



VILNIAUS
TECHNOLOGIJŲ
IR DIZAINO
KOLEGIJA

TECHNOLOGIJOS IR MENAS TECHNOLOGY AND ART

2023/14



TECHNOLOGIJOS IR MENAS

TECHNOLOGY AND ART

2023/14

TYRIMAI IR AKTUALIJOS
RESEARCH AND TOPICALITIES



VILNIAUS TECHNOLOGIJŲ IR DIZAINO KOLEGIJA

VILNIUS COLLEGE OF TECHNOLOGIES AND DESIGN

VILNIUS 2023

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

VYRIAUSIASIS REDAKTORIUS / EDITOR-IN-CHIEF

Dr. Vytenis Surblys

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

LIETUVIŲ KALBOS REDAKTORĖS / LITHUANIAN LANGUAGE EDITORS

Jolita Grašienė

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija / Vilnius College of Technologies and Design (LTU)
Humanitariniai mokslai / Humanitarian Science

ANGLŲ KALBOS REDAKTORĖ / ENGLISH LANGUAGE EDITOR

Svetlana Toropovienė

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija / Vilnius College of Technologies and Design (LTU)
Humanitariniai mokslai / Humanitarian Science

REDAKTORIŲ KOLEGIJA / EDITORIAL BOARD

Prof. Habil. Dr. Jozsef GAL

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

Prof. Habil. Dr. Máté Zöldy

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

Prof. Habil. Dr. Sławomir Wierbicki

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

Prof. Habil. Dr. Vytautas Bučinskas

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

Dr. Donatas Rekus

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

Prof. Habil. Dr. Šarūnas Paulikas

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

Dr. Aušra Stankiuvienė

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

Doc. Dr. Alfredas Rimkus

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

Dr. Mindaugas Grigonis

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

Dr. Aurelijus Pitrėnas

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

Dr. Ela Jarmolajeva

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

Dr. Andrius Buska

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

Dr. Asta Anikienė

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

Doc. Dr. Saugirdas Pukalskas

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

TURINYS

<i>Vaida Vasiliauskienė</i> Meteorologinių parametų įtakos kietųjų dalelių kitimui prie gatvės įvertinimas.....	5
<i>Darius Zabulionis, Olga Chabarova</i> Analytical approximation of the axial behaviour of the human vertebra subject to the axial load	10
<i>Domantas Škultinas, Saulius Nagurnas, Alfredas Rimkus</i> Lengvųjų automobilių dyzelinių variklių ekologinių parametų vertinimo aspektai	18
<i>Jurijus Tretjakovas, Stevo Borojević, Liang Zhang</i> Statistiškai neišsprendžiamo tempiamo strypo deformavimosi tyrimas	24
<i>Chris Hales</i> AI as creative partner and muse	28
<i>Otar Gelashvil, Boris Gitolendia, Luka Kemoklidze</i> Impact of online sales cargo flows on the logistic complex of Georgia's transport-transit corridor	36
<i>Paulius Beinoras, Nikolaj Višniakov, Vitalijus Rudzinskas</i> Dvifazių ir austenitinių plienų suvirintų jungčių suvirinamumo ir savybių tyrimai	39
<i>Augustas Ivaško, Saulius Nagurnas, Jurijus Zaranka</i> Sunkiasvorių transporto priemonių dyzelinio variklio ekologinių parametų tyrimas	46
<i>Jolanta Pileckienė, Jurijus Tretjakovas</i> Tilto sijos skerspjūvio geometrinių rodiklių kitimas dėl ilgalaikės korozijos	51
<i>Svetlana Toropovienė</i> Translation of technical terminology in the ESP course.....	56
<i>Jelena Selivonec, Jurijus Tretjakovas</i> Srieginės jungties vijų kerpamosios jėgos kitimo analizė keičiant vijos profilio kampą	62
<i>Audrius Čereška, Ina Tetsman, Regimantas Bareikis</i> Jonizacijos įtakos kietųjų dalelių aglomeracijai tyrimai	66
<i>Oldřich Kodym, Michal Turek, Matěj Hrouda, Václav Cempírek</i> Overview of reverse logistics in cities	73
<i>Donatas Kriaučiūnas</i> Lietuvoje pagamintų elektrinių ir hibridinių automobilių analizė.....	77
<i>Aleksandr Vika, Jelena Selivonec</i> Baigtinio elemento dydžio įtaka automobilio važiuoklės svirties įtempiams.....	82

METEOROLOGINIŲ PARAMETRŲ ĮTAKOS KIETŲJŲ DALELIŲ KITIMUI PRIE GATVĖS ĮVERTINIMAS

Vaida Vasiliauskienė

Generolo Jono Žemaičio Lietuvos karo akademija, Šilo g. 5 A, LT-10322 Vilnius

Anotacija. Pastaruosius dešimtmečius oro užterštumas kietosiomis dalelėmis tampa vis didesne miestų aplinkos oro kokybės problema. Vienas iš kietųjų dalelių šaltinių Vilniuje yra motorinės dyzelinės transporto priemonės, kurių skleidžiama tarša didėja kartu su senų transporto priemonių gausėjimu šiame mieste. Eksperimentas atliktas Vilniaus mieste, prie judrios Antakalnio gatvės, vasarą registruojant kietųjų dalelių ($KD_{2,5}$ ir KD_{10}) bei meteorologinių parametrų (aplinkos temperatūros, santykinės oro drėgmės, slėgio, vėjo greičio ir krypties) kitimą. Kietųjų dalelių koncentracija matuota GRIMM EDM 164 analizatoriumi, o meteorologinių parametrų registracijai naudota mobili meteorologinė stotelė. Nustatyta, kad tyrimo metu vidutinė KD_{10} koncentracija 154 % didesnė nei $KD_{2,5}$ koncentracija. Kietųjų dalelių koncentracijos pokyčiams prie tirtos gatvės daugiausiai įtakos turėjo meteorologiniai parametrai – santykinė oro drėgmė ir slėgis.

Reikšminiai žodžiai: kietosios dalelės, transportas, oro tarša, meteorologiniai parametrai.

Įvadas

Visame mus supančiame atmosferos ore yra daugiau ar mažiau kietųjų dalelių, dažniausiai jų kiekis yra nedidelis ir nekelia pavojaus žmogaus sveikatai, tačiau vietos, kur kietųjų dalelių koncentracija viršija leistinas normas, tampa didžiule aplinkos oro kokybės problema.

Aplinkos taršos kietosiomis dalelėmis šaltinius galima suskirstyti į natūralius ir antropogeninius. Didžiausias natūralus kietųjų dalelių šaltinis yra dirvožemis, nuo kurio, pučiant stipriam vėjui, pakeliamas nemažas dalelių kiekis. Ugnikalnių išsiveržimo, miškų gaisrų metu sklindančios dalelės, ore likusios druskos dalelės (išgaravus jūros vandeniui) taip pat laikomi natūraliais kietųjų dalelių šaltiniais (Karagulian et al., 2015).

Antropogeninės kilmės kietosios dalelės sudaro 10–20 % visų dalelių (Weijers et al., 2011). Pagrindiniai antropogeninės oro taršos šaltiniai yra katilinių bei namų ūkių iškastinio ir kietojo kuro degimo produktai. Tokio tipo kietosios dalelės susidaro ir pramonės įmonėse gamybos metu (Punsompong & Chantara, 2018). Didelis antropogeninės taršos kietosiomis dalelėmis šaltinis yra motorinės transporto priemonės, kurios ne tik tiesiogiai į aplinką išmeta kietąsias daleles, bet kartu jas pakelia ir nuo kelio dangos (Douk et al., 2018). Antropogeninės kilmės kietųjų dalelių kitokia cheminė sudėtis, todėl aplinkai ir žmogaus sveikatai jos yra pavojingesnės negu natūraliai susidarantios dalelės.

Didėjantis trumpo ir vidutinio nuotolio judumo poreikis asmeniniais ir profesinės veiklos tikslais paskatino transporto priemonių skaičiaus augimą. Dėl transporto priemonių gausos Vilniaus mieste formuojasi transporto spūstys, ilgėja kelionės trukmė, didėja kuro sąnaudos, tai lemia oro taršą. Transporto tarša Vilniuje sudaro 70–80 %, o kai kuriuose rajonuose arti judrių sankryžų – net iki 90 % visos oro taršos. Motorinės transporto priemonės į aplinką išmeta anglies dvideginį (CO_2), anglies monoksidą (CO), azoto oksidus (NO_x), angliavandenilius (CH), kietąsias daleles (KD)

(Abdallah et al., 2020). Lietuvos transporto parko didžiausią dalį (~85 %) sudaro dyzelinės transporto priemonės, kurių amžiaus vidurkis daugiau kaip 10 metų. Nors dyzelinu varomų automobilių mažesnės degalų sąnaudos nei benzinu varomų automobilių, tačiau šie automobiliai išmeta į orą didesnę azoto oksidų ir kietųjų dalelių kiekį. Užterštumas kietosiomis dalelėmis $KD_{2,5}$ (aerodinaminis skersmuo mažesnis negu 2,5 μm) ir KD_{10} (aerodinaminis skersmuo mažesnis negu nei 10 μm) yra viena aktualiausių problemų Vilniaus mieste. Oro tarša kietosiomis dalelėmis prie kelių apima ne tik degimo metu susidariusias daleles, bet ir daleles, susidarantias dylant transporto priemonių dalims, taip pat kietąsias daleles, važiuojančios transporto priemonės pakeliamas nuo kelių į orą (Srimuruganandam & Nagendra, 2010). Antakalnis yra seniausias bei didžiausias, daugiausia gyventojų turintis Vilniaus rajonas. Antakalnio gatve važiuoja daugiau kaip 1000 automobilių per valandą.

Kietųjų dalelių, nepriklausomai nuo jų susidarymo pobūdžio, skirtingas savybes lemia daugelis veiksnių, tokių kaip dydis, forma, elektros krūvis, cheminės savybės, medžiaga, iš kurios susideda dalelės, terpė, kurioje jos yra, ir kt. (Jeong et al., 2019). Kietųjų dalelių gyvavimo atmosferoje laikas kinta nuo kelių minučių iki savaičių, tas priklauso nuo dalelių dydžio ir atmosferos poveikio. Dalelių skersmuo svyruoja nuo 0,005 iki 100 μm . Ore esančios kietosios dalelės dėl gravitacijos poveikio per keliolika minučių nusėda ant paklotinių paviršių, o pačios smulkiausios dalelės gali daug ilgiau išsilaikyti ore.

Oro kokybė miestuose priklauso nuo stacionarių ir mobilių taršos šaltinių emisijų bei nuo teršalų sklaidą lemiančių veiksnių: turbulencijos, temperatūros inversijos, vėjo parametrų, kritulių (Baldauf et al., 2008; Frišmantas ir Stankavičius, 2019). Dažniausiai vėjo nebuvimas ir temperatūros inversija blokuoja konvecinį oro judėjimą, slopindami vertikalų oro maišymąsi ir sukeldami teršalų kaupimąsi atmosferos pažemio sluoksnyje (Fortelli et al., 2016;). Wise ir Comrie (2005) nustatė, kad meteorologinės sąlygos 20–50 % lemia kietųjų dalelių pokyčius miesto ore.

Aplinkos oro tarša kietosiomis dalelėmis turi reikšmingos įtakos žmonių sergamumui kvėpavimo takų, širdies ir kraujagyslių ligomis (Ngamsang et al., 2023; Zaheer et al., 2018). Didesnės kietosios dalelės (KD_{10}) paprastai paveikia viršutinius kvėpavimo takus, nukeliauja iki bronchų, dažniausiai sukeldamos kosulį ir čiaudulį (Yorifuji et al., 2015; Kalisa et al., 2018; Khaniabadi et al., 2017). Smulkiosios kietosios dalelės ($KD_{2,5}$) patenka į plaučius, kraują paveikdamos ne tik kvėpavimo, bet ir kraujotakos sistemos organus, apsunkindamos lėtinių ligų eigą, pablogindamos vidaus organų funkcijas (Cassee et al., 2013; Omidvarborna et al., 2015; Patra et al., 2023). Kietųjų dalelių poveikis žmogui priklauso nuo dalelių tipo, koncentracijos, laiko, praleidžiamo užterštoje kietosiomis dalelėmis aplinkoje, kiekvieno žmogaus jautrumo užterstumui. Kietosios dalelės ypač pavojingos naujagimiams ir vaikams iki penkerių metų, nes tampa šios amžiaus grupės vaikų 25 % sukeltų ligų mirtingumo priežastimi (Zhang et al., 2017).

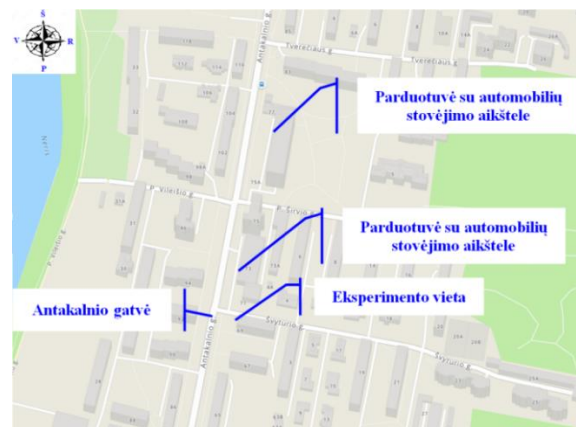
Kadangi didelė kietųjų dalelių koncentracija neigiamai veikia žmogaus sveikatą, leistinas šių dalelių kiekis ore yra reguliuojamas Europos Sąjungos ir atskirų valstybių įstatymais. Pasaulinė sveikatos organizacija rekomenduoja $KD_{2,5}$ metinės koncentracijos vidurkį $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o paros koncentracijos vidurkis – $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$; KD_{10} rekomenduojamas metinės koncentracijos vidurkis yra $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o paros koncentracijos vidurkis – $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Darbo tikslas – ištirti kietųjų dalelių pasiskirstymą prie gatvės ir nustatyti meteorologinių parametru įtaką kietųjų dalelių dinamikai.

1. Tyrimo metodika

Eksperimento vieta pasirinktas Vilniaus miesto Antakalnio rajonas, kuris užima 19,3 % miesto teritorijos, jame gyvena apie 50 000 žmonių. Šis rajonas vienas švariausių ir žaliausių Vilniaus miesto gyvenamųjų rajonų, nes miškai ir parkai sudaro apie 70 % teritorijos. Tai mažiausiu įmonių, pramonės objektų tankumu išsiskiriantis rajonas, kuriame pagrindinis oro taršos šaltinis – automobilių transportas.

Eksperimentas atliktas prie Antakalnio gatvės vasaros sezono metu. Be judrios Antakalnio gatvės, šalia eksperimento vietos yra parduotuvė su automobilių stovėjimo aikšte, kur nuo 8 iki 22 val. stebimas intensyvus automobilių judėjimas. Tyrimo laikotarpiu matuota kietųjų dalelių ir meteorologinių parametru dinamika. Eksperimentas atliktas 20 m atstumu nuo Antakalnio gatvės, mėnesį nenutrūkstamai fiksuojant ir kompiuterio duomenų bazėje kaupiant tiriamųjų parametru 1 valandos vidutines vertes.



1 pav. Eksperimento vieta
Šaltinis: sudaryta autorių

Kietųjų dalelių ($KD_{2,5}$ ir KD_{10}) nepertraukiamai koncentracijai nustatyti naudotas GRIMM EDM 164 analizatorius, kurio veikimo principas pagrįstas diodinio lazerio veikimu. Šis prietaisas gali matuoti nuo 0,25 iki 32 μm dydžio kietąsias daleles, fiksuodamas nuo 0 iki 100 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dalelių koncentraciją. Analizatorius gali veikti, kai temperatūra siekia nuo -20 iki $+60$ $^{\circ}\text{C}$, dalelių srautas – 1,4 l/min.

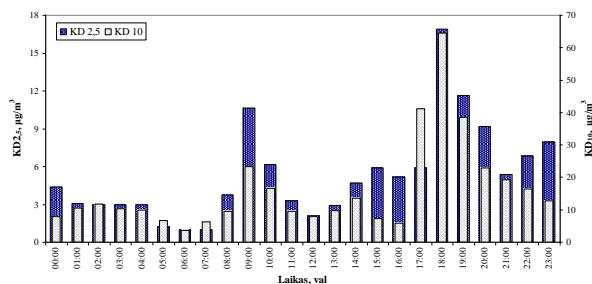
Meteorologiniai parametrai (aplinkos temperatūra, santykinė oro drėgmė, vėjo greitis ir kryptis, slėgis) registruoti mobilia WS 1080 stotele. Ši stotelė gali fiksuoti duomenis, kai temperatūra siekia nuo -40 iki $+65$ $^{\circ}\text{C}$, santykinis oro drėgnis – nuo 10 iki 100 %, slėgis – nuo 300 iki 1100 hPa, vėjo greitis – nuo 0 iki 50 m/s. Tikslėnei duomenų analizei atlikti vėjo kryptis buvo suskirstyta į 16 dalių po 22,5 laipsnius.

2. Tyrimo rezultatai ir jų analizė

Eksperimento, atlikto vasaros sezono metu, mėnesį fiksuotos meteorologinės sąlygos artimos paskutinių penkerių metų šio sezono daugiametėms vertėms. Tyrimo laikotarpiu registruota nuo 6 iki 33 $^{\circ}\text{C}$ (vidutinė – 17 $^{\circ}\text{C}$) temperatūra. Žemesnė kaip 10 $^{\circ}\text{C}$ temperatūra fiksuota < 3 %, didesnė kaip 25 $^{\circ}\text{C}$ temperatūra – tik 6 % eksperimento trukmės. Eksperimento metu santykinė oro drėgmė kito nuo 34 iki 83 % (vidutinė – 59 %), o slėgis 985 – 1008 hPa. Vyravo silpnas vėjas ir didesnis kaip 1,9 m/s vėjo greitis nebuvo registruotas. Nustatytas ilgas štiliaus (30 % eksperimento laiko) ir silpno vėjo (< 0,5 m/s) laikotarpis (46 % eksperimento laiko). Laikotarpis, kuomet pūtė stipresnis nei 1 m/s vėjas, siekia 6 %. Vyravo pietų (53 % laiko) ir šiaurės (37 % laiko) krypties vėjas (išilgai gatvės).

Tyrimo metu $KD_{2,5}$ koncentracija prie tirtos gatvės kito 1,0–25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o KD_{10} koncentracija – 3,6–73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Vidutinės $KD_{2,5}$ ir KD_{10} koncentracijų vertės skirtingomis tirtos mėnesio dienomis skyrėsi iki 75 %.

Kietųjų dalelių ($KD_{2,5}$ ir KD_{10}) koncentracijos prie Antakalnio gatvės kitimas per parą pateiktas 2 paveiksle.

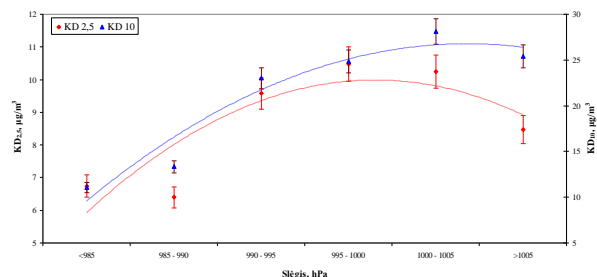


2 pav. KD_{2,5} ir KD₁₀ koncentracijos kitimas per parą
Šaltinis: sudaryta autorių

Atlikus kietųjų dalelių (KD_{2,5} ir KD₁₀) koncentracijos prie tirtos gatvės matavimus gauta, kad šių teršalų koncentracijos pasiskirstymas per parą netolygus ir susijęs su transporto srautais. Tiek smulkiųjų (KD_{2,5}), tiek stambiųjų (KD₁₀) kietųjų dalelių koncentracijos padidėjimas fiksuotas automobilių eismo suintensyvėjimo metu ryte (8–11 val.) ir vakare (17–21 val.), t. y. automobilių spūsties metu. Vakare automobilių spūsties metu fiksuota vidutinė KD_{2,5} koncentracija siekia 64 %, o KD₁₀ koncentracija 59 %, didesnė nei transporto spūsties metu ryte. Tačiau buvo dienų, kai transporto spūsties valandomis ryte buvo fiksuota didesnė kietųjų dalelių koncentracija nei vakare. Be to, kietųjų dalelių dinamiką prie gatvės lemia ir meteorologinės sąlygos.

Vertinant meteorologinių parametų įtaką smulkiųjų (KD_{2,5}) ir stambiųjų (KD₁₀) kietųjų dalelių koncentracijai prie gatvės atlikta tiriamų parametų koreliacinio ryšio paieška ir apskaičiuoti koreliaciniai koeficientai. Tyrimo metu pučiantis silpnas ir pastovios krypties (palei gatvę) vėjas teršalo koncentracijai prie gatvės nebuvo reikšmingas. Silpnas vėjas apribojo turbulencinius procesus tiriamoje vietoje ir lėmė kietųjų dalelių koncentracijos svyravimą. Kiti mokslininkai (Li et al., 2015; Sirithian & Thanatrakolsri 2022) taip pat nustatė, kad vėjo įtaka kietųjų dalelių variacijoms nėra ženkli arba daugeliu atvejų stebimas neigiamas koreliacinis ryšys. Šio tyrimo metu tarp aplinkos temperatūros ir kietųjų dalelių koncentracijos nustatytas silpnas teigiamas koreliacinis ryšys, fiksuojant didesnę temperatūros įtaką KD₁₀ negu KD_{2,5} koncentracijai. Khobragade ir Ahirwar (2022) taip pat išvelgė kietųjų dalelių ir temperatūros teigiamą ryšį. Nustatyta, kad šio eksperimento metu didžiausią įtaką kietųjų dalelių sklaidai prie gatvės turėjo slėgis ir santykinė oro drėgmė.

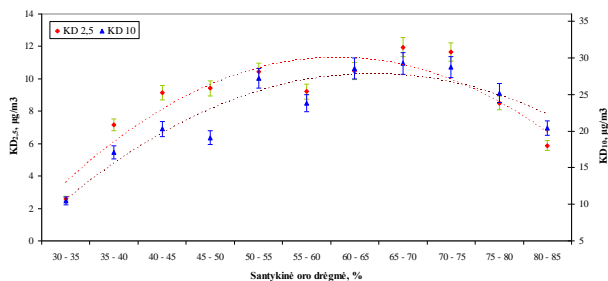
Pastebėjus slėgio ir drėgmės didžiausią poveikį kietųjų dalelių pokyčiams prie gatvės atliktas eksperimentinių duomenų grupavimas pagal šiuos kintamuosius ir analizė. Pradžioje ieškota kietųjų dalelių (KD_{2,5} ir KD₁₀) koncentracijos ir slėgio tarpusavio ryšio (3 pav.).



3 pav. KD_{2,5} ir KD₁₀ koncentracijos priklausomybė nuo slėgio
Šaltinis: sudaryta autorių

Dažniausiai (58 %) tyrimo laikotarpiu vyravo 995 – 1005 hPa slėgis, iki 990 hPa slėgis registruotas tik 7 % eksperimento trukmės. Gauti tyrimo duomenys rodo, kad kietųjų dalelių KD_{2,5} ir KD₁₀ koncentracija prie gatvės didėja kartu su augančiu slėgiu. Didžiausia KD_{2,5} (10 µg/m³) ir KD₁₀ (28 µg/m³) koncentracija nustatyta, kai slėgis 1000 – 1005 hPa. KD_{2,5} koncentracija, kai slėgis 1000–1005 hPa, registruojama 51 %, o KD₁₀ 154 % didesnė, negu kai slėgis mažesnis už 985 hPa. Kai slėgis padidėja daugiau kaip 1005 hPa, fiksuotas nedidelis kietųjų dalelių koncentracijos sumažėjimas, kuris gali būti susijęs su mažesne oro temperatūra.

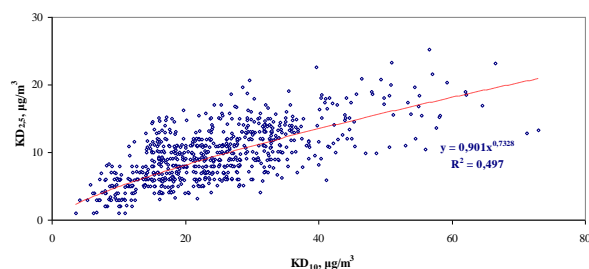
Vėliau tirtas kietųjų dalelių (KD_{2,5} ir KD₁₀) koncentracijos ir santykinės oro drėgmės tarpusavio ryšys (4 pav.).



4 pav. KD_{2,5} ir KD₁₀ koncentracijos priklausomybė nuo santykinės oro drėgmės
Šaltinis: sudaryta autorių

50–70 % drėgmė fiksuota pusę tyrimo laiko, o didesnė kaip 70 % drėgmė – 24 % laiko. Tyrimo duomenys rodo, kad didėjant santykinėi oro drėgmei didėja tiek KD_{2,5}, tiek KD₁₀ koncentracija. Nereikšmingas kietųjų dalelių koncentracijos sumažėjimas, kai santykinė oro drėgmė didesnė nei 75 %, gali būti susijęs su vėjo greičio padidėjimu, fiksuotu padidėjus drėgmei (> 75 %). Nustatyta, kad tyrimo laikotarpiu, kai drėgmė < 35 %, vidutinė KD_{2,5} koncentracija 75 %, o KD₁₀ koncentracija 59 % mažesnė nei esant 70–75 % drėgmei. Reikšmingas santykinės oro drėgmės poveikis kietųjų dalelių koncentracijai nustatytas ir kitų mokslininkų atliktuose tyrimuose (Kliengchuay et al., 2021; Wu et al., 2013;).

Atliktas koreliacinis tyrimas, ieškant ryšio tarp KD_{2,5} ir KD₁₀ koncentracijos (5 pav.).



5 pav. Ryšys tarp $KD_{2,5}$ ir KD_{10} koncentracijos
Šaltinis: sudaryta autorių

Tirtoje Antakalnio gatvėje $KD_{2,5}$ ir KD_{10} koncentracijos pasiskirstymas perteiktas laipsnine lygtimi. Tarp kietųjų dalelių ($KD_{2,5}$ ir KD_{10}) nustatytas stiprus koreliacinis ryšys, gautas koreliacijos koeficientas 0,71. Tyrimo duomenys rodo, kad stipresnis $KD_{2,5}$ ir KD_{10} ryšys fiksuojamas vyraujant iki $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ KD_{10} koncentracijai. Vadinasi, smulkiosios kietosios dalelės ($KD_{2,5}$) daro įtaką stambiujų dalelių (KD_{10}) susidarymui, ypač iki vidutinio dydžio šio teršalo koncentracijos vertės. Nustatyta, kad tyrimo laikotarpiu mažiausios ir didžiausios $KD_{2,5}$ sudaro 28–35 % KD_{10} vertės.

Išvados

1. Tiriamoje vietovėje kietųjų dalelių susidarymą lėmė transporto eismo intensyvumas, todėl didesnė kietųjų dalelių koncentracija nustatyta transporto priemonių spūsčių metu. Didžiausios $KD_{2,5}$ koncentracijos vertės skirtingomis dienomis skyrėsi iki 64 %, o KD_{10} – iki 75 %.
2. Tarp $KD_{2,5}$ ir KD_{10} nustatytas statistiškai reikšmingas stiprus ryšys, fiksuojant tarp šio dydžio dalelių 0,71 Pirsono koreliacijos koeficientą. Eksperimento metu nustatyta vidutinė $KD_{2,5}$ koncentracija sudaro 40 % KD_{10} koncentracijos.
3. Didžiausia per mėnesį nustatyta vidutinė paros $KD_{2,5}$ koncentracija $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o KD_{10} koncentracija $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ neviršijo leistino paros koncentracijos vidurkio ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ir $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atitinkamai).
4. Svarbiausi meteorologiniai veiksniai, kurie daugiausiai turėjo įtakos kietųjų dalelių ($KD_{2,5}$ ir KD_{10}) koncentracijos kitimui prie tirtos gatvės, yra santykinė oro drėgmė ir slėgis. Gautas statistiškai reikšmingas teigiamas ryšys tarp $KD_{2,5}$ ir drėgmės 0,91 bei KD_{10} ir drėgmės 0,94, taip pat tarp $KD_{2,5}$ ir slėgio 0,86 bei KD_{10} ir slėgio 0,96.

Literatūra

Abdallah, C., Afif, C., Sauvage, S., Borbon, A., Salameh, A., Kfoury, T., Leonardis, T., Karam, C., Formenti, P., Doussin, J. F., Locoge, N., & Sartelet, K. (2020). Determination of gaseous and particulate emission factors from road transport in a Middle Eastern capital. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 83, 102361. doi.org/10.1016/j.trd.2020.102361.

Baldauf, R., Thoma, E., Hays, M., Shores, R., Kinsey, J., Gullett, B., Kimbrough, S., Isakov, V., Long, T., Snow, R., Khlystov, A., & Bang, J. (2008). Traffic and meteorological impacts on near-road air quality: summary of methods and trends from the Raleigh near-road study. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 58(7), 865–878. doi.org/10.3155/1047-3289.58.7.865.

Cassee, F. R., Heroux, M. E., Gerlofs-Nijland, M. E., Kelly, F. J. (2013). Particulate matter beyond mass: recent health evidence on the role of fractions, chemical constituents and sources of emission. *Inhalation Toxicology*, 25(14), 802–812. doi.org/10.3109/08958378.2013.850127.

Douki, T., Corbière, C., Preterre, D., Martin, P. J., Lecureur, V., André, V., Landkocz, Y., Pottier, I., Keravec, V., Fardel, O., Moreira-Rebello, S., Pottier, D., Vendeville, C., Dionnet, F., Gosset, P., Billet, S., Monteil, C., & Sichel, F. (2018). Comparative study of diesel and biodiesel exhausts on lung oxidative stress and genotoxicity in rats. *Environmental Pollution*, 235, 514–524. doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.077.

Fortelli, A., Scafetta, N., & Mazzarella, A. (2016). Influence of synoptic and local atmospheric patterns on PM_{10} air pollution levels: a model application to Naples (Italy). *Atmospheric Environment*, 143, 218–228. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.08.050.

Frišmantas, D., & Stankavičius, G. (2019). Didelio oro užterštumo epizodų meteorologinės sąlygos Vilniuje. *Geologija. Geografija*, 5(1), 1–13. doi.org/10.6001/geol-geogr.v5i1.399.

Jeong, C. H., Wang, J. M., Hilker, N., Debosz, J., Sofowote, U., Su, Y., Noble, M., Healy, R. M., Munoz, T., Dabek-Zlotorzynska, E., Celis, V., & Evans, G. J. (2019). Temporal and spatial variability of traffic-related $PM_{2,5}$ sources: comparison of exhaust and non-exhaust emissions. *Atmospheric Environment*, 198, 55–69. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.10.038.

Kalisa, E., Nagato, E. G., Bizuru, E., Lee, K. C., Tang, N., Pointing, S. B., Hayakawa, K., Archer, S. D. J., & Lacap-Bugler, D. C. (2018). Characterization and Risk Assessment of Atmospheric $PM_{2,5}$ and PM_{10} Particulate-Bound PAHs and NPAHs in Rwanda. Central-East Africa. *Environmental Science and Technology*, 52(21), 12179–12187. doi.org/10.1021/acs.est.8b03219.

Karagulian, F., Belis, C. A., Dora, C. F. C., Prüss-Ustün, A. M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H., & Amann, M. (2015). Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. *Atmospheric Environment*, 120, 475–483. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.087.

Khaniabadi, Y. O., Goudarzi, G., Daryanoosh, S. M., Borgini, A., Tittarelli, A., & De Marco, A. (2017). Exposure to PM_{10} , NO_2 , and O_3 and impacts on human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(3), 2781–2789. doi.org/10.1007/s11356-016-8038-6.

Khobragade, P. P. and Ahirwar, A. V. (2022). Exploring temporal variation of $PM_{2,5}$ and PM_{10} and their association with meteorological data in Raipur, Chhattisgarh. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1032, 012035. doi.org/10.1088/1755-1315/1032/1/012035.

Kliengchuay, W., Worakhunpiset, S., Limpanont, Y., Meeyai, A. C., & Tantrakarnapa, K. (2021). Influence of the meteorological conditions and some pollutants on PM_{10} concentrations in Lamphun, Thailand. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 19(1), 237–249. doi.org/10.1007/s40201-020-00598-2.

Li, Y., Chen, Q., Zhao, H., Wang, L., & Tao, R. (2015). Variations in PM_{10} , $PM_{2,5}$ and $PM_{1,0}$ in an urban area of the Sichuan Basin and their relation to meteorological factors. *Atmosphere*, 6(1), 150–163. doi.org/10.3390/atmos6010150.

Ngamsang, P., Amnuaylojaroen, T., Parasin, N., & Pimonsree, S. (2023). Health Impact Assessment of Short-Term Exposure to Particulate Matter (PM₁₀) in Northern Thailand. *Journal of Environmental and Public Health*, 29; 1237768. doi.org/10.1155/2023/1237768.

Omidvarborna, H., Kumar, A., & Kim, D. (2015). Recent studies on soot modeling for diesel combustion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 635–647. doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.019.

Patra, N. A. K., Kolluru, S. S. R., Dubey, R., & Kumar, S. (2023). Occupational exposure to respirable and diesel particulate matter at a highway toll station in India. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14, 1–18. doi.org/10.1007/s13762-023-04853-5.

Punsompong, P. and Chantara, S. (2018). Identification of potential sources of PM₁₀ pollution from biomass burning in northern Thailand using statistical analysis of trajectories. *Atmospheric Pollution Research*, 9(6), 1038–1051. doi.org/10.1016/j.apr.2018.04.003.

Sirithian, D. and Thanatrakolsri, P. (2022). Relationships between Meteorological and Particulate Matter Concentrations (PM_{2.5} and PM₁₀) during the Haze Period in Urban and Rural Areas, Northern Thailand. *Air, Soil and Water Research*, 15(1), doi.org/10.1177/11786221221117264.

Srimuruganandam, B. and Nagendra, S. M. S. (2010). Analysis and interpretation of particulate matter–PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ emissions from the heterogeneous traffic near an urban roadway. *Atmospheric Pollution Research*, 1(3), 184–194. doi.org/10.5094/APR.2010.024.

Weijers, E. P., Schaap, M., Nguyen, L., Matthijsen, J., Denier van der Gon, H. A. C., ten Brink, H. M., & Hoogerbrugge, R. (2011). Anthropogenic and natural constituents in particulate matter in the Netherlands. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, 2281–2294. doi.org/10.5194/acp-11-2281-2011.

Wise, E. K. and Comrie, A. C. (2005). Meteorologically Adjusted Urban Air Quality Trends in the Southwestern United States. *Atmospheric Environment*, 39(16), 2969–2980. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.01.024.

Wu, D. L., Lin, M., Chan, C. Y., Li, W. Z., Tao, J., Li, Y. P., Sang, X. F., & Bu, C. W. (2013). Influences of commuting mode, air conditioning mode and meteorological parameters on the particle (PM_{2.5}) exposure levels in traffic microenvironments. *Aerosol and Air Quality Research*, 13(2), 709–720. doi.org/10.4209/aaqr.2012.08.0212.

Yorifuji, T., Bae, S., Kashima, S., Tsuda, T., Doi, H., Honda, Y., Kim, H., & Hong, Y. C. (2015). Health impact assessment of PM₁₀ and PM_{2.5} in 27 Southeast and East Asian cities. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 57(7), 751–756. doi.org/10.1097/JOM.0000000000000485.

Zaheer, J., Jeon, J., Lee, S.-B., & Kim, J. S. (2018). Effect of Particulate Matter on Human Health, Prevention, and Imaging Using PET or SPECT. *Progress in Medical Physics*, 29(3), 81–91. doi.org/10.14316/pmp.2018.29.3.81.

Zhang, Y., Peng, M., Yu, C., & Zhang, L. (2017). Burden of mortality and years of life lost due to ambient PM₁₀ pollution in Wuhan, China. *Environmental Pollution*, 230, 1073–1080. doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.053.

EVALUATION OF THE IMPACT OF METEOROLOGICAL PARAMETERS ON THE VARIATION OF PARTICULATE MATTER NEAR THE STREET

Vaida Vasiliauskienė

General Jonas Žemaitis Military Academy of Lithuania

Summary. Over the past decades, the particulate-matter air pollution has become an increasingly relevant problem in terms of urban ambient air quality. One of the major sources of particulate matter in Vilnius is diesel motor vehicles emitting the pollution which is increasing along with the number of old vehicles in the city. The experiment was carried out in Vilnius city near the crowded Antakalnis street by recording the variation of particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) and meteorological parameters (ambient temperature, relative air humidity, pressure, wind speed and direction) during the summer time. A GRIMM EDM 164 analyzer was used to measure the particulate matter concentration, and a mobile weather station was used to record meteorological parameters. During the study period, the average PM₁₀ concentration was found to be 154% higher than PM_{2.5} concentration. The meteorological parameters that had the largest impact on the variation of the particulate matter concentrations near the investigated street were relative air humidity and pressure.

Key words: particulate matter, transport, air pollution, meteorological parameters.

ANALYTICAL APPROXIMATION OF THE AXIAL BEHAVIOUR OF THE HUMAN VERTEBRA SUBJECT TO THE AXIAL LOAD

Darius Zabulionis, Olga Chabarova

Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio av. 11, LT-10223 Vilnius

Abstract. The present article gives an analytical methodology for modelling the axial behaviour of a vertebra subject to the axial load. The methodology is based on the evaluation of the axial stiffness of the vertebra as a linear elastic-perfectly plastic solid body consisting of the cortical shell and the trabecular bone. Only the uniaxial normal stresses are taken into account in the proposed methodology. The Poisson ratio is ignored. The geometrical shape of the cross-sections of the vertebra is ignored, and only the areas of the cross-sections are taken into consideration in the proposed methodology. The proposed compressive force-displacement relationships take into account the variation of the transversal cross-sections areas of a vertebra with respect to the height of the vertebra.

The verification of the proposed methodology was conducted by using the finite element modelling result of the particular vertebra. The vertebra numerical model was obtained from the computer tomography scan results of the real lumbar vertebra of a person. The analysis showed that even a simple shape approximation of a vertebra as a cylinder with a constant cross-section area allows the exact prediction of the failure compressive load of a vertebra.

Keywords: human vertebra; human vertebra failure load; vertebra compressive load-displacement behaviour, analytical approximation of the vertebra compressive load-displacement behaviour.

Introduction

The permissible or allowable axial load of a vertebra is an important problem for humans with osteoporotic vertebrae (Panjabi et al., 1998). Along with the experimental investigations of the permissible or maximum bearing force of the vertebra, the theoretical investigations are performed mainly by using numerical finite element modelling techniques. However, the usage of the finite element method (FEM) can be a complicated task and the obtained results are inadequate in comparison to the scope of the problem that must be solved: to get or to determine the mechanical and geometrical properties of the vertebra bones, at least the elastic constants of the cortical shell and the trabecular bones must be known; to prepare and to solve a numerical model; to analyse and to interpret the results and so on. It should be noticed that the determination of the elastic constants of the bones of the vertebra probably is the main issue in the modelling of the mechanical behaviour of vertebrae.

Thus, universal and powerful methodologies also demand very comprehensive knowledge of the object under investigation. For example, so-called the Ramberg–Osgood stress–strain physical model of the bone can be used to model the mechanical behaviour of the bones. This model is non-linear with respect to the stresses and the loading strain rate and depends on 4 parameters (Hight & Brandeau, 1983) which determination can be complicated since demands at least a bigger sample in comparison to the sample that is required to determine the elastic constants: modulus of elasticity, shear modulus, and the Poisson ratio. Things become even more complicated due to the fact that the object of the investigation i. e. human vertebrae very often is still of alive human. And the osteoporotic degradation level, as a rule, is determined indirectly. For example, the so-called trabecular bone score (TBS) (Poethuau et al., 2008; Rajan et al., 2020) or the bone

volume–total volume ratio (BV/TV) (Klintström et al. 2014) are used to characterize the level of the osteoporosis of the vertebrae. Both indexes can only indirectly refer to the mechanical properties of the vertebra bones.

The mechanical properties of the bones are one kind of the problem. Another problem is to determine the geometry of the vertebra. To do it directly for alive humans is not possible. Usually, computer tomography is used to measure the dimensions of vertebrae (Yao et al., 2012). The determination of the cortical shell thickness is an even more complicated problem since the trabecular bone is embedded in the shell, and may vary depending on the cross-section position of the vertebra (Ritzel et al., 1997).

The variability of the mechanical properties of bones and the dimensions of the constituent parts of a vertebra is also significant. According to (Roy et al., 2008), the coefficient of variation of the modulus of elasticity of the cortical shell bone and trabeculae can reach up to 18.9% and 17.8%, respectively. The coefficient of variation of the cortical shell thickness can be 24.5% (Fields et al., 2009) or even 62.4% (Roux et al., 2010).

Along with the mentioned factors, the total error of the computation also depends on the uncertainty of the theoretical assumptions on whose base a computation methodology is based. Therefore, finally, we can state that the total error of the computation depends on many factors, and the usage of the finite element method very often is not effective.

The methodology to estimate the axial compression behaviour of a vertebra under the axial force is proposed in the present article. The verification of the proposed methodology was conducted by comparing the results obtained by the finite element model. The analysis shows that the proposed methodology can be used as a practical tool to estimate the failure load of a vertebra under the compression.

1. Modelling of the force-displacement behaviour of a vertebra

Assumptions:

- only the vertebral body is taken into consideration, spinous process, and transverse process are not taken into consideration
- a vertebra consists of two homogeneous solid phases: the trabecular bone and the cortical shell
- the plane section hypothesis is valid for vertebrae transverse cross-sections
- the trabecular and cortical shell bones are isotropic and obey the linear elastic – perfectly plastic law, see Fig. 1
- the effect of the Poisson ratio of the trabecular and cortical shell bones on the load-displacement behaviour is ignored
- only the normal stresses are taken into account in the analysis
- the influence of the intervertebral discs is ignored
- the cortical shell is perfectly connected with the trabecular bone and the cortical shell interacts with the trabecular bone by their entire surfaces
- the vertebra trabecular and cortical shell bones interact with the loading plates without friction

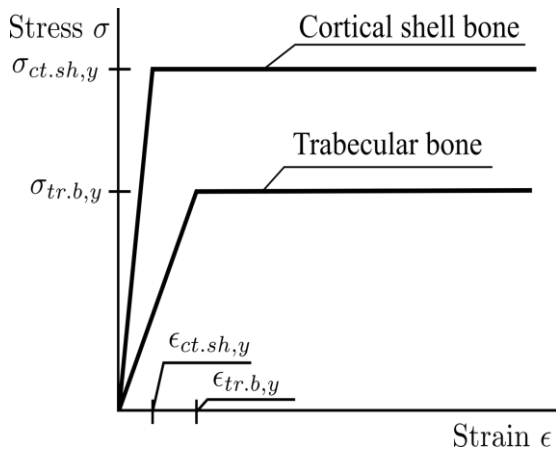


Fig 1. Principal stress-strain diagrams of the cortical shell and trabecular bones

The principal view of the vertebra and its coordinate system is shown in Fig 2. The goal of the present investigation is to model the vertical displacements $s(h)$ of the top plane of the vertebra, see Fig 2.

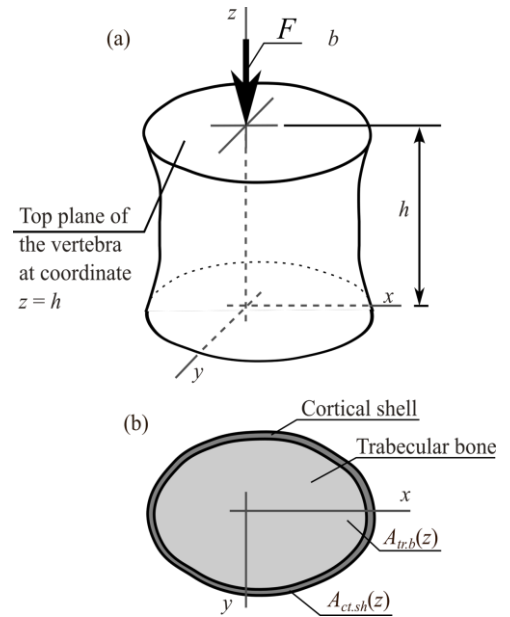


Fig 2. Principal view of the vertebra under investigation: general view (a), and a cross-section at coordinate z (b)

Due to assumed plane section hypothesis and the elastic perfectly plastic stress-strain diagrams of the trabecular and cortical shell bones there is a displacement at which the stresses of the trabecular bone are equal to the yield point in the entire cross section of the trabecular bone, i.e., $\sigma_{tb.b} = \sigma_{tr.b,y}$. Also, there is a displacement at which the stresses of the cortical shell bone are equal to the yield point in the entire cross section of the cortical shell, i.e., $\sigma_{ct.sh} = \sigma_{ct.sh,y}$. Therefore, the principle force-displacement diagram of a vertebra has two characteristic points, see Fig 3, A and B that correspond the conditions when the maximum stresses of a cross section of vertebra reach the yield points. Two cases are possible:

- Case I, when point A, see Fig 3, corresponds to the case when the trabecular bone maximum stresses equal the yield point, $\max_{z \in \{0,h\}} \{\sigma_{tb.b}(z)\} = \sigma_{tr.b,y}$, and stresses of the cortical shell bone are less than the yield point, i.e. $\max_{z \in \{0,h\}} \{\sigma_{ct.sh}(z)\} < \sigma_{ct.sh,y}$.
- Case II, when point B, see Fig. 3, corresponds to the case when the cortical shell bone maximum stresses equal the yield point, $\max_{z \in \{0,h\}} \{\sigma_{ct.sh}(z)\} = \sigma_{ct.sh,y}$, and stresses of the trabecular bone are less than the yield point, i.e. $\max_{z \in \{0,h\}} \{\sigma_{tb.b}(z)\} < \sigma_{tr.b,y}$.

In both cases I and II point B corresponds the stress-strain state when the stresses of the cortical shell bone and the trabecular bone equal the corresponding yield limits:

$$\max_{z \in \{0,h\}} \{\sigma_{tb.b}(z)\} = \sigma_{tr.b,y}$$

and

$$\max_{z \in \{0,h\}} \{\sigma_{ct.sh}(z)\} = \sigma_{ct.sh,y}$$

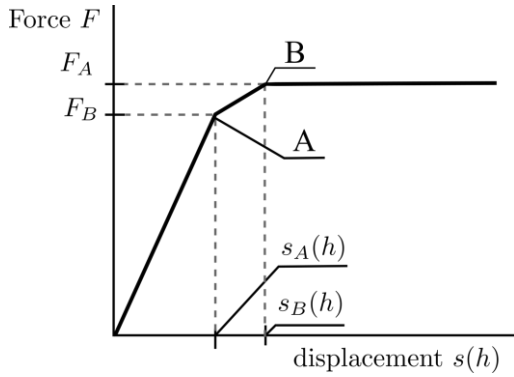


Fig 3 Principal force-displacement diagrams of a vertebra

The moduli of the cortical shell and the trabecular bone are different, also their yield points are different, therefore one of the following conditions must be valid:

Stress-strain state 1. The maximum stresses of the trabecular bone and the cortical shell bone are less than the corresponding yield points:

$$\max_{z \in [0, h]} \{\sigma_{tr.b}(z)\} < \sigma_{tr.b,y} \quad \text{and} \quad (1)$$

$$\max_{z \in [0, h]} \{\sigma_{ct.sh}(z)\} < \sigma_{ct.sh,y} \quad (2)$$

where $s(h) \in [0, s_A(h)[$, and $\sigma_{ct.sh,y}$ and $\sigma_{tr.b,y}$ are yield points of the cortical shell and trabecular bone respectively; $s_A(h)$ is the displacement at point A, see Fig 3.

Stress-strain state 2. The stresses of the cortical shell bone are equal to the yield point, while the trabecular bone stresses are less than the yield point:

$$\max_{z \in [0, h]} \{\sigma_{tr.b}(z)\} < \sigma_{tr.b,y} \quad \text{and} \quad (3)$$

$$\max_{z \in [0, h]} \{\sigma_{ct.sh}(z)\} = \sigma_{ct.sh,y} \quad (4)$$

where $s(h) \in [s_A(h), s_B(h)[$; $s_B(h)$ is the displacement at point B, see Fig 3.

Stress-strain state 3. The stresses of the trabecular bone are equal to the stresses of the yield point, while the cortical shell stresses are less than the yield point:

$$\max_{z \in [0, h]} \{\sigma_{tr.b}(z)\} = \sigma_{tr.b,y} \quad \text{and} \quad (5)$$

$$\max_{z \in [0, h]} \{\sigma_{ct.sh}(z)\} < \sigma_{ct.sh,y} \quad (6)$$

where $s(h) \in [s_A(h), s_B(h)[$.

Stress-strain state 4. The stresses of the trabecular bone and the cortical shell are equal to the corresponding yield points

$$\max_{z \in [0, h]} \{\sigma_{tr.b}(z)\} = \sigma_{tr.b,y} \quad \text{and} \quad (7)$$

$$\max_{z \in [0, h]} \{\sigma_{ct.sh}(z)\} = \sigma_{ct.sh,y} \quad (8)$$

where $s(h) \in [s_B(h), \infty[$.

Under the given assumptions we can govern the following equations necessary for the modelling of the load-displacement behaviour of a vertebra.

Stress-strain state 1. The maximum stresses of the trabecular bone and the cortical shell are less than the yield point:

The displacement of the top plane of the vertebra, see Fig 2, generally can be expressed as follows:

$$s(h) = \int_0^h \epsilon(z) dz \quad (9)$$

where ϵ is the linear strain in direction z due to the normal stresses σ , for the vertebra consisting of the two components – the trabecular bone and the cortical shell the normal strain can be expressed according to the following well known formula for the layered rods:

$$\epsilon(z) = \frac{F}{A_{tr.b}(z)E_{tr.b} + A_{ct.sh}(z)E_{ct.sh}} \quad (10)$$

where $A_{tr.b}$ and $A_{ct.sh}$ are the cross-sections of the trabecular bone and the cortical shell respectively; $E_{tr.b}$ and $E_{st.sh}$ are their corresponding modules of elasticity; F is the axial force. The areas $A_{tr.b}$ and $A_{ct.sh}$ depend on the coordinate z ; while the modules of elasticity $E_{tr.b}$ and $E_{ct.sh}$ are uniform and do not depend on z . For the further considerations it is worth to introduce the axial stiffness notation as follows:

$$B(z) = B_{tr.b}(z) + B_{ct.sh}(z) = A_{tr.b}(z)E_{tr.b} + A_{ct.sh}(z)E_{ct.sh} \quad (11)$$

Combining Eqs. (9), (10) and (11) we get:

$$s(h) = F \int_0^h \frac{1}{B(z)} dz \quad (12)$$

From Eq. (12) we can express the force F depending on the displacement of the top plane A $s(h)$:

$$F = \frac{s(h)}{\int_0^h \frac{1}{B(z)} dz} \quad (13)$$

In Eqs. (12) and (13), the definite integral is Riemann integral:

$$\int_0^h \frac{1}{B}(z) dz = \lim_{\max_{i \in \{1, n\}} \{z_{i+1} - z_i\} \rightarrow 0} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(z_{i+1} - z_i)}{B(\xi_i)} \quad (14)$$

where $\xi_i \in [z_i, z_{i+1}]$, $z_0 = 0$, $z_n = h$, and $z_0 < \dots < z_i < z_{i+1} < \dots < z_n$

and B is defined in Eq. (11).

Therefore, the displacement $s(h)$ depending on the force F , or the force F depending on the displacement $s(h)$ can be expressed approximately as follows:

$$s(h) \approx \hat{s}(h) = F \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(z_{i+1}-z_i)}{B(\xi_i)} \quad (15)$$

$$F \approx \hat{F} = \frac{s(h)}{\sum_{i=0}^{n-1} \frac{(z_{i+1}-z_i)}{B(\xi_i)}} \quad (16)$$

In Eqs. (15) and (16), $\hat{s}(h) \rightarrow s(h)$ and $\hat{F} \rightarrow F$ as $n \rightarrow \infty$. Eqs. (15) and (16) can be useful when it is difficult or even not possible to evaluate exactly the integral $\int_0^h 1/B(z)dz$.

It should be noticed, that from the point of view of the material mechanics, if B is an axial stiffness of a vertebra cross-section, then $K = 1/\int_0^h 1/B(z)dz$ is the axial stiffness of the vertebra.

Obtained Eqs. (10), (12), (13), (15) and (16) are valid only for the case when the maximum stresses of the cortical shell and the trabecular bone are less than the corresponding yield points, i.e., when Eqs. (1) and (3) are valid.

For practical purpose, the more useful and more convenient conditions for the validity of Eqs. (10), (12), (13), (15) and (16) are the following:

$$\max_{z \in [0,h]} \{E_{ct.sh} \frac{F}{B(z)}\} \leq \sigma_{ct.sh,y} \quad \text{and} \quad (17)$$

$$\max_{z \in [0,h]} \{E_{tr.b} \frac{F}{B(z)}\} \leq \sigma_{tr.b,y} \quad (18)$$

When Eqs. (3) and (6) or Eqs. (17) and (18) do not hold, then the maximum trabecular bone stresses

$$\max_{z \in [0,h]} \{\sigma_{tr.b}(z)\} = \sigma_{tr.b,y} \quad \text{and} \quad (19)$$

$$\max_{z \in [0,h]} \{\sigma_{ct.sh}(z)\} = \sigma_{ct.sh,y}. \quad (20)$$

Stress-strain state 2. The stresses of the cortical shell bone are equal to the yield point, while the trabecular bone stresses are less than the yield point

In this case, the stresses of the cortical shell bone $\sigma_{ct.sh} = \sigma_{ct.sh,y}$ in the cortical shell bone domain of a particular cross-section of the of the vertebra. The total normal force F component of the trabecular bone is

$$F_{ct.sh,y} = \min_{z \in [0,h]} \{\sigma_{ct.sh,y} A_{ct.sh}(z)\} = \sigma_{ct.sh,y} \min_{z \in [0,h]} \{A_{ct.sh}(z)\} \quad (21)$$

Then the total force F :

$$F = \frac{s(h)}{\int_0^h \frac{1}{A_{tr.b}(z)E_{tr.b}} dz} + F_{ct.sh,y} \quad (22)$$

The condition to check the stress-strain state (2) is:

$$\max_{z \in [0,h]} \{E_{ct.sh} \frac{F}{B(z)}\} = \sigma_{ct.sh,y} \quad \text{and} \quad (23)$$

$$\max_{z \in [0,h]} \{E_{tr.b} \frac{F}{B(z)}\} \leq \sigma_{tr.b,y}. \quad (24)$$

Stress-strain state 3. The stresses of the trabecular bone are equal to the stresses of the yield point, while the cortical shell stresses are less than the yield point

In this case, the stresses of the trabecular bone $\sigma_{tr.b} = \sigma_{tr.b,y}$ in the entire trabecular bone domain of a particular cross-section of the of the vertebra. Then, the total normal force F component of the trabecular bone is

$$F_{tr.b,y} = \min_{z \in [0,h]} \{\sigma_{tr.b,y} A_{tr.b}(z)\} = \sigma_{tr.b,y} \min_{z \in [0,h]} \{A_{tr.b}(z)\} \quad (25)$$

Then the total force F :

$$F = \frac{s(h)}{\int_0^h \frac{1}{A_{ct.sh}(z)E_{ct.sh}} dz} + F_{tr.b,y} \quad (26)$$

The condition to check the stress-strain state (3) is:

$$\max_{z \in [0,h]} \{E_{ct.sh} \frac{F}{B(z)}\} = \sigma_{ct.sh,y} \quad \text{and} \quad (27)$$

$$\max_{z \in [0,h]} \{E_{tr.b} \frac{F}{B(z)}\} \leq \sigma_{tr.b,y}. \quad (28)$$

Stress-strain state 4. The stresses of the trabecular bone and the cortical shell are equal to the corresponding yield points

The total normal force F component of the trabecular bone is

$$F_{tr.b,y} = \min_{z \in [0,h]} \{\sigma_{tr.b,y} A_{tr.b}(z)\} = \sigma_{tr.b,y} \min_{z \in [0,h]} \{A_{tr.b}(z)\} \quad (29)$$

$$F_{ct.sh,y} = \min_{z \in [0,h]} \{\sigma_{ct.sh,y} A_{ct.sh}(z)\} = \sigma_{ct.sh,y} \min_{z \in [0,h]} \{A_{ct.sh}(z)\} \quad (30)$$

Then the total force F :

$$F = F_{tr.b,y} + F_{ct.sh,y} \quad (31)$$

The condition to check if there is stress-strain state (4):

$$\max_{z \in [0,h]} \{E_{ct.sh} \frac{F}{B(z)}\} = \sigma_{ct.sh,y} \quad \text{and} \quad (32)$$

$$\max_{z \in [0, h]} \left\{ E_{tr.b} \frac{F}{B(z)} \right\} = \sigma_{tr.b,y}. \quad (33)$$

2. Verification of the proposed methodology

The proposed methodology, given in section 1, is verified by the finite element solution of the vertebra under compression.

2.1. Finite element modelling

The numerical model of the vertebra under the investigation with the mesh is shown in Fig 4. The geometry and dimensions of the vertebra under investigation were obtained from high-resolution CT images.

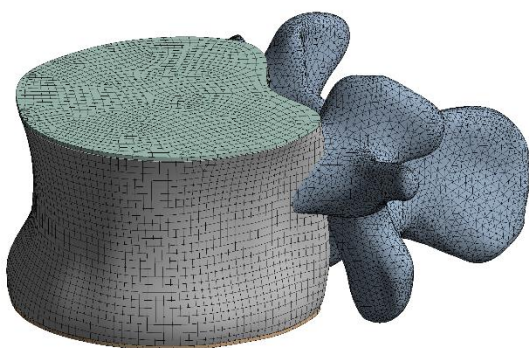


Fig 4. The numerical model of the vertebra under investigation with the mesh prepared with ANSYS

The pre-processing, i.e., modelling, imposing of the boundaries conditions, meshing; solution; and the post-processing, i.e., the analysis of the results was conducted by ANSYS finite element program.

The cortical shell of the numerical model was discretised by the shell finite elements, while the trabecular bone and the spinous process were discretized by 3D volumetric finite elements of 20 nodes. The large strain and large displacement were taken into account in the finite element modeling. The displacement of the top surface is imposed to the trabecular and cortical bones by using the top endplate, while the boundary condition – restrain the vertical displacement is also applied by the bottom endplate. The cortical shell and the trabecular bones are connected perfectly, i.e., no interslip is possible between these bodies.

The mechanical properties of the vertebra used in finite element modelling are listed in Table. 1.

1 Table. Elastic constants of the vertebra components

Component	Cortical shell bone	Trabecular bone	Loading plates
Modulus of elasticity E	8 GPa, [1]	100 Mpa, [2]	50* MPa
Poisson ratio, ν	0,3*	0,3*	0,4*

Densities [kg/m ³]	1700*	100*	1200*
Yield points σ_y [Mpa]	64, [3]	4, [4]	-

* Heuristically assumed values

[1] (Liang et al., 2015)

[2] (Yang et al., 2023)

[3] (Kim et al., 2013)

[4] (Gehweiler et al., 2021)

The locations of the cross-sections of the vertebra of the finite element model are shown in Fig 5, while the dimensions and the corresponding areas of these cross-sections are listed in Table 2.

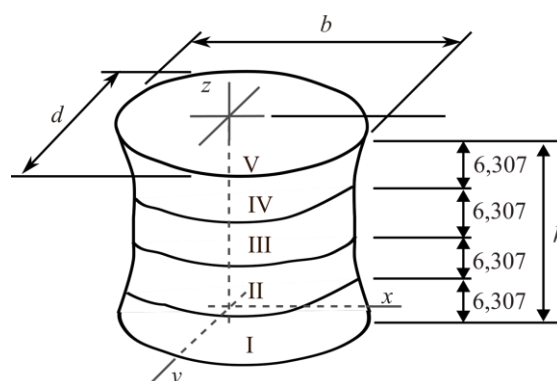


Fig. 5 Dimensions, in mm, of the vertebra and the positions of the cross-sections of the finite element model of the vertebra under the investigation

2 Table. Dimensions and areas of the cross-sections of the vertebra of the finite element modeling

Section No.	Dimension b_i , mm	Dimension d_i , mm	Cross-section areas of the trabecular bone, mm ²	Cross-section areas of the cortical shell, mm ²
I	37,15	32,48	1016,2	62,553
II	33,89	31,12	911,94	57,792
III	33,16	30,67	866,91	55,439
IV	34,64	31,82	983,76	61,901
V	38,08	33,38	1062,9	64,325

The cortical shell thickness: $\delta = 0,5$ mm

The total height of the vertebra: $h = 25,23$ mm.

The load-displacement curve of the top surface of the vertebra obtained by the finite element modelling is shown in Fig 6, denoted as F_{FEM} . In Fig 6 there are also shown two other curves F_{ar} and F_{circ} obtained by using the proposed methodology as it is described below.

2.2. Modelling of the force-displacement behaviour of the vertebra by the proposed methodology

The methodology proposed in Section 1 is applicable for any shape of the vertebra. The application of the general methodology of section 1 for the vertebra used in finite element modelling described in Subsection 2.1. is given in the present subsection.

The mechanical properties of bones of the vertebra under the investigation are given in Table 1.

Shape of the vertebra. The correct approximations of the areas of the cross-sections of vertebra depending on the coordinate z is important issue. According to the methodology proposed in Section 1, the shapes of the vertebra, the trabecular bone as well as the cortical shell are not important and it is not taken into account explicitly. However, the areas of the cross sections of the trabecular bone $A_{tr.b}(z)$ and the cortical shell $A_{ct.sh}(z)$ depending on coordinate z must be known to perform an analysis. In the present analysis it is assumed that the vertebra is of cylindrical shape of constant cross section. Two cases were considered:

Shape case I. The shape of the cross-section of the vertebra under investigation is approximated by circle which diameter is mean value $D = \sum_{i=1}^5 (b_i + d_i)/2 = 33,639$ mm, where b_i and d_i values are given in Table 2. The cross-section of the trabecular bone and the cortical shell are $A_{tr.b} = \pi (D - 2\delta)^2/4 = 836,688$ mm² and $A_{ct.sh} = A_{tot} - A_{tr.b} = 52,055$ mm² respectively.

Shape case II. when the cross-section areas of the trabecular bone $A_{tr.b} = 968,342$ mm² and the cortical shell $A_{ct.sh} = 60,402$ mm² are evaluated as average values $A_{tr.b} = \sum_{i=1}^5 A_{tb.b,i}$ and $A_{ct.sh} = \sum_{i=1}^5 A_{ct.sh,i}$ by using the corresponding values of the areas given in Table 2.

Evaluation of the force-displacement behaviour. Due to the assumption that the cross sections of the trabecular bone $A_{tr.b} = 968,342$ mm² and the cortical shell $A_{ct.sh} = 60,402$ mm² are constant, i.e., do not depend on coordinate z , then, the axial force F and the displacement $s(z)$ are evaluated according the following formulae obtained by simplification of the formulae given in Section 1, i.e., according to Eqs. (1) – (33).

At the beginning, it is assumed that the stresses of the cortical shell and the trabecular bone are less than the corresponding yield points. I.e., the conditions of Eqs. (1) and (2) hold. Then, the force-displacement relationship for the stress-strain state 1 is obtained from Eq. (13):

$$F_I = s(h) B/h \quad (34)$$

where B is evaluated by Eq. (11).

For stress-strain state 2 the conditions of Eqs. (3) and (4) hold. Then:

$$F_{II} = s(h) (A_{tr.b} E_{tr.b})/h + F_{ct.sh,y} \quad (35)$$

where $F_{ct.sh,y} = \sigma_{ct.sh,y} A_{ct.sh}$.

For stress-strain state 3 the conditions of Eqs. (5) and (8) hold. Then

$$F_{III} = s(h) (A_{ct.sh} E_{ct.sh})/h + F_{tr.b,y} \quad (36)$$

where $F_{tr.b,y} = \sigma_{tr.b} A_{tr.b}$.

For stress-strain state 4 the conditions of Eqs. (7) and (6) hold. Then

$$F_{IV} = F_{ct.sh,y} + F_{tr.b,y}. \quad (37)$$

Then, finally, the compressive force F is evaluated by the following conditions:

$$F = F_I \text{ as}$$

$$E_{ct.sh} \frac{F_I}{B} \leq \sigma_{ct.sh,y} \text{ and } E_{tr.b} \frac{F_I}{B} \leq \sigma_{tr.b,y}$$

$$F = F_{II} \text{ as}$$

$$E_{ct.sh} \frac{F_I}{B} > \sigma_{ct.sh,y} \text{ and } E_{tr.b} \frac{F_I}{B} \leq \sigma_{tr.b,y}$$

$$F = F_{III} \text{ as}$$

$$E_{ct.sh} \frac{F_I}{B} \leq \sigma_{ct.sh,y} \text{ and } E_{tr.b} \frac{F_I}{B} > \sigma_{tr.b,y}$$

$$\text{Finally: } F = F_{IV} \text{ as}$$

$$E_{ct.sh} \frac{F_I}{B} > \sigma_{ct.sh,y} \text{ and } E_{tr.b} \frac{F_I}{B} > \sigma_{tr.b,y}.$$

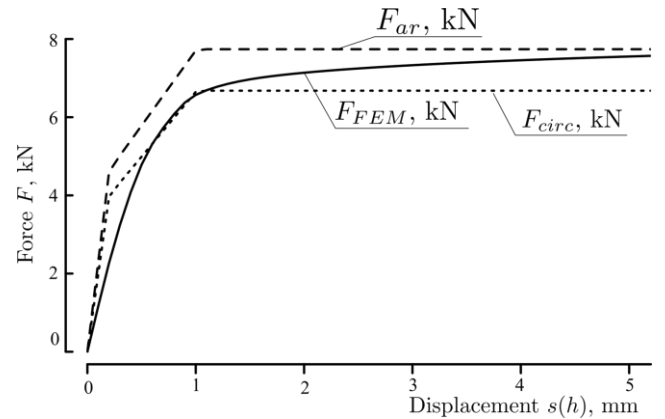


Fig. 6 Force-displacement curves: F_{FEM} denotes the finite element analysis results; F_{circ} and F_{ar} denote the results obtained by the proposed methodology by using the circle approximations (Shape case I) and by using actual areas of the cross-sections of the FE model of the vertebra (Shape case II) respectively

As we can see from Fig. 6, the finite element solution force F_{FEM} gradually increases with increase of the displacement $s(h)$, while the forces F_{circ} and F_{ar} reach their maximum value at displacement about 1,5 mm. From Fig. 6, we also can see that the force F_{ar} obtained by using the actual areas of the cross-sections of the finite element model of the vertebra, Shape case II, is very close to the exact value F_{FEM} obtained by the finite element model. The relative difference

$$\left| \frac{(F_{FEM} - F_{ar})}{F_{FEM}} \right| = 2,45\%, \text{ as } s(h) = 5 \text{ mm.}$$

While the estimation of the maximum of the relative difference is

$$\max_{s \in [0, 5 \text{ mm}]} \left\{ \left| \frac{F_{FEM} - F_{ar}}{F_{FEM}} \right| \right\} \approx 102,5\%, \text{ as } s(h) = 0,1 \text{ mm.}$$

The performed analysis shows that the proposed methodology can be used to estimate the permissible or allowable compression force of a vertebra even by using a simple and rough approximation of a vertebra as a cylinder. That is, to treat a vertebra as a cylinder of the constant cross-section area body.

Conclusions

1. The performed analysis showed that the approximation of the cross-sections of a vertebra as circles which diameters have been determined as the average values of two perpendicular dimensions of the cross-section of the actual vertebra could cause a significant error in the proposed methodology in comparison to the finite element modelling results and in comparison, to the proposed methodology results obtained by taking the actual cross-sections areas.
2. The comparison with the finite element modelling results showed that even the simplest realisation of the proposed methodology, when a vertebra was approximated as a cylinder, gave a good agreement with the finite element modelling results. Therefore, even the simplest possible approximation of the geometry of a vertebra as a cylinder could be used to estimate the failure or admissible load of a vertebra under compression.
3. The main issue in the estimation of the failure or admissible loads of a vertebra under compression was not the sophistication or exactness of the modelling methodology, but a good knowledge of the geometrical and mechanical properties of the vertebra under investigation.
4. The approximations of the vertebra as a cylinder of a constant diameter that has been determined as a mean value of the dimensions of the cross-sections of a vertebra could cause the underestimation of the failure load of a vertebra.

References

- Fields, A. J., Eswaran, S. K., Jekir, M. G., & Keaveny, T. M. (2009). Role of trabecular microarchitecture in whole-vertebral body biomechanical behavior. *Journal of Bone and Mineral Research*, 24(9), 1523-1530.
- Gehweiler, D., Schultz, M., Schulze, M., Riesenbeck, O., Wähnert, D., & Raschke, M. J. (2021). Material properties of human vertebral trabecular bone under compression can be predicted based on quantitative computed tomography. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 22, 1-8.
- Hight, T. K., & Brandeau, J. F. (1983). Mathematical modeling of the stress strain-strain rate behavior of bone using the Ramberg-Osgood equation. *Journal of Biomechanics*, 16(6), 445-450.
- Kim, Y. H., Wu, M., & Kim, K. (2013). Stress analysis of osteoporotic lumbar vertebra using finite element model with

microscaled beam-shell trabecular-cortical structure. *Journal of Applied Mathematics*.

- Klintström, E., Smedby, Ö., Klintström, B., Brismar, T. B., & Moreno, R. (2014). Trabecular bone histomorphometric measurements and contrast-to-noise ratio in CBCT. *Dentomaxillofacial Radiology*, 43(8), 20140196.
- Liang, D., Ye, L. Q., Jiang, X. B., Yang, P., Zhou, G. Q., Yao, Z. S., ... & Yang, Z. D. (2015). Biomechanical effects of cement distribution in the fractured area on osteoporotic vertebral compression fractures: a three-dimensional finite element analysis. *Journal of surgical research*, 195(1), 246-256.
- Panjabi, M. M., Cholewicki, J., Nibu, K., Grauer, J., Babat, L. B., & Dvorak, J. (1998). Critical load of the human cervical spine: an in vitro experimental study. *Clinical biomechanics*, 13(1), 11-17.
- Pothuau, L., Carceller, P., & Hans, D. (2008). Correlations between grey-level variations in 2D projection images (TBS) and 3D microarchitecture: applications in the study of human trabecular bone microarchitecture. *Bone*, 42(4), 775-787.
- Rajan, R., Cherian, K. E., Kapoor, N., & Paul, T. V. (2020). Trabecular bone score-an emerging tool in the management of osteoporosis. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 24(3), 237.
- Ritzel, H., Amling, M., Pösl, M., Hahn, M., & Delling, G. (1997). The thickness of human vertebral cortical bone and its changes in aging and osteoporosis: A histomorphometric analysis of the complete spinal column from thirty-seven autopsy specimens. *Journal of Bone and Mineral Research*, 12(1), 89-95.
- Roux, J. P., Wegrzyn, J., Arlot, M. E., Guyen, O., Delmas, P. D., Chapurlat, R., & Bouxsein, M. L. (2010). Contribution of trabecular and cortical components to biomechanical behavior of human vertebrae: an ex vivo study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 25(2), 356-361.
- Roy, M. E., Rho, J. Y., Tsui, T. Y., Evans, N. D., & Pharr, G. M. (1999). Mechanical and morphological variation of the human lumbar vertebral cortical and trabecular bone. *Journal of biomedical materials research*, 44(2), 191-197.
- Yang, C., Zeng, Z., Yan, H., Wu, J., Lv, X., Zhang, D., ... & Gao, L. (2023). Application of vertebral body compression osteotomy in pedicle subtraction osteotomy on ankylosing spondylitis kyphosis: Finite element analysis and retrospective study. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1131880.
- Yao, J., Burns, J. E., Munoz, H., & Summers, R. M. (2012). Detection of vertebral body fractures based on cortical shell unwrapping. In *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention—MICCAI 2012: 15th International Conference, Nice, France, October 1-5, 2012, Proceedings, Part III 15* (pp. 509-516). Springer Berlin Heidelberg.

CENTRIŠKAI GNIUŽDOMO SLANKSTELIO JĖGOS POSLINKIO ANALITINĖ APROKSIMACIJA

Darius Zabulionis, Olga Chabarova

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Santrauka. Straipsnyje pasiūlyta sąlygiškai nesudėtinga centriškai gniuždomo slankstelio jėgos poslinkio analitinio modelio metodika. Pritaikius metodologiją neatsižvelgiama į slankstelio geometriją, nagrinėjamas tik slankstelio kortikalinio ir trabekulinio kaulų skerspjūvio plotų kitimas vertikaliosios ašies atžvilgiu,

nevertinami ir tarpslanksteliniai diskai, kaulų Puasono koeficientai. Daroma prielaida, kad tiek kortikalinis, tiek trabekulinis kaulai yra izotropiški ir deformuojasi pagal tiesiškai tampraus idealiai plastiško kūno įtempių ir deformacijų dėsnį. Modelyje atsižvelgiama į skirtingus kortikalino ir trabekulinio kaulų tamprumo modulius ir kaulų takumo įtempius. Daroma prielaida, kad galioja plokščiųjų pjūvių dėsnis. Pasiūlytas modelis apima tik normalinius įtempius.

Pasiūlytas supaprastintas skaičiavimo modelis, kai slankstelis, aproksimuojamas pastovaus skerspjūvio cilindru, sutapo su baigtinių elementų modeliavimo rezultatais. Modeliuojant pagal pasiūlytą metodologiją buvo analizuojamos vidutinės kortikalino ir trabekulinio kaulų skerspjūvio plotų reikšmės. Baigtinių elementų modeliavimo gniuždančios jėgos santykinis skirtumas tarp jėgos,

apskaičiuotos pagal pasiūlytą metodiką, yra tik 2,45 %, kai vertikalusis poslinkis 5 mm; o didžiausias santykinis skirtumas 102 %, kai intervalas nuo 0 iki 5 mm. Tačiau svarbiausias dalykas – didžiausia centriškai gniuždomo slankstelio apkrova gali būti nustatyta pakankamai tiksliai – 2,45 %. Vadinasi, galima tvirtinti, kad net ir paprasčiausias pasiūlytos metodologijos variantas, kai slankstelis, aproksimuojamas cilindru, gali būti taikomas centriškai gniuždomo slankstelio kritinės apkrovos įverčiui apskaičiuoti.

Reikšminiai žodžiai: slankstelio didžiausioji apkrova, centriškai gniuždomo slankstelio jėgos poslinkio priklausomybė, jėgos poslinkio priklausomybės analitinė aproksimacija

LENGVŪJŲ AUTOMOBILIŲ DYZELINIŲ VARIKLIŲ EKOLOGINIŲ PARAMETRŲ VERTINIMO ASPEKTAI

Domantas Škultinas¹, Saulius Nagurnas¹, Alfredas Rimkus²

¹ *Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius*

² *Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius*

Anotacija. Pasaulyje didėjant automobilių išmetamųjų teršalų kiekiui, būtina atrasti būdą, kaip juos efektyviau neutralizuoti. Viena iš opesnių oro taršos problemų šiomis dienomis yra lengvųjų automobilių dyzelinių variklių išmetami teršalai. Eksploatacijos metu daugelio šio tipo automobilių deginių neutralizavimo sistemos yra neefektyvios. Kai kuriose Europos šalyse vairuotojai pašalina minėtas neutralizavimo sistemas iš automobilių, todėl labai svarbu, kad valstybinio mastu būtų nuolat tikrinama dyzeliniu varomų lengvųjų automobilių deginių neutralizavimo sistemų techninė būklė bei jų funkcionavimo efektyvumas. Viena priemonių – automobilių patikra techninės apžiūros metu, kuomet turėtų būti įvertinta, ar automobilio išmetimo sistema atitinka nustatytus ekologinius parametrus.

Šio tyrimo tikslas – automobilių borto diagnostikos įranga atlikti lengvųjų automobilių, varomų dyzeliniu varikliu, ekologinių parametru patikrą, įvertinant, ar efektyviai veikia automobilio neutralizavimo sistemų komponentai. Pagrindinis dėmesys skiriamas kietųjų dalelių filtrui.

Reikšminiai žodžiai: deginių neutralizavimo sistema, lengvasis automobilis, kietųjų dalelių filtras, automobilių tarša, dyzelinis variklis.

Įvadas

Globalinis atšilimas – tai didėjančios oro temperatūros reiškiny, kuris tęsiasi jau keletą šimtmečių. Gamyklos, transportas ir daugelis kitų veiklų, kurios išskiria į mūsų atmosferą kenksmingas medžiagas, prisideda prie šiltnamio efekto. Vienas iš dažnai minimų oro taršos šaltinių yra transportas, konkrečiau – automobiliai, varomi dyzeliniais varikliais. Šiandien keliami aukšti reikalavimai dyzelinių variklių deginių neutralizavimo sistemoms. Automobilių gamintojai nuolat ieško būdų, kaip sumažinti galimą taršą, kuriamos arba tobulinamos taršą mažinančios sistemos, ieškomos alternatyvos vidaus degimo varikliams.

Neišvengiama užduotis siekiant kontroliuoti dyzelinių variklių taršą yra automobilių deginių neutralizavimo sistemų patikra. Lietuvoje automobilių išmetimo sistemų būklė tikrinama privalomosios techninės apžiūros (toliau – PTA) metu. Tai pakankamai efektyvi dyzelinių variklių taršos prevencijos priemonė, tačiau PTA metu dažnai apsiribojama tik kai kurių taršos komponentų, pvz., dūmingumo matavimu, todėl ne visada tiksliai įvertinama ir nustatoma, ar išmetimo sistemos techninė būklė techniškai tvarkinga.

Dažnas vairuotojas Lietuvoje pašalina iš automobilio kai kuriuos deginių neutralizavimo sistemos komponentus, pvz., kietųjų dalelių filtrą (toliau tekste – angl. santrumpa DPF). Todėl, didinant minėtų sistemų funkcionavimo patikros efektyvumą, prasminga būtų taikyti borto diagnostikos priemones konkrečioms taršos parametrų nustatyti.

Darbo tyrimo objektas – lengvųjų automobilių, varomų dyzeliniais varikliais, deginių neutralizavimo sistemos.

Temos aktualumas – Lietuvoje ir daugelyje kitų Europos Sąjungos šalių lengvųjų automobilių amžius sparčiai didėja, keliais važiuoja nemažai netvarkingų, vizualiai taršių automobilių. Siekiant efektyvesnės dyzelinių variklių teršalų neutralizavimo sistemos patikros PTA metu prasminga vertinti

konkrečius borto diagnostikos (toliau tekste – angl. santrumpa OBD) matavimų parametrus.

Darbo tikslas – automobilių borto diagnostikos įranga atlikti lengvųjų automobilių, varomų dyzeliniu varikliu, ekologinių parametru patikrą, įvertinant, ar efektyviai veikia automobilio neutralizavimo sistemų komponentai.

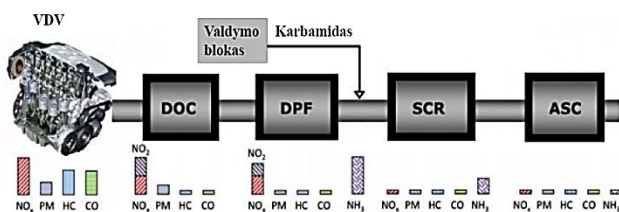
Darbo tikslui pasiekti formuluojami šie uždaviniai:

1. Atlikti deginių neutralizavimo sistemų veikimo ir jų efektyvumo patikros galimybių analizę (mokslinių darbų apžvalga).
2. Sudaryti dyzelinių variklių taršos parametru patikros metodiką.
3. Realiomis darbo sąlygomis atlikti dyzelinių variklių ekologinių parametru matavimus.
4. Remiantis atliktais tyrimais išanalizuoti gautus rezultatus, pateikti pasiūlymus deginių išmetimo sistemų patikros efektyvumui didinti.

1. Deginių neutralizavimo sistemų darbo efektyvumo tyrimai

Lengvieji automobiliai į orą išmeta įvairių rūšių teršalus, pvz: anglies monoksidą (CO), anglies dioksidą (CO₂), angliavandenilį (HC), azoto oksidus (NO_x) ir kietąsias daleles (PM). Didėjantis oro teršalų kiekis sukelia riziką žmonių sveikatai, o miestuose, kur daug automobilių, tai tampa pagrindinė problema (Sharmilaa & Ilango, 2021).

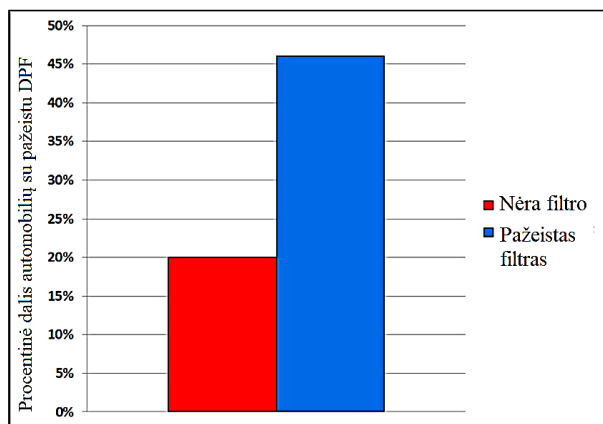
Šiuolaikinė dyzelinio variklio deginių neutralizavimo sistema paprastai susideda iš keturių skirtingų komponentų, atliekančių skirtingas funkcijas (žr. 1 pav.), t. y., DOC (HC ir CO oksidacija į H₂O ir CO₂ ir NO į NO₂), DPF (kietųjų dalelių (PM) filtravimas), SCR (selektyvi katalizinė redukcija. NO ir NO₂ pašalinimas), ASC (amoniako pertekliaus NH₃ pašalinimas prieš išmetant dujas į atmosferą) (Soleimani et al., 2018).



1 pav. Standartinė EURO 6 automobilių papildomo apdorojimo sistema: DOC – dyzelinio variklio deginių oksidacijos katalizatorius; DPF – dyzelinio variklio kietųjų dalelių filtras; SCR – selektyvi katalizinė redukcija; ASC – amoniako praleidimo katalizatorius
Šaltinis: Soleimani et.al., 2018

Viena labiausiai akcentuojamų temų šiomis dienomis – dyzelinių variklių išmetami teršalai. Automobilių plėtra sukelia nemažai aplinkos taršos problemų. Nors automobiliai išmeta skirtingų rūšių kenksmingas medžiagas, tačiau viena iš didžiausių problemų – kietosios dalelės, kurios ore sukelia miglą ir smogą, o pagrindinis jų šaltinis yra dyzeliniais varikliais varomi automobiliai. Variklių išmetamos kietosios dalelės yra pavojingos mūsų sveikatai (Yu Quan-shun, et al., 2017).

Lengvųjų automobilių, varomų dyzeliniais varikliais, kiekis sudaro nemažą dalį eksploatuojamų automobilių Europos Sąjungoje. Dauguma jų yra senesni, šiuolaikinių emisijų standartų neatitinkantys automobiliai. Vis dėlto techninės apžiūros stotys ne visada randa sprendimus, kaip efektyviai patikrinti dyzelinių variklių deginių neutralizavimo sistemas. Lenkijos mokslininkų straipsnyje (Jarosiński & Wiśniowski, 2021) aprašoma problema, su kuria, kaip jau minėta anksčiau, susiduria techninės apžiūros stotys. 2 pav. matomi tyrimo rezultatai.



2 pav. Tyrimo rezultatų suvestinė
Šaltinis: Jarosiński & Wiśniowski, 2021

Mokslininkų tyrimus paskatino neigiamas reiškinys – dyzelinio variklio kietųjų dalelių filtro pašalinimas. Minėtame straipsnyje buvo aprašytas tyrimas, išmatavus kietųjų dalelių filtro efektyvumą su kietųjų dalelių skaitikliu. Buvo siekiama nustatyti, ar kietųjų dalelių filtras yra efektyvus.

Atlikus bandymus su 50 skirtingų automobilių ir apibendrinus rezultatus matyti, kad beveik pusė tiriama

automobilių turėjo netinkamą filtrą, 10 automobilių kietųjų dalelių filtro iš viso neturėjo. Tyrimas yra naudingas tuo, nes atliktas realiomis sąlygomis techninės apžiūros centre. Tyrimo metu įvertinti skirtingi matavimo įrenginiai ir jų savybės.

Kietųjų dalelių filtro efektyvumas priklauso nuo jo būklės. Tai patvirtinančio tyrimo rezultatai pateikti mokslinėje publikacijoje (Jang et al., 2017). Buvo tiriama naudoto ir naujo kietųjų dalelių filtro efektyvumas. Atliekant bandymą parinktas EURO 5 išmetamųjų teršalų standartą atitinkantis lengvasis automobilis. Matavimai atlikti laboratorijoje ir realaus važiavimo metu. Gauti rezultatai parodė, kad naujas filtras sumažina degalų sąnaudas iki 5% ir taip pat išmeta mažesnę kiekį HC, CO ir NO_x. Naudotas filtras išmeta daugiau angliavandenilių ir suodžių. Fiksuojami didesni NO_x skaičiai, kurios sukėlė padidėjusi temperatūra dėl susidariusio didesnio priešslėgio. Suodžiai, besikaupiantys filtre, atsiranda iš alyvos, patenkančios į cilindrus, kuri degimo proceso metu visiškai nesudega. Užsikimšę filtro kanalai trikdo išmetamųjų dujų srautą, o tai mažina filtro efektyvumą ir sukelia didesnę emisijų kiekį. Dyzelino kietųjų dalelių filtras pripažintas kaip efektyvi priemonė, turinti gerą mechaninį ir terminį patvarumą, tačiau dėl senėjimo jo efektyvumas stipriai suprastėja ir kietosios dalelės neutralizuojamos ne taip efektyviai (Kim et al., 2019). Tobulomis sąlygomis rekomenduotina tikrinti filtro efektyvumą ir jį keisti nauju, kai jis visiškai nebeatlieka savo funkcijų, tačiau tai sukelia papildomų finansinių išlaidų.

Kita dyzelinių variklių išmetimo sistemų efektyvumo patikros problema yra šių sistemų skirtingos darbo sąlygos, pvz., laboratorija, realios eismo sąlygos. Deginių neutralizavimo sistemų bandymai paprastai yra atliekami laboratorijose, pasitelkiant stacionarų traukos stendą įvairiems važiavimo režimams. Mokslinėje publikacijoje (Canagaratna et al., 2004) nustatyti dideli neatitikimai tarp laboratorinių tyrimų ir bandymų realiomis sąlygomis. Viena iš priežasčių – temperatūra ir santykinė oro drėgmė. Dėl rezultatų tikslumo šį teiginį mini ir kiti mokslininkai (Mera et al., 2019). Realiu važiavimo metu dauguma dyzelinių lengvųjų automobilių viršija emisijos ribas. Siekiant tiksliau įvertinti išmetamą teršalų kiekį bei išmatuoti, kaip efektyviai deginių neutralizavimo sistemos geba neutralizuoti deginius, pasitelkiamos mobiliosios taršos matavimo laboratorijos.

Moksliniame straipsnyje (Rymaniak et al., 2019) analizuojami sprendimai, kaip efektyviai išmatuoti lengvųjų automobilių išskiriamus teršalus. Išmetamųjų dujų tyrimai realiomis eksploatacavimo sąlygomis – tai daug laiko ir pinigų reikalaujantys procesai. Stacionarus teršalų matuokliai yra siūlomi kaip sprendimas įvertinti taršą jau daugelį metų, tačiau šio tipo prietaisai sudėtingai pritaikomi, o matuoklių konstrukcijos apriboja galimybes. Tyrimai atliekami su mobiliosiomis laboratorijomis gali būti naudingi, tačiau ne visada efektyvūs ir sunkiai pritaikomi masinėms patikroms.

Apibendrinant mokslinių darbų analizę matyti, kad siekiant didinti automobilių, varomų dyzeliniais varikliais, išmetimo sistemų funkcionavimo patikros efektyvumą, gana sudėtinga objektyviai įvertinti eksploatuotų dyzelinių variklių išmetimo sistemų efektyvumą. Todėl šioje publikacijoje pateiktame

tyrime didesnis dėmesys skiriamas borto diagnostikos sistemų konkrečių diagnostinių parametrų, susijusių su kietųjų dalelių filtro funkcionavimu, įvertinimo galimybėmis. Atlikti tyrimai gali būti naudingi ir praktiškai vertinant DPF būklę, pvz., PTA metu.

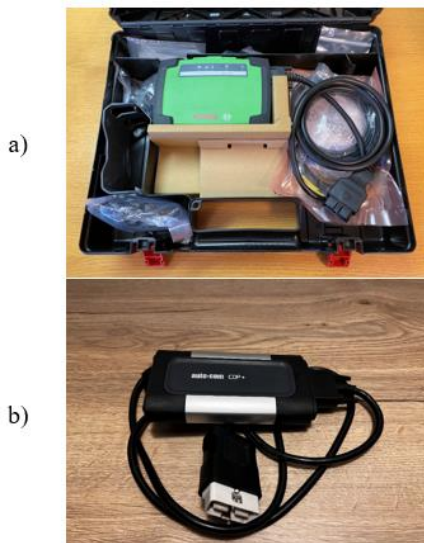
2. Eksperimentiniai tyrimai

2.1. Eksperimentinių tyrimų įranga

Eksperimentiniai tyrimai atlikti, siekiant įvertinti dažniausiai borto diagnostikos įranga fiksuojamų DPF veikimo parametrų reikšmes.

Eksperimentiniams tyrimams naudota ši įranga:

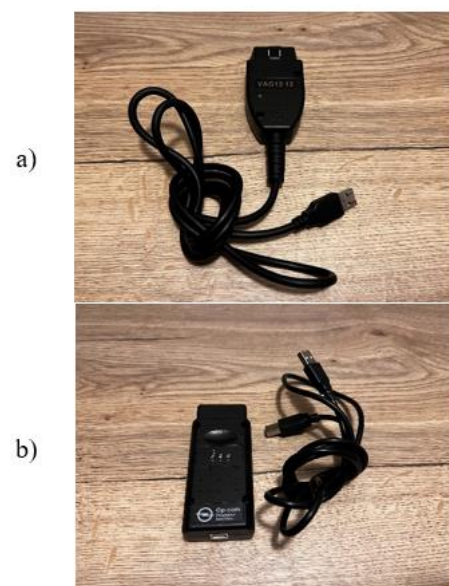
- 1) BOSCH KTS 560 (žr. 3 pav. a);
- 2) AUTOCOM CDP+ 2016 (žr. 3 pav. b);
- 3) VAG VCDS 12.12 (žr. 4 pav. a);
- 4) OP-COM (žr. 4 pav. b).



3 pav. Eksperimentiniams tyrimams naudota įranga
a) BOSCH KTS 560, b) AUTOCOM CDP+ 2016
Šaltinis: sudaryta autorių

a) BOSCH KTS 560 – integruotas 2-jų kanalų oscilografas/multimetras. Variklio valdymo sistemų diagnostika pagal EOBD standartą, stabdžių, transmisijos, saugos diagnostika.

b) AUTOCOM CDP+ 2016 – gali prisijungti prie senesnių jungčių naudojant reikiamus perjungiklius. Veikimas su visų Europos, Azijos, JAV rinkos markių automobiliais.



4 pav. Eksperimentiniams tyrimams naudota įranga:
a) VAG VCDS 12.12, b) OP-COM
Šaltinis: sudaryta autorių

a) VAG VCDS 12.12 – galima atlikti visų elektroninių blokų diagnostiką per 70 sistemų. Daugiau kaip 1300 gedimų kodų su aprašymais.

b) OP-COM – programa leidžia nuskaityti klaidų kodus, imituoti įvairių valdymo blokų išėjimo signalus, programuoti valdymo blokus ir raktus.

2.2. Eksperimentinių tyrimų atlikimo tvarka

Eksperimentiniu tyrimų santrauka ir atlikimo tvarka:

1) Tyrimams pasitelkti lengvieji automobiliai, varomi dyzeliniais degalais ir komplektuojami su DPF.

2) Iš viso buvo patikrintas 31 automobilis, kurių vidutinė rida siekia 283 935 km. Tiriama automobiliai pagaminti nuo 2005 metų.

3) Automobilių varikliai pašildomi iki darbinės temperatūros.

4) Automobiliai techniškai tvarkingi (diagnostinėje įrangoje nėra fiksuojami variklio sistemų gedimų kodai, borto kompiuteris nefiksuoja būtinybės atlikti DPF regeneracijos).

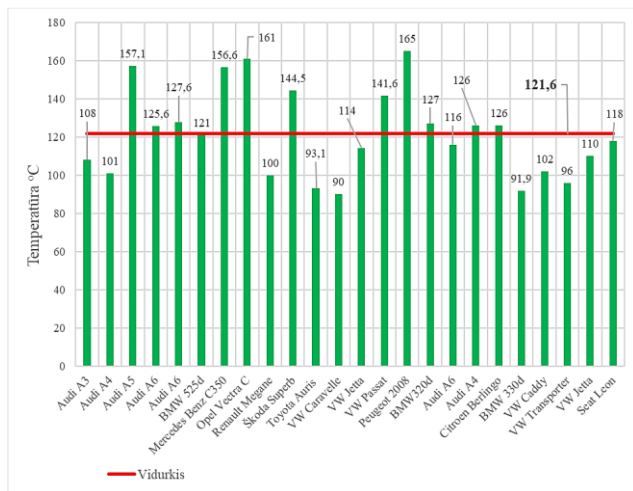
5) Automobilių varikliai dirba tuščia eiga.

6) Realio laiku fiksuojami visiems automobiliams būdingi su DPF filtro darbu susiję diagnostiniai parametrai: temperatūros jutiklių už ir prieš DPF reikšmės, diferencinis slėgis, sukaupta suodžių masė, regeneracijos statusas ir kt.

Darbe naudojami skirtingų gamintojų ir modelių diagnostiniai prietaisai, atitinkantys OBD II standartą, todėl svarbu įvertinti naudojamų diagnostinių prietaisų tarpusavio pakeičiamumą ir matuojamų rodmenų vienodumą. Fiksuojant anksčiau minėtus DPF darbingumo parametrus stebima, ar naudojami diagnostiniai prietaisai fiksuoja tas pačias reikšmes.

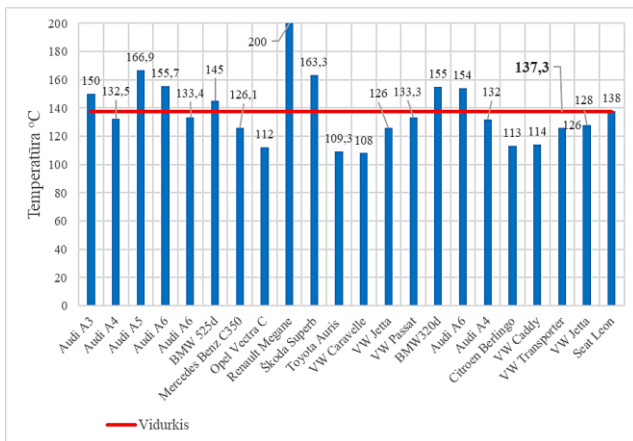
3. Eksperimentinių tyrimų rezultatai ir jų apibendrinimas

Pirmausia, naudojant anksčiau aprašytą įrangą, fiksuojamos temperatūrų prieš ir už DPF reikšmės. Matavimų rezultatai pateikti 5, 6 paveiksluose.



5 pav. Išmetamųjų deginių temperatūra prieš DPF
Šaltinis: sudaryta autorių

5 pav. pateiktame grafike fiksuotos temperatūrų reikšmės prieš kietųjų dalelių filtrą. Nustatyta, kad vidutinė temperatūra yra apie 121,6 °C.



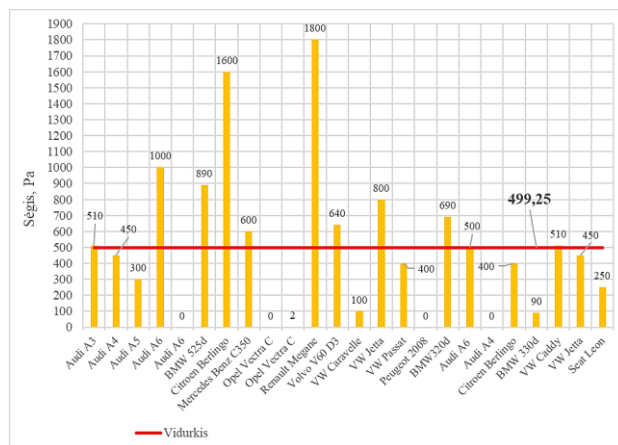
6 pav. Išmetamųjų deginių temperatūra už DPF
Šaltinis: sudaryta autorių

6 paveiksle pateiktame grafike fiksuotos temperatūrų reikšmės už kietųjų dalelių filtro. Nustatyta, kad vidutinė temperatūra yra apie 137,3 °C.

Deginių neutralizavimo sistemoje esantys jutikliai, kurie matuoja temperatūrą prieš ir už filtro, suteikia reikiamą informaciją, siekiant nustatyti, ar kietųjų dalelių filtras funkcionuoja tinkamai. Atliekant matavimus kompiuterine diagnostika, galima gana greitai išmatuoti esamas vertes, tam nebūtina papildoma vizualinė išmetimo sistemos apžiūra ar

duslintuvo prieš ir už DPF filtro temperatūros matavimai. Temperatūrų skirtumas matuojamas tam, kad automobilio kompiuteryje būtų fiksuojama informacija, kuri leidžia nustatyti filtro užsikimšimo ir funkcionavimo lygį. Atlikus bandymą pastebėtas tendencingas temperatūrų skirtumas tarp abiejų jutiklių (žr. 5, 6 pav.). Šis skirtumas leidžia suprasti, kad DPF filtre vyksta deginių valymo procesas.

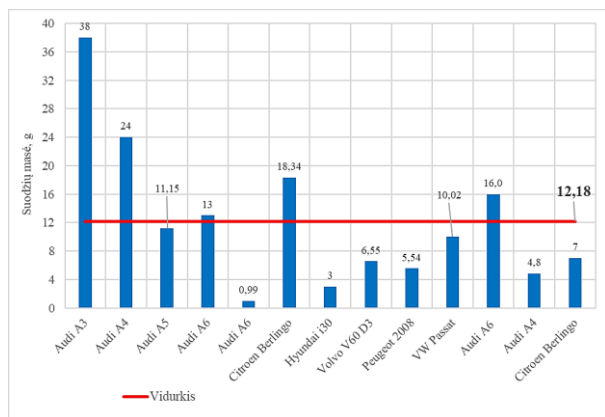
Diferencinio slėgio jutiklis matuoja slėgio kritimą variklio kietųjų dalelių filtre (žr. 7 pav.).



7 pav. Diferencinis slėgis
Šaltinis: sudaryta autorių

Jis siunčia informaciją variklio valdymo blokui apie filtro būklę ir stebi jo veikimo efektyvumą. Dėl suodžių sancaupų atsiranda slėgio kritimas, kurį užfiksavęs jutiklis perduoda signalą į kompiuterio valdymo bloką ir taip yra inicijuojamas regeneracijos procesas filtro viduje. Iš atrinktų automobilių bandymams 24 automobilių parametrai parodė slėgio matavimo vertes. Išmatuotos reikšmės svyruoja nuo 0 Pa iki 1800 Pa. Vidutinis užfiksuotas slėgis filtro viduje yra apie 499 Pa. Pastebėta, kad kai kuriuose automobiliuose diferencinis slėgis užfiksuotas labai mažas arba nulinis. Slėgio nebuvimas filtro viduje gali signalizuoti mažą efektyvumą arba filtro nebuvimą sistemoje. Automobilyje *Audi A6* užfiksuotas diferencinis slėgis lygus 0 Pa (žr. 7 pav. 5 stulpelis iš kairės pusės) ir temperatūrų grafikuose pateiktas mažas temperatūrų skirtumas tarp dviejų temperatūrų jutiklių (žr. 5, 6 pav. 5 stulpelis iš kairės pusės). Galima daryti prielaidą, kad neutralizavimo sistemos veikimas šiame automobilyje yra nevisiškai efektyvus. Automobilyje *Renault Megane* (žr. 7 pav.) užfiksuota didžiausia slėgio reikšmė. Kaip žinoma, didesnis slėgis susidaro, jei DPF susikaupia didelis kiekis suodžių. Tokie rodmenys leidžia teigti, kad DPF netrukus bus atliktas regeneracijos procesas arba DPF valymo efektyvumas jau yra minimalus ir reikia keisti filtrą.

Kietųjų dalelių filtre susikaupę suodžiai – tai anglies dalelių masė, susidaranti nevisiškai sudegus angliavandeniliams (žr. 8 pav.).



8 pav. Apskaičiuota suodžių masė
Šaltinis: sudaryta autorių

Apskaičiuota suodžių masė automobilio deginių neutralizavimo sistemos valdymo sistemai leidžia įvertinti ir nustatyti tinkamą regeneracijos laiko strategiją. Tinkamas suodžių masės įvertinimas yra svarbus aspektas siekiant ilgaamžiško filtro veikimo. Suodžių masės grafike (žr. 8 pav.) pateikti 13-os automobilių duomenys. Kitų automobilių suodžių kiekio duomenys nepateikti, nes naudojant esamus diagnostikos prietaisus nebuvo prieigos nuskaityti suodžių masės verčių. Nors sukauptos suodžių masės priklausomybės nuo ridos nustatyti iš šių duomenų nėra galimybės, tačiau galima teigti, kad daugelyje automobilių kietųjų dalelių filtrai turi vidutiniškai apie 12 gramų sukauptų suodžių filtro viduje. Automobilyje Audi a6 (8 pav. pateiktas 5-as iš kairės) nurodyta suodžių masė yra 0,99 gramų, o diagnostikos įranga fiksuoja, kad regeneracija šiame automobilyje buvo įvykusi prieš 9 minutes. Šis parametras (kaip ir pateikti ankstesniuose grafikuose) leidžia daryti išvadą, kad kietųjų dalelių filtras šiame automobilyje, tikėtina, veikia neefektyviai.

Išvados

Vertinant lengvųjų automobilių, varomų dyzeliniais varikliais, DPF filtrų funkcionavimo diagnostinius parametrus, formuluojamos šios išvados:

1. Atlikus mokslinių tyrimų analizę galima teigti, kad išmetamų teršalų tyrimai, atliekami laboratorijose ir realiomis sąlygomis, parodo skirtingus rezultatus.
2. Užfiksuota vidutinė deginių temperatūrą prieš DPF filtrą – apie 121,6 °C, deginių temperatūra už DPF filtro – apie 137,3 °C.
3. DPF filtre užfiksuotas vidutinis diferencinis slėgis – 499 Pa.
4. Nustatyta, kad vidutinė apskaičiuota suodžių masė DPF filtre yra apie 12 g.
5. Remiantis anksčiau pateiktomis nustatytų ekologinių parametru reikšmėmis galime preliminariai spręsti apie tirtų automobilių DPF filtrų galimą funkcionavimo efektyvumą. Tikėtina, kad šiuo atveju DPF filtrai yra funkcionuojantys.
6. Tyrimo metodika ir rezultatai gali būti pritaikomi atliekant PTA, kurios metu tikrinamas neutralizavimo sistemų efektyvumas.

Literatūra

- Canagaratna, M. R., Jayne, J. T., Ghertner, D. A., Herndon, S., Shi, Q., Jimenez, J. L., Silva, P. J., Williams, P., Lanni, T., Drewnick, F., Demerjian, K. L., Kolb, C. E., & Worsnop, D. R. (2004). Chase studies of particulate emissions from in-use New York City vehicles. *Aerosol Science and Technology*, 38(6), 555–573. <https://doi.org/10.1080/02786820490465504>
- Chossière, G. P., Malina, R., Allroggen, F., Eastham, S. D., Speth, R. L., & Barrett, S. R. H. (2018). Country- and manufacturer-level attribution of air quality impacts due to excess NOx emissions from diesel passenger vehicles in Europe. *Atmospheric Environment*, 189, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.06.047>
- Hoofman, N., Messagie, M., van Mierlo, J., & Coosemans, T. (2018). A review of the European passenger car regulations – Real driving emissions vs local air quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 86, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.01.012>
- Jang, J., Lee, Y., & Kwon, O. (2017). Comparison of fuel efficiency and exhaust emissions between the aged and new DPF systems of EURO 5 diesel passenger car. *International Journal of Automotive Technology*, 18(5), 751–758. <https://doi.org/10.1007/s12239-017-0074-9>
- Kim, D. G., Yang, S. H., & Kim, H. S. (2019). Development of the particulate matter sensor for diesel engine. *International Journal of Automotive Technology*, 20(2), 359–364. <https://doi.org/10.1007/s12239-019-0035-6>
- Kuklinska, K., Wolska, L., & Namiesnik, J. (2015). Air quality policy in the U.S. and the EU - A review. *Atmospheric Pollution Research*, 6(1), 129–137. <https://doi.org/10.5094/APR.2015.015>
- Rymaniak, Ł., Daszkiewicz, P., Merksiz, J., & Kaminska, M. (2019). Methods of evaluating the exhaust emissions from driving vehicles. *Combustion Engines*, 179(4), 286–291. <https://doi.org/10.19206/ce-2019-448>
- Sharmilaa, G., & Ilango, T. (2021). A review on influence of age of vehicle and vehicle traffic on air pollution dispersion. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.12.188>
- Soleimani, M., Campean, F., & Neagu, D. (2018). Reliability challenges for automotive aftertreatment systems: A state-of-the-art perspective. *Procedia Manufacturing*, 16, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.174>
- Yu Quan-shun, T. J. G. Y. H. L. P. Z. (n.d.). Application of Diesel Particulate Filter on in-use On-road Vehicles | Elsevier Enhanced Reader. Retrieved January 20, 2022, from Rymaniak, Ł., Daszkiewicz, P., Merksiz, J., & Kaminska, M. (2019). Methods of evaluating the exhaust emissions from driving vehicles. *Combustion Engines*, 179(4), 286–291. <https://doi.org/10.19206/ce-2019-448>

ASPECTS OF ASSESSMENT OF ECOLOGICAL PARAMETERS OF PASSENGER CAR DIESEL ENGINES

Domantas Škultinas¹, Saulius Nagurnas¹, Alfredas Rimkus²

¹Vilnius Gediminas Technical University
²Vilnius College of Technologies and Design

Summary. As the world's car emissions increase, it is essential to find a way to neutralise them more effectively. One of the more

pressing air pollution problems these days is emissions from diesel engines in cars. In many of these vehicles, the exhaust gas neutralisation systems lose their efficient functioning during operation. In some European countries, it is common to encounter drivers who remove these neutralisation systems from their cars. It is therefore very important that the technical condition and performance of DPFs in diesel-powered passenger cars should be regularly checked at national level. One of the measures is the inspection of cars during the roadworthiness test, which should assess whether the car's exhaust

system complies with the established ecological parameters.

The aim of this study is to use on-board diagnostic (OBD) equipment to carry out a check of the ecological parameters of passenger cars with diesel engines, to assess the performance of the components of the exhaust gas neutralisation systems in the car. The main focus is on the particulate filter.

Key words: aftertreatment systems, passenger car, particulate filter, car pollution, diesel engine.

STATIŠKAI NEIŠSPRENDŽIAMO TEMPIAMO STRYPO DEFORMAVIMOSI TYRIMAS

Jurijus Tretjakovas^{1,2}, Stevo Borojević³, Liang Zhang⁴

¹Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, Vilnius

²Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, Vilnius

³Banja Lukos universitetas, Stepe Stepanovića g. 75, Banja Luka

⁴Henan mokslo ir technologijų universitetas, Kaiyuan Avenue 263, Luoyang, China

Anotacija. Straipsnyje nagrinėjama tempiamų ir gniuždomų strypų statišškai neišsprendžiama sistema, veikiama išorinių apkrovų ir strypose atsirandančių temperatūros pokyčių. Atlikus tyrimą sukurtas matematinis modelis deformavimosi ypatumams aprašyti. Šis modelis pritaikytas ir kritinei temperatūrai rasti, atsižvelgiant į strypų stiprumą. Šiam tikslui pasiekti sudaroma matematinių lygčių sistema, priklausanti nuo statinių pusiausvyros lygčių, gemetrinės darnos lygčių ir fizinių medžiagos priklausomybės lygčių. Apibendrinus lygčių sistemos sprendimus sugeneruojamas algoritmas kritinei temperatūrai rasti. Ekstreminės temperatūros leidžia nustatyti strypose atsirandančias kritines ašines jėgas, kritinių įtempis ir netgi modeliuoti medžiagos rodiklius.

Reikšminiai žodžiai: tempiamas ir gniuždomas strypas, įtempis, deformacija, temperatūros pokytis, lygčių sistema.

Įvadas

Tam tikrose konstrukcijose neįmanoma rasti įrašų ir patikrinti stiprumo neatlikus deformacijų nustatymo (Atkočiūnas ir Nagevičius, 2004; Dupen, 2022). Tokios konstrukcijos vadinamos statišškai neišsprendžiamomis konstrukcijomis (arba statišškai neišsprendžiamomis sistemomis), ir konstrukcijos elementų analizė jose pateikiama kaip *statiškai neišsprendžiamas uždavinys* (Bhaduri, 2018; Hibbeler, 2011)

Ne išimtis tempiami ir gniuždomi strypai (arba tempiamos ir gniuždomos sistemos). Jei strypų skaičius n didesnis už sistemos laisvumo laipsnį p , strypų įrašoms apskaičiuoti nepakanka statinės pusiausvyros lygčių.

Statinės pusiausvyros lygtys tempiant ir gniuždant susieja ašines jėgas su išorinėmis apkrovomis. Jos dažniausiai rašomos taikant universalųjį pjūvio metodą ir nesunkiai įrodoma, kad tiesiškai nepriklausomų pusiausvyros lygčių gali būti tik tiek, koks yra tempiamos gniuždomos sistemos laisvumo laipsnis p . Konstrukcijose laisvumo laipsnis p negali būti didesnis už sistemos strypų skaičių n . Jei laisvumo laipsnis p lygus sistemos strypų skaičiui n , strypų ašinės jėgos nustatomos taikant pusiausvyros lygtis ir sprendžiamas statišškai išsprendžiamas uždavinys.

Jeigu tempiamos ir gniuždomos sistemos strypų skaičius yra didesnis, strypų įrašoms rasti statinės pusiausvyros lygčių nebepakanka (Liu et al.; 2021; Vislavičius et al., 2008). Skirtumas

$$n - p = k \quad (1)$$

vadinamas statinio neišsprendžiamumo laipsniu ir parodo, kiek kartų sistema yra statišškai neišsprendžiama. Šis skaičius atskleidžia trūkstamų lygčių kiekį, būtiną sistemai išspręsti (Shmelev et al., 2019).

Trūkstamos lygtys yra geometrinės deformacijų darnos lygtys ir fizikinių dėsnų priklausomybių lygtys.

Tyrimo tikslas – taikant matematinę strypų deformavimo modelį ir stiprumo kriterijų sudaryti tempiamo ir gniuždomo strypo lygčių sistemą kritinei sistemos temperatūrai rasti.

Uždaviniai:

1. Sudaryti tempiamo ir gniuždomo strypo pradinę schemą ir generuoti keletą skaičiuojamųjų schemų.
2. Sudaryti statinės pusiausvyros ir geometrinės deformacijų darnos lygtis ir jas išspręsti randant sistemos ašines jėgas.
3. Pritaikius matematinę deformavimosi elgsenos modelį sukurti algoritmą kritinei temperatūrai skaičiuoti.
4. Lygčių sistemos sprendinio pagrindu optimizuoti nors vieną geometrinę sistemos parametą.

Straipsnio struktūra. Pateikta tempiamų ir gniuždomų strypų statišškai neišsprendžiamos sistemos pradinės schemos kūrimas ir skaičiuojamosios schemos sudarymas, aprašomas sistemos lygčių sudarymas, lygčių sprendimas. Sistemos matematinio modelio lygčių nežinomųjų analizė suteikia galimybę optimizuoti vieną ar keletą strypo geometrinių parametų.

1. Statiškai neišsprendžiamų tempiamų ir gniuždomų strypų sistemų apžvalga

Mokslinėje literatūroje aprašytas įvairias statišškai neišsprendžiamas tempiamas ir gniuždomas sistemas galima suskirstyti į tris pagrindinius tipus.

1. Vienas strypas turi mažiausiai du įtvirtinimus.
2. Išilgai sujungtų strypų sistema.
3. Plokštuminė šarnyrinė strypinė sistema. Erdvinė šarnyrinė strypinė sistema yra sudėtingesnė.

Geometrinės deformacijų ir poslinkių darnos lygtys sudaromos dviem būdais:

1. Matematiškai išreiškiant geometrinių priklausomybių ryšius tarp deformacijų ir poslinkių.
2. Pertvarkant statinės pusiausvyros lygčių matricinę darnos sistemos išraišką.

Geometrinės nesudėtingų sistemų deformacijų darnos lygtys parašomos vadovaujantis matematinės geometrijos priklausomybėmis.

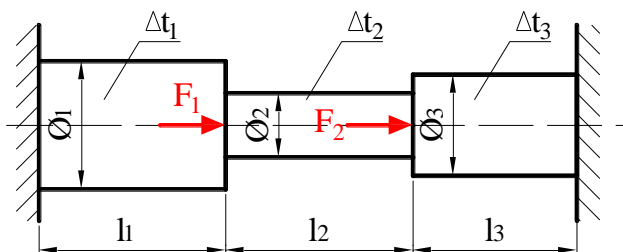
Fizikinės lygtys sieja deformaciją ir įtempį taikant proporcingumo dėsnį, ir jų rašoma tiek, kiek sistemoje strypų.

Atkreiptinas dėmesys, kad statiškai neišsprendžiamose sistemose įrašų gali atsirasti ir be apkrovų. To pagrindinės priežastys yra temperatūros pokyčiai ir montavimo netikslumai (Viridi et al., 2019; Zienkiewicz et al., 2000).

2. Sistemos pradinė ir skaičiuojamoji schemas

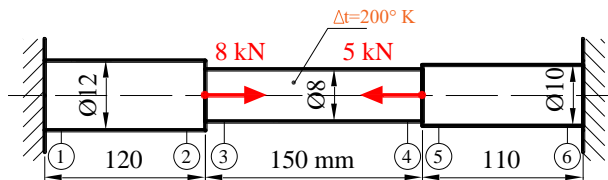
Pradinė schema. Pasirenkamas trijų ruožų abiejuose galuose įtvirtintas centriškai tempiamas ir gniuždomas plieninis strypas. Įtvirtinimai ir pradinė schema parodyta 3 pav. Strypo ruožų ilgiai l_1 , l_2 ir l_3 , skritulinio skerspjūvio skersmenys d_1 (Φ_1), d_2 (Φ_2) ir d_3 (Φ_3). Strypo apkrova išreiškiama koncentruotos jėgos parametrais F_1 ir F_2 , ruožus veikia temperatūros pokyčiai Δt_1 , Δt_2 ir Δt_3 .

Strypas pagamintas iš plieno, jo mechaninių savybių rodikliai: reglamentuojamas projektinis stipris f , tamprumo modulis E ir šiluminio plėtimosi koeficientas α .



1 pav. Pradinė schema
Šaltinis: sudaryta autorių

Skaičiuojamoji schema. Skaičiuojamojo modelio ruožų ilgiai $l_1=120$ mm, $l_2=150$ mm ir $l_3=110$ mm, ruožų skritulinio skerspjūvio skersmenys $d_1=12$ mm, $d_2=8$ mm ir $d_3=10$ mm. Strypo apkrova išreikšta parametrais $F_1 = 8$ kN, $F_2=-5$ kN, aplinkos temperatūros pokytis veikia tik vidurinį strypą, t. y. $\Delta t_1=0$, $\Delta t_2=50$ °K ir $\Delta t_3=0$ °K.



2 pav. Skaičiuojamoji schema
Šaltinis: sudaryta autorių

Plieno reglamentuojamas stipris $f = 100$ MPa, tamprumo (Jungo) modulis $E = 220$ GPa, plieno šiluminio plėtimosi koeficientas $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} K^{-1}$.

3. Tempiamo ir gniuždomo strypo lygčių sistema

Norint sužinoti papildomų lygčių skaičių reikia apskaičiuoti statinio neišsprendžiamumo laipsnį k :

$$k = n - p = 3 - 2 = 1 \quad (1)$$

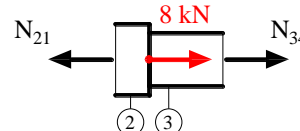
čia $n = 3$ – sistemos strypų skaičius;

$k = 2$ – sistemos laisvų mazgų laisvės laipsnių suma.

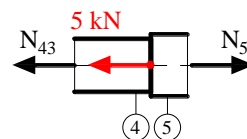
Kadangi sistema yra vieną kartą statiškai neišsprendžiama, vadinasi, prie statinės pusiausvyros lygčių reikės parašyti vieną papildomą geometrinės darnos lygtį.

Statinės pusiausvyros lygtys gaunamos išpjaunant laisvuosius mazgus. Tokie mazgai sistemoje yra 23 ir 45 mazgas.

a)



b)



3 pav. Išpjauti mazgai: a) 23 mazgas; b) 45 mazgas
Šaltinis: sudaryta autorių

23 mazgo pusiausvyros lygtis:

$$-N_{12} + 8 + N_{34} = 0; \quad (2)$$

45 mazgo pusiausvyros lygtis:

$$-N_{34} - 5 + N_{56} = 0; \quad (3)$$

Šiose lygtyse yra trys nežinomieji, taigi, reikia aprašyti geometrinę ir fizikinę deformacijų darną ir matematiškai užrašyti trečiąją lygtį. Fizikinė deformavimo lygtis susies visus nežinomus dydžius, kurie sudaro pusiausvyros lygtis. Ji grindžiama tuo, kad deformuojantis visiems trimis ruožams (12, 34 ir 56) suminis poslinkis turi būti lygus nuliui.

$$\Delta l_{12} + \Delta l_{34} + \Delta l_{56} = 0 \quad (4)$$

čia Δl – strypo ruožo ilgio pokytis.

Strypo ruožo ilgio pokytis skaičiuojamas pagal formulę:

$$\Delta l = \left(\int_0^l \frac{N}{E \cdot A} dz + \alpha \cdot \Delta t \right) \cdot l \quad (5)$$

Pritaikę šią lygtį kiekvienam ruožui gauname trečiąją sistemos lygtį:

$$\frac{N_{12} \cdot l_{12}}{E \cdot A_{12}} + \left(\frac{N_{34}}{E \cdot A_{34}} + \alpha \cdot \Delta t_{34} \right) \cdot l_{34} + \frac{N_{56} \cdot l_{56}}{E \cdot A_{56}} = 0 \quad (6)$$

Įrašę visus žinomus parametrus gauname trijų lygčių sistemą su trimis nežinomaisiais:

$$\begin{aligned} -N_{12} + 8 + N_{34} &= 0; \\ -N_{34} - 5 + N_{56} &= 0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\frac{N_{12} \cdot 0,12}{220 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi \cdot 0,012^2}{4}} + \\ &+ \left(\frac{N_{34}}{220 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4}} + 12 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \right) \cdot 0,15 + \\ &+ \frac{N_{56} \cdot 0,11}{220 \cdot 10^9 \cdot \frac{\pi \cdot 0,010^2}{4}} = 0 \end{aligned}$$

Gauname trijų lygčių sistemą su trimis nežinomaisiais.

4. Lygčių sistemos sprendinys

Ši lygčių sistema sprendžiama pritaikius matematinį rinkinį MatchCAD (4 pav.).

Ašinių jėgų reikšmės:

$$\begin{aligned} N_{12} &= 4,09 \text{ kN}; \\ N_{34} &= -3,91 \text{ kN}; \\ N_{56} &= -8,91 \text{ kN}. \end{aligned}$$

Norėdami sužinoti tik temperatūros įtaką ašinių jėgų dydžiui, turime spręsti uždavinį $\Delta t_2=0$, t. y. darome prielaidą, kad antrasis ruožas temperatūrinių deformacijų nepatiria.

$$\begin{aligned} \text{Given} & \quad + \\ -N_{12} + F_1 + N_{34} &= 0 \\ -N_{34} - F_2 + N_{56} &= 0 \\ \left(\frac{N_{12}}{E \cdot A_1} + \alpha \cdot \Delta T_1 \right) \cdot l_1 + \left(\frac{N_{34}}{E \cdot A_2} + \alpha \cdot \Delta T_2 \right) \cdot l_2 + \left(\frac{N_{56}}{E \cdot A_3} + \alpha \cdot \Delta T_3 \right) \cdot l_3 &= 0 \\ \text{Find}(N_{12}, N_{34}, N_{56}) &= \begin{pmatrix} 4,091 \times 10^3 \\ -3,909 \times 10^3 \\ -8,909 \times 10^3 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

4 pav. Lygčių sistema MatchCAD terpėje
Šaltinis: sudaryta autorių

Radus ašinės jėgos stiprumas tikrinimas skaičiuojant maksimalius įtempius strypo ruožuose.

$$\sigma_{12} = \frac{N_{12}}{A_{12}} = \frac{4,09 \cdot 10^3}{\frac{\pi \cdot 0,012^2}{4}} = 36,2 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 36,2 \text{ MPa};$$

$$\begin{aligned} \sigma_{34} &= \frac{N_{34}}{A_{34}} = \frac{-3,91 \cdot 10^3}{\frac{\pi \cdot 0,008^2}{4}} = -77,8 \cdot 10^6 \text{ Pa} = -77,8 \text{ MPa}; \\ \sigma_{56} &= \frac{N_{56}}{A_{56}} = \frac{-8,91 \cdot 10^3}{\frac{\pi \cdot 0,010^2}{4}} = -113 \cdot 10^6 \text{ Pa} = -113 \text{ MPa}. \end{aligned}$$

Strypo plieno reglamentuojamas stipris yra 100 MPa, tad 56 ruožas nėra pakankamai stiprus.

Naudojantis turima trijų lygčių sistema ir algoritmu MatchCAD terpėje nesunku apskaičiuoti įrašas ir įtempius be temperatūros įtakos (5 pav.)

$$-N_{12} + F_1 + N_{34} = 0$$

$$-N_{34} - F_2 + N_{56} = 0$$

$$\left(\frac{N_{12}}{E \cdot A_1} \right) \cdot l_1 + \left(\frac{N_{34}}{E \cdot A_2} \right) \cdot l_2 + \left(\frac{N_{56}}{E \cdot A_3} \right) \cdot l_3 = 0$$

$$\text{Find}(N_{12}, N_{34}, N_{56}) = \begin{pmatrix} 7,727 \times 10^3 \\ -272,772 \\ -5,273 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

5 pav. Ašinių jėgų reikšmės be temperatūros pokyčio
Šaltinis: sudaryta autorių

Taigi, ašinės jėgos gaunamos:

$$\begin{aligned} N_{12} &= 7,23 \text{ kN}; \\ N_{34} &= -273 \text{ N}; \\ N_{56} &= -5,27 \text{ kN}. \end{aligned}$$

Temperatūros pokytis visai sistemai padarė gniuždomąjį poveikį. Pirmojo ruožo ašinę jėgą sumažino, o antrojo ir trečiojo padidino.

5. Maksimalios temperatūros skaičiavimas

Kaip jau įsitikinom, statiskai neišsprendžiamose sistemose temperatūros pokytis sukelia įrašų perskirstymą, dažniausiai jų padidėjimą bei didina įtempius ir deformacijas. Tai gali būti gana pavojinga, nes nuo šių parametrų priklauso konstrukcijos stiprumas ir standumas.

Labai svarbu rasti ribinį temperatūros pokytį remiantis stiprumo ar standumo kriterijumi, nes pagal reglamentą plieno stipris, t. y. maksimalūs įtempiai kiekviename ruože negali viršyti 100 MPa. Vadinasi, į trijų lygčių sistemą reikia įtraukti dar tris papildomas sąlygas:

$$\sigma_{12} = \frac{N_{12}}{A_{12}} \leq f; \sigma_{34} = \frac{N_{34}}{A_{34}} \leq f; \sigma_{56} = \frac{N_{56}}{A_{56}} \leq f$$

Modifikuotas algoritmas ir šešių lygčių sistema su keturiais nežinomaisiais ir trimis apribojimais sprendžiama taikant matematinį rinkinį MachCAD (6 pav.)

$$\begin{aligned}
 & -N_{12} + F_1 + N_{34} = 0 \\
 & -N_{34} - F_2 + N_{56} = 0 \\
 & \left(\frac{N_{12}}{E \cdot A_1} + \alpha \Delta T_1 \right) \cdot l_1 + \left(\frac{N_{34}}{E \cdot A_2} + \alpha \Delta T_2 \right) \cdot l_2 + \left(\frac{N_{56}}{E \cdot A_3} + \alpha \Delta T_3 \right) \cdot l_3 = 0 \\
 & \frac{N_{12}}{A_1} < f \\
 & \frac{N_{34}}{A_2} < f \\
 & \frac{N_{56}}{A_3} < f \\
 & \text{Find}(\Delta T, N_{12}, N_{34}, N_{56}) = \begin{pmatrix} 90.711 \\ 1.131 \times 10^3 \\ -6.869 \times 10^3 \\ -1.187 \times 10^4 \end{pmatrix} +
 \end{aligned}$$

6 pav. Kritinė temperatūra ir ašinių jėgų reikšmės
Šaltinis: sudaryta autorių

Vadinasi, viršijus 90,7 laipsnių, nagrinėjamoje trijų ruožų strypinėje sistemoje atsiras įtempių perviršis.

Išvados

1. Atlikus tyrimą galima teigti, kad temperatūrinių deformacijų įtaka statiskai neišsprendžiamų sistemų įrašomas ir įtempiams yra reikšminga ir ją privalu vertinti.
2. Sukurtas skaičiuojamasis modelis suteikia galimybę vertinti ne tik vidurinės dalies temperatūros pokytį, bet ir visų strypo dalių temperatūrinės deformacijas.
3. Vidurinės dalies temperatūrai pakilus 50 laipsnių, strypo įrašos persiskirsto ir pirmos dalies ašinė jėga sumažėja 47%, antros dalies absoliučiu didumu padidėja 118 kartų, o trečios dalies gniuždymo įtaka išauga 1,7 karto.
4. Remiantis stiprumo kriterijumi nustatyta, kad strypo vidurinės dalies maksimalus temperatūros pokytis negali viršyti 90 laipsnių.

Literatūra

Atkočiūnas, J., Nagevičius, J. (2004). *Tamprumo teorijos pagrindai*. Vilnius: Technika.

Bhaduri, A. (2018). *Tension*. In: Springer Series in Materials Science. Dupen, B. (2022). *Strength of Materials for Engineering Technology* (23rd ed.).

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

Liu, F. et al (2021). Effect of Temperature and Multichannel Stopper Rod on Bubbles in Water Model of a Steel Continuous Caster. *Steel Research International* 92(9).

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

Shmelev, G. N., Khaidarov, L. I., Sabitov, L. S., Gimranov, L. R., Kashapov, N. F. (2019). Experimental study of the work of a temporary structure of a dismantlable bar system. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.

Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L. (2000). *The Finite Element Method. The Basis*. Vol. 1. Fifth edition, Butterworth Heinemann, Oxford.

Virdi, P.S., Nitin, B., Sandilya, P., Chakraborty, G. (2016). Theoretical comparison of thermo-mechanical behavior of a tension rod and a coil as dewar support. *Indian Journal of Cryogenics* 44(1):216.

INVESTIGATION OF THE DEFORMATION BEHAVIOR OF A STATICLY UNSOLVABLE TENSILE ROD

Jurijus Tretjakovas^{1,2}, Stevo Borojević³, Liang Zhang⁴

¹Vilnius Gediminas Technical University

²Vilnius College of Technologies and Design

³University of Banja Luka

⁴Henan University of Science and Technology

Summary. The article deals with the statically indeterminate system of tensile compressible rods under the influence of external loads and temperature changes occurring in the rods. This investigation attempts to develop a mathematical model of deformation and apply it to find critical temperatures. To achieve these goals, a system of mathematical equations based on static equilibrium equations, geometric constraints equations and physical state equations is created. After summarizing the solutions of the system of equations, an algorithm for finding critical temperatures is generated. Known extreme temperatures make it possible to determine the critical axial forces, critical stresses, etc.

Key words: tensile compressive rod, stress, deformation, change in temperature, system of equations.

AI AS CREATIVE PARTNER AND MUSE

Chris Hales

Independent Artist and Guest Lecturer at VTDK Design Faculty

Abstract. AI-generated imagery has undergone significant recent development in terms of accessibility, ease of use, and quality of output. The technique of typing text prompts to produce images, a process known as text-to-image, underwent significant performance improvements in late 2022 leading to an uptake in interest and popularity. This paper discusses both text-to-image and a related technique known as a generative adversarial network (GAN), in terms of technical aspects and the types of image outcome produced. The importance of the prompt text, which can be crafted in a process known as ‘prompt engineering’, is illustrated by means of experimentation in which a custom-made GAN and the *Stable Diffusion* text-to-image model are used to generate imagery of the Hill of Crosses. Ethical and artistic considerations, and the concept of the AI model as a creative muse, are also discussed in order to create knowledge of use to the creative community.

Key words: Artificial Intelligence, Machine Learning, Neural Network, GAN, Text-to-Image, Stable Diffusion, Prompt Engineering.

Introduction

The use of artificial intelligence (AI) across a range of societal applications including those for creative purposes has developed dramatically in recent years due to developments in coding techniques and the training of neural networks upon ever more comprehensive datasets in a process known as machine learning (ML). Sabine Himmelsbach (2022) uses the term ‘entangled realities’ to describe the emerging dialogue between humans and machines which has been created and shaped with ever-developing intelligent systems and objects. A popular meme at the time of writing this article goes along the lines that ‘AI won’t take your job - but somebody using AI will’, the implication being that outstanding AI tools are already established in creative practice but need human ingenuity to be used to their full potential. This paper aims, by means of an experimental qualitative approach, to examine outputs from image-based ML models in two forms: as generative adversarial networks (GANs) which can be self-trained using personally collected visual imagery, and recently developed text-to-image models such as *Stable Diffusion* (hereinafter called *SD*) which have been trained on massive amounts of data taken from online sources. By attempting to generate Lithuania-specific outputs a comparison can be made between a custom-made model and one that has been trained on a vast worldwide cultural database, and the effects of varying a text prompt to guide the latter model can be explored.

At the time of writing the amount of published literature relevant to this paper is scarce, the bulk of publication being online journalistic articles or scientific papers dealing with computational techniques. The publication time lag struggles to keep up with the almost daily developments in the techniques and quality of AI-generated imagery, and publications relevant to this article are either yet to appear, or are already outdated. To overcome this, Manovich and Arielli have been publishing a book incrementally online since 2021 to document what Manovich terms an ‘ongoing revolution’ (Manovich, 2023). By contrast Arthur Miller’s *The Artist in the Machine*, a key text back in 2019, already seems like a history book: most of the case studies and techniques presented have already been superseded

or have lost favour as researchers introduce newer types of implementation with higher image resolution and quality. Face swapping, for example, was a mobile phone app craze around 2016 and shortly afterwards neural style transfer became popular – this being a process in which the higher stylistic layers of a pre-trained model (trained for example on paintings by Monet or Van Gogh) are applied to a user-supplied content image. The popularisation of psychedelic ‘DeepDream’ imagery also dates to around this time. Although techniques such as these could be considered little more than gimmicks, by 2019 Generative Adversarial Networks (GANs) added breadth, variety and quality by means of their ability to generate original instances of text and image based on specific trained model content. Supplying text guidance (a descriptive sentence) to generate original imagery is the latest development to have become popular and it has, to a certain extent, upstaged the use of GANs due to its broader functionality.

Using a methodology of action research via experimentation, the author of this paper firstly gained the expertise to create several unique GANs including one trained on imagery of Šiauliai’s Hill of Crosses. Experiments then compared the outputs from this model with those created from *Stable Diffusion* in order to make a subjective analysis of how both models generate the same target output (Hill of Crosses). In order to reveal variation produced by the text prompt, the study then experiments with the additional capability of *SD* to extemporise on the basic visual theme. Finally the text prompts are further elaborated to reveal the potential for both faking reality and encouraging creative imagination when using text-to-image generators. This approach is limited by very small amounts of data (in the form of the generated images) and the fact that results are subjectively commented upon only by the author. The aim nonetheless is to better understand and elucidate the processes behind GANs and text-to-image generators.

1. Generative Adversarial Networks and ‘CrossesGAN’

Looking specifically at image-based functionality, a GAN is an image-generating neural network which is created via a

training process over a substantial number of iterations (sometimes called epochs) from a large dataset of thousands of images which may be original photographs or artworks, or ‘scraped’ from the Internet. It is time consuming but not difficult for an artist or designer to create or collect their own dataset, and to use ready-made code to train their own original and unique GAN model. The author of this paper has trained several GANs, for example one to create Baltic mitten designs (trained from 900 images with 200 hours of training), another producing image representations of the River Daugava in Latvia (1000 images, 340 hours training), and a third that generates images of Šiauliai’s Hill of Crosses (850 images and 100 hours of training). The rationale behind training each of these models was for the purpose of creating novel experimental short films and in each case these were probably the first image-based neural networks ever created on that particular subject. The Hill of Crosses model will be discussed in more detail later and has been named ‘*CrossesGAN*’.

As the GAN training process progresses information is gradually built into a neural network that begins to understand lines and shapes and eventually learns how to create new and original images that resemble, but are different from, images that were in the original dataset. If the neural network is not provided with any description of each item in the dataset then the process is described as unsupervised. In supervised learning categories (classes) are assigned to each image (e.g. this image is a cat, this image is a dog) meaning that a model could not only generate new exemplars of each particular class on which it was trained, but could function as a ‘classifier’ which could try to identify previously unseen images.

CrossesGAN was unsupervised, meaning that the resultant model had neither preconception nor nomenclature of what the dataset imagery represented, yet during the training process it learned to make its own imagery that had the look and feel of the original dataset images without ever generating replicas. The model was trained using the StyleGAN2 architecture which utilises a 512-dimensional descriptive matrix known as latent space. Without requiring a user to supply any parameters, an almost infinite number of image variations can be produced from a GAN and video sequences can be generated by ‘spacewalking’ through the so-called latent space to produce interpolation (inbetweening or morphing) videos.

Inherent in the GAN-type architecture is the narrow specialism as to what the model can create. If trained on a few thousand photographs of cars it would only produce attempts at new car images, and so on. There are a great number of these specialised GAN models either held privately (as my own) or made publicly available for others to use. Reproduced in Fig. 1 are a variety of 512px square images generated from the author’s *CrossesGAN* which have been generated randomly. The original dataset consisted of 850 images of the Hill of Crosses at different times of day and at different locations but was curated in such a way that only images without people in them were chosen for the dataset. Additional training steps and a larger dataset would have been desirable to improve the results, nevertheless particular features of the real Hill of Crosses are quite

recognisable, albeit in a somewhat freeform representation. There was no aim to make the output an exact reconstruction but rather to create artistic imagery that could be formed into an experimental film by interpolation through the latent space of the model in the process of ‘spacewalking’ referred to above. Generally the latent space is truncated to give more realism but can be opened up to produce a tendency towards deliberate abstraction, an approach which is neither difficult nor unpopular. Indeed, as Hales (2021, p.80) suggests, “the abstract form, certainly, can be considered as one of the direct links between new AI practices and previous movements in experimental film”. Stan Brakhage’s description of experimental film as “an adventure of perception” (Brakhage, 1963, “Metaphors on Vision” para. 1) is particularly appropriate to the exploration of the latent space of a GAN which contains almost unlimited visual variations on the overall theme (i.e. the Hill of Crosses) without any preconception of what the theme represents to a human.

The *CrossesGAN* model does just the one job but with enough inherent fidelity for anyone familiar with the real Hill of Crosses to sense an impression of familiarity in many of the images the model produces. This narrow functionality reveals a situation which is far away from the goal of Artificial General Intelligence (AGI) in which the neural network becomes versatile and multi-functional enough to begin to rival human intelligence itself. *Stable Diffusion*, a text-to-image architecture which will be examined next, does make a slight but significant move in that direction because the enormous dataset on which it was trained broadens the range of imagery that can be produced.

2. Text-to-Image and How it Works

At the time of writing it is clear that although GANs still retain their creative potential, there is an explosion of interest in the use of text guidance to generate image (or text) output, with the term ‘text-to-image’ becoming a predominant theme in the AI-generated art community. A proliferation of websites and apps emerged in the latter quarter of 2022 and early 2023 to implement fast-moving text-to-image developments: *Crayon*, *Dream by Wombo*, *Midjourney*, *NightCafé* and *Stability AI’s DreamStudio* are currently some of the most popular. The terms ‘AI-generated art’ and ‘generative art’ have become widely used to categorise the type of imagery, very often fantasy-inspired and photorealistic, which is generated by use of a text-to-image model – it must be noted, however, that generative art is a long-established field that covers a great many techniques and styles including abstraction.

What currently sets text guidance apart and has led to its popularity is that the datasets used for training text-to-image models are so massive in size that a single model can create a seemingly endless variety of high quality images from just a short descriptive phrase. In text-to-image training the dataset is structured as pairs of images plus their text captions: each image is paired with a text description of that image. Since it would be tedious (though not impossible) for anyone to try to create a useable dataset this way, the images are invariably scraped from



Fig 1. A variety of images (converted to greyscale) generated by the *CrossesGAN* image-based neural network
Source: Author

websites across the Internet along with their accompanying captions. In this way any image posted online with a caption, for example on a personal blog, stock image website, or a news or sports website, has the potential to end up in such a dataset and be used in the training process, thereby influencing the outputs produced. A massive dataset of billions of text-caption pairs was trained by the company OpenAI to create the CLIP text guidance model (released early 2021) which brought about the current rapid developments in text-to-image. What CLIP (and its variations) does in simple terms is to repeatedly compare an image and a text caption and report the accuracy of the match, therefore guiding an iterative search through the latent space of an accompanying generative model to find accurate mappings between generated images and user-supplied text descriptions. CLIP deals with the text guidance and does not itself create imagery: it is tightly coupled with an image generator model (which could be a GAN) to make up the entire package and these combinations often have catchy titles such as *Aphantasia*, *Hypertron*, *Disco Diffusion* and OpenAI's *DALL-E*. Diffusion refers to a particular method using a model trained to gradually refine a pattern of random noise into realistic images. At the time of writing *Stable Diffusion* developed by Stability AI is an overwhelmingly popular community-driven solution that is considered to give realistically rendered outputs that excel in matching image to prompt – the text-to-image experiments later in this article will be based on the use of *SD*. Although its first version (August 2022) used the original CLIP model for the text guidance, the second version (November 2022) has its own text guidance model (OpenCLIP) trained using a 120-million image subset of the LAION-5B dataset of 5.85 billion image-caption pairs (filtered for inappropriate content and aesthetic value). The process of creating final output images from a text prompt occurs by repeated generation of images in an iterative series of steps starting from an initial noise pattern. Each image step gets a score from the text guidance model with the aim of continually improving the match with the text prompt until a certain number of steps (for example, fifty) have been completed. Because this process will result in a different image each time, a batch of output images can be generated from which the user can cherry-pick those images that are considered most successful. *SD* is able to combine quite disparate concepts in original ways such that the results generated from a prompt like, for example, “a car in the shape of a dog” go way beyond mere collage and are often intriguing and ingenious in their unexpected inventiveness. It is for this reason that *SD* and comparable models are considered by some to show an almost magical advancement in image-based generative AI – bearing in mind of course that the ‘magic’ originates in the massive corpus of human ingenuity contained in the datasets upon which the models have been trained.

Although this article examines text guidance, visual guidance can also be used as a complementary tool to craft a desired output image and is becoming increasingly common, particularly where each so-called ‘starting image’ is derived frame by frame from an existing video file. Alternative solutions exist for this, the most direct approach being one which affords the user the possibility simply to upload an image (usually jpeg

or png format) from which the text-to-image iteration is commenced using the user-supplied text prompt. Artbreeder's *Collager* system has a different methodology that allows the user to position some basic shapes that suggest where particular prompt elements should be drawn, and Meta AI's *Make-A-Scene* offers a basic sketching interface with a user's drawings providing visual guidance to supplement the work of the text prompts.

Let us now study the *Stable Diffusion* model as it stands in early 2023 which is, essentially, a single neural network with knowledge of a great many categories of imagery rather than just the one. Surely the *SD* text-to-image model could not generate images that represent the same knowledge as *CrossesGAN*? Inputting the text prompts "Hill of Crosses Siauliai" or "distant view of Hill of Crosses Siauliai" into a basic web implementation of *SD* (stablediffusionweb.com) gives 512px square images such as those illustrated in Figure 2 (these have been selected from amongst multiple possibilities generated by *SD* and converted from colour to greyscale). The bottommost image in Figure 2 was generated using the prompt "path leading through the Hill of Crosses Siauliai". Sample output images from the same prompt can be generated endlessly by *SD* with results that are undoubtedly hit or miss, meaning that with sheer persistence it may be possible to produce an image that is recognisable as specifically being the Hill of Crosses in Šiauliai: additionally, there are many parameters that influence the final outputs (such as the number of iterations per generated image) that are simply not available on the basic web implementation that was used here. Although the outputs are to a certain extent comparable between the use of *SD* and *CrossesGAN*, a subjective comparison suggests that *CrossesGAN* is more faithful to the actual Hill of Crosses topology – which should come as no great surprise given that significant time and effort was expended in creating *CrossesGAN* specifically for this task and only this task. On the other hand it took just a few words of typed text to generate from the *SD* model and it catches the overall impression of the subject excellently but, perhaps, with a more imaginative approach – for example the crosses themselves are more intricate and ornate and the path through the Hill of Crosses (bottom image) is itself made up of crosses.

These results beg the question of whether the *SD* model has any actual knowledge of the Hill of Crosses at all, or whether it is inventing generic scenes. Fortunately this question can be easily solved because the LAION-5B image+caption dataset on which *SD* was trained is open-sourced and can be inspected, a website offering this being haveibeentrained.com. Entering "Hill of Crosses Siauliai" into the search box of this website reveals that about 250 photographs are present and they do all seem to be actual representations of the place, hence we can reasonably conclude that the *SD* model does indeed have some visual knowledge of the Hill of Crosses. However, the images being generated by *SD* as typified by those in Figure 2 are clearly not directly representational collages cut-and-pasted from the samples in the dataset: they are original compositions freely extemporised from the entire knowledge embedded in the *SD* neural network. This leads us to the true strength and core

popularity of *SD* which is in the realm of fantasy and imagination.

A brief study of online galleries of *SD* outputs reveals that it is being used overwhelmingly to create fantastical scenes and imaginative combinations in a hyperrealistic manner rather than to reconstruct reality itself, meaning that *SD* is undoubtedly best used when allowed to freely undertake its own 'adventure of perception'. Where the *SD* method comes into its own therefore is when the text guidance is used to go beyond a basic representation of the core prompt. Some gradual steps in this direction are shown in Figure 3. The prompt for the image on the top of Figure 3 was "Watercolour painting of Hill of Crosses Siauliai in autumn" and the image below it was generated from prompt "Pixelart view of Hill of Crosses Siauliai". These images reveal that *SD* can enhance a core representation with knowledge of additional subjects such as weather conditions and in addition to this, stylistic rendering can be carried out with ease – this could in fact be considered a new variety of neural style transfer in which the user need only supply the text guidance rather than uploading a content image. The bottom two images in Figure 3 are somewhat worrying in the manner in which a fake narrative has been represented: the prompts were "the Pope climbing the Hill of Crosses Siauliai" and "Hill of Crosses Siauliai burning with a huge fire". The imagery is untainted by Photoshop retouching and has the potential (and even more so in future upgrades of *SD*) to be easily passed off as (fake) news. Adding additional description to the prompt such as "black-and-white photo reportage of" or "blurry handheld Super 8 footage of" might add further 'authenticity' to the quality of the generated images.

The ease with which believable imagery can be generated combined with the realism of *SD* has raised debate about the moral and ethical questions around the use of text-to-image. An additional aspect causing concern is that the LAION-5B dataset contains many images scraped from the online art galleries of active bona fide artists many of whom are, no doubt, struggling to make a living from their art: *SD* can freely generate believable imagery in the style of these artists that would be politely called pastiche but more colloquially would be criticised as a rip-off. Technologist Andy Baio addresses this by stating that text-to-image "opens profound questions about the ethics of laundering human creativity" (Baio, 2022).

3. Prompt Engineering

The above experimentation with the prompt wording demonstrates how the exact phrasing of a prompt is crucial to obtaining the desired imagery. As well as the raw (or core) prompt a style description such as "charcoal sketch" or "grainy photograph of" is often given; a format can be suggested such as "a portrait painting of"; and specific artists may be invoked by prompts such as "Renoir oil painting of". Prompt weighting, both positive and negative, can be specified on particular text terms, for example "clouds:-1.0" would result in compositions being created with much less chance of clouds appearing in them.



Fig 2. Images generated by *Stable Diffusion* with variations on prompt
 “Hill of Crosses Siauliai”
 Source: Author

In this way text prompts might easily stretch to fifty or sixty words and might include negative and positive weighting. The process of crafting these complex prompts has become known as ‘prompt engineering’, a totally new field and a profession which has emerged almost overnight. The fact that significant experimentation is required to discover and refine a particular prompt should not come as a surprise given that the text guidance is the predominant interface by which the generated imagery can be customised and the original dataset is based on a vast variety of image+caption pairs. Painstaking trial and error has led many prompt engineers to discover how to generate impressive images: in this way it was discovered that adding “rendered with Unreal Engine” to a prompt was invaluable to generate hyperrealistic outputs. Although many such prompts are shared with the community, others are kept as a closely guarded secret. The prompt engineer also now has an opportunity to monetise their skill via websites such as *promptbase.com* which offers a ‘prompt marketplace’ for buying and selling prompts for a variety of popular text-to-image generators including *SD*.

Skill with prompt engineering begins with an understanding that the dataset comprises scraped image+caption pairs of very diverse origin and hence prompting with a word such as “beautiful” is highly ambiguous: in the dataset it might have referred to a variety of images such as a landscape, a human face, a painting, or a sunset. Hence the model is going to have difficulty in interpreting the exact usage that the prompter had in mind – an alternative approach might be to add a negative weighting to “ugly” instead. Likewise, there are difficulties with subtleties of language and idioms: “a fork in the road” might easily end up generating images of a culinary item lying on asphalt; “Spiderman on a skateboard” might result in an image of a skateboard with a Spiderman cartoon imprinted on it. A variety of tools and techniques have been created to aid the construction of the most accurate text prompt to generate a particular desired outcome: prompt matrices have been created showing grids of generated images with the same core prompt combined with different descriptive prompts, and the CLIP model itself can be interrogated in reverse by submitting an image to a website in order to discover how CLIP describes it as a text phrase.

4. Discussion

In the field of text-to-image art, we are already at the stage where the term ‘artist’ has been superseded by the ‘prompt engineer’. In mid-2022 Jason Allen used the *Midjourney* text-to-image software to win the digital art section of the Colorado State Fair art competition with an image entitled *Théâtre D’opéra Spatial*. This resulted in significant antipathy from others in the artistic community claiming that Allen was not an artist and little more than a cheat. Allen was quoted in an article by Roose for the New York Times (Roose, 2022) as saying that “Art is dead, dude. It’s over. A.I. won. Humans lost”. The artist and little more than a cheat. Allen was quoted in an article by Roose for the New York Times (Roose, 2022) as saying that



Fig 3. Images generated by *Stable Diffusion* using a core prompt of “Hill of Crosses Siauliai” with additional wording
Source: Author

The argument here is that text-to-image is simply a new creative tool that starts with a human idea, and hours of skill and trial-and-error are required for a prompt engineer to generate images that represent that idea in eye-catching ways. Although this argument implies that time and effort expended on perfecting a prompt equates to the quality of artistic endeavour, it can reasonably be claimed that human imagination and ingenuity is still required to generate striking imagery from a prompt just as it would be from a pencil or a paintbrush.

In the above experiments with *Stable Diffusion* using a core prompt of “Hill of Crosses Siauliai”, the full prompts remain quite descriptive of real situations and the outputs retain quite believable realism. Stretching the human imagination further, a more creative prompt engineer might compose “a birthday cake shaped like the Hill of Crosses Siauliai on a plate on a table”. Two outputs using this prompt are shown in Figure 4 and they clearly reveal that *SD* has the ability to combine disparate and unconnected concepts into a successful result – demonstrating that from this point it seems that only the imagination of the prompt engineer sets boundaries for whatever *SD* is able to deliver.

Both GANs and text-to-image can cover the entire spectrum from abstraction to realism although the latter clearly has the capability to contribute more ‘imagination’ to its output. As discovered by personal experience, GANs and text-to-image continually surprise the artist employing them with the unexpected images that they generate. Not having any human preconceptions, these systems can interpret and create in unexpected ways and there is no doubt that off-the-wall ideas can be generated by neural networks that might not have been thought of by the human artist using them. As well as the time investment, there is a personal connection to a GAN that has been self-trained over hundreds of hours and which has learnt to create unique imagery – the AI at times behaves like a muse who offers stimulating inspirations. In ancient Greece there were nine muses each devoted to a different theme and the author’s *CrossesGAN* is his personal ‘Muse of the Hill of Crosses’. Each trained GAN is to a certain extent the Muse of the domain on which it is trained, whereas text-to-image (as exemplified by *Stable Diffusion*) is a ‘Super Muse’ with the ability to conjure up inspirational images on a vast range of subjects.

Conclusions

1. Text-to-image has reached a stage where it produces astounding imagery for anybody and everybody with just a few typed words. A parallel could be drawn with changes in photography arising initially from the change to digital cameras and subsequently the ubiquity of smartphones that enable anyone to take technically superb photographs without knowledge of darkrooms, chemicals, roll film, and camera settings. Fortunately not all artists create digital imagery and the use of traditional materials such as oil paints or charcoal continues – yet even here robotic contraptions connected to paintbrushes or pencils and controlled by

AI are now being exhibited in galleries by artists such as Sougwen Chung.



Fig 4. Two images (converted to greyscale) generated by *Stable Diffusion* with prompt “A birthday cake shaped like the Hill of Crosses Siauliai on a plate on a table”
Source: Author

2. The experiments themed with the Hill of Crosses detailed in this paper did little to explore the true capabilities of text-to-image since they were primarily based on reproducing reality, yet it was immediately evident that *Stable Diffusion* is not just a cut-and-paste collage machine. Current text-to-image models encourage their prompters to wild flights of imaginative fancy and can transform dreams into visual realities. It becomes clear upon inspecting online galleries of imagery from text-to-image communities (such as that for *Midjourney*) that those with an interest in fantasy and sci-fi are highly productive – the use of text guidance presumably giving many non-artists the opportunity to visualise their thoughts and ideas for the first time. The ease with which a few words of text can transform within a few seconds into a totally

unexpected visual representation is wonderfully empowering but can also bring accusations of trivialising the creative process. The issue of whether the AI models function as a tool, a collaborator or a muse is a matter of personal opinion.

3. All output from text-to-image represents an Internet-centric view of the world since all image+caption pairs in the dataset have been sourced online. This opens up the generated imagery to any inherent online bias, for example, if a prompt includes the word “schoolteacher” it is most often a female teacher who is portrayed. Ethical concerns are being raised about specific aspects of datasets, for example the inclusion of artwork by currently active artists whose style can be pastiched and potentially sold. Copyrighted images such as Disney characters or celebrity faces are being removed from some training datasets due to fears that future litigation will at some stage be instigated to decide the legality of using particular visual imagery in the training of text-to-image neural networks. Ecological concerns are also being raised due to the fact that machine learning requires significant computing power often provided by sprawling data centres that generate heat and blot the landscape.
4. Text-to-image is undergoing continual rapid development and techniques are being expanded to other domains. For example, generating video sequences is already possible on a frame by frame basis; true text-to-video using models trained on massive scraped datasets of online videos is under development; and text guidance of audio is following a similar development path with projects such as Google’s *MusicLM*. In other fields, there is some research into text-to-3D-shape generation (Sanghi et. al., 2022) although datasets are smaller since 3D model files are less frequent online. Runway ML are currently promoting a text guided video editor software which might be termed text-to-video-editing, and *GitHub Copilot* is already up and running using natural language guidance to assist programming in the Python language. AI-based text generation has not been discussed here but made a name for itself in late 2022 with the release of OpenAI’s conversational text model entitled *ChatGPT*.
5. Finally, it is important to point out that the creative and editorial industries are already established users of text-to-text and text-to-image and these new tools are already proving an invaluable aid to rapidly visualise novel ideas to present to clients. In a matter of seconds a striking original illustration can be generated for an article rather than using clip art or the services of an illustrator, and money can be saved by no longer employing human photographers, models and makeup artists. Stock photography agencies may be entirely superseded in the very near future. The fear that certain illustrators, artists and photographers will lose their

jobs is warranted, but the meme quoted at the beginning of this article suggests that it would still be a human being, albeit using AI, that replaces them. Historically there has always been resistance to new technologies like photography that subsequently earn the right to be considered art forms in their own right. Despite the current accusations of cheating, triviality of effort, and appropriation, it is entirely possible that future design teams will include a prompt engineer and the AI muse of creativity will be routinely invoked to conjure up new and unexpected visual ideas.

References

- Baio, A. (Aug 26th, 2022). *Opening the Pandora's Box of AI Art*. Access via internet: <<https://waxy.org/2022/08/opening-the-pandoras-box-of-ai-art/>>.
- Brakhage, S. (1963). Metaphors on Vision. *Film Culture* special edition.
- Hales, C. (2021). Artificial Intelligence: the Latent Revolution in Filmmaking. In: 'ADAM arts', Vol. 2. RISEBA University, Riga. pp. 72-87.
- Himmelsbach, S. (2022). Entangled Realities. How Artificial Intelligence is Shaping our World In: Kelomees, R., Guljajeva, V., Laas, O. (eds.) *The Meaning of Creativity in the Age of AI*. Estonian Art Academy, Tallinn. pp. 150-168.
- Manovich, L. (2023). AI image and Generative Media: Notes on Ongoing Revolution. In: Manovich, L., Arielli, E. (eds.) *Artificial Aesthetics*, published one chapter at a time on <manovich.net>.
- Miller, A. I. (2019). *The Artist in the Machine. The World of AI-Powered Creativity*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Roose, K. (Sept 2 2022). An A.I.-Generated Picture Won an Art Prize. Artists Aren't Happy. *New York Times*. Access via internet::

<<https://www.nytimes.com/2022/09/02/technology/ai-artificial-intelligence-artists.html>>.

Sanghi, A. et al. (2022). 'CLIP-Forge: Towards Zero-Shot Text-to-Shape Generation'. *2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, New Orleans, LA, USA. pp. 18582-18592.

DIRBTINIS INTELEKTAS KAIP KŪRYBINIS PARTNERIS IR MŪZA

Chrisas Halesas

VTDK Dizaino fakulteto nepriklausomas menininkas ir kviestinis dėstytojas

Anotacija. Dirbtinio intelekto sukurti vaizdai pastaruoju metu buvo gerokai patobulinti naudojimo paprastumo ir išvesties kokybės požiūriu. 2022 m. pabaigoje pagausėjo bandymų kurti vaizdus iš teksto įvesties, t. y. procesas, žinomas kaip teksto vaizdo kūrimas. Šiame straipsnyje aptariama teksto vaizdo kūrimo technika (žinoma kaip generatyvinis priešininkų tinklas (GAN), atsižvelgiant į techninius aspektus ir gaunamo vaizdo tipus. Skubiojo teksto, kurį galima sukurti pasitelkus procesą, vadinamą „prompt engineering“, svarba iliustruojama eksperimentuojant, kai pagal užsakymą pagamintas GAN ir stabilios sklaidos teksto vaizdo modelis pasitelktas Kryžių kalno vaizdams generuoti. Taip pat aptariami etiniai ir meniniai reikalavimai, pateikta DI modelio kaip kūrybinės mūzos samprata, siekiant suteikti kūrėjų bendruomenei žinių.

Reikšminiai žodžiai: dirbtinis intelektas, įrenginių „mokymasis“, neuroninis tinklas, GAN, teksto vaizdas, stabili difuzija, greita inžinerija.

IMPACT OF ONLINE SALES CARGO FLOWS ON THE LOGISTIC COMPLEX OF GEORGIA'S TRANSPORT-TRANSIT CORRIDOR

Otar Gelashvili, Boris Gitolendia, Luka Kemoklidze

Georgian Technical University - 0171, Georgia, Tbilisi, Kostava str. 77

Abstract. In the article the discussions about the function of the transit corridor of Georgia, taking into account modern trends and dimensions of e-commerce (online sales business) take place. Georgia is a key country in the Europe-Asia transport corridor and the globality and growing dynamics of e-commerce provide huge opportunities in this direction. Accordingly, we discuss: what scale of online business cargo is shifted and what kind of transport and logistics factors affect the operation of the transport corridor. We present a vision of future development, identify issues that require study and make appropriate recommendations.

Keywords: E-commerce, Logistics, Transport, Transit Corridor of Georgia, Logistic Complex.

Introduction

In the modern world, along with the refinement of the principles of the market economy, development of information technology has accelerated the process of globalization and contributed to the development of innovative models of economic activities that have changed people's lives, including business relationships and buying and selling behavior. The creation of the electronic market has reorganized the global economy, creating new trends and, at the same time, challenges. E-commerce (online sales business) is a relatively new and interesting type of purchase for the customer, by way of which products and services are bought and sold through electronic platforms. This helps to make business easier, minimizing costs and placing focus on the customer and his satisfaction. E-commerce has already changed consumer behavior and business paradigms to some extent. COVID 19 has increased the relevance of online sales and today it is considered as one of the driving forces of the business industry. The pandemic has not only increased the number of online orders, but also added a number of new industries and sectors. The Covid pandemic has adversely affected almost all business sectors but e-commerce continues to show an increase of revenues.

Georgia currently plays a modest part in this great economic process. The Georgian electronic market and this branch of trade are significantly behind the world scale in terms of their level of development and opportunities, but have the potential for great development. Despite this lag, considering that the role of transport and logistics in the production cycle of e-commerce businesses - both globally and locally - is huge, we believe that Georgia has full potential to be not just an ordinary participant in these processes, but rather to be in its vanguard.

Object of investigation – Transport-Transit corridor of Georgia.

Main aim of the article – increasing the effectiveness of the transport-transit corridor of Georgia.

Tasks of the work:

- Assessment of the importance and scope of cargo flows from online sales in the transport-transit corridor
- Discovery of transport and logistics factors preventing the growth of this type of cargo flow and preparation of relevant recommendations

Practical value – the research analyzes the necessary measures to increase the cargo flows from online sales in terms of the transport and logistics complex.

Research methodology – depending on the content of the research topic, different systematic approaches were used as research methodology, in particular: methods of description; comparative analysis and synthesis; information was collected through a variety of proven methods. After accumulating a sufficient material, it was analyzed based on economic theory and management methodology. Research issues were analyzed and a conclusion has been formulated. Above mentioned methodological approach allowed us to accumulate knowledge about the research topic.

Discussion of the literature analysis – compared to the international trends of e-commerce, against the background of less development of the online market of Georgia, it was important for us to investigate the impact of online sales cargo flows on the logistics complex of Georgia's transport-transit corridor. Relatively less research and statistical data around this issue is available in local professional sources than in general on a global scale. In this regard, we got acquainted with a number of literature, blogs, reports, articles and studies, as a result of which it was possible to write a conclusion.

1. Situational analysis

In the electronic business, a product's value largely is determined by the costs related to its storage, transportation, preparation and packaging processes. Georgia is a key country within the Europe-Asia transport corridor, as its geopolitical situation has led to its formation as a transit country. Moreover, the globalization and growing dynamics of e-commerce provide huge opportunities for the country. In the future, the potential of the transit corridor gives optimism for the strengthening of Georgia's economy, which will ultimately lead to the economic well-being of Georgian society. Whilst the country is a potential transit hub that could transport/transit many types of cargo, e-commerce is not yet well developed and the market is currently small. The existing transit and logistics complex of the country prevents the achievement of full potential. Our research has identified some of the key challenges.

Globalization of business has a great impact on Georgia and, in general, on the world economy. The country should

be able to gain great economic benefit from the effective use of its geographical location, through improved organization and good arrangement of transport and logistics. Transport and logistics combines various activities, such as product storage, transportation, packaging, distribution, and timely coordination of the information network. With the development of market economic relations, the importance of the role of transport increases, because it is against this background that regional commodity markets are formed. In the case of a well-functioning transport-logistics system we get such conditions as the acceleration of product flow turnover and on-time delivery of products, because both factors protect, on the one hand, the producer's interests and, on the other hand, the economic interests.

The main economic characteristics determining the effectiveness of the transport-logistics process are: 1. Flexibility, 2. Cost minimization and 3. High quality guarantees. Behind the economic characteristics of the effectiveness of all three of these are the elements of the transport-logistics system, which provide the customer with two main criteria - receiving the product within the desired time and at the desired price.

In the process of working on the issue, we found out that the largest volume of e-business cargo flows in the Georgian transport corridor (the main cargo) are used (secondhand) cars/vehicles bought in Europe and America, which are entering the country through the Batumi and Poti ports, and also flows from Georgia to neighboring countries and Central Asia¹. In that regards, we decided to examine the post-Covid the statistics. We searched for statistics from 2023, According to the data of the National Statistics Service of Georgia for the month of January 2023 – "Foreign trade in goods", Cars/Vehicles (purchases are mostly made online), which passed through the transit corridor of Georgia as cargo, were among the five largest export cargoes. Cars/Vehicles is in first place at 22.7 % with a value of 104.2 million US dollar.² According to the data from other months, this type of cargo steadily occupies a dominant place in the top three. It should be noted that, apart from vehicles, statistics for other types of online trade are not available, because the volume of cargo is quite small and it is not possible to classify them separately. This fact demonstrates that Georgia's share in the total transit volume of online business cargo is quite small.

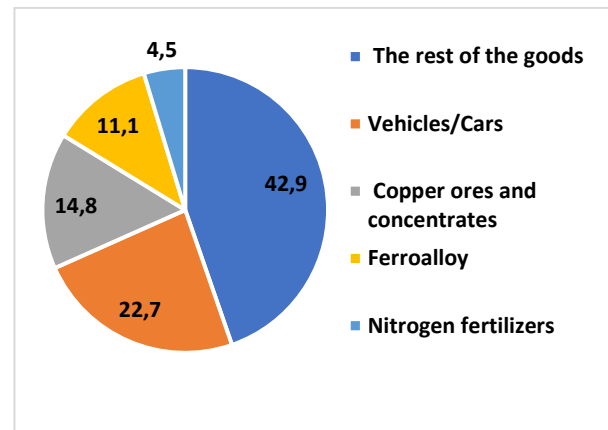


Fig 1. The share of the largest transit goods in total in January 2023

Along with the development of online business, the development of the transport and logistics system in Georgia is a guarantee of the development of the country's economy. Establishing a modern logistics process and attracting current innovations is a key challenge for the country but it is an opportunity at the same time. If it can achieve this goal, Georgia will become an important part of international business and will be able to attract leading companies of the global economy. The development of logistics infrastructure is a prerequisite for e-commerce cargo flows to be managed at an efficient level. We believe that Georgia, based on its strategic geographical position, has an opportunity to represent the logistics hub of the Caucasus and Central Asia in this field.

The development of e-commerce as a field, along with various management challenges, increases the scope for using transport-logistics business processes as a main driver. More integration of modern e-commerce into the global environment will be a prerequisite to increase the scale and frequency of cargo. Accordingly, since the local transport and logistics system of business processes, in terms of managing international cargo flows, is connected to the general transport and logistics system of the country, for Georgia – as a transit country – the development of e-business is important as well. It provides a potential opportunity to increase both local and international cargo in the transit corridor of Georgia, which is very important for the further economic development of the country.³

Our research shows that, in terms of e-commerce related cargo, the largest volume transported in the Georgia corridor – as the main cargo – is of used cars bought in Europe and America, which enter the country through the ports of Batumi and Poti and flow through transit to neighbor countries and Central Asia. Based on the research, it appears that there is a huge potential for attracting additional cargo or improving quality – for example, reducing the price of vehicle transportation or optimizing delivery time. However, here we see one main – mostly infrastructural – problem, namely, the

¹ Source: <https://www.geostat.ge/en>

² Source: "Foreign trade in goods" data of January 2023 of the National Statistics Service

³ Improving Freight Transit and Logistics Performance of the Trans-Caucasus Transit Corridor: Strategy and Action Plan - <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33554>

fact that large water vessels cannot enter any Georgian port. In order to receive cargo intended for Georgian transit at the local port, the cargo first goes to Istanbul, then it is unloaded onto relatively small ships and only after that it enters the port of Poti or Batumi. Since Georgian ports cannot receive large ships in the process of transporting cargo, the transport-logistics process is delayed and burdened with additional production operations, which increases shipping time and, therefore, cost. In our opinion, solving this problem is related to a large infrastructural initiative, in particular, the construction of a large port (for example, Anaklia), which would significantly change the paradigm in this respect.

Conclusion

Taking into account the results of our above research on the international trends of online sales business development, we conclude that the potential for increasing cargo flows, via this type of business, through the transit corridor of Georgia, depending on scale of investment, is large and provides huge potential for growth. In order to achieve this result, the efficiency of managing the operation of the transit corridor of Georgia needs to be increased, which in this case means increasing the efficiency of the transport and logistics system. This, along with political and economic reforms, requires the use of modern knowledge of management; wide implementation of transport-logistics system management methods and innovative forms of management; development of information systems for managing the entire logistics complex; infrastructural improvement. Accordingly, under the conditions of effective management, both transit and internal national economic and social development indicators will increase. The transport and logistics system of Georgia is a rather large and powerful lever of economic growth, which should be optimally used to increase the national welfare of the country.

References

- Gitolendia, B. (2018). Case Analysis of the Georgian Railway Transport Sector Interoperability and Intermodality with the European Systems. *The Journal Contemporary Economy* 3 (4), 209-213. <http://www.revec.ro/papers/180426.pdf>
- Government of Georgia. (2020). *Basic data and directions of the country for the years 2021-2024*. Tbilisi.
- Your Guide to Global Ecommerce: How to Expand into Foreign Markets and Increase Ecommerce Sales. (n.d.). Bigcommerce. Access via internet:

<https://www.bigcommerce.com/articles/ecommerce/global-commerce/>

Geostat. (2023). *National Statistics Service of Georgia*. Access via internet: <https://www.geostat.ge/ka/modules/categories/637/eksporti>

World Bank. (2020). *Improving Freight Transit and Logistics Performance of the Trans-Caucasus Transit Corridor: Strategy and Action Plan*. World Bank, Washington, DC. Access via internet: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33554>

INTERNETU PARDUODAMŲ KROVINIŲ SRAUTO ĮTAKA SAKARTVELO TRANSPORTO TRANZITO KORIDORIAUS LOGISTIKOS KOMPLEKSUI

Otar Gelashvili, Boris Gitolendia, Luka
Kemoklidze

Sakartvelo technikos universitetas

Santrauka. Straipsnyje aptariama Sakartvelo tranzito koridoriaus svarba, atsižvelgiant į šiuolaikinės elektroninės prekybos tendencijas. Sakartvelas yra pagrindinė Europos ir Azijos transporto koridoriaus šalis, o globalumas ir klestinti elektroninė prekyba suteikia daug galimybių. Straipsnyje siekiama išsiaiškinti, kokių krovinių gabenama daugiausia ir kokie transporto bei logistikos veiksniai turi įtakos transporto koridoriaus veiklai.

Atlikus tyrimą išsiaiškinta, kad didžiausią krovinių srautą Sakartvelo transporto koridoriuje sudaro Europoje ir Amerikoje pirktos naudotos transporto priemonės, kurios per Batumio ir Počio uostus patenka iš Sakartvelo į kaimynines šalis ir Centrinę Aziją.

Apibendrinę mūsų anksčiau atlikto prekybos internetu tarptautinės plėtros tyrimo rezultatus, darome išvadą, kad potencialas didinti krovinių srautus per Sakartvelo tranzito koridorių, atsižvelgiant į investicijų mastą, yra didelis. Norint pasiekti užsibrėžtą tikslą, reikia didinti Sakartvelo tranzito koridoriaus veiklos valdymą, taip pat transporto ir logistikos sistemos efektyvumą. Efektyvaus valdymo sąlygomis didės tiek tranzito, tiek vidaus šalies ekonominės ir socialinės raidos rodikliai. Sakartvelo transporto ir logistikos sistema yra svarbus ekonomikos augimo svirtis, kuri reikėtų patitelti šalies gerovei didinti.

Numatome ateities plėtros viziją, įvardijame problemas ir pateikiame rekomendacijas.

Reikšminiai žodžiai: elektroninė prekyba, logistika, transportas, Sakartvelo tranzito koridoriai, logistikos kompleksas.

DVIFAZIŲ IR AUSTENITINIŲ PLIENŲ SUVIRINTŲ JUNGČIŲ SUVIRINAMUMO IR SAVYBIŲ TYRIMAI

Paulius Beinoras¹, Nikolaj Višniakov¹, Vitalijus Rudzinskas^{1,2}

¹Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius

²Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

Anotacija. Straipsnyje nagrinėjama terminio poveikio įtaka dvifazio (austenitinio-feritinio) plieno 1.4462 ir austenitinio nerūdijančio plieno 1.4404 suvirintų jungčių bei pagrindinio metalo stiprumui, kietumui, atsparumui korozijai. Taip pat analizuojami ISO/TR 15608 10 ir 8 grupės plienų suvirintų jungčių srities struktūriniai pokyčiai ir nepageidaujamų fazių susidarymas, jų įtaka jungties mechaninėms savybėms bei koroziniam atsparumui. Suvirinti bandiniai buvo termiškai apdorojami pritaikant skirtingus režimus. Bandinių struktūra ir savybės tiriamos nustatant fazinę sudėtį, ferito kiekį, atliekant struktūros mikroskopinę analizę, mikrokietumo, tempimo ir korozinio atsparumo bandymus. Atlikus bandymus ir išanalizavus jų rezultatus nustatyta, kad skirtingų rūšių plieno virintinių jungčių atsparumas korozijai po terminio apdorojimo sumažėja.

Reikšminiai žodžiai: dvifazis plienas, suvirinimas, terminis apdorojimas, atsparumas korozijai, mikrostruktūra.

Įvadas

Austenitiniai ir dupleksiniai plienai yra plačiai naudojami chemijos, naftos, celiuliozės pramonėje įrenginių ar konstrukcijų gamybai. Po terminio apdorojimo arba ilgalaikio darbo aukštose temperatūrose šių plienų ir jų virintinės jungčių savybės gerokai pablogėja dėl struktūrinių pokyčių (Shamanth, 2019). Sigma fazės ir karbidų išsiskyrimas (Ramirez, 2004) labai pablogina jungčių mechanines bei korozinio atsparumo savybes, tai lemia metalinių konstrukcijų ar įrenginių patvarumą bei ilgaamžiškumą.

Tyrimo tikslas – nustatyti skirtingo temperatūros poveikio įtaką dvifazio (austenitinio-feritinio) plieno 1.4462 ir austenitinio nerūdijančio plieno 1.4404 plieno suvirintoms jungtims.

Darbo tyrimo objektas – dvifazio nerūdijančio plieno (1.4462) X2CrNiMoN22-5-2 ir austenitinio nerūdijančio plieno (1.4404) X2CrNiMo17-12-2 suvirintos jungtys.

Tyrimo uždaviniai:

1. Paruošti tyrimams naudojamus bandinius.
2. Atlikti suvirintų bandinių terminį apdirbimą skirtingais režimais.
3. Nustatyti suvirintų jungčių fazinę sudėtį.
4. Atlikti suvirintų jungčių bandymus: skersinio tempimo, kietumo, korozinio atsparumo, cheminės sudėties, ferito kiekio matavimus, mikrostruktūros tyrimus.
5. Atlikti bandymų rezultatų analizę.

Atliekamų tyrimų rezultatai gali būti pritaikyti sprendžiant svarbių metalinių konstrukcijų įvairių rūšių plienų iš dvifazio ir austenitinio plienų suvirinimo technologines problemas ir išsiaiškinti skirtingos temperatūros poveikio įtaką dvifazio ir austenitinio plieno jungčių struktūrai, mechaninėms savybėms ir koroziniam atsparumui.

Dvifaziai nerūdijantieji plienai yra priskiriami dešimtai metalinių medžiagų grupei, pagal standartą ISO 15608 (ISO 15608:2005) ir yra atsparūs korozijai, stiprios ir patikimos konstrukcijos bei nesudėtingai pritaikomi gamyboje (Topolska, 2014). Šių plienų mikrostruktūra susideda iš dviejų fazių (austenito ir ferito), kurios medžiagos yra pasiskirsčiusios tolygiai. Dėl tokio fazių pasiskirstymo santykio (apytiksliai 50 % ferito ir austenito) šių plienų itin

geros mechaninės bei antikorozinės savybės. Tokių plienų stipris yra didesnis nei įprastų feritinių nerūdijančiųjų plienų ir apytiksliai du kartus didesnis nei austenitinių nerūdijančiųjų plienų. Atsparumą pleišėjimo ir taškinei korozijai dvifaziuose plienuose užtikrina tokie legiravimo elementai: chromas, nikelis, molibdenas ir azotas (Villanueva, 2006). Dvifaziai nerūdijantieji plienai ne tik yra atsparūs korozijai, bet pasižymi geromis tūsumo ir plastinėms savybėmis (Valiulis, 2007).

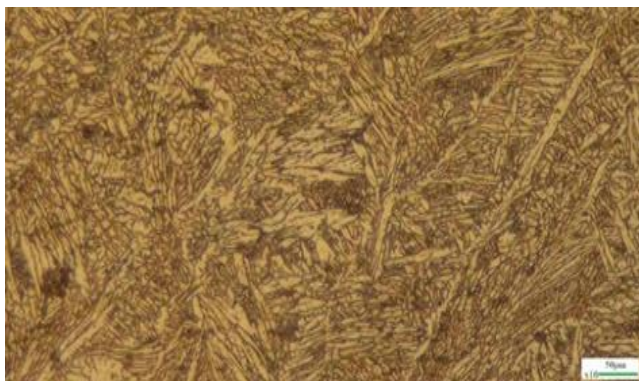
Dvifaziai austenitiniai-feritiniai plienai pritaikomi įvairiose pramonės srityse, kuriose eksploatuojamiems įrenginiams ir konstrukcijoms būtinos geros antikorozinės bei mechaninės savybės. Dvifaziai plienai yra plačiai pritaikomi chemijos, naftos, dujų, popieriaus gamybos pramonėje, šiluminių katilų gamyboje. Neretai šiuose objektuose dvifazius (dupleksinius) plienus tenka suvirinti su kitos grupės gausiai legiruotais nerūdijančiais plienais, dažniausiai austenitiniu plienu.

Šiuo tyrimu siekiama išsiaiškinti suvirinimo technologijų ir skirtingų terminio apdirbimo režimų įtaką dupleksinio ir austenitinio plieno jungčių savybėms. Eksperimentinių tyrimų metu gautus rezultatus galima pritaikyti tokių plienų optimalių suvirinimo technologijos parametrų atrankai.

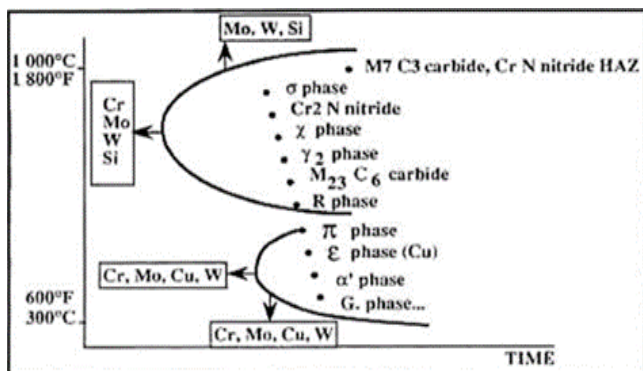
Suvirintų jungčių (1 pav.) kokybė priklauso nuo pasirinkto suvirinimo metodo, technologinių parametrų, medžiagų kokybės, suvirintojo kvalifikacijos. Norint patikrinti, ar suvirinta kokybiškai, atliekami suvirintų bandinių cheminės sudėties nustatymo, radiografinės jungties kontrolės, kietumo matavimų, ferito kiekio nustatymo, mikrostruktūros tyrimų, skersinio tempimo, atsparumo korozijai bandymai.

1. Sigma fazių susidarymas

Feritinis-austenitinis (dvifazis) nerūdijantis plienas linkęs sigmatizuotis. Sigma fazės susidaro dvifazinę struktūrą turinčiame lydinyje metalą kaitinant 350–980 °C temperatūroje (2 pav.). Siūlės metale, ties ferito grūdėlio ribomis, pradeda formuotis antrinės fazės (Rocha, 2018) (Fe-Cr, Fe-Cr-Mo ir kitų tipų), vadinamos σ - faze.



1 pav. Plienai 1.4462 ir 1.4404, suvirinti su milteline viela
Šaltinis: sudaryta autorių



2 pav. TTT diagrama, nurodanti kokiose temperatūrose dvifaziame pliene išsiskiria nepageidaujamos fazės
Šaltinis: sudaryta autorių

Padidinus temperatūrą, σ -fazės kristalai virsta kietaisiais tirpalais, greitai aušdami jie nespėja susiformuoti, σ -fazė išsiskiria grūdelių ribose. Šios fazės susidarymas neigiamai veikia plieno korozinį atsparumą, didina kietumą, mažina tempimo stiprumą.

2. Tyrimo objektas

Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami su dvifaziu nerūdijančiu plieniu (1.4462) X2CrNiMoN22-5-2 ir su austenitiniu nerūdijančiu plieniu (1.4404) X2CrNiMo17-12-2. Bandiniai (3–4 pav.) buvo suvirinti automatinio būdu, taikant suvirinimą po flisu. Bandinių storis – 15 mm, ilgis – 180 mm. Suvirintos jungtys buvo supjaustytos į penkias dalis.



3 pav. Suvirintas 1.4462 ir 1.4404 plienų ruošinys
Šaltinis: sudaryta autorių



4 pav. Ruošiniai, supjaustyti į šešias dalis. Šie bandiniai skirtingai termiškai apdoroti
Šaltinis: sudaryta autorių

1 lentelė. Bandinių terminio apdorojimo režimai

Terminio apdirbimo režimai	Temperatūra, °C		Išlaikymo laikas, min	Aušinimo terpė	Aušimo greitis, °C/s
	1-as etapas	2-as etapas			
1	1050	300	60	Vanduo	550
			1080	Oras	5
2	300		1080	Oras	5
3	Termiškai neapdoroti		-	-	-

Šaltinis: sudaryta autorių

2 lentelė. Bandinių ir jiems pritaikytų režimų identifikacija

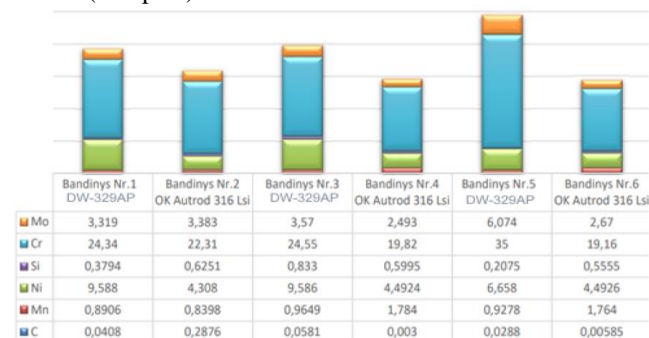
Bandinio Nr.	Pagrindinio metalo pavadinimas	Pridėtinio metalo pavadinimas	Terminio apdirbimo režimas (žr. 1 lentelę)	
1	1.4462	1.4404	DW-329AP	3
2	1.4462	1.4404	OK Autrod 316LSi	3
3	1.4462	1.4404	DW-329AP	1
4	1.4462	1.4404	OK Autrod 316LSi	1
5	1.4462	1.4404	DW-329AP	2
6	1.4462	1.4404	OK Autrod 316LSi	2

Šaltinis: sudaryta autorių

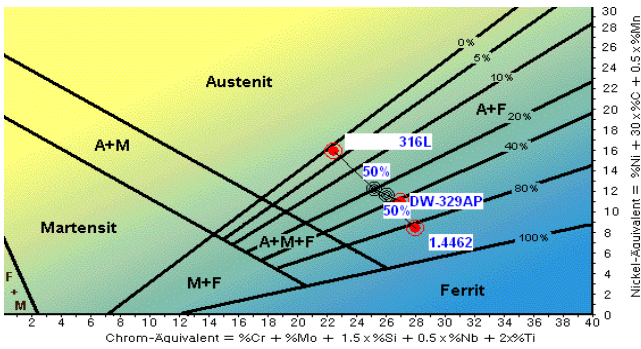
Pagaminti ruošiniai termiškai apdoroti krosnyje W-50 pagal 1 lentelėje pateiktus režimus. Bandiniai ir jiems pritaikyti režimai pateikti 2 lentelėje.

3. Virintinių jungčių cheminės ir fazinės sudėties nustatymas

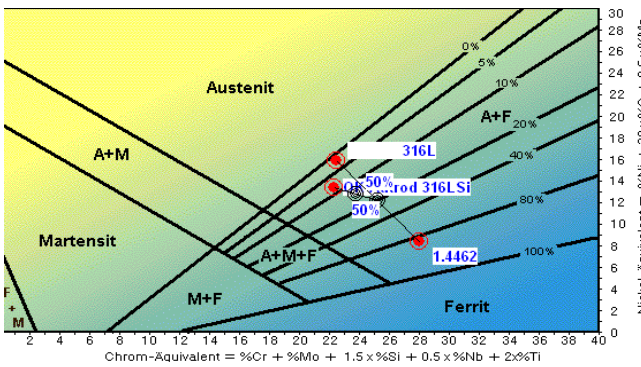
Virintinių jungčių fazinė sudėtis buvo nustatoma atsižvelgiant į medžiagų gamintojų deklaruotą sudėtį ir cheminės analizės rezultatus, pateiktus 3 lentelėje (5 pav.). Pagal gamintojo pateiktus duomenis apskaičiavus pagrindinių metalo (suvirinamų plienų) ir pridėtinio metalo chromo ir nikelio ekvivalentus ir panaudojus Šeflerio diagramą (Licentiate, 2005) buvo prognozuota suvirintų jungčių fazinė sudėtis (6–7 pav.).



5 pav. Austenizuojančių ir feritizuojančių elementų koncentracija siūlės metalė, %
Šaltinis: sudaryta autorių



6 pav. Dvifazio austenitinio-feritinio (1.4462) ir Cr-Ni-Mo austenitinio (1.4404) plienų, suvirintų su milteline viela DW-329AP, jungties fazinę sudėtį pagal Šeflerio diagramą
Šaltinis: sudaryta autorių



7 pav. Dvifazio austenitinio-feritinio (1.4462) ir Cr-Ni-Mo austenitinio (1.4404) plienų, suvirintų su pilnavidure viela OK Autrod 316 LSi, jungties fazinę sudėtį pagal Šeflerio diagramą
Šaltinis: sudaryta autorių

3 lentelė. Cheminių elementų koncentracija jungtyse, %

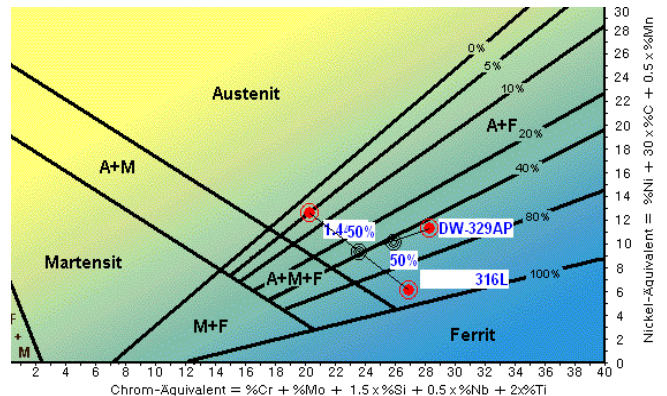
Jungties elementas	Cheminių elementų koncentracija jungtyse, %																
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
Nr. 1 Pagrindinis metalas EN 1.4404	87,22	0,0483	0,3826	1,457	0,1500	0,00300	17,45	2,077	10,32	0,00534	0,1152	0,1698	0,00950	0,1456	0,0583	0,0250	0,0000
Nr. 1 Pagrindinis metalas EN 1.4462	65,81	0,0105	0,2925	1,853	0,1500	0,00200	24,07	2,460	4,785	0,0135	0,0553	0,2234	0,0189	0,00317	0,0487	0,0250	0,0000
Nr. 3 Šilės metalas DW-329AP (miltelė)	60,74	0,0408	0,3794	0,8908	0,1500	0,00200	24,34	3,319	9,588	0,0123	0,0758	0,0547	0,0393	0,0544	0,0742	0,0250	0,0000
Nr. 2 Šilės metalas OK Autrod 316 LSi	67,81	0,2876	0,4251	0,8398	0,1500	0,00200	22,31	3,383	4,308	0,00920	0,0924	0,0485	0,00200	0,0555	0,00200	0,0250	0,0000
Nr. 3 Šilės metalas DW-329AP (miltelė)	60,44	0,0581	0,2833	0,9649	0,1500	0,00200	24,55	3,570	9,588	0,00112	0,0333	0,0428	0,0133	0,1486	0,0375	0,0250	0,0000
Nr. 4 Šilės metalas OK Autrod 316 LSi	62,45	0,003	0,5995	1,764	0,1500	0,0130	19,82	2,493	4,4914	0,00342	0,0663	0,0778	0,0215	0,00200	0,0425	0,0250	0,0000
Nr. 5 Šilės metalas DW-329AP (miltelė)	44,84	0,0288	0,2075	0,9278	-	-	35,00	6,074	6,658	0,00500	0,0552	0,0292	0,0462	0,0266	0,0430	0,0250	0,0000
Nr. 6 Šilės metalas OK Autrod 316 LSi	62,96	0,00585	0,5555	1,764	0,1500	0,0175	19,16	2,470	4,4920	0,00300	0,0658	0,0746	0,0381	0,0133	0,0462	0,0250	0,0000

Šaltinis: sudaryta autorių

Apdorojus cheminės analizės rezultatus buvo nustatyti chromo ir nikelio ekvivalentai (8 pav.) ir sudarytos Šeflerio diagramos (9 pav.).

Composition	Base material 1	Base material 2	Weld metal
Carbon C [%]	0,0105	0,0483	0,0048
Silicon Si [%]	0,2925	0,3826	0,3794
Manganese Mn [%]	1,853	1,457	0,8906
Chromium Cr [%]	24,07	17,45	24,34
Molybdenum Mo [%]	2,46	2,077	3,319
Nickel Ni [%]	4,785	10,32	9,588
Niobium Nb [%]	0,0189	0,0095	0,0393
Titanium Ti [%]	0,00317	0,1456	0,0393
Chromium equivalent [%]	26,88	20,40	28,33
Nickel equivalent [%]	6,03	12,50	10,18
Dilution	25	[%]	Cr equivalent 27,17
			[%]
			Ni equivalent 9,55
			[%]

8 pav. Pirmojo bandinio virintinės jungties Cr-Ni ekvivalentų nustatymas
Šaltinis: sudaryta autorių



9 pav. Pirmojo bandinio virintinės jungties mikrostruktūros fazių nustatymas pagal Šeflerio diagramą
Šaltinis: sudaryta autorių

Atlikus cheminę analizę apskaičiuoti chromo bei nikelio ekvivalentai ir jų santykiai:

Pirmojo bandinio (1.4404 ir 1.4462 suvirintų su DW-329AP milteline viela) $Cr_{ekv}/Ni_{ekv} = 2,953$.

Antrojo bandinio (1.4404 ir 1.4462 suvirintų su OK Autrod 316 LSi viela) $Cr_{ekv}/Ni_{ekv} = 2,396$.

Trečiojo bandinio (1.4404 ir 1.4462 suvirintų su DW-329AP milteline viela) $Cr_{ekv}/Ni_{ekv} = 2,664$.

Ketvirtojo bandinio (1.4404 ir 1.4462 suvirintų su OK Autrod 316 LSi viela) $Cr_{ekv}/Ni_{ekv} = 3,438$.

Penkto bandinio (1.4404 ir 1.4462 suvirintų su DW-329AP milteline viela) $Cr_{ekv}/Ni_{ekv} = 3,997$.

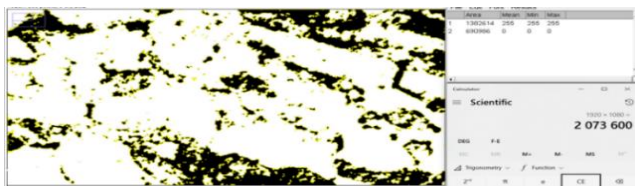
Šešto bandinio (1.4404 ir 1.4462 suvirintų su OK Autrod 316 LSi viela) $Cr_{ekv}/Ni_{ekv} = 3,519$.

Kuomet chromo ir nikelio ekvivalentų santykis nerūdijančiame arba dvifaziame pliene yra mažesnis negu 1.48 ($Cr_{ekv}/Ni_{ekv} < 1,48$), yra didelė tikimybė susidaryti kristalizaciniams įtrūkiams dėl nepalankios fazinės sudėties ir intensyviai didėjančios tempimo deformacijos metale (Loto, 2018).

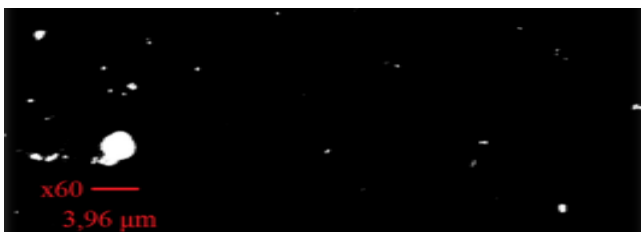
$Cr_{ekv}/Ni_{ekv} > 1,95$ lydinio feritinė-austenitinė mikrostruktūra atspariausia kristalizacijos trūkiams, nes nepageidaujamos priemaišos (fosforas ir siera) gerai tirpsta ferite. Kadangi visų tirtų bandinių $Cr_{ekv}/Ni_{ekv} > 2$, galime teigti, kad suvirintos jungtys yra atsparios kristalizacijos trūkiams.

4. Bandinių mikrostruktūros tyrimas

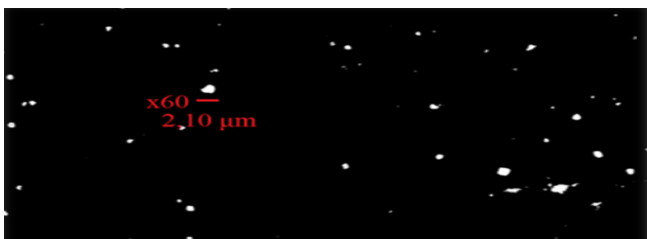
Mikrostruktūros tyrimai atlikti pagal standarto LST EN ISO 17639 (LST EN ISO 17639:2013) reikalavimus. Tirta mikroskopu MBI-11, ištirti 6 bandiniai. Nemetaliųjų tarpų (karbidų) ir mikrostruktūros fazių kiekis nustatytas grafinės analizės metodu pagal standarto ISO 4967 (ISO 4967:2013) reikalavimus. Grafiniu metodu, pasitelkiant kompiuterinę programą „ImageJ“ (žiūrėti 10–15 pav.), buvo ištirta pagrindinių metalų suludymo ir siūlės sritys struktūra. Atlikus bandinių Nr. 1–6 paviršių grafinę analizę (11–14 pav.) nustatyta, kad nemetaliųjų tarpų koncentracija skirtinguose bandiniuose yra nuo 0,36 % iki 1,8 %.



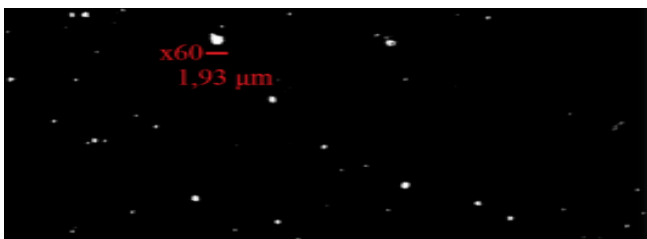
10 pav. Bandinio Nr. 4 pagrindinio metalo 1.4462 struktūrinių fazių analizė
Šaltinis: sudaryta autorių



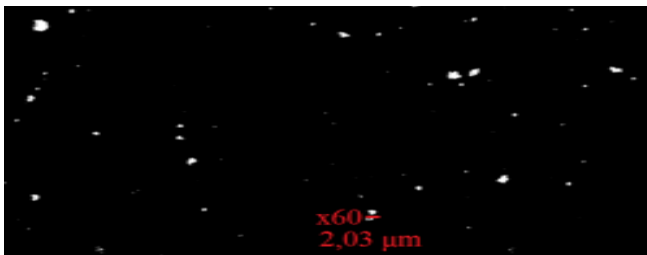
11 pav. Bandinio Nr. 2, suvirinto su pilnavidure viela OK Autrod 316 (kaitimas iki 1000 °C, aušinimas vandenyje, išlaikyta 300 °C temperatūroje 18 valandų), mikroskopinis nemetalinių intarpų tyrimas. Nemetalinių intarpų kiekis – apie 0,36 %
Šaltinis: sudaryta autorių



12 pav. Bandinio Nr. 3, suvirinto su milteline viela DW-329AP (kaitimas iki 1000 °C, aušinimas vandenyje, išlaikyta 300 °C temperatūroje 18 valandų), mikroskopinis nemetalinių intarpų tyrimas. Nemetalinių intarpų kiekis – apie 1,8 %
Šaltinis: sudaryta autorių



13 pav. Bandinio Nr. 5, suvirinto su milteline viela DW-329AP (kaitimas iki 1000 °C, aušinimas ore, išlaikyta 300 °C temperatūroje 18 valandų), mikroskopinis nemetalinių intarpų tyrimas. Nemetalinių intarpų kiekis – apie 1,6 %
Šaltinis: sudaryta autorių



14 pav. Bandinio Nr. 6, suvirinto su pilnavidure viela OK Autrod 316 (kaitimas iki 1000 °C, aušinimas ore, išlaikyta 300 °C temperatūroje 18 valandų), mikroskopinis nemetalinių intarpų tyrimas. Nemetalinių intarpų kiekis – apie 0,45 %
Šaltinis: sudaryta autorių

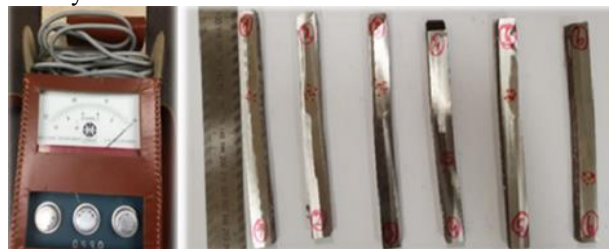
Bandinys Nr. 1. Termiškai neapdorotų 1.4462 ir 1.4404 plienų jungtis suvirinta su milteline viela DW-329AP (Optinis didinimas x100 (okuliaras x10, objektyvas x10))					
Feritas, %	Austenitas, %	Pagrindinio metalo mikrostruktūra		Sulydymo zonų ir siūlės mikrostruktūra	
46,59	53,41				
		1.4462		1.4462.DW-329AP sulydymo zona	
44,19	55,81				
		Siūlės zona DW-329AP			
17,12	82,78				
		1.4404		DW-329AP/1.4404 sulydymo zona	
				23,50	76,50

15 pav. Bandinio Nr. 1 mikrostruktūros tyrimas ir analizė
Šaltinis: sudaryta autorių

5. Ferito kiekio nustatymas neardomuoju būdu

Ferito kiekis matuotas feritoskopu „Ferritector M-1“ (16 pav.), kurio paklaida $FN = \pm 2$ ferito balų (FN – feritenumber).

Vertinta pagal standartą ISO 8249:2018 „Suvirinimas. Austenitinių ir dupleksinių feritinių-austenitinių Cr-Ni nerūdijančiųjų plienų siūlės metalo ferito skaičiaus (FN) nustatymas“.



16 pav. Ferito kiekio matavimo prietaisas ir bandiniai
Šaltinis: sudaryta autorių

Išmatavus charakteringų zonų ferito kiekius, pateiktus 4 lentelėje, buvo padaryta išvada, kad ferito kiekis, nustatytas mikrostruktūros analize, koreliuoja su neardomuoju būdu atliktais matavimais.

4 lentelė. Ferito kiekio matavimų rezultatai charakteringose bandinių vietose

Eil. Nr.	Tyrimo objektas	Medžiaga pagal pateiktą schemą			Ferito kiekis, %				
		Pagrindinis metalas - 1	Siūlė-2	Pagrindinis metalas - 3	Matavimo numeris				
1	bandinys Nr. 1	1.4462	DW-329AP	1.4404	1	2	3	4	5
2	bandinys Nr. 2	1.4462	Autrod 316 LSi	1.4404	49	52	13	10	9
3	bandinys Nr. 3	1.4462	DW-329AP	1.4404	49	52	36	10	9
4	bandinys Nr. 4	1.4462	Autrod 316 LSi	1.4404	49	49	7	10	9
5	bandinys Nr. 5	1.4462	DW-329AP	1.4404	49	52	40	10	9
6	bandinys Nr. 6	1.4462	Autrod 316 LSi	1.4404	49	52	13	10	9

Šaltinis: sudaryta autorių

6. Tempimo bandymai

Jungčių skersinio tempimo bandymai atlikti pagal standarto LST EN ISO 6892-1 (LST EN ISO 6892-1:2009) reikalavimus. Bandymams naudota universali mašina MIRI 500K su hidrauline pavara (didžiausia apkrova – 500 kN). Tempimo bandymas atliekamas naudojant stačiakampio formos bandinius, kurie buvo išpjauti iš suvirintų pavyzdžių. Tempiant bandinį automatiškai buvo braižoma tempimo diagrama, vaizduojanti priklausomybę tarp bandinį veikiančios jėgos F ir išilginės deformacijos ΔL . Tirti bandiniai (17 pav.) trūko per pagrindinį metalą 1.4404. Bandymo rezultatai pateikti 5 lentelėje.

Atlikus tempimo bandymus nustatyta, kad termiškai apdorotų bandinių tempimo stipris yra sumažėjęs. Terminio apdorojimo metu išsiskyrusios sigma fazės gerokai pablogino bandinių mechanines savybes.



17 pav. Suirusių tempimo bandinių vaizdas

Šaltinis: sudaryta autorių

5 lentelė. Tempimo bandymų rezultatai

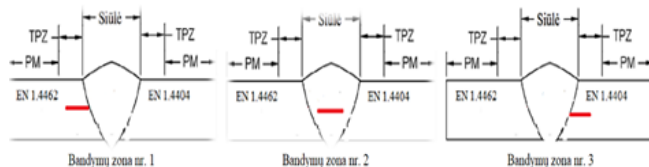
Bandinio ident. Nr. (Specimen ident. No.)	Matmenys (Dimensions) mm	Užsakovo ident. Nr. (Client ident. No.)	Tempimo stipris (Tensile strength) R_m , MPa	Maksimali jėga (Maximum force) F_m , kN	Trūkio vieta (Fracture position)	Pastabos (Comments)
5601(22-825T)	9,88x14,56	Nr. 1	617,1	88,8	pagrindinis metalas (base metal)	trūko per pilnavidurę pažymatą vietą
5602(22-826T)	9,87x14,60	Nr. 2	621,8	89,6	pagrindinis metalas (base metal)	trūko per pilnavidurę pažymatą vietą
5603(22-827T)	9,89x14,63	Nr. 3	604,4	87,5	pagrindinis metalas (base metal)	trūko per pilnavidurę pažymatą vietą
5604(22-828T)	9,88x14,68	Nr. 4	606,3	87,9	pagrindinis metalas (base metal)	trūko per pilnavidurę pažymatą vietą
5605(22-829T)	9,84x14,50	Nr. 5	619,8	88,4	pagrindinis metalas (base metal)	gavė bandymo rezultatus 2 pėms, trūko per pilnavidurę pažymatą vietą
5606(22-830T)	9,85x14,75	Nr. 6	611,7	88,9	pagrindinis metalas (base metal)	trūko per pilnavidurę pažymatą vietą

Šaltinis: sudaryta autorių

7. Kietumo matavimas

Kietumo matavimai atlikti pritaikius Knupo metodą pagal standarto LST EN ISO 9015-1 (LST EN ISO 9015-

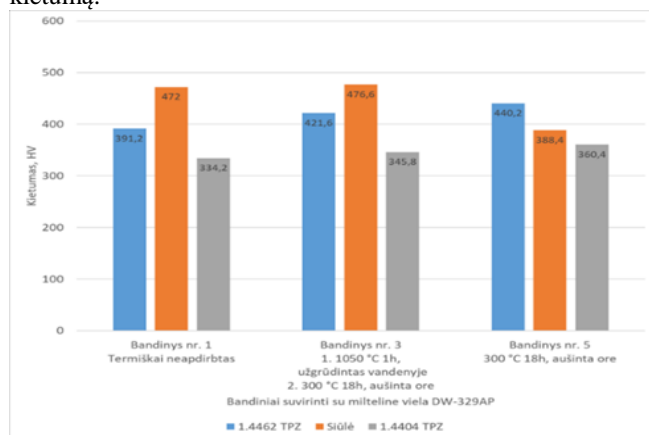
1:2011) reikalavimus. Matuota kietamačiu „Mytutoyo HV 100“, apkrova – 294,2 N. Atlikti 3–5 vieno bandinio matavimai vienoje srityje. Atstumas tarp išpaudų buvo ne mažesnis kaip 2,5 jau esančio išpaudo ilgio. Kietumas matuotas reikšmingose bandinių srityse (18 pav.).



18 pav. Kietumo matavimų bandymo zonos

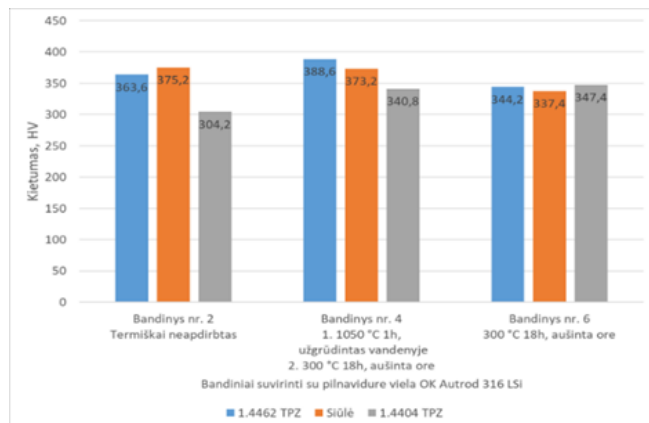
Šaltinis: sudaryta autorių

Atlikus kietumo matavimo bandymus sudarytos diagramos (19–20 pav.), kad būtų galima palyginti tirtų zonų kietumą.



19 pav. Bandinių, suvirintų su milteline viela DW-329AP, charakteringų zonų kietumo reikšmės, HV

Šaltinis: sudaryta autorių



20 pav. Bandinių, suvirintų su pilnavidure viela Autrod 316 LSi, charakteringų zonų kietumas, HV

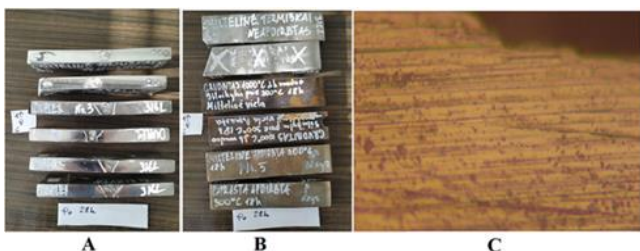
Šaltinis: sudaryta autorių

8. Virintinių jungčių atsparumo korozijai bandymai

Dvifazės struktūros plienų ir jų virintinių jungčių taškinė korozija dažniausia ferite arba ferito ir austenito grūdelių paribiuose. Korozija prasideda šalia sigma fazės arba karbidų (Cr23C6 tipo), tose vietose, kuriose sumažėjęs chromo kiekis (21 pav.). Siūlių korozinis atsparumas yra didžiausias, kai ferito kiekis metalo yra nuo 35 % iki 55 %. Tiriemieji

bandiniai sudėti į kamerą Q-FOG CCT 600-CE ir išlaikyti neutraliame druskos rūke 120 valandų. Bandiniai prieš bandymus nuplauti dejonizuotu vandeniu ir džiovinti kambario temperatūroje. Bandinių palinkimo kameroje kampas – 20°, bandymo temperatūra – (35±2) °C, bandymo tirpalo pH – 6.7, NaCl koncentracija tirpale – 52.23 g/l. Tikrinta kas 24 val.

Atsparumo korozijai bandymai atlikti pagal standarto LST EN ISO 9227 (LST EN ISO 9227:2017) reikalavimus, gauti rezultatai įvertinti vadovaujantis standartu LST EN ISO 10289 (LST EN ISO 10289:2004). Atsparumo korozijai bandymų rezultatai pateikti 6 lentelėje.



21 pav. Atsparumo korozijos bandinių vaizdas: A, B– po 24 val. išlaikymo druskos rūke; C – pittingo korozijos židinių vaizdas skerspjūvyje po 120 val. išlaikymo druskos rūke
Šaltinis: sudaryta autorių

6 lentelė. Atsparumo korozijai bandymų rezultatai

Bandinio Eil. Nr.	Pajuodavo suvirinimo vieta, po val	Fe atsirado mažesnėje plokštumoje, po val	Fe atsirado mažesnės plokštumos briaunoje, po val	Fe atsirado didesnėje plokštumoje, po val	Apsaugos įvertis R_p po 120 val. bandymo trukmės didesnėje plokštumoje, balais
1	24	-	-	52 (Fe 9 balai)	8
2	24	-	-	28 (Fe 9 balai)	8
3	24	-	28	24 (Fe 0 balų)	0
4	24	-	-	24 (Fe 0 balų)	0
5	24	-	-	24 (Fe 9 balai)	8
6	24	-	-	52 (Fe 9 balai)	9

Šaltinis: sudaryta autorių

Išvados

1. Atlikus suvirintų jungčių charakteringų zonų cheminės analizės bandymus nustatyta, kad jungčių, suvirintų su milteline viela DW-329AP ir OK Autrod 316LSi, cheminė sudėtis artima nurodytai suvirinimo medžiagų gamintojų rekomendacijose. Palyginus gautus duomenis nustatyta, kad teoriškai apskaičiuota siūlių cheminė ir struktūrinė sudėtis panaši į gautą atlikus eksperimentinius suvirinimo bandymus. Apibendrinus duomenis apskaičiuota, kad visais atvejais $Cr_{ekv}/Ni_{ekv} > 2$, vadinasi, galima teigti, kad visos suvirintos jungtys yra atsparios kristalizaciniams įtrūkiams.

2. Atlikus bandinių mikroskopinę analizę nustatyta, kad termiškai apdorotuose bandiniuose, suvirintuose su milteline viela DW-329AP, nemetalinių intarpų kiekis siūlėje didesnis apie tris kartus (koncentracija padidėjo iki 1,8 %), palyginti su termiškai neapdorotu bandiniu. Bandinių, suvirintų su pilnavidure viela OK Autrod 316 LSi, nemetalinių intarpų kiekis siūlėje iš esmės nekito ir svyruoja nuo 0,36 % iki 0,57 %.

3. Atlikus pagrindinių metalų 1.4462 ir 1.4404 mikroskopinę analizę nustatyta, kad termiškai neapdorotame 1.4462 pliene nemetalinių intarpų kiekis siekė 0,94 %, o 1.4404 termiškai neapdorotame bandinyje

– 0,21 % tirtu paviršiau ploto. Po terminio apdoravimo kaitinant 1050 °C temperatūroje ir aušinant vandenyje 1.4462 pliene nemetalinių intarpų kiekis metale sumažėjo iki 0,31 %, o 1.4404 nemetalinių intarpų kiekis liko nepakitęs. Galima teigti, kad dvifazis plienas 1.4462 dar prieš terminį apdirbimą turėjo daugiau karbidų, kurių didžioji dalis po terminio apdirbimo išnyko.

4. Atlikus bandinių mikrostruktūros mikroskopinę analizę nustatyta, kad jungties, suvirintos su milteline DW-329AP viela, struktūra yra dvifazė ir artima 1.4462 plieno struktūrai. Atlikus bandinių charakteringų jungties zonų ferito kiekio matavimus feritometru nustatyta, kad gauti rezultatai koreliuoja su mikroskopinių tyrimų rezultatais.

5. Atlikus bandinių skersinio tempimo bandymus nustatyta, kad bandiniai visai atvejais trūko per pagrindinį metalą 1.4404. Vadinasi, galima daryti prielaidą, kad tokio tipo konstrukcija, suvirinta su pridėtinėmis medžiagomis, yra patvari. Apibendrinus mechaninių bandymų duomenis galima teigti, kad pritaikius terminį apdorojimą visais atvejais virintinė jungtis yra ne tokia stipri kaip dvifazis plienas. Tam įtaką daro terminis apdorojimas, kurio metu dvifazio plieno mikrostruktūroje pradėjo formuotis σ - fazės bei M23C6 karbidai.

6. Apibendrinus Knupo kietumo bandymų rezultatus, galima teigti, kad visais atvejais, kuomet jungtis buvo termiškai apdorojama (kaitinama 1050 °C temperatūroje ir greitai aušinta), siūlės metalo vidutinis kietumas liko nepakitęs. Pritaikius terminį apdorojimą (kai bandiniai buvo laikomi 300 °C temperatūroje) siūlės metalo kietumas sumažėjo iki 12 %. Virintinių jungčių, suvirintų su milteline viela DW-329AP, vidutinis kietumas yra 20 % didesnis nei jungčių, suvirintų su pilnavidure viela OK Autrod 316 LSi.

7. Atsižvelgiant į korozinio atsparumo bandymo rezultatus nustatyta, kad termiškai apdorotų bandinių Nr. 3 ir 4 korozinis atsparumas gerokai prastesnis nei pagrindinio metalo ir neapdorotų bandinių. Tačiau termiškai apdorotų bandinių Nr. 5 ir 6 atsparumas korozijai yra artimas pagrindiniam metalui ir neapdorotų bandinių atsparumui.

8. Apibendrinus atliktų tyrimų rezultatus galima daryti prielaidą, kad suvirinant austenitinį ir dvifazį plieną neracionalu taikyti specialųjį terminį apdorojimą, o darbe aprašytais procedūromis suvirintas jungtis galima saugiai eksploatuoti temperatūroje iki 300 °C.

Literatūra

Licentiate, T & Hedström, P. (2005). Deformation induced martensitic transformation of metastable stainless steel AISI 301.

Ramirez, A. J., Brandi, S. D., & Lippold, J. C. (2004). Secondary austenite and chromium nitride precipitation in simulated heat affected zones of duplex stainless steels. *Science and Technology of Welding and Joining* vol. 9., 1–4 p.

Rocha, A. d. C. , & Pereira, A. P. d. R. S. a. R. (2018). Phase Transformations in Duplex Stainless Steel: An Assessment by In Situ X-Ray Diffraction. In (Ed.), *Stainless Steels and Alloys*.

Santina, Topolska, Jerzy Łabanowski (2014). Impact-toughness investigations of duplex stainless steels. *Materials and technology*, 481– 86 p.

Shamanth, V., Ravishankar, K. S. & Hemanth, K. (2019). Duplex Stainless Steels: Effect of Reversion Heat Treatment. In (Ed.), *Stainless Steels and Alloys. Intech Open*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.80007>.

Tolulope Loto, R., Akintoye Loto, C. & Ohijeagbon I., (2018). Effect of heat treatment processes on the localized corrosion resistance of austenitic stainless steel type 301 in chloride/sulphate solution.

Valiulis, A. V. (2007). *Legiruotieji plienai ir jų suvirinimas*. Vilnius: Technika.

Villanueva, D. M. E., Junior, F. C. P., Plaut, R. L., & Padilha, A. F. (2006). Comparative study on sigma phase precipitation of three types of stainless steels: Austenitic, super ferritic and duplex. *Materials Science and Technology* (p. 1098–1104).

Višniakas, I. (2003). *Medžiagotyra II*. Laboratorinių darbų metodikos nurodymai (p. 4–8). Vilnius: Technika.

LST CEN ISO/TR 15608. (2005). Plienų grupavimo sistema.

ISO 4967:2013. Plienai – Nemetaliųjų tarpų nustatymas – mikroskopinis metodas naudojant standartines diagramas.

LST EN ISO 9227. (2017). Korozijos bandymai dirbtinėse atmosferose“. Bandymai druskos rūke.

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2009). Metalai. Tempimo bandymai. 1 dalis. Bandymo kambario temperatūroje metodas (LST EN ISO 6892-1:2009).

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2004). Metalinių ir kitų neorganinių dangų ant metalinio pagrindo korozijos tyrimų metodai. Pavyzdžių ir gaminių, patikrintų korozijos tyrimais, įvertinimas (LST EN ISO 10289:2004).

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2013). Metalinių medžiagų suvirinimo siūlių ardomeji bandymai. Suvirinimo siūlių makroskopinis ir mikroskopinis tyrimas (LST EN ISO 17639:2013).

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2011). Metalų virintinių siūlių ardomeji bandymai. Kietumo bandymai. 1 dalis. Lankinio suvirinimo jungčių kietumo bandymas (LST EN ISO 9015-1:2011).

RESEARCH OF WELDABILITY AND PROPERTIES OF DISSIMILAR WELDS OF DUPLEX AND AUSTENITIC STEELS

Paulius Beinoras¹, Nikolaj Višniakov¹, Vitalijus Rudzinskas^{1,2}

¹Vilnius Gediminas Technical University

²Vilnius College of Technologies and Design

Summary. Influence of thermal effect on the strength, hardness and corrosion resistance of welded joints of duplex (austenitic - ferritic) steel 1.4404 and austenitic stainless steel and base metal is analyzed in the final work. Structural changes in the field of welded joints in ISO/TR 15608 Group 10 and 8 steels and the formation of undesirable phases and their influence on the mechanical properties and corrosion resistance of the joint are also examined. The welded specimens were heat treated using different modes. The structure and properties of the samples were investigated using microscopic analysis of the structure, determination of the phase composition, ferrite content, hardness and tensile tests, corrosion resistance tests. After testing and analysis of the results, it was found that the corrosion resistance of different types of steel welded joints after heat treatment decrease in comparison with basic metal.

Key words: Dual-phase steel, welding, heat treatment, corrosion resistance, microstructure

SUNKIASVORIŲ TRANSPORTO PRIEMONIŲ DYZELINIO VARIKLIO EKOLOGINIŲ PARAMETRŲ TYRIMAS

Augustas Ivaško, Saulius Nagurnas, Jurijus Zaranka

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT – 10223, Vilnius

Anotacija. Sunkusis transportas yra viena iš transporto priemonių rūšių, skirta pervežti krovinius, taip pat žmones iš taško A į tašką B. Įprasta, kad sunkiajame transporte sumontuoti didelį darbinį tūrį turintys varikliai. Dauguma jų vis dar yra varomi dyzelinu. „Euro 6“ standartą atitinkantys varikliai įprastai būna komplektuojami su deginių neutralizatoriumi, kietųjų dalelių filtru, „AdBlue“ (karbamido tirpalu) purkštuvu, selektyviu kataliziniu redukcavimu ir amoniako neutralizatoriumi. Karbamido tirpalas ir selektyvinis katalizinis redukcavimas kenksmingų azoto oksidų (NO_x) išmetamą koncentraciją gali sumažinti daugiau nei 90 %. Tačiau deginių neutralizacija prasideda tik tuomet, kai išmetimo sistemoje yra pasiekama didesnė negu 180 °C temperatūra. Šaltuoju sezonu, kai lauko temperatūra dažnu atveju būna žemiau 0 °C, šios sistemos užvedus variklį nemažą laiko tarpą būna neaktyvios dėl mažos išmetamųjų dujų temperatūros. Todėl šio eksperimento tikslas – išmatuoti, kokia NO_x koncentracija patenka į atmosferą iš didelį darbinį tūrį turinčio dyzelinio variklio ir kaip tinkamai veikia deginių neutralizavimo sistemos šaltuoju metų sezonu.

Reikšminiai žodžiai: „Euro 6“ standartas, deginių neutralizavimas, važiavimo ciklai, išmetimo sistemos temperatūra, NO_x koncentracija.

Įvadas

Įprasta, kad sunkiajame transporte sumontuoti didelį darbinį tūrį turintys varikliai yra varomi dyzelinu. Kenksmingiems išmetamiesiems teršalams mažinti įvesti ribojimai, privertę gamintojus montuoti ekologines sistemas, kurios neutralizuotų kenksmingus deginius variklio išmetamosiose dujose. Tyrimo aktualumas grindžiamas plėtojant žinias apie didelio darbinio tūrio dyzelinius variklius ir jų darbo ciklą šaltuoju metų laiku.

Darbo objektas – azoto oksidų (toliau tekste NO_x) koncentracijos ir ekologinių sistemų tinkamo funkcionalumo stebėseną.

Darbo tikslas – išmatuoti, kokia NO_x koncentracija (ppm) patenka į atmosferą iš didelį darbinį tūrį turinčio dyzelinio variklio ir kaip tinkamai veikia deginių neutralizavimo sistemos šaltuoju metų sezonu. Atsižvelgiant į gautus eksperimentinio tyrimo rezultatus, išanalizuoti ekologinių sistemų darbą šaltuoju metų laikotarpiu. Darbo tikslui pasiekti formuluojami šie uždaviniai:

1. Išanalizuoti mokslinės literatūros šaltinius, kuriuose nagrinėjami dyzelinių variklių deginių neutralizavimo sistemų funkcionavimo ypatumai, galimi deginių neutralizavimo efektyvumo sutrikimai.

2. Sudaryti metodiką, kuria remiantis būtų atliekamos dyzelinių variklių deginių neutralizavimo sistemų tinkamo funkcionavimo patikros.

3. Esant žemai aplinkos oro temperatūrai, realiomis darbo sąlygomis, atlikti eksperimentinius dyzelinių variklių deginių neutralizavimo sistemų funkcionavimo tyrimus.

4. Remiantis atliktų tyrimų rezultatais išanalizuoti gautus duomenis, aptarti galimus minėtų sistemų trūkumus bei pateikti praktinių pasiūlymų, kaip didinti jų poveikio efektyvumą.

1. Mokslinių tyrimų, susijusių su NO_x taršos problematika, analizė

Automobiliai, kurių masė viršija 3,5 tonos, vadinami sunkiuoju transportu. Europos keliuose šis transportas sudaro 4 % viso automobilių parko (Grigoratos et al., 2019), tačiau suvartoja 27 % parko energijos. Ši tendencija būdinga ir kitose šalyse. Pavyzdžiui, Jungtinėje Karalystėje sunkusis transportas nuvažiuoja 5 % visų transporto priemonių nuvažiuojamo kelio, tačiau suvartoja 21 % energijos. Honkonge krovininiai automobiliai sudaro 16 % viso automobilių parko, tačiau išmeta 51 % transporto NO_x (Papadopoulos et al., 2020). Šie dyzelinu varomi automobiliai vis dar yra populiarius pasirinkimas transporto srityje, bet tuo pačiu lemia padidintą NO_x taršą.

Daugelis dyzelinių variklių testų, susijusių su teršalų matavimu, yra atliekami – 7 °C ir + 23 °C temperatūroje. Dėl prasto deginių neutralizatorių efektyvumo žemoje temperatūroje šaltuoju metų laiku kenksmingos emisijos įprastai būna padidėjusios. Biodyzelino (B100) tyrimai vasarą parodo geresnius emisijų rezultatus, nei biodyzelino (B20) tyrimai žiemą (teršalų kiekis yra didesnis). Tarša būna didesnė, nes ilgėja variklio sušilimo laikas (Hernández et al., 2020). „Euro 6“ standartas nurodė griežtesnius reikalavimus dėl išmetamųjų vidaus degimo variklių teršalų. Sugriežtėjo reikalavimai dėl angliavandenilių (HC), kietųjų dalelių masės (KM), kietųjų dalelių kiekio (KD), azoto oksidų (NO_x), amoniako (NH_3) (Grigoratos et al., 2019). Nuo 2003 iki 2012 metų Europos Sąjungoje NO_x emisija (ppm) sumažėjo 33 %, o kietųjų dalelių kiekis – 16 %. Tačiau šie teršalai vis dar yra vienas pagrindinių taršos komponentų.

Svarbu paminėti, kad sunkiajam transportui, nors ir sudarančiam mažą eismo dalį, tenka nemažas procentas visų išmetamųjų teršalų kiekio. Tačiau tikslų matavimų važiuojant realiomis sąlygomis pasigendama. Didelio tūrio dyzelinių variklių teršalai yra matuojami laboratorinėmis sąlygomis ant

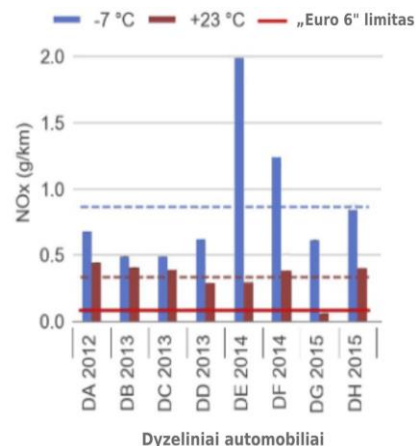
stendo. Šie matavimai ne visada gali atspindėti realų važiavimą miesto ar užmiesčio sąlygomis (Giechaskiel et al., 2018).

Nors lengvųjų automobilių rinkoje elektriniai automobiliai pradeda keisti vidaus degimo varikliais varomus automobilius, sunkiąją techniką vis dar varo dyzeliniai varikliai. Kad šie varikliai atitiktų dabartinių standartų reikalavimus, į jų valdymą įtraukiamos sudėtingesnės valdymo blokų kalibracijos. Dėl įtraukiamų vis sudėtingesnių sistemų ir detalių šiuos visus įrenginius susisteminti ir stebėti darosi vis sudėtingiau (van Dooren et al., 2022).

Dyzeliniai varikliai plačiai naudojami didelių gabaritų technikoje dėl efektyvumo, taip pat generuoja didelę NO_x bei kietųjų dalelių (toliau tekste – KD) koncentraciją (ppm). Siekiant sumažinti kietųjų dalelių kiekį pradėtas montuoti KD filtras (toliau tekste – DPF). Šis filtras sukaupia susidariusius suodžius ir neleidžia patekti jiems į atmosferą (Lähde et al., 2022). Populiariausias šiandien deginių nukenksminimo būdas – karbamido tirpalas, kitaip dar vadinamas „AdBlue“ skysčiu. Kartu su selektyviu deginių reduktoriumi karbamido skystis NO_x paverčia azotu (N₂) ir deguonimi (O₂) (Wang et al., 2017). Tačiau ši sistema efektyvi tada, kai palaikomas pastovus greitis, transporto priemonė važiuoja greitkelyje. Miesto važiavimo režimu deginiai faktiškai nėra neutralizuojami iki „Euro 6“ standarto reikalavimų. Dažnos akceleracijos sudegina daugiau degalų ir vidutinis greitis išlieka nedidelis. Dėl didesnio degalų suvartojimo ir nepastovios variklio apkrovos didėja NO_x koncentracija (ppm) (Luján et al., 2018).

Dar vienas deginių mažinimo būdas yra bandymas maišyti dyzelinius degalus su „AdBlue“ skysčiu ir papildomais mišiniais. Tačiau atlikti tyrimai (Demir et al., 2021) parodė kiek kitokius rezultatus, negu buvo tikėtasi. Verta paminėti, kad tyrimas buvo atliktas pasirinkus nedidelį vieno cilindro keturtaktį variklį, turintį 7 kW galios ir 21 Nm sukimo momentą. Atlikus tyrimus keičiant variklio apkrovą buvo pastebėta, kad į degalus įmaišius „AdBlue“ skysčiu ir citrinos rūgšties degimas sulėtėjo ir prasčiau išdegė degalai. Esant 3,5 kW apkrovai CO₂ emisija padidėjo dvigubai, nors CO sumažėjo 233 %. Nors tikėtasi, kad NO_x koncentracija (ppm) sumažės, tačiau ji padidėjo.

Tad susitelkiant ties deginių neutralizavimu jau po degimo proceso, galima teigti, kad viena iš priežasčių, kodėl emisijos yra didesnės, negu reikalaujama, tai važiavimo ciklai, kurie neparodo realių vairavimo sąlygų mieste, kada teršalai pasiekia didesnę vertę dėl dažnos akceleracijos. Tačiau yra ir daugiau svarbių veiksnių, kurie didina šias emisijas tiek mieste, tiek užmiestyje. Tai yra šaltas oras arba šaltasis metų laikas, kai naudojamas riebesnis degalų ir oro mišinys (Weber et al., 2019). Grafikas, atspindintis temperatūros ir teršalų kiekio priklausomybę, pateiktas 1 pav. Jame automobilio modeliai nenurodyti, tik pagaminimo metai



1 pav. NO_x teršalų kiekis (g/km) įvertinti „Euro 6“ standartą atitinkančius automobilius
Šaltinis: Weber et al., 2019

Šaltuoju metų laiku, kai temperatūra nukrenta žemiau 0 °C, pasiekama didžiausia teršalų vertė, ypač miestuose, lyginant visų metų laikotarpį. Europoje NO_x padidėja iki 40 %, CO iki 26 % (Suarez-Bertoa & Astorga, 2018). Šiame tyrime pasirinkta testuoti lengvuosius automobilius su dyzeliniais varikliais. Nors tyrimas atliktas laboratorijoje WLTP ciklu 7 °C temperatūroje, NO_x koncentracija (ppm) buvo 3,5 karto didesnė, palyginti su +23 °C temperatūra. Žemoje temperatūroje SCR funkcionalumas krenta arba jo efektyvumas ties žema temperatūra yra mažas.

Aptariant variklio darbo ypatumus, pastebimos tam tikros tendencijos. Kol variklis būna šaltas ir vyksta greitesnis jo sušilimas, degimo kameroje yra paankstinamas degimas ir įpurškiamas didesnis degalų kiekis. Tokiu būdu variklis greičiau sušyla, tačiau dėl didelio slėgio degimo kameroje ir aukštos amplitudinės temperatūros didėja NO_x koncentracija (ppm). Varikliui šylant iki +65 °C aušinimo skysčio temperatūros, NO_x emisija būna didesnė 31–60 % palyginti su karšto variklio darbu. Kai variklis sušyla, NO_x koncentracija krenta, nes degimas tampa vėlyvesnis (Zare et al., 2021).

Apibendrinus tyrimo (Grigoratos et al., 2019) duomenis, galima pastebėti korealiaciją tarp sunkiasvorių ir lengvųjų automobilių. Testuoti pasirinkti 5 sunkiasvoriai automobiliai, kurių variklio galingumas > 250 kW, darbinis tūris – nuo 7,5 l iki 13 l. Šie automobiliai atitiko „Euro 6“ standartą, tačiau jų paskirtis skyrėsi. Tai buvo tolimųjų reisų vilkikai, vietinės reikšmės vilkikai ir autobusas, tad kiekvieno iš jų važiavimo ciklai yra skirtingi. Atsižvelgiant į nagrinėtas tendencijas, galima teigti, kad žemesnėje negu +7 °C temperatūroje NO_x teršalų išmetama koncentracija (ppm) yra didesnė, kadangi tiek variklis, tiek duslintuvas neįšyla pakankamai iki efektyvaus funkcionavimo lygio. Autobuso emisijos buvo didesnės nei vilkikų, nes autobuso išmetamoji sistema sunkiai pasiekdavo darbinę temperatūrą dėl žemo vidutinio greičio ir nedidelės apkrovos miesto važiavimo režimu.

Apibendrinus atliktų tyrimų rezultatus, galima teigti, kad tikslinga toliau gilintis į sunkiojo transporto priemonių taršos

(ypač NO_x komponentų) matavimo galimybes. Todėl šiame darbe pateikiamas NO_x taršos pokyčių tyrimas, testuojant maršrutinį miesto autobusą.

2. Eksperimentinio tyrimo atlikimo metodika

Tyrimas atliktas „Cummins“ diagnostine įranga „Insite“. Ši įranga yra originali „Cummins“ variklių diagnostika, kuria galima fiksuoti beveik visus variklio ir išmetamųjų dujų parametrus.

Tyrimo objektu pasirinktas Vilniaus viešojo transporto autobusas „Solaris Urbino 12“ (2 pav.). Šio autobuso techninės charakteristikos atitiko numatytus tyrimo kriterijus, kurie pateikti 1 lentelėje.



2 paveikslas. Autobusas „Solaris Urbino 12“
Šaltinis: sudaryta autorių

1 lentelė. Autobuso „Solaris Urbino 12“ (gamybos data – 2018-06-13) variklio duomenys

Variklio modelis	Cummins ISB 6.7
Variklio galingumas	207 kW (280 HP)
Variklio sukimo momentas	1100 Nm
Variklio darbinis tūris	6700 cm ³
Variklio maksimalūs sūkių	2100 min ⁻¹
Atitikimas taršos standartą	„Euro 6“

Naudojant diagnostinę įrangą „Insite“ galima realiu laiku matuoti numatyto maršrutu važiuojančio autobuso variklio NO_x komponento taršą. Šis taršos rodiklis kinta, keičiantis autobuso maršruto reljefui, variklio apkrovai. Autobuso nuvažiuoto kelio ir maršruto reljefas fiksuotas išmaniojo telefono programėle „OsmAnd“. Programėlė įrašė autobuso buvimo vietą, greičio pokytį ir reljefo kaitą. Šie duomenys būtini siekiant sugeneruoti ir nubrėžti važiavimo kreivę žemėlapyje.

Eksperimentui pasirinktas Vilniaus viešojo transporto maršrutas „Fabijoniškės–Markučiai–Fabijoniškės“. Maršruto trukmė yra 34 minutės. Tyrimas atliktas ryte (5 val. 30 min.), aplinkos oro temperatūra buvo –14 °C.

Eksperimentinio tyrimo atlikimo tvarka:

1. Diagnostinė įranga „Insite“ prijungiama prie variklio valdymo kompiuterio diagnostinės jungties.

2. Pradėjus važiuoti maršrutu, paleidžiami įrašai „Insite“ ir „OsmAnd“ programose. „Insite“ diagnostine įranga fiksuojami beveik visi su variklio darbu susiję diagnostiniai parametrai.

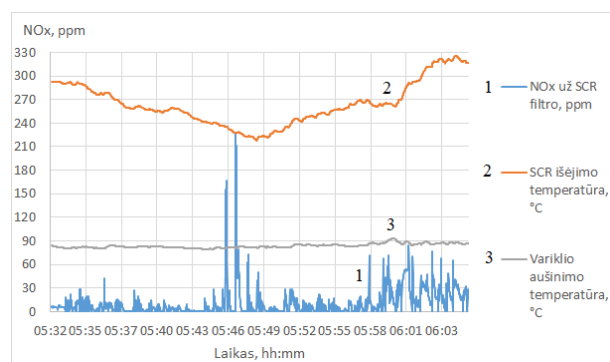
3. Važiuojant autobusu, periodiškai patikrinami fiksuojami duomenys, stebima, ar nėra nuokrypų, ar duomenys atitinka realią apkrovą.

4. Nuvažiavus numatytą maršrutą įrašai stabdomai ir užfiksuoti duomenys išsaugomi CSV formatu tolesnei duomenų analizei.

5. Gauti rezultatai susisteminami, rezultatų analizė pateikta kitame skyriuje.

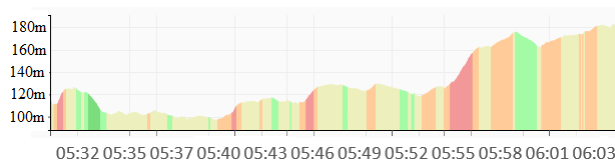
4. Eksperimentinio tyrimo rezultatai

Pirmiausia išmatuotos NO_x koncentracijos (ppm) reikšmės už selektyvinio katalizinio redukavimo elemento (toliau tekste – SCR), šios reikšmės (žr. 3 pav.) palygintos su už SCR esančio temperatūros jutiklio duomenimis (3 pav.).



3 pav. NO_x koncentracija, temperatūra už SCR ir variklio, aušinimo skysčio temperatūra
Šaltinis: sudaryta autorių

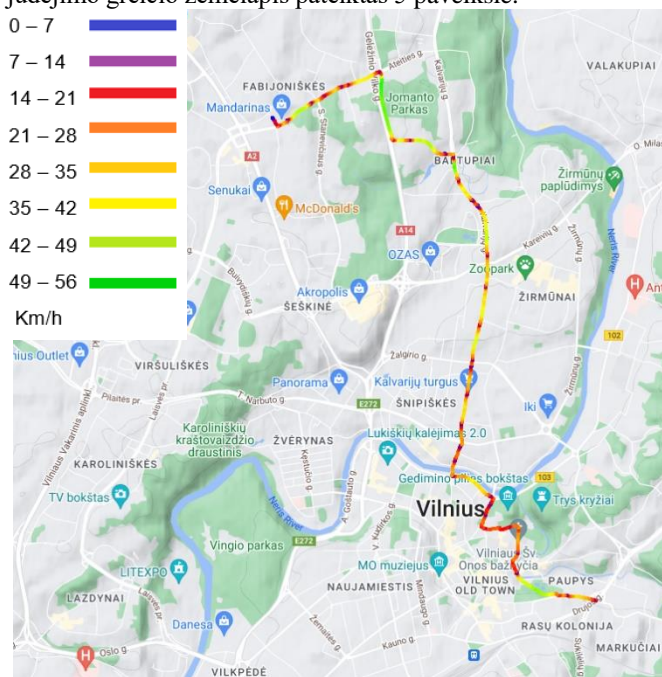
Siekiant susieti 3 pav. pateiktas priklausomybes su tiriamu autobuso maršrutu, sudarytas minėto maršruto reljefo pokyčių grafikas (žr. 4 pav.). Jame matome, kurioje vietoje yra įkalnės, nuokalnės ir pagal tai galime spręsti apie kintančias variklio apkrovas. Skirtingomis spalvomis vaizduojama įkalnių ir nuokalnių statusas.



4 pav. Maršruto „Markučiai–Fabijoniškės“ reljefo pokytis
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Vertinant 3 ir 4 paveikslus matyti, kad 4 paveiksle ties laiku 5:43 NO_x koncentracija pradėjo didėti ir pasiekė 10 kartų didesnę vertę negu įprastai visos kelionės metu. Taip pat matoma koreliacija tarp temperatūros mažėjimo už SCR ir NO_x koncentracijos didėjimo. Priežastis ta, kad šaltu oru važiuojančio autobuso variklio skyrius išlieka vėsus, ypač kai variklio

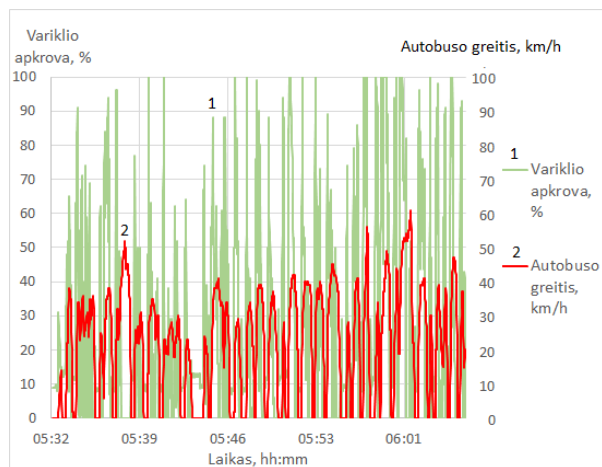
apkrova nėra didelė. Be to, 4 paveiksle matyti, kad autobusas iki taško, kai padidėjo NO_x koncentracija, važiuo nuokalne arba lygiu keliu. Pradėjusio kilti į įkalnes autobuso varikliui teko daugiau apkrovos ir duslintuvus pradėjo vėl kaisti, o NO_x koncentracija tapo normali. Šį pokytį galima paaiškinti tuo, kad įkalnės, į kurias reikėjo važiuoti, buvo pakankamai stačios. 4 paveiksle matome, kad atkarpoje 05:32–05:40 autobusas buvo Senamiesčio priegose, todėl transporto priemonės greitis buvo nedidelis, be didelių lėtėjimų ir pagreičių. Iš Senamiesčio išvažiavusio autobuso greitis padidėjo, todėl pailgėjo ir išibėgėjimo laikas, padidėjo NO_x koncentracija. Autobuso judėjimo greičio žemėlapis pateiktas 5 paveiksle.



5 pav. Tiriama autobuso greitis
Šaltinis: sudaryta autoriaus

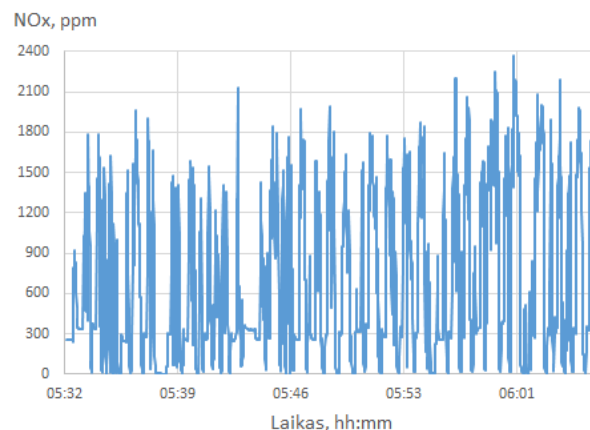
5 paveiksle gerai matyti, kur autobusas stodavo stotelėse bei prie šviesoforų. Kiekvienas šios transporto priemonės stabtelėjimas rodė kintančią variklio apkrovą. Kiekvieną kartą pajudėjusio iš stotelės ar sankryžoje autobuso variklio apkrova pasiekė beveik 100 %. Tai nulėmė momentiška padidėjusią NO_x koncentraciją.

Autobuso judėjimo viena grafinė priklausomybė pavaizduota 6 paveiksle.



6 pav. Tiriama autobuso variklio apkrovos ir judėjimo greičio priklausomybė
Šaltinis: sudaryta autorių

Iš šio grafiko matyti, kad variklio apkrova gerokai padidėjo, kai autobusas išibėgėjo. Galima daryti išvadą, kad tuo momentu taip pat akivaizdžiai padidėjo ir NO_x koncentracija, pavaizduota 7 paveiksle. Jei autobusas važiuotų tolygiau, tokių apkrovų šuolių nebūtų, tačiau šios transporto priemonės važiavimas yra labai dinamiškas ir pagal tolygią priklausomybę kisti negali.



7 pav. NO_x prieš SCR
Šaltinis: sudaryta autorių

Palyginus 6 ir 7 paveikslius galima pastebėti, kad esant apkrovai NO_x nenukenksmintą koncentracija prieš SCR pasiekia dideles reikšmes. Šių didelių reikšmių pasekmė yra dažnas išibėgėjimas ir stabdymas. Kai aplinkos temperatūra yra žema, o variklis dirba laisvais sūkais, NO_x koncentracija siekia 300 ppm. Tačiau palyginus 7 ir 3 paveikslius, stebint deginių neutralizacijos sistemos darbą, konstatuojama, kad ji funkcionuoja pakankamai efektyviai iki to momento, kol yra palaikoma aukšta temperatūra variklio išmetimo sistemoje (duslintuve). Šio bandymo metu, apskaičiavus maršruto vidutinę NO_x koncentraciją prieš SCR ir už jo, su „AdBlue“ sistema į aplinką pateko 67 kartus mažiau NO_x teršalų, negu be „AdBlue“ sistemos.

Išvados

Remiantis atliktu eksperimentu šaltuoju metų sezonu formuluojamos šios išvados:

1. Nustatyta, kad sunkiasvorių transporto priemonių (šiuo atveju autobuso) NO_x neutralizavimo sistemos efektyviai funkcionuoja nuo ~240 °C.
2. Tinkamai veikiant NO_x neutralizavimo sistemai, NO_x reikšmės išlieka iki ~100 ppm.
3. Maršruto galutinėje stotelėje sustojusio autobuso variklio (taip pat deginių išmetimo sistemos) temperatūra ima kristi, dėl to išauga NO_x komponento tarša.
4. „AdBlue“ sistemos naudojimas efektyviai mažina NO_x komponento taršą (iki 70 kartų), kai deginių išmetimo sistema pasiekusi darbinę temperatūrą (240 °C).
5. Iš grafikų matyti, kad mažesnę taršą galima pasiekti „AdBlue“ įpurškimo ir dujų neutralizavimo metodu ir taip gerokai sumažinti NO_x koncentraciją. Tačiau norint, kad siekiami „Euro 6“ reikalavimai atitiktų realybę, reikia koreguoti ir važiavimo bei bendymų ciklus, kurie būtų kuo panašesni į realią transporto priemonės eksploataciją, kai dažnas stabdymas ir akceleracija.
6. Siekiant palaikyti aukštą variklio išmetimo sistemos temperatūrą (tuo pačiu ir efektyvų NO_x komponento neutralizavimą) rekomenduojama atlikti šaltuoju metu važiuojančių transporto priemonių variklio kompiuterio kalibravimą, pritaikant variklio darbą žemai temperatūrai (padidinant degalų tiekimą vėstant išmetimo sistemai).

Literatūra

Demir, U., Kozan, A., & Özer, S. (2021). Experimental investigation of the effect of urea addition to fuel on engine performance and emissions in diesel engines. *Fuel*. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122578>

Giechaskiel, B., Schwelberger, M., Delacroix, C., Marchetti, M., Feijen, M., Prieger, K., Andersson, S., & Karlsson, H. L. (2018). Experimental assessment of solid particle number Portable Emissions Measurement Systems (PEMS) for heavy-duty vehicles applications. *Journal of Aerosol Science*, *123*, 161–170. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2018.06.014>

Grigoratos, T., Fontaras, G., Giechaskiel, B., & Zacharof, N. (2019). Real world emissions performance of heavy-duty Euro VI diesel vehicles. *Atmospheric Environment*, *201*, 348–359. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.12.042>

Hernández, J. J., Rodríguez-Fernández, J., & Calle-Asensio, A. (2020). Performance and regulated gaseous emissions of a Euro 6 diesel vehicle with Lean NO_x Trap at different ambient conditions: Sensitivity to the type of fuel. *Energy Conversion and Management*, *219*. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113023>

Lähde, T., Giechaskiel, B., Pavlovic, J., Suarez-Bertoa, R., Valverde, V., Clairotte, M., & Martini, G. (2022). Solid particle number emissions of 56 light-duty Euro 5 and Euro 6 vehicles. *Journal of Aerosol Science*, *159*. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2021.105873>

Luján, J. M., Bermúdez, V., Dolz, V., & Monsalve-Serrano, J. (2018). An assessment of the real-world driving gaseous emissions

from a Euro 6 light-duty diesel vehicle using a portable emissions measurement system (PEMS). *Atmospheric Environment*, *174*, 112–121. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.11.056>

Papadopoulos, G., Ntziachristos, L., Tziortzioumis, C., Keramydas, C., Lo, T. S., Ng, K. L., Wong, H. L. A., & Wong, C. K. L. (2020). Real-world gaseous and particulate emissions from Euro IV to VI medium duty diesel trucks. *Science of the Total Environment*, *731*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139137>

Suarez-Bertoa, R., & Astorga, C. (2018). Impact of cold temperature on Euro 6 passenger car emissions. *Environmental Pollution*, *234*, 318–329. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.096>

van Dooren, S., Amstutz, A., & Onder, C. H. (2022). A causal supervisory control strategy for optimal control of a heavy-duty Diesel engine with SCR aftertreatment. *Control Engineering Practice*, *119*, 104982. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2021.104982>

Wang, T., Lin, F., Hu, J., Ke, Y., & Zhang, Y. (2017). Control strategy research of a selective catalytic reduction system for heavy-duty application. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, *22*(5), 577–588. <https://doi.org/10.1007/s12204-017-1866-9>

Weber, C., Sundvor, I., & Figenbaum, E. (2019). Comparison of regulated emission factors of Euro 6 LDV in Nordic temperatures and cold start conditions: Diesel- and gasoline direct-injection. *Atmospheric Environment*, *206*, 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.02.031>

Zare, A., Stevanovic, S., Jafari, M., Verma, P., Babaie, M., Yang, L., Rahman, M. M., Ristovski, Z. D., Brown, R. J., & Bodisco, T. A. (2021). Analysis of cold-start NO₂ and NO_x emissions, and the NO₂/NO_x ratio in a diesel engine powered with different diesel-biodiesel blends. *Environmental Pollution*, *290*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118052>

RESEARCH OF ECOLOGICAL PARAMETERS OF HEAVY DUTY VEHICLES DIESEL ENGINES

Augustas Ivaško, Saulius Nagurnas, Jurijus Zaranka

Vilnius Gediminas Technical University

Summary. Heavy transport is one of such type of vehicle which is designed to transport goods as well as people from point A to point B. It is common for heavy transport to be equipped with large displacement engines. A large number of them are still powered by diesel fuel. Euro 6 compliant engines are normally equipped with a fuel neutralizer, particulate filter, AdBlue (urea solution) injector, selective catalytic reduction and ammonia neutralizer. Urea solution and selective catalytic reduction can reduce harmful nitrogen oxide (NO_x) emissions by more than 90%. However, this combustion neutralization only starts to work when a temperature higher than 180 °C is reached in the exhaust system. During the cold season, when the outside temperature is often below 0 °C, these systems are inactive for a considerable period after the engine is started due to the low exhaust gas temperature. Therefore, the purpose of this study is to measure the amount of nitrogen oxides entering the atmosphere from a high-capacity diesel engine and how well the fuel neutralization systems work during the cold season of the year.

Key words: "Euro 6" standard, fuel neutralization, driving cycles, exhaust manifold temperature, NO_x concentration.

TILTO SIJOS SKERSPJŪVIO GEOMETRINIŲ RODIKLIŲ KITIMAS DĖL ILGALAIKĖS KOROZIJOS

Jolanta Pileckienė, Jurijus Tretjakovas

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, Vilnius

Anotacija. Ilgalaikė plieninių konstrukcijų korozija gali sukelti konstrukcijų griūtį. Labiausiai agresyvi korozija veikia plieninių konstrukcijų tiltus. Tiltų pagrindinių sijų skerspjūvis dažniausiai yra racionalaus ilgio ir formos. Lenkiamų sijų skerspjūvio forma panaši į dvitęjinės sijos, todėl šiame straipsnyje nagrinėjamas dvitęjinis skaičiuojamasis modelis, priklausantis nuo vieno kintamojo. Korozijos įtaka modeliuojama kaip medžiagos kaita dėl ilgalaikės korozijos (iki 50 metų).

Reikšminiai žodžiai: tiltas, pagrindinė sija, korozija, koroduojantis paviršius, dvitęjis, inercijos momentas.

Įvadas

Pastaraisiais metais visame pasaulyje dėl augančių transporto srautų kelių ir tiltų apkrova nuolat didėja (Lietuvos transporto infrastruktūros plėtros iki 2030 m. planas, 2022). Atliekant kelio kokybės įvertinimus neišvengiamai kyla klausimų dėl tiltų kokybės. Plieninių konstrukcijų tiltas kaip ilgalaikis statinys neišvengiamai yra veikiamas korozijos ir jo stiprumas nuolat mažėja.

Lietuvos valstybiniuose keliuose yra daugiau kaip pusantro tūkstančio tiltų ir viadukų, vidutiniškai kas 14 km. Tiltas – ilgalaikis statinys. Jis visada turi būti patikimas, tvirtas, nesvarbu, kada statytas – jis projektuojamas 50–70 metų. Tačiau ne visi tiltų elementai patvarūs. Tiltai, kaip ir keliai, turi dangą, hidroizoliaciją, kuri turėtų būti atnaujinama ne rečiau kaip kas dvidešimt penkerius metus. Tai pat reikia paminėti, kad betono gniuždomasis stipris nėra pagrindinė savybė, charakterizuojanti betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų būklę. Tokios betono savybės, kaip deformacijų modulis, valkšnumas, traukumas, atsparumas aplinkai, yra jautresni technologijos ir naudojimo sąlygų pokyčiams (Marčiukaitis, 2013). Dėl atmosferos poveikio, apkrovų, transporto eismo, vibracijos konstrukcijų apsauginiame sluoksnyje atsiranda plyšių, pradeda rūdyti armatūra, tiltas praranda keliamąją galią, susilpnėja.

Korozija – tai fizikocheminė metalo ir aplinkos sąveika, kuri daro įtaką metalo savybių pokyčiams ir gali nulemti reikšmingą metalo funkcijų, aplinkos ar techninės sistemos, kurios dalimi yra laikomas paveiktas metalas, suprastėjimą. Dažnai inžinerijoje naudojamų metalų (pvz., anglinio plieno, nerūdijančiojo plieno, cinko, vario ir aliuminio) įprasta korozija reiškia laikui bėgant matomą metalo kokybės suprastėjimą iki pastovinės būsenos (būdingos neapdorotam metalui).

Siekiant įvertinti korozijos riziką itin svarbu atsižvelgti į aplinkos sąlygų, medžiagų savybių, kombinacijų ir konstrukcijos ypatybių sąveiką. Straipsnyje aptarsime dažniausius veiksnius, į kuriuos turi būti atsižvelgta (atkreipiame dėmesį, kad yra daugybė ir retesnių veiksnių, kurie sietini su konkrečiomis taikymo sritimis ir aplinka):

- **Elektrolitas:** jis būtinas visoms atmosferoje (pvz., drėgmėje, skystyje ir kt.) vykstančioms korozijos reakcijoms.

- **Temperatūra:** kuo aukštesnė temperatūra, tuo greičiau vyksta korozija.
- **Cheminės medžiagos:** pvz., druska (ore šalia jūros, žiemą naudojama keliams barstyti, baseinų vandenyje ištirpęs chloras) gali pagreitinti koroziją.
- **Pramoninė tarša:** sieros dioksidas ir kiti teršalai gali pagreitinti koroziją.
- **Skirtingi metalai:** korozijos riziką padidina tiesioginis skirtingų metalų sąlytis.

Dažniausios elektrocheminio pobūdžio korozinės reakcijos. Tokių reakcijų metu metale vyksta elektronų nulemtas elektros energijos maišymasis su laidžiajame elektrolite, pvz., vandenyje, esančiais jonais.

Tokios rūšies korozijos pavyzdžiai :

- Tolygioji korozija.
- Plyšinė korozija.
- Taškinė korozija.

Mechaninių veiksnių įtaka

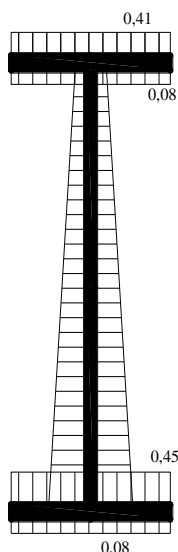
Šiai rūšiai būdingas mechaninės ir elektromechaninės korozijos procesas, kuris lemia tam tikrų medžiagų pleišėjimą. Korozijai gali pakakti medžiagos vidaus veiksnių. Šio proceso metu tam tikrų veiksnių veikiamas itin tvirtas arba sutvirtintas anglinis plienas tampa trapus ir staiga suskyla. Atsižvelgiant į taikymo sritį, tokios rūšies korozija gali apriboti tam tikrų medžiagų naudojimą.

Tokios rūšies korozijos pavyzdžiai:

- Pleišėjimas dėl įtempties korozijos.
- Vandens nulemtas pleišėjimas (arba antrinis vandens nulemtas skilinėjimas).

Išanalizavus literatūros duomenis, nustatyta, kad daugelis problemų, susijusių su korozija, gali būti išspręstos projektavimo metu. Konstrukcijos ilgaamžiškumas priklauso nuo konstrukcinių sprendimų. Jei konstrukcija neteisinga, gali susidaryti korozinių galvaninių elementų. Klaidos turi didelę įtaką metalų korozijai. Būtina žinoti, kad įtrūkimų atsiradimas pavojingas tose vietose, kur koncentruojasi mechaniniai įtempiai (staigūs formos pokyčiai, skylės ir kt.). Kartais gali būti naudojamas korozijos atsargos koeficientas (medžiagos storis padidinamas tiek, kad kompensuotų koroziją). Tai dažniausiai daroma tose vietose, kur tikėtina padidinta korozija

(pvz., skysčio ir oro sąlyčio vietoje). Korozijos greičiui ir ilgaamžiškumui didelę įtaką turi konstrukcijos forma.



1 pav. Dvitėjo skerspjūvio įvairių paviršių korozijos greitis
Šaltinis: sudaryta autorių pagal (Šulčius, 2006)

Korozijos greitis priklauso nuo daugelio veiksnių, svarbiausi iš jų: pjūvių suleidimas, konstrukcijos elementų aptakumas, drėgmės sanakaupa, konstrukcijos elemento sujungimo metodai, korozijos produktų nuo konstrukcijos nuvalymo galimybės ir pakartotinis nudažymas. Pjūvių suleidimas – tai pjūvio perimetro santykis su plotu. Reikėtų rinktis pjūvius su minimaliu suleidimu. Nuo konstrukcijos elementų aptakumo priklauso drėgmės nuo paviršiaus garavimas (korozijos proceso laikas). Aptakiausia yra vamzdinė konstrukcija. Nemažą reikšmę turi ir korozijos plitimo pobūdis pjūvyje (1 pav.). Skaičiai epiūroje rodo korozijos greitį mm/metus.

Darbo tikslas – taikant matematinę priklausomybę aprašyti dvitėjinės sijos skerspjūvio geometrinių rodiklių sumažėjimą dėl ilgalaikės korozijos.

Tikslui pasiekti iškelti uždaviniai:

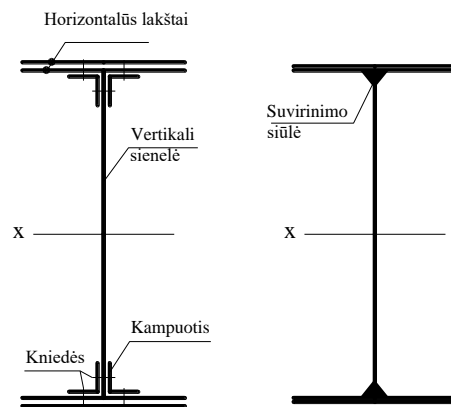
1. Atlikti mokslinės literatūros, nagrinėjančios ilgalaikę plieninių konstrukcijų agresyvioje terpėje koroziją, analizę.
2. Aprašyti korozijos įtaką nuo vienerių iki 50 metų .
3. Matematinio modeliavimo būdu aprašyti dvitėjinio skerspjūvio inercijos momento išraišką kaip vieno kintamojo funkciją.
4. Modeliuoti rūdijančių paviršių įtaką skerspjūvio inercijos momentui.

1. Sijų racionalaus skerspjūvio apžvalga

Jei nagrinėjant lenkiamus elementus dėmesys skiriamas tik stiprumui, racionalaus skerspjūvio sija turi turėti kuo didesnę atsparumo momentą ir kuo mažesnę skerspjūvį. Atsparumo

momentas savo ruožtu yra tiesiogiai priklausomas nuo skerspjūvio inercijos momento centrinės skerspjūvio ašies atžvilgiu. Realiai sukurtas racionaliausias yra dvitėjis profilis, nes jo forma panaši į lenkiamo elemento idealią formą (Dupen, 2022, Hibbeler, 2011).

Inžinerinėje praktikoje didelių matmenų skerspjūvių profiliai labai dažnai surenkami iš atskirų elementų: iš kampuočių ir įvairaus pločio ir storio lakštų pagamintos sijos, parodytos 2 paveiksle.



2 pav. Kniedytas ir suvirintas dvitėjo skerspjūvis
Šaltinis: sudaryta autorių

Jos gaminamos elementus sujungiant įvairiais būdais: suvirinant, klijuojant, netgi kniedijant. Tačiau kadaise buvęs labai populiarus kniedijimas dėl blogai parinkto kniedžio žingnio gali paspartinti koroziją tarp lakštų arba tarp kampuočio ir lakšto (Šulčius, 2006).

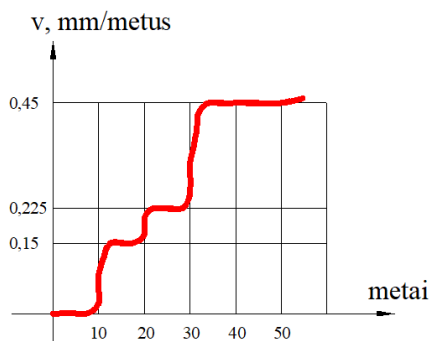
Naudojant kniedes tarp jungiamųjų metalų gali kauptis drėgmė, dėl kurios korozijos greitis labai padidėja. Korozijos produktų padidėjimas kniedytuose sujungimuose sudaro įtempius. Dėl šių įtempių kniedės trūksta. Jei konstrukcijų virinti negalima, rekomenduojama prieš kniedijant jas gruntuoti, glaistyti.

Geriau naudoti suvirintas konstrukcijas nei sujungtas kniedėmis. Suvirinant lakštus atsiranda papildomų įtempių koncentratorių, kuriuos taip pat privalo vertinti. Valcavimo būdu pagamintų sijų skerspjūvis neturi visų išvardytų trūkumų, tačiau jis tai pat yra veikiamas korozijos.

2. Korozijos įtakos tyrimo metodika

Teorinis korozijos greičio modelis buvo sukurtas atsižvelgiant į šiuolaikinių plieninių dangų atsparumą. Miltelinis dažymas užtikrina beveik idealų atsparumą eksploatacijos pradžioje, tačiau vėliau dėl įvairių veiksnių (užtrenkimo, įbrėžimo ir pan.) atsiradęs korozijos židinyms gali plisti. Modelyje daroma prielaida, kad pirmus dešimt metų korozijos nėra (t. y. greitis lygus nuliui), iki 20 metų greitis padidėja 1/3 nuo maksimalaus greičio, nuo 20 iki 30 metų – 1/2 nuo maksimalaus

greičio, po 30 metų modeliuojamas korozijos greitis pasieks 100 % nuo literatūroje aprašomo (Vislavičius, 2008) maksimalaus greičio. Tai iliustruoja greičio kitimo grafikas:



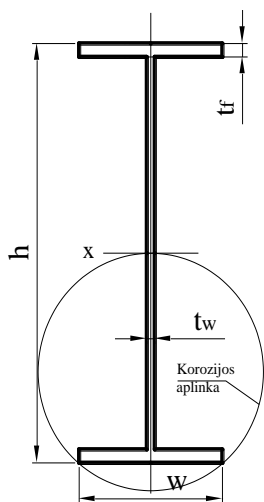
3 pav. Korozijos greičio kitimas per 50 metų
Šaltinis: sudaryta autorių

Be to, reikia vertinti ir metų ciklą. Žiemą dėl druskų tirpalo poveikio greitis didėja. Pavasario saulės spinduliai taip pat didina korozijos greitį.

Tačiau šiame tyrime metų ciklas vertinamas nebus, rinksimės vidutinį metų korozijos greitį.

3. Dvitėjinio skerspjūvio inercijos momento modelis

Modeliuojamas idealizuotas dvitėjis profilis, neatsižvelgiant į suapvalinimus tarp sienelės ir lentynų. Modelio kintamasis yra sienelės storis t_w .



4 pav. Dvitėjinio profilio pradinė schema
Šaltinis: sudaryta autorių

Pagal standartinių profilių DIN 1025-5:1994-03 ir Euronorm 19-57 geometrinių parametrų santykinės reikšmės pasirenkame kitas priklausomybes:

- aukštis $h = 50 \cdot t_w$;
- plotis $w = 18 \cdot t_w$;

- lentynos storis $t_f = 1,6 \cdot t_w$.

Matematiname modelyje aprašomas inercijos momentas prie x ašies pasirinkus bet kokį kintamąjį t_w ir iš karto gaunami visi skerspjūvio geometriniai parametrai, inercijos momentas x ašyje, kurį žymėsime I_x .

1 lentelė. Skerspjūvių geometriniai parametrai

t_w , mm	h , mm	w , mm	t_f , mm	I_x , mm ⁴
8	400	144	12,8	17320
9	450	162	14,4	27700

Šaltinis: sudaryta autorių

Inercijos momentas skaičiuojamas kaip sienelės ir dviejų lentynų inercijos momenų suma x ašies atžvilgiu.

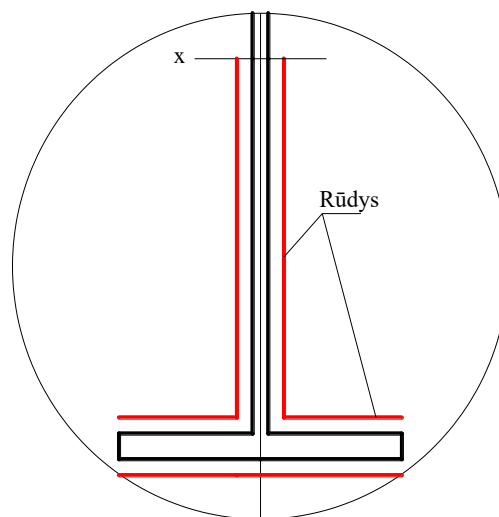
$$I_x = \sum_{i=1}^3 I_{xi} \quad (1)$$

čia: I_x – figūros inercijos momentas.

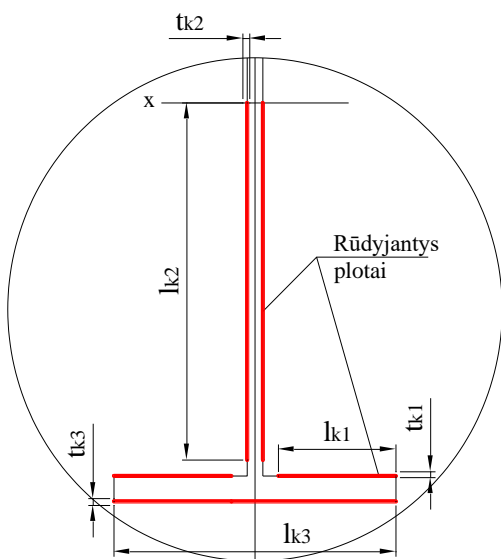
Kadangi skerspjūvio svorio centras yra žinomas, detalaus algoritmo čia nepateikiame.

4. Koroduojančių skerspjūvių modeliavimas

Pradiniame modeliavimo etape darome prielaidą, kad daugiausiai korozijos paveikta skerspjūvio apatinė dalis ir viršutinė lentynos dalis. Kadangi skerspjūvis simetriškas vertikaliai ašies atžvilgiu, modeliuoti pakanka tik vieną ketvirtį (5 pav.).



5 pav. Korozijos aplinka ir rūdžių vietos
Šaltinis: sudaryta autorių



6 pav. Skerspjūvio korozijos plotų modelis
Šaltinis: sudaryta autorių

Modeliuojamo eksperimento metu pasirenkame, kad korozijos rūdžių storis ties lentyna yra t_{k1} , ilgis l_{k1} ir rūdžių storis ties sienele t_{k2} , ilgis l_{k2} . Be to, didėja korozijos plotas skerspjūvio apačioje, storis t_{k3} , ilgis l_{k3} .

Šiuos dydžius modelyje laikysime kintamaisiais ir juos aprašysime kaip didėjančią funkciją. Nuo jų priklauso korozijos paveikto ploto dydis.

Taikant matematinį modelį aprašoma, kaip mažėja korozijos plotas bėgant laikui ir įtaka viso skerspjūvio pagrindiniams geometriniais parametrams – inercijos momentui ir skerspjūvio atsparumo momentui. Inercijos momentas jau bus skaičiuojamas pasikeitusios storio centro ašies atžvilgiu

$$I_x = \sum_{i=1}^3 I_{xi} - \sum_{k=1}^3 I_{xk}(t) \quad (2)$$

čia: $I_{xk}(t)$ – rūdžių ploto inercijos momentas kaip laiko funkcija

Algoritme yra vertinami dar trys papildomi plotai, kintantys bėgant laikui.

Analizuojamų dvitėjinių sijų, kurių sienelės storis 8,0 mm ir 9,0 mm, gauti rezultatai pateikti 2 ir 3 lentelėse: parodoma skerspjūvio ploto, inercijos momento ir atsparumo momento kaita.

2 lentelė. 8,0 mm sienelės storio skerspjūvio parametrai

Metai	A, cm ²	I _x , cm ⁴	W _x , cm ³
0	66,8	17320	866
10	66,8	17320	866
20	63,7	16070	755

30	62,2	15300	695
40	57,6	12270	496
50	50,8	2150	68

Šaltinis: sudaryta autorių

3 lentelė. 9,0 mm sienelės storio skerspjūvio parametrai

Metai	A, cm	I _x , cm ⁴	W _x , cm ³
0	84,6	27700	1230
10	84,6	27700	1230
20	81,9	25600	1093
30	79,4	24500	1020
40	74,2	20700	764
50	65,5	5880	174

Šaltinis: sudaryta autorių

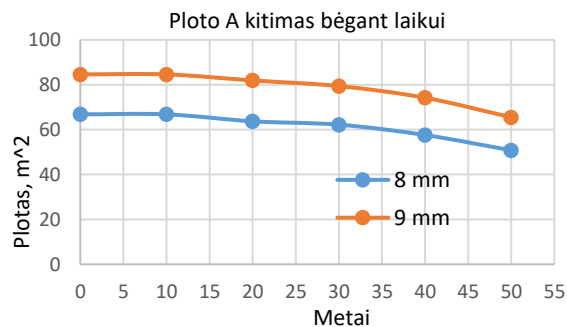
Be abejo, pagrindinis skerspjūvio geometrinis rodiklis yra inercijos momentas, tad pagrindinį dėmesį sutelksime į inercijos momento kitimą bėgant laikui.

Skerspjūvio atsparumo momentas yra išvestinis dydis, priklausantis nuo inercijos momento, tad jo kitimo funkcija bus panaši į inercijos momento kitimą.

5. Tyrimo rezultatai

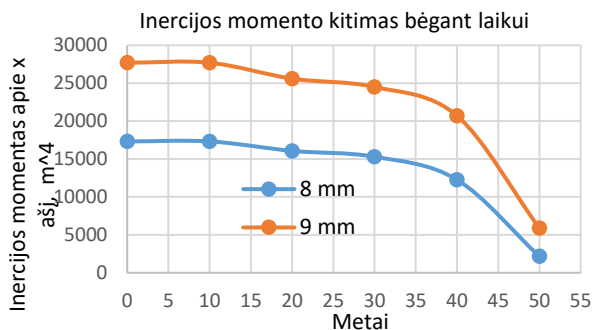
Skaičiuojamasis eksperimentinis tyrimas buvo atliktas pagal aprašytą matematinio modeliavimo metodiką ir rezultatai pateikti šiame skyriuje.

8,0 mm ir 9,00 mm sienelės storio skerspjūvio ploto kitimą iliustruoja grafikas 7 pav.



7 pav. Skerspjūvio ploto kitimo grafikas
Šaltinis: sudaryta autorių

8,0 mm ir 9,00 mm sienelės storio skerspjūvio inercijos momento kitimą iliustruoja grafikas 8 pav.



8 pav. Skerspjūvio inercijos momento kitimas bėgant laikui
Šaltinis: sudaryta autorių

Iš grafiko matyti, kad po 30 metų pradeda greitai mažėti skerspjūvio inercijos momentas.

Išvados

1. Ilgalaikė (50–70 metų) tilto korozija yra pagrindinis veiksnys tilto ar jo elementų stiprumo kriterijui aprašyti. Nuo korozijos greičio priklauso tilto laikančiųjų sijų geometriniai rodikliai ilgalaikėje perspektyvoje.
2. Korozijos greitis priklauso nuo aplinkos sąlygų, temperatūros, aplinkos cheminės sudėties ir gali kisti tiek per vienerius metus, tiek visos eksploatacijos laikotarpiu.
3. Nagrinėjamos dvitėjos sijos labiausiai koroduojantys paviršiai yra apatinėje dalyje dėl kelių priežiūros tarnybų barstomo smėlio ir druskos mišinio poveikio.
4. Koroduojantys paviršiai aprašomi kaip nuolat didėjantys rūdžių plotai, per 50 metų bendras plotas sumažėja 24 %.
5. Pagrindinis geometrinis rodiklis inercijos momentas per 20 metų sumažėja 7 %, po 30 metų – 12 %, po 40 metų – 25 %, po 50 metų – net 88 %.
6. Atlikus tyrimą nustatyta, kad siekiant sustabdyti korozijos židinius ypatingas dėmesys į tiltų elementus turi būti atkreiptas po 20 metų.

Literatūra

- Dupen, B. (2022). *Strength of Materials for Engineering Technology* (23rd ed).
- Hibbeler, R. (2011). *Mechanics of materials*. Prentice Hall.
- Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija (2022). *Lietuvos transporto infrastruktūros plėtros iki 2030 m. planas*. Prieiga per internetą: <[https://sumin.lrv.lt/uploads/sumin/documents/files/Vie%C5%A1inimui%2BLietuvos%2Btransporto%2Binfrastrukt%C5%ABros%2Bpl%C4%97tros%2Biki%2B2030%2Bm_%2Bplanas\(1\).pdf](https://sumin.lrv.lt/uploads/sumin/documents/files/Vie%C5%A1inimui%2BLietuvos%2Btransporto%2Binfrastrukt%C5%ABros%2Bpl%C4%97tros%2Biki%2B2030%2Bm_%2Bplanas(1).pdf)>.
- Marčiukaitis, G. (2013). *Technologinių veiksnių įtaka betono ir gelžbetonio elgsena*. doi: 10.3846/1465-S. Prieiga per internetą: <<https://ebooks.vilniustech.lt/product/technologini-veiksni-taka-betono-ir-gelbetonio-elgsenai>>.
- Vislavičius, K. (2008). *Medžiagų atsparumas*. Vilnius: Technika.
- Šulčius, A. (2006). *Metaly korozija ir sauga*. Kaunas: Technologija.

VARIATION OF THE BRIDGE GIRDER CROSS-SECTION GEOMETRY DUE TO LONG-TERM CORROSION

Jolanta Pileckienė, Jurijus Tretjakovas

Vilnius College of Technologies and Design

Summary. Prolonged corrosion of steel structures can lead to structural collapse. Bridges made of steel structures are among the most aggressively corroded. The girders of a bridge usually have a rational skew in length and cross-sectional shape. The cross-sectional shape of the bending beams is close I-beam; therefore, this paper deals with a two-jet computational model depending on one variable. The effect of corrosion is modeled as a loss of material in a long-term process, in terms of the corrosion intensity over one year and the intensity up to 50 years.

Key words: bridge, main beam, corrosion, corroding surface, I-beam, moment of inertia

TRANSLATION OF TECHNICAL TERMINOLOGY IN THE ESP COURSE

Svetlana Toropovienė

Vilnius College of Technologies and Design, Antakalnis st. 54, Vilnius

Abstract. The need for professional translation today manifests itself in all fields of life. Translation of technical sites allows specialists from all over the world to communicate with each other, exchanging their experience and professional knowledge. The paper deals with the translation features of scientific and technical texts as well as with difficulties encountered by the students of Vilnius College of Technologies and Design in ESP (English for Specific Purposes) lectures while translating texts from English to Lithuanian and from Lithuanian to English. A survey was designed to investigate the opinions of the students towards translation of English technical texts. The paper presents the study results. The analyses can be useful for students of technical field as well as teachers of professional foreign language.

Key Words: terminology, translation, features of terms, technical text.

Introduction

Nowadays the rate of exchange of scientific and technical information with other countries is increasing rapidly due to a great number of innovations and state-of-the-art machinery and equipment which have been applied in various industries. Beginning with the last two decades, translation was not popular with the language teaching community. The preference of grammar-translation method led to the situation that students were unable to speak fluently after having studied the language for a long time. For this reason, translation has been defined as incommunicative, boring, pointless, difficult, and irrelevant. (Duff, 1994). Translation skills of technical documentation, manuals for industrial and household equipment are necessary for senior students of engineering specialties, doing practical training in various enterprises and institutions (Yu et al., 2016; Tarasova, 2015).

Currently, the problem of translating technical texts has become relevant due to the increasing volume of translations and the difficulties that arise during translation. Recently there has been a revival of interest to translation due to the increased migration, globalization, developments in international, economic and political relations, and the expansion of the mass media and technology. (Stepanovienė, 2014). The study of the specifics of the source text is extremely necessary, since without taking it into account, an adequate translation of a number of sources is simply impossible. The professional translation shall be performed by highly qualified personnel, commanding a foreign language, professional knowledge, specific terminology, being able to adequately and competently express their thoughts in the target language (Altarabin, 2019). The quality and result of translation are determined by the features of the source text (authentic text), therefore the relationship between text and translation is one of the main problems of translation theory, which is addressed by many researchers while dealing with special aspects.

The relevance of the study is due to the fact that in the ESP course which is taught to the first-year students of engineering field a lot of time is devoted to a professionally oriented material, including technical texts translation and the study of technical terminology.

The technical text is defined as the object of study. The subject of the study is terminological vocabulary.

The aim of the study is to identify the features of the translation of technical terminology from English into Lithuanian.

The objectives are the following:

- to define the concept of "term" and identify its features;
- to study the ways of translating technical terms;
- to classify technical terminology.
- to conduct students' survey in order to find out their opinion to trans linguistic method applied during the ESP course.

In this paper, a study of the features of the translation of English technical terminology into Lithuanian was made: the process of the appearance of terms in England was considered; the classification of technical terminology was carried out; ways of translating technical terms are investigated.

Research methods. In the course of the study, in accordance with its aim and objectives, both empirical and theoretical methods were used: analysis of special literature; conversation; observation; survey (questionnaire); evaluation.

Theoretical significance of the study. The essence of English terminology is revealed, its functions are defined, linguistic features and sources of formation of English technical terminology are formulated.

1. What is translation?

The English word translation has been derived from the Latin word translation, which itself comes from trans- and latum—together meaning "a carrying across" or "a bringing across" (Simpson and Weiner, 1989). In other words, it is the business of carrying across a message/written content from one text to another, from one person to another and from one language (source language) to a different language (target language). Roman Jakobson, a leading linguist and noted expert in the subject of translation, defined translation as "the interpretation of verbal signs by means of some other language".

Simpson and Weiner (1989) define translation as: 1. the process of turning from one language into another; 2. the rendering of something in another medium or form. Hornby (2010) defines the verb translate as: 1. to express the meaning of speech or writing in a different language. 2. to be

changed from one language into another. As Numan and Al-Musawi (2014) state translation is a cognitive activity that assists students in learning new phrases and expressions in the target language, and using them to communicate meaning to others, on the one hand, and a problem-solving exercise, in which the students develop their capabilities in data analysis and processing, on the other hand. According to Chung (2004) terms in any branch of science, technology and production form their own systems that have conceptual connections with professional knowledge and express these connections by means of the language. For this reason, equivalent translation of terminology is of great significance in the translation of scientific and technical texts (Hanks, 1984). Enhancing English skills, particularly reading, writing, listening, and speaking: Bagheri and Fazel (2011) found that translation assists students in acquiring writing, facilitates their comprehension, helps them develop and express ideas in another language, and increases their motivation to learn English. Students also tend to make more gains in learning vocabulary, phrases, idioms, and grammar.

Generally speaking, translation can be defined as the process of transferring, reproducing, replacing, or interpreting source text (ST) message, material, text, or meaning into another language focusing on meaning and style respectively (Altarabin, 2019)

The practical significance of the study lies in deepening the understanding of the reasons for the spread of English technical terminology, which contributes to the further adequate perception of borrowed English technical terminology and the development of skills in translating it from English into Lithuanian.

2. Features of scientific and technical text

From the point of view of linguistics, the characteristic features of scientific and technical literature extend to its style, grammar and vocabulary. The main task of scientific and technical translation is the extremely clear and accurate communication of the information to the reader. This is achieved by a logically substantiated presentation of the factual material, without explicitly expressed emotionality. The style of scientific and technical literature can be defined as formal-logical. Scientific and technical texts reveal a number of grammatical features.

The most typical lexical feature of scientific and technical literature is the saturation of the text with terms and terminological phrases, as well as the presence of lexical constructions and abbreviations. In such literature, a special place is occupied by texts that are focused not so much on native speakers of a certain language, but on representatives of a certain professional group with certain extralinguistic knowledge.

The main stylistic feature of a scientific and technical text is an accurate and clear presentation of the material with an almost complete absence of those expressive elements that give speech emotional richness. The main emphasis is focused on the logical, but not the emotional-sensual side of the language.

The author of this article seeks to exclude the possibility of arbitrary interpretation of the essence of the subject being

interpreted, as a result of which in the scientific literature there are almost no such expressive means as metaphors, metonymy and other stylistic figures that are widely used in fiction to give more life depth to the speech, figurative character.

Although, the colloquial language is rich in various expressive means, the scientific and technical text still includes a certain number of phraseological combinations of a technical nature that are more or less neutral in colour, for example:

In full blast = full thrust

The wire is alive = live wire

The wire is dead = wire disconnected

From the point of view of the vocabulary, the main feature of the text lies in the extreme saturation of the special terminology characteristic of this branch of knowledge.

We call a term an emotionally neutral word (phrase) that conveys the name of a precisely defined concept related to a particular field of science or technology.

Terminological vocabulary makes it possible to most accurately, clearly and economically present the content of a given subject and provides a correct understanding of the essence of the issue being treated.

In the specialized literature, the terms carry the main semantic load, occupying the main place among other general literary and functional words.

3. Scientific and technical terminology

Technical translation is a translation used to exchange specific scientific and technical information between people who speak different languages. A term is a word or phrase that may have a different meaning from everyday life, depending on the field of science and technology in which it is used. The bulk of scientific and technical terminology continues to remain outside the general literary language and is understandable only to a specialist in this branch of knowledge.

In colloquial speech, words, as a rule, are polysemantic, i.e., they convey a whole range of meanings, which can sometimes diverge quite widely. Let's take for example the sum of the meanings of the word table, which are concentrated around the core concept of "plane": table, tablet, board, plate, report card, plank, plateau. Along with this, the word table also has a number of figurative meanings that retain a well-known, albeit more distant, connection with the core concept:

company at the table

food (what is served on the table)

inscription on the plate

Such ambiguity of words in the general literary language is a factor indicating the richness of language visual means. Lexical ambiguity gives speech flexibility and liveliness and allows you to express the various shades of thought.

The situation is different in scientific and technical language; where the main requirement is the utmost accuracy of the expression of thought, which does not allow even slight possibility of various interpretations. Therefore, the main requirement for the term is unambiguity, i.e., the

presence of only one once forever established value. In fact, not all terms meet this requirement even within the same professional area, for example:

Engine - machine, engine, locomotive

Oil - oil, lubricant, petroleum

This circumstance, of course, presents a certain difficulty for the exact understanding of the text and complicates the work of the translator.

What are the origins of English scientific and technical terminology? The largest group is made up of terms borrowed from foreign languages, or artificially created by scientists on the basis of, mainly, Latin and Greek languages, as science and technology develop and new concepts appear. So, for example, in 1830, the name of a new inert substance paraffin appeared from the Latin "parum affinis", that is, little in contact (with other substances). In 1850, Liebig created a new compound by oxidizing alcohol. He called it aldehyde, combining the first parts of the Latin words: alcohol dehydrogenatum. Sometimes there were also hybrid formations like haemoglobin from the Greek "haima" blood and the Latin "globus" ball.

Especially many terms appeared in England in the 18th and 19th centuries during the period of rapid development of sciences, while some of the terms from the language of scientists began to penetrate into the general literary language and became public property. These words include: dynamo, barograph, ozone, centigrade, cereal, gyroscope, sodium, potassium, etc.

In the 20th century, such neoplasms arose as: penicillin, hormone, isotope, photon, positron, radar, biochemistry, etc. These terms quickly became generally understood due to the close connection of the latest scientific discoveries with everyday life.

The second largest group of terms is general literary English words used in a special sense. These words include, for example:

Jacket: jacket and at the same time - casing

Jar: pitcher and condenser

to load: load and charge

At the same time, there is the use of one word in different special meanings, depending on the branch of knowledge; the word pocket, for example, has the following special meanings:

air pocket (in aviation)

environment (in military affairs)

dead zone (in radio)

deposit nest (in geology)

cable channel (in electrical engineering)

Structurally, all terms can be classified as follows:

Simple terms like: oxygen, resistance, velocity.

Complex terms formed by compounding. The constituent parts of such a term are often combined with a connecting vowel:

gas + meter = gasometer

In this case, sometimes components are shortened:

turbine + generator = turbogenerator

ampere + meter = ammeter

Speed + meter = speedometer

Sun + Visor = sun visor

Gas + Line = gasoline

Phrases which components are in an attributive relationship, i.e., one of the components determines the other:

direct current – (e.t.ž. nuolatinė srovė)

short circuit – (e.t.ž. trumpasis jungimas)

blown fuse – (e.t.ž. tirpusis saugiklis)

flat tire – nuleista padanga

barium peroxide – bario peroksidas

Often the attributive element is itself expressed by a phrase, which is a semantic unity. This unity is orthographically often expressed by writing with a hyphen:

State-of-art equipment – naujausia įranga

doubling-over test – lanksto testavimas

Abbreviation, i.e., letter abbreviations of phrases:

e.m.f. = electromotive force

c.p.s. = cycles per second

h.f. = high frequency;

r.f. – ratio frequency

i.c = internal combustion

r.p.m. = revolutions per minute

Part of the phrase may be abbreviated:

D.C. amplifier = direct current amplifier –(e.t.ž. nuolatinės srovės stiprintuvas)

A.C circuit element – alternating current circuit element – (e.t.ž. kintamosios srovės grandinės elementas)

Syllabic abbreviations that have become independent words: loran (long range navigation) – (e.t.ž. didelio nuotolio navigacija, tolmoji navigacija)

radar (radio detection and ranging) - radiolokacija

Letter terms in which the attributive role is assigned to a certain letter due to its graphic form:

T – antenna – T-formos antena

V – belt – V-formos dirželis

Sometimes this letter is only a conditional, unmotivated symbol:

X-rays x-rays (rentgenas).

When translating terms, we may encounter the following points:

a) Some terms of an international character are transmitted by transliteration and do not need to be translated:

antenna – antenna

feeder – fideris

blooming – blumingas

b) Some terms have direct correspondences in Lithuanian and are transmitted by the corresponding equivalents:

hydrogen – vandenilis

voltage – įtampa

c) A well-known part of the terms is calque during translation, i.e., it is transmitted using Lithuanian words and expressions that literally reproduce the words and expressions of the English language:

le-needle instrument – vienos rodyklės instrumentas

superpower system – didelės galios sistema

d) It often happens that the dictionary does not give a direct correspondence to the English term. In this case, the translator must resort to a descriptive translation that accurately conveys the meaning of the foreign word in this context:

Video-gain – (e.t.ž. vaizdo signalo stiprinimas);

Combustion furnace – (e.t.ž. degimo krosnis);

wall beam – (e.t.ž. sienos sija).

4. Features of the translation of scientific and technical text

While the main difficulty in translating fiction lies in the need to interpret the author's intentions, i.e., in the transfer of not only external facts, but also in the preservation of the psychological and emotional elements inherent in the text, the task facing the translator of a scientific and technical text devoid of emotional colouring turns out to be simpler – to accurately convey the author's thought, only if possible, preserving the features of his style.

In order to correctly understand a scientific and technical text, it is necessary, as mentioned earlier, to have a good knowledge of this subject and the English terminology associated with it. In addition, in order to correctly convey the content of the text in Lithuanian, you need to know the relevant Lithuanian terminology and have a good command of the Lithuanian literary language.

Translation using a dictionary of unfamiliar single-valued terms such as oxygen, ionosphere, is not difficult. The situation is different when several Lithuanian terms correspond to one English term, for example: switch – jungiklis, perjungiklis, komutatorius. In this case, the conscious choice of an analogue can only be dictated by a good knowledge of the subject. The main features of the Lithuanian scientific and technical style are strict clarity of presentation, clarity of definitions, conciseness of forms.

When translating an English text, the translator must fully and accurately convey the author's thought, dressing it in a form inherent in the Lithuanian scientific and technical style and by no means transferring the specific features of the English original into the Lithuanian text. To illustrate, let us dwell on some stylistic and grammatical features of the English text, which are alien to the style of Lithuanian scientific and technical literature:

a) The English text is dominated by personal forms of the verb, while the Lithuanian scientific style is more characterized by impersonal or indefinite personal turns, for example:

You might ask why engineers have generally chosen to supply us with a.c. rather than d.c. for our household needs. Galite tikrai svartyti kodėl inžinieriai paprastai parenka tiekti mūsų buities reikmėms netiesioginės srovės šaltinį, o ne tiesioginės

We know the primary coil in the transformer to have more turns than the secondary one. Mes žinome, kad transformatoriaus pirminė ritė turi daugiau apvijų nei antrinė.

b) In English texts of a descriptive nature, the future tense is often used to express an ordinary action.

Guided by the context, such sentences should be translated not in the future, but in the present tense, sometimes with a modal connotation:

The zinc in the dry cell accumulates a great many excess electrons which will move to the carbon electrode. Cinkas sausoje baterijoje sukaupia daug elektronų pertekliaus, kuris patenka į anglies elektrodą.

Fig. 10 gives a drawing of a valve; the filament will be seen in the centre. Dešimtame paveiksliuke pateiktas vožtuvo brėžinys; kaitinimo siūlas yra matomas centre.

c) In English scientific and technical texts, passive phrases are especially common, while in Lithuanian the passive voice is used much less frequently.

When translating, therefore, we often have to resort to replacing passive constructions with other means of expression that are more characteristic of the Lithuanian language.

The next sentence can be translated in few ways:

This question was discussed at the conference:

1. Šis klausimas buvo aptartas konferencijos metu.

2. Šį klausimą aptarė konferencijos metu.

d) The authors of English scientific and technical literature widely use various abbreviations that are completely uncommon in Lithuanian, for example:

d.c. (direct current) – (e.t.ž. nuolatinė srovė);

a.c. (alternating current) – (e.t.ž. kintamoji srovė);

s.a. (sectional area) – (e.t.ž. skerspjūvio plotas);

b.p. (boiling point) – (e.t.ž. virimo taškas)

Such abbreviations in the translation must be encoded and given a full designation.

5. Survey Results

Every year there are more and more borrowed technical terms from the English language in our lives. This fact is confirmed by the results of a survey conducted among students of our college. 98 full-time first year students were interviewed.

The first questionnaire included the following questions:

1. Do you additionally study the peculiarities of translating technical terminology from English into Lithuanian?

2. How many hours a week do you use the Internet for translating?

3. Do you like it when English technical terminology is used in the titles of industrial goods and products? (Answers: more yes than no; I don't care; no more than yes.)

From the answers to the first question, it became clear that the number of hours spent on studying the peculiarities of translating technical terminology from English into Lithuanian is growing from the beginning of a course to the end. This is due to the fact that in the ESP course a lot of time is devoted to professional material and its analyses, including technical texts translation and the study of technical terminology.

From the answers to the second question, it was concluded that the Internet has already firmly entered our daily lives. And it, like no other phenomenon, influenced the spread of English technical terminology. The number of hours spent on the Internet by our students is as follows: start of the course – approximately 2 hours; end of the course – about 4,5 hours.

From the answers to the third question, it was concluded that students expressed a positive or indifferent attitude to the fact that English technical terminology was used in the titles of industrial goods and products. The negative attitude towards English-language goods is minimal.

The second questionnaire included the following questions:

1. Do you use English technical terminology in everyday speech? Our survey gave the following results: 75% – often; 15% – rarely; 10% – never.

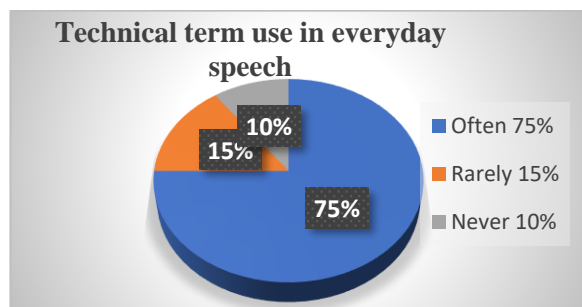


Fig 1. Use of English technical terminology in everyday speech

2. Does the abundance of English technical terminology in modern Lithuanian annoy you? The respondents answered as follows: it's very annoying – 8%, annoys a little – 10%, not at all – 82%.

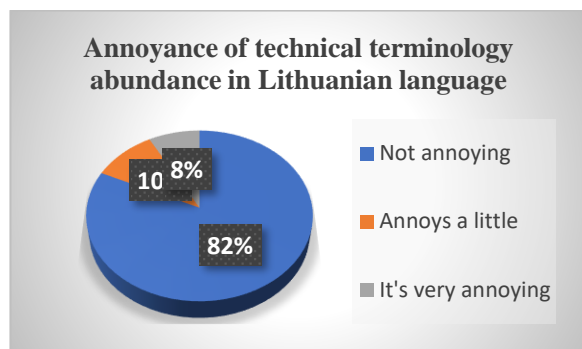


Fig 2. Annoyance of technical terminology use in Lithuanian language

3. Do borrowings from English technical terminology enrich our language, make it richer and better, or do they impoverish the Lithuanian language, distorting it?

The answers to the third question of the questionnaire were distributed in the following way. 87% of students positively assessed the role of English technical terminology in the Lithuanian language, 13% of them expressed a negative opinion.

It can be seen from the questionnaire that students use English technical terminology in everyday speech quite often. The abundance of English borrowings from English technical terminology in modern Lithuanian does not annoy students. Most students positively assessed the role of English technical terminology in enriching the Lithuanian language.

Conclusions

1. Technical texts reveal a number of features. The most typical lexical feature of technical literature is the saturation of the text with terms and terminological phrases, as well as the presence of lexical constructions and abbreviations.
2. In scientific and technical literature, a special place is occupied by texts that are focused not so much on native

speakers of a certain language, but on representatives of a certain professional group with certain extralinguistic knowledge.

3. Technical and scientific texts are characterized by the fact that the knowledge of the subject is more important in them than the knowledge of the language, which, in turn, should first of all extend to the knowledge of technical terms.
4. Students' survey revealed positive point of view to the use of technical terms and trans linguistic approach applied during ESP course. Areas of technical industry are quite closely related to Technical English Language, and in particular to technical translation. This fact has led to the notion that students of technical universities and colleges must have fairly good level of proficiency both in native and foreign language, which in turn contributes to success in their future professional activities.

References

- Bagheri, M., Fazel, I. (2011). EFL beliefs about translation and its use as a strategy in writing. *Reading Matrix: An International Online Journal*, 11 (3), 292–301.
- Chung, T M. (2004). *Nation I S Identifying Technical Vocabulary* (3), 61.
- Matukihn, D. L., Kachalov, N. A., Fedorenko, R. M. (2017). Peculiarities of teaching translation of scientific and technical papers to engineering students. *MATEC Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179201041>
- Duff, A. (1994). *Translation: Resource Boos for Teachers*. Edited by A. Maley. Oxford: Oxford University Press, 38.
- Hanks, P. (1984). *Collins dictionary of the English language*. London: Collins, (6), 138.
- Hornby, A.S. (2010). *Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English*. 8th Edition, Oxford University Press, Oxford
- Simpson, J.A. and Weiner, E S C. (1989). *Oxford English Dictionary*. Oxford University Press, Oxford.
- Altarabin, M. (2019). *Basics of Translation: A Textbook for Arab University Students*. Cambridge Scholars Publishing Lady Stephenson Library, Newcastle upon Tyne, NE6 2PA, UK, 2.
- Numan M. Al-Musawi (2014). Comprehensive psychology. Volume 3. January 1. <http://osou.ac.in/eresources/CIT-01-Unit-01-Meaning,%20Nature%20and%20Scope%20of%20Translation.pdf>
- Stepanovienė, A. (2014). Public Security and Public Order (11). Scientific articles. Mykolas Riomeris University, p.198.
- Tarasova, E.S., (2015). Mediterranean Journal of Social Sciences. MCSER Publishing, Rome Italy, Vol.6, No 3 S1, p. 350.
- Lashkevich, Yu.I., Grozdova, M.D. (2016). *On the translation of scientific and technical texts*. Practica: Moscow.
- Žebrauskas, S. (2012). *Aiškinamasis elektrotechnikos terminų žodynas*. Kauno Technologijos Universitetas: Technologija.

TECHNIKOS TERMINŲ VERTIMAS ESP DĖSTOMO KURSO METU

Svetlana Toropovienė

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

Santrauka. Profesionalaus vertimo poreikis šiandien apima visas gyvenimo sritis. Svetainių automatinis vertimas leidžia

specialistams iš viso pasaulio laisvai bendrauti tarpusavyje, dalytis patirtimi ir žiniomis. Straipsnyje nagrinėjami technikos terminų vertimo ypatumai bei sunkumai, su kuriais susiduria Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos studentai, ESP (anglų kalbos kurso specialiesiems poreikiams) kurso metu verčiantys technikos terminus iš anglų į lietuvių ir iš lietuvių į anglų kalbas. Siekiant

išsiaiškinti studentų nuomonę apie technikos terminų vertimą, buvo atlikta apklausa. Straipsnyje pateikti tyrimo rezultatai, naudingi tiek techninės krypties studijų studentams, tiek profesinės užsienio kalbos dėstytojams.

Reikšminiai žodžiai: terminologija, vertimas, terminų ypatumai, techninis tekstas.

SRIEGINĖS JUNGTIOS VIJŲ KERPAMOSIOS JĖGOS KITIMO ANALIZĖ KEIČIANT VIJOS PROFILIO KAMPĄ

Jelena Selivonec^{1,2}, Jurijus Tretjakovas^{1,2}

¹ *Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius*

² *Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius*

Anotacija. Daug mokslininkų nagrinėja srieginių jungčių deformacijas ir įtempius, nes nuo jų patikimumo ir stiprumo priklauso konstrukcijų, kur naudojamos srieginės jungtys, saugumas ir ilgaamžiškumas. Be kitų veiksnių, srieginės detalės gali suirti dėl varžto ar veržlės vijų kirpimo. Darbe sukurtas varžto ir veržlės vijų kirpimo, atsižvelgiant į sriegio vijos profilio kampą, skaičiuojamasis modelis, darant prielaidą, kad varžto ir veržlės vijos yra idealiai pagamintos. Atlikus skaičiavimus nustatyta skirtingų matmenų varžtų ir veržlių, turinčių metrinį sriegį, vijų kirpimo jėga. Parodyta, kaip kinta maksimalūs įtempiai sriegyje, keičiant vijos profilio kampą nuo 60 iki 90 laipsnių.

Reikšminiai žodžiai: sriegis, vijos profilio kampas, vijos kirpimo jėga.

Įvadas

Varžtinės jungtys su veržlėmis – dažnas dviejų ar daugiau objektų ar detalių tvirtinimo būdas. Tokios jungtys plačiai naudojamos įvairiose srityse, pavyzdžiui, statyboje, automobilių, mašinų gamybos ir kosmoso pramonėje.

Vienas iš pagrindinių varžtų ir veržlių jungčių privalumų yra tvirtumas ir ilgaamžiškumas. Tokios jungtys gali atlaikyti dideles apkrovas ir vibracijas. Be to, jas paprasta sumontuoti ir nuimti, todėl lengva atlikti techninę priežiūrą ir remontą.

Varžtų ir veržlių jungtys būna įvairių dydžių, formų ir yra pagamintos iš skirtingų medžiagų. Varžtinės jungties su veržle pasirinkimas priklauso nuo konkrečių reikalavimų, pavyzdžiui, apkrovos, atsparumo korozijai, temperatūros ir t. t.

Varžtinės jungtys su veržlėmis daugelyje pramonės šakų yra esminis komponentas, užtikrinantis patikimą ir tvirtą dviejų ar daugiau detalių sujungimo būdą.

Sriegio profilio kampas – tai kampas tarp sriegio vijos, varžto ar veržlės.

Labiausiai paplitęs yra 60 laipsnių sriegio profilio kampas, dar vadinamas metrinio profiliu. Šis profilis dažniausiai naudojamas Europoje, Azijoje ir JAV.

Yra kitų sriegio profilio kampų, pavyzdžiui, „Acme“ profilis (jo kampas – 29 laipsniai, šis profilis naudojamas sraigčių gamybai), „Whitworth“ profilis (jo kampas yra 55 laipsniai, šis profilis naudojamas britų mašinų gamyboje).

Sriegio profilio kampas yra svarbus, jis turi įtakos srieginio tvirtinimo detalės tvirtumui ir ilgaamžiškumui. Didesnis sriegio profilio kampas užtikrina geresnį sriegio įsriegimą ir tvirtesnę jungtį, tačiau reikia didesnio sukimo momento tvirtinimo detalei priveržti. Mažesniais sriegio profilio kampais pakanka mažesnio sukimo momento, tačiau jis ne toks tvirtas.

Galima teigti, kad sriegio profilio kampas labai svarbus srieginių tvirtinimo detalių elementas, turintis įtakos jų žingsniui, stiprumui ir sukimo momentui. Skirtingose pramonės šakose įvairiuose regionuose naudojami kitokie sriegio profilio kampai, atsižvelgiant į konkrečius poreikius ir standartus.

Varžto ir veržlės jungtyje vijas veikia šlyties jėga, lygiagreti sriegio paviršiumi. Sriegis – svarbiausia detalė, atlaikanti šią šlyties jėgą.

Sriegio žingsnis taip pat turi įtakos jungties atsparumui šlyčiai. Didesnis žingsnis suteikia didesnę atsparumą šlyties jėgai, bet reikia didesnio sukimo momento jungčiai priveržti. Priešingai, mažesniais žingsniais reikia mažesnio sukimo momento, bet jis ne toks atsparus šlyties jėgai.

Norint užtikrinti, kad varžto ir veržlės jungtis atlaikytų šlyties jėgą, svarbu parinkti tinkamo dydžio, žingsnio ir medžiagos sriegį. Jungtį taip pat reikia priveržti reikiamu sukimo momentu, kad būtų pasiekta norima prispaudimo jėga.

Varžto ir veržlės jungties sriegis yra labai svarbus, kad jungtis būtų atspari šlyties jėgai. Jungties šlyties jėgą lemia sriegio skerspjuvio plotas ir žingsnis (nuo jų priklauso vijos kerpamasis plotas), taip pat varžto medžiagos savybės.

Tyrimo objektas – idealios geometrijos srieginės jungties varžto ir veržlės vijų šlytis.

Darbo tikslas – nustatyti varžto ir veržlės šlytimi deformuojamų vijų kirpimo jėgą ir normalinius įtempius, keičiant vijos profilio kampą.

Šiam tikslui pasiekti buvo iškelti tokie uždaviniai:

Sukurti varžto ir veržlės vijų skaičiuojamuosius modelius.

Palyginti varžto ir veržlės vijų kirpimo jėgas.

Palyginti varžto ir veržlės įtempius srieginėje dalyje.

Tyrimo metodika. Varžto ir veržlės sriegio vijų kirpimo jėgos ir normalinių įtempių skaičiavimo metodika aprašoma analitiniu būdu (Heiwood, 2013; Биргер и Иосилевич, 1990).

1. Srieginių jungčių tyrimų apžvalga

Srieginės jungtys plačiai naudojamos pramonėje ir statyboje. Jų patikimumas ir stiprumas svarbus užtikrinant konstrukcijų saugumą ir ilgaamžiškumą. Siekiant gerinti tokių jungčių kokybę, kurti naujas sujungimo technologijas, taip pat tirti jungčių suirimo mechanizmus eksploatacijos sąlygomis atliekama daug mokslinių tyrimų. Šie tyrimai turi praktinę

reikšmę gerinant techninių sistemų, kuriose naudojamos srieginės jungtys, saugą ir efektyvumą.

Srieginės detalės gali būti veikiamos skirtingai. Darbe (Fransplass ir kiti, 2015) aptariamas eksperimentinis ir skaitinis srieginių plieninių tvirtinimo detalių, veikiamų įtempimo ir šlyties apkrovos, kai apkrovos greitis didelis, tyrimas, kuris suteikia įžvalgų apie poveikį srieginėms plieninėms tvirtinimo detalėms skirtingomis apkrovos sąlygomis. Bandymai buvo atliekami esant skirtingiems apkrovos kampams. Darbe (Amir ir kiti, 2023) nagrinėjama vijų geometrijos įtaka įtempių bangoms, sklindančioms per vijas, esant ekstremalioms dinaminėms apkrovoms. Tyrimas atliktas taikant eksperimentinius ir skaitinio modeliavimo metodus, kai iš plieno lydinių gaminami nevienodo ilgio, skirtingo žingsnio ir dantukų sriegiai. Pateikta vertingų įžvalgų, kaip projektuoti konstrukcijų, kurias veikia ekstremalios dinaminės apkrovos, sriegines jungtis. Straipsnyje (Qing ir kiti, 2022) siūloma nauja surenkamųjų betoninių kolonų sistema, kurioje naudojama srieginė jungtis ir tvirtinimas varžtais, kad būtų užtikrintas išilginis armatūros vientisumas.

Daug srieginių detalių tyrimų atliekama baigtinių elementų metodu. Straipsnyje (Aziz ir Lip, 2019), atlikus laboratorinius bandymus ir baigtinių elementų analizę, nagrinėjama varžtų sriegių įtaka pradiniam ir galutiniam dvigubos skersinės slinkties varžtinių jungčių standumui. Siūlomos naujos koto ir srieginių varžtinių jungčių standumo formulės, lyginamos su Eurokodo nuostata, pagrįsta ASTM apibrėžtimi. Autorių modeliavimo metodas gerokai pagerina nepriklausomų tyrėjų išbandytų varžtinių jungčių modeliavimo rezultatus.

2. Sriegio vijos apkrovos modelis

Analitinis metodas pradiniam etape yra tinkamas bet kokiai fizikinei problemai aprašyti, modeliuoti ir analizuoti. Turint analitinį sprendinį, galima testuoti skaitinio modelio kokybę ir koreliuoti jį su natūriniu eksperimentu.

Nagrinsime suveržtą jungtį, veikiamą išilginės išorinės jėgos F . Šis atvejis yra dažniausiai taikomas siekiant nustatyti minimalų varžto skersmenį arba rasti didžiausią leistiną jėgą (1 pav. a).

Aprašytas modelis neįvertina sriegio vijos profilio kampo. Kuriant vijos su skirtingu profilio kampu deformavimo modelį daroma prielaida, kad:

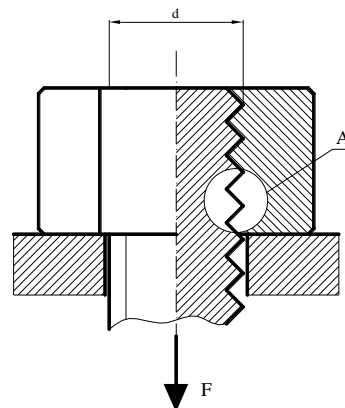
- Varžto ir veržlės sriegio vijos liečiasi visu kontaktiniu paviršiumi (1 pav. b). Kitaip sakant, varžto ir veržlės geometrija yra ideali, ir nuokrypių vertinti nereikia.
- Apkrova nuo varžto veržlei perduodama kontaktiniame paviršiuje kaip tolydžiai kintančio intensyvumo funkcija $q(z)$.
- Žingsnis P yra pastovus dydis d skersmens varžtui ir, kintant profilio kampui α , nekinta.

Suminė apkrova skaičiuojama kaip integralas (Hibbeler, 2011):

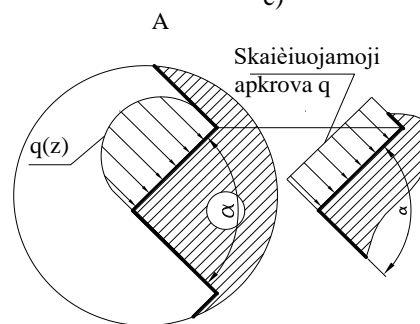
$$F = \int_0^l q(z) dz \quad (1)$$

čia: $q(z)$ – apkrovos varžto ir veržlės kontaktiniame paviršiuje intensyvumas.

a)



b)



Skaičiuojamoji apkrova q

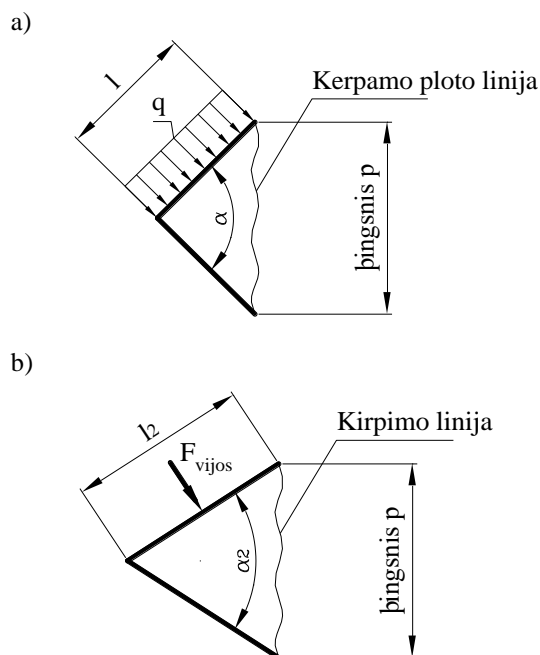
1 pav. Sreiginio sujungimo apkrovos schema (a) ir vijos apkrovos modeliai: b) funkcinis; c) skaičiuojamasis
Šaltinis: sudaryta autorių

Tačiau skaičiuojamojo modelio pradiniam etape naudosime paprastą skaičiuojamąją apkrovą – tolygiai išskirstytą krūvį q (1 pav. c), tuomet integralas paprastesnis ir krūvis nesunkiai transformuojamas į viją veikiančią jėgą F_{vijos} (2 pav. a):

$$F = \int_0^l q dz = F_{vijos} \quad (2)$$

čia: F_{vijos} – viją veikianči jėga, N.

Šios trys prielaidos yra iliustruotos 2 a, b pav. parodytame srieginio sujungimo vienos vijos fragmente. Be to, daroma prielaida, kad apkrova pasiskirsto visame ilgyje l (2 pav. b).



2 pav. Vijos skaičiuojamosios apkrovos suminė jėga esant skirtingiems kampams
Šaltinis: sudaryta autorių

3. Kirpimo jėgos ir maksimalių sriegio įtempių skaičiavimas keičiant vijos profilio kampą

Sriegio vijos kirpimo jėga skaičiuojama pagal 3 ir 4 formules (Биргер ir Иосилевич, 1990). Varžto sriegio:

$$F_{bolt} = \pi \cdot d \cdot k_0 \cdot H \cdot k_m \cdot \tau_{adm,s} \quad (3)$$

Veržlės sriegio:

$$F_{nut} = \pi \cdot d_v \cdot k_0 \cdot H \cdot k_m \cdot \tau_{adm,s} \quad (4)$$

čia: F_{bolt} – varžto vijos kirpimo jėga, N; F_{nut} – veržlės vijos kirpimo jėga, N; H – veržlės aukštis, mm; $\tau_{adm,s}$ – veržlės ir varžto medžiagos leistinas kirpimo įtempis, MPa; k_m – koeficientas, kuriuo įvertinamas sriegio vijų deformacijų kitimas susidarius plastinėms deformacijoms vijose ($k_m=0,57$); k_0 – varžto ir veržlės sriegio pilnumo koeficientas (metrinio sriegio $k_0=0,87$); d – varžto skersmuo ties vijų viršūnėmis, mm; d_v – veržlės skersmuo ties vijų įdubomis, mm.

Maksimalūs įtempiai sriegyje gali būti apskaičiuojami pagal Heywoodo pasiūlytą formulę (Heywood, 2013):

$$\sigma = \sigma_a + \frac{\sigma_m}{1 + c \cdot \frac{\sigma_a}{\sigma_m}} \quad (5)$$

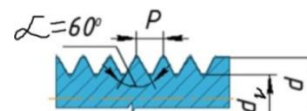
čia: c – koeficientas vijos profilio kampui įvertinti; σ_a – maksimalus įtempis sriegio vijos įdubos viduriniame pjūvyje tik nuo ašinės jėgos, MPa; σ_m – maksimalus įtempis tik nuo vietinės vijos apkrovos, MPa.

Koeficientas vijos profilio kampui įvertinti nustatomas taikant tokią empirinę išraišką:

$$c = \left(\frac{60 - \frac{\alpha}{2}}{44} \right)^2 \quad (6)$$

čia: $\alpha/2$ – pusė sriegio vijos profilio kampo laipsniais, °.

Standartinio metrinio sriegio vijos profilio kampas lygus 60 laipsnių (3 pav.). Bet gaminami ir sriegiai, kurių vijos profilio kampas lygus 45, 75 ir 90 laipsnių.



3 pav. Sriegio vijos profilis
Šaltinis: sudaryta autorių

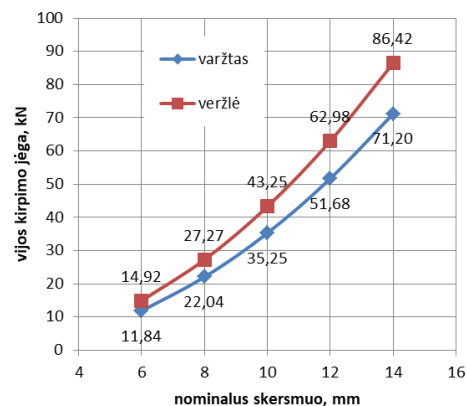
Maksimalus vietinės vijos apkrovos įtempis priklauso nuo varžto ar veržlės viją kerpančios jėgos, kuri nustatoma pagal (3) arba (4) išraiškas, sriegio žingsnis bei vija apskaičiuojama taip:

$$\sigma_m = k_t \cdot \frac{F_{bolt \text{ or } nut}}{P} \quad (7)$$

čia: k_t – koeficientas varžto ir veržlės vijos geometrijai įvertinti ($k_t=1,35$); P – sriegio žingsnis, mm.

4. Skaičiavimo rezultatai ir jų aptarimas

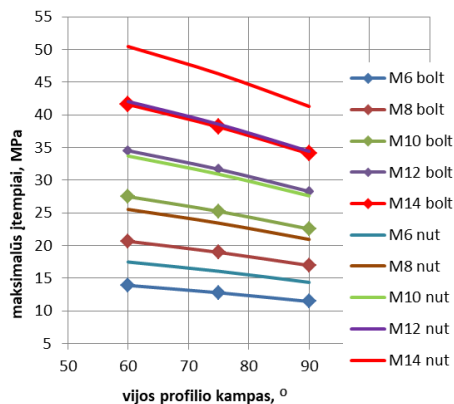
Srieginių jungčių M6, M8, M10, M12 ir M14 gauti skaičiuojamojo modelio rezultatai iliustruojami sriegio vijos kirpimo jėgos ir maksimalių įtempių vijose pokyčiais.



4 pav. Vijos kirpimo jėgos priklausomybė nuo nominalaus srieginės jungties skersmens
Šaltinis: sudaryta autorių

Varžto ir veržlės vijos kirpimo jėgos priklausomybė nuo nominalaus srieginės jungties skersmens pateikta 4 pav. Akivaizdu, kad mažiausio nominalaus skersmens varžto ir veržlės vijos kerpančios jėgos skiriasi mažiausiai. Didėjant nominaliam skersmeniui, skirtumas tarp varžtą ir veržlę kerpančios jėgos pamažu didėja. Didžiausias skirtumas tarp vijos kerpančių jėgų susidaro, kai nominalus skersmuo didžiausias (4 pav.).

Sriegio vijų maksimalūs įtempiai pateikti 5 paveiksle. Galima matyti, kad didinant nominalų skersmenį pamažu didėja skirtumas tarp maksimalių įtempių varžto vijose ir veržlės vijose.



5 pav. Maksimalių įtempių varžto ir veržlės vijose kitimas dėl vijos profilio kampo

Šaltinis: sudaryta autorių

Pagal darbe sudarytą skaičiuojamąjį modelį buvo atlikti skaičiavimai pasirinkus ne tik standartinį vijų profilio kampą $\alpha = 60^\circ$, bet ir 75° bei 90° kampus. Didėjant vijos profilio kampui maksimalių įtempių vijose reikšmės mažėja. Iš kreivių gradiento matyti, kad mažesnio skersmens (M6, M8) įtempių pokytis yra mažesnis nei didesnio skersmens (M12 ir M14).

Išvados

1. Didinant srieginės jungties skersmenį nuo M6 iki M8, nuo M8 iki M10, nuo M10 iki M12 ir nuo M12 iki M14, vijos kirpimo jėga vidutiniškai auga 45,7 %, 37,1 %, 31,5 % ir 27,2 %.
2. Maksimalus įtempis varžto sriegyje mažėja nuo 17,69 % jungtyje M6, iki 18.11 % jungtyje M14, didinant vijos profilio kampą nuo 60 laipsnių iki 90 laipsnių.
3. Maksimalus įtempis veržlės sriegyje mažėja nuo 17,82 % jungtyje M6, iki 18.15 % jungtyje M14, didinant vijos profilio kampą nuo 60 laipsnių iki 90 laipsnių.
4. Apibendrinus tyrimų rezultatus galima teigti, kad, norint išsamiai aprašyti srieginio sujungimo stiprumą, reikia vertinti kontaktinius glemžimo įtempius ir skaičiuoti varžto įtempius.

Literatūra

- Amir, B., Lomnitz, A., Kochavi, E., Gruntman, S. and Sadot, O. (2023). Experimental and numerical studies on dynamic mechanical properties of threads under impact loads. *International Journal of Impact Engineering* 176. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2023.104555>.
- Aziz, A. and Lip H. Teh. (2019). Thread effects on the stiffness of bolted shear connections. *Journal of Constructional Steel Research* 160, 77-88. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.05.023>.
- Fransplass, H., Langseth, M. and Hopperstad, O.S. (2015). Experimental and numerical study of threaded steel fasteners under combined tension and shear at elevated loading rates. *International Journal of Impact Engineering* 76, 118-125. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2014.08.004>.
- Heywood, R. B. (2013). *Photoelasticity for Designers: International Series of Monographs in Mechanical Engineering*. Elsevier Science.
- Hibbeler, R. C. (2011). *Mechanics of materials*. Prentice Hall.
- Qing, Y., Wang, C. L., Meng, S. and Zeng, B. (2022). Experimental study on the seismic performance of precast concrete columns with thread-bolt combination couplers. *Engineering Structures* 251. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113461>.
- Биргер, И. А. и Иосилевич, Г. Б. (1990). *Резьбовые и фланцевые соединения*. Москва: Машиностроение.

ANALYSIS OF VARIATION OF THREAD SHEAR FORCE BY CHANGING THREAD PROFILE ANGLE

Jelena Selivonec^{1,2}, Jurijus Tretjakovas^{1,2}

¹Vilnius Gediminas Technical University

²Vilnius College of Technologies and Design

Summary. A lot of research is conducted on the deformations and stresses of threaded connections, because their reliability and strength depend on the safety and durability of structures where threaded connections are used. Among other factors, the disintegration of threaded parts can occur due to shearing of the bolt or nut threads. The calculation model for the shearing force of the bolt and nut threads, depending on the angle of the thread profile, was developed in the paper. The calculation model is based on the assumption of perfect geometry, i.e. the bolt and nut threads are perfectly manufactured. After the calculations, the shearing force of the threads was determined for bolts and nuts of different dimensions with a metric thread. It is shown how the maximum stress in the thread changes by changing the angle of the thread profile from 60 till 90 degrees.

Key words: thread, angle of the thread profile, shear force.

JONIZACIJOS ĮTAKOS KIETŪJŲ DALELIŲ AGLOMERACIJAI TYRIMAI

Audrius Čereška^{1,2}, Ina Tetsman¹, Regimantas Bareikis¹

¹Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Plytinės g. 25, LT-10105 Vilnius

²Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

Anotacija. Atmosferos tarša kietosiomis dalelėmis – aktuali pasaulinė problema. Daugiausia atmosferą teršia gamybos pramonės, eksploatuojamų vidaus degimo variklių kietosios dalelės. Šios dalelės atmosferoje gali toli skliti. Pasaulio sveikatos organizacijos duomenimis, padidinta oro tarša kietosiomis dalelėmis didina sergamumą kvėpavimo bei širdies ir kraujagyslių ligomis. Siekiant efektyviau mažinti kietųjų dalelių patekimą į atmosferą kuriami šiuolaikiniai oro valymo būdai. Vienas iš tokių būdų – dalelių aglomeracija. Aglomeracija – dalelių sukibimas, kurį skatina įvairūs veiksniai. Dalelėms aglomeruoti gali būti taikomi įvairūs veiksniai: akustika, chemija, turbulencija ir t. t. Šiame darbe atlikti kietųjų dalelių aglomeracijos tyrimai, taikant jonų generatorius. Pateiktas eksperimentiniams tyrimams suprojektuotas ir pagamintas specialus stendas su jonų generatoriais. Sudaryta tyrimo metodika, kuria vadovaujantis atlikti eksperimentiniai tyrimai. Nustatyta kietųjų dalelių aglomeracijos priklausomybė nuo oro srauto greičio, dalelių dydžio ir naudojamų jonų generatorių kiekio.

Reikšminiai žodžiai: dalelės, tarša, jonizacija, jonų generatoriai, aglomeracija.

Įvadas

Didėjant industrializacijai ir transporto srautams vis labiau teršiama ir atmosfera. Didžiausias dėmesys skiriamas atmosferos taršai kietosiomis dalelėmis. Oro tarša yra ne tik Lietuvos, Europos, bet viso pasaulio problema. Oro teršalai, susidarę vienoje valstybėje, gali skliti ir pabloginti oro kokybę kitoje valstybėje. Mažos dalelės atmosferoje gali skliti dideliu atstumu (Pui et al., 2014). Oro užterštumas kietosiomis dalelėmis yra pagrindinė miestų aplinkos oro kokybės problema.

Oro taršos šaltiniai: iškastinio kuro deginimas, transportas, pramonė ir namų ūkiai, tirpiklių naudojimas, pvz., chemijos ir mineralų pramonėje, žemės ūkis, atliekų perdėrimas, vulkanų išsiveržimai, smėlio audros, jūros druskos aerozoliai ir lakiųjų organinių junginių garavimas iš augalų.

Kietosios dalelės – tai ore esančių dalelių ir skysčio lašelių (aerozolių) mišinys, kurio sudėtyje gali būti įvairių komponentų – rūgščių, sulfatų, nitratų, organinių junginių, metalų, dirvožemio dalelių, dulkių, suodžių ir kt. Į orą išmetamos kietosios dalelės labai skiriasi fizine ir chemine sudėtimi, dydžiu, kitokie ir jų išmetimo šaltiniai.

Skaudžiausius padarinius sukelia kietosios dalelės nuo 10–2,5 μm. Smulkios kietosios dalelės 2,5 μm – tai tokios dalelės, kurių aerodinaminis skersmuo yra iki 2,5 μm. 2,5 μm dalelės patenka į žmogaus organizmą per kvėpavimo takus ir sukelia daug rimtų sveikatos sutrikimų (World health organization, 2005).

Pagrindiniai oro taršos šaltiniai Lietuvoje ir pasaulyje yra energetikos objektai – šiluminės elektrinės ir katilinės, pramonės įmonės bei transportas.

Kietųjų dalelių sklaida – neatsiejamas dyzelinių variklių naudojimo padarinys. Tokių dalelių, išsiskiriančių dyzelinių variklių veikimo metu, dispersiškumas yra nuo 50 nm iki 1 μm (Kihong et al., 2004; Burtscher 2005). Kalbant apie pramonės šakas pabrėžiama, jog daugiausia smulkiųjų kietųjų dalelių patenka į atmosferą cemento gamybos metu (Sanchez-

Soberon et al., 2015). Pusė visų kietųjų dalelių, išsiskiriančių cemento gamybos metu, yra mažesnės negu 2,5 μm (Gupta et al., 2012). Kietąsias daleles, kurių skersmuo yra mažesnis negu 10 μm, surinkti įprastais valymo įrenginiais (ciklonais, skruberiais ir t. t.) yra sudėtinga (Gallego et al., 1999; Heidenreich et al., 2000). Oras nuo smulkiųjų dalelių valomas kelių pakopų oro valymo įrenginiais, kuriems reikia didelių energijos sąnaudų, galingų ventiliatorių, didelių patalpų jiems įrengti.

Ciklono valymo efektyvumas – tik 50 %, kai dalelės 1 μm dydžio (Yuen et al., 2017), elektrostatių filtrų efektyvumas pramonės šakose (pvz., kuro deginimas elektros gamybai), kur pagrindiniai susidarantys teršalai yra 0,1–1 μm skersmens dalelės, – nuo 99,5 % iki 92–95 % (Bin et al., 2018). Smulkiosios teršalų dalelės pavojingos, nes prasiskverbia giliai į plaučius ir kitus gyvybiškai svarbius organus, be to, turi savybę absorbuoti kitus cheminius teršalus (Shen et al., 2018).

Mokslininkai nuolat atlieka eksperimentinius ir skaitinius tyrimus, kurių rezultatų pagrindu būtų kuriamos technologijos, kaip efektyviai nusodinti smulkiasias kietąsias daleles. Tokie junginiai lengvai gali būti pašalinami iš užteršto oro ciklonais ar kitokiais valymo įrenginiais (Gallego et al., 1999; Sarabia et al., 2003; Dong et al., 2006). Vienas iš tokių būdų – dalelių, paveiktų akustiniu lauku, aglomeracija (Čereška et al., 2016). Apibendrinus eksperimentinių ir skaitinių tyrimų rezultatus galima teigti, kad akustinė aglomeracija pakeičia dalelių pasiskirstymą pagal dydį, po akustinio lauko poveikio padidėja stambesnių dalelių koncentracija (Dong et al., 2006; Hoffmann, 1999; Riera et al., 2015).

Europos Sąjungos direktyvose reikalaujama kuo efektyviau mažinti smulkiųjų dalelių sklaidimą į atmosferą. Tam tikslui kuriami įvairūs šiuolaikiniai oro valymo įrenginiai, būdai ir metodai.

Agglomeracija yra perspektyvus dalelių sukibimo metodas. Smulkiosios dalelės sukimba (aglomeruoja) į didesnes daleles ir dėl padidėjusios masės greičiau ir

efektyviau nusodinamos. Aglomeracija – tai mažų dalelių sukibimas (lotyniškai *agglomeratio* – sukibimas).

Smulkiosios dalelės dėl įvairių vykstančių procesų gali aglomeruoti. Tarp mažo skersmens dalelių veikia stiprios Van Der Valso, elektrostatinės ir kapiliarinės jėgos, kurios kartu sudaro traukos jėgą. Paveiktos šios jėgos dalelės gali sudaryti stambesnius junginius (Guo et al., 2012).

Turi būti vertinami skirtingi veiksniai, turintys įtakos dalelių aglomeracijos efektyvumui. Dalelėms aglomeruoti dažnai taikomas akustinis dalelių poveikis, taip pat cheminė turbulentinė aglomeracija bei kiti būdai.

Akustiniu lauku veikiamų dalelių sąveika intensyveja ir vyksta aglomeracija.

Elektrostatinių nusodintuvų mažas smulkiųjų dalelių šalinimo efektyvumas, todėl darbe (He et al., 2020) sukurtos trijų skirtingų dydžių (0,5 μm , 2 μm ir 4 μm) monodispersinės dalelės, siekiant iširti aglomeracijos poveikį. Rezultatai parodė, kad nuo 800 iki 2400 Hz akustinis aglomeracijos poveikis 4 μm dalelėms buvo geresnis nei 0,5 μm ir 2 μm dydžio dalelėms.

Darbe (Wu et al., 2021) pateiktas tiesioginio modeliavimo Monte Karlo (DSMC) metodas, skirtas imituoti akustinę kietųjų dalelių aglomeraciją. Metodo efektyvumas pagrįstas eksperimentiniais rezultatais. Rezultatai rodo, kad dėl akustinės aglomeracijos labai sumažėja mažų dalelių skaičius ir šiek tiek padidėja didelių dalelių koncentracija.

Darbe (Qiu et al., 2021) siekiant iširti garso bangų smūgio dėsnį pateikti debesų lašelių, veikiamų garso bangų, kurių dažnis ir garso slėgis 35–100 Hz ir 112–122 dB, akustiniai aglomeracijos eksperimentai. Kai garso dažnis pastovus, debesų lašelių aglomeracijos efektas didesnis, nes veikia garso bangos su didesniu garso slėgiu.

Siekiant pagerinti dalelių aglomeracijos efektą turbulentinės aglomeracijos būdu, darbe (Sun et al., 2020) buvo pasiūlytas skirtingo dydžio sūkurinių sukibimas turbulentinio srauto lauke ir sukonstruotas bei pritaikytas turbulentinis aglomeratorius, kuriame yra įvairių sūkurinių. Rezultatai parodė, kad skirtingo dydžio sūkuriniai turbulentiname srauto lauke gali dar labiau paskatinti smulkiųjų dalelių aglomeraciją.

Sun ir kiti (Sun et al., 2020) sukonstravo trijų rūšių turbulentinis aglomeratorius, ištyrė jų charakteristikas skirtinguose turbulentinio srauto laukuose. Rezultatai parodė, kad turbulentinis aglomeratorius su nedideliais sūkuriais srauto lauke geriausiai paveikė aglomeraciją.

Darbe (Zhu & Tang 2020) tirtas platus garso slėgio lygių ir garso dažnių diapazonas, atsižvelgiant į poveikį slėgiui, sluoksniui, dalelių greičiui ir koncentracijai, taip pat burbulų ir aglomeratų dydžiams.

Siekiant sukurti efektyvią dalelių šalinimo technologiją, atlikus teorinę analizę buvo sukurtas ir straipsnyje (Li et al., 2020) aprašytas dalelių šalinimo įrenginys, atlikti laboratoriniai eksperimentai. Palyginti su vienu išoriniu garso ar kondensacijos lauku, dviejų išorinių laukų derinys padidino dalelių šalinimo efektyvumą. Maksimalus šalinimo efektyvumas – apie 70 %, kai garso dažnis 1500 Hz, garso

slėgio lygis (SPL) – 141 dB, o aušinimo vandens srautas – 560 l/val.

Straipsnyje (Khmelev et al., 2020) pateikti 2,5 μm diapazono dalelių šalinimo ultragarsu rezultatai. Pasiūlyta ir pagaminta dviejų pakopų dujų valymo sistema, kurią sudaro aglomeratorius ir ciklonas. Atlikus tyrimus nustatyta, kad ultragarsinis poveikis padidina 2,5 μm dalelių valymo efektyvumą nuo 46 iki 85 % optimaliomis dujų dispersinio srauto sąlygomis.

Kelių laukų sinergetinė aglomeracija yra perspektyvi pirminio apdoravimo technologija, skirta pagerinti smulkiųjų dalelių kontrolę ir pašalinimą. Darbe (Liu et al., 2021) buvo pasiūlyta nauja aglomeratoriaus jungtis su ultragarsiniu plazmos purškimu ir turbulentių sūkurinių generatoriumi, kuris turi tris aglomeracijos režimus, t. y. turbulentinė aglomeracija, atomizuota turbulentinė aglomeracija ir įkrauta turbulentinė aglomeracija. Aglomeratorius buvo sujungtas su medžiaginiu filtru. Rezultatai parodė, kad 1 μm dalelių aglomeracijos efektyvumas trimis aglomeracijos režimais buvo 21,8 %, 53,2 % ir 68,9 %, o 1 μm dalelių pašalinimo efektyvumas iš vienintelio medžiaginio filtro kartu su trimis aglomeracijos režimais buvo 66,5 %, 83,9 %, 86,8 % ir 89,7 %.

Straipsnyje (Khmelev et al., 2021) aprašyti tyrimai, atlikti siekiant nustatyti ultragarso poveikio smulkiųjų dalelių aglomeracijai ribas. Atlikus tyrimus nustatyta, kad esant 160 dB garso slėgio lygiui galima užtikrinti 2,5 μm dydžio dalelių koaguliaciją, kurios efektyvumas 83 %. Koaguliacija padidėja iki 13 %, kai susidaro sūkuriniai srautai. Siūlomas koaguliacijos efektyvumo didinimo metodas dėl sūkurinių srautų tarp spinduliuojančių ir atspindinčių paviršių užtikrina koaguliacijos efektyvumą 96 %.

Tiek cheminė, tiek turbulentinė aglomeracija yra perspektyvios pirminio apdoravimo technologijos, skatinančios smulkiųjų dalelių pašalinimą. Tačiau tiek cheminė, tiek turbulentinė aglomeracija turi tam tikrų trūkumų gerinant smulkiųjų dalelių aglomeraciją. Pasirinkus cheminės ir turbulentinės aglomeracijos derinį, buvo pasiūlyti ir iširti skirtingi cheminės ir turbulentinės aglomeracijos sukibimo būdai (Sun et al., 2019). Rezultatai parodė, kad cheminė turbulentinė aglomeracija turi daugiau pranašumų, palyginti su turbulentine chemine aglomeracija.

Straipsnyje (Zheng et al., 2019) pasirinkus sukabinimo populiacijos balanso modelį tirta smulkiųjų akmens anglių pelenų dalelių akustinė aglomeracija akustinio lauko aglomeracijos įrenginyje. Dalelių sąveika akustiniame lauke vis dar nėra gerai išnagrinėta, o tai labai trukdo tobulinti technologiją, skirtą smulkiųjų dalelių emisijos kontrolei naudojant akustinę aglomeraciją (Qu et al., 2020).

Turbulentinė aglomeracija yra perspektyvi pirminio apdoravimo technologija, skirta pagerinti smulkiųjų dalelių pašalinimą iš pramoninių išmetamųjų dujų. Tokia technologija galima saugiai pagerinti dulkių šalinimo įrangos dalelių šalinimo efektą. Tačiau dėl turbulencijos mechanizmų sudėtingumo ryšys tarp turbulentių srautų laukų ir smulkiųjų dalelių aglomeracijos nėra tiksliai žinomas.

Dalelių aglomeracija, veikiama akustinio lauko, priklauso nuo įvairių veiksnių, vykstančių tarp dalelių, bei tarp dalelių ir dujinės terpės (pvz., oro). Dalelių aglomeracijos eksperimentinių ir skaitinių tyrimų rezultatai (Dong et al., 2006; Hoffmann, 1999; Riera et al., 2015) patvirtina, kad po dalelių poveikio akustiniu lauku padidėja stambesnių dalelių kiekis.

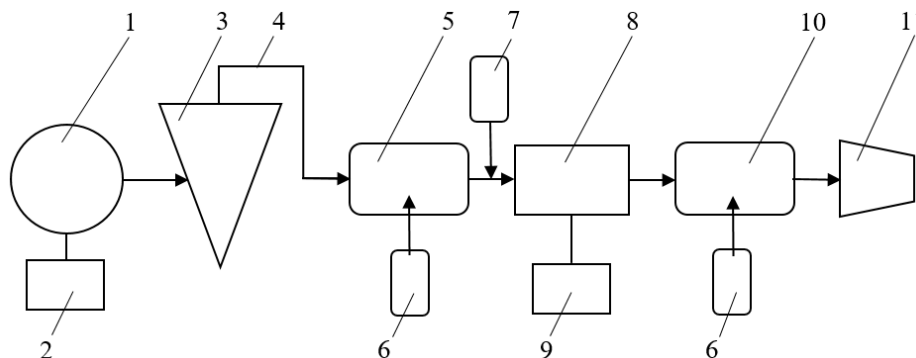
Pasaulio sveikatos organizacijos (PSO) statistikos duomenimis, atmosferos tarša kasmet sukelia 3,7 milijono priešlaikinių mirčių (WHO: Frequently Asked Questions: Ambient and Household Air Pollution and Health, 2014). Iš visų atmosferą teršiančių medžiagų žmonių sveikatai žalingiausiomis laikomos kietosios dalelės (Cohen et al., 2005). Kasmet 2,4 mln žmonių miršta dėl kietųjų dalelių sukeltų susirgimų (Sierra-Vargas et al., 2012). Keletas valstybių 2010 m. viršijo oro teršalų emisijos normas. Taigi, mažinti oro taršą yra svarbu.

Iki šiol ieškoma būdų, kaip būtų galima pagerinti dalelių aglomeracijos efektyvumą, siekiant padidinti oro valymo efektyvumą. Atliekami įvairūs eksperimentiniai, teoriniai ir skaitiniai tyrimai.

Darbo tikslas – atlikti kietųjų dalelių aglomeracijos efektyvumo tyrimus taikant jonų generatorius.

1. Tyrimų įranga

Dalelių aglomeracijos eksperimentiniams tyrimams atlikti suprojektuotas ir pagamintas specialus tyrimų stendas, kurį sudaro ventiliatorius, dozatorius, ciklonas, dalelių skaitikliai, dėžė su jonų generatoriais, oro srauto greičio matuoklis, nusodinimo kamera. Principinė tyrimo stendo schema pateikta 1 pav.



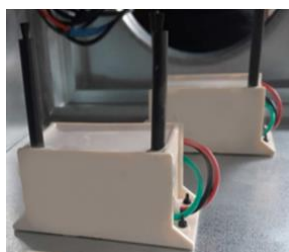
1 pav. Principinė tyrimo stendo schema

1 – ventiliatorius, 2 – variklio sukimosi dažnio keitiklis, 3 – ciklonas, 4 – ortakis, 5 – pirminio dalelių kiekio matavimo zona, 6 – dalelių skaitiklis, 7 – oro srauto greičio matuoklis, 8 – dėžė su jonų generatoriais, 9 – jonų generatorių valdiklis, 10 – antrinio dalelių kiekio matavimo zona, 11 – dalelių surinktuvas

Šaltinis: sudaryta autorių

Stendo veikimas: ventiliatoriumi (1) tiekiamas oro srautas iš aplinkos į cikloną (3), kuriame iš oro srauto pašalinamos didesnės negu 10 μm skersmens dalelės. Toliau smulkiosios dalelės ortakiu (4) juda į pirminę matavimo zoną (5), kurioje nustatomas jų kiekis dalelių skaitikliu, esančiu matavimo zonoje (5), po to į dėžę su jonų generatoriais (6), kurioje sumontuoti jonizacijos šaltiniai, ir tada į antrinio dalelių matavimo zoną (7). Kiekvienas matavimas kartotas po 3 kartus ir apskaičiuotas rezultatų vidurkis.

Dalelių aglomeracijos tyrimams atlikti naudoti keturi jonų generatoriai TFB-YD1266 (2 pav.).

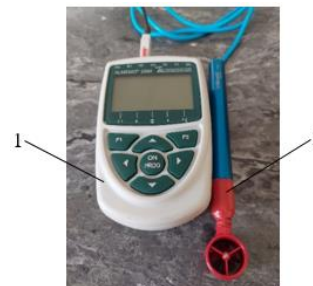


2 pav. Jonų generatoriai
Šaltinis: sudaryta autorių

Jonų generatorių techninės charakteristikos:

- Darbinis dažnis – 35 kHz.
- Įtampa – 6 kV9.
- Maitinimo įtampa – 12 V.

Oro srauto greitis matuotas matavimo įranga ALMEMO 2590A, kurią sudaro oro srauto greičio matuoklis (1) ir greičio matavimo daviklis (mentelinis anemometras) (2) (3 pav.).



3 pav. Oro srauto matavimo įranga ALMEMO 2590A
1 – matuoklis, 2 – greičio matavimo daviklis (mentelinis anemometras)

Šaltinis: sudaryta autorių

Oro srauto greičio matavimo daviklis, skirtas naudoti aukštesnėje temperatūroje iki 250 °C, su plienine galvute ir turbina, kuri yra prisukama prie zondo rankenos ir nekeičiama. Mentės sukimasis yra beveik tiesinis srauto greičiui ir jam įtakos neturi slėgis, temperatūra, tankis ir drėgmė.

Dalelių kiekis matuotas kompaktišku ir paprastu naudoti dalelių kiekio skaitikliu APC ERGOTOUCH PRO 2 (4 pav.).



4 pav. Dalelių skaitiklis
Šaltinis: sudaryta autorių

Naudojant šį dalelių skaitiklį greitai gauti tikslūs rezultatai, išsaugoti vidinėje skaitiklio atmintyje, o vėliau perkelti į kompiuterį rezultatų analizei.

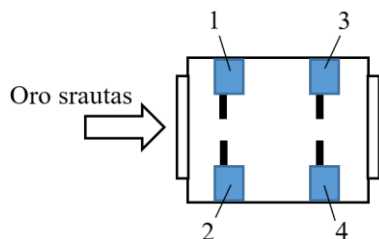
2. Tyrimų metodika

Oro srauto užterštumo kietosiomis dalelėmis matavimai atlikti pastate, esančiame centrinėje miesto dalyje. Pastatas nuo statybų aikštelės nutolęs apie 50 m. Matavimų metu statybų aikštelėje buvo statomas daugiaaukštis pastatas.

Pirmiausia buvo matuotas aplinkoje esančių kietųjų dalelių kiekis ir jų pasiskirstymas pagal dydį nuo 0,3 μm iki 10 μm, kai oro srauto judėjimo greitis skirtingas (nuo 2 m/s iki 5 m/s). Po to buvo atlikti analogiški matavimai, kai oro srautas juda jonizuotoje aplinkoje, o jonų generatorių kiekis skirtingas.

Tyrimo stende naudotas 200 mm skersmens ortakis. Oro srauto greitis –2–5 m/s, toks oro greitis yra vėdinimo sistemoje.

Principinė jonų generatorių išdėstymo schema pateikta 5 pav.



5 pav. Principinė jonų generatorių išdėstymo dėžėje schema
1, 2, 3, 4 – jonų generatoriai
Šaltinis: sudaryta autorių

Iš viso jonizacijos šaltinių dėžėje yra 4 jonų generatoriai (4–4 W), eksperimento metu buvo jungta po du jonų generatorius, vienas jonų generatorius 1 W: 1–2 jonų generatoriai (2 jonų generatoriai – 2 W) ir 3–4 jonų generatoriai (4 jonų generatoriai – 4 W).

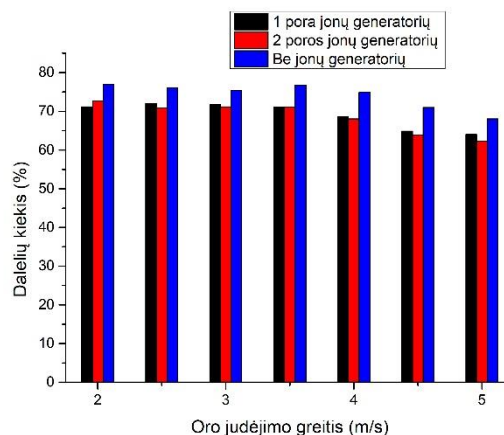
Eksperimentiniams tyrimams atlikti sudaryta metodika, pagal kurią buvo atlikti eksperimentiniai tyrimai:

1. Įjungtas ventiliatorius.
2. Oro srauto greitis nuo 2 m/s didintas po 0,5 m/s iki 5 m/s.
3. Oro srautas tiekias iš aplinkos (dalelių dydis: PM 10 – PM 2.5 μm).
4. Ciklone nusodintos stambios dalelės.
5. Dalelių kiekis matuotas pirmoje matavimo zonoje.
6. Įjungti 1–2 jonų generatoriai (2 W).
7. Įjungti 1–2 ir 3–4 jonų generatoriai (4 W).
8. Dalelių kiekis matuotas antroje matavimo zonoje.
9. Gauti matavimo rezultatai iš pirmoje ir antroje matavimo zonose esančių dalelių skaitiklių perkelti į kompiuterį.
10. Atlikta matavimo rezultatų analizė.

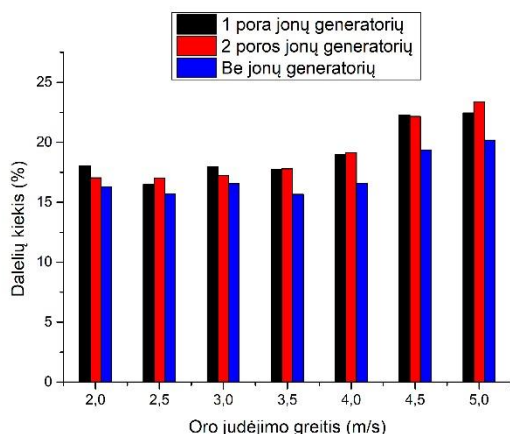
3. Tyrimų rezultatai ir aptarimas

Eksperimentiniai matavimai atlikti pagal pateiktą tyrimų metodiką.

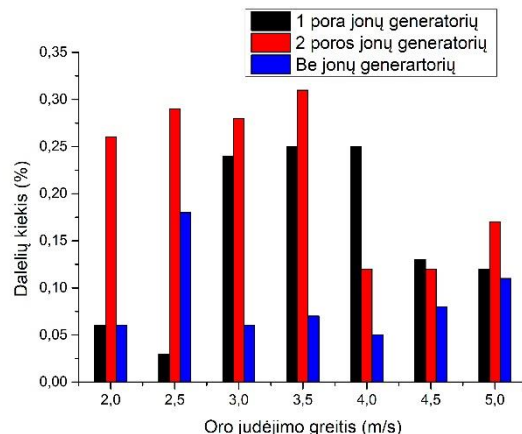
Atliktų eksperimentinių matavimų rezultatai, esant skirtingo dydžio dalelėms (0,3; 0,5; 1; 3; 5 μm) ir oro srauto judėjimo greičiui (2–5 m/s), pateikti grafiškai (6–10 pav.).



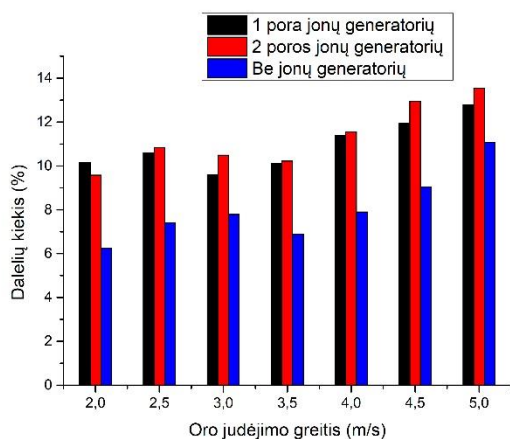
6 pav. Kietųjų dalelių aglomeracijos priklausomybė nuo oro srauto greičio, kai dalelių dydis 0,3 μm
Šaltinis: sudaryta autorių



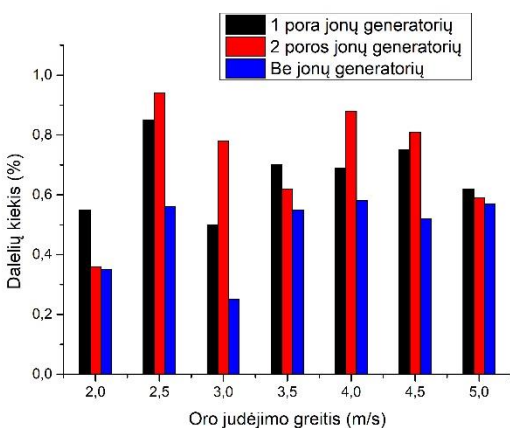
7 pav. Kietųjų dalelių aglomeracijos priklausomybė nuo oro srauto greičio, kai dalelių dydis 0,5 μm
Šaltinis: sudaryta autorių



10 pav. Kietųjų dalelių aglomeracijos priklausomybė nuo oro srauto greičio, kai dalelių dydis 5 μm
Šaltinis: sudaryta autorių



8 pav. Kietųjų dalelių aglomeracijos priklausomybė nuo oro srauto greičio, kai dalelių dydis 1 μm
Šaltinis: sudaryta autorių



9 pav. Kietųjų dalelių aglomeracijos priklausomybė nuo oro srauto greičio, kai dalelių dydis 3 μm
Šaltinis: sudaryta autorių

Atlikus tyrimus galima daryti išvadą, kad jonizacija jonų generatoriais turi įtakos dalelių aglomeracijai. Iš grafikų matoma, kad geriau aglomeruoja smulkios iki 1 μm dalelės. Didesnių dalelių aglomeracijos efektyvumas mažėja, 1 μm dydžio dalelių aglomeracijos efektyvumas tik 10–14 %.

Naudojant jonų generatorius dalelių aglomeracijos rezultatai pagerėjo iki 5 %. Dalelių aglomeracijos efektyvumui turi įtakos ir jonų generatorių kiekis. Aglomeracijos efektyvumas naudojant du ir keturis jonų generatorius padidėja iki 8 %.

Oro srauto greičio pokytis dalelių aglomeraciją veikia netolygiai. 0,3 μm dydžio dalelių aglomeracija mažėja didėjant oro srauto greičiui. Tačiau 1 μm dalelių aglomeracija didėja, greitėjant oro srautui. 3 ir 5 μm dydžio dalelių aglomeracija didėjant oro srauto greičiui pasiskirsto netolygiai ir rezultatai tai gerėja, tai blogėja.

Išvados

1. Atlikus tyrimus nustatyta, kad didžiausias aglomeracijos efektyvumas tarp dalelių iki 1 μm. Dalelių aglomeracijos efektyvumas mažėja didėjant dalelių dydžiui.
2. Įvertinus tyrimų rezultatus galima teigti, kad jonizacija taikant jonų generatorius turi įtakos dalelių aglomeracijai. Naudojant jonų generatorius dalelių aglomeracijos rezultatai pagerėjo net iki 5 %.
3. Dalelių aglomeracijos efektyvumui turi įtakos ir jonų generatorių kiekis. Taikant du ir keturis jonų generatorius aglomeracijos efektyvumas padidėja iki 8 %.
4. Apibendrinus tyrimų rezultatus galima teigti, kad prasminga dalelių aglomeracijai taikyti jonų generatorius.

Literatūra

Bin, H., Yang, Y., Zhou, L., Shen, A., Cai, L., Yang, L. and Roszak, S. (2018). Experimental and DTF studies of PM_{2,5} removal

- by chemical agglomeration. *Fuel* 212, 27–33. doi.org/10.1016/j.fuel.2017.09.121.
- Burtscher, H. (2005). Physical characterization of particulate emissions from diesel engines. *Journal of Aerosol Science* 36, 896–932. doi.org/10.1016/j.jaerosci.2004.12.001.
- Cohen, A.J., Ross Anderson, H., Ostro, B., Pandey, K.D., Krzyzanowski, M., Künzli, N., Gutschmidt, K., Pope, A., Romieu, I., Samet, J.M. and Smith, K. (2005). The global burden of disease due to outdoor air pollution. *Journal of Toxicology Environmental Health* 68(13-14), 1301–1307. doi.org/10.1080/15287390590936166.
- Cereška, A., Zavadskas, E.K., Cavallaro, F., Podvezko V., Tetsman, I. and Grinbergienė, I. (2016). Sustainable assessment of aerosol pollution decrease applying multiple attribute decision-making methods. *Sustainability* 8(7), 1–12. doi.org/10.3390/su8070586.
- Dong, S., Lipkens, B. and Cameron, T.M. (2006). The effects of orthokinetic collision, acoustic wake, and gravity on acoustic agglomeration of polydisperse aerosols. *Journal of Aerosol Science* 37(4), 540–553. doi.org/10.1016/j.jaerosci.2005.05.008.
- Gallego, J.A., Sarabia, E.R. and Rodriguez, G. (1999). Application of acoustic agglomeration to reduce fine particle emissions from coal combustion plants. *Environmental Science and Technology* 33(21), 3843–3849.
- Gupta, R.K., Majumdar, D., Trivedi, J.V. and Bhanarkar, A.D. (2012). Particulate matter and elemental emissions from a cement kiln. *Fuel Process Technology* 104, 343-351. doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.06.007.
- Guo, Q., Yang, Z. and Zhang, J. (2012). Influence of a combined external field on the agglomeration of inhalable particles from a coal combustion plant. *Powder Technology* 227, 67–73.
- Heidenreich, S., Vogt, U. and Büttner, H. (2000). A novel process to separate submicron particles from gases—a cascade of packed columns. *Chemical Engineering Science* 55(15), 2895–2905. doi.org/10.1016/S0009-2509(99)00554-0.
- He, M., Luo, Z., Wan, H. and Fang, M. (2020). The Influences of Acoustic and Pulsed Corona Discharge Coupling Field on Agglomeration of Monodisperse Fine Particles. *Applied Sciences* 10(3), 1045. doi.org/10.3390/app10031045.
- Hoffmann, T.L. (1999). An extended kernel for acoustic agglomeration simulation based on the acoustic wake effect. *Journal of Aerosol Science*, 28(6), 919–936. doi.org/10.1016/S0021-8502(96)00489-2.
- Kihong, P., Kittelson, D.B. and McMurry, P.H. (2004). S Structural Properties of Diesel Exhaust Particles Measured by Transmission Electron Microscopy (TEM). Relationships to Particle Mass and Mobility. *Aerosol Science and Technology* 38, 881–889. doi.org/10.1080/027868290505189.
- Khmelev, V.N., Nesterov, V.A., Bochenkov, A.S. and Shalunov, A.V. (2021). The Limits of Fine Particle Ultrasonic Coagulation. *Symmetry* 13(9), 1607. doi.org/10.3390/sym13091607.
- Khmelev, V.N., Shalunov, A.V. and Nesterov, V.A. (2020). Improving the performance of air purification efficiency from fine-dispersed particles by ultrasonic exposure in swirling flow. *International Journal of Environmental Science and Technology* 17(4), 3927–3934. doi.org/10.1007/s13762-020-02770-5.
- Li, K., Wang, E., Wang, Q., Husnain, N., Deli, L. and Fareed, S. (2020). Improving the removal of inhalable particles by combining flue gas condensation and acoustic agglomeration. *Journal of Cleaner Production* 261, 121270. doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121270.
- Liu, H., Li, Z., Tan, H., Yang, F., Feng, P., Du, Y., Ren, M. and Dong, M. (2021). Experimental investigation on a novel agglomeration device based on charged ultrasonic spray and vortex generators for improving the removal of fine particles. *Fuel* 287(6), 119549. doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119549.
- Pui, D., Chen, Sh. and Zuo, Z. (2014). PM_{2.5} in China: Measurements, sources, visibility and health effects, and mitigation. *Particulology* 13, 1–26.
- Qu, G.N., Fan, F.X., Zhang, S.H. and Su, M.X. (2020). Interaction between monodisperse fine particles in a standing wave acoustic field. *Acta Physica Sinica* 69(6), 064704. doi.org/10.7498/aps.69.20191681.
- Qiu, J., Tang, L.J., Cheng, L., Wang, G.Q. and Li, F.F. (2021). Interaction between strong sound waves and cloud droplets: Cloud chamber experiment. *Applied Acoustics* 176(4), 107891. doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107891.
- Riera, E., Gonzalez-Gomez, I., Rodrigue, G. and Gallego-Juarez, J.A. (2015). Ultrasonic agglomeration and preconditioning of aerosol particles and other applications. *Powder Ultrasonics* 38(1–8), 1023–58.
- Sanchez-Soberon, F., Rovira, J., Mari, M., Sierra, J., Nadal, M., Domingo, J. and Schuhmacher, M. (2015). Main components and human health risks assessment of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ in two areas influenced by cement plants. *Atmospheric Environment* 120, 109-116. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.020.
- Sarabia, E.R., Elvira-Segura, L. and Gonzalez-Gomez, I. (2003). Investigation of the influence of humidity on the ultrasonic agglomeration of submicron particles in diesel exhausts. *Ultrasonics* 41(4), 277–281. doi.org/10.1016/s0041-624x(02)00452-3.
- Shen, G., Huang, X., He, Ch., Zhang, Sh. and An, L. (2018). Experimental study of acoustic agglomeration and fragmentation on coal-fired ash with different particle size distribution. *Powder Technology* 325, 145–150. doi.org/10.1016/j.powtec.2017.10.037.
- Sierra-Vargas, M.P. and Teran, L.M. (2012). Air Pollution: Impact and Prevention. *Respirology* 17, 1031–1038. doi.org/10.1111/j.1440-1843.2012.02213.x.
- Sun, Z., Yang, L., Shen, A., Zhou, L. and Wu, H. (2019). Combined effect of chemical and turbulent agglomeration on improving the removal of fine particles by different coupling mode. *Powder Technology* 344, 242–250. doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.032.
- Sun, Z., Yang, L.J. and Wu, X. (2020). Promoting the removal of fine particles by turbulent agglomeration with the coupling of different-scale vortices. *Powder Technology* 367, 399–410. doi.org/10.1016/j.powtec.2020.03.062.
- Sun, Z., Yang, L., Wu, H. and Wu, X. (2020). Agglomeration and removal characteristics of fine particles from coal combustion under different turbulent flow fields. *Journal of Environmental Sciences* 89, 113–124. doi.org/10.1016/j.jes.2019.10.004.
- WHO: Frequently Asked Questions: Ambient and Household Air Pollution and Health. 2014. [Interaktyvus]. Žiūrėta: 2017 m. balandžio mėn. 28 d. Prieiga per internetą:
- World health organization, WHO air Quality Guidelines Global Update 2005, Bonn, Germany.
- Wu, Z., Fan, F., Yan, J., Chen, H., Hu, X. and Su, M. (2021). An adaptable direct simulation Monte Carlo method for simulating acoustic agglomeration of solid particles. *Chemical Engineering Science* 249, 117298. doi.org/10.1016/j.ces.2021.117298.
- Yuen, W.T., Fu, S.C. and Chao, Y.H. (2017). The Effect of Aerosol Size Distribution and Concentration on the Removal Efficiency of an Acoustic Aerosol Removal System. *Journal of Aerosol Science* 104, 79–89. doi.org/10.1016/j.jaerosci.2016.11.014.

Zheng, J., Li, Y., Wan, Z., Hong, W. and Wang, L. (2019). Modification of the agglomeration kernel and simulation of the flow pattern in acoustic field with fine particles. *Powder Technology* 356, 930–940. doi.org/10.1016/j.powtec.2019.09.022.

Zhu, L. and Tang, Y. (2020). Effects of acoustic fields on the dynamics of micron-sized particles in a fluidized bed. *Powder Technology* 372, 625–637. doi.org/10.1016/j.powtec.2020.05.045.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF IONIZATION ON AGGLOMERATION OF SOLID PARTICLES

Audrius Čereška^{1,2}, Ina Tetsman¹, Regimantas Bareikis¹

¹*Vilnius Gediminas Technical University*

²*Vilnius College of Technologies and Design*

Summary. Atmospheric pollution with solid particles is an actual global problem. The largest atmospheric pollution with solid

particles comes from the manufacturing industry, as well as from the burning of solid fuels and from operating internal combustion engines. Due to their extremely small size, these particles can travel long distances in the atmosphere. According to the World Health Organization, increased air pollution with solid particles affects the increase in the incidence of respiratory and cardiovascular diseases. In order to more effectively reduce the entry of solid particles into the atmosphere, various modern air cleaning devices and methods are being developed. One such method is particle agglomeration. Agglomeration is the adhesion of particles that is promoted by various factors. Various factors can be applied to agglomerate particles: acoustics, chemistry, turbulence, etc. In this work, solid particle agglomeration studies were carried out using ion generators. A special stand with ion generators designed and manufactured for experimental research is presented. A research methodology was drawn up, according to which the experimental studies were carried out. The dependence of the agglomeration of solid particles on the speed of the air flow, the size of the particles and the amount of ion generators used was determined.

Keywords: particles, pollution, ionization, ion generators, agglomeration.

OVERVIEW OF REVERSE LOGISTICS IN CITIES

Oldřich Kodym¹, Michal Turek¹, Matěj Hrouda², Václav Cempírek¹

¹*College of Logistics, Přerov, Czech Republic*

²*VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Material Science and Technology, Ostrava, Czech Republic*

Abstract. The first part of the paper deals with theoretical approaches to reverse logistics, which has been neglected for a long time. The next part focuses on reverse logistics in linking the transport service provider, the retailer and the customer, so that the complaint process is handled as quickly as possible and possibly synchronized - return of goods/receipt of new goods in one moment. The last section presents the reverse logistics processes along the value chain. Paper highlights reverse logistics as an important part of the complete logistics chain not only from points of view of sustainability and economic efficiency in urbanized areas. The main goal (of which this article is a part) of the authors is to implement city logistics into methodology for the process of sustainable urban mobility planning.

Key words: Reverse logistics, transport, optimization, logistics services.

Introduction

Reverse logistics has long been neglected as a concept for the purposes of theoretical understanding. We define it as the flow of used products, packaging and other materials that originate from the producer, distributor and consumer. It mainly deals with the removal of waste in the form of consumed products and returned (returned) goods.

Reverse logistics is gaining importance not only in terms of efficient management of business entities, but also in terms of a sustainable relationship with the environment and human health. For this reason, reverse logistics is being addressed by an increasing number of researchers and professionals.

Nowadays, many countries, not only in the European Union, have decided to solve waste management problems at least partially by recycling products and packaging. Under current legislation, companies are responsible for the entire life cycle of a product, i.e. from the acquisition of raw materials to the disposal of the product as waste.

As an example, some companies are legally obliged to take back their products, such as batteries, and ensure their environmentally sound disposal. According to this measure, the flow of unwanted products from the end-use point back to the point of origin must be addressed. These regulations guide the material (unwanted products, products at the end of their life cycle) in the reverse direction.

1. System of reverse logistics

These facts have led logistics experts to create reverse logistics, the main focus of which is to support the alternative use of products and packaging that have already been used once or cannot be sold (e.g. seasonal goods, goods with an expired shelf life, partially broken products, damaged products in retail chains, etc.).

Originally, reverse logistics was only associated with recycling of products and packaging. The definitions we find it under today depend on the specific industry sector with which reverse logistics is associated.

Retail organisations often associate reverse logistics with ensuring that unsold goods and reclaimed products are moved back to the entities from which they were purchased or to other entities willing to buy and reprocess or sell the goods. The manufacturing organisation understands reverse logistics as the recovery of multiple quantities of used packaging or damaged products as secondary sources of raw materials.

A general definition of reverse logistics can be established as follows:

The main objective of reverse logistics is the collection, sorting, dismantling and processing of used products, components, by-products, surplus inventory and packaging material, where the fundamental goal is to ensure their reuse or material recovery in an environmentally friendly and cost-effective manner (Koether, 2006).

Reverse logistics closes the circle of the complete logistics chain from recycling to commercialisation and other logistics services.

In the past, reverse logistics as a concept was very often ignored by logistics theory. Reverse logistics can also be defined as the flow of already used products, packaging or other materials that originates from the consumer and the end user. Hence, reverse logistics deals with the removal of the consumed product (waste) and the returned goods (i.e., returned goods).

Reverse logistics is now becoming a very widespread concept and is also being widely discussed by experts from the European Union, and it is necessary to address it because of the modern issue of how to deal with the problems of waste management and its eventual recycling.

The main focus of reverse logistics is, among other things, to promote the alternative use of products that have already been used (or cannot be sold). Figure 1 shows the integration of the logistics processes of the different logistics segments into an integrated reverse logistics chain.

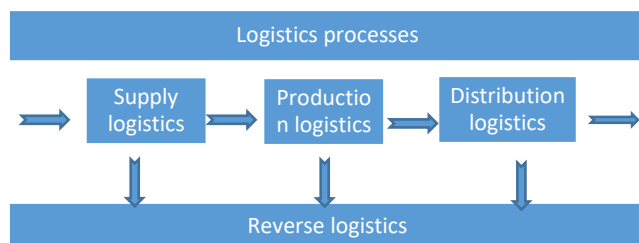


Fig 1. Reverse logistics as a part of logistics processes
Source: authors

2. Reverse logistics of transport service providers

It is important for these businesses to have solutions for after-sales support and reverse logistics. These processes relate to the area of returns from online and mail order purchases, whose customers can be very critical of the goods delivered. For this reason, a company's returns strategy is very important as it relates to their purchases.

A legible returns solution helps retailers win new business because customers will have a good shopping experience. Thus, return logistics presents an effective solution for planning and maintaining minimum stock levels.

Authors see at least two core points of view for design and evaluation of logistics processes in presented activities:

a) Efficient transaction processing

It must be easy for customers to return received shipments for various reasons such as damaged goods, poor workmanship, dissatisfaction with the product, etc. An external shipping service provider will assist to process the shipments quickly from customers, completing the entire transaction including sending refunds, exchanging goods or crediting.

Returning shipments can be tracked using modern information technology tools to enhance the process and scheduling of incoming items. These tools improve both the service provided to customers and their information by giving them direct access to shipment tracking data. There are costs associated with returning items, especially in high-tech industries, so the longer these items remain pending, the sooner they lose their value. Returning goods quickly preserves their value as they are quickly returned to stock, for repair, etc.

For high-value goods from retail and wholesale chains, shipping electronics, medical devices, etc., a return service can be put in place that ensures that the retailer receives new goods for exchange at the same time as the goods being sent back. Such a solution is only available on a contractual basis.

The flexibility of these solutions is wide ranging from the sending of very bulky goods to goods that are sent only occasionally and for which a suitable way of handling return shipments needs to be provided. Using modern information systems, operations can be tracked and optimised by identifying and categorising returned products.

b) Meeting the specific needs of the company

The return service can be used to pick up valuable shipments of temperature-sensitive goods and to send signed contracts and documents that are intended for quick processing.

Another case is that a parcel return service worker can pick up items for a customer to be delivered for repair. The easier and simpler the processes are set up for the business to deal with the customer, the more likely the customer will be to obtain such service.

3. Reverse logistics processes

Further recovery of waste materials is possible by:

- *Recycling*: as part of the take-back solution, the material will be recovered as a secondary raw material.
- *Re-Use*: in this case, the aim of take-back is to reuse these products. i.e. the following uses
 - take-back and exchange
 - take-back and processing (repair, refurbishment or remanufacturing) with subsequent use as either a complete part or a spare part.

"The aim of reverse logistics processes is, among other things, the sustainability of raw materials, which are converted into secondary raw materials through the recycling of waste materials." (Krampe & Lucke, 1993).

Figure 2 shows the flows of reverse logistics along the value chain. It considers the processes of the producer, the store and the customer where the needs associated with the return of goods arise. The manufacturer is responsible for the products at the end of their life cycle and must ensure their disposal. By recycling material taken from the shop and from customers, virgin raw materials and spare parts can be obtained. Unsaleable inventory is typical of business processes and must be disposed of, as already mentioned, either for virgin raw materials or spare parts. In addition, there may be complaints and returns due to failure to meet customer requirements. The customer enters into reverse logistics processes in the form of purchases and returns of goods due to claims of non-functioning or damaged products or due to failure to meet their requirements.

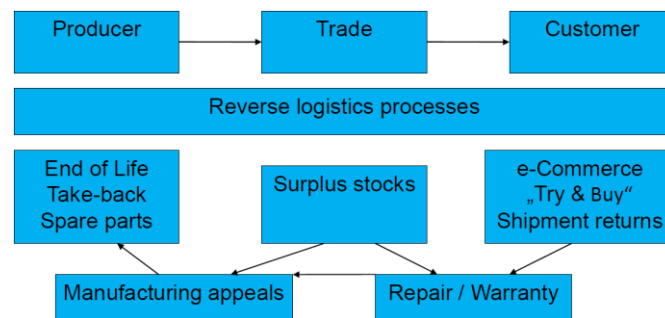


Fig 2. Processes of reverse logistics in value chain
Source: Authors

Descriptions of individual processes

a) Returns from retail chains

Reverse logistics solutions minimise the costs of returning unsold stock in retail chains (online shops, mail order, Try & Buy).

Reverse logistics solutions for the return of goods not requested by the customer or goods that did not meet their requirements (e-Commerce, mail order, ...).

b) Warranty repairs/Repairs

Reverse logistics for the receipt of damaged or defective goods that will be redistributed to the customer or to retail chains, the so-called "Closed Loop".

c) Spare parts

Reverse logistics for spare parts.

End-of-Life

Reverse logistics solutions for the receipt of products or replacement parts from manufacturers, households and wholesalers at the end of the life cycle for recycling. For details see Table 1. In presents data for futher processing and decision making according to size of cities and international EWC-STAT classification.

d) Recalls

Reverse logistics for fast and efficient manufacturing customer recalls.

1 Table. End of life ammount per category and city size

Production of mixed municipal waste		Per 1 town in the category in thousands of tons					
Item	Nr. of towns	1	2	7	14	15	570
	Total (thousands)	over 500	250-500	75-250	42-75	25-42	up to 25
Total waste production	5352705.3	644.386	166.541	52.985	27.274	16.507	2.902
Included:							
Chemical mixed waste	953.7	0.115	0.030	0.009	0.005	0.003	0.001
Waste chemicals	7809.1	0.940	0.243	0.077	0.040	0.024	0.004
Other chemical wastes	-						
Metal waste	427971.0	51.521	13.316	4.236	2.181	1.320	0.232
Non-metallic waste	824572.6	99.266	25.655	8.162	4.202	2.543	0.447
Of which:							
Glass waste	162053.9	19.509	5.042	1.604	0.826	0.500	0.088
Paper and cardboard waste	384494.8	46.287	11.963	3.806	1.959	1.186	0.208
Plastic waste	185564.6	22.339	5.774	1.837	0.946	0.572	0.101
Wood waste	66767.6	8.038	2.077	0.661	0.340	0.206	0.036
Textile waste	25691.7	3.093	0.799	0.254	0.131	0.079	0.014
Discarded equipment	8034.0	0.967	0.250	0.080	0.041	0.025	0.004
Animal and plant waste	829288.4	99.834	25.802	8.209	4.226	2.557	0.450
Mixed waste	3240510.3	390.109	100.824	32.077	16.512	9.993	1.757
Mineral waste	13566.1	1.633	0.422	0.134	0.069	0.042	0.007

Source: authors (based on CSO, 2019 and CSO, 2020)

4. Optimisation of waste collection services

When optimising the collection (e.g. of waste or returned goods), it is first necessary to locate the service centres, and then create circular routes within which the collection points will be serviced.

Location of service centres

Location tasks can be used to determine the most appropriate location for virtually all objects in the supply chain. The goal is to determine the best possible location of facilities in order to optimize the distance and number of facilities, transportation costs, storage costs, delivery time, and resulting quality of service. Let us assume that in logistics, cost is taken into account the most and therefore equation (1) applies to calculate the cost of transportation between two points (Gros et al, 2016).

$$N_{ij} = q_{ij} \cdot d_{ij} \cdot c_{ij} \tag{1}$$

here: N_{ij} – transport costs; q_{ij} – quantity of goods transported; d_{ij} – distance travelled; c_{ij} – cost per kilometre of journey.

Specific distance calculations can be performed using the direct coordinate distance calculation method, the orthogonal distance calculation and the quadratic distance calculation.

Direct coordinate distance calculation method

To determine the direct distance between two objects where it is not necessary to take into account geographical constraints or transport infrastructure, the direct distance calculation is the most appropriate. This procedure is based on the calculation of the hypotenuse of a right triangle, since we know the difference of distances on the x and y axes. This is based on formula (2).

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \tag{2}$$

here: d_{ij} – distance, direct coordinate; x_i, y_i – coordinates of the service centre; x_j, y_j – coordinates of the points served

In case we want to calculate an estimate of the real ground distance, we need to multiply this distance by a coefficient k, the value of which depends on the straightness of the traffic routes and the infrastructure network of the studied location.

Method for calculating the distance along rectangular coordinates

As the name suggests, the method does not calculate a straight line distance but a distance subtracted from the x and y coordinates. This method is suitable for calculating distances in cities with a right-angled block layout.

$$d_{ij} = (x_i - x_j) + (y_i - y_j) \tag{3}$$

here: d_{ij} – distance, in coordinates; x_i, y_i – coordinates of the service centre; x_j, y_j – coordinates of the points served

Method of calculating the quadratic distance

The quadratic distance is useful for calculating specific cases, for example when calculating the square of the signal range.

$$d_{ij} = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \tag{4}$$

here: d_{ij} – distance, quadratic; x_i, y_i – coordinates of the service centre; x_j, y_j – coordinates of the points served

Assignment of service points

One of the basic versions of the sightseeing/hauling problem is the Traveling Salesman Problem, in which all pre-selected locations are to be visited during the route, but the distance traveled is to be minimized (Pelikan, 2001).

The specific calculations of delivery routes can be performed by the nearest neighbour method, the insertion method and the convenience number method.

Nearest neighbour method

The principle of this method is based on route construction by searching for the nearest locations that have not yet been visited. All sections included in the route must satisfy the condition that no sub-circuit is created when a section is added. The section with the lowest score that met the conditions is then added to the route (Talska, 2019).

The procedure of this method is based on the following steps:

Step 1: Selection of the starting point of the route.

Step 2: Finding the closest point (not yet visited), to the last selected one, from the distance matrix. We choose this point as the next point of the route.

Step 3: Repeat step 2 until all points of the distance matrix are visited.

Insertion method

The insertion method uses the principle of linking a start point and an end point, between which other route points are inserted in turn until the capacity of the car is filled. In this way, a closed loop between the entry and exit points can be achieved (Kochánková, 2008).

The procedure of this method is based on the following steps:

Step 1: Choosing the starting point and marking it with the number 1.

Step 2: Finding the furthest point s from point 1 and creating a closed cycle $C: 1-s-1$.

Step 3: Finding the node k not on C that is closest to the nodes in the cycle C .

Step 4: Finding the edge (i,j) that lies on cycle C for which the minimum recomputation is $d_{ik} + d_{kj} - d_{ij}$ and inserting node k between nodes i and j .

Step 5: Repeat steps 3 and 4 until cycle C contains all nodes.

The method of advantage numbers

This method is based on the calculation of "convenience" numbers for each pair of nodes in the matrix. The convenience numbers express the convenience of the connection between two vertices. The numbers are sorted in descending order to obtain the resulting route (Fábry, 2014).

The procedure of this method is based on the following steps:

Step 1: Calculation of the matrix of advantage numbers $s_{ij} = d_{i1} + d_{1j} - d_{ij}$.

Step 2: Sorting the s_{ij} numbers in descending order.

Step 3: Joining nodes i and j and others according to the ordering of s_{ij} numbers to form the resulting cycle.

Conclusions

- Reverse logistics has recently become a widespread and highly considered concept. It no longer stands only in the shadow of "classical" - "forward" logistics, but is becoming a solid and inseparable part of it, it is "one of the pillars of a successfully functioning logistics chain" (Heiserich et al., 2011).
- The paper introduces approaches to addressing reverse logistics along the value chain, which is crucial both in terms of sustainability of secondary resources and economic efficiency. The paper provides original and useful graphical representations of the views on reverse logistics.

Acknowledgement

Presented topics have support of Technology Agency of the Czech Republic (TAČR) project CK03000085 Implementation of city logistics into the process of sustainable urban mobility planning.

References

- Buscher, U., Daub, A., Götze, U., Mikus, B., Roland, F. (2008). *Produktion und Logistik. Einführung mit Fallbeispielen*. GUC Verlag Chemnitz. ISBN 978-3-934235-68-7.
- CSO – Czech Statistical office: Generation, Recovery and Disposal of Waste – 2020. Access via internet: <https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2020>
- CSO – Czech Statistical Office: Population of Municipalities – 1 January 2020. Access via internet: <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112019>
- Fábry, J. (2014). *Okružní a rozvozné úlohy*. VŠE Praha. Access via internet: <https://www.janfabry.cz/Habilitace.pdf>
- Gros, I., Barančík, I., Čujan, Z. (2016). *Velká kniha logistiky*. VŠCHT Praha. ISBN 978-80-7080-952-5
- Heiserich, O.-E., Helbig, K., Ullmann, W. (2011). *Logistik. Eine praxisorientierte Einführung*. 4. Aufgabe. Springer fachmedien Wiesbaden GmbH. ISBN978-3-8349-1852-9
- Krampe, H., Lucke, H.-J. (1993). *Grundlagen der Logistik. Einführung in Theorie und Praxi logistischer Systeme*. 2. erweiterte Aufgabe. Huss-Verlag GmbH München. ISBN 3-931724-36-0
- Kochánková, V. (2008). *Optimalizace svozu tříděného odpadu*. VŠE Praha. Access via internet: <https://vskp.vse.cz/6325>
- Koether, R. (2006). *Taschenbuch der Logistik*. Fachbuchverlag Leipzig. ISBN-10: 3-446-40670-0
- Pelikán, J. (2001). *Diskrétní modely v operačním výzkumu*. Praha: Professional Publishing. ISBN 80-86419-17-7
- Talska, R., Menafoglio, A., Hron, K., Egozcue, J.J., Palarea-Albaladejo, J. (2019). *Changing reference measure in Bayes spaces with applications to functional data analysis*. UP Olomouc. Access via internet: https://www.researchgate.net/publication/338004230_Changing_reference_measure_in_Bayes_spaces_with_applications_to_functional_data_analysis

ATVIRKŠTINĖS LOGISTIKOS MIESTUOSE APŽVALGA

Oldřich Kodým¹, Michal Turek¹, Matěj Hroudá²,
Václav Cempírek¹

¹Prerovos logistikos kolegija, Čekijos Respublika

²Ostravos technikos universitetas, Čekijos Respublika

Santrauka. Pirmoje straipsnio dalyje pateikta atvirkštinės logistikos, kuri ilgą laiką buvo mažai literatūroje nagrinėta, samprata. Kitoje dalyje daugiausia dėmesio skiriama grįžtamajai logistikai susiejant transporto paslaugų teikėją, mažmenininką ir pirkėją, kad reklamacija vyktų kuo greičiau ir galbūt sinchroniškai, t. y. prekės būtų gražinamos ir gaunamos vienu metu. Paskutiniame skyriuje aptartas atvirkštinės logistikos procesas.

Reikšminiai žodžiai: atvirkštinė logistika, transportas, optimizacija, logistikos paslaugos.

LIETUVOJE PAGAMINTŲ ELEKTRINIŲ IR HIBRIDINIŲ AUTOMOBILIŲ ANALIZĖ

Donatas Kriaučiūnas

Generolo Jono Žemaičio Lietuvos karo akademija, Šilo g. 5, LT-10322 Vilnius

Anotacija. Elektromobilių (EA) ir hibridinių automobilių (HA) skaičius rinkoje didėja. Dauguma pirmą kartą Lietuvoje registruotų HA ir EA yra nauji, kitose šalyse pagaminti automobiliai, tačiau galima rasti ir standartinių automobilių, perdarytų į EA arba Lietuvoje suprojektuotų ir pagamintų prototipų. Šio darbo tikslas ir yra išanalizuoti Lietuvoje pagamintus EA ir HA, nustatyti, kuris iš jų galėtų būti geriausiai pritaikomas, ir palyginti šio automobilio dinamines savybes su rinkoje esančiais standartiniais, vidaus degimo variklį turinčiais analogais. Pasirinktas OSTARA inžinierių suprojektuotas ir pagamintas hibridinis visureigis KRAMPUS ir analogai MERCEDES-BENZ GD 290 ir HMMWV. Atlikus analizę ir palyginus automobilius nustatyta, kad KRAMPUS visureigio elektros variklis užtikrina traukos, dinamiškumo ir įsibėgėjimo pagreičio rodiklius, kuriems neprilygsta analogai su vidaus degimo varikliu.

Reikšminiai žodžiai: hibridinis automobilis, elektrinis automobilis, dinaminės savybės, vidaus degimo variklis, traukos jėga.

Įvadas

Elektromobilių ir hibridinių automobilių naudojimas padeda sumažinti transporto sektoriuje susidarantių šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) kiekį. Eksploatuojant elektrinį automobilį atsisakoma iškastinės kilmės degalų, nebelineka degimo proceso ir, jei elektros energija baterijai įkrauti generuojama alternatyviais būdais, transporto priemonę galima priskirti prie nulinės emisijos automobilių. Hibridinių automobilių poveikis mažesnis, tačiau derinant vidaus degimo variklį ir elektros variklį bei bateriją sumažinamos degalų sąnaudos ir kenksmingų išmetamųjų dujų kiekis, padidinamas nuvažiuojamas atstumas ir sumažinama priklausomybė nuo įkrovimo stotelių.

Elektromobilių ir hibridinių automobilių skaičius Lietuvoje didėja lėtai, valstybės įmonės REGITRA duomenimis, Lietuvoje 2023 metais įregistruota 93120 lengvųjų automobilių, iš kurių tik 3508 elektromobiliai ir 18316 hibridinių automobilių (Oficialiosios statistikos portalas, 2023). Elektromobiliai sudaro tik 3,77 %. To nepakanka norint sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį. Be to, elektromobilio gamybos metu išskiriama apie 43 % daugiau anglies dioksido ekvivalento (CO_{2e}) nei gaminant automobilį su vidaus degimo varikliu (Argonne National Laboratory, 2023). Hibridiniai automobiliai sudaro net 20 % naujų ir pirmą kartą Lietuvoje registruotų lengvųjų automobilių ir tai galėtų būti vienas iš potencialių sprendimų norint sumažinti ŠESD kiekį.

Vertinant elektrinę pavarą turinčius automobilius, elektrinius ar hibridinius, galima išskirti dar vieną privalumą – didelį sukimo momentą, kuris sukuriama jau nuo pirmos elektros variklio apsukos, be to, transmisijoje nebūtina įrengti sankabą ar pavaras taip supaprastinant automobilio konstrukciją. Tokia komponuotė užtikrina tinkamas lengvojo automobilio arba visureigio traukos ir dinamines savybes.

Elektrinių ir hibridinių automobilių Lietuvoje kasmet daugėja, šie automobiliai prisideda prie ŠESD kiekio mažinimo ir išsiskiria iš kitų dideliu sukimo momentu. Matydami šį potencialą Lietuvos inžinieriai taip pat kuria EA ir HA prototipus. Nors šie automobiliai prisideda prie ŠESD kiekio mažinimo, trūksta informacijos apie tokių transporto priemonių

dinaminius parametrus ir jų palyginimą su rinkoje parduodamais analogais, turinčiais vidaus degimo variklius.

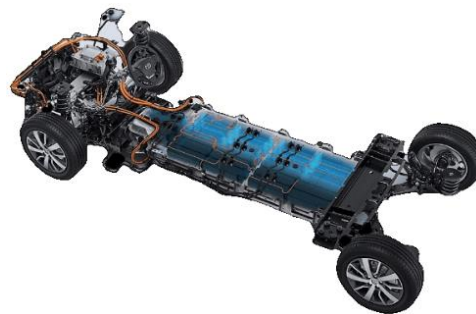
Darbo tikslas – surinkti duomenis apie Lietuvoje pagamintus EA arba HA ir atlikti dinaminių savybių lyginamąją analizę su rinkoje parduodamais, vidaus degimo variklį turinčiais analogais.

Uždaviniai:

1. Atlikti Lietuvoje pagamintų EA ir HA apžvalgą.
2. Išrinkti geriausiai pritaikytą transporto priemonę ir apžvelgti analogus su vidaus degimo varikliais.
3. Palyginti EA ar HA ir automobilio su vidaus degimo varikliu dinamines savybes.

1. Lietuvoje pagamintų elektrinių ir hibridinių automobilių apžvalga

Mažinant naujo automobilio gamybos išteklius pristatomi EA arba HA, sukurti naudojant standartinį automobilį, iš kurio pašalinami vidaus degimo varikliai, o esama transmisija suderinama su elektros varikliu. Tokie komponuotė puikiai tinkamas mikroautobusas. Dėl neišnaudotos erdvės po automobiliu (čia dažniausiai būna degalų bakas) galima sumontuoti didelės talpos bateriją. Pavyzdžiui, parduodamas TOYOTA PROACE elektromobilis (1 pav.).



1 pav. TOYOTA PROACE elektromobilio komponentų išdėstymas
Šaltinis: (Toyota IE, 2023)

50 kWh arba 75 kWh talpos baterijos įmontuojamos po automobilio dugnu. Panašų sprendimą 2012 metais pasiūlė

Lietuvos bendrovės TRANSMITTO ir ELINTA. Jos pristatė EA IVECO DAILY. Tai buvo perdarytas standartinis mikroautobusas, turintis elektros variklį ir pagrindinius EA komponentus. Į automobilį įmontuota 29 kWh arba 58 kWh baterija ir 78 kW galios elektrinis variklis. Nuvažiuojamas atstumas, kai baterija 58 kWh – apie 200 km, o maksimalus greitis – 70 km/h (Gazas.lt, 2012).

Kitas Lietuvoje surinktas elektrinis mikroautobusas, pristatytas 2022 metais, yra pagamintas ALTAS AUTO įmonėje. Šių elektrinių mikroautobusų pagrindą sudaro MERCEDES-BENZ SPRINTER automobiliai. Parduodamos trys skirtingos mikroautobuso variacijos, tačiau komponentai tie patys. Naudojami ELINTA MOTORS asinchroniniai elektros varikliai, kurių maksimali galia – 150 kW, sukimo momentas – net 1250 Nm, 100 km atstumui nuvažiuoti sunaudojama apie 39 kWh energijos iš 115 kWh talpos baterijos. Vienu įkrovimu nuvažiuojamas atstumas – 240 km (Bidva, 2023).

M3 klasės elektrinį autobusą 2021 metais Lietuvoje pagamino ir užregistravo UAB ELEKTRINIO TRANSPORTO SISTEMOS. Tai 34 sėdimų ir 56 stovimų vietų miesto autobusas, gaminamas su trimis skirtingomis baterijomis. Pati mažiausia yra 76 kWh talpos, tačiau įkrovimo laikas tik 8 minutės (įkraunant 500 kW galingumu), vidutinė – 400 kWh talpos ir didžiausia baterija – 533 kWh talpos. Autobusas 100 kilometrų nuvažiuoti sunaudoja 91,1 kWh energijos, o su didžiausia baterija vienu įkrovimu – apie 530 km. Maksimalus greitis 85 – km/h, tačiau apribotas iki 80 km/h (Vėjo projektai, 2022).

Lengvuosius automobilius, kaip ir mikroautobusus ar furgonus, galima perdaryti, tačiau susiduriama su problema – visos reikiamos įrangos bei baterijų išdėstymu pasirinkto automobilio kėbule. Dar 2010 metais Mindaugas Milasauskas perdarė turimą HONDA HR-V į elektromobilį. Automobilyje sumontuota baterija, 2,3 kWh galingumu įkraunama per 8 valandas, o vienu įkrovimu elektromobilis gali nuvažiuoti 70 km, maksimalus greitis – 160 km/h (Milasauskas, 2010). Tais pačiais metais, panaudojus automobilį FORD CONNECT, buvo sukurtas elektromobilis JONELIS (2 pav.).



2 pav. Elektromobilis JONELIS
Šaltinis: (Automanas.lt, 2010)

Elektromobilyje prie standartinės FORD pavarų dėžės pritvirtintas 50 kW galios elektros variklis. Tokia komponuotė leidžia rinktis mažesnės galios elektros variklį ir užtikrina didesnį maksimalų greitį. Elektromobilis, į kurį įmontuota 14,4 kWh talpos baterija, vienu įkrovimu gali nuvažiuoti apie 80 km (Automanas.lt, 2010).

Nors dauguma automobilių perdaroma į elektrinius ar hibridinius, VILNIUS TECH mokslininkai ir studentai 2012 metais suprojektavo ir pagamino elektrinį automobilį (3 pav.).



3 pav. VILNIUS TECH elektromobilis
Šaltinis: (Valius Venckūnas, 2012)

Automobilio rėmą sudaro vamzdelinė konstrukcija, baterijos sumontuotos automobilio gale, o elektros variklis priekyje, taip tolygiai paskirstant automobilio svorį. Elektros variklio galia – 32,3 kW, nuo nulio iki 100 km/h greičio EA įsibėgėja per 6 sekundes, maksimalus greitis – 130 km/h, o vienu įkrovimu elektromobilis gali nuvažiuoti apie 50 km (Valius Venckūnas, 2012).

Kauno technikos kolegijos dėstytojai ir studentai 2019 metais pristatė perdarytą MAZDA RX-8 automobilį. Elektromobilyje sumontuota NISSAN LEAF baterija, padalyta į dvi dalis. Viena baterijos dalis įkomponuota variklio skyriuje, kita – automobilio galinėje dalyje. Elektros variklio galia – 130 kW, o sukimo momentas – 900 Nm (Gazas.lt, 2019).

Elektrinis automobilis išlieka priklausomas nuo įkrovimo stotelių, tai riboja automobilio pritaikomumą. Karinis transportas negali būti apribotas nuvažiuojamu atstumu, todėl įmonės OSTARA inžinieriai suprojektavo ir 2022 metais pagamino karinį hibridinį visureigį KRAMPUS (4 pav.).



4 pav. Karinis hibridinis visureigis KRAMPUS
Šaltinis: (Lrytas.lt, 2022)

Elektros variklis komponuojamas su dyzeliniu varikliu, todėl automobilis gali važiuoti ir kai baterija išsikrovusi – elektros energija generuojama dyzelinio variklio, sujungto su generatoriumi. Visureigyje sumontuota 39 kWh talpos baterija, vienu įkrovimu HA gali nuvažiuoti 200 km. Hibridiniu režimu visureigis gali nuvažiuoti dar apie 800 km. Elektros variklių galia – 130 kW, o maksimalus sukimo momentas – 400 Nm, maksimalus greitis – 120 km/h (Ostara, 2023).

2. Hibridinio ir standartinio automobilio dinaminė savybių analizė

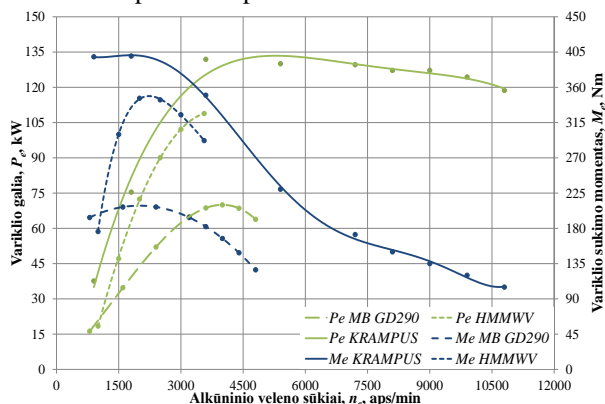
Apžvelgus Lietuvoje suprojektuotus ir pagamintus arba perdarytus elektromobilius ir hibridinius automobilius galima teigti, kad geriausiai pritaikytas ir ilgiausią atstumą nuvažiuoja KRAMPUS visureigis. Kiti elektromobiliai pagaminti 2010–2012 metais naudojant pasenusias technologijas. Į 2019 metais perdarytą elektromobilį MAZDA RX-8 įmontuotos pirmos kartos NISSAN LEAF baterijos. Nors ALTAS AUTO mikroautobusai ir UAB ELEKTRINIO TRANSPORTO SISTEMOS autobusas jau parduodami rinkoje, tačiau nėra poreikio tirti šių transporto priemonių dinamikos. Komercinio transporto maksimalus greitis ribojamas, o paskirtis – vežti keleivius.

Analizuojant karinio transporto parką Lietuvoje ir ieškant analogo visureigiui KRAMPUS galima išskirti kelis variantus:

- Šarvuotas visureigis JLTV (angl. *Joint Light Tactical Vehicle*).
- Bendros paskirties visureigis HMMWV (angl. *High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle*).
- Visureigis MERCEDES-BENZ GD 290.

Palyginti su KRAMPUS šie automobiliai yra sunkesni, o JLTV masė be krovinių – net 10 tonų (Oshkosh Defense, 2023), HMMWV – apie 2,5 tonos (svoris priklauso nuo komplektacijos), o KRAMPUS didžiausia leistina masė – 2,5 tonos. Todėl analizei pasirinkta HMMWV ir MERCEDES-BENZ GD 290.

HMMWV naudojami V8 dyzeliniai 6,2 litro darbinio tūrio varikliai, kurių maksimali galia – 109 kW, o sukimo momentas – 346 Nm (Automobile catalog, 2023a). MERCEDES-BENZ GD 290 naudojami 2,9 litro darbinio tūrio, 5 cilindrų varikliai, kurių maksimali galia – 70 kW, o sukimo momentas – 192 Nm (Automobile catalog, 2023b). Šių variklių išorinės greitinės charakteristikos ir KRAMPUS visureigio elektros variklių charakteristika pateikta 5 paveiksle.



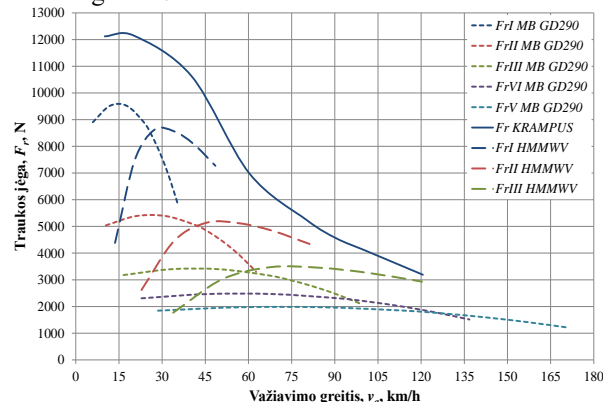
5 pav. Visureigių išorinės greitinės charakteristikos
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Remiantis *Automobile-catalog.com* duomenų bazės duomenimis sudarytos MERCEDES-BENZ ir HMMWV išorinės greitinės charakteristikos. Tokių duomenų apie KRAMPUS visureigį neatskleidžiama, tačiau gamintojai nurodo

pavarų perdavimo skaičių, ratų dydį, maksimalų greitį, galingumą ir sukimo momentą. Pagal tai nustatyti maksimalūs elektros variklio sūkliai ir apskaičiuota galingumo ir sukimo momento priklausomybė nuo variklio sūklių.

5 paveiksle matoma, kad didžiausias galingumas ir sukimo momentas sukuriama elektrinio KRAMPUS variklio, o sūklių diapazonas daugiau nei 2 kartus didesnis už MERCEDES-BENZ ir daugiau nei 3 kartus už HMMWV. Kai toks didelis sūklių diapazonas, KRAMPUS visureigis galėtų pasiekti didesni maksimalų greitį, tačiau šiuo atveju jį riboja pavarų skaičius, nes KRAMPUS visureigyje yra tik viena pvara.

6 paveiksle pavaizduota visureigių traukos jėgos, perduodamos į varančiuosius ratus, priklausomybė nuo važiavimo greičio.

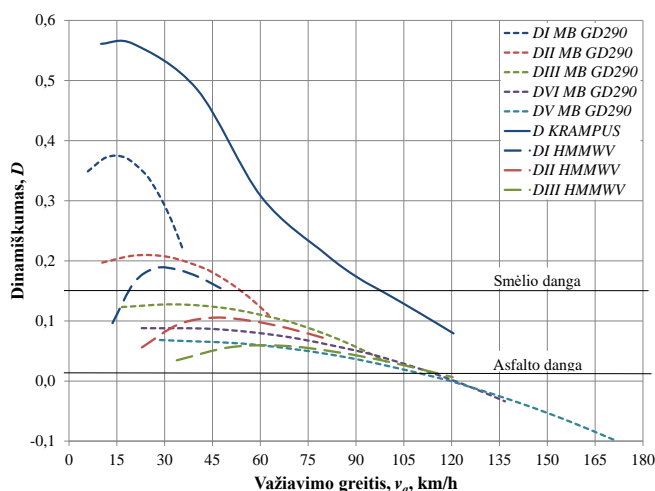


6 pav. Visureigių traukos jėgos priklausomybė nuo važiavimo greičio

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Išanalizavus traukos jėgos priklausomybę nuo važiavimo greičio, galima teigti, kad skirtingu greičiu važiuojančio KRAMPUS visureigio generuojama didesnė traukos jėga nei kitų dviejų visureigių. 20 km/h greičiu važiuojančio KRAMPUS visureigio perduodama traukos jėga į ratus yra apie 29 % didesnė nei MERCEDES-BENZ ir apie 35 % didesnė nei HMMWV. Padidinus greitį iki 60 km/h visureigio KRAMPUS traukos jėga sumažėja iki 7000 N, tačiau vis tiek yra apie 33 % didesnė nei antra pvara važiuojančio HMMWV ir apie 68 % didesnė nei trečia pvara važiuojančio MERCEDES-BENZ. Padidinus greitį iki 90 km/h visureigio KRAMPUS traukos jėga sumažėja iki 4556 N, tačiau vis tiek yra apie 32 % didesnė nei trečia pvara važiuojančio HMMWV ir apie 60 % didesnė nei trečia arba ketvirta pvara važiuojančio MERCEDES-BENZ. Nors HMMWV turi tik tris pavaras, 6,2 l darbinio tūrio dyzelinis variklis išsiskiria dideliu sukimo momentu, beveik 2 kartus didesniu nei MERCEDES-BENZ, ir sukuriama traukos jėga lenkia penkis pavaras turintį ir geriau išnaudoti variklio sukimo momentą galintį MERCEDES-BENZ.

Vertinant automobilius pagal dinamiškumą – laisvos traukos jėgos, tenkančios svorio jėgos vienetui dydį, sudaryta dinamiškumo priklausomybė nuo važiavimo greičio, kai visureigiai sukomplektuoti iki didžiausios leistinos masės (7 pav.).

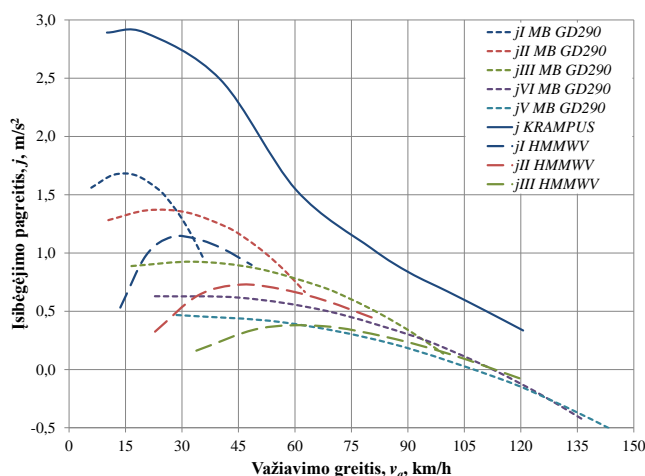


7 pav. Visureigių dinamiškumo priklausomybė nuo važiavimo greičio

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Išanalizavus dinamiškumo priklausomybės nuo važiavimo greičio grafiką galima teigti, kad skirtingu greičiu važiuojantis KRAMPUS hibridinis visureigis yra dinamiškesnis už MERCEDES-BENZ ir HMMWV. Nubrėžus horizontalias linijas, žyminčias riedėjimo pasipriešinimą asfalto ir smėlio dangoms, galima nustatyti visureigių maksimalų greitį, apribotą riedėjimo pasipriešinimu. Kadangi važiavimo greitis neviršija 120 km/h, oro pasipriešinimas nevertinamas. Asfalto danga važiuojančio KRAMPUS visureigio maksimalus greitis yra 120 km/h, HMMWV ir MERCEDES-BENZ – 110 km/h. Per smėlį važiuojančio KRAMPUS visureigio maksimalus greitis sumažėja iki 95 km/h, tai užtikrina didelis elektros variklių sukimo momentas – 400 Nm ir nedidelis automobilio svoris. Per smėlį važiuojančio HMMWV greitis sumažėja iki 48 km/h, tai lemia didelis automobilio svoris – didžiausia leistina masė net 4,6 tonos. Smėlio danga važiuojančio MERCEDES-BENZ maksimalus greitis sumažėja iki 53 km/h. Nors MERCEDES-BENZ variklio sukimo momentas mažiausias iš visų trijų analizuojamų visureigių, tačiau didžiausia leistina masė tik 2,6 tonos.

Paskutinis parametras palyginimui – visureigių, sukomplektuotų iki maksimalios leistinos masės, įsibėgėjimo pagreitis (8 pav.). Apie 15 km/h važiuojantis KRAMPUS visureigis gali pasiekti $2,89 \text{ m/s}^2$ įsibėgėjimo pagreitį. Nors MERCEDES-BENZ maksimali traukos jėga yra tik apie 10 % didesnė nei HMMWV, dėl mažesnio svorio ir didesnio pavarų skaičiaus maksimalus įsibėgėjimo pagreitis yra net 37 % didesnis.



8 pav. Visureigių įsibėgėjimo pagreitis priklausomybė nuo važiavimo greičio

Šaltinis: sudaryta autoriaus

8 paveiksle matoma, kad tik tris pavarus turintis HMMWV praranda pagreitį perjungiant pavarą. Pirmą pavarą maksimaliu greičiu važiuojančio automobilio pagreitis yra apie 25 % mažesnis nei antra pavarą maksimaliu greičiu važiuojančio automobilio. Tačiau MERCEDES-BENZ pagreitis kreivės susikerta ir tai rodo, kad pagreitis, perjungiant pavarą, nesumažės. Ši prielaida neįvertina laiko, sugaišto pavarai perjungti, tačiau nurodo, kad MERCEDES-BENZ važiuos komfortiškiau ir greičiau įsibėgės.

Išvados

1. Lietuvoje nuo 2010 metų standartiniai automobiliai komplektuojami su elektros pavara ir baterijomis, tačiau tokių suprojektuotų ir pagamintų automobilių yra tik keletas: VILNIUS TECH elektromobilis, OSTARA KRAMPUS visureigis ir UAB ELEKTRINIO TRANSPORTO SISTEMOS autobusas.
2. Iš visų apžvelgtų HA ir EA geriausiai pritaikytas hibridinis visureigis KRAMPUS. Jis pagamintas naudojant šiuolaikinius komponentus, o hibridinė komponuotė užtikrina didžiausią nuvažiuojamą atstumą – 800 km. Analogai – MERCEDES-BENZ GD 290 ir HMMWV.
3. Palyginus tris automobilius paaikšėjo, kad KRAMPUS visureigis pranoksta pasirinktus analogus. Važiudamas skirtingu greičiu tiek asfaltu, tiek smėlio danga, jis sukuria didesnę traukos jėgą, užtikrina geresnes dinamines savybes, pasiekia didesnę įsibėgėjimo pagreitį.

Literatūra

Argonne National Laboratory. (2023, rugsėjo 25). *Comparative life-cycle greenhouse gas emissions of a mid-size BEV and ICE vehicle*. IEA. Prieiga per internetą: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/comparative-life-cycle-greenhouse-gas-emissions-of-a-mid-size-bev-and-ice-vehicle>>.

Automanas.lt. (2010, spalio 6). „JonElis“ – verslo projektas, mokslinis darbas ar automano hobis? | *Elektronika.lt*. Prieiga per internetą:

<<http://www.elektronika.lt/straipsniai/elektronika/25552/jonelis-verslo-projektas-mokslinis-darbas-ar-automano-hobis/>>.

Automobile catalog. (2023a, rugsėjo 28). *Specs 1992 Hummer H1 4-Door Hard-Top 6.2L V8 Diesel (aut. 3)*. Prieiga per internetą: <<https://www.automobile-catalog.com/>>.

Automobile catalog. (2023b, rugsėjo 28). *Specs 1995 Mercedes-Benz 290 GD Station Wagon swb (man. 5)*. Prieiga per internetą: <<https://www.automobile-catalog.com/>>.

Bidva, Ž. (2023, birželio 15). *Altas Novus Ecoline. Altas Auto*. Prieiga per internetą: <<https://altasauto.com/altas-novus-ecoline/>>.

Gazas.lt. (2012, gegužės 22). *Pirmasis Lietuvoje pagamintas elektra varomas furgonas. Gazas.lt*. Prieiga per internetą: <<https://www.15min.lt/gazas/naujiena/zalias/pirmasis-lietuvoje-pagamintas-elektra-varomas-furgonas-332-220484>>.

Gazas.lt. (2019, liepos 19). *Studentų rankomis sukurtas elektromobilis – jau eisme. 15min.lt/verslas*. Prieiga per internetą: <https://www.15min.lt/verslas/naujiena/autorinka/studentu-rankomis-sukurtas-elektromobilis-jau-eisme-1636-117640#_>.

Lrytas.lt. (2022, vasario 21). *Lietuvių kuriamo karinio visureigio „Krampus“ progresas: Kitas žingsnis – autonomija*. Prieiga per internetą: <<https://www.lrytas.lt/it/ismanyk/2022/02/21/news/lietuviu-kuriamo-karinio-visureigio-krampus-progresas-kitas-zingsnis-autonomija-22446937>>.

Milasauskas, M. (2010, spalio 19). *3E - Electric HR-V: 3E is Street Legal! 3E - Electric HR-V*. Prieiga per internetą: <<http://hr-ev.blogspot.com/2010/10/3e-is-street-legal.html>>.

Oficialiosios statistikos portalas. (2023, rugsėjo 25). *Rodiklių duomenų bazė*. Prieiga per internetą: <<https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=3fbce17f-da54-432e-8d6e-0343f067891a#/>>.

Oshkosh Defense. (2023, rugsėjo 28). *Joint Light Tactical Vehicle | JLTV. Oshkosh Defense*. Prieiga per internetą: <<https://oshkoshdefense.com/vehicles/light-tactical-vehicles/jltv/>>

Ostara. (2023). *Krampus Mk1*. Krampus - Ostaralab.Com. Prieiga per internetą: <<https://ostaralab.com/krampus-mk1/>>.

Toyota IE. (2023, rugsėjo 26). *Proace Electric | Learn more | Toyota Ireland. Toyota IE*. Prieiga per internetą: <<https://www.toyotakilbarrack.ie/models/proace-ev/>>.

Valius Venckūnas. (2012, rugsėjo 30). *VGTU kurtas elektromobilis iš arčiau. Bernardinai.lt*. Prieiga per internetą: <<https://www.bernardinai.lt/2012-09-30-vgtu-kurtas-elektromobilis-is-arciau/>>.

Vėjo projektai. (2022). *Technical specifications. DANCER Bus*. Prieiga per internetą: <<https://dancerbus.com/technical-specifications/>>.

ANALYSIS OF ELECTRIC AND HYBRID CARS PRODUCED IN LITHUANIA

Donatas Kriaučiūnas

General Jonas Žemaitis Military Academy of Lithuania

Summary. The number of electric cars (EV) and hybrid cars (HV) on the market is increasing. Some of the HV and EV cars registered for the first time in Lithuania are new cars manufactured in other countries, while others are standard cars that have been converted to EVs or prototypes designed and built in Lithuania. The aim of this paper is to analyze the EVs and HVs produced in Lithuania, determine which of them could have the highest adaptability, and compare the dynamic characteristics of these cars with their standard internal combustion engine counterparts on the market. The hybrid SUV KRAMPUS, designed and built by OSTARA engineers, has been chosen for comparison. The analogues for comparison are MERCEDES-BENZ GD 290 and HMMWV. The comparison and analysis showed that the electric motor characteristics of the KRAMPUS SUV provided traction, dynamic performance, and acceleration values that were unmatched by its internal combustion engine counterparts.

Key words: hybrid car, electric car, dynamic performance, internal combustion engine, traction force.

BAIGTINIO ELEMENTO DYDŽIO ĮTAKA AUTOMOBILIO VAŽIUOKLĖS SVIRTIES ĮTEMPIAMS

Aleksandr Vika¹, Jelena Selivonec^{1,2}

¹Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

²Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius

Anotacija. Baigtinių elementų metodas naudojamas sudėtingoms inžinerinėms problemoms spręsti. Baigtinių elementų dydis turi įtakos tikslumui, skaičiavimo laikui ir kompiuteriniams ištekliams. Automobilio važiuoklės svirties analizėje svarbus įtempių pasiskirstymas ir galimybė užfiksuoti įtempių koncentracijos sritis. Siekiant tikslumo ir skaičiavimo efektyvumo baigtinių elementų dydį reikia rinktis, atsižvelgiant į minėtus veiksnius. Šiame darbe modelis suskaidytas tetraedro formos tūriniais elementais. Buvo naudojami skirtingo dydžio baigtiniai elementai, sugeneruoti *SolidWorks* programa. Sukurtas automobilio važiuoklės svirties skaičiuojamasis modelis, palyginti automobilio važiuoklės svirties įtempiai, kai skiriasi baigtinių elementų skaičius ir dydis. Baigtinių elementų skaičius važiuoklės svirties modelyje veikia didėjančius maksimalius įtempius ir mažina saugos koeficientą. Didinant baigtinių elementų skaičių nuo tam tikros reikšmės maksimalių įtempių ir saugos koeficiento reikšmės kinta asimptotiškai. Skaičiuojant mūsų pasirinktos svirties stiprumą, svarbu pasirinkti ne mažiau kaip 10000 baigtinių elementų. Be to, baigtinių elementų briauna neturi būti ilgesnė kaip 8 mm.

Reikšminiai žodžiai: važiuoklės svirtis, įtempių pasiskirstymas, atsargos koeficientas, BEM.

Įvadas

Baigtinių elementų metodas (BEM) yra skaitmeninė technika, naudojama sudėtingoms inžinerinėms problemoms spręsti. Šis metodas tapo esminiu šiuolaikinės inžinerijos įrankiu, ypač projektuojant ir analizuojant mechanines konstrukcijas, sudarytas iš pavienių elementų. Tačiau BEM sprendimo tikslumas priklauso nuo analizėje naudojamo baigtinio elemento dydžio.

Baigtinių elementų dydis lemia BEM sprendimo tikslumą. Kuo mažesnis elementas, tuo tikslesni rezultatai. Tačiau mažesniame elementui reikia tankesnio tinklėlio, o tai pailgina skaičiavimo laiką, reikia daugiau kompiuterinių išteklių. Vadinas, labai svarbu rasti tinkamą tikslumo ir skaičiavimo efektyvumo pusiausvyrą.

Analizuojant automobilio važiuoklės svirtį BEM, įtempių pasiskirstymas yra svarbiausias veiksnys, lemiantis svirties konstrukcinį vientisumą ir jos veikimą, kai apkrovos skirtingos. Vadinas, labai svarbu užtikrinti, kad įtempių pasiskirstymas būtų kuo tiksliau įvertintas.

Baigtinių elementų dydis veikia automobilio važiuoklės svirties įtempių pasiskirstymą. Dėl didesnio elemento gali sumažėti įtempių pasiskirstymo įvertinimo tikslumas, dėl šios priežasties gali būti netiksliai įvertintas įtempių pasiskirstymas, taip pat svirties stiprumas. Kita vertus, mažesnis elementas gali užtikrinti tikslesnį įtempių pasiskirstymą ir išsamesnę informaciją.

Baigtinių elementų dydis turi įtakos gebėjimui užfiksuoti įtempių koncentracijos sritis, t. y. yra vietas, kuriose įtempis yra gerokai didesnis nei vidutinis konstrukcijos elemente. Šių sričių atsiradimo priežastis – geometriniai netolygumai, medžiagų defektai ar pakitusios apkrovos sąlygos. Jei įtempių koncentracijos sritis nėra tiksliai nustatyta, gali būti neteisingai prognozuojamas gedimas ir pažeistas svirties struktūrinis vientisumas.

Baigtinių elementų dydis turi įtakos gebėjimui užfiksuoti vietinius įtempių gradientus, t. y. sritis, kuriose įtempių lygis greitai kinta, pavyzdžiui, skylių, kampų ar detalės galai. Jei konstrukcijos elemento geometrinės formos pokyčiai nėra tiksliai įvertinti, gali būti neteisingai nustatytas svirties stiprumas ir naudojimo laikas.

Apibendrinant galima pasakyti, kad baigtinių elementų dydis turi didelę įtaką automobilio važiuoklės svirties įtempiams. Mažesnis elementas gali užtikrinti tikslesnį įtempių pasiskirstymą, tik reikia atlikti daugiau skaičiavimų. Kita vertus, dėl didesnio elemento gali būti netiksliai įvertinta įtempių koncentracija ir pasiskirstymas. Todėl, analizuojant automobilio važiuoklės svirtį BEM, būtina rasti tinkamą pusiausvyrą tarp tikslumo ir skaičiavimo efektyvumo. Be to, optimalus baigtinių elementų dydis turėtų būti nustatytas remiantis konkrečios analizės reikalavimais ir turimais skaičiavimo ištekliais.

Tyrimo objektas – automobilio važiuoklės svirtis.

Darbo tikslas – nustatyti baigtinio elemento dydžio įtaką automobilio važiuoklės svirties įtempiams.

Šiam tikslui pasiekti buvo iškelti tokie uždaviniai:

Sukurti automobilio važiuoklės svirties skaičiuojamąjį modelį.

Palyginti automobilio važiuoklės svirties įtempių pasiskirstymą, kai baigtiniai elementai skirtingo dydžio.

Palyginti automobilio važiuoklės svirties įtempių pasiskirstymą, kai baigtinių elementų skirtingas kiekis.

Tyrimo metodika. Darbe taikomas baigtinių elementų metodas.

1. Literatūros apžvalga

Įtempių pasiskirstymo tyrimas labai svarbus vertinant konstrukcijų elementų stiprumą, nes padeda nustatyti kritines sritis su dideliais įtempiais. Įtempių pasiskirstymo analizė taip pat suteikia galimybę projektuotojams optimizuoti detalių matmenis ir medžiagas, kad būtų garantuotas stiprumas ir

ilgaamžiškumas. Be to, gali padėti numatyti detalės eksploatacijos laiką ir nustatyti techninės priežiūros grafikus. Norint užtikrinti saugų ir patikimą mechaninių sistemų veikimą, būtina išsami įtempių pasiskirstymo analizė.

Baigtinių elementų metodas dažnai naudojamas įtempiams konstrukcijų elementuose tirti. Tačiau taikant BEM gautų rezultatų tikslumas labai priklauso nuo analizėje naudojamų baigtinių elementų dydžio. Netinkamas baigtinių elementų dydis gali lemti klaidingas įtempių prognozes, dėl kurių gali būti padarytos neteisingos išvados apie konstrukcinio elemento stiprumą ir saugumą. Todėl norint užtikrinti tikslus ir patikimus rezultatus, būtina iširti, kaip baigtinių elementų dydis veikia įtempių pasiskirstymą konstrukciniuose elementuose.

Straipsnyje (Voigt et al., 2019) aptariamas išteklius tausojančios elektrinės miesto transporto priemonės kūrimas Europos mokslinių tyrimų projekte „Urban EV“. Suprojektuota lengva transporto priemonės kėbulo konstrukcija iš aliuminio profilių ir magnio lydinio mazginių elementų, sujungtų naudojant EMPT užspaudimą. Straipsnyje pagrindinis dėmesys skiriamas transporto priemonės patvarumui.

Darbe (Petraconi et al., 2010) aptariamas laboratorinių bandymų ir skaičiavimo metodikų naudojimas automobilių komponentų nuovargio laikui nustatyti. Autoriai palygino eksperimentinius duomenis, gautus imituojant realias sąlygas, su rezultatais, gautais atlikus skaitinę analizę nuovargio programine įranga. Straipsnyje pabrėžiama, kaip svarbu tiksliai numatyti gaminamo automobilio detalių eksploatacines savybes, ypač jų nuovargio trukmę. Fizinių testų ir skaitmeninių modelių derinys, pasirinkus reikiamą programinę įrangą, gali sumažinti eksperimentinių bandymų kieki.

Straipsnyje (Luque et al., 2012) pateikiama lenktyninio automobilio „Copa de España de vehículos CM“ plieno vamzdinės važiuoklės projekto optimizavimo metodika. Atlikta transporto priemonės dinaminės charakteristikos analizė, naudojant baigtinių elementų metodus, važiuoklės modifikacija pasirinkus pagrindinę statinę apkrovą ir tarpinį prototipą bandymams realiomis lauko sąlygomis. Tyrimas rodo, kad optimizuojant važiuoklės elementų konfigūraciją galima pasiekti 300 % didesnę standumą, padidinus svorį tik 5 %.

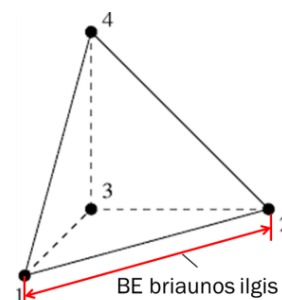
Darbe (Gu, 2017) pristatomas baigtinių elementų metodas, naudojamas mechaninio projektavimo ir kitose srityse. Atlikus tyrimus apibendrinamas BEM pritaikymas automobilių komponentuose, tokiuose kaip ratai, lingės, kėbulo rėmai ir veleno dalys. Automobilių dalių projekto parengimas ir gamyba yra labai svarbus procesas, užtikrinant automobilių saugą, mažinant konstrukcijos svorį, energijos sąnaudas ir gerinant konstrukcijų saugumą avarijų metu. BEM galima projektuoti transmisijos korpusą, pakabos sistemą, stabdžių sistemą, ratus ir kitas automobilių dalis bei analizuoti jų stiprumą ir standumą, sumažinti skaičiavimo klaidas ir pagerinti projektavimo efektyvumą. BEM įdiegtas virtualus modeliavimas sumažina bandymo išlaidas ir sutrumpina gamybos laiką.

Straipsnyje (Ary et al., 2020) aptariama važiuoklės, kaip svarbios transporto priemonės dalies, svarba ir numatoma būtinybė tęsti tyrimus, kad, įvertinus gautus duomenis, būtų galima detalę patobulinti. Tyrime vertinama energiją taupančių

transporto priemonių važiuoklė, nagrinėjamas važiuoklės storio svyravimų, skirtingų medžiagų ir jėgos įtaka. Rezultatai rodo, kad plonesnė detalė silpnesnė, o kai kuriais atvejais pastebimi įrašų pasiskirstymo pokyčiai. Darbe taip pat pabrėžiama transporto svarba ir iššūkiai kuriant tobulų mechaninių savybių ir mažo svorio automobilių transporto priemones. Straipsnyje siekiama išanalizuoti važiuoklės ypatybes, atsižvelgiant į medžiagos storio ir tipo pokyčius, kad gautų tyrimų pagrindu būtų galima tobulinti važiuoklę.

2. Skaičiuojamasis modelis

Erdvinis svirties modelis buvo suskaidytas tetraedro formos tūriniais elementais (1 pav.). Kiekvienas mazgas turi tris poslinkių komponentes (Barauskas ir kiti, 2004).



1 pav. Baigtinis elementas: tetraedras
Šaltinis: sudaryta autorių

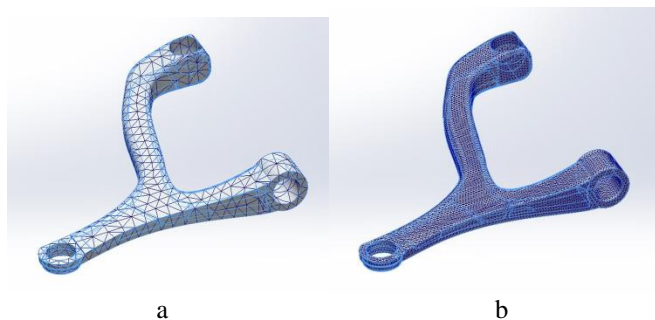
Darbe buvo naudojami įvairių dydžių baigtiniai elementai (BE), sugeneruoti pagal *SolidWorks* algoritmą (Solidworks, 2023). Pirmoje lentelėje pateikti tetraedro briaunos ilgio intervalai.

1 lentelė. Baigtinio elemento briaunos ilgis (mm)

	max	min
1	17	0,85
2	14	0,7
3	11	0,55
4	8	0,4
5	5	0,25
6	4	0,2

Šaltinis: sudaryta autorių

Svirtį, suskirstytą baigtiniais elementais, kurių briauna ilgiausia, galima matyti 2a paveiksle. Akivaizdu, kad BE kiekis čia yra mažesnis nei svirties, kurios briauna trumpiausia (2b pav.).



2 pav. Automobilio važiuoklės svirties modelis, suskirstytas baigtiniais elementais: a) su ilgiausia briauna; b) su trumpiausia briauna (žr. 1 lentelę)
Šaltinis: sudaryta autorių

Automobilio važiuoklės svirties įtempiams apskaičiuoti reikėjo parinkti kraštinę ir apkrovas. Tai buvo padaryta pagal pateiktas formules. Lėtėjimo pagreitis buvo skaičiuojamas pagal (1) ir (2) formules:

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2 \cdot a}, \quad (1)$$

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2 \cdot s} \quad (2)$$

čia: s – automobilio stabdymo kelias, m; v_0 – automobilio pradinis greitis, m/s; v – automobilio greitis po stabdymo, m/s; a – automobilio lėtėjimo pagreitis, m/s².

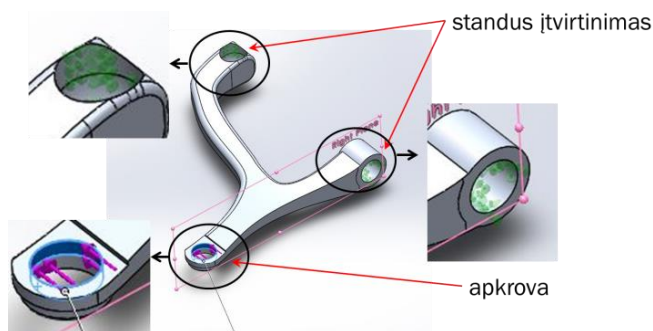
Kai pagreitis buvo nustatytas, pagal antrąjį Niutono dėsnį (Goodno and Gere, 2018) apskaičiavome svirtis veikiančią jėgą:

$$F = m \cdot a \quad (3)$$

čia: F – svirtis veikianti jėga, kN; m – automobilio masė, kg.

Skaičiavome nuo 60 km/val iki 0 km/val stabdomo automobilio važiuoklės svirties įtempius, kai stabdymo kelias 20 m ilgio, automobilio masė 1521 kg.

Skaičiuojamasis modelis buvo apkrautas pastovia jėga ir įtvirtintas dviejose vietose (3 pav.).



3 pav. Automobilio važiuoklės svirties skaičiuojamasis modelis
Šaltinis: sudaryta autorių

Parinkome 6082 AlSi1MgMn aliuminio lydinį. Modelio medžiagos mechaninių savybių rodikliai: tamprumo modulis 71 GPa; Puasono koeficientas 0,3; takumo riba 240 MPa.

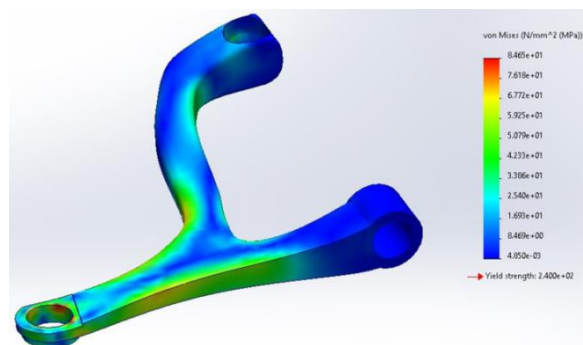
Įtempiams skaičiuoti pasirinkta platinėms medžiagoms tinkanti ir plačiai naudojama energinė plastiškumo hipotezė (Goodno ir Gere, 2018), dar vadinama Mizeso hipoteze. Šią formulę taikome dėl sudėtingo triašio įtempio:

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{1}{2}((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)} \quad (4)$$

čia: σ_r – skaičiuojamieji įtempiai, MPa; σ_1 , σ_2 , σ_3 – svarbiausieji įtempiai, MPa.

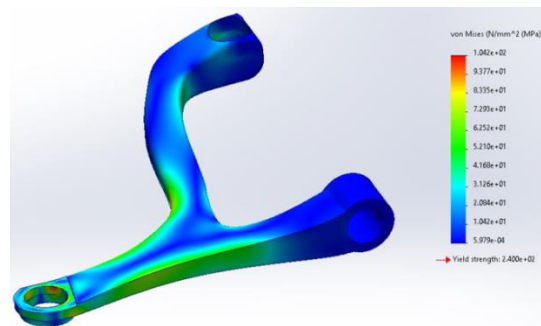
4. Skaičiavimo rezultatai ir jų aptarimas

Gauti rezultatai iliustruojami automobilio važiuoklės svirties Mizeso įtempių pasiskirstymu.



4 pav. Mizeso įtempių pasiskirstymas svirtyje, kai BE briauna ilgiausia (žr. 1 lentelę)
Šaltinis: sudaryta autorių

4 ir 5 paveiksluose pateiktas įtempių persiskirstymas. Skaičiavimai parodė, kad takumo riba nebuvo viršyta.

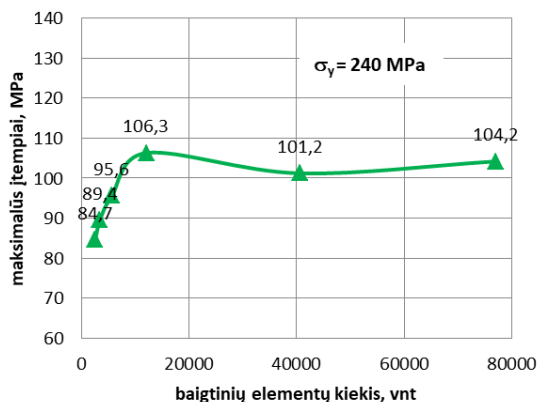


5 pav. Mizeso įtempių pasiskirstymas svirtyje, kai BE briauna trumpiausia (žr. 1 lentelę)
Šaltinis: sudaryta autorių

Darbe buvo apskaičiuoti šeši skirtingi svirties skaidymo BE variantai nuo didžiausių BE iki mažiausių (žr. 1 lentelę).

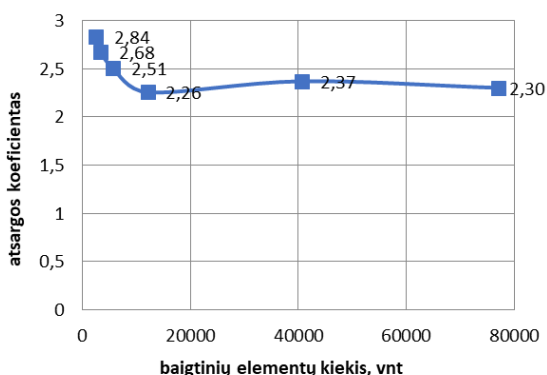
Nuo BE dydžio priklauso jų kiekis skaičiuojamajame modelyje.

Kaip kinta maksimalūs įtempiai, atsižvelgiant į BE kiekį svirties modelyje, parodyta 6 paveiksle. Kai svirtis suskaidyta į BE, o tetraedro briaunos ilgis didžiausias (mažas elementų kiekis), 6 paveiksle matomas maksimalių įtempių kitimas (staigus augimas). Kai BE kiekis yra 2538 vienetai, maksimalūs įtempiai sudaro 84,7 MPa, kai 3379 vienetai, įtempiai yra 89,4 MPa, kai 5640 vienetai – 95,6 MPa ir kai 12071 vienetas – 106,3 MPa. Toliau didėjant elementų kiekiui maksimalių įtempių reikšmė kinta nedaug: kai 40699 vienetai, įtempis yra 101,2 MPa, kai 77099 vienetai – 104,2 MPa.



6 pav. Maksimalių įtempių priklausomybė nuo baigtinių elementų kiekio
Šaltinis: sudaryta autorių

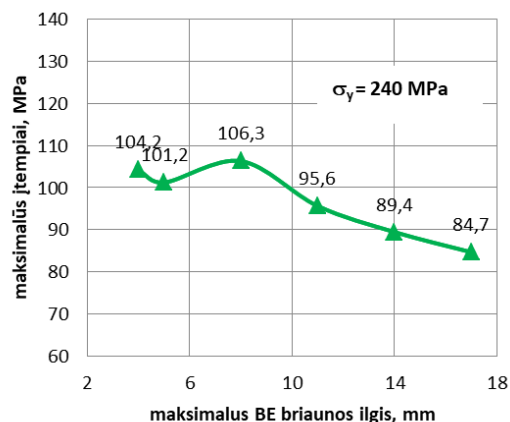
Atsargos koeficiento kitimo priklausomybė nuo BE kiekio svirties modelyje parodyta 7 paveiksle. Atsargos koeficientas staiga mažėja, kai elementų kiekis kinta nuo 2538 vienetai iki 12071 vieneto. Toliau didėjant elementų kiekiui atsargos koeficiento reikšmės mažai skiriasi.



7 pav. Atsargos koeficiento priklausomybė nuo baigtinių elementų kiekio
Šaltinis: sudaryta autorių

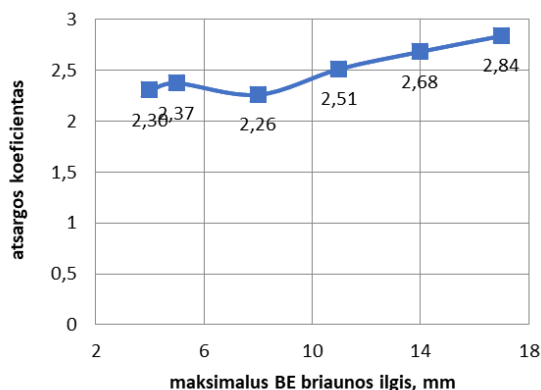
Maksimalių įtempių priklausomybė nuo BE briaunos ilgio svirties modelyje parodyta 8 paveiksle. Galime daryti išvadą, kad didinant BE tetraedro briaunos ilgį nuo 4 iki 5 mm, nuo 5 iki 8 mm, nuo 8 iki 11 mm, nuo 11 iki 14 mm ir nuo 14

iki 17 mm, maksimalių įtempių reikšmė keičiasi nuo 104,2 MPa iki 84,7 MPa.



8 pav. Maksimalių įtempių priklausomybė nuo baigtinių elementų briaunos ilgio
Šaltinis: sudaryta autorių

Atsargos koeficiento priklausomybė nuo BE briaunos ilgio svirties modelyje parodyta 9 paveiksle. Kai BE briauna ilgiausia, t. y. 17 mm, atsargos koeficiento reikšmė yra 2,84, kai ilgis 14 mm, atsargos koeficientas lygus 2,68, kai 11 mm – 2,51, kai 8 mm – 2,26. Mažėjant tetraedro briaunos ilgiui atsargos koeficientai kinta taip: kai ilgis 5 mm, atsargos koeficientas 2,37, kai 4 mm – 2,30.



9 pav. Atsargos koeficiento priklausomybė nuo baigtinių elementų briaunos ilgio
Šaltinis: sudaryta autorių

Išvados

1. Kai baigtinių elementų skaičius važiuoklės svirties modelyje yra nuo 5000 iki 10000, maksimalūs įtempiai sparčiai didėja, o saugos koeficientas sumažėja 20 %.
2. Kai baigtinių elementų skaičius svirties modelyje padidėja nuo 10 000 iki 80 000, maksimalių įtempių reikšmė, kaip ir saugos koeficientas, kinta nedaug, t. y. apie 1%.
3. Skaičiuojant svirties stiprumą, baigtinių elementų skaičius baigtinių elementų modelyje turi būti ne mažesnis kaip

10000.

4. Skaičiuojant svirties stiprumą, baigtinių elementų briauna turi būti ne ilgesnė kaip 8 mm.

Literatūra

Ary, A.K., Prabowo, A.R. and Imaduddin, F. (2020). Structural Assessment of an Energy-Efficient Urban Vehicle Chassis using Finite Element Analysis – A Case Study. *Procedia Structural Integrity* (27), 69-76. doi.org/10.1016/j.prostr.2020.07.010.

Barauskas, R., Kačianauskas, R., & Belevičius, R. (2004). *Baigtinių elementų metodo pagrindai*. Vilnius: Technika.

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

Gu, S. (2017). Application of finite element method in mechanical design of automotive parts. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 231 012180. doi:10.1088/1757-899X/231/1/012180.

Luque, P., Mántaras, M., & Pello, A. (2012). Racing car chassis optimization using the finite element method, multi-body dynamic simulation and data acquisition. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology* (227). doi.org/10.1177/1754337112444517.

Petracconi, C.L., Ferreira, S.E., & Palma, E.S. (2010). Fatigue life simulation of a rear tow hook assembly of a passenger car. *Engineering Failure Analysis* (17), 455-463. doi.org/10.1016/j.engfailanal.2009.09.002.

Solidworks (2023). Prieiga per internetą: < <http://www.solidworks.com> >.

Voigt, T., Lipp, K., & Melz, T. (2019). Fatigue Strength Assessment for components and subsystems of a lightweight, space saving city car with electric drive. *Procedia Structural Integrity* (19), 4-11. doi.org/10.1016/j.prostr.2019.12.002.

INFLUENCE OF FINITE ELEMENT SIZE ON STRESS OF THE CAR CHASSIS LEVER

Aleksandr Vika¹, Jelena Selivonec^{1,2}

¹Vilnius College of Technologies and Design

²Vilnius Gediminas Technical University

Summary. The finite element method is used to solve complex engineering problems. The size of the finite elements affects the accuracy, as well as the computation time and computing resource requirements. Stress distribution and the ability to capture areas of stress concentration are important in the analysis of a car chassis arm. The size of the finite elements should be chosen with these factors in mind for proper accuracy and computational efficiency. The lever model is divided into tetrahedron-shaped volume elements. Finite elements of different sizes were used. In the work, a computational model of the car chassis lever was developed. Here we compare the stress distributions of the car chassis arm at different sizes of finite elements and compare the stress distributions of the car chassis arm at different amounts of finite elements. The number of finite elements in the chassis arm model directly affects the increasing maximum stresses and a significant reduction in the safety factor. When increasing the number of finite elements, starting from a certain value, the values of the maximum stresses and the safety factor change asymptotically. When calculating the strength of our chosen lever, it is important to have at least 10000 finite elements. In addition, in order to calculate the strength of the lever, it is necessary to observe the limit that the edge length of the finite elements does not exceed 8 mm.

Key words: chassis lever, stress distribution, safety factor, FEM.

**TECHNOLOGIJOS IR MENAS
TECHNOLOGY AND ART**

2023/14

Lietuvių kalbos redaktorė / Lithuanian language editor

Jolita GRAŠIENĖ

Anglų kalbos redaktorė / English Editor

Svetlana TOROPOVIENĖ

Viršelio autorė / Cover Author

Edvilė KOORITS

ISSN 2783-8064

2023-12-11

Redakcijos adresas

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

Antakalnio g. 54; LT-10303 Vilnius, Lietuva

Tel. (8 5) 234 1524; faksas (8 5) 234 3769; El.p. journal@vtdko.lt

Address of the publisher

Vilnius College of Technologies and Design

Antakalnis st. 54; LT-10303 Vilnius, Lithuania

Phone: +370 5 234 1524; fax: +370 5 234 3769;

E-mail journal@vtdko.lt