere, H. (2021). *A vision of European biogas sector development towards 2030: Trends and challenges*. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125065. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125065>
9. Chen, X. Y., Vinh-Thang, H., Ramirez, A. A., Rodrigue, D., & Kaliaguine, S. (2015). *Membrane gas separation technologies for biogas upgrading*. *RSC Advances*, 5(31), 24399–24448. <https://doi.org/10.1039/C5RA00666J>
10. Elwell, A. C., Elsayed, N. H., Kuhn, J. N., & Joseph, B. (2018). *Design and analysis of siloxanes removal by adsorption from landfill gas for waste-to-energy processes*. *Waste Management*, 73, 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.021>

11. EurObserv'ER (2019). *The State of Renewable Energies in Europe*. 19th EurObserv'ER Report. Prieiga per internetą: <<https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2020/The-state-of-renewable-energies-in-Europe-2019.pdf>>
12. Europos aplinkos agentūra (2019). *Quality and greenhouse gas intensities of transport fuels in the EU in 2017*. Publications Office of the European Union. Prieiga per internetą: <<https://www.eea.europa.eu/publications/quality-and-greenhouse-gas-intensities-1>>
13. Europos biodujų asociacija (2020). *Annual Report*. Prieiga per internetą: <<https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2021/01/Annual-Report-2020-new.pdf>>
14. Ferella, F., Puca, A., Taglieri, G., Rossi, L., & Gallucci, K. (2017). *Separation of carbon dioxide for biogas upgrading to biomethane*. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1205–1218. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.037>
15. Hagman L, Eklund M. (2016). *The role of biogas solutions in the circular and bio-based economy*. Biogas Research Center (BRC), Linköping University.
16. Kampman, B., Leguijt, C., Scholten, T., Tallat-Kelpsaite, J., Brückmann, R., Maroulis, G., Lesschen, J.P., Meesters, K., Sikirica, N., Elbersen, B. (2016). *Optimal Use of Biogas from Waste Streams - an Assessment of the Potential of Biogas from Digestion in the EU beyond 2020*.
17. Kapoor, R., Ghosh, P., Tyagi, B., Vijay, V. K., Vijay, V., Thakur, I. S., Kamyab, H., Nguyen, D. D., & Kumar, A. (2020). *Advances in biogas valorization and utilization systems: A comprehensive review*. *Journal of Cleaner Production*, 273, 123052. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123052>
18. Lasocki, J., Kołodziejczyk, K., & Matuszewska, A. (2015). *Laboratory-Scale Investigation of Biogas Treatment by Removal of Hydrogen Sulfide and Carbon Dioxide*. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24, 1427–1434. <https://doi.org/10.15244/pjoes/35283>
19. Lima, R. M., Santos, A. H. M., Pereira, C. R. S., Flauzino, B. K., Pereira, A. C. O. S., Nogueira, F. J. H., & Valverde, J. A. R. (2018). *Spatially distributed potential of landfill biogas production and electric power generation in Brazil*. *Waste Management*, 74, 323–334. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.011>
20. Murray, B. C., Galik, C. S., & Vegh, T. (2014). *Biogas in the United States: An Assessment of Market Potential in a Carbon-Constrained Future*.
21. Nizami, A. S., Shahzad, K., Rehan, M., Ouda, O. K. M., Khan, M. Z., Ismail, I. M. I., Almeelbi, T., Basahi, J. M., & Demirbas, A. (2017). *Developing waste biorefinery in Makkah: A way forward to convert urban waste into renewable energy*. *Applied Energy*, 186, 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.116>
22. Patterson, T., Esteves, S., Dinsdale, R., & Guwy, A. (2011). *An evaluation of the policy and techno-economic factors affecting the potential for biogas upgrading for transport fuel use in the UK*. *Energy Policy*, 39(3), 1806–1816. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.01.017>
23. Quereshi, S., Pant, K. K., Dutta, S., & Naiya, T. K. (2020). *Unfolding the role of molybdenum disulfide as a catalyst to produce platform chemicals from biorenewable resources*. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00888-7>
24. Rotunno, P., Lanzini, A., & Leone, P. (2017). *Energy and economic analysis of a water scrubbing based biogas upgrading process for biomethane injection into the gas grid or use as transportation fuel*. *Renewable Energy*, 102, 417–432. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.10.062>
25. Scarlat, N., Dallemand, J.-F., & Fahl, F. (2018). *Biogas: Developments and perspectives in Europe*. *Renewable Energy*, 129, 457–472. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>
26. Shah, G., Ahmad, E., Pant, K. K., & Vijay, V. K. (2021). *Comprehending the contemporary state of art in biogas enrichment and CO2 capture technologies via swing adsorption*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(9), 6588–6612. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.116>
27. Sun, Q., Li, H., Yan, J., Liu, L., Yu, Z., & Yu, X. (2015). *Selection of appropriate biogas upgrading technology-a review of biogas cleaning, upgrading and utilisation*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 521–532. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.029>
28. Surra, E., Costa Nogueira, M., Bernardo, M., Lapa, N., Esteves, I., & Fonseca, I. (2019). *New adsorbents from maize cob wastes and anaerobic digestate for H2S removal from biogas*. *Waste Management*, 94, 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.048>
29. Theuerl, S., Herrmann, C., Heiermann, M., Grundmann, P., Landwehr, N., Kreidenweis, U., & Prochnow, A. (2019). *The Future Agricultural Biogas Plant in Germany: A Vision*. *Energies*, 12(3), 396. <https://doi.org/10.3390/en12030396>
30. Tuinier, M. J., & van Sint Annaland, M. (2012). *Biogas Purification Using Cryogenic Packed-Bed Technology*. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51(15), 5552–5558. <https://doi.org/10.1021/ie202606g>
31. Weiland, P. (2010). *Biogas production: Current state and perspectives*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4), 849–860. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7>

TRENDS IN BIOGAS PRODUCTION AND QUALITY UPGRADING TECHNOLOGIES

Summary

Energy production from alternative sources is essential to reduce greenhouse gas emissions and dependence on fossil fuels. Biomass is one of the most promising non-traditional energy sources that can meet current energy needs worldwide. Biofuels are important for achieving the European Union's target of 10% renewable energy in transport fuels. Methane is identified as a good transition fuel for this purpose and can be converted to other fuels by steam reforming and catalysis. This article reviews the trends, prospects and potential of biogas and biomethane production in the use of these gaseous fuels. The most widely used biogas improvement technologies are also examined.

Key words: biogas, methane, biomethane, biogas improvement technologies, carbon dioxide.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Tadas Vipartas.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorius.

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Technikos fakulteto Automobilių transporto inžinerijos katedros lektorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto techninis eksploatavimas, alternatyvioji energetika.

Telefonas ir el. pašto adresas: t.vipartas@vtdko.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Alfredas Rimkus.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Technikos fakulteto Automobilių transporto inžinerijos katedros docentas. VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Automobilių inžinerijos katedros docentas.

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

Telefonas ir el. pašto adresas: a.rimkus@vtdko.lt, alfredas.rimkus@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Tadas Vipartas.

Science degree and name: master, lector

Workplace and position: Vilnius Technology and Design College, Technical faculty Automobile Transport Engineering department lector.

Author's research interests: Technical exploitation of transport, alternative energy.

Telephone and e-mail address: t.vipartas@vtdko.lt

Author name, surname: Alfredas Rimkus.

Science degree and name: associated professor.

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

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

Telephone and e-mail address: a.rimkus@vtdko.lt, alfredas.rimkus@vgtu.lt

ADAPTIVE TESTING IN ELECTRONIC EQUIPMENT MANUFACTURING

Lyudmila Taneva, Rumen Bagalev

Department of Electronics and Automation, South-West University, Blagoevgrad, Bulgaria

Annotation

The article describes a method for adaptive testing in the production of large series of complex electronic products. On the base of statistical data and real-time information the probability of each test to detect defects is calculated and decision, whether to perform it or not is made. This way the total test time could be significantly reduced which leads to increase of the manufacturing resource usage efficiency and reduction of the product cost. The method is suitable for complex electronic products, which undergo large number of tests during production and its advantages could be fully used.

KEY WORDS. testing, electronic device, adaptive test, manufacturing

Introduction

In today's world, electronic devices are all around us - at home, at work, in transport, communications, manufacturing, medicine, and with the advent of the Internet of Things, there will be many more. In the process of production of electronic devices an important step is the production tests, which ensure that the customer will receive a quality, functionally fit product, with parameters within acceptable limits and meeting all requirements and standards. With complex devices, tests are time consuming, require large investments, and make up a significant portion of the cost of the product.

One of the biggest challenges for electronic device manufacturers is to find the best balance between the cost of tests and the coverage they provide to ensure that quality products reach the market with minimal risk of defects. Fig.1 shows the ratio between the investment in production tests and the number of detected defects.

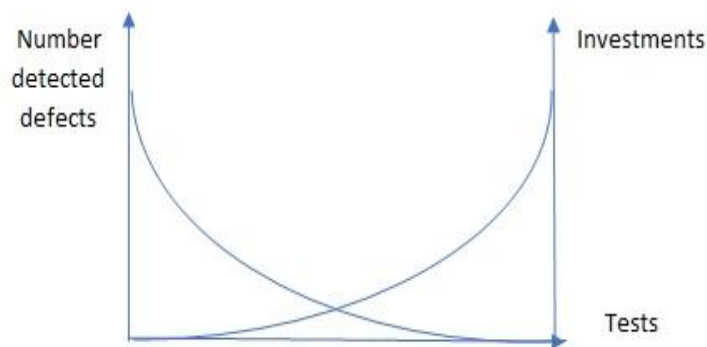


Fig. 1 Level of testing vs cost

Source: compiled by author

As the degree of testing increases, the costs increase exponentially, the number of detected defects decreases with the same regularity. The challenge of ensuring the desired high quality at a reasonable price is of paramount importance to manufacturers. There are various approaches to limit and even reduce testing costs, such as the use of pre-approved component manufacturers, outsourcing, automation, sampling, shift work, etc., as well as their combinations.

Method of adaptive testing

This article suggests a method of adaptive testing in the production of electronic equipment, which can significantly reduce the cost of testing in the production of large series of complex electronic devices, while maintaining the desired quality. The essence of the method is, based on statistics and real-time information about the behavior of the various tests, as well as the values of certain parameters, to assess the probability of a defect to occur and, accordingly, testing focuses on these areas while the rest of the tests are reduced or even eliminated. This reduces the testing time of individual devices, as well as the test cycle as a whole, which increases the efficiency of use of test equipment, production areas, utilities and the human force.

In general, in electronic production there are two groups of tests - structural tests and functional tests. Structural tests check for missing components, that all components are installed correctly, for open circuits and shorts, as well as everything else related to the assembly of the device, while functional tests check the operability of the device, whether the parameters are within the desired range, and whether the device meets

local and safety standards. In Fig.2 shows the typical structural test stations in the production of complex devices,

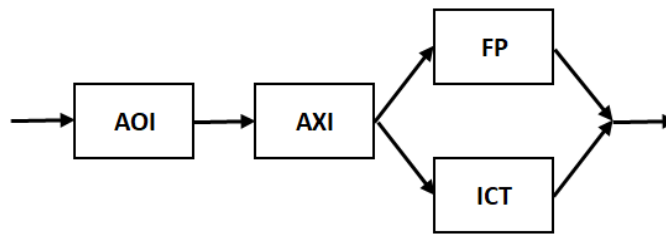


Fig. 2 Sample of production test stations
Source: compiled by author

where AOI - Automated Optical Inspection, AXI - Automated X-Ray Inspection, FP - Flying Probe, ICT - In Circuit Test.

Exemplary functional test stations are shown in Fig.3.

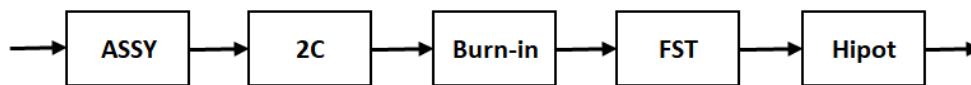


Fig. 3 Sample of functional test stations
Source: compiled by author

where ASSY - assembly (Assembly Test), 2C - 2-Corner (High/Low Temperature Test), Burn-in - burn-in (Artificial Aging), FST - final system test, Hipot - insulation test

At each of the stations shown above, groups of tests are performed, some of them more than once, and the duration of each test varies from fractions of seconds to minutes, and the total time could reach hours.

Adaptive testing is a process in which, based on statistical data, information related to the tested devices and the testing process itself, an assessment is made of the probability of a certain defect to occur in the test. As a result of this assessment, the set of tests that are performed on each device is reduced, and some tests could even be omitted. This reduces the testing time of a device, as well as the test cycle as a whole, which increases the efficiency of the use of test equipment, production areas and human resources. Adaptive testing can be done manually and automatically, as the automatic is much more flexible and efficient and can be done in real time (Fig. 4).

The information used to assess the likelihood of defects occurring during testing, as well as what defects are most likely to occur is based on:

- Information from the tests in the past - as a result of analysis of these historical data it is assessed which defects most often occurred and under what conditions.

- Analog measurement data - if the measurements show that majority of the values of some parameters are within the allowable tolerances, but close to the limit values, this increases the possibility of defects in the blocks associated with these parameters.

- Information from previous device tests - if the device has already shown a defect in a test or performs unconvincingly (passes the test at second or third attempt, misses packets in communications, etc.), this is a reason to test the respective blocks at 100%.

- Device information - this information is needed to establish the specific tests, data and parameters for the specific device.

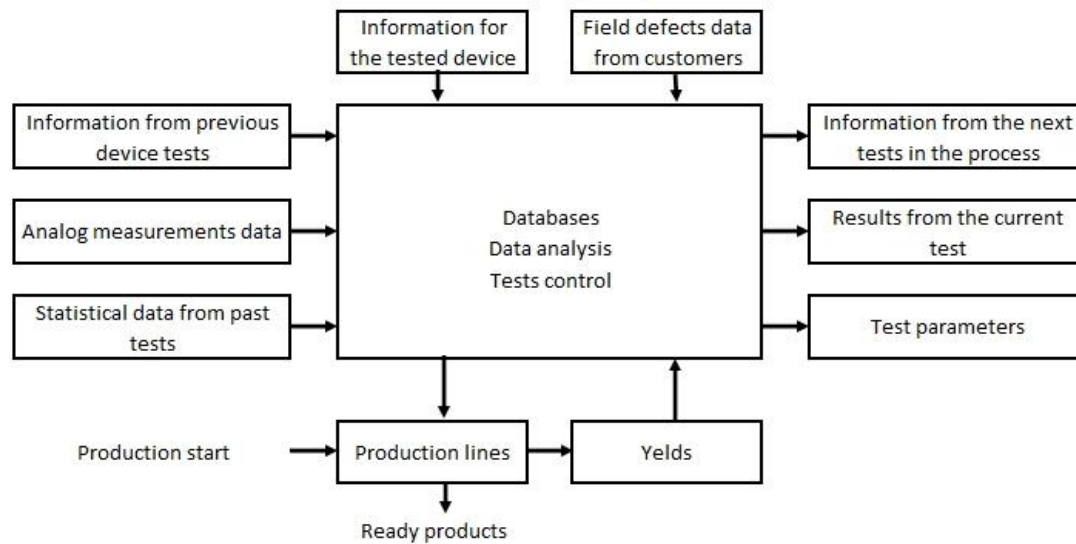


Fig. 4 Adaptive testing block diagram
 Source: compiled by author

- Field defects data from customers - these are defects not detected by production tests or latent defects that appear later in the process of operation. All tests related to such defects will be performed 100% until their number drops to satisfactory levels.

- Information from the next tests in the process - if a defect is found that could have been detected earlier, the respective tests will be included for execution by all subsequent devices.

- Results from the current test - some tests allow tolerance in the results and if this tolerance is close to the limits, the test can be performed more than once, as well as to add further tests with respect to this parameter for this device.

- Preset parameters of the tests - all necessary parameters for the device and production testing.

- Yields - to assess the quality of production using yield indicator such as First Pass Yield (FPY), Test Yield (TY) End-To-End Yield, etc. FPY shows how many units pass the test at first attempt. It is measured in percentages and is determined by the formula:

$$FPY = ((T - F) / T) * 100, \quad (1)$$

where FPY - first pass yield, T - total number of tested devices, F - number of failed tests.

The information mentioned above is processed and analyzed in real time and a list of tests for each individual device is submitted to the production line. Depending on the nature of each test, different mathematical methods are used to assess the probability of a defect occurring. Explanation of these methods is not a subject of this article, but as an example we can give Poisson's law of random distribution:

$$P(m, \lambda) = \frac{\lambda^m e^{-\lambda}}{m!}, m = 0, 1, 2, \dots; \lambda > 0, \quad (2)$$

where $P(m; \lambda)$ - the probability of exactly m occurrences of an event in a separate experiment, λ - Poisson's constant.

The law on binomial distribution is:

$$P(m, n, p) = C_n^m p^m (1 - p)^{n-m}, m = 0, 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

where P - the probability of occurrence of an event in the respective experience, C_n^m - number of combinations of n elements m -th class.

An illustration of an exemplary adaptive test is shown in Fig. 5.

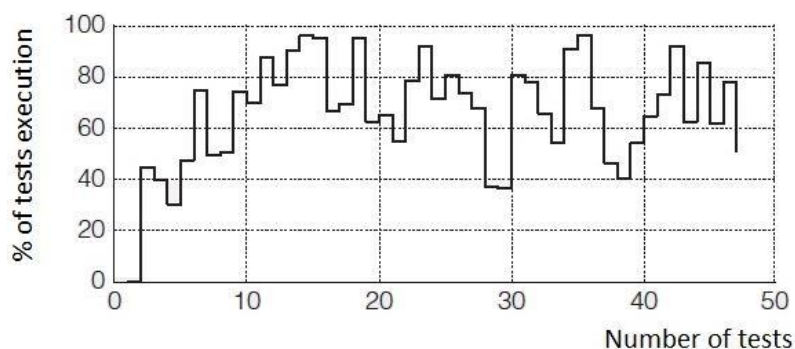


Fig. 5 Adaptive test execution example

Source: compiled by author

Conclusions

In the article was suggested a method for adaptive testing in the manufacture of electronic devices. The principle was explained and the types and sources of information used for the adaptive testing were described. Additionally, as example, were given, some criteria for assessing the likelihood of defects during testing. This way the total test time could be significantly reduced which leads to increase of the manufacturing resource usage efficiency and reduction of the product cost.

Literature

1. Maxwell P., Adaptive testing: Dealing with process variability, Computer Science, 2011.
2. Singh A., Marinissen E.J., Glotter D., Esposito M., Carulli Jr. J.M., Nahar M., Butler K.M., Appello D., Portelli C., Adapting to adaptive testing, IEEE Conference, 2010.
3. Tasev GA, Tsenev IM, Shirkova ML, Popov TsI, Workplace and environmental risk assessment and management, Economy and business jurnal, 2014.

МЕТОД ЗА АДАПТИВНО ТЕСТВАНЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВОТО НА ЕЛЕКТРОННИ УСТРОЙСТВА

Обобщение

В статията се предлага метод за адаптивно тестване при производството на големи серии електронна апаратура. На базата на статистически данни и информация в реално време, се изчислява вероятността всеки тест да бъде изпълнен успешно. В зависимост от тази вероятност се взема решение дали да се изпълни теста или не. Методът е приложим за сложни устройства, където тестовете са стотици, с продължителност от части на секундата до няколко десетки минути. Този метод позволява да се намали времето за тестване, като не се изпълняват тестовете, за които вероятността да открият дефект е минимална или нулева.

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Lyudmila Taneva; Roumen Bagalev.

Science degree and name: assoc. Professor PhD; PhD student

Workplace and position: South West University, Technical faculty, Electronic and Automation department associated professor; PhD student

Author's research interests: microprocessors, computer architecture, manufacturing technologies, production test, embedded systems.

Telephone and e-mail address: +359 886918892 lucy_t@swu.bg; +359 888 694495 r.bagalev@abv.bg

MIKROVALDYKLIO GALYMIBIŲ TYRIMAS NAUDOJANT KONVOLIUCINIUS TINKLUS

Martinas Septilko¹, Algirdas Vaitkevičius², Egidijus Valma^{1,2}
¹Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, ²Kauno Technikos kolegija

Anotacija

Mikrovaldiklių galimybių tyrimas atliekamas naudojant Mediapipe rankos aptikimo modelį. Šis modelis išmoksta nuosekliai parodyti vidines rankos pozas, net iš dalies matomoms rankoms, kai jos matomos tik iš šono arba kai viena iš rankų dalinai uždengia kitą. Jis paremtas konvoliuciniu neuronų tinklu. KNT puikiai veikia sprendžiant mašininio mokymosi problemas. Aparatiniai įrangai panaudoti servo varikliai, o už jų valdymą atsakingas Arduino UNO modulis ir šiuo atveju kompiuteris su vaizdo kamera. Programinę dalį sudaro Python ir C++ programinių kalbų kodai.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI: Konvoliuciniai tinklai, Arduino, mikrovaldiklis, programavimas.

Įvadas

Terminas „Gilus mokymasis“ (angl. Deep learning) arba „Gilus neuroninis tinklas“ (angl. Deep Neural Network) reiškia dirbtinius neuroninius tinklus (DNT). Per pastaruosius kelis dešimtmečius DNT buvo laikomas vienu galingiausių įrankių ir labai išpopuliarėjo mokslinėje literatūroje, nes sugeba apdoroti didžiulį duomenų kiekį. Susidomėjimas giliais sluoksniais neseniai viršijo klasikinių metodų efektyvumą skirtingose srityse, ypač modelio atpažinime (angl. Pattern recognition). Vienas iš populiariausių giliųjų neuronų tinklų yra konvoliucinis neuronų tinklas (KNT). Šis vardas paimtas iš matematinės tiesinės operacijos tarp matricų, vadinamų konvoliucija. KNT turi kelis sluoksnius; įskaitant konvoliucinį sluoksnį, netiesiškumo sluoksnį, sujungimo sluoksnį ir visiškai sujungtą sluoksnį. Konvoliuciniai ir visiškai prijungti sluoksniai turi parametrus, tačiau kaupiamieji ir netiesiškumo sluoksniai neturi parametrų. KNT puikiai veikia sprendžiant mašininio mokymosi problemas.

Darbo tyrimo objektas - konvoliucinių tinklų valdymo sistema.

Straipsnio tikslas – suprojektuoti ir pritaikyti roboto ranką veikti ir atpažinti žmogaus rankų pirštų judėjimus.

Uždaviniai – sukurti konvoliucinių tinklų sistema, kuri priimtų įvesties duomenys naudojant WEB kamerą ir diferencijuoti programinį kodą.

Naudojami metodai – Mediapipe karkasas ir „Arduino“ mikrovaldiklio programavimas.

Tyrimų metodika. Mediapipe bei Delno aptikimo modelis (SSD)

Moksliniame darbe „*Single Shot MultiBox Detector*“ nurodoma, kad vieno kadro detektorius (angl. Single Shot Detector SSD) metodas pagrįstas „feed-forward“ konvoliuciniu tinklu, kuris gamina fiksuoto dydžio stačiakampius ir tuo pačiu tikrina ar tuose stačiakampiuose yra tam tikra objektų klasė (Liu W. ir kt., 2016).

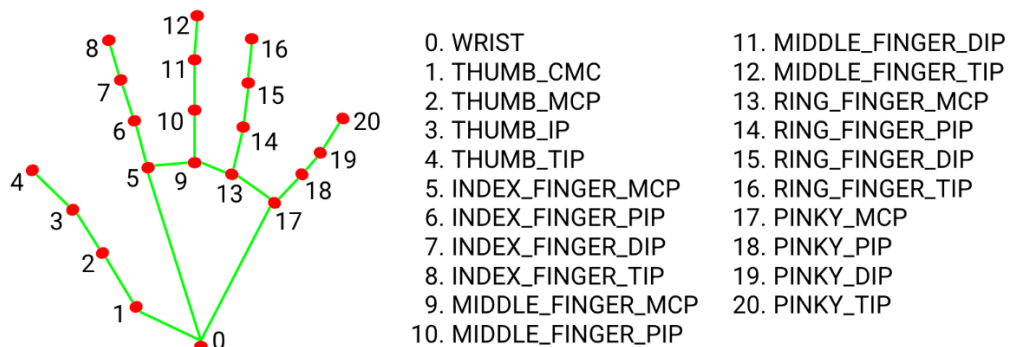
Ankstyvieji tinklo sluoksniai yra pagrįsti standartine architektūra, kuri leidžia pasiekti aukštą vaizdo klasifikavimo lygį, kas ir sudaro tinklo pagrindą. Prie tinklo pagrindo yra pridėjama pagalbinė struktūra, kuri daro aptikimus pagal sekančias savybes:

- Skirtingų-mastelių požymių žemėlapis aptikimui – šie sluoksniai palaiapsniui mažėja ir leidžia nuspėti aptikimus skirtingais mastais
- Konvoliucinis nuspėjimas aptikimui – kiekvienas pridėtas funkcijų sluoksnis gali sukurti fiksuotą aptikimo prognozių rinkinį naudodamas konvoliucinių filtrų rinkinį.
- Numatytieji langai ir proporcijos – numatytieji langai iškloja funkcijų žemėlapi konvoliuciniu būdu, kad kiekvieno langelio padėtis atitinkamos ląstelės atžvilgiu yra fiksuota (Zhang F ir kt., 2016).

Rankos orientyro modelis

Mediapipe dokumentacija nurodo, kad po delno aptikimo, rankos orientyro modelis atlieka tikslų 21 rankos taškų lokalizavimą. Modelis išmoksta nuosekliai parodyti vidines rankos pozas, net iš dalies matomoms rankoms.

Norėdami pagerinti ir suteikti modeliui papildomą rankos geometrijos peržiūrą Mediapipe komanda pateikia aukštos kokybės sintetinį rankos modelį ir susieja su atitinkamomis 3D koordinatėmis (1 pav.) (Mediapipe, 2020).



1 pav. Mediapipe rankų orientyrai
Šaltinis: Mediapipe, 2020

Arduino

„Arduino“ yra atviro kodo mikrovaldiklis, kurį galima lengvai užprogramuoti, ištrinti ir perprogramuoti bet kuriuo momentu. 2005 m. Pristatyta „Arduino“ platforma yra nebrangus ir paprastas būdas mėgėjams, studentams ir profesionalams kurti prietaisus kurie sąveikauja su aplinka naudodami jutiklius ir pavaras. Remiantis paprasta mikrovaldiklio plokšte, tai yra atviro kodo skaičiavimo platforma, naudojama konstruoti ir programuoti elektroninius prietaisus. Arduino taip pat gali veikti kaip mini kompiuteris priimant įvestis ir valdydami įvairių elektronikos prietaisų išvestis (Louis, 2016).

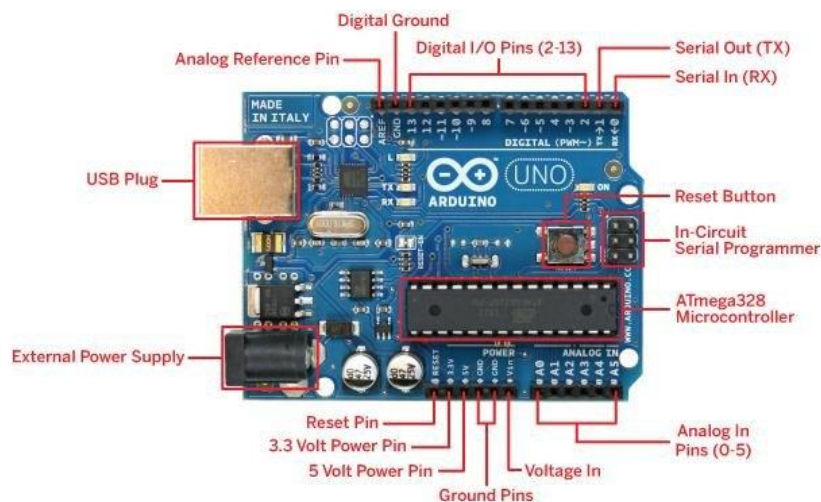
Arduino įkūrėjas Massimo Banzi pabrėžia Arduino išskirtinumą:

- Aktyvi vartotojų bendruomenė – grupė žmonių, naudojančių panašų produktą, gali pasidalinti savo patirtimi ir padėti išspręsti kitų bendruomenės vartotojų problemas.
- Arduino augimas – „Arduino“ tikslas buvo sukurti ekonomišką ir be probleminių variantą mėgėjams, studentams ir profesionalams kurti prietaisus, kurie sąveikauja su aplinką naudodant jutiklius bei pavaras.
- Nebrangi aparatinė įranga – Kadangi „Arduino“ yra atviro kodo platforma, programinė įranga nėra perkama, kas leidžia vartotojui mokėti tik už įsigytas dalis.
- Arduino programuojamas mikrovaldiklis – Tam, kad būtų paprastas funkcionavimas ir naudojimas, prie kiekvienos plokštės yra pridodamas USB laidas leidžiantis užprogramuoti mikrovaldiklį.
- Daugiaplatformė aplinka – „Arduino IDE“ gali veikti su daugeliu platformų, pradedant nuo Microsoft ir baigiant IOS, kas dar labiau padidina vartotojų bendruomenę (Louis, 2016).

Arduino aparatinė įranga

Arduino mikrovaldiklis susideda iš daugybės komponentų, kurie kartu priverčia jį veikti. Žemiau pateikti pagrindiniai komponentų blokai, kurie padeda jo veikimui:

- Mikrovaldiklis: Tai yra plokštės širdis, kuris veikia kaip mini kompiuteris, gali priimti ir taip pat siųsti instrukcijas arba komandas į prijungtus išorinius įrenginius. Naudojami mikrovaldikliai kiekvienoje plokštėje skiriasi ir turi įvairias specifikacijas.
- Išorinio maitinimo šaltinis : Maitinimo šaltinis naudojamas „Arduino“ plokštės maitinimui. Įtampa svyruoja nuo 9 iki 12 voltų.
- USB jungtis: Ši jungtis yra viena iš svarbiausių jungčių, kuri naudojama plokštės programavimui. Taip ji turi reguliuojamą 5V maitinimo galią tais atvejais, kai nėra išorinio maitinimo šaltinio.
- Vidinis programatorius : Sukurtą programinės įrangos kodą galima įkelti į mikrovaldiklį per USB jungtį, be išorinio programavimo.
- Atstatymo mygtukas: Šis mygtukas yra integruotas į plokštę, jo dėka galima iš naujo paleisti mikrovaldiklį.
- Analoginiai išvadai: yra keletas analoginių jėjimo išvadų pažymėtų A0 – A7. Šie išvadai naudojami analoginiam jėjimui/išėjimui.
- Skaitmeniniai I/O išvadai: Šių išvadų įtampa svyruoja nuo 2 iki 16 voltų. Naudojami skaitmeniniam įvedimui/išvedimui (Arduino Uno dokumentacija, nd).



2 pav. Arduino aparatinė įranga
Šaltinis: Samarjith Biswas, 2017

Arduino programinė įranga

Parašytas „Arduino“ kodas yra vadinamas eskizu. Programinė įranga skirta eskizams kurti yra vadinama „Arduino IDE“.

„Arduino IDE“ susideda iš sekančių dalių:

- Teksto redaktorius – vieta kur galima parašyti kodą supaprastinta C++ programavimo kalba.
- Pranešimų laukas – nurodo klaidas, taip pat praneša apie kodo eksportavimą ir išsaugojimą.
- Tekstas – Konsolė rodo „Arduino“ aplinkos teksto išvestį įskaitant klaidas ir kitą informaciją.
- Konsolės įrankių juosta – šioje įrankių juostoje yra įvairių mygtukų, tokiu kaip „Patvirtinti“, „Iškelti“, „Naujas“, „Atidaryti“, „Išsaugoti“ ir „Serial Monitor“.

Dirbtinio intelekto modelis

Kuriant sistemą yra svarbu atkreipti dėmesį į pasirinkto modelio tikslumą ir našumą. Pirminė idėja buvo modelį sukurti nuo nulio, tačiau pagrindinė problema su kuria teko susidurti, tai apmokomų duomenų trūkumas. Be tinkamo duomenų kiekio nėra įmanoma pasiekti aukšto tikslumo. Kita vertus atlikus prieinamų modelių analizę buvo pasirinktas Google kompanijos sukurtas Mediapipe karkasas. Jų siūlomas modelis pasiekia 95.7% tikslumą ir yra realizuotas C++ kalba, kas žymiai paspartina modelio našumą. Mediapipe kompanija neatskleidžia pačio kodo, tačiau aprašyme yra nurodomos užuominos, kokie metodai buvo realizuojami tikslui pasiekti. Taip pat dokumentacijoje yra aprašyti API skirti skirtingoms platformoms bei programavimo kalboms.

Kintamieji

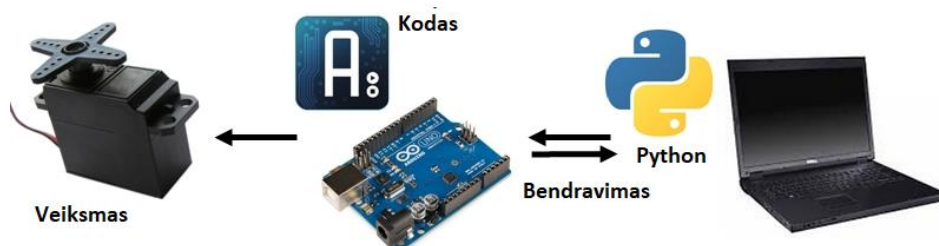
Gautas modelis atvaizduoja plaštakos ir pirštų orientacija realiu laiku, tačiau to nepakanka, kad jį būtų galima realiai pritaikyti kokiam nors valdymui. Tad iš modelio išgaunamos rankų orientyrų taškų reikšmės, kurios priskiriamos kintamiesiems. Šie kintamieji matomi (1pav.) dešinėje pusėje, sunumeruoti nuo 0 iki 20. Įvykdžius reikšmių priskyrimą kintamiesiems, jie naudojami programiniame kode aprašant veiksmus, kurie bus įvykdyti ranką ar pirštą pakreipus į vieną ar kitą pusę.

Mikrovaldiklio ir modelio bendravimas.

Išgavus dominančius kintamuosius atsiranda kita užduotis. Kintamųjų perdavimas. Tai galima realizuoti nustatčius kontaktą tarp mikrovaldiklio ir pačio framework'o. Python biblioteka turi nuostabų modulį pySerial, kuris leidžia užmegzti ryšį su mikrovaldikliu. Naudojant pySerial modulį reikia nurodyti tikslų portą ir bendravimo greitį (angl. baud rate), tai galima realizuoti paprasta komanda „serial.Serial(„Porto numeris“, bendravimo greitis)“, tuo pačiu mikrovaldiklio pusėje (mūsų atveju naudojamas mikrovaldiklis Arduino Uno), turi būti nustatytas identiškas bendravimo greitis, tai galima įvykdyti komanda „Serial.begin(bendravimo greitis)“ (PySerial dokumentacija, nd).

Duomenų apdorojimas

Užmezgus sėkmingai ryši tarp Python ir mikrovaldiklio, mikrovaldiklis pasiruošęs priimti duomenų srautą, kuris programiškai turi būti atitinkamai apdorotas ir perduotas kaip parametras (šiuo atveju pajudinti servo variklį). (9pav)



9pav. Apdorotų duomenų rezultatas
Šaltinis: sudarytas AUTORIŲ

Duomenys, kuriuos perduoda programa į mikrovaldiklį yra baitai su taip vaidinamais markeriais, kurie leidžia nustatyti duomenų srauto pradžią ir pabaigą. Mikrovaldiklio programa turi sugebėti atpažinti markerius ir konvertuoti baitus į **integer** tipo kintamuosius.

Tai galima realizuoti ciklo pagalba, kad kiekvienas gautas baitas būtų įrašomas į masyvą. Bet po kiekvieno masyvo užpildymo reikia nepamiršti ištuštinti masyvą tam, kad nebūtų atminties perteklių ir nepasimestų duomenys, kuriuos mikrovaldiklis gauna iš Python programos (Python dokumentacija, nd).

Išvados

1. Sukūrus sistemą ir naudojant Python ir C++ programavimo kalbas, jos leido sumažinti kodo eilučių skaičių ir padidinti visos sistemos veikimo greitį bei efektyvumą.
2. Pasiūlytas Mediapipe hand tracking karkasas palengvino valdymo sistemos kūrimą.
3. Atlikus darbą, galutinis pasiektas rezultatas turi būti tobulintinas, tam kad galima būtų kontroliuoti ne tik roboto ranką, bet ir bet kokį įrenginį.

Literatūra

1. Arduino UNO dokumentacija ir specifikacija [žiūrėta 2021-04-21]. Prieiga per internetą: [Arduino Uno Rev3 | Arduino Official Store](#)
2. Liu W., Anguelov D., Erhan D., Szegedy Ch., Reed S., Fu Ch., Berg A. Mosklinis straipsnis „Single Shot MultiBox Detector“ [žiūrėta 2021-04-22]. Prieiga per internetą: [1512.02325] SSD: Single Shot MultiBox Detector (arxiv.org)
3. Louis L. „Working Principle Of Arduino And Using It As A Tool For Study And Reaserch“ International Journal of Control, Automation, Communication and Systems (IJACS), 2016 [žiūrėta 2021-04-22]. 43 psl.49
4. Michael Margolis Arduino Cookbook 2012
5. MediaPipe [žiūrėta 2021-04-22]. Prieiga per internetą: [Hands - mediapipe \(google.github.io\)](#)
6. Pratik Desai Python Programming for Arduino 2015
7. pySerial documetacija [žiūrėta 2021-04-21]. Prieiga per internetą: [pySerial API — pySerial 3.4 documentation](#)
8. Python'o struct() dokumentacija [žiūrėta 2021-04-21]. Prieiga per internetą: [struct — Interpret bytes as packed binary data — Python 3.9.4 documentation](#)
9. Rankos sekimas [žiūrėta 2021-04-22]. Prieiga per internetą: [mediapipe/hand landmark tracking gpu.pptx at master · google/mediapipe · GitHub](#)
10. Servo varikliukų TowerPro996R dokumentacija [žiūrėta 2021-04-22.] Prieiga per internetą: [MG996R Tower-Pro \(electronicscaldas.com\)](#)
11. Zhang F., Bazarevsky V., Vakunov A., Tkachenka A., Sung G., Chang Ch., Grundmann M. Mokslinis straipsnis „MediaPipe Hands: On-device Real-time Hand Tracking [žiūrėta 2021-0422]. Prieiga per internetą: [\[2006.10214\] MediaPipe Hands: On-device Real-time Hand Tracking \(arxiv.org\)](#)

INVESTIGATION OF MICROCONTROLLER POSSIBILITIES USING CONVOLUTION NETWORKS

Summary

The study is conducted using the Mediapipe palm detection model, which is based on a convolutional neural network. The single-frame detector method is based on a feed-forward convolutional network that produces fixed-size rectangles and at the same time checks whether those rectangles contain a certain class of objects. The early network layers are based

on a standard architecture that allows a high level of image classification to be achieved, which is what forms the basis of the network. The hand landmark model consists of 21 hand points, so the model learns to consistently show the inner hand poses, even for partially visible hands. An integrated computer camera is used to detect hands and its gestures and while doing so the model is generated. Upon receipt of the hand model, all 21 points are scanned, which are read as variables in Python program code. The read variables are sent in the form of bytes via the USB connection to the Arduino UNO module. This open source easy-to-program microcontroller reads the received data using a cycle. And finally, Arduino uses the parameters extracted from the scanned data to control the servo motors.

Key words: Convolutional neural networks, Arduino, microcontroller, programming

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Martinas Septilko.

Mokslų laipsnis ir vardas: -

Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: mikrovaldikliai, dirbtinis intelektas, programavimas

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 648 15865 martinus.septilko@stud.vtdko.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Algirdas Vaitkevičius.

Mokslų laipsnis ir vardas: -

Darbo vieta ir pozicija: Kauno Technikos Kolegijos, elektronikos technikos fakulteto studentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: elektronikos technika.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 643 44304 algirdas.vaitkevicius@stud.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Egidijus Valma.

Mokslų laipsnis ir vardas: Magistras.

Darbo vietą ir pozicija: Lektorius Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Kauno Technikos Kolegija.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: taikomoji fizika, elektronikos technika.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 60076173 e.valma@vtdko.lt, egidijus.valma@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Martinas Septilko.

Science degree and name: -

Workplace and position: Student of Vilnius Technology and Design College.

Author's research interests: microcontrollers, artificial intelligence, programming.

Telephone and e-mail address: 8 648 15865 martinus.septilko@stud.vtdko.lt

Author name, surname: Algirdas Vaitkevičius.

Science degree and name: -

Workplace and position: Student of Kaunas Technical College, Faculty of Electronics Engineering.

Author's research interests: electronic technology.

Telephone and e-mail address: 8 64344304 algirdas.vaitkevicius@stud.ktk.lt

Author name, surname: Egidijus Valma.

Science degree and name: Master degree.

Workplace and position: Lecturer Vilnius Technology and Design College, Kaunas Technical College.

Author's research interests: applied physics, electronic technology.

Telephone and e-mail address: 8 60076173 e.valma@vtdko.lt, egidijus.valma@edu.ktk.lt

DIMENSION CAPTURING CAMERA BASED QUALITY INSPECTION USING MACHINE LEARNING

Nalina Hamsaiyni Venkatesh

Kaunas University of Technology, Department of Transport Engineering

Abstract

The scope of Artificial Intelligence (AI) in Operations Management of an industry lies within the exploitation of data acquired and assimilated to plan, organize and schedule the tasks. Researchs have indicated that AI can be implemented in different applications at various levels of the organisation depending on the capability of AI. With the key inputs from early researches, this paper is focused on provided a conceptual AI integrated operations management model for Original Equipment Manufacturer (OEM) companies. OEM industries can eliminate the human error and inefficiencies occurred during quality inspection by incorporating an AI enabled quality inspection using machine learning. The data flow design, visual representation and predictive outcome of the model in terms of efficiency is discussed. The future scope of this research and limitations are discussed to contribute to further research.

KEY WORDS. Artificial Intelligence, Machine Learning, Operations Management, Quality Inspection.

Introduction

In coherence with the recent advancements in the field of data manipulation and processing, the new age tool or equipment that eases the process is artificial intelligence. The capacity of artificial intelligence lies within the scope of the variety and depth of the data acquired. The data depth and variety provide the access of perspectives to provide an accurate and appropriate solution to the proposed process to eliminate chaos by evaluating the outcome of every possible solution. The three main scope of applying AI in manufacturing operations are smart maintenance, product inspection, market need planning. In detail, smart maintenance is the process in which an AI enabled system carries out the various maintenance planning to minimize the down time by scheduling and predicting maintenance tasks and cost contributing to efficient productivity (Brosset et al., 2019).

Industries have been in practice for years to utilize human efforts and capabilities to visually inspect quality of goods and products. As the industries move towards digitization and industrial revolution (Industry 4.0), the competitiveness is constantly increasing. There are several industrial application of artificial intelligence discussed in researches that employ machine learning, neural networks and fuzzy logic control to perform tasks depending the available data and decision to be made.

AI can be classified into three main categories namely process automation, cognitive insight, cognitive engagement (EU-lisa, 2020). The application of AI to improve efficiency and accuracy in a manufacturing company by integrating the data management system was discussed by elaborating the flow of data and processes along with the cost inquired in implementing the system (Long, 2020). The limitations and challenges experienced while planning a short term operative tasks in production and logistics is discussed while AI can be used by implying fuzzy logic and neural networks to eliminate these to increase efficiency (Lang, 2019). Environmental changes and evaluation can be done using an advanced artificial intelligence framework to continuously monitor and plan according to the environmental reactions (Liu, 2020). The use of machine learning and its application in the industry environment for planning and scheduling production in a manufacturing company has been discussed and elaborated (Fahle, 2020). Artificial Intelligence has been employed in the manufacturing industry to make material selection decisions based on the machining and designing needs with machine learning as the methodology adopted (D.Merayo,2019). The major advantages, industry environment, machine interactions, cyber security and data quality are discussed in detail to evaluate the circumstance while employing AI in an industrial environment. (Lee, 2018). Semiconductor fabrication line inspection enabled with AI to shift from static sampling to dynamic sampling to effectively evaluate quality and detect defects in the finished products is presented in the research. (Lee, 2002). A model where neural network based artificial intelligence system was employed to process data enabling automated production line with data flow representation and adopted methodology was explained in a research (Hagemann, 2019).

The visual inspection of brake discs using s calibrated and uncalibrated 3D vision camera along with a 2D vision system integrated by robotics and computer vision to check the quality of the manufactured brake discs have been elaborated and some functions results have been furnished to ease industry implementation. (Lerones, 2005). The combination of automation and AI has been a industrial revolution transforming lives and organization. The features of AI that helps to eliminate risks by identifying and aborting proposing a new method inspires organizational to involve AI in all aspects. As mentioned already AI has a huge scope depending on the input to provide various output ideas with the most ideal one. The cognitive ability of humans

to assimilate experience with age can be expected out of AI. By a survey, 30% of the labor in the world will be replaced by AI by 2030 (Brosset et al., 2019). AI enabled operations management in any sector evidently shows constant improvement and effective functioning. The implementation of AI in image based quality inspection in industry will greatly influence quality assurance in the manufacturing line.

Main Objectives

The main aim of this research is to incorporate AI based machine learning to industrial operation management task to improve efficiency and accuracy of the outcome. AI has been used in optical inspection of battery manufacturing in industries by employing decision tree approach as discussed and implemented by researchers. The use of deep neural networks based system and decision tree approach to determine the defects in a processed product using data sets from optical sensors to identify image and object.(Fahle, 2020). The research is aimed at employing machine learning model for an AI enabled system to perform quality inspection for finished products in an OEM manufacturing company. In this research, a machine learning model based quality inspection for an OEM company that manufactures brake discs for different cars is taken. The basic dimension of the brake discs the diameter and width is considered as the feature vector.

Methodology

The proposed model utilizes machine learning algorithm to identify quality defects in manufactured products in the OEM manufacturing company by using supervised learning. When a particular data set is defined as an output, the supervised machine learning model is adopted. The defined set of data in this application is the basic quality check dimensions – the length and width of the brake discs that are used for quality check inspection in the quality line. The supervised learning of a machine learning algorithm uses feature vectors which are otherwise known as the defined set of data or outputs expected. The feature vectors of this particular application of supervised learning would be the quality check dimensions of manufactured part – the length and width of the brake discs. This data set will be given to the program to be manipulated by artificial intelligence to decide on the outcome whether the product has passed the quality check inspection or not. Image scanning cameras are used capture the dimensions of the manufactured products in the manufacturing line. Each camera is designated to capture two attributes of the dimension to determine whether the obtained data belongs to the defined feature vector. The comparison of the captured dimension using the image scanning cameras and the defined feature vector takes place with the help of the artificial intelligence system and machine learning algorithm.

Depending on the outcome of the comparison of the data acquired by the cameras the quality check inspection passed parts are sorted using a robot which receives command from the AI regarding the status of the quality check. An UVC- compliant 3D Stereo camera based on MT9V024 stereo sensor from ON Semiconductor which supports WVGA((2*752)x480) at 60fps over USB 3.0 in uncompressed format can be employed to obtain the dimensional details of the product. The Stereo camera provides two synchronized sensor frame data interleaved side by side to the host machine over USB 3.0 interface. E-con Systems 3D Stereo camera is ideal for applications such as Depth Sensing, Disparity Map, Point Cloud, Machine vision, Drones, 3D video recording, Surgical robotics, etc. The part is sorted and packed only if it falls into the criteria. The items that fail to meet the expectations in dimension fail to pass the inspection and they are left in the manufacturing line conveyer which are collected as defect pieces which can later be analyzed regarding repair or scrap. The image captured is carefully and accurately compared to actual design parameters. The definition of feature vector and statistical classificational attributes plays a major role in defining the variables of segregation. The conceptual representation of the proposed model is shown in Fig. 1.

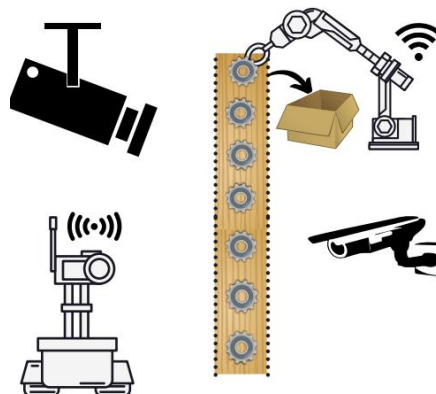
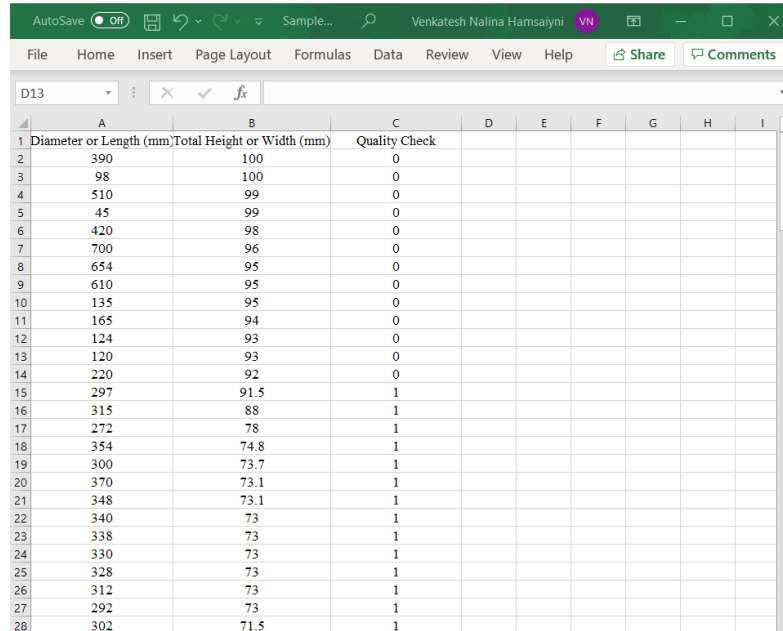


Fig. 1. Image based quality inspection

Integration Machine Learning Algorithm

The dimension data of different brake discs manufactured by Comline OEM Company, which stands as one of the leading auto spare parts manufacturer for European, Japanese and Korean Vehicles is taken as a reference to create the training data set model for the proposed quality check algorithm using machine learning. The length and breadth of the different brake discs manufactured by Comline is converted into a data sheet with length and breadth as the feature vector and the quality check being the outcome based on the feature vector.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Diameter or Length (mm)	Total Height or Width (mm)	Quality Check						
2	390	100	0						
3	98	100	0						
4	510	99	0						
5	45	99	0						
6	420	98	0						
7	700	96	0						
8	654	95	0						
9	610	95	0						
10	135	95	0						
11	165	94	0						
12	124	93	0						
13	120	93	0						
14	220	92	0						
15	297	91.5	1						
16	315	88	1						
17	272	78	1						
18	354	74.8	1						
19	300	73.7	1						
20	370	73.1	1						
21	348	73.1	1						
22	340	73	1						
23	338	73	1						
24	330	73	1						
25	328	73	1						
26	312	73	1						
27	292	73	1						
28	302	71.5	1						

Fig. 2. Data set for machine learning algorithm

The data is generated in an excel sheet as shown in Fig.2 containing the true data set or the actual dimensions of the different brake discs manufactured and false data set or random value set to define quality check factor as binary 1 or 0 that denotes pass or fail of the quality testing. The code is generated in such a manner that the training data set is separated as 80:20 where the 80% of the furnished data set on a randomized manner is taken as a training data set to assimilate the values given to understand the parameters. The remaining 20% of the data is taken in a random manner as a test data set to evaluate the outcome of the code to determine the accuracy. With the generated data, different classification models under the machine learning algorithm can be employed. For test purpose, the basic classification machine learning models : K Nearest Neighbor, Decision Tree, Support Vector Machine, Logistic Regression are tested to determine the accuracy of the outcomes to understand how employing a different algorithm can affect the accuracy.

K Nearest Neighbor

K Nearest Neighbor is a simple statistical method used for both classification and regression to determine the outcome of a case based on a set of predefined or available cases by measuring the similarity in data. This model is adopted to feed the generated data set of the brake discs. The algorithm to invoke this model is created and employed and tested to determine the accuracy of the algorithm as shown in Fig. 3.

KNN Algorithm Code:

```
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn import metrics
mean_acc=np.zeros(50)
std_acc = np.zeros(50)
for n in range(1,51):
knnmodel=KNeighborsClassifier(n_neighbors=n).fit(X_train,y_train)
y_pred=knnmodel.predict(X_test)
mean_acc[n-1]=metrics.accuracy_score(y_test,y_pred)
std_acc[n-1]=np.std(y_pred==y_test)/np.sqrt(y_pred.shape[0])
plt.plot(range(1,51),mean_acc,'g')
```

```
plt.fill_between(range(1,51),mean_acc - 1 * std_acc,mean_acc + 1 * std_acc, alpha=0.10)
plt.legend(('Accuracy ', '+/- 3xstd'))
plt.ylabel('Accuracy ')
plt.xlabel('Number of Nabors (K)')
plt.tight_layout()
plt.show()
```

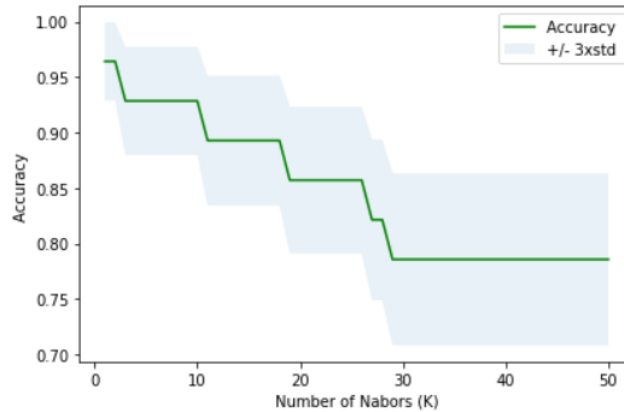


Fig. 3. KNN accuracy graph

```
print( "The best accuracy was with", mean_acc.max(), "with k=", mean_acc.argmax()+1)
The best accuracy was with 0.9642857142857143 with k= 1
```

Decision Tree

Decision Tree Learning is a statistical predictive modelling approach which comes under the supervised machine learning used for both classification and regression problems. A decision analysis can be explicitly represented visually the process and decision. The decision tree algorithm is employed to the same data set evaluate the efficient of this model.

Decision Tree Algorithm Code:

```
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier
dtmodel = DecisionTreeClassifier(criterion="entropy", max_depth = 4)
dtmodel.fit(X_train,y_train)
DecisionTreeClassifier(ccp_alpha=0.0, class_weight=None, criterion='entropy',
max_depth=4, max_features=None, max_leaf_nodes=None,
min_impurity_decrease=0.0, min_impurity_split=None,
min_samples_leaf=1, min_samples_split=2,
min_weight_fraction_leaf=0.0, presort='deprecated',
random_state=None, splitter='best')
y_pred=dtmodel.predict(X_test)
TreeAccuracy=metrics.accuracy_score(y_test,y_pred)
TreeAccuracy
0.9642857142857143
```

Support Vector Machine

The Support Vector model is a supervised machine learning model which is based on categorising the data into two as a binary decision to evaluate the data to fall in either one of the categories. This algorithm is adopted to test its output accuracy.

Support Vector Machine Alorgithm:

```
from sklearn import svm
svmmodel=svm.SVC(kernel='rbf')
svmmodel.fit(X_train,y_train)
SVC(C=1.0, break_ties=False, cache_size=200, class_weight=None, coef0=0.0,
decision_function_shape='ovr', degree=3, gamma='scale', kernel='rbf',
max_iter=-1, probability=False, random_state=None, shrinking=True,
```

```

tol=0.001, verbose=False)
y_pred=svmmodel.predict(X_test)
y_pred
array([[1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1,
       1, 1, 1, 1, 1, 1])
metrics.accuracy_score(y_test,y_pred)
0.9285714285714286

```

Logistic Regression

Logistic Regression is a statistical model used for making logical binary decisions which was later adopted by machine learning for data containing two category of values or data sets. As the proposed set of data contains two category of data set quality check pass or fail, this regression machine learning model is employed to determine the accuracy of this model.

Logistic Regression Algorithm:

```

from sklearn.linear_model import LogisticRegression
from sklearn.metrics import confusion_matrix
lrmodel=LogisticRegression(C=0.01,solver='liblinear').fit(X_train,y_train)
y_pred=lrmodel.predict(X_test)
print(y_pred)
print(lrmodel.predict_proba(X_test))
[1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1]
[[0.29000641 0.70999359]
 [0.15360505 0.84639495]
 [0.28500969 0.71499031]
 [0.26021519 0.73978481]
 [0.57607967 0.42392033]
 [0.17196848 0.82803152]
 [0.14303621 0.85696379]
 [0.12398346 0.87601654]
 [0.19375895 0.80624105]
 [0.25080548 0.74919452]
 [0.55956808 0.44043192]
 [0.26251926 0.73748074]
 [0.07926444 0.92073556]
 [0.49085782 0.50914218]
 [0.19768901 0.80231099]
 [0.08221487 0.91778513]
 [0.17219094 0.82780906]
 [0.11981323 0.88018677]
 [0.32411339 0.67588661]
 [0.19633409 0.80366591]
 [0.33219774 0.66780226]
 [0.19862468 0.80137532]
 [0.1927136 0.8072864 ]
 [0.27618017 0.72381983]
 [0.10037951 0.89962049]
 [0.17128989 0.82871011]
 [0.29582966 0.70417034]
 [0.19198959 0.80801041]]
metrics.accuracy_score(y_test,y_pred)
0.8571428571428571

```

Discussion

The data was used to determine the accuracy of the proposed model. The best accuracy was obtained from K Nearest Neighbor and Decision Tree algorithm. These two supervised machine learning models can be employed to accurate results. The obtained results are as follows in Table 1.

Table 1

Machine Learning Algorithm	Accuracy
K Nearest Neighbor	96.4%
Decision Tree	96.4%
Support Vector Machine	92.8%
Logistic Regression	85.7%

This seems as a promising model and machine adoption technique that can be employed in various industries for different applications of manufactured products to determine quality. The proposed model has a limited set of data for which the program was trained to deliver output. The training data set can be increased to improve the accuracy of the model. The test data set can be real time simulation to determine the real time outcome of the programmed model. By direct implication on real time, will deliver performance outcomes of the models which can help in improvising the data by monitoring and altering the algorithm. This method can be adopted for simple conditions having two variables. Combination of algorithms can be used for data set containing more variables to make the machine understand the algorithm to deliver better results.

The scope AI and machine learning algorithms can be employed to define more accurate dimension definitions to components that require more predefine attributes to check quality. The different algorithms can be combined to increase accuracy. Depending on the data set, the algorithm can be chosen to deal with complex parts such as steering wheel and wheel rims etc. Thus this is an effective way to implement AI in an OEM manufacturing company to perform quality check inspection.

Conclusion and Future Scope

This research focuses on a simple AI based machine learning application to perform quality inspection for manufactured products. For created AI based model using different Machine learning model and its accuracy was determined to evaluate the best supervised machine learning algorithm for the given data set to perform quality check inspection. More complex systems can be built and defined such as image detection and sorting, image scanning analysis which can be achieved by combining one or more machine learning algorithms depending on the data set of the application. The research can be improved to identify different parts manufactured in the same company by image detection and performing quality check using much detailed and complex algorithm to define more attributes of dimension for intricate manufactured parts. Adopting the appropriate model of machine learning by analysing the data set is a promising scope to completely digitize the quality inspection in manufacturing. The digitization of quality inspection will eliminate human errors and time spent on inspection that will save money and energy of employees in a manufacturing and inspection line of industries.

Literature

- [1] Pascal B, Sergey P, Jerome B, Anne-Laure T, Yashwardhan K, Abhisehek J, Amol K. 2019. Scaling AI in manufacturing operations: A practitioner's perspective. Capgemini Research Institute. Available from the Internet: <<https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2019/12/AI-in-manufacturing-operations.pdf>>.
- [2] EU- Lisa, 2020. Artificial intelligence in the operational management of large-scale IT systems. Perspectives for EU-LISA research and technology monitoring report.
- [3] Guang JL, Bai HL, Hong XC, Guang ZN. 2019. Developing an artificial intelligence (AI) management system to improve product quality and production efficiency in furniture manufacture. Procedia Computer Science (3rd International Conference on Mechatronics and Intelligent Robotics (ICMIR-2019) 166: 486-490.
- [4] Sebastian L, Michael S, Tobias R. 2019. Towards learning- and knowledge-based methods of artificial intelligence for short-term operative planning tasks in production and logistics. Research Idea and Framework. IFAC Papers Online 52(13): 2716-2721.
- [5] Wenwen L, Jingfeng Z, Longbo D, Harshila H P, Thanjai V. 2020. Intelligent comprehensive evaluation system using artificial intelligence for environmental evaluation. Environmental Impact Assessment Review 86: 106495.
- [6] Daudi M, Thoben K D. 2020. Self-organizing logistics networks for less-than-truckload. Procedia Manufacturing 52: 101-106.

- [7] Fahle S, Prinz C, Kuhlenkötter B. 2020. Systematic review on machine learning (ML) methods for manufacturing processes—identifying artificial intelligence (AI) methods for field application. *Procedia CIRP* 93: 413-418.
- [8] Merayo D, Rodriguez-Prieto A, Camacho AM. 2019. Comparative analysis of artificial intelligence techniques for material selection applied to manufacturing in Industry 4.0. *Procedia Manufacturing* 41: 42-49.
- [9] Lee J, Davari H, Singh J, Pandhare V. 2018. Industrial artificial intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters* 18: 20-23.
- [10] Lee JH. 2002. Artificial intelligence-based sampling planning system for dynamic manufacturing process. *Expert Systems With Applications* 22(2): 117-133.
- [11] Hagemann S, Sünnetcioglu A, Stark R. 2019. Hybrid artificial intelligence system for the design of highly-automated production systems. *Procedia manufacturing* 28: 160-166.
- [12] Oleśków-Szłapka J, Wojciechowski H, Domański R, Pawłowski G. 2019. Logistics 4.0 maturity levels assessed based on GDM (grey decision model) and artificial intelligence in logistics 4.0-trends and future perspective. *Procedia manufacturing* 39: 1734-1742.
- [13] Chaki J, Ganesh S T, Cidham S K, Theertan S A. 2021 (forthcoming). Machine learning and artificial intelligence-based diabetes mellitus detection and self-management. A systematic review. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.06.013>
- [14] Wang Q. 2019. Machine learning applications in operations management and digital marketing. PhD Thesis. Amsterdam Business School Research Institute, 174 p.
- [15] Lerones PM, Fernández JL, García-Bermejo JG, Casanova E Z. 2005. Total quality control for automotive industry raw foundry brake disks. *The international journal of advanced manufacturing technology*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 27: 359–371.

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Nalina Hamsaiyni Venkatesh.

Science degree and name: Master's in science, Student.

Workplace and position: Kaunas University of Technology, Department of Transport Engineering, Faculty of Mechanical Engineering and Design, Master's degree Student.

Author's research interests: Automotive Suspensions, Automobile Manufacturing, Automotive Quality Inspection, Vehicle Dynamics, Material Sciences and Technology, Nano Materials.

Telephone and e-mail address: +37064393289, nalina.venkatesh@ktu.edu

OBJEKTŲ JUDĖJIMO PATALPOSE KONTROLĖS SISTEMA

Jurij Tekutov^{1,2,3}, Dovydas Auryla¹, Julija Smirnova¹

¹Klaipėdos valstybinė kolegija, Technologijų fakultetas, Inžinerijos ir informatikos katedra

²Klaipėdos universitetas, Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas, Informatikos ir statistikos katedra

³Lietuvos verslo kolegija, Technologijų katedra

Anotacija

Komerciniuose ir visuomeninės paskirties pastatuose dažniausiai naudojami judančių objektų aptikimo ir stebėjimo technologijos yra PIR ir mikrobangų judesio davikliai bei vaizdo stebėjimo kameros. Šios technologijos negali automatiškai būdu identifikuoti užfiksuoto judančio objekto. Dėl šios priežasties nėra galimybės vykdyti iš anksto numatytą programos logiką, instrukcijų vykdymui naudojant apdorotus judančio objekto duomenis. Sukurta sistema geba patikrinti ar pasirinktas objektas yra pastate, nustatyti jo buvimo vietą, imituoti judėjimą patalpos plane, realiu ir būtuojų laiku bei nustatyti apriboto patekimo zonas patalpose ir suteikti prieigos lygį judantiems objektams.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Objektų judėjimas, kontrolės sistema, administravimas, pažeidimai, vietos nustatymas.

Įvadas

Aktualumas. Objektų judėjimo patalpose kontrolės sistema suteiktą galimybę automatiškai būdu identifikuoti sistemoje užregistruotus judančius objektus pastatuose, naudojant *BLE beacons* siųstuvus, registruoti jų judėjimo duomenis. Sistemos programinė įranga leisti patikrinti ar pasirinktas judantis objektas yra pastate ir nustatyti tikslią jo buvimo vietą. Būtų suteikiama galimybė stebėti objektų judėjimą realiu ir būtuojų laiku, imituojant judėjimą pastato plane. Sistema leisti nustatyti apriboto patekimo zonas ir suteikti prieigos lygius judantiems objektams, tokiu būdu registruojant įvykdytus vietos pažeidimus.

Problema. Komerciniuose ir visuomeninės paskirties pastatuose dažniausiai naudojami judančių objektų aptikimo ir stebėjimo technologijos yra PIR ir mikrobangų (angl. *Microwave*) judesio davikliai bei vaizdo stebėjimo kameros. Šios technologijos negali automatiškai būdu identifikuoti užfiksuoto judančio objekto. Dėl šios priežasties nėra galimybės vykdyti iš anksto numatytą programos logiką, instrukcijų vykdymui naudojant apdorotus judančio objekto duomenis.

Objektas. Objektų judėjimo patalpose kontrolės sistema.

Tyrimo tikslas – automatizuoti objektų judėjimo patalpose kontrolės procesą, sukuriant sistemos duomenų saugojimo, administravimo ir vietos pažeidimų tikrinimo algoritmus.

Siekiant įgyvendinti numatytą tikslą, keliami šie **tyrimo uždaviniai**:

1. Aptarti objektų judėjimo patalpose kontrolės sistemos, duomenų saugojimo, administravimo ir vietos pažeidimų sampratas.

2. Apžvelgti ir palyginti panašių objektų judėjimo patalpose kontrolės sistemų administracines žiniatinklio programas.

3. Suprojektuoti objektų judėjimo patalpose kontrolės sistemos duomenų saugojimą, administravimą ir vietos pažeidimų tikrinimo algoritmus.

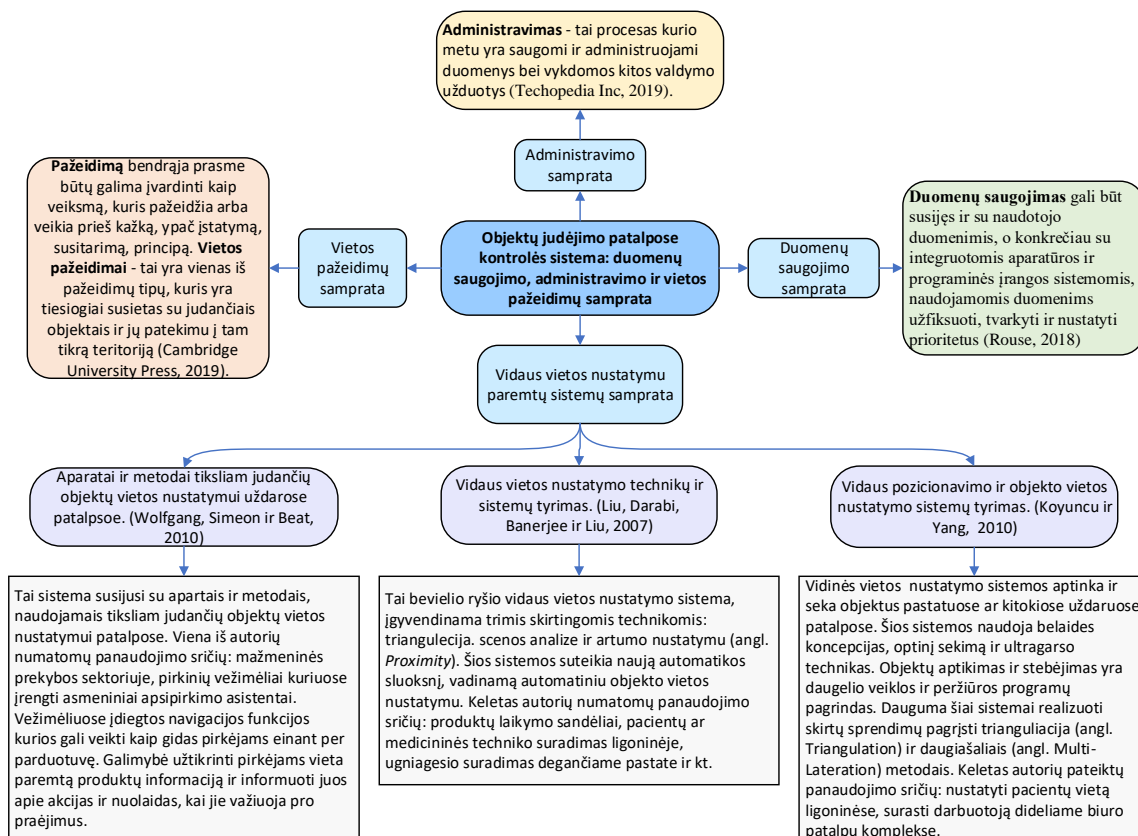
4. Realizuoti ir ištestuoti objektų judėjimo patalpose kontrolės sistemos duomenų saugojimą, administravimą ir vietos pažeidimų tikrinimo algoritmus.

Metodika: informacijos šaltinių analizė, informacijos sisteminimas, projektavimas, programavimas.

1. Objektų judėjimo patalpose kontrolės sistemos, duomenų saugojimo, administravimo ir vietos pažeidimų sampratos

Išnagrinėjus skirtingų literatūros šaltinių sampratas, pastebėta, kad visi autoriai akcentuoja tas pačias pagrindines sistemos suteikiančias funkcijas – judančių objektų suradimas ir judėjimo stebėjimas uždaruose patalpose. Tinkamai realizavus šias funkcijas autoriai numato šių sistemų panaudojimo galimybes įvairiuose srityse, tokiose kaip medicina, sandėliavimas, komercija, viešosios įstaigos ir kt. (Koyuncu, Yang, 2010; Liu, Darabi, Banerjee, Liu, 2007; Wolfgang, Simeon, Beat, 2010).

Siekiant apibendrinti išnagrinėtas sampratas buvo sukurtas minčių žemėlapis (angl. *Mind Map*). Minčių žemėlapiu buvo išreikšta ta pati informacija kaip ir nepertraukiamame tekste, tačiau panaudojus tik raktinius žodžius, taip grafiškai atskleidžiančius dėstomos informacijos esmę (Rustler, 2012). Konceptinis žemėlapis pateikiamas 1 paveiksle (*Mindjet MindManager ProTM* priemonės aplinkoje (Mindjet, 2019)).



1 pav. Dalykinės srities sampratų koncepcinis žemėlapis

Šaltinis: sudaryta autorių remiantis (Cambridge University Press, 2019; Koyuncu, Yang, 2010; Liu, Darabi, Banerjee, Liu, 2007; Rouse, 2018; Techopedia, 2019; Wolfgang, Simeon, Beat, 2010)

Apibendrinat visas išnagrinėtas sampratas (žr. 1 pav.) galima teigti, kad tyrimo metu kuriama objektų judėjimo patalpose kontrolės sistemos dalis yra paremta manipuliavimu duomenimis, jų saugojimu, administravimu bei objektų buvimo vietos nustatymu bei stebėjimu.

2. Panašių objektų judėjimo patalpose kontrolės sistemos administracinių žiniatinklio programų apžvalga ir palyginimas

Buvo apžvelgtos trejų sistemų (*Leantegra*, *Kontkat.io*, *Estimote*) administracinės žiniatinklio programos, kurios pagal turimą funkcionalumą panašiausios į objektų judėjimo patalpose kontrolės sistemos administracinę programą. Apžvelgus šias programas nustatyta, kad visos jos turi panašų funkcionalumą, tačiau jį pasiekia skirtingais programiniais sprendimais, kartais net technologijomis. Apžvelgus sistemas, taip pat pastebėta, kad visos jos galimybę naudoti savo programomis suteikia, tik įsigijus jų gaminamus BLE siūstuvus. Dėl šios priežasties apžvalga buvo daroma naudojantis informacija, kurią pavyko rasti sistemų dokumentacijose. Administracinių programų apžvalgos ir atitikimas kriterijams pateikiamas 1 lentelėje.

1 lentelė

Administracinių programų apžvalga

Kriterijus	Administracinės programos		
	<i>Leantegra CVO Portal</i>	<i>Kontakt.io Panel</i>	<i>Estimote SaaS</i>
Prisitaikanti grafinė naudotojo sąsaja	Yra	Yra	Yra
Interneto ryšys	Reikalingas	Reikalingas	Reikalingas
Objekto suradimo pastate galimybė	Yra	Randa artimiausią siūstuvą	Yra
Pranešimo nustatymo galimybė	Priartėjus prie siūstuvo	Priartėjus prie siūstuvo	–
Objekto judėjimo istorijos stebėjimas	–	–	Yra
Apriboto patekimo zonų nustatymo galimybė	–	–	–

Kriterijus	Administracinės programos		
	<i>Leantegra CVO Portal</i>	<i>Kontakt.io Panel</i>	<i>Estimate SaaS</i>
Objekto judėjimo pastate stebėjimas	Yra	–	Yra
Siūstuvų būsenos duomenys	Yra	Yra	Yra
Prieigos lygio nustatymas	–	–	–
Patalpos planas įkeliamas paveikslėlio formatu	Galimas įkėlimas paveikslėlio formatu.	Galimas įkėlimas paveikslėlio formatu.	Patalpos plano vaizdas sudaromas konfigūruojant siūstuvus

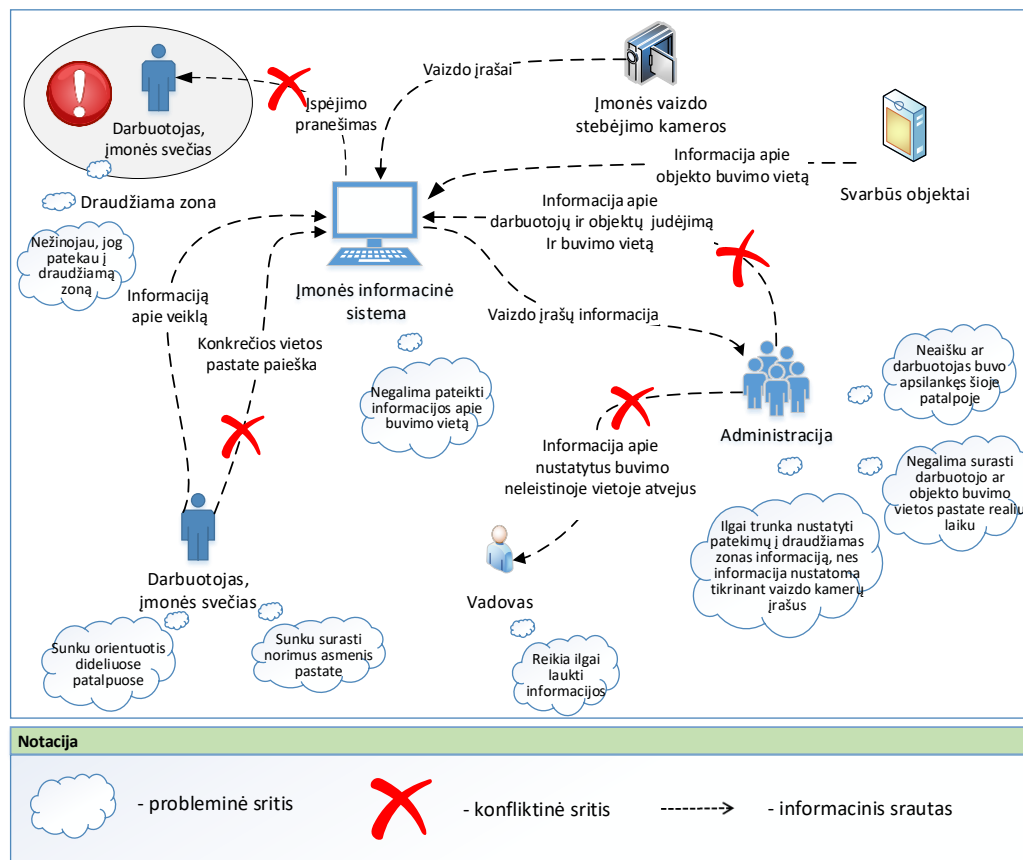
Šaltinis: sudaryta autorių remiantis (*Leantegra, 2019; Kontakt.io, 2019; Estimate, 2019*)

Atsižvelgiant į lentelėje pateiktus duomenis (žr. 1 lentelė) *Leantegra CVO Portal* programa labiausiai atitinka iškeltus kriterijus, ji tenkina 6 iš 10 kriterijų. Apibendrinant būtų galima teigti, kad programos turi panašias funkcijas ir skirtumai tarp atskirų sistemų siūlomų sprendimų yra minimalūs.

3. Objektų judėjimo patalpose kontrolės sistemos duomenų saugojimo, administravimo ir vietos pažeidimų tikrinimo algoritmų projektavimas

Dalykinė sritis. Objektų judėjimo patalpose kontrolės sistemos dalykinė sritis – tai sistema, kuri remdamasi įvairiomis technologijomis, tokiomis kaip radijo ryšio bangos, *Bluetooth Low Energy beacons* siūstuvai ir geometriniai skaičiavimai, gali nustatyti judančio objekto buvimo vietą pastate ir manipuluoti buvimo vietos duomenimis.

Probleminė sritis. Probleminės situacijos pavaizdavimui naudojamas raiškūsis (vaizdūsis) paveikslėlis (angl. *Rich Picture*). Šiuo laisvos formos paveikslėliu pavaizduoti dalykinės srities objektai, jų tarpusavio santykiai ir ryšiai, išryškėja konfliktinės sritys ir jas sukeltūys veiksniai (Vasilecas, 2008). Dalykinės srities raiškūsis paveikslėlis pateikiamas 3 paveiksle (*Microsoft Visio Pro™* priemonės aplinkoje (Microsoft, 2019)).



3 pav. Sistemos probleminės srities raiškūsis paveikslėlis

Šaltinis: sudaryta autorių

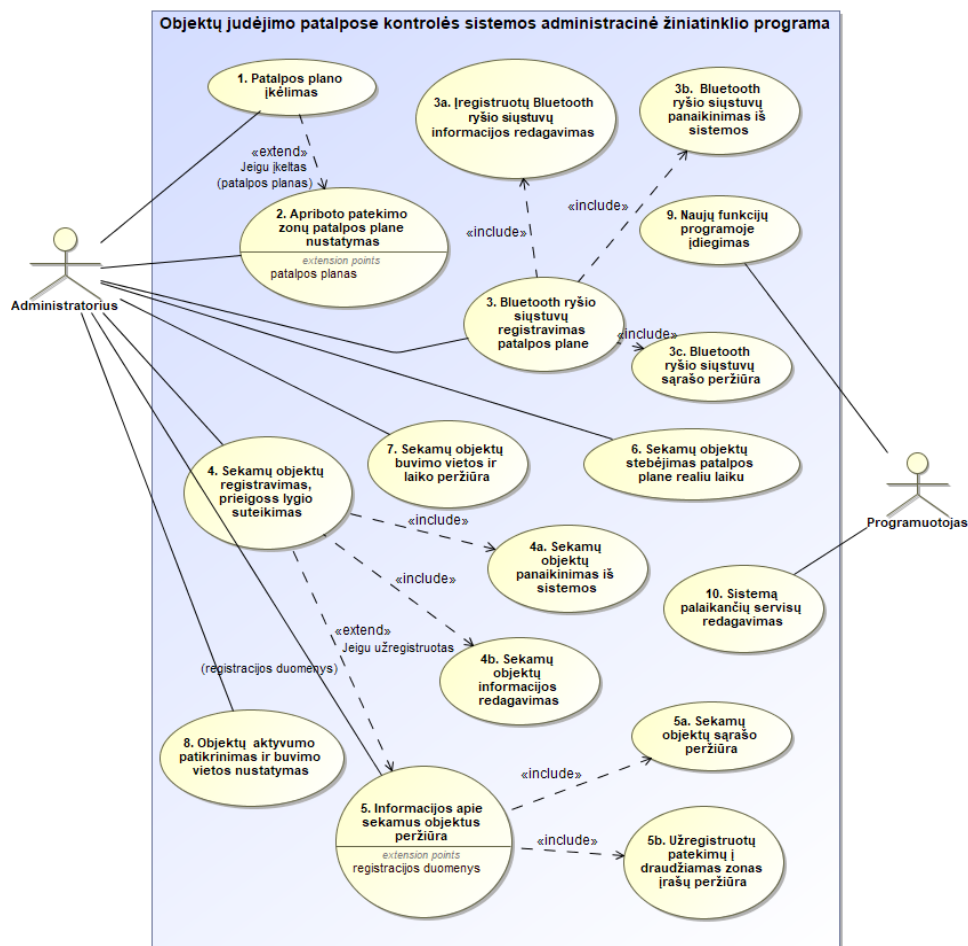
Pateiktame organizacijos, kurioje yra poreikis objektų judėjimo kontrolei, raiškiajame paveikslyje (žr. 3 pav.) matomos konfliktinės sritys, atsirandančios dėl objektų judėjimo patalpose kontrolės sistemos nebuvimo. Pirmoji konfliktinė sritis atsiranda kai asmeniui atsiranda poreikis surasti konkrečią vietą dideliame pastate, tačiau įmonės informacinė sistema neturi funkcijos galinčios padėti atlikti šį veiksma. Kita konfliktinė sritis atsiranda, kai pastate yra zonų, į kurias ribojamas patekimas. Kuriamos sistemos nebuvimas riboja galimybę perspėti žmogų patekus į draudžiamą zoną, taip pat užregistruoti įvykį sistemoje, kai judantis objektas patenka į tokią zoną. Konfliktinė sritis išvelgiama ir atsiradus poreikiui nustatyti objekto buvimo vietą realiu laiku arba peržiūrėti judančių objektų judėjimo istoriją.

Objektų judėjimo patalpose kontrolės sistema gali išspręsti anksčiau nurodytas problemas. Organizacijai įsidiepus sistemą, būtų suteikiama administracinė programa ir programa darbuotojams, suteikianti galimybę pasinaudoti lokalia navigacija, vietos pastate suradimui.

Reikalavimų specifikacija žiniatinklio ir serverio programoms. Siekiant tinkamai atlikti objektų judėjimo patalpose kontrolės sistemos duomenų saugojimo, administravimo ir vietos pažeidimų tikrinimo algoritmų projektavimą, reikia nustatyti sistemos ribas, tam atlikti reikia apibrėžti administracinės žiniatinklio programos panaudojimo atvejus ir jų pagrindu suformuluoti funkcinius ir nefunkcinius reikalavimus.

Panaudojimo atvejai (angl. *Use Cases*) yra reikalavimų nustatymo metodas. Panaudojimo atvejai buvo dokumentuojami panaudojus aukšto lygio panaudojimo atvejų diagramą (angl. *Use Case Diagram*). Tokiu būdu buvo atspindėtos visos galimos sąveikos, kurios bus aprašytos programų reikalavimuose (Sommerville, 2011). Projekte panaudojimo atvejų diagrama padėjo nustatyti programos procesus, iš kurių vėliau bus formuojama programa (Nemuraitė, 2008).

Objektų judėjimo patalpose kontrolės sistemos administracinės žiniatinklio programos panaudojimo atvejų diagrama pateikiama 4 paveiksle (*MagicDraw™ UML* priemonės aplinkoje (Nomagic, 2019)).



4 pav. Žiniatinklio programos panaudojimo atvejų diagrama
Šaltinis: sudaryta autorių

Administracinėje žiniatinklio programoje buvo nustatyti 17 panaudojimo atvejų (žr. 4 pav.). Panaudojimo atvejai nurodė kokias funkcijas programa turi suteikti jos administratoriui ir programuotojui.

Esminės funkcijos, atskleidžiančios sistemos funkcionalumą – PA2, PA5b, PA6, PA7, PA8. Atlikus išvardintus veiksmus programa leidžia naudotis kitomis programos suteikiamomis funkcijomis.

Siekiant nustatyti kokias funkcijas turi turėti kuriamos programos, kad būtų patenkinti užsakovo (naudotojo) poreikiai buvo sudaryti funkciniai reikalavimai (angl. *Functional Requirements*). Pavyzdžiui, trečio funkcinio reikalavimo užpildyta kortelė:

Reikalavimas #:	3	Reikalavimo tipas:	Funkcinis	Įvykis/panaudojimo atvejis #:	2
Aprašymas:	Programa turi leisti nustatyti draudžiamas zonas įkeltame patalpos plane.				
Pagrindimas:	Ši funkcija reikalinga tam, jog būtų galima nurodyti zonos prieigos lygį ir taip kontroliuoti ir stebėti judančių objektų patekimą į šią zoną..				
Šaltinis:	Administratorius.				
Tikimo kriterijus:	Administratoriaus nurodo kurios zonos yra uždraustos jas pažymėdamas, programa gauna šiuos duomenis.				
Užsakovo tenkinimas:	5	Užsakovo netenkinimas:	5		
Priklausomybės:	2	Konfliktai:	Nėra.		
Papildoma medžiaga:	Nėra.				
Istorija:	Užregistruotas 2020 m. rugsėjo 23 d.				

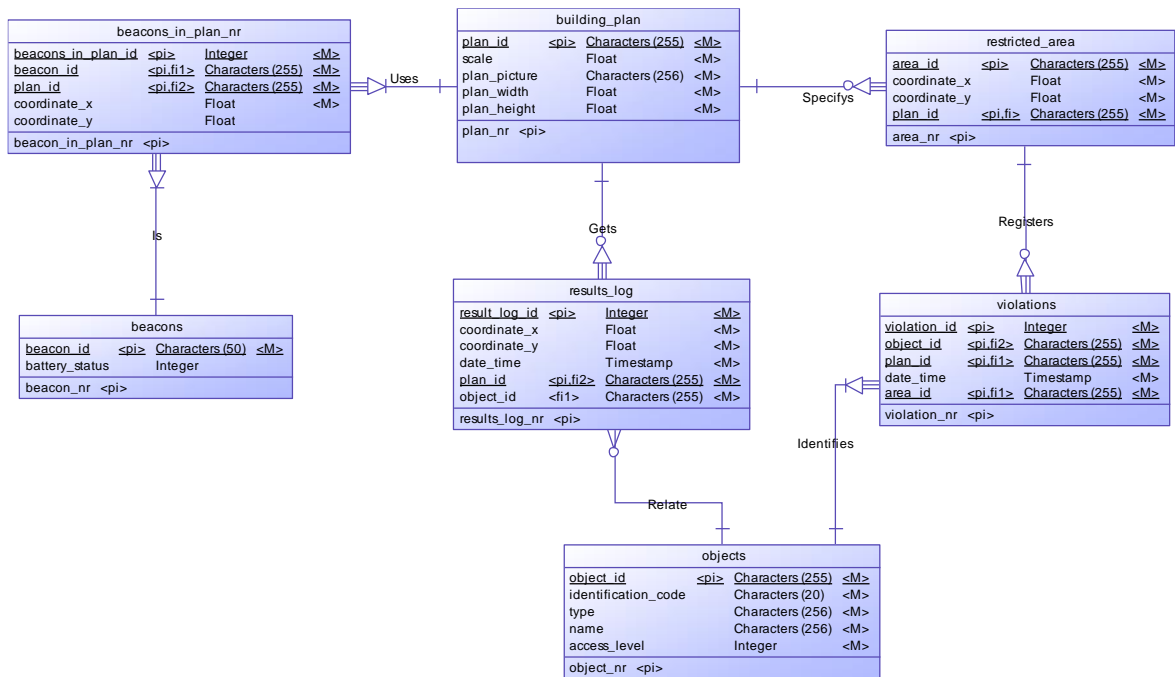
Ketvirto funkcinio reikalavimo (FR4) užpildyta kortelė:

Reikalavimas #:	4	Reikalavimo tipas:	Funkcinis	Įvykis/panaudojimo atvejis #:	2
Aprašymas:	Programa turi gebėti pažymėtą draudžiamą zoną paversti į koordinates ir išsaugoti duomenų bazėje, kartu su nurodytais zonos duomenimis - vardu ir prieigos lygiu..				
Pagrindimas:	Ši funkcija reikalinga tam, jog pažymėtą draudžiamą zoną būtų galima išsaugoti duomenų bazėje koordinatinių pavidalu ir vėliau naudoti šiuos duomenis atliekant skaičiavimus.				
Šaltinis:	Programa.				
Tikimo kriterijus:	Pažymėta draudžiama zona koordinatinių plokštumoje paverčiama koordinatėmis ir išsaugoma duomenų bazėje.				
Užsakovo tenkinimas:	5	Užsakovo netenkinimas:	5		
Priklausomybės:	3, 8	Konfliktai:	Nėra.		
Papildoma medžiaga:	Nėra.				
Istorija:	Užregistruotas 2020 m. rugsėjo 23 d.				

Išsamiai aprašius panaudojimo atvejį – draudžiamų zonų nustatymas (PA2), buvo nustatyta, kad siekiant sukurti funkcionalumą šiam panaudojimo atvejui reikia sukurti du funkcinis reikalavimus: FR3 – programa turi leisti nustatyti draudžiamas zonas patalpos plane; FR4 – programa turi gebėti pažymėtą draudžiamą zoną paversti koordinatėmis ir išsaugoti duomenų bazėje, kartu su nustatytos zonos identifikavimo duomenimis.

Loginis duomenų modeliavimo etapas susideda iš iteracinio požiūrio, skirto nustatyti subjektus, o po to nustatant tuos subjektus palaikančius atributus ir santykius. Konkrečiai, nustatyti atributai skatina subjektų ir santykių plėtrą ar modifikavimą. Siekiant detaliai apibūdinti duomenis sudarytas loginis duomenų modelis (angl. *Logical Data Model*). Šiame etape vyksta ir normalizacijos procesas. Šiuo modeliu duomenys apibūdinami tiek detaliai, kiek tai įmanoma, neatsižvelgiant į tai kaip jie bus fiziškai įgyvendinti duomenų bazėje (Tillmann, 2017).

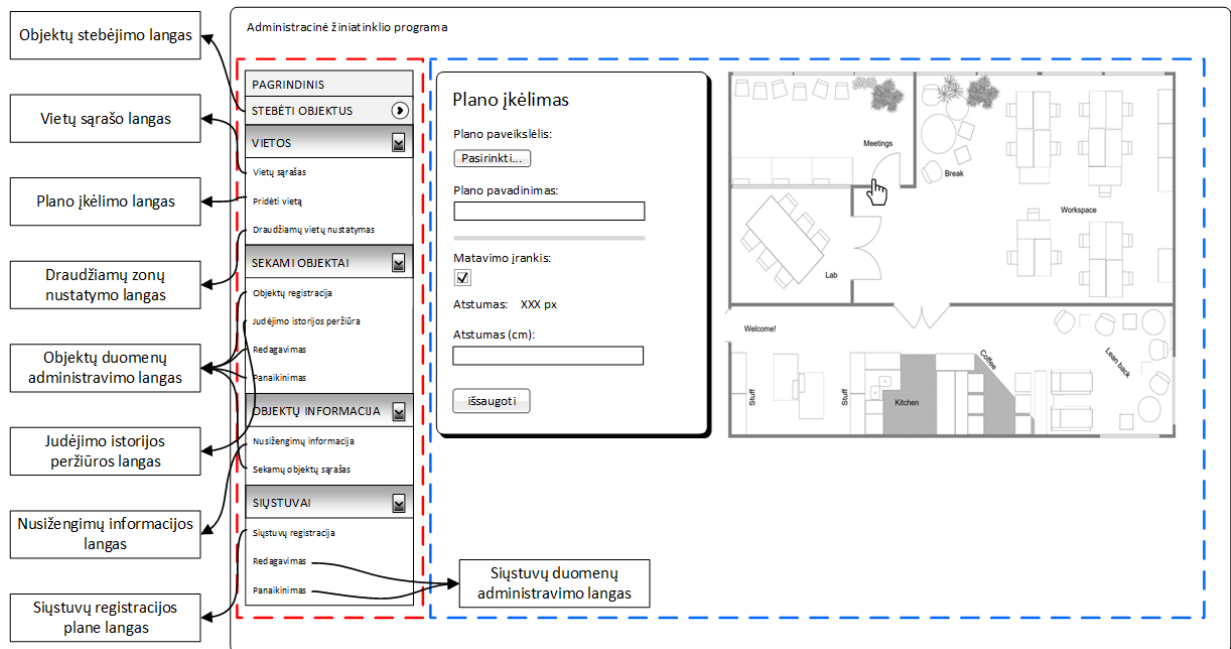
Objektų judėjimo patalpose kontrolės sistemos duomenų bazės loginis duomenų modelis pateikiama 5 paveiksle (*Sybase Power Designer* priemonės aplinkoje (Sybase, 2019)).



5 pav. Duomenų bazės loginis duomenų modelis
Šaltinis: sudaryta autorių

Pateiktame loginiame duomenų modelyje (žr. 5 pav.) atsiranda visos esybės, ryšiai tarp jų ir esybių atributai, taip pat galima išvelgti funkcines priklausomybes. Nurodyti esybių išoriniai raktai (angl. *Foreign keys*) ir pirminiai raktai (angl. *Primary Keys*). Atlikus dalykinės srities analizę bei numačius atributus, duomenų bazė skirstoma į lenteles, kiekvieni esybei.

Administracinės žiniatinklio programos vizija. Administracinės žiniatinklio programos grafines sąsaja kuriama atsižvelgiant į tikslinę naudotojų grupę. Sudarant architektūrinius grafines sąsajos sprendimus buvo atsižvelgiama į funkcinius ir nefunkcinius reikalavimus. Žiniatinklio programos, plano įkėlimo lango vizija pateikiama 6 paveiksle (*Microsoft Visio ProTM* priemonės aplinkoje (Microsoft, 2019)).



6 pav. Plano įkėlimo programos lango vizija
Šaltinis: sudaryta autorių

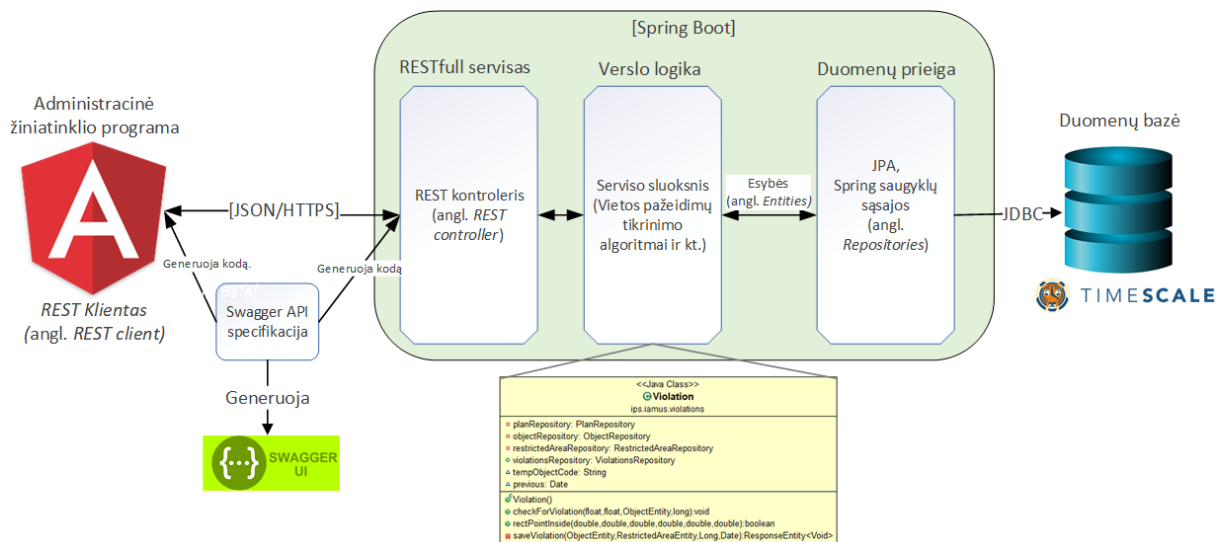
Dešinėje pusėje esanti programos dalis, tai dinaminis vaizdas, kuris keičiasi priklausomai nuo atliekamos funkcijos. Kairėje pusėje esantis vaizdas yra statinis, šis vaizdas išlieka visose programos languose. Kairėje pusėje esančios navigacijos elementai nurodo, kaip grafines naudotojo sąsajos sprendimai išpildo

suformuluotus reikalavimus. Vizijoje taip pat nurodytas navigacijos meniu elementų ryšys su programos langais. Navigacijos elementai, nurodantys kaip padaryti sistemos architektūriniai ir grafinės sąsajos sprendimai išpildo suformuluotus reikalavimus:

- «STEBĖTI OBJEKTUS» – elementas susietas su (FR14);
- «PRIDĖTI VIETA» – elementas susietas su (FR1);
- «DRAUDŽIAMŲ VIETŲ NUSTATYMAS» – elementas susietas su (FR3);
- «OBJEKTŲ REGISTRACIJA» – elementas susietas su (FR8);
- «JUDĖJIMO ISTORIJS PERŽIŪRA» – elementas susietas su (FR16);
- «VIETŲ SĄRAŠAS» – elementas susietas su (FR1);
- «SEKAMI OBJEKTAI panaikinimas, redagavimas» – elementai susietas su (FR9,10);
- «NUSIŽENGIMŲ ISTORIJA» – elementas susietas su (FR13);
- «SEKAMŲ OBJEKTŲ SĄRAŠAS» – elementas susietas su (FR11);
- «SIŪSTUVŲ REGISTRACIJA» – elementas susietas su (FR5);
- «SIŪSTUVAI» panaikinimas, redagavimas» – elementai susietas su (FR6, FR7).

4. Objektų judėjimo patalpose kontrolės sistemos duomenų saugojimo, administravimo ir vietos pažeidimų tikrinimo algoritmų realizacija ir testavimas

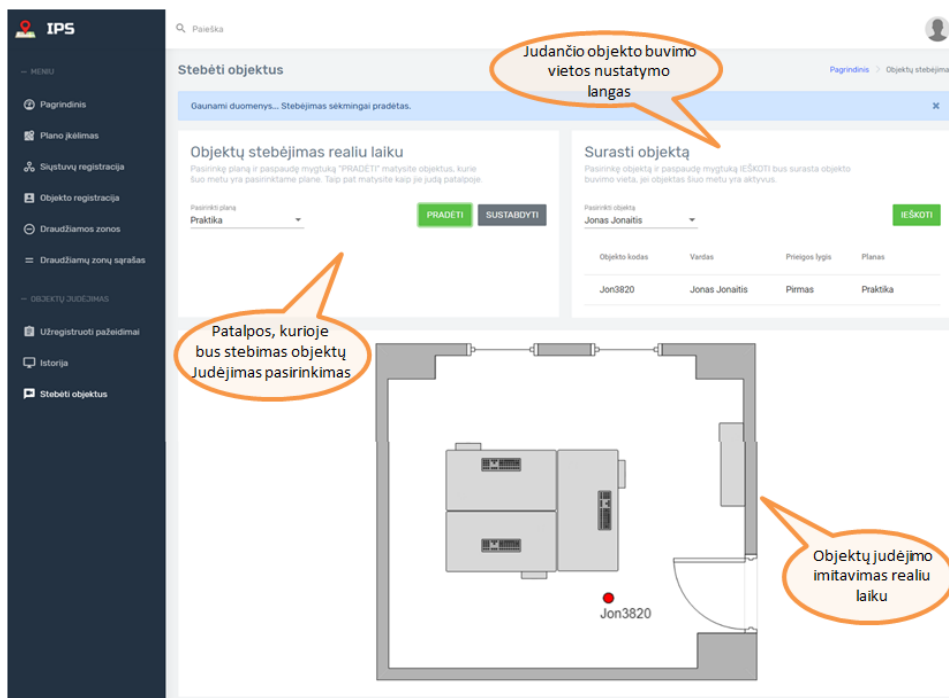
Realizacijos metu buvo sukurta *Swagger API* dokumentacija, *Spring Boot* serverio programa (Pivotal Software, 2019), laiko eilutės duomenų bazė – *TimescaleDB* (Timescale, 2019) ir administracinė *Angular 7* žiniatinklio programa (Angular, 2019). Realizuotų sistemos dalys ir ryšiai tarp jų pateikiami 7 paveiksle.



7 pav. Realizuotos sistemos dalys ir ryšiai tarp jų
Šaltinis: sudaryta autorių

Serverinės dalies realizacijai buvo kuriamas *API* komponentas, naudojant *Spring Boot* karkasą. Serverio komunikavimo logikai su kitomis sistemos paslaugų grupėmis buvo sukurtas RESTfull servisas, tinkamam jo realizavimui sukurta ir integruota *Swagger API* specifikacija. Modelių klasėms kurti buvo naudojamos *JPA* (angl. *Java Persistence API*) karkaso anotacijos, o užklausos į duomenų bazę vykdytos naudojant *Spring Data Repositories* sąsajas. Verslo logikos sluoksnyje sukurti vietos pažeidimų tikrinimo algoritmai, skirti tikrinti pasikeitusią objekto buvimo vietą, tikrinant nustatytos vietos duomenis su patalpoje nustatytų apriboto patekimo zonų duomenimis. Realizacijos metu buvo sukurta laiko eilutės (angl. *Time-Series*) tipo *TimescaleDb* duomenų bazė, skirta darbui su „gyvais“ duomenimis. Aprašytas *Docker* programinės įrangos naudojimo tikslas bei detalizuotas duomenų bazės struktūros sudarymas, naudojant *Java Persistence API* esybių klases (Docker, 2019).

Judančių objektų stebėjimo realiu laiku langas. Šiame programos lange administratorius gali patikrinti ar pasirinktas sekamas objektas šiuo metu yra pastate ir jei taip, kurioje patalpoje jis yra. Administratorius gali stebėti sekamo objekto judėjimą realiu laiku. Sekamo objekto vietos nustatymo ir judėjimo stebėjimo realiu laiku langas pateikiamas 8 paveiksle.

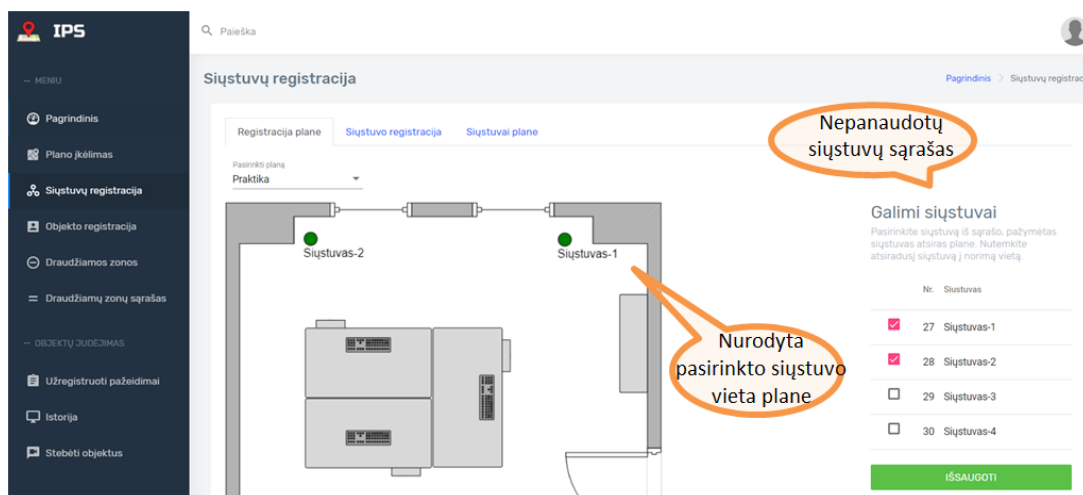


8 pav. Administracinės programos objekto suradimo ir stebėjimo realiu laiku langas
Šaltinis: sudaryta autorių

Administratoriui pasirinkus sekamą objektą iš išskleidžiamo sąrašo «Pasirinkti objektą» ir paspaudus «IEŠKOTI» (žr. 8 pav.) programa nustato ar objektas yra pastate, jei taip, pateiktoje lentelėje nurodoma surasto judančio objekto vieta. Administratoriui pasirinkus patalpos planą iš sąrašo «Pasirinkti planą» ir paspaudus mygtuką «PRADĖTI» apatinėje lango dalyje atvaizduojamas pasirinktas patalpos planas ir imituojamas visų tuo metu šiame plane esančių objektų judėjimas, atvaizduojant juos raudonais taškais su identifikavimo kodu.

Siųstuvų registracijos langas. Šį langą sudaro trys skyreliai (angl. *Tabs*) – Registracija plane, Siųstuvų registracija, Siųstuvai plane. Siųstuvų registracijos skyrelyje užregistruojami nauji *Bluetooth* ryšio siųstuvai, nurodant jų kodą. Siųstuvų plane skyrelyje galim peržiūrėti panaudotų siųstuvų vieta patalpose bei redaguoti arba pašalinti jų duomenis.

Siųstuvų registracijos lango skyrelio Siųstuvai plane vaizdas pateikiamas 9 paveiksle.

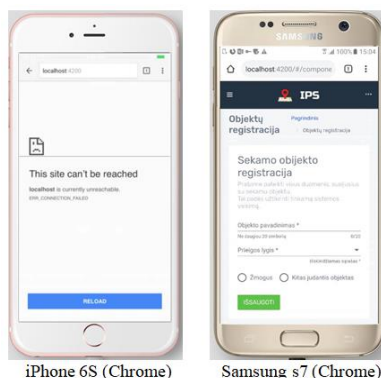


9 pav. Administracinės programos siųstuvų registracijos plane langas
Šaltinis: sudaryta autorių

Registracijos plane skyrelyje pasirinkus norimą patalpos planą «Pasirinkti planą», dešinėje lango pusėje sudaromas nepanaudotų siųstuvų sąrašas. Pažymėjus siųstuvą varnele, plane pelės žymekliu nurodoma reali fizinė šio siųstuvo vieta patalpoje.

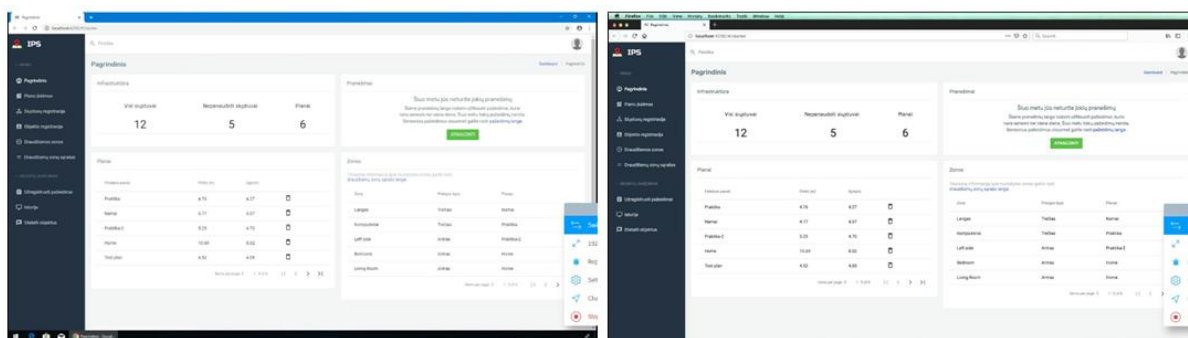
Grafinės naudotojo sąsajos testavimas. Žiniatinklio administracinės programos grafinės naudotojo sąsajos testavimui buvo pasirinkta *Browser Stack* testavimo priemonė, leidžianti testuoti žiniatinklio

programas naudojant įvairias platformas (angl. *Cross Platform*). Programos testavimas buvo atliekamas naršyklėse, įdiegtuose įrenginiuose su skirtingomis operacinėmis sistemomis. Grafinės sąsajos testavimo rezultatai mobiliuosiuose telefonuose pateikiami 10 paveiksle.



10 pav. Grafinės naudotojo sąsajos testavimo rezultatai Android ir iOS sistemose
Šaltinis: sudaryta autorių pagal BrowserStack

Samsung Galaxy S7 telefone, veikiančiame su *Android OP* žiniatinklio programos grafinės sąsajos elementai buvo atvaizduojami tinkamai. Naudojant *iPhone 6S*, veikianti su *iOS OP* žiniatinklio programa negalėjo prisijungti prie serverio, dėl šios priežasties žiniatinklio programa nepasileido. Žiniatinklio programos grafinės sąsajos testavimo rezultatai *Mac* ir *Windows* sistemose pateikiami 11 paveiksle.



11 pav. Grafinės naudotojo sąsajos testavimo rezultatai *Windows* ir *Mac* sistemose
Šaltinis: sudaryta autorių

Žiniatinklio programos grafinė sąsaja buvo atvaizduota vienodai tiek *Google Chrome* naršyklėje naudojant *Windows 10 OP*, tiek *Firefox* naršyklėje naudojant *Mac OP*.

Išvados

1. Aptarus dalykinės srities sampratą nustatyta, kad objektų judėjimo patalpose kontrolės sistema, sujungus prietaisus ir duomenis bei teisingai atliekant valdymo užduotis gali nustatyti ir stebėti besikeičiančią judančių objektų vietą uždaroje patalpose, taip siekiant užtikrinti objektų nepatekimą į zonas, kuriuose jie neturi leidimo būti.

2. Apžvelgus ir palyginus panašias administracines žiniatinklio programas nustatyta, kad *Leantegra CVO Portal* ir *Estimote SaaS* programų funkcijos remiasi judančių objektų vietos nustatymu patalpose, tačiau nei viena programa nesuteikia funkcijų judėjimo kontrolei. Konstatuota, kad vienintelė *Kontakt.io Panel* programa nėra orientuota į objektų judėjimo duomenis, ši programa skirta valdyti *BLE* siųstuvų infrastruktūrą ir rinkti statistinius duomenis. Pastebėta, kad nei viena programa nesuteikia galimybės nustatyti riboto patekimo zonas ir suteikti prieigos lygius judantiems objektams.

3. Nustačius dalykinę, probleminę sritį bei tikslinę naudotojų grupę nustatyta, kad objektų judėjimo patalpose duomenis prižiūrės bei kontrolę vykdys administratoriai, naudodami administracinę žiniatinklio programą. Sudarius reikalavimų specifikaciją nustatyta, kad pagrindinės funkcijos, kurias turi užtikrinti žiniatinklio ir serverio programos, tai surasti, kontroliuoti ir stebėti judančius objektus. Atsižvelgus į numatomą sistemos veikimą konstatuota, kad kuriamai sistemai tinkamiausia mikroservisų architektūra.

4. Atlikus objektų judėjimo patalpose kontrolės sistemos duomenų saugojimo, administravimo ir vietos pažeidimų tikrinimo algoritmų realizaciją nustatyta, kad sukurta sistema geba patikrinti, ar pasirinktas objektas yra pastate, nustatyti jo buvimo vietą, imituoti judėjimą patalpos plane, realiu ir būtuojų laiku bei nustatyti apriboto patekimo zonas patalpose ir suteikti prieigos lygį judantiems objektams. Konstatuota, kad sukurta *Spring* serveris, *Angular* žiniatinklio programa ir laiko eilutės tipo duomenų bazė atitinka mikroservisų architektūros principus.

Programos tobulinimo ir plėtojimo galimybės: įdiegti funkciją, kuri galėtų suformuoti ir išsiųsti pranešimą administratoriui į elektroninį paštą arba mobilųjį telefoną, įvykus vietos pažeidimui, taip pat leisti administratoriui sukurti ir išsiųsti pranešimą judantiems objektams, naudojantiems sistemos mobiliąją programą.

Šis straipsnis prisideda prie Klaipėdos valstybinėje kolegijoje vykdomo taikomojo mokslinio tyrimo „Veiklos valdymo modelių taikymas žiniomis grindžiamoje informacinių sistemų inžinerijoje“ (veiklos sritis: darnios aplinkos vystymas; kryptis: inovatyvios technologijos; tematika (šaka): išmaniosios komunikacijų technologijos, TMV IF-027).

Literatūra

1. Angular, 2019. *One framework: Mobile & desktop* [interaktyvus], [žiūrėta 2020 m. spalio 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://angular.io/>.
2. Cambridge University Press, 2019 [interaktyvus], [žiūrėta 2020 m. rugsėjo 12 d.]. *Meaning of violation in English*. Prieiga per internetą: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/violation>.
3. Docker Inc., 2019. *Enterprise Container Platform for High-Velocity Innovation* [interaktyvus], [žiūrėta 2020 m. spalio 11 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.docker.com/>.
4. Estimote Inc., 2019 [interaktyvus], [žiūrėta 2020 m. rugsėjo 16 d.]. *Try our Software Platform*. Prieiga per internetą: <https://estimote.com/products/#EnterpriseSoftware>.
5. Koyuncu, H., Yang, S. H., 2010. A Survey of Indoor Positioning and Object Locating Systems. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 10(5), 121-128.
6. Kontakt.io., 2019 [interaktyvus], [žiūrėta 2020 m. rugsėjo 15 d.]. *Simplifying Enterprise Interet of Things*. Prieiga per internetą: <https://kontakt.io/>.
7. Leantegra Inc., 2019 [interaktyvus], [žiūrėta 2020 m. rugsėjo 15 d.]. *CVO Portal Web Interface Modules*. Prieiga per internetą: <https://leantegra.com/cvo-platform-web-interface>.
8. Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., Liu, J., 2007. Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems. *Ieee Transactions On Systems, Man, And Cybernetics*, 37(6), 1067.
9. Microsoft, 2019. *Flowchart-software: Visio* [interaktyvus], [žiūrėta 2020 m. rugsėjo 18 d.]. Prieiga per internetą: <https://products.office.com/lt-lt/visio/flowchart-software>.
10. Mindjet, 2019. *MindManager* [interaktyvus], [žiūrėta 2020 m. rugsėjo 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.mindjet.com/mindmanager/>.
11. Nemuraitė, L., 2008. *Informacinių sistemų programinės įrangos projektavimas*. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla.
12. Nomagic, 2019. *MagicDraw* [interaktyvus], [žiūrėta 2020 m. rugsėjo 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.nomagic.com/products/magicdraw>.
13. Pivotal Software, 2019. *Spring Boot* [interaktyvus], [žiūrėta 2020 m. spalio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://spring.io/projects/spring-boot>.
14. Rouse, M., 2018. Data storage. *Storage management and analytics* [interaktyvus], [žiūrėta 2020 m. rugsėjo 14 d.]. Prieiga per internetą: <https://searchstorage.techtarget.com/definition/storage>.
15. Rustler, F., 2012. *Mind Mapping For Dummies*. Chichester: John Wiley&Sons.
16. Sybase, 2019. *Sybase Power Designer* [interaktyvus], [žiūrėta 2020 m. rugsėjo 25 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.sap.com/products/powerdesigner-data-modeling-tools.html>.
17. Sommerville, I., 2011. *Software Engineering: Ninth Edition*. New York: Pearson.
18. Techopedia Inc., 2019. *Storage* [interaktyvus], [žiūrėta 2020 m. rugsėjo 11 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.techopedia.com/definition/1115/storage>.
19. Timescale, 2019. *TimescaleDB Documentation* [interaktyvus], [žiūrėta 2020 m. spalio 8 d.]. Prieiga per internetą: <https://docs.timescale.com/v1.3/main>.
20. Tillmann, G., 2017. *Usage-Driven Database Design: From Logical Data Modeling through Physical Schema Definition*. New Jersey: Apress.
21. Vasilecas, O., Saulis, A., 2008. *Informacinių sistemų kūrimo metodai ir technikos*. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla.
22. Wolfgang, H. S., Simeon, F., Beat, W., 2010. *Apparatus and method for measuring the accurate position of moving objects in an indoor environment*. Armonk: International Business Machines Corporation.

OBJECTS MOVEMENT CONTROL SYSTEM FOR INDOOR ENVIRONMENT

Summary

In commercial and public buildings, the most commonly used technologies for detection and tracking of moving objects are used PIR and microwave motion sensors and security cameras. These technologies cannot automatically identify the captured moving object. For this reason, it is not possible to execute predetermined program logic for executing instructions using processed moving object data. After algorithms for data storage, administration and location violation checking of the objects movement control system for indoor environment realization found, that the system is able to check if the selected object is in the building, determine its location and simulate movement in a building plan. The system also allows you to view the history of object movement, to set restricted access areas indoors and provide access levels for moving objects.

Key words: objects movement, control system, administration, violations, locating.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Jurij Tekutov.

Mokslų laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.

Darbo vietą ir poziciją: Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto, Inžinerijos ir informatikos katedros docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: žiniomis grindžiami studijų proceso valdymo modeliai.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 618 54681, j.tekutov@kvk.lt.

Autoriaus vardas, pavardė: Dovydas Auryla.

Mokslų laipsnis ir vardas: –.

Darbo vietą ir poziciją: Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto, Inžinerijos ir informatikos katedros studentė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: sistemų projektavimas, programavimas, kompiuterizuotos aplinkos.

Autoriaus vardas, pavardė: Julija Smirnova.

Mokslų laipsnis ir vardas: lektorė.

Darbo vietą ir poziciją: Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto, Inžinerijos ir informatikos katedros lektorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: informacinės technologijos, taikomųjų tyrimų metodologija.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 618 54683, j.smirnova@kvk.lt.

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Jurij Tekutov.

Science degree and name: doctor, associated professor.

Workplace and position: Klaipėda State University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Engineering and Informatics Department associated professor.

Author's research interests: study process control knowledge based models.

Telephone and e-mail address: 8 618 54681, j.tekutov@kvk.lt.

Author name, surname: Dovydas Auryla.

Science degree and name: –.

Workplace and position: Klaipėda State University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Engineering and Informatics Department student.

Author's research interests: systems design, programming, computerized environments.

Author name, surname: Julija Smirnova.

Science degree and name: lecturer.

Workplace and position: Klaipėda State University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Engineering and Informatics Department lecturer.

Author's research interests: information technology, applied research methodology.

Telephone and e-mail address: 8 618 54683, j.smirnova@kvk.lt.

EULERIO FUNKCIJOS REIKŠMĖS PAIEŠKOS ALGORITMAI

Petras, Nefas, Rūta, Jankūnienė

Kauno technikos kolegija

Anotacija

RSA šifravimo algoritmo kriptografinis atsparumas grindžiamas tuo, kad neįmanoma per priimtina laiką išskaidyti didelį sudėtinį skaičių į pirminius dedamuosius. Straipsnyje nagrinėjama galimybė išskaidyti sudėtinį skaičių į pirminius dauginamuosius, nustatčius Eulerio funkcijos reikšmę $\varphi(n)$, o tai gali būti vertinama kaip galima RSA algoritmo saugumo spraga. Atlikta literatūros analizė šia tema, išanalizuota sąsaja tarp RSA algoritmo kriptografinio atsparumo ir Eulerio funkcijos reikšmės bei parodytas darbo aktualumas. Sukurtas Eulerio funkcijos reikšmės paieškos matematinis modelis. Nustatyta - jei skaičius n yra dviejų pirminių skaičių sandauga, kurių vienas yra daugiau kaip dvigubai didesnis už kitą, viršutinė Eulerio funkcijos reikšmės riba yra $\hat{\varphi}(n) = n - \frac{3\sqrt{8n}}{4} + 1$. Remiantis pateiktu matematiniu modeliu sukurti du Eulerio funkcijos reikšmės paieškos algoritmai. Pirmasis remiasi natūrinio skaičiaus kvadratinės šaknies paieška, antrasis pagrįstas nuoseklaus priartėjimo metodu. Abu metodai realizuoti Java kalba. Modeliavimas parodė, kad antrasis metodas yra efektyvesnis Eulerio funkcijos vertės nustatymo trukmės prasme. Nustatyta, kad Eulerio funkcijos reikšmės paieškos trukmė tiesiškai priklauso nuo faktorizuojamojo skaičiaus ilgio bitais ir eksponentiškai nuo atstumo tarp pirminių dauginamųjų.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Faktorizacija, Eulerio funkcijos reikšmė, RSA, algoritmas, kriptografija.

Įvadas

Viena iš skaičių teorijos problemų yra sudėtinių skaičių skaidymas (faktorizavimas) į pirminius dauginamuosius. Šis procesas yra susietas su taip vadinama Eulerio funkcijos reikšme $\varphi(n)$, kuri rodo kiek yra sveikųjų teigiamų skaičių, tarpusavyje pirminių su n ir ne didesnių už n . Egzistuoja griežtas determinizmas tarp sudėtinio skaičiaus pirminių dedamųjų ir šio skaičiaus Eulerio funkcijos reikšmės, t. y. žinodami pirminius dauginamuosius, galime nustatyti Eulerio funkcijos reikšmę ir atvirkščiai. RSA šifravimo algoritmo kriptografinis atsparumas grindžiamas tuo, kad neįmanoma per priimtina laiką išskaidyti didelį skaičių į pirminius dedamuosius, t. y. pagrįstai skaitoma, kad, jei būtų rastas efektyvus algoritmas, galintis išskaidyti didelį sudėtinį skaičių į pirminius ir (ar) leidžiantis apskaičiuoti šio skaičiaus Eulerio funkcijos reikšmę, tuo būtų sukompromituotas RSA algoritmas.

Nuo pat RSA algoritmo publikavimo 1978 metais pradžios, paskelbta nemažai tyrimų šia tematika (Lenstra, 1993: 140; Liangshun Wu, H. J. Cai, Zexi Gong, 2019: 167250-167259; Pomykala, Radziejewski. 2020: 346-358). Šios publikacijos lėmė tai, kad saugus raktų ilgis, kurį rekomenduojama naudoti, nuolat didėja, ir jei iš pradžių jis buvo 256 bitai, tai šiuo metu minimalus naudotinas raktų ilgis yra 1024, rekomenduojamas 2048 bitai, o 2025 metais prognozuojamas rekomenduojamas ilgis jau siektų 4096 bitus.

Pirminių skaičių parinkimas bendrąja prasme nėra reglamentuotas RSA algoritme ir paliekamas RSA vartotojų nuožiūrai. Kaip pavyzdys galėtų būti K. Kloster (Kloster, 2010: 1-25) straipsnyje pristatomas Eulerio funkcijos reikšmės paieškos algoritmas, kuriame santykis tarp pirminių dauginamųjų yra artimas vienetui (jie yra arti vienas kito). Tokiu atveju RSA kriptografinis algoritmas yra nepakankamas saugiam duomenų perdavimui. Šis faktas žinomas, ir RSA vartotojai vengia naudoti tokius pirminius skaičius. Dauguma publikacijų [5-7] vis tik nagrinėja bendrąjį atvejį, t. y. skaitoma, kad generuojant didelį sudėtinį skaičių, pirminiai dauginamieji parenkami nepriklausomai vienas nuo kito ir yra atsitiktiniai. Yra žinoma eilė publikacijų, kuriuose nagrinėjami specialūs pirminių skaičių parinkimo atvejai. Tai Pollardo-Rho metodas (Hegde, Deepthi, 2015: 14-17) bei Elipsinių kreivių metodas (Crandall, Pomerance, 2001: 191–226), kurių efektyvumas tuo didesnis, kuo santykis tarp pirminių dedamųjų didesnis.

Galima konstatuoti, jog nėra darbų, kur būtų nagrinėjama galimybė faktorizuoti sudėtinį skaičių, jei santykis tarp p ir q yra didesnis už vienetą. Kartais RSA vartotojui yra technologiškai patogiu vieną pirminį skaičių pasirinkti iš kito. Tarkime, apskaičiuojant modulio n reikšmę, sugeneruojamas atsitiktinis didelis skaičius p , tada skaičiui q priskiriamas sekantis pirminis skaičius, esantis skaičių tiesėje, ir jie sudauginami. Todėl svarbu iširti, ar tokia modulio n parinkimo schema, kai santykis tarp p ir q yra artimas dvejetui ar didesnis, yra saugi. Autoriai mano, kad tai leistų įvertinti galimas RSA algoritmo spragas.

Sąsaja tarp RSA kriptografinio algoritmo kriptografinio atsparumo ir Eulerio funkcijos reikšmės nagrinėjama sekančiame skyriuje.

Eulerio funkcijos reikšmė bei sąsaja tarp jos ir RSA atsparumo

Tikslinga išanalizuoti Eulerio funkcijos reikšmės matematinį pagrindimą bei sąsajas su RSA algoritmu, tam, kad turėtume instrumentus sudaryti Eulerio funkcijos reikšmės paieškos algoritmo matematinį modelį.

Kaip buvo pažymėta aukščiau, Eulerio funkcijos reikšmė $\varphi(n)$ parodo, kiek yra skaičių, nedidesnių nei n ir tarpusavyje pirminių su n (neturi bendrų daugiklių). Bendruoju atveju šią reikšmę rasti sunku, bet yra keli specialieji atvejai. Akivaizdu, kad pirminiam skaičiui n Eulerio funkcijos reikšmė lygi:

$$\varphi(n) = n - 1.$$

Eulerio funkcijos reikšmė pasižymi multiplikatyvumu, t.y. dviejų pirminių skaičių sandaugos Eulerio funkcijos reikšmė yra lygi šių reikšmių sandaugai (Šarka, Šiurys, 2018: 48). Tegul p ir q yra pirminiai. Tuomet

$$\varphi(pq) = \varphi(p)\varphi(q) = (p - 1)(q - 1).$$

Taigi, žinant pirminius dauginamuosius, nesudėtinga apskaičiuoti Eulerio funkcijos reikšmę. Savo ruožtu, dauginamuosius p ir q apskaičiuoti galima išsprendus kvadratinę lygtį:

$$p, q = \frac{(n + 1 - \varphi(n)) \pm \sqrt{(n + 1 + \varphi(n))^2 - 4n}}{2}.$$

Irodymas

Eulerio teorema (Šarka, Šiurys, 2018: 48) nustato svarbią Eulerio funkcijos reikšmės savybę. Tegul n yra natūralus skaičius, o a yra sveikas skaičius ir tarpusavyje pirminis su n . Tuomet $a^\varphi \equiv 1 \pmod n$.

Eulerio teorema ir Eulerio funkcijos reikšmė yra tiesiai susijusios su RSA kriptografija (Skersys, 2011: 156). Tegul m yra natūrinis skaičius ir tarpusavyje pirminis su $\varphi(n)$, o n yra dviejų pirminių skaičių p ir q sandauga. Tada $m^{\varphi(n)} \pmod n = 1$. Pakeliame abi puses k -tuoju laipsniu: $(m^{\varphi(n)})^k \pmod n = 1^k$, $m^{k \cdot \varphi(n)} \pmod n = 1$.

Padauginus abi puses iš m : $m^{k \cdot \varphi(n) + 1} \pmod n = m$.

Vadinasi, jei m pakelsime laipsniu $k \cdot \varphi(n) + 1$, gausime tą patį skaičių moduli n . Ši labai svarbi savybė leidžia šifruoti ir dešifruoti pranešimą.

Kaip tai atliekama? Pasirinkime du skaičius d ir e taip, kad $d \cdot e = k \cdot \varphi(n) + 1$. Skaičiai d ir e turi atitikti sąlygą: $e \cdot d \equiv 1 \pmod{\varphi(n)}$. Skaičius e , kuris turi būti tarpusavyje pirminis su $\varphi(n)$, parenkamas laisvai, o d paskaičiuojamas išplėstiniu Euklido algoritmu. Skaičius e vadinamas viešąja eksponente ir jis kartu su n publikuojamas viešai, o skaičius d kartu su n yra slaptas raktas ir jį turi tik tas vartotojas, kuris iniciavo šifravimo procesą. Tokiu būdu: $m^{d \cdot e} \pmod n = (m^e \pmod n)^d \pmod n$. Tuomet $m^e \pmod n = c$ aprašo šifravimo procedūrą, o $c^d \pmod n = m$ - dešifravimo procedūrą.

Tad, jei norėtume iššifruoti pranešimą neturint slapto rakto, reiktų surasti $\varphi(n)$, t.y. skaičių n reiktų išskaidyti į pirminius dauginamuosius, o tai yra sunkus uždavinys, ypač, kai n yra didelis. Tuo grindžiamas RSA algoritmo kriptografinis atsparumas.

Eulerio funkcijos reikšmės paieškos matematinis modelis

Autoriai siūlo Eulerio funkcijos reikšmės paieškai naudoti du skirtingus paieškos algoritmus. Pirmasis jų remiasi natūrinio skaičiaus kvadratinės šaknies paieška, antrasis pagrįstas nuoseklaus priartėjimo metodu.

Pirmasis Eulerio skaičiaus $\varphi(n)$ paieškos algoritmas

Tegul $n = p \cdot q$, kur p ir q pirminis, o $q = 2p + x$, čia $x \in \mathbb{N}$ ir $x \ll n$. Tuomet skaičiaus n Eulerio skaičius $\varphi(n)$ lygus

$$\varphi(n) = n - \frac{x + 3\sqrt{x^2 + 8n}}{4} + 1.$$

Irodymas

Pagal sąlygą yra žinoma $q = 2p + x$ ir $p = \frac{q-x}{2}$. Tuomet

$$n = p(2p + x) = 2p^2 + px.$$

Sprendžiame kvadratinę lygtį $2p^2 + px - n = 0$. $p_{1,2} = \frac{-x \pm \sqrt{x^2 + 8n}}{4}$. Kadangi $p > 0$, tai

$$p = \frac{-x + \sqrt{x^2 + 8n}}{4}. \quad (1)$$

Atitinkamai, atlikime veiksmus su q .

$$n = q \cdot p = \frac{q(q-x)}{2} = \frac{q^2 - qx}{2},$$

$$q^2 - qx = 2n,$$

$$q^2 - qx - 2n = 0,$$

$$q_{1,2} = \frac{x \pm \sqrt{x^2 + 8n}}{2}.$$

Kadangi $q > 0$, tai:

$$q = \frac{x + \sqrt{x^2 + 8n}}{2} \quad (2)$$

Iš Eulerio funkcijos multiplikatyvumo dėsnio žinoma:

$$\varphi(n) = \varphi(p) \cdot \varphi(q) = (p-1)(q-1) = pq - p - q + 1 = n - p - q + 1$$

Išstatę (1) ir (2) gauname

$$\varphi(n) = n - \frac{-x + \sqrt{x^2 + 8n}}{4} - \frac{x + \sqrt{x^2 + 8n}}{2} + 1 = n - \frac{x + 3\sqrt{x^2 + 8n}}{4} + 1. \quad (3)$$

Esant tam tikrai x reikšmei, $x^2 + 8n$ išraiška yra natūrinio skaičiaus a kvadratas. Galima užrašyti

$$x^2 + 8n = a^2, \text{ tada}$$

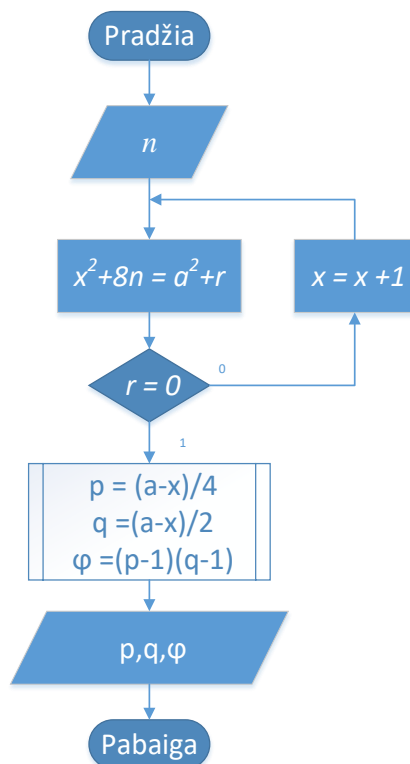
$$n = 1/8(a^2 - x^2) = 1/4(a-x)1/2(a+x).$$

Išstatę p ir q reikšmes iš išraiškų (1) ir (2), gauname:

$$p = 1/4(a-x), q = 1/2(a-x).$$

Žinodami p ir q , suskaičiuojame Eulerio skaičių $\varphi(n)$. Taigi, išskaidyti skaičių n galime radę tokį x , kuriam $\sqrt{x^2 + 8n}$ yra sveikas skaičius.

Aukščiau išvardintais argumentais yra grįstas autorių sukurtas pirmasis Eulerio skaičiaus paieškos algoritmas (1 pav.). Paieškos kriterijus yra tokia x reikšmė, kuriai esant $x^2 + 8n$ kvadratinės šaknies liekana lygi nuliui. Kadangi q ir p yra pirminiai ir nelyginiai, ir jie su x susieti išraiška $q = 2p + x$, tai x negali būti lyginis. Vadinas, paieškos iteracijų skaičius yra lygus $(2p + x)/2$.



1 pav. Pirmojo paieškos algoritmo blokinė schema

Šaltinis: sudaryta autorių

Antrasis Eulerio funkcijos reikšmės $\varphi(n)$ paieškos algoritmas

Kai $x = 0$, išraiška (3) yra viršutinis Eulerio funkcijos reikšmės įvertis:

$$\hat{\varphi}(n) = n - \frac{3\sqrt{8n}}{4} + 1. \quad (4)$$

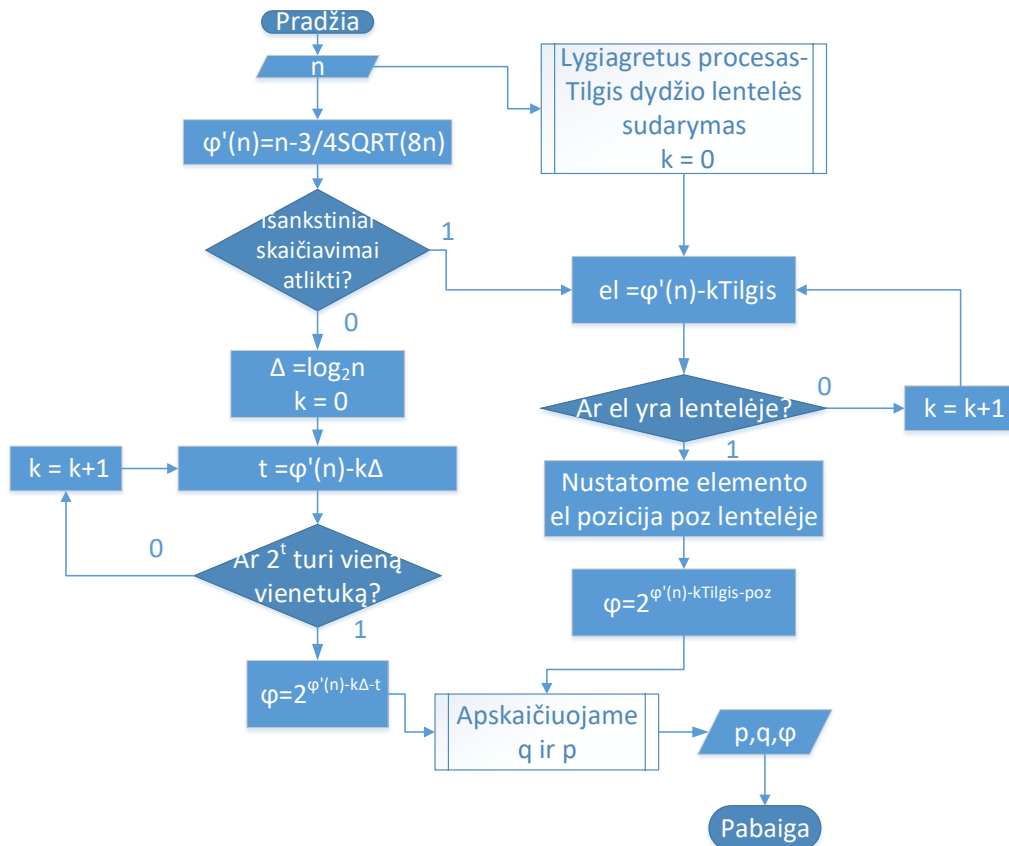
Iš Eulerio teoremos yra žinoma, kad $a^\varphi \equiv 1 \pmod n$. Tad reikia rasti tokį x , kad

$$2^{\hat{\varphi} - x} \pmod n = 1. \quad (5)$$

Jei kas kartą skaičių x nuosekliai didinsime vienetu, kažkada neišvengiamai priartėsime prie tokios x reikšmės, kai išraiška (5) bus tenkinama, tačiau tokia strategija yra nepriimtina dėl pernelyg didelio iteracijų skaičiaus. Tegul $\Delta \varphi$ - Eulerio funkcijos reikšmės pokyčio žingsnis. Jei tokį Eulerio funkcijos reikšmės kitimo žingsnį parinktume $\Delta \varphi = \lfloor \log_2 n \rfloor$, tai k -tajame žingsnyje gautume reikšmę 2^t , čia $0 \leq t \leq \Delta \varphi$. Tuomet $2^{\hat{\varphi}(n) - k \cdot \Delta \varphi - t} \equiv 1 \pmod n$. Programiškai tai atlikti nėra sudėtinga (Knuth, 1997: 650) nes toks skaičius

binarinėje išraiškoje turi tik vieną vienetą. Todėl kiekviename žingsnyje skaičių $\varphi(n) - k \cdot \Delta \varphi$ perstumiami į kairę per n bitų ir randame reikšmę moduliui n . Jei gautas skaičius turi vieną vienetą, nustatoma jo pozicija t . Tuomet Eulerio skaičius yra lygus: $\varphi(n) = \widehat{\varphi}(n) - k \cdot \Delta \varphi - t$.

Daugiau sumažinti iteracijų skaičių galima atlikus išankstinius skaičiavimus (2 pav.).



2 pav. Antrojo paieškos algoritmo blokinė schema
Šaltinis: sudaryta autorių

Sukuriama išankstinio skaičiavimo lentelė, kurios ilgis yra T_Ilgis . Į lentelę surašomi elementai $el = 2^{poz} \bmod n$; čia elemento pozicija $0 \leq poz < T_Ilgis - 1$. Kiekviename žingsnyje tikrinama, ar gautas skaičius $2^{\varphi(n) - \widehat{\varphi}(n) - k \cdot T_Ilgis}$ yra lentelėje. k -tajame žingsnyje gaunama Eulerio funkcijos reikšmė $\varphi(n) = \widehat{\varphi}(n) - k \cdot T_Ilgis - poz$.

Svarbu parinkti tinkamą lentelės ilgį, kad išankstinio skaičiavimo lentelės sudarymas neviršytų priimtinus laiko ir atminties resursus.

Eulerio funkcijos reikšmės paieškos modeliavimas

Paieškos algoritmą, skirtą Eulerio funkcijos reikšmės nustatymui, kurio blokinė schema pateikta 2 paveikslėlyje, patogiu realizuoti paraleliniu programavimu, kai atskiros procedūros vykdomos skirtingais srautais, formuojant išankstinio skaičiavimo lentelę atskirame sraute (1 lentelė).

Programos fragmentas pavaizduotas 3 paveikslėlyje. Sukurta matematinio modelio programinė realizacija Java kalba, programiniam kodui kompiliuoti panaudotas IntelliJ Idea kompiliatorius. Java kalba buvo pasirinkta dėl patogios BigInteger bibliotekos, skirtos darbui su dideliais skaičiais bei HashMap kolekcijos, kuri leidžia atlikti itin greitą elemento paiešką lentelėje. Išankstinio skaičiavimo lentelės ilgis pasirinktas 2^{22} dydžio. Kompiuterio charakteristikos: Intel(R) Core(TM) i7-10510U procesorius (iki 2.30 GHz, RAM - 16 GB). Sugeneruoti duomenys (1 lentelė) užėmė 2 gigabaitus operatyvinės atminties. Programiniame kode sukurtos 7 Java klasės; pats programinis kodas turi 550 kodinių eilučių. Programos fragmentas pateiktas 3 paveikslėlyje.

```

File Edit View Navigate Code Analyze Refactor Build Run Tools VCS Window Help FactorBiPirminis [C:\Users\Dell\Mano darbai\ManoKursai\JavaFXTutorial\FactorBiPirminis] - ...src\com\petrasnefas\FactorizePhi.java - IntelliJ IDEA
FactorizePhi
Main.java x BiPirminis.java x TestRefactorSqr.java x TestRefactorPhi.java x MasyvasRunnable.java x FactorizeSqr.java x FactorizePhi.java x
55 MasyvasRunnable m = new MasyvasRunnable(n, countD);
56 // naujas srautas
57 Thread t = new Thread(m);
58 t.start();
59 BigInteger b1 = phiEst;
60 BigInteger b2 ;
61 int poz=-1;
62 BigInteger sumpoz1 = BigInteger.ZERO;
63 BigInteger sumpoz2 = BigInteger.ZERO;
64 BigInteger skaitliukas1 = BigInteger.ZERO;
65 BigInteger skaitliukas2 = BigInteger.ZERO;
66 int bitSkaicius;
67 // ciklas kol nesuskaiciavom
68 while (poz<0) {
69     // tikrinam ar jau radom
70     b2= BigInteger.TWO.modPow(b1,n);
71     bitSkaicius =b2.bitCount();
72     if (m.isDone())
73     {
74         if(m.getMasyvas().containsKey(b2)){
75             //jei yra lentesleje skaiciuojame
76             poz = m.getMasyvas().get(b2);
77             sumpoz1 = skaitliukas1.multiply(BigInteger.valueOf(countD)).add(BigInteger.valueOf(poz)).add(skaitliukas2.multiply(BigInteger.valueOf(countM)));
78         } else {
79             //pridedam dideli skaitliuka
80             b1 = b1.subtract(BigInteger.valueOf(countD));
81             skaitliukas1 = skaitliukas1.add(BigInteger.ONE);
82         }
83     } else{
84         if (bitSkaicius == 1){
85             // jei vienas vienetukas suskaiciuojam pozicija
86             poz = b2.getLowestSetBit();
87             sumpoz2 = skaitliukas2.multiply(BigInteger.valueOf(countM)).add(BigInteger.valueOf(poz));
88         } else {
FactorizePhi > apskaiciuotiPhi()
Run: TestRefactorPhi x
BiPirminis{n=3203849153428660766905377525567879300847936403013972029536026758831298957336841905329974891737091744941633885307034818312616068037675693163321479078500673263415334934008210344444164734571424578438213532870437730
skaicius n ilgis, bitais 2048
FactorizeBiPrime{phi=32038491534286607669053775255678793008479364030139720295360267588312989573368419053299748917370917449416338853070348183126160680376756931633214790785006732634153349340082103444441647345714245784382135328
skaiciavimo laikas 205800
Process finished with exit code 0

```

3 pav. Programos fragmentas
Šaltinis: sudaryta autorių

Eulerio funkcijos reikšmės paieškos laikas, s

$\log_2 n$ skaičiaus n ilgis (bitais)	$\log_2(2p - q)$ atstumas tarp pirminių skaičių (bitais)	Trukmė, s taikant pirmąjį algoritmą)	Trukmė, s (taikant antrąjį algoritmą)
1024	20	17,8	0,4
1024	24	203,5	2,9
1024	28	>600	3,8
1024	32	>600	3,8
1024	36	>600	5,02
1024	40	>600	21,8
1024	44	>600	342,6
1024	48	>600	>600
2048	20	34,8	0,85
2048	24	560,8	4,9
2048	28	>600	5,05
2048	32	>600	6,1
2048	36	>600	20,5
2048	40	>600	205,8
2048	44	>600	>600

Šaltinis: sudaryta autorių

Matyti (1 lentelė), kad daug efektyviau laiko atžvilgiu Eulerio funkcijos reikšmę galima nustatyti nuoseklaus priartėjimo metodu. Pateikti rezultatai dviem skirtingiems skaičiaus n ilgiams (bitais): šiuo metu aktuali 1024 bitų, ir nuo 2025 metų numatytu minimaliu rakto ilgiu - 2048 bitų.

Išvados

1. Vertinant galimą RSA algoritmo saugumo spragą, iširta dviejų didelių pirminių p ir q skaičių sandaugos faktorizacija, kai skaičius p yra daugiau nei dvigubai didesnis už q . Tam sukurti du Eulerio skaičiaus $\varphi(n)$ paieškos algoritmai, kurių pirmasis pagrįstas natūrinio skaičiaus kvadratinės šaknies paieška, antrasis - nuoseklaus artėjimo metodu, taikant išankstinius skaičiavimus ir paralelinį programavimą. Atlikto tyrimo rezultatai parodė, kad antrasis metodas yra žymiai yra efektyvesnis Eulerio funkcijos vertės nustatymo trukmės prasme.

2. Atlikto tyrimo rezultatai parodė, kad Eulerio funkcijos reikšmės radimo laikas tiesiškai priklauso nuo faktorizuojamo skaičiaus ilgio bitais ir eksponentiškai nuo atstumo tarp pirminių dauginamųjų. Tuo tarpu, jei skaičius n generuojamas taip, kad vienas iš pirminių dauginamųjų yra daugiau kaip dvigubai didesnis už kitą, RSA algoritmas gali turėti saugumo spragą (esant atstumui tarp pirminių dedamųjų mažesniai nei 44 bitai, rasti Eulerio funkcijos reikšmę galima per mažiau nei 600 s). Šiuo aspektu antrasis metodas už pirmąjį yra spartesnis daugiau kaip 44,5 kartų.

3. Kalbant apie optimalų atstumą RSA atsparumui, paieškos laikas kas dešimt papildomų atstumo bitų padidėja 1000 kartų. Kai atstumas tarp $2p-q$ siekia 64 bitus, Eulerio funkcijos nustatymo trukmė išauga iki 5 milijonų min (kiek mažiau nei du metai), o tai viršytų visus protingumo kriterijus.

4. Autoriai mano, kad tikslinga optimizuoti pirmąjį paieškos algoritmą, pritaikius jam išankstinį skaičiavimą bei euristiką.

Literatūra

- Richard Crandall and Carl Pomerance. Exponential Factoring Algorithms. Prime Numbers: A Computational Perspective, Springer. 2001: p. 191–226.
- Nagaratna Hegde, P.Deepthi. Pollard RHO Algorithm for Integer Factorization and Discrete Logarithm Problem. International Journal of Computer Applications 121(18): p. 14-17.
- Kyle Kloster. Factoring a semiprime n by estimating $\varphi(n)$, 2010: p. 1-25. http://www.gregory-bard.com/papers/phi_version_may_7.pdf
- Donald E. Knuth. The Art of Computer Programming. Addison –Wesley 1997: 650 p.
- Lenstra A. The Development of the Number Field Sieve / A. Lenstra and H. Lenstra (eds.).– Lect.Not.in Math.1554, Springer–Verlag, Berlin, 1993: 140 p.
- Liangshun Wu, H. J. Cai, Zexi Gong. Integer Factorization Algorithm With Pisano Period, 2019: p. 167250-167259. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8901977>
- Jacek Pomykala and Maciej Radziejewski. Integer factoring and compositeness witnesses, 2020: p. 346-358. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/jmc-2019-0023/html>.
- Gintaras Skersys. Informacijos sauga. KTU 2011: 156 p.
- Paulius Šarka, Jonas Šiurys. Skaičių teorija. Paskaitų konspektas, VU 2018: 48 p.

EULER'S TOTIENT FUNCTION SEARCH ALGORITHMS

Summary

The cryptographic resilience of the RSA encryption algorithm is based on the impossibility of decomposing a large number of components into primary components within a reasonable time. The paper examines the possibility of decomposing a composite number into primary multipliers by setting the value of the Euler function $\varphi(n)$, which can be considered as a possible security gap in the RSA algorithm. An analysis of the literature on this topic was performed, the relationship between the cryptographic resilience of the RSA algorithm and the meaning of the Euler function was analysed, and the relevance of the work was shown. A mathematical model for the search for the meaning of the Euler function is developed. It is established that if the number n is a product of two prime numbers, one of which is more than twice as large as the other, the upper limit of the value of the Euler function is $\varphi^*(n) = n - (3\sqrt{8n}) / 4 + 1$. Based on the presented mathematical model, two algorithms of Euler function value search were developed. The first one is based on searching for the square root of a natural number; the second one is based on the method of sequential approximation. Both methods are implemented in Java. The simulation showed that the second method is more efficient in terms of the duration of the Euler function value determination. It was determined that the search time for the value of the Euler function depends linearly on the length of the factorized number in bits and exponentially on the distance between the primary multipliers.

Key words. Factorization, Euler function value, RSA, algorithm, cryptography.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Petras Nefas.

Mokslo laipsnis ir vardas: mokslų daktaras.

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

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

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

Autoriaus vardas, pavardė: Rūta Jankūnienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: mokslų daktarė.

Darbo vietą ir pozicija: Kauno technikos kolegija, Inžinerijos mokslų fakultetas, Elektronikos technikos studijų programos docentė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: telekomunikacinių tinklų ir paslaugų kokybė, optinės ir belaidės ryšių technologijos, tinklų sauga.

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

EDUCATING AND TRAINING FOR A NEW EUROPEAN BAUHAUS: A PROPOSED RENOVATION WAVE FOR STUDENTS AND PROFESSIONAL AEC CURRICULA

Luca Caruso, Vincent Buhagiar
Univerisity of Malta

Summary

The challenges set up by the European Renovation Wave Strategy require a new mindset for professionals of Architecture, Engineering and Construction (AEC) Sector. Overcoming a silo mentality and seeking a life-long learning approach and multi-disciplinary knowledge is now recognised as an opportunity of competitive advantage rather than a mere obligation. By means of the qualitative methods of research in the form of thematic literature the authors have investigated the theoretical background supporting the emergency for an overhaul of educational and training programmes for AEC professionals for equitable and socially just transition towards a new European Bauhaus and beyond. Starting from the D.Schön's Reflective Practitioner to the recent Evidence Based as models authors have identified the drivers, potential incentives, methodologies and case studies to improve learning outcomes of today's professionals and graduate students challenged by the overall EU goals for an ecological transition in the field of built environment . The aim of this work is to map and identify a theoretical background as a reference for drafting future guidelines and critical reviews to educational and training programmes based and propose a transition towards Project Based Learning philosophy.

KEY WORDS. Postsecondary education, Project Based Learning, Blended Learning, AEC sector

ABBREVIATIONS AND DEFINITIONS

AEC, Architecture Engineering and Construction	GBRT, Green Building Rating Tools
EU, European Union	AIA, American Institute of Architects
GHG, Green House Gases	GPP, Green Public Procurement
IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change	MS, Member States
ESG, Environmental, Social and Governance Factors	EVD, Evidence Based Designer
EC, European Commission	RP, Reflective Practitioner
MIT, Massachusetts Institute of Technology	CE, Circular Economy
nZEB, nearly Zero Energy Building	CPD, Continuous Professional Development
BUS Build Up Skills	'Silo mentality', when employees in different departments refuse to share important team knowledge between them or with other departments.
EQF, European Qualification Framework	

1. INTRODUCTION

The European Renovation Wave (Crespo Parrondo & McPhie, 2020) is the most recent strategy proposed by the European Commission with aim of doubling the building renovation rate within ten years from now (2030). The main figures supporting the importance of achieving these ambitious targets are based on the reason that buildings are responsible up to 40% EU's energy consumption and up 36% of GHG (Crespo Parrondo & McPhie, 2020). Energy efficiency in building renovation as well as tackling Energy Poverty is a priority for EU and local Authorities because this could lead to an estimate 160000 new green jobs by focusing on 35 million obsolete buildings both public and private.

Another recent report from UNEP states that in G7 countries, material efficiency strategy could reduce the direct GHG up to 50% and 60% indirect coming from buildings sector by 2050 (United Nations Environment Programme, 2020).

The Renovation Wave is applying a paradigm shift with one of the founding pillars being the cultural aspect. The New European Bauhaus (European Commission, 2021) is a creative and interdisciplinary initiative where the design of the future the built environment is situated at the crossroads between art, culture, social inclusion, science and technology (ACE, 2021; Bris, 2019) rather than a mere technical target. Because of this, a cooperation among stakeholder, any forms of risk sharing (e.g. overcoming a silo mentality), seeking life-long learning approach and multidisciplinary knowledge is now recognised (Bris, 2019) as an opportunity of competitive advantage rather than a mere obligation (Bahram & Hussein, 2014). This is especially valid for the AEC stakeholders working in an industry lacking in innovation as well as productivity. For example, The United Kingdom's Office of Government Commerce (OGC, 2007) estimated that savings of up to 30% in the cost of construction can be achieved where integrated teams promote continuous improvement over a series of construction projects. UKOGC further estimates that single projects employing integrated supply teams can achieve savings of 2-10% in the cost of construction.

However to date interdisciplinary approaches sometimes finds barriers, such as technical, economical and conflicting interest in urban developments (Ginsberg, 2020) as well as building project. Some of the reasons can be found in the way AEC professionals are educated and trained.

With the findings of this publication, the authors are proposing a Renovation Wave to overhaul educational and training programme for AEC professionals and students. This will enable them to cope with the new exigencies of today's society facing an ongoing biodiversity loss at an unprecedented rates and the transition from the current resource efficiency sustainability paradigm towards an ecological view so called Regenerative sustainability paradigm. Although ambitious this first attempt will map the themes that are justifying an ongoing paradigm-shift towards multidisciplinary mindset, better cooperation and risk sharing among stakeholders.

Strong reasons for this change can be found besides the EU goals. They are coming from across the industries and society: we mentioned a few of them. In the Fifth Assessment Report from IPCC (IPCC, 2015) is stating that human activity influences the climate system with the highest anthropogenic emissions of GHG recorded in history as well as confirming that Warming of the climate system is unequivocal. An updated version, the Sixth Assessment Report is expected in 2022. In the religious field Pope Francis encyclical letter *Laudato Si*: "on the care of our common home" (Pope Francis, 2015), is echoing the reflections of scientists, philosophers, theologians and civic groups expressing the need to seek for sustainable and integral development. From the financial sector, in 2020 BlackRock's CEO letter to stakeholders (Fink, 2021) has pledged to make sustainability an integral component to the way they manage risks; it claimed that 100% of their active and advisory portfolios are Environmental, Social and Governance Factors (ESG-integrated).

2. RESEARCH METHODOLOGY

The scientific methodology used deployed qualitative method of research such as the grounded theory. The author's have provided a theoretical background by means of a thematic literature review that could lead to drafting guidelines or recommendations for improving educational and training programmes. This research started with process of investigation that is rather tentative and explorative (Walliman, 2017). The methodology started from Luca Caruso's personal interest for the work of American Philosopher Donald A. Schön *The reflective practitioner (RP)*, a book published in 1983. Schön pioneered a new vision of professionals driven by an enquiry approach, acting more like a scientist rather than a technical person with a fixed set of knowledge to solve the client's briefs. Some similarities have been found in the work of Hamilton and Watkin with Evidence Based Designer (EVB) being equipped with an intellectual framework that helps navigating the uncertainties of the professions toward better leadership skills when in working in integrated design teams and acquiring a life-long learning approach (Kirk Hamilton & Watkins, 2009).

Contrariwise to common sense, EVB and RP are described not as expert in one specific field but rather competent people with enhanced communication skills, problem solving skills, cooperative, self-learner and critical thinker (Schön, A., Donald, 1983). How to develop and improve these skills in an engaging way and by means of innovative teaching methods is currently debated among pedagogists, teachers, academics and researchers. The authors have mapped and listed the connections to the topic of gamification (Dicheva et al., 2015), blended learning (Khodeir, 2018; Kilkelly, 2009) and Project Based Learning (Davies et al., 2011) as an interesting methodology to improve educational and training programmes for AEC students and professionals.

The selected case studies have shown that these are typically found in new ways of delivering teaching activities such as In class, In tutorial or Outdoor (Khodeir, 2018) as well as moving from a Teacher-controlled approach to a new pedagogical model focused on a learner-centred approach called Project Based Learning philosophy.

The traditional educational practices for a single profession now points to bridging cross-boundary disciplines. Therefore, today's already deviant professional practices already emphasize coaching and learning-by-doing. Hence the importance of CPD for veterans.

The research question authors tried to answer was: what is the theoretical background supporting a proposed "Renovation Wave" for educational and training programmes of AEC professionals towards a new European Bauhaus?

3. BUILDING IS AN ACT OF CULTURE FOR THE LEARNING SOCIETY: THE THEORETICAL BACKGROUND

In June 1995 European Council held in Cannes stated that *Training and apprenticeship policies, which are fundamental for improving employment and competitiveness, must be strengthened, especially continuing training*" (European Commission, 1996). Later in November 1995 European commission published a White Paper called "*Towards the Learning Society*" taking forward a precedent document stressing how relevant, were (and are nowadays) for Europe, intangible investments particularly in education and research. Hence, 1996 was chosen as the European Year of Life Long Learning.

In a knowledge economy, information is the currency of wealth (Kirk Hamilton & Watkins, 2009): one goal to achieve this is to bring together school and business sectors together. Indeed, one of the objectives of the mentioned white paper were bringing school and the business sector closer together. The investment in knowledge can be then translated in economic values as an essential role in employment, competitiveness and social cohesion. Some of these indicators shapes what is currently called Human capital.

In 2013 in conference held by the Italian Institute of Statistics, the topic of the economic value of human capital stock have been estimated on average as 342.000 Euro (ISTAT, 2014), relative to the period 1998-2008. The conference proceedings showed that this value increases every year due to level of education, investments in professional development, expenditure on personal health, transport costs as well as increased salary.

Building is an act of culture this statement stems from the rationale of Baukultur (Schmedding et al., 2015), a uniquely coined German word, meaning the ‘culture of building’, is defined as ‘the coordinated system of knowledge, rules, procedures, and habits that surrounds the building process in a given place and time (Howard, 2006)’. This word implying that good planning and building combine high design standards with a holistic view of social, economic and environmental aspects and it has an emotional and aesthetic dimension. Another evidence is found in The code of professional Conducts for Warranted Architects (CNAPPC, 2021; Howard, 2006) in Italy. It describes the role of the architect as a professional with a fiduciary rapport with the society in which he/she operates. Architects promote the concept of quality in architectural design and building construction in line with the 9th and 41th Article of Italian Constitution. Indeed, they play a major role in transformation of the built and natural environment as well as contributing to improve people’s the quality of life, thus the outcomes of their action is of public interest (CNAPPC, 2021).

4. THE REFLECTIVE PRACTITIONER

The philosophical underpinnings of the Life-long learning approach and continuous professional development can be found in the work of the American philosophers John Dewey and Donald A. Schön.

The reflective practitioner is a term coined by the philosopher D.Schön in 1982, a resident academic at the School of Architecture and Planning at MIT. Starting from Dewey’s theories he developed his interests on the education and practical training process for the professionals and the skills required for an effective performance. The architectural practices became the prototype to test the robustness of his thesis (Schön, 1983).

His point of departure started from the acknowledgment of the crisis of confidence in the professions where the acquired knowledge was not adequate to the needs and problems of society at that time. What he describes as technical rationality, or the body of knowledge they have to master in order to provide these services, was entering a phase of crisis because uncertain conditions, unusual and complex task could not be addressed with standardized and well-defined rules.

Professionals performing tasks in which they have not been educated comes at the costs of confronting themselves with unprecedented requirements for adaptability (Schön, 1983) and some of them tend not explore beyond what they already know, fearing the loss of credibility in what they would have done. These precautions of limiting their action were criticised as pursuing a personal interest rather the community or public interest as a result of their work (Penasa, 2020).

He proposed a new way of approaching professional practice based on the constant relation between theory and practice, were new habits should have made them as Reflective practitioners. According to Schön, the fear of unknown that generate anxiety, uncertainties is a good driver to research and generate new knowledge.

Indeed, the technical rationality is effective only when the problem is already known and well defined so then you need to apply the technical knowledge you possess. In everyday situations the professionals have to understand the circumstances, defining hypothesis and potential means to answer client’s brief. In this phase is more important pertinence rather than a rigorous rule valid in all the cases. The professional has to build a case by decompose all the issues in small meaningful pieces and then at the end coming with a solution where the acquired knowledge can be applied (Penasa, 2020).

This critical task of managing complexity is especially true in engineering as well as medicine. business management and education. Education of the RP should follow the concept of Reflection-in-action. It refers to an approach that is typically found in arts and design; these deviant traditions of education for practice emphasize coaching and learning-by-doing were different from was promoted at educational level at that time. The difference were that problem solving skills should have been learned through a coach in form of a training programme. (Penasa, 2020) The theoretical background of this training process constitutes the main point of Educating the Reflective practitioner the sequel published in 1987 (Schön, D. A., 1987) .

The learning process should be done in a risk-free environment where the learner with the coach support in order to acquire as many as possible notions, knowledge and experiences. During the training he reflect-in-action to develop a set of precedents to be used as a guide, not a general rule to be applied in future tasks (Penasa, 2020).

The balance between pertinence and rigorous technical solution is part of a scientific process where finding the hypothesis firsts, checking their relevance, retry and gain new knowledge will make the RP operating as a scientist rather than a common practitioner.

5. EVIDENCE BASED PROFESSIONALS: OVERCOMING THE TRADITIONAL AEC CURRICULA

Fast forwarding 2008. D. Watkin and Wilkinson in their book Evidence-based design has emphasized the fact that *the practice of architecture is becoming more complex, demanding ever-increasing focused knowledge to better serve the needs of clients. Given the sizable costs of almost any building type and the large investment by the owner, it should not be surprising that many are demanding more predictable, dependable outcomes as a result of that investments* (Kirk Hamilton & Watkins, 2009)

Asking for result-oriented outcomes of professional activity is achievable and requires a firm that possesses research capabilities, knowledge system, and expertise not common to most architectural practices. The problem is due, in part, to an architectural education model that has not changed significantly since the nineteenth-century days of the *ecole des Beaux-Arts*. (Kirk Hamilton & Watkins, 2009)

The education the most architects receive is ill suited to providing the kind of knowledge that can consistently assist the clients in achieving goals that go beyond (1) aesthetics (2) efficiency, (3) schedule and budget compliance, (4) technical accuracy, and (5) functionality. (Kirk Hamilton & Watkins, 2009)

For example, in a survey provided by Gerada looking for identifying the priorities of Maltese AEC professional demonstrated that 72% is given to functionality, 20% Aesthetic design, and only the remaining 8 % for tenants experience and environmental features (fig 1).

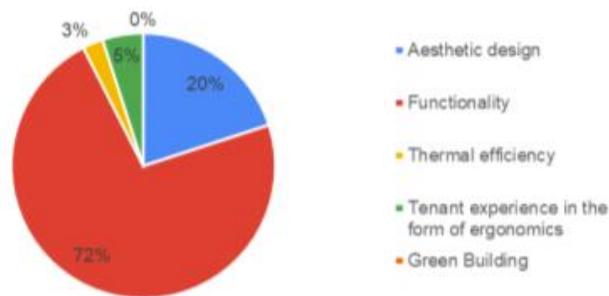


Fig. 1 Priorities of Design professionals.
Source: Reproduced from (Gerada, 2020)

Like Schön Watkin and Wilkinson that professionals prefer limitation of using the information already known or available to a design practitioner to answer a design question fearing that the admission of a limited understanding of design will damage their image (Kirk Hamilton & Watkins, 2009).

If the wealthy are those who know how to conduct research and thereby create new understanding previously unavailable and potentially of great worth. The design practitioner will become the agent of wealth creation in a knowledge economy, both for the client and for the design practice. (Kirk Hamilton & Watkins, 2009)

They have proposed to reshape competences towards the novel concept of evidence based professional. The greatest difference between a conventional project and an evidence-based one occurs in the predesign phase because they may lead a complicated process that could involve a diverse group of stakeholders from clients representatives to designers and the representatives of the public who will experience the completed project. (Kirk Hamilton & Watkins, 2009)

Below an example of Evidence based design process (tab.1) with a robust set of tasks to be carried out as a preparation before the design actually starts.

Table 1

WHR Architects' nine-step evidence-based design process.

Task		Activity
1	Identify client's goals	Note most important and facility-related global and project-based goals
2	Identify the firm's goals	Understand the firm's strategic, project and evidence-based design objectives
3	Identify the Top 3-5 Key Design Issues	Narrow the possible choices; work on high impact decisions
4	Convert Design Issues to Research Questions	Reframe statement of design issues to become research topics
5	Gather Information {Benchmark Examples, Literature Sources, Internal Studies}	Infinite possibilities must be narrowed; limited perspectives must be expanded
6	Critical Interpretation of the Evidence	No direct answers; requires open-minded creativity, balance, and critical thinking
7	Create Evidence-Based Design Concepts	Based on creative interpretation of the implications of research findings
8	Develop Hypotheses	Predict the expected results of the implementation of your design
9	Select Measures	Determine whether your hypothesis is supported

Source: Reproduced from (Kirk Hamilton & Watkins, 2009)

6. MOVING FROM SUSTAINABILITY TO REGENERATIVE¹. AN ECOLOGICAL TOOLKIT FOR PROFESSIONALS

Sustainability, as currently practised in the built environment, is primarily an exercise in efficiency. In other words, the use of environmental rating systems and other mechanisms allows a reduction in the damage caused by excessive resource use. (Du Plessis & Brandon, 2015)

For example (Sant, Rita, Borg, P. Ruben, 2016), have proposed the development of an holistic green building rating tool for the Maltese Islands called High Environment Efficient Assessment Rating Tool (HEEART). By means of interviews and applying Criteria Weighting system they concluded that 8 Criteria met the local context in terms of climate, available resources and cultural aspects. In a recent paper from (Asdrubali et al., 2019) with the aim of critically reviewing and proposing a common language in sustainability, reviewed and listed the main criteria selection used in GBRT worldwide. Comparing the two researches (see Table 2) we can notice similar criteria in terms of site, energy, indoor environmental quality and materials. For Borg and Saint the topic of pollution, Integrated design process and Economic quality were more important than other aspects such as Outdoor quality (e.g. proximity to mass transports so on).

Table 2

Comparison of Green Building Rating tools and Living Building Challenge

Borg and Saint (2016)	Asdrubali and alii (2018)	International Living Future Institute (2019)
HEEART tool for Malta	Main Green Building Rating Tools Criteria	Living Building Challenge (v.4) Petals
Site	Site	Place
Water	Water	Water
Energy	Energy	Energy
Indoor Environmental Quality (IEQ)	Comfort and Safety	Health+Happiness
Materials	Materials	Materials
Pollution	Outdoor Quality	Equity
Integrated Development Process (IDP)		Beauty
Economic Quality		

Source: Extracted from (Asdrubali et al., 2019; International Living Future Institute, 2019; Sant, Rita, Borg, P. Ruben, 2016)

As mentioned in the introduction, the age of Anthropocene is experiencing a rapid loss of biodiversity and, with it, Earth's ability to support complex life. In a recent paper from (Bradshaw et al., 2021) there is a robust literature review, listed hereunder in bullet points,

- disciplinary specialization and insularity encourage unfamiliarity with the complex adaptive systems in which problems and their potential solutions are embedded.
- Widespread ignorance of human behaviour and the incremental nature of socio-political processes that plan and implement solutions further delay effective action.
- Time delays between ecological deterioration and socio-economic penalties, impede recognition of the magnitude of the challenge and timely counteraction needed.

Instead of doing less damage to the environment, it is necessary to learn how one can participate with the environment by using the health of ecological systems as a basis for the design.

To this regards (Du Plessis & Brandon, 2015) are questioning whether or not we can change the way the built environment because RESTORE (Brown et al., 2018) promoters, states that currently built environment sustainability has a narrow focus on building energy performance, mitigation strategies and minimisation of environmental impacts which fails to address key issues such as an expected future to be socially just, ecologically restorative and culturally rich while being economically viable at the same time. This complex leap toward Regenerative Sustainability is currently proposed through the Living Building ChallengeSM certification, consisting of seven performance categories, or “Petals”: Place, Water, Energy, Health + Happiness, Materials, Equity and Beauty. Each Petal is subdivided into Imperatives, for a total of twenty Imperatives in the Challenge (International Living Future Institute, 2019).

As we can see from the table 2 they compared to HEEART and main GBRT they are adding a human centric aspect to cope with it in the form of social equity and the qualitative category of beauty. A recent publication by (Brown et al., 2018) is showing show that, in general, there is a lack of regenerative sustainability criteria in Europe, especially in the southern countries. Most countries rely on traditional materials and technologies rather than advanced and emerging materials and techniques. The below infographic image is showing the various categories of sustainability and the categories currently being discusses among experts.

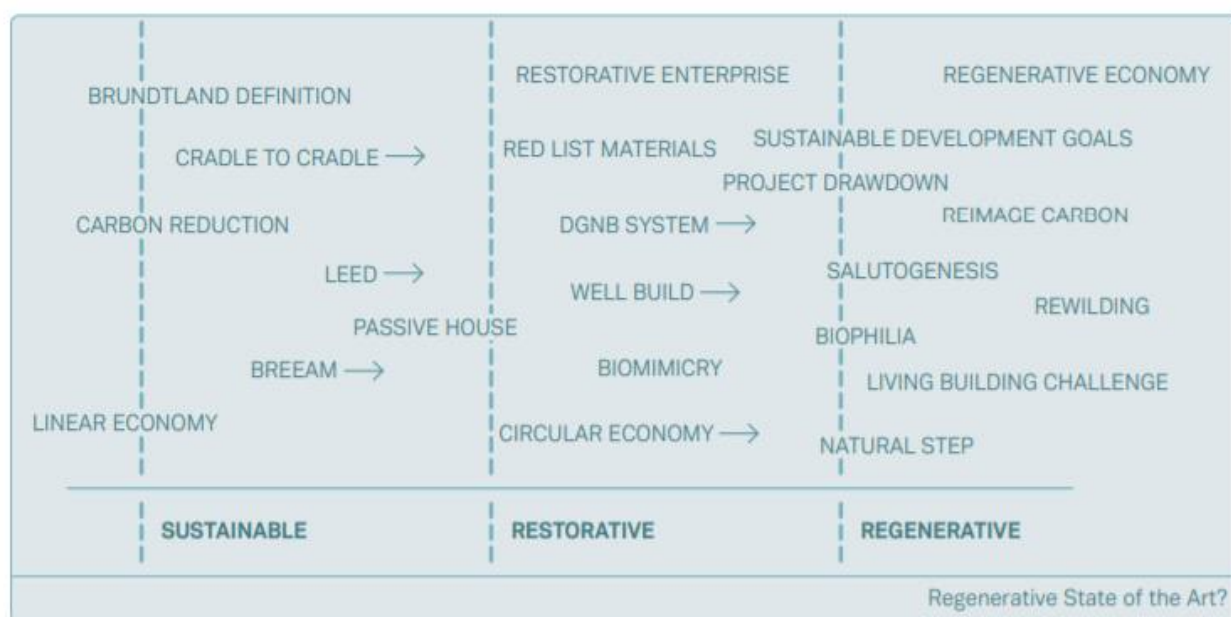


Fig. 2 Sustainability, Restorative to Regenerative State of Art

Source: Reproduced from (Brown et al., 2018)

7. DRIVERS FOR PARADIGM AND MARKET SHIFT: FROM PUBLIC TO PRIVATE

The EC in 2008 received mandate to provide guidance on how to reduce the environmental impact caused by public sector due to procurements of goods, services and works. A deadline was set up that by 2010 50% of all the public tendering procedures should have been compliant with common core EU GPP Criteria. The EU Member states were encouraged to draw up voluntary National Action Plans (NAPs) envisaging their

implementation in each European countries and the GPP criteria for “Office Building Design, Construction and Management” were included (Ganassali et al., 2018).

Although, GPP is a voluntary instrument, it aims at stimulating the market demand for more sustainable goods and services. In 2017 the Italian public procurement code (*Codice degli Appalti*) has introduced mandatory environmental GPP criteria (*Criteri Ambientali Minimi–CAMs*) to enhance the sustainability process of construction products, for new public and refurbished buildings and sites management (Governo Italiano, 2017). CAMs criteria were set on three design reference steps: the sustainable site analysis, in which the considered building is located; the buildings technical specifications, which included dynamic energetic simulations, the use of renewable energy sources, indoor environmental quality requirements and the materials technical specifications. For some material categories the minimum recycled content was imposed.

As mentioned in the introduction the EU goal of creating new green jobs is ambitious because it confronts itself with the barriers of insufficient technical skills from the public authorities that now needs a strong skills update. In an article (Lavagna et al., 2019) are viewing favourably making GPP criteria mandatory to stimulate construction market transition towards sustainability criteria, because public procurement consists in a relevant expenditure for EU Member States, in Italy 10,7% of GDP (250 billion Euro circa) (Albano & Antellini Russo, 2009). This mechanism being driven by the spending power of public authorities can stimulate the private sector and the competitiveness due to the increased availability of greener services and goods. Additionally, CAMs are awarding bidders who employ GBRT accredited professional aligned with ISO/IEC 17024:2004: so from one side the private initiative can consider achieving green certifications because now are available and at competitive price on the other side contracting authorities are awarding professionals and contractors willing to update their skillset with new knowledge (Lavagna et al., 2019).

Furthermore, is worth mentioning another initiative that is influencing the financial markets. Not surprisingly, BlackRock’s commitment for 100% ESG compliant investments portfolios is aligned with the recent EU taxonomy (Naser et al., 2021), that has the aim of creating a classification framework to facilitate sustainable investment. Investments that comply with technical screening criteria can be communicated as sustainable. In particular for the building sector the following criteria apply

Table 3

Technical Screening Criteria of EU Taxonomy

Type of economic activity	Technical Screening Criteria
Construction of new buildings	Primary Energy Demand of new construction is at least 10% lower than nearly zero energy building requirements in national measures. Energy performance certified by energy performance certificate. For buildings > 5000m ² : life cycle global warming potential calculated, and level of performance is tested post construction, both disclosed to investors and clients
Renovation of existing buildings	As applicable in national regulations for major renovations Reduction of primary energy demand of at least 30%.
Acquisition and ownership	Buildings built before 12/2020: at least EPC class A, or within top 15% of national building stock expressed in primary energy demand Buildings built after 12/2020: meet criteria for “construction of new buildings” Large non-residential building with HVAC output >290kW: operated efficiently through energy performance monitoring and assessment.

Source: Reproduced from (Naser et al., 2021)

In conclusion from the field of behavioural economics Sustain and Thaler’s Book on Nudge economics (Thaler & Sustain, 2009), a popular 2008 best seller about improving people’s decision making, we can find an interesting tactic on how to increase interest on CPD and acceptance. According to the authors people naturally tend to choose whatever option requires the least effort (path of the least resistance). Thus, the authors views positively that any policy mandating CPD as an obligation should be accompanied by nudges in form of incentives to drive acceptance: an interesting example is the Get Qualified scheme set up by the Maltese government. This measure in form of tax credit up to 70% of the costs is applicable to individuals following a course of studies leading to a certification, diploma, degree or post-graduate degree courses to recover part of cost incurred with a reduction on a personal income tax.

8. AN EXAMPLE OF MULTIDISCIPLINARY EDUCATION. THE CASE OF MSC IN ENVIRONMENTAL DESIGN AT THE UNIVERSITY OF MALTA

With the introduction of the mandatory EPBD in 2009 and a greater energy awareness, most established professionals were feeling the need to update themselves and rise up to the tide. In response to this new demand the Department of Environmental Design, at the Faculty for the Built Environment, designed a new specialisation Master's degree. This exposed architects and engineers to a broad range of topics generally related to the Architectural Science aspects of buildings. Topics covered include Lighting, Acoustics, Thermal Comfort, Ventilation and Energy use among others. Three cohorts of students went through the course, who were awarded an MSc in Environmental Design. This saw most of them climbing higher in the echelons of their established posts, while others sought new pastures in the field of energy auditing and energy efficiency.

Considering the latest trends towards retrofitting buildings with greater accent now placed on a circular green economy, the Masters programme was tweaked to become an MSc in Sustainable Building Design. This time more practical hands-on study units were introduced in order to expose mature students to the existing building stock and its potential for refurbishment, even if to a new use, with minimal drastic interventions, thus curtailing waste generation and embodied energy disposal. Both courses were subjected to rigorous reviews by EU and British academic institutions prior to their launch. This is in the light of the European Green Deal and the Long term retrofit strategy for Europe.

9. TRAINING THE FUTURE PROOF EVIDENCE BASED DESIGNER THREE CASE STUDIES

First case study is Cost Action CA16114 RESTORE (namely REthinking Sustainability Towards a Regenerative Economy) (Brown et al., 2018) It has been funded by European Cooperation in Science and Technology (COST) with the aim of creation of research networks among scientist across Europe (and beyond). RESTORE Action has been recently concluded as 4-years project, being focused on giving impetus to research advancements and innovation in the field of Regenerative Economy, nowadays widely accepted to be multi-stakeholder especially when dealing with urban development. Cost Actions and thus CA 16114 has involved private sector, policy makers as well as civil society in collaboration activities such as workshops, conferences, working group meetings, training schools.

Luca Caruso has benefited from the last Training School held in Wien in September 2020 being part of the 16 trainees selected to contribute to the Working Group 5 called Scale Jump delivered in a hybrid mode due to the current Covid 19 Pandemic. Lectures were performed online whilst open air site visits and small group projects. The Workshop intended to conceptualize a Holistic vision for the BrigittenPlatz/Hannovermarket .

The second is the Build Up Skills initiative. In the report Agenda for new Skills and jobs (Lang, 2018) the EU Commission recognized a persistent skills mismatch in the EU labour market especially in AEC. As a consequence, investments in education and training systems were funding national roadmaps for qualifying the building workforce. The Build-up skills (BUS) was a strategic initiative started in 2011 under Intelligent Energy Europe (IEE) programme to boost continuing or further education and training of craftsmen and other on -site construction workers and system installers in the building sector . Regular exchange activities have been organised to foster learning between 30 Eu countries (28 EU, the Republic of Macedonia and Norway). Qualified workers are needed across Europe to deliver building renovations towards nZEB status. Horizon 2020 has continued to support the BUS initiative with 5 transnational construction skill projects. All of the following project were carried out from 2015 till 2018.

- **ing RES**, (EU Cordis, 2018a) for middle and senior level professionals, focused on Energy Efficiency and Use of Renewable Energy Sources in buildings. coordinated by Slovakian and Czech Republic applicants. Workshop and e-learning modes were deployed.
- **BUILD Up Skills to Business**, (Lang, 2018) developed a new qualification scheme in the Netherlands with training materials equivalent to EQF level 2 to 4 for building workers as a foundational courses including the basic knowledge of sustainable building practices to understand the consequences of their work for the sustainability of the building.
- **MEnS** (EU Cordis, 2018b) has developed 30 integrated and interdisciplinary training programmes in partnership along with universities and private partners. The project aim was to produce training videos, webinars and live broadcasts on social media of the conferences and documenting case studies. Focus retrofitting of housing to nZEB standard. Also special care was given to developing professional skills of women and unemployed in Architecture and Engineering.

- **PROF-TRAC**, (EU Cordis, 2018c) starting from gap analysis in the nZEB skills, this project was specifically funded to develop and maintain an educational open access platform for dedicated training and continuous development related to new and existing nZEB. It is also an online repository of all the previous projects brought forward by IEE initiative. To date more than 280 documents regarding nZEB are available. The most ambitious aspect is to have mapped nZEB skill in an harmonized way across work fields because defining and targeting specific professions at the European level is a difficult task due to a very fragmented panorama of the professional qualifications.
- **Train To nZEB**, (EU Cordis, 2018d) was a project designed to establish a functioning network of training and consultation centres, called Building Knowledge Hubs, providing practical training, demonstration and complex consulting services for the implementation of nZEBs.

The third one is the recent framework proposed by de (Çetin et al., 2021). Being Circular economy a policy in EU and China the author investigated what could be feasible and promising digital technologies to facilitate a circular economy in the built environment. These include: (1) additive/robotic manufacturing, (2) artificial intelligence, (3) big data and analytics, (4) blockchain technology, (5) building information modelling, (6) digital platforms/marketplaces, (7) digital twins, (8) the geographical information system, (9) material passports/databanks, and (10) the internet of things.

10. EXPLORING ALTERNATIVE LEARNING METHODS FOR AEC PROFESSIONALS: BLENDED LEARNING

There are some researches showing that Traditional schooling is facing major problems around student motivation and engagement (Dicheva et al., 2015; Khodeir, 2018) The perception is that they are ineffective and boring by many students. Some teacher are exploring novel instructional approaches and gamification is one them. Games utilize motivational mechanism to engage with them often without reward just for the joy of playing and possibly win (Dicheva et al., 2015).

(Khodeir, 2018) instead has explored several ways on how to enhance the teaching experience of Project Management Education among architecture students because that learning process was considered unattractive.

(Dicheva et al., 2015) considers educational games as learning tools to be promising because it reinforce pupils abilities and skills in problem solving, collaboration and communication.

In the case of training project managers in construction (Khodeir, 2018) has tested various combination of learning method in the form of blended learning where virtual and physical resources are used. In his paper he has presented a matrix of blended teaching methods examined for delivering Project Management Courses in 2 architectural school in Egypt.

The learning method tested were

Table 4

Various learning methods deployed by Khodeir

In class blended teaching methods	In tutorial	Outdoor
Direct lecturing	Role play	Interviewing managers
Open Discussion	Team Building	Designing Audio visual presentation
Self-learning presentation	Real-life project (stakeholder identification/scheduling/Budgeting/ Risk Analysis)	
Self-learning posters	Group Presentation	
Story telling	Decision Making	
Audio visual	Brainstorming	
Real life case studies		
Game based		

Source Adapted from (Khodeir, 2018),

It is interesting seeing game-based learning method included in the above list, as a new form of learning experience currently being used in other sectors like Business, Marketing, corporate management, wellness and ecology initiatives (Dicheva et al., 2015). The use of blended method should be encouraged and further investigated because (Khodeir, 2018) observed has been beneficial to PM courses delivery as well as higher student performance along the years.

(Kilkelly, 2009) on the topic of PM education also noted that while e-learning is good for imparting knowledge only, where people can learn at their own pace and study specific topics it still requires the practical application of knowledge in order to become skill. So blended learning is ideal for these reasons (Khodeir, 2018).

11. FROM TEACHER-CONTROLLED TO LEARNER CENTRED APPROACH: THE PROJECT-BASED LEARNING AS INTERESTING WAY TO IMPROVE EDUCATION

As discussed in the previous paragraphs both the reflective practitioner and Evidence based designer concept requires a scientific enquiry mindset to cope with unusual and complex client's briefs. Since the new skillset requires to focus on problem scenarios rather than subject matters, Problem Based Learning (PBL) appeared to an interested case study.

Indeed, It derived from the student-centred pedagogy promoting active learning and life-long learning and is defined as a learning philosophy and a set of learning principles (Graaff, E. and Kolmos, A., 2007). PBL is characterised by an enquiry process where problems – mostly from real and complex situations – are formulated and drive the whole learning process. Through an extensive literature review (Davies et al., 2011) has shown the advantage of Learning through PBL promotes critical thinking, self-learning skills, lifelong learning, self-achievement, self-regulation, self-efficacy, communication skills and interpersonal skills for students. It also increases the students' interest in a course (Davies et al., 2011) as one of the main motivations behind the necessity of moving from a traditional teaching method to explore new approaches. In the studies mentioned this methodology is being applied at the faculty for engineering in Aalborg since it's foundation in 1974 (Davies et al., 2011).

In order to understand the differences with a traditional methodology the image attached shows the progression from the typical learning outcomes of traditional teaching methods and the expected knowledge to be acquired thanks to project based methodology.

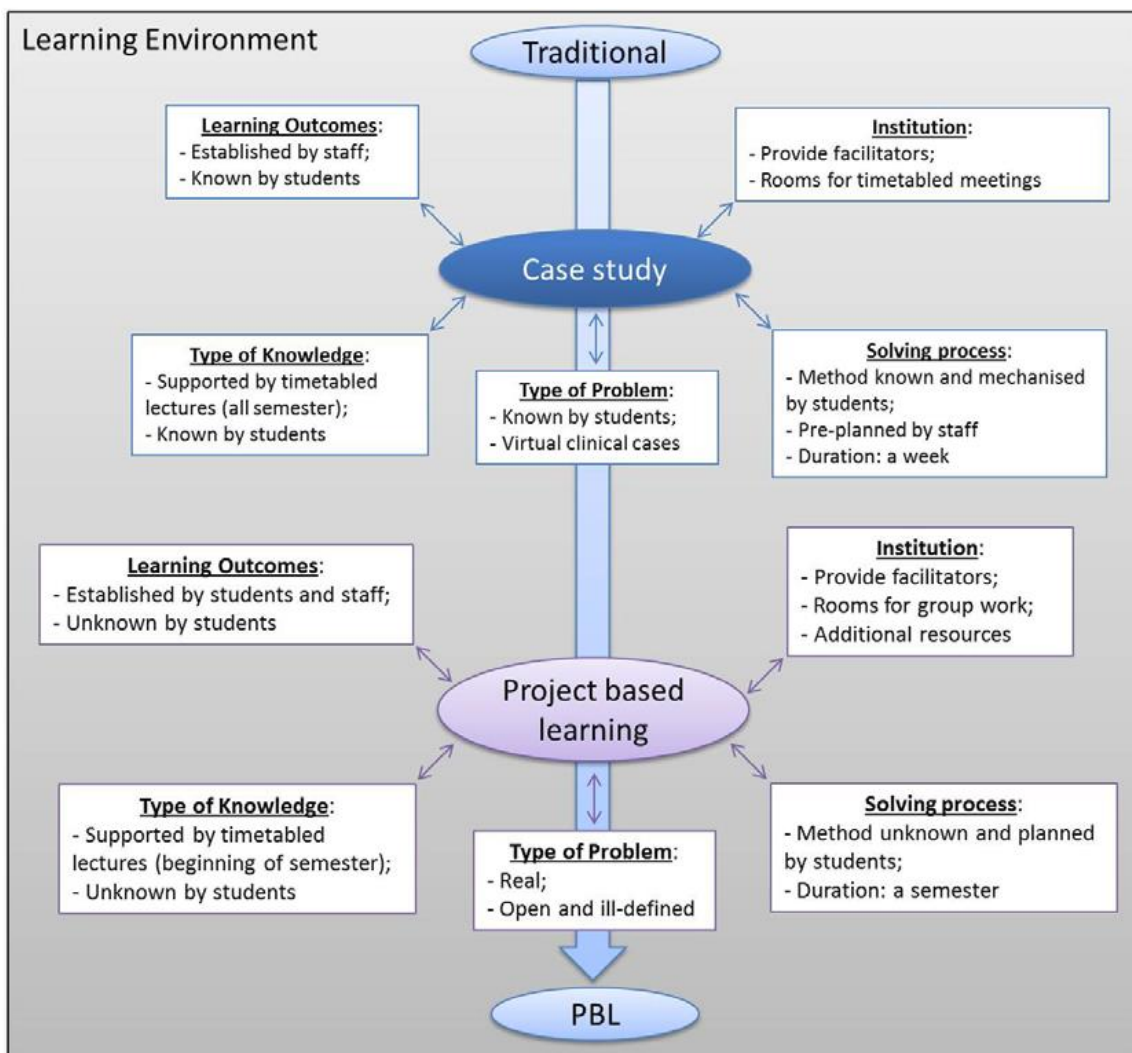


Fig. 2 Progression from a traditional teaching environment to a pure problem-based learning environment

Source: Reproduced from (Davies et al., 2011)

12. CONCLUSIONS

EVD and RP have in common the necessity to pursue quality and tangible results to clients. Evidence based design is already thriving in some areas of practice (most notably healthcare, sustainability and workplace design (Kirk Hamilton & Watkins, 2009).

The renovation wave of educational and training programmes cannot start if

1. We will rely on an educational model that influenced by obsolete criteria of the teacher-controlled education
2. We are aware in favour of a learner centred approach instead.

We are concerned that without this shift will be still have more professionals with greater and greater knowledge of how buildings perform technically, but less certain, however, is whether we will similarly increase our ability to understand, predict, and better achieve preferred outcomes from all of these efforts, especially outcomes that relate to human behaviour and performance this area of knowledge is least understood by most professionals in AEC.

13. ACKNOWLEDGEMENT

This research is being supported by the Department of Environmental Design at the University of Malta.

14. LIMITS OF THIS STUDY

The publication aim was to identify a theoretical background and the related connections with philosophical perspectives whilst trying to provide some practical case studies of the ongoing paradigm shift. The authors acknowledge the need for a multidisciplinary co-authorship for drafting these future guidelines or critical reviews based by further deploying qualitative methods of research in more detail like questionnaires or surveys or focused groups with the scope of finding the more appropriate learning environment for educational and training programmes in AEC sector.

15. AUTHOR CONTRIBUTION

LC has developed all the paragraph except, paragraph 9 and conclusions provided by VB as well as revisions.

16. References

1. Architects' Council of Europe (Producer), & ACE (Director). (2021). *NEBC online conference 'common ground : making the renovation wave a cultural project'*. [Video/DVD] https://www.youtube.com/watch?v=pSVkMJoiVDs&ab_channel=Architects%27CouncilofEurope-ACE
2. Albano, G. L., & Antellini Russo, F. (2009). *Quaderni Consip, V 2009, Public Procurement e Politica Economica*. Roma: MEF. https://www.consip.it/sites/consip.it/files/5303V_2009_completo_.pdf
3. Asdrubali, F., Bisgna, F., De Santoli, L., Evengelisti, L., Guattari, C., Mattoni, B., & Rizza, G. (2019). Towards a shared sustainability language: critical analysis of green building rating systems. *Aicarr Journal*, (60), 34-37. <http://www.aicarrjournal.org/cont/journals-articles/759/volume-october-verso-linguaggio-sostenibilita-condiviso.asp>
4. Bahram, M., & Hussein, M. (2014). *Knowledge Management a Way to Gain a Competitive Advantage in Firms (Evidence of Manufacturing Companies)*10.18052/www.scipress.com/ILSHS.14.80
5. Bradshaw, C. J. A., Ehrlich, P. R., Beattie, A., Ceballos, G., Crist, E., Diamond, J., Dirzo, R., Ehrlich, A. H., Harte, J., Harte, M. E., Pyke, G., Raven, P. H., Ripple, W. J., Saltr , F., Turnbull, C., Wackernagel, M., & Blumstein, D. T. (2021). Underestimating the Challenges of Avoiding a Ghastly Future. *Frontiers in Conservation Science*, 1, 9. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fcosc.2020.615419>
6. Bris, A. (2019). *Multidisciplinary learning: why your future classmate should be an artist or engineer*. <https://www.linkedin.com/pulse/multidisciplinary-learning-why-your-future-classmate-should-bris/>
7. Brown, M., Haselsteiner, E., Apr , D., Kopeva, D., Luca, E., Pulkkinen, K., & Rizvanolli, B. V. (2018). *Sustainability, Restorative to Regenerative*. COST.
8.  etin, S., De Wolf, C., & Bocken, N. (2021). *Circular Digital Built Environment: An Emerging Framework*10.3390/su13116348
9. CNAPPC. (2021). *Codice deontologico degli architetti, pianificatori, paesaggisti, conservatori, architetti iunior e pianificatori iunior italiani*. Consiglio nazionale degli architetti, pianificatori, paesaggisti e conservatori.

10. Crespo Parrondo, A., & McPhie, T. (2020). *Renovation Wave: doubling the renovation rate to cut emissions, boost recovery and reduce energy povert.* https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_1835
11. Davies, J., de Graaff, E., & Kolmos, A. (2011). PBL across the disciplines: Research into best practice. Paper presented at the *3rd International Research Symposium on PBL 2011*,
12. Dicheva, D., Dichev, C., Agre, G., & Angelova, G. (2015). Gamification in Education: A Systematic Mapping Study. *Educational Technology & Society*, (18), 75-88. https://www.researchgate.net/publication/270273830_Gamification_in_Education_A_Systematic_Mapping_Study
13. Du Plessis, C., & Brandon, P. (2015). An ecological worldview as basis for a regenerative sustainability paradigm for the built environment. *Journal of Cleaner Production*, 109, 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.098>
14. EU Cordis. (2018a). *ingREeS*. <https://cordis.europa.eu/project/id/649925>.
15. EU Cordis. (2018b). *Meeting of Energy Professional Skills*. <https://cordis.europa.eu/project/id/649773>
16. EU Cordis. (2018c). *PROFessional multi-disciplinary TRaining and Continuing development in skills for NZEB principles*. <https://cordis.europa.eu/project/id/649473>
17. EU Cordis. (2018d). *Train-to-NZEB: The Building Knowledge Hubs*. <https://cordis.europa.eu/project/id/649810>
18. European Commission. (1996). *Teaching and learning : towards the learning society : White Paper on education and training*. Office for Official Publications of the European Communities.
19. European Commission. (2021). *New European Bauhaus: Beautiful, Sustainable, Together*. https://europa.eu/new-european-bauhaus/index_en.
20. Fink, L. (2021). *Net zero: a fiduciary approach*. www.blackrock.com. <https://www.blackrock.com/corporate/investor-relations/blackrock-client-letter>
21. Ganassali, S., Lavagna, M., Campioli, A., & Saporetti, S. (2018). Green Public Procurement and Construction Sector: EPD and LCA Based Benchmarks of the Whole-Building. In E. Benetto, K. Gericke & M. Guiton (Eds.), *Designing Sustainable Technologies, Products and Policies: From Science to Innovation* (pp. 503-513). Springer International Publishing. 10.1007/978-3-319-66981-6_56
22. Gerada, F. (2020). *Sustainable buildings that can contribute towards the wellbeing and productivity in the Maltese Context*
23. Ginsberg, Y. (2020). Richard Sennett: Building and dwelling: ethics for the city. *Journal of Housing and the Built Environment*, 35(December 2020), 1321–1322. <https://doi.org/10.1007/s10901-020-09759-z>
24. Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici, (2017). https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/GPP/allegato_tec_CAMedilizia.pdf
25. Graaff, E. and Kolmos, A. (2007). *Management of change implementation of problem-based and project-based learning in engineering*. Brill. 10.1163/9789087900922
26. Howard, D. (2006). *The Culture of Building* . OUP.
27. International Living Future Institute. (2019). *LIVING BUILDING CHALLENGESM v 4.0 A Visionary Path to a Regenerative Future*. International Living Future Institute.
28. IPCC. (2015). *Climate Change 2014 Synthesis Report*. (). Geneva: World Meteorological Organization. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
29. ISTAT. (2014). *Il valore monetario dello stock di capitale umano in italia anni 1998-2008*. Istituto nazionale di statistica.
30. Khodeir, L. M. (2018). Blended learning methods as an approach to teaching project management to architecture students. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 3899-3905. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.10.004>
31. Kilkelly, E. (2009). *Blended learning: pathways to effective project management*. Emerald Group Publishing Limited. 10.1108/14777280910924081
32. Kirk Hamilton, D., & Watkins, H., David. (2009). *Evidence-Based Design for Multiple Building Types*. John Wiley & Sons.
33. Lang, A. (2018). *About BUILD UP Skills*. <https://www.buildup.eu/en/skills/about-build-skills>
34. Lavagna, M., Bessi, A., Meneghelli, A., & Moschini, P. (2019). The environmental dimension of detailed design. Experiences and future perspectives. *TECHNE - Journal of Technology for Architecture and Environment*, (18)10.13128/techne-7520

35. Naser, H., Zinecker, A., & Hageneder, C. (2021). *The EU taxonomy – what does it mean for buildings? Briefing Paper developed by PEEB.* ().UNEP. <https://globalabc.org/resources/publications/eu-taxonomy-what-does-it-mean-buildings>
36. OGC. (2007). *The integrated project team teamworking and partnering*
37. Penasa, R. (2020). *Una linea di ricerca sull'educazione al pensiero riflessivo: da dewey a schön*
38. Pope Francis. (2015). *Encyclical letter Laudato si' of the holy father Francis. On care for our common home* . Vatican Press.
39. Sant, Rita, Borg, P. Ruben. (2016). Review of Green Building Rating Tools and their Application in Malta. Paper presented at the *CESB 2016 Central Europe Towards Sustainable Building: Innovations for Sustainable Future*, 1460-1467.
40. Schmedding, A., Michalski, D., Beißwenger, K., & Diekelmann, P. (2015). *BAU KULTUR REPORT 2014/15 Built Living Spaces of the Future – Focus City*. Federal Foundation of Baukultur.
41. Schön, A., Donald. (1983). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. New York Basic Book.
42. Schön, D. A. (1987). *Educating the reflective practitioner: Toward a new design for teaching and learning in the professions*. Jossey-Bass.
43. Thaler, H. R., & Sustain, R., Cass. (2009). *Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness*. Penguin Random House.
44. United Nations Environment Programme. (2020). *2020 GLOBAL STATUS REPORT FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector.* (). Nairobi: United Nations Environment Programme. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/34572>
45. Walliman, N. (2017). *Research Methods: The Basics*. Routledge.

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Vincent, Buhagiar.

Science degree and name: B.E.&A. (Hons), M.Sc.(Lond.), Ph.D.(Wales).

Workplace and position: Professor, Faculty for the Built Environment, Dept. Environmental Design, University of Malta.

Author's research interests: Architectural Science, Indoor Environmental Quality , Detailed Simulation Tools.

Telephone and e-mail address: +356 2340 2849, vincent.buhagiar@um.edu.mt

Author name, surname: Luca, Caruso.

Science degree and name: MSc Building Engineering and Architecture (Italy)

Workplace and position: Research Scientific Officer 2, Faculty for the Built Environment, Dept. Environmental Design University of Malta.

Author's research interests: Architectural Science, Indoor Environmental Quality , Detailed Simulation Tools.

Telephone and e-mail address: +356 2340 2471, luca.caruso@um.edu.mt

DISTANCE EDUCATION STUDY MATERIAL DEVELOPMENT

Vladimirs Gudakovskis¹, Vytenis Naginevičius¹, Viktors Gutakovskis², Esmeralda Štyps¹,
Gintaras Rimša³, Edvinas Dubinskas³

¹*Kaunas University of Applied Engineering Sciences*, ²*Riga Technical University, Latvia*, ³*JSC Baltec CNC technologies*

Summary

The relevance of the topic of distance learning lies in the fact that the results of social progress, previously concentrated in the field of technology, today are concentrated in the information environment.

Distance learning makes it possible for a general exchange of information, regardless of time and space, the creation of systems for massive lifelong learning.

And, accordingly, there is a need for effective tools of the educational process. One such important tool is the electronic textbook.

KEYWORDS. Distance learning tools, electronic textbook, technology for creating Electronic Textbook.

Distance learning concept

Distance learning is a form of education that has a component composition:

- the goal due to the social order for all forms of education;
- the content determined by the current training programs for a specific educational institution;
- teaching methods;
- organizational forms;
- means (tools) of training.

Distance learning is built in accordance with the same goals and content as other forms of education. The didactic principles of organizing distance learning (principles of scientific nature, consistency, systematicity, activity, principles of developmental education, visibility, differentiation and individualization of education, etc.) are the same as in full-time education, but their implementation differs, which is due to the specifics of this form of education, and depends on the capabilities of the information environment, and differs as a system and as a process.

The most widespread type of distance learning is based on the capabilities of the Internet. This is the most inexpensive method, involving the use of telecommunication modes, e-mail, as well as the use of available network resources.

Another common way is to use media (CDs, etc.) as a basic electronic textbook. The advantage of this method is that it combines the following qualities:

- interactivity,
- multimedia,
- content of more information.

Due to these qualities, the distance learning process is largely optimized.

General structure of the distance learning system

The main actors of the educational process are: administrator, supervisor, teacher (instructor) and trainees (students). The administrator organizes the work of the training center. Supervisor organizes the educational process. It forms study groups based on training applications received over the Internet or in any other way. The teacher (instructor) prepares teaching materials, conducts group and individual consultations with students. Together with the supervisor decides on the certification of students based on the results of full-time or part-time, automated or automatic control and testing. Students are united in study groups. All students in a study group study the same training course. The number of students in the study group is not limited.

Distance learning tools

In the case of distance learning, in the hands of the teacher and the student, they act as a presentation of the content of training, control and management of the educational and cognitive activity of students.

The teacher must know these possibilities, be able to distribute educational material by various means, form a set of teaching aids (case) from them, as a system of educational information carriers, designed to solve a set of didactic tasks. Analyses of numerous sources, as well as our own research have shown that distance learning tools can be:

1. Educational books (hard copies on paper and an electronic version of textbooks, teaching aids, reference books, etc.);
2. Network teaching aids;
3. Computer training systems in conventional and multimedia versions;
4. Audio educational and informational materials;
5. Video educational and informational materials;
6. Laboratory remote workshops;
7. Simulators with remote access;
8. Databases and knowledge with remote access;
9. Electronic libraries with remote access.

In this regard, there is a need to create teaching aids that meet modern didactic concepts, the goals of distance learning and rapidly developing information and technical means.

As you can see, the perspective of distance learning is based on the wider use of the capabilities of computer and network technologies, which can generate a single information and educational space and provide the widest access to it. Such information and educational spaces can include virtual libraries, databases, consulting services, electronic textbooks and manuals, etc. At the same time, the relevance of preparing an electronic textbook that can adapt to the information and educational space arises.

Electronic textbook

An electronic textbook (in a broad sense, an electronic publication) is a collection of text, graphic, digital, speech, video, photo and other information, as well as printed user documentation. It contains a systematic presentation of an academic discipline or its section, a part corresponding to the curriculum and approved as this type of publication.

The electronic textbook is a key didactic link in the information and communication technology of education. Interactive computer programs activate all types of human activity: mental, speech, physical, perceptual, which speeds up the process of mastering educational material. An electronic textbook should make it as easy as possible to understand and memorize (and actively, not passively) the most essential concepts, statements and examples, involving in the learning process other than a normal textbook, the capabilities of the human brain, in particular, auditory and emotional memory, as well as using computer explanations. All kinds of memory must also be involved:

- HEARING MEMORY (the student hears the explanation according to the scheme);
- VISUAL MEMORY (the scheme is a constant visual support for the answer);
- VERBAL-LOGICAL MEMORY (the student builds an oral answer-retelling according to the theory being studied);
- MOTOR MEMORY (at the stage of consolidation, the student draws a diagram from memory);
- IMAGE MEMORY (the symbolism of the scheme involves the connection of associative thinking).

General requirements for electronic textbooks

Recently, there has been a change in the teaching paradigm from explanatory-illustrative teaching to active-cognitive independent activity.

Based on this, the main requirements for modern teaching aids are identified, which should be focused on increasing the student's independent work. Thus, they should be:

- easier to use;
- informative;
- visual;
- enhancing motivation to master the subject;
- be available to everyone who wants to get a full education;
- to provide training for high-class specialists;
- make extensive use of basic telecommunication facilities and modern information technologies.

Many of these requirements can be conflicting and incompatible. Therefore, the development of an electronic textbook is a difficult task solved by specialists of different profiles. An electronic textbook is presented, as a rule, in two types.

The first type is just a program copy of a regular printed edition, which has the following differences:

- the ability to enlarge the image;
- the presence of a transition to the necessary information via a hyperlink;
- obtaining additional information through footnotes.

The second type is a whole information complex, which includes:

- text;
- illustrations;
- video files;
- audio recordings;
- the ability for the student to complete tasks directly in the gadget, and the teacher to track the results of the student (via a local network, etc.).

An electronic textbook is a program that can be downloaded to any gadget:

- a separate PC;
- notebook;
- the tablet PC (tablets);
- smartphone.

Resource base of the electronic form of the textbook:

1. PCs, laptops, tablets running Windows, Android, iOS.
2. Connection to the Internet.
3. Availability of free memory on the device.
4. Ability to use an interactive whiteboard.
5. An electronic edition can be executed in any electronic medium, as well as published on an electronic computer network.

Technology for creating electronic textbooks.

The technology for creating ET (Electronic Textbook) is rather laborious and includes the following stages:

1. Determination of development goals and objectives. Depending on the learning objectives, electronic textbooks can be of the following types:

- to study individual subjects;
- subject-oriented ET for the study of individual sections of subjects in the cross-cutting study of educational material;
- subject-oriented electronic simulators with the presence of reference educational material;
- electronic automated systems for the development of abilities.

2. Development of the structure of an electronic textbook. Structure - a set of stable links of an object, ensuring its integrity.

The main difference between ET and the classic version of the textbook is that it is intended for a different learning style, in which there is no orientation towards a consistent, linear study of the material.

3. Development of content for sections and topics of the electronic textbook. There are several components in an electronic textbook:

- information block,
- practical tasks,
- test.

4. Preparation of scripts for individual programs of the electronic textbook.

An electronic textbook script is a frame-by-frame distribution of the content of a training course and its procedural part within the framework of program structures of different levels and purposes.

The procedural part includes everything that needs to be presented on the monitor screen to reveal and demonstrate the content part. Software structures of different levels are components of multimedia technologies: hypertext, animation, sound, graphics, etc. The use of these means is purposeful: to activate visual and emotional memory, to develop cognitive interest, to increase the motivation for learning.

5. Programming.

At this stage of the development of an electronic textbook, the material is transferred to programmers for implementation on a computer.

When programming a script, the participation of a psychologist, a designer is desirable since the creation of a well-planned and well-thought-out training system is impossible without taking into account psychopedagogical and design requirements.

6. Approbation.

During approbation, some errors not noticed by the developers, incorrectness, inconvenience in operation, etc. are revealed.

7. Correction based on the results of approbation.

8. Preparation methodological manual for the user [1].

Description of the electronic textbook

Like example of the typical electrical learning/teaching book can be presented platform created by the Erasmus+ program “Change4Industry” [2].

The E-learning platform can act as an on-line training tool for learners, trainers, VET institutions, manufacturing companies and individuals aiming at acquiring metalworker’s profession. The platform can be accessed following registration with the username and password. The platform have sections in five languages (EN, LT, DE, LV, and EE).

Here was established the Open Education Resource system with a focus on accessibility and easy sharing.

For creation of E-learning platform was designed a Model Qualification Standard and Galaxy Model (shown on figure 1.) modules for metalworking fields (<http://change4industry.eu/uploads/Presentation4change.pdf>):

- B1 Metal Machining;
- B2 CNC Machining;
- B3 Mechatronics;
- B4 Programming;
- B5 CAD / CAM;
- B6 Networking, IT security, Big data;
- B7 Robotics;
- B8 Additive manufacturing;
- B9 Smart production process management.

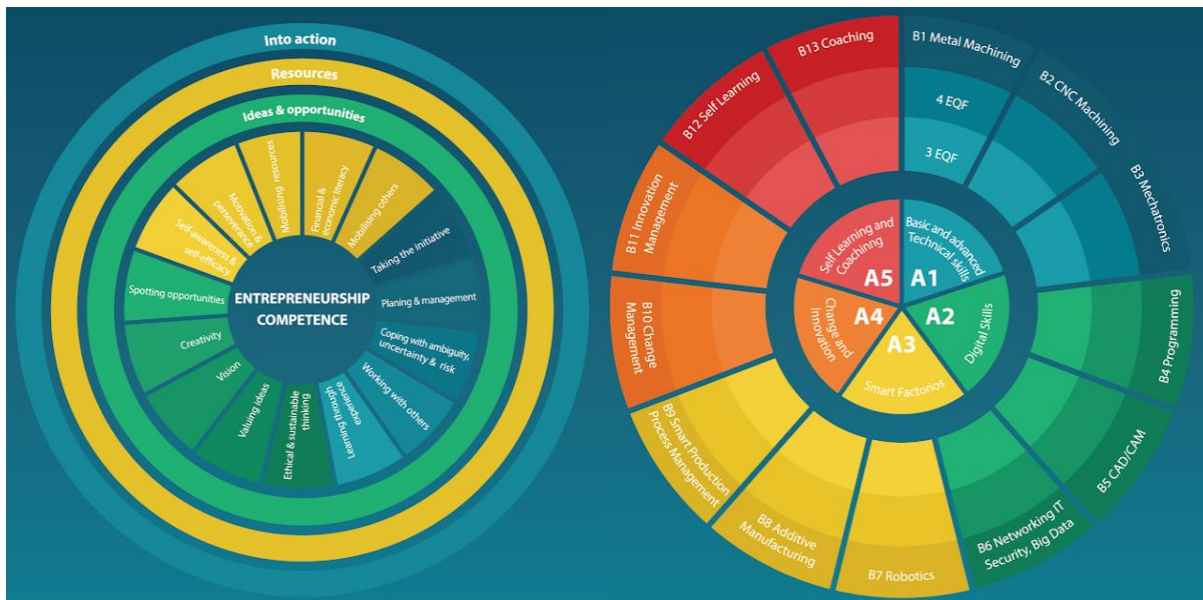


Fig. 1. Model Qualification Standard and Galaxy Model for the E-learning platform

All fields and themes are separated by competences described on the EQF standard.

For better absorption of knowledges special fields for testing of knowledges are added – Tasks, Posters, Video, Useful links, Tests and specialized programming software NC-Editor. For better understanding of the situation and process, the learner fields DASHBOARD can be used for that.

For evaluation of the initial level of the knowledges Self-test was developed. After self-evaluation process can be analyzed different way for the next educational step:

1. Selection of the courses you want to attend. For this, you can go to the EDUCATIONAL CONTENT section and select a course level (If you are here for the first time, select level 3).
2. After reading the material, you can deepen your knowledge by doing the tasks (go to WORKBOOK field) and select assignments in writing (Workbook chapters 1-8), video lessons (Workbook chapter 9) specialized programming software NC-Editor (Workbook chapter 6.2)). Programing software can be downloaded from the top line of the webpage free.
3. You can summarize the information you received by selecting the POSTERS/VIDEO section.
4. Also you can initiate the test (select "TEST" field in your level).
5. After the test you can analyze your results and check the status in the DASHBOARD section.

6. If you have enough scores, you can print a certificate.

By selection of a section “INFORMATION RESOURCES” or USEFUL LINKS you can improve your knowledge.

In the field INFORMATION RESOURCES you can find a handbook consists of ten chapters. The first chapters of the book contain basic general knowledge about mechanical processing, machine tools, devices for clamping parts, cutting tools, requirements for detail work drawings. The fifth and sixth chapters are devoted to the programming of CNC machine tools. These chapters describe the G and M codes used for programming, familiarizing with machine tool and workpiece coordinate systems, preparing the program for the machine tool, and presenting examples of programs. The latest sections of the book provide information on the organization of the workplace of the operator, the requirements for safety at work and the technical maintenance of the numerically controlled machine tools, the usage of robots in the production processes, additive manufacturing, examples of fully automated productions with industry 4.0 standard, innovation management, importance of entrepreneurial skills in modern manufacturing.

In addition to technical competence, development of digital skills, green skills, social and personal competence is covered by the material.

In the field WORKBOOK content is related with the Textbook and includes exercises based on industrial practice and sample solutions. Trainees in a Workbook can find exercises related to a particular subject practice problems. It includes exercises which are designed to provide practical training in dealing with cases encountered in modern factories.

These tasks are designed to bring training content closer to the competencies required by employers today.

The workbook includes tasks of such types:

Examples- sample solutions e. g. showing an algorithm/way how to transfer the necessary actions.

Practical tasks designed to provide practical training in acquiring the necessary skills or dealing with cases encountered in modern factories.

Visual tools, like posters and videos, can be used to aid teaching process and display in classrooms. Video clips show real world application and hands-on job tasks. A picture is worth a thousand words and animation is even more effective as part of a well-developed and thorough VET program. Multimedia ensures professional confidence and can either be used to help explain topics during teaching or as self-study programs.

Posters and multimedia:

- supports the design of training;
- promotes competent activity;
- provides structured background knowledge;
- eases the burden on the trainer.

E-learning platform is easy to find by the website address. If you need to change the language, there is a button at the top left to select the language. Click on it to select your preferred language. It is easy to create new account by filling the fields with information. It is also possible to connect to the learning system using an external account: Facebook, Google or Microsoft mail.

Once you have logged in to the site you can do the self evaluation test by taking “Self evaluation quiz”. Read the question and mark the answer. In the working area you can see the test navigation chart, which shows which question you are currently answering. You can click on the question number to open the question you want. You can also mark the question you want, there is a small table on the left.

You can the “flag” the questions to mark them in the test navigation window you are uncertain about and plan to return to later.

After finish of the test you can scroll through all the questions, highlighting which questions you have answered well and badly and giving you the correct answer to each question. Here you will also can see a scoreboard with a rating

Once the familiarization test is completed, it will be possible to resolve tests of methodological material. Additional for the teachers you can find possibilities to:

- identify learner;
- select a group of the learners;
- analyze learners data;
- analyze results of the tests;
- investigate problematic questions;
- range duration of taking the answers;
- plan special personalized learning content;
- do other statistic tasks.

Conclusion

New electronic technologies can not only ensure the active involvement of students in the educational process, but also make it possible to manage this process. The information and educational space will create a new learning environment rich in its capabilities, with the development of which the degree of student involvement in the learning process will increase.

One of the main elements of this environment is an electronic textbook, the pedagogical capabilities of which will constantly increase with the development of computer technologies.

References

1. CREATING LEARNING MATERIALS FOR OPEN AND DISTANCE LEARNING: A Handbook for Authors and Instructional Designers , Commonwealth of Learning, 2005, ISBN 1-894975-23-5 , 266.p.
2. 4CHANGE Project result learning resource <https://cnc4change.org/course/view.php?id=11§ion=0> , 2021.

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Vladimirs Gudakovskis

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

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

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

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

Author name, surname: Vytenis Naginevičius

Science degree and name: doctor of technological sciences

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

Author's research interests: mechanical engineering

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

Author name, surname: Viktors Gutakovskis

Science degree and name: Msc.,Ing.

Workplace and position: Riga Technical University, Latvia

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

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

Author name, surname: Esmeralda Štys

Science degree and name: doctor of technological sciences

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

Author's research interests: mechanical engineering

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

ISSN 2029-9303

**INŽINERINĖS IR EDUKACINĖS TECHNOLOGIJOS
2021 Nr. 1**

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

Tiražas 70 egz. 161 psl. Parengimo spaudai data 2021-06-30
Išleido Kauno technikos kolegija, Tvirtovės al. 35, LT-50155 Kaunas

www.ktk.lt

El.p. ktk@ktk.lt

Spausdino KTU spaustuvė/leidykla „Technologija“, Studentų g. 54, LT-51424 Kaunas

<http://ktu.edu/lt/leidykla>

El.p. leidykla@ktu.lt