

TECHNOLOGIJOS IR MENAS

TECHNOLOGY AND ART

2018/9

TYRIMAI IR AKTUALIJOS
RESEARCH AND TOPICALITIES



VILNIAUS TECHNOLOGIJŲ IR DIZAINO KOLEGIJA

VILNIUS COLLEGE OF TECHNOLOGIES AND DESIGN

VILNIUS 2018

REDAKCINĖ KOLEGIJA

Nariai:

- prof. dr. Jonas Butkevičius**
(Vilniaus Gedimino technikos universitetas),
- prof. dr. Rimantas Pranas Deksnys**
(Kauno technologijos universitetas),
- prof. habil. dr. Vladas Vekteris**
(Vilniaus Gedimino technikos universitetas),
- prof. habil. dr. Vilija Targamadžė**
(Vilniaus universitetas),
- prof. dr. Vaiva Zuzevičiūtė**
(Mykolo Romerio universitetas),
- doc. dr. Daiva Bukantaitė**
(Vytauto Didžiojo universitetas).

Sudarytojas dr. Andrius Gulbinas
(Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija)

EDITORIAL BOARD

Members:

- prof. dr. Jonas Butkevičius**
(Vilnius Gediminas Technical University),
- prof. dr. Rimantas Pranas Deksnys**
(Kaunas University of Technology),
- prof. habil. dr. Vladas Vekteris**
(Vilnius Gediminas Technical University),
- prof. habil. dr. Vilija Targamadžė**
(Vilnius University),
- prof. dr. Vaiva Zuzevičiūtė**
(Mykolas Romeris University),
- assoc. prof. dr. Daiva Bukantaitė**
(Vytautas Magnus University).

Composed by dr. Andrius Gulbinas
(Vilnius College of Technologies and Design)

TURINYS

<i>Gediminas Zujus, Dalia Matijkienė</i> Scenos menų nuotolinio mokymo realiu laiku technologiniai aspektai	4
<i>Alfredas Rimkus, Jonas Matijošius, Saulius Stravinskas</i> Dyzelino ir biodyzelino mišiniais veikiančio variklio ekologinių rodiklių tyrimas	10
<i>Vitalijus Rudzinskas, Jonas Matijošius, Virginijus Daugėla, Mantas Juchnevičius, Mindaugas Pakalnis</i> Terminio apdirbimo įtaka matmenų nuokrypių stabilizacijai	15
<i>Jolita Grašienė, Angelika Petrėtienė</i> Transporto srities semantizmų vartoseną studentų kalboje	19
<i>Darius Ulbinas</i> Transporto statinių modeliavimas ir analizė, taikant baigtinių elementų principu veikiančias kompiuterines programas	25
<i>Tautvydas Pravičionis, Edmundas Blėdis, Jurijus Tretjakovas, Vitalijus Rudzinskas</i> Hibridinių konstrukcijų panaudojimo galimybių apžvalga	29
<i>Vytautas Gargasas</i> Toninio dažnio bėgių grandinių linijos tyrimas	34
<i>Valentin Popov</i> The effect of forest vegetation on the distance of the radio communication of wireless modules zigbee	40
<i>V. Popov, A. Shevchenko</i> Analysis of standards and norms of electromagnetic irradiation levels in wireless communication systems	44
<i>Roma Rinkevičienė, Bronė Mitkienė</i> Modelling of adjustable speed drive with six-phase motor	48
<i>Susana C. F. Fernandes, J. L. Esteves, Ricardo Simoes, João Sampaio</i> Automobile Seat belt design: minimizing the risk of serious and fatal injury for senior drivers	55

SCENOS MENŲ NUOTOLINIO MOKYMO REALIU LAIKU TECHNOLOGINIAI ASPEKTAI

Gediminas Zujus¹, Dalia Matijkienė¹

¹ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, 10303 Vilnius

Anotacija. Norint internetu vesti muzikos ar scenos menų pamokas, reikia įvertinti mokinių pasiekimus. Mokantis kūrinį, pvz. kvartetą, reikia iš keturių vietų gauti sinchronišką kūrinio atlikimą. Tam turi būti įvykdyta viena sąlyga – signalai iš visų vietų mokytojui turi ateiti kartu. Tai yra aktualu vykdant įvairius internetinius – kultūrinius, edukacinius ir muzikinius projektus. Didžiausia problema – skirtingas signalų ir duomenų vėlavimas, trukdantis sinchroniškam atlikimui.

Sprendimo buvo ieškoma ne mažinant komunikacijos vėlinimą, ne spartinant internetinės transliacijos greitį, bet taikant laiko suderinimo metodą, t.y. tam tikru, pagal užvėlinimą numatytu laiku skirtingose vietose paleidžiant sekvencerines programas su metronomais, pagal kuriuos atlikėjai derins savo veiksmus, o iš jų gaunamų medijos srautų jau nebereikės sinchronizuoti.

Buvo atliktas eksperimentas, kurio rezultatai patvirtino hipotezę – pasitelkus debesų kompiuteriją galima pasiekti pakankamai mažos paklaidos laiko stabilumą. Šis metodas buvo pritaikytas keliuose internetiniuose koncertuose sinchroniškai atliekant muzikos kūrinius ir dalyvaujant solistams, orkestrams iš trijų kontinentų.

Reikšminiai žodžiai: nuotolinis mokymas, internetinis koncertas, internetinis muzikinis įvykis, sinchroniškas atlikimas, tiesioginė transliacija, laiko vėlavimas, sekvencerinės programos.

Įvadas

Atsiradus internetui ir galimybei bendrauti realiu laiku viena iš didžiausių problemų buvo greitis, t. y. perduodama informacija vėlavo, todėl bendravimas buvo nekokybiškas. Ši problema iš dalies išspręsta [1]. Dabar interneto greitis yra jau toks, kad vaizdo konferencijos tapo įprastu dalyku, nekeliančiu problemų dėl laiko vėlavimų, o kalbant apie edukaciją, internetiniuose interaktyviuose (*on-line*) kursuose galima gauti įvairiausių sričių diplomus – ekonomikos, vadybos, rinkodaros ir pan.

Tačiau yra sričių, kur net minimalus vėlavimas eliminuoja galimybę palaikyti kokybišką kontaktą. Viena iš tokių sričių yra scenos menai ir jų mokymas. Individualus pedagogo ir studento tiesioginis bendravimas yra būtinas mokantis scenos menų ir ypač muzikos. Sinchroniškas grojimas yra būtina mokymosi sąlyga. Norint vesti tokias pamokas realiu laiku internete turi būti iškelta viena sąlyga – negali būti laiko vėlavimo. Tai taip pat aktualu vykdant įvairius kultūrinius edukacinius ir muzikinius projektus.

Muzikos mokyklos vykdo distancinį mokymą internetu, pvz., Jungtinėse Valstijose Berklee College, Julliard School, USC Tronton, Arizona State University, Manhattan School of music. Vien tik šioje mokykloje virtualioje mokymo aplinkoje per metus moko apie 10 000 studentų iš 39 valstijų ir 23 šalių [1].

Išanalizavus šiose mokyklose naudojamą internetinę technologiją paaiškėjo, kad dažniausiai naudojamos trys programinės įrangos: *Skype*, *PolyCom* ir *Lola* [2].

Skype programinė įranga gali naudoti visiems prieinamą paprastą, dažnai negreitą internetą. Teoriškai *Skype* reikalingas 1,5 megabito per sekundę greitis (Mb/sek), kad perduotų vaizdo kokybę HD 720 p. Paprastu internetu *Skype* vėlinimas teoriškai turėtų būti 50 ms į vieną pusę ir 100 ms komunikuojant, muzi-

kuojant abipusiai (praktiškai tokiam ryšiui reikalingas didesnis greitis – nors 4–6 Mb/sek.). Neišvengiama *Skype* pagrindinė problema – laiko vėlavimas, nes tiek vėluojant signalui neįmanomas sinchroniškas atlikimas, o jis dažnai net gerokai didesnis nei 100 milisekundžių. *Skype* garso ir vaizdo kokybė taip pat dažnai neatitinka nei auditorijos, nei muzikantų poreikių.

PolyCom programinė įranga dažniausiai naudoja *Internet2* ryšį, kuris yra daug greitesnis už paprastą. *PolyCom* garso ir vaizdo kokybė puiki, bet vėlavimas taip pat dažnai didesnis negu 100 milisekundžių. Taigi sinchroniškas atlikimas neįmanomas. Kita problema – *Internet2* ryšį turi tik didesnės, jį užsisakiusios organizacijos, šis ryšys neskirtas individualiems vartotojams.

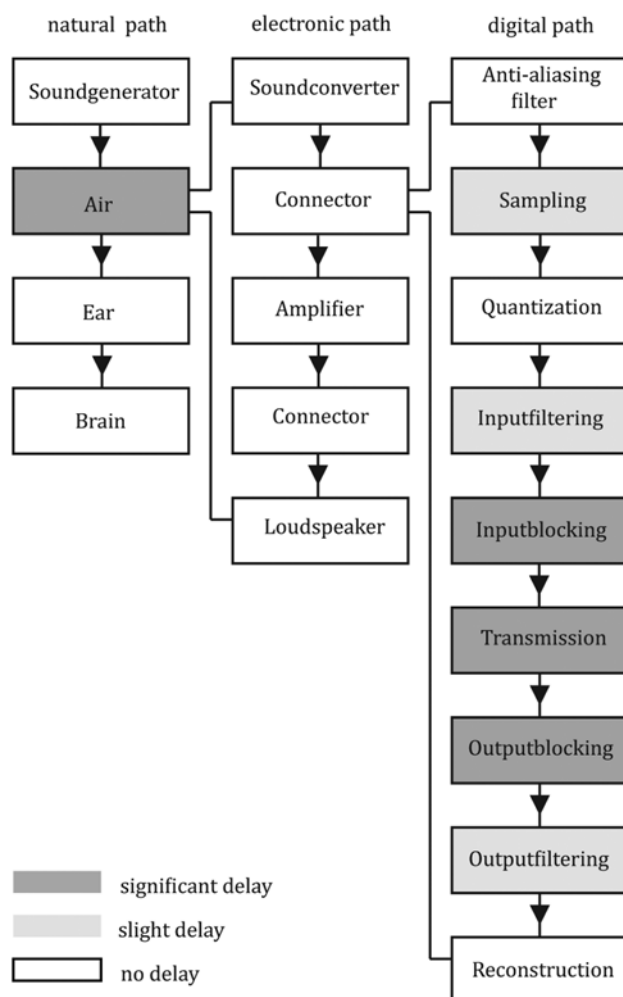
Lola – viena naujausių programų, kurios laiko vėlavimas, priklausomai nuo sąlygų, gali būti pakankamai mažas – 5–35 ms. Tuomet galima groti kartu sinchroniškai skirtingose vietose. Didesnis trukumas – *Lola* naudoja ne mažiau kaip 800 Mb/sek. ryšį, taigi kol kas tai nedaug kam prieinama. Kitas ne mažiau svarbus apribojimas yra atstumas. 100 kilometrų prideda apie 1 milisekundę vėlavimo. Taigi daugiau negu 1000 km atstumu groti kartu jau darosi neįmanoma, nes pripažinta, kad 20 milisekundžių vėlavimas (2×10 pirmyn-atgal) muzikantams daugeliu atvejų yra riba ritmiškai groti kartu [1]. Žinoma, yra įvairių muzikos stilių, kuriuos atliekant tempas ir ritmas nėra svarbu, pvz. *Pacific Rim of Wire* [3], *Network Performing Arts Production Workshop* [4], *Music Without Borders* [5], *Edinburgh Napier Lola project* [6].

Lubecko universiteto profesorius ir kompozitorius A. Carôt atliko testus siekdamas išsiaiškinti laiko vėlavimo įtaką muzikuojant kartu (7). Testų rezultatai atskleidė, kad daugiau kaip 8 metrų atstumu tarp grojančių ritminę muziką atlikėjų labai sunku išlaikyti tempą be dirigento. Garso greitis – 343 m/sek, 1 metras – 3 ms, o 8 metrus garsas keliauja 24 ms. Šis testas buvo

atliktas, kai muzikantai grojo scenoje, arba tiesioginio matomumo ir oro laidumo zonoje, nekonvertuojant garso nei į analoginį, nei į skaitmeninį variantą. Tačiau transliacijos metu signalą reikia konvertuoti, o tai sukelia papildomą vėlavimą. Schemoje rodoma, kiek daugiau vėlinančių grandžių reikia, norint paruošti signalą skaitmeninei transliacijai, palyginti su akustiniu ir analoginiu variantu (1 pav.).

Galima ir kitokiu būdu spręsti laiko vėlavimo problemą, pvz, naudojant kompiuterinį akompanimentą kaip asistentą internetinio koncerto metu [8], MIDI informaciją atkuriamo atlikimo sinchronizacijai (*Global Metronome*) [9], pasitelkiant virtualų dirigentą [7]. Tai pagreitina ritmo ir tempo suderinamumą, bet suprastėja muzikinė raiška dėl instrumentų ar dirigento imitacijos netobulumų. Bet tai vis tiek neišsprendžia problemos – laiko vėlavimas lieka didesnis negu reikalinga.

Teoriškai didžiausia komunikacijos sparta būtų šviesos greitis – apie 300 000 km/sek. Kadangi aplink Žemės rutulį yra apie 40 000 km, tai dvipusio ryšio, pavyzdžiui, su Australija ar Naująja Zelandija signalas šviesos greičiu pirmyn ir atgal sklistų 133 ms. Taigi net teoriškai kartu muzikuoti nepavyktų. Tačiau mokymo metu ar atlikėjams esant skirtingose šalyse ir atliekant tą patį ritmišką muzikos kūrinį reikia pasiekti greitesnės komunikacijos. Taigi tenka ieškoti kitokio sprendimo.



1 pav. Signalų užlaikymų komponentai

Problema būtų išspręsta nesiunčiant signalo atgal, o jį įrašant vienoje vietoje, tuomet nesunku pasiekti sinchroną – viena vieta būtų pagrindinė, pvz., pedagogo auditorija su metronomu, o kitoje vietoje studentas gali muzikuoti kartu pagal mokytojo duodamą tempą, ritmą (*master – slave*). Visiškai kitokio sprendimo reikia, norint muzikuoti kartu iš trijų ir daugiau vietų, nes vėlavimai iš kiekvienos vietos skiriasi. Taigi iškyla **problema**, kaip sinchronizuoti laiką, išvengiant vėlavimo internetinio atlikimo metu. Be to, iškėlėme sau sąlygą, kad tai turi būti pasiekta:

- naudojant tik paprastą internetą, kuris bus pasiekiamas didžiajai daugumai studentų, nepriklausomai nuo jų buvimo vietos;
- internetinė platforma, įrangos kaina studentams turėtų būti prieinama – nepriklausomai nuo disponuojamų finansų studentas turi turėti galimybę naudotis šiuo mokymosi metodu.

Kadangi *Lola* ir *PolyCom* įranga nemažai kainuoja, be to, jiems reikia išskirtinio *Internet2* arba *Geant* (europinis *Internet2* variantas) ryšio, nuspręsta kurti savo sistemą. Pasitelkta idėja į šią laiko vėlavimo internete problemą pažvelgti visai iš kitos perspektyvos, t. y. atsisakant fizikinio, o ieškant konstrukcinio sprendimo. Buvo iškelta hipotezė – laiko vėlavimo internete galima išvengti, jei sutartu labai tiksliai matuojamu laiku būtų paleistos sekvencinės programos su paruoštais metronomais muzikantams, kurie atliktų savo partijas kūrinyje, girdėdami juos (galėtų kartu girdėti dar ir paruoštą muzikinį demo takelį). Centrinėje studijoje beliktų sulgynti gaunamus, skirtingai laiko požiūriu vėluojančius signalus ir suderintus ištransliuoti – įrašyti gyvu srautu. Tuomet muzikantai rezultatą galėtų išgirsti tuoj pat pabaigę groti ir paklausę įrašo. Tokiu būdu atsiranda galimybė mokytis su pedagogu, jam ir kūrinį atlikėjams – įsivertinti, iš karto analizuoti klaidas ir tobulinti atlikimą ar džiaz improvizaciją.

Tikrinant šią hipotezę buvo atlikti eksperimentai. Jų tikslas – rasti sekvencijų startavimo ir sinchronizavimo metodą, kuris sudarys sąlygas gauti numatytus vėlinimus.

Uždaviniai:

- Išsiaiškinti Tarptautinio atominio laiko (TAI) ir Pasaulinio koordinuotojo laiko (UTC) taikymo galimybes sinchronizuojant internetinį muzikinį atlikimą.
- Išsiaiškinti debesų kompiuterijos taikymo galimybes sinchronizuojant internetinį muzikinį atlikimą.
- Patikrinti pasirinkto metodo tinkamumą skirtingose vietose esantiems dalyviams atliekant vieną muzikos kūrinį.

Ekspimento eiga

I etapas. Bandytas paleisti sekvencines programas skirtinguose taškuose sutartu laiku.

Uždavinys paleisti sekvencinius pvz. pagal TAI [10] ar UTC [11] pasirodė ne toks jau paprastas. Nors vi-

diniai kompiuterių laikrodžiai automatiškai sinchronizuojasi pagal UTC, tačiau praktiškai išgauti mums reikalingą tikslumą (bent milisekundžių eilės) yra labai komplikuoti. Pasirodo vidiniai kompiuterių laikrodžiai yra nelabai tikslūs, o programos seka būtent juos. Naudoti įstatomus specializuotus precizinius laikrodžius, sinchronizuojamus nuo GPS yra labai brangu ir tai neatitinka mūsų užduotyje suformuluotų tikslų. Be to net ir preciziškai paleidus sekvenčines programas nutolusiuose taškuose, centrinėje studijoje (ProAud) gautume audio-video srautus su skirtingais užvėlinimais. Juos sulygtinti ir sinchronizuoti reikalinga labai brangi aparatūra. Didžiausia problema yra tai, kad laikui bėgant interneto vėlinimas iš skirtingų taškų kinta ir iš to seka, kad reikia matuoti ir laikas nuo laiko koreguoti laiko kompensavimo reikšmes studijos aparatūroje.

II etapas. Bandymas paleisti veikti sekvenčines programas pagal jų vėlavimo laiką.

Paprastesnė sinchronizacija galėtų būti sekvenčių programų paleidžiant ne kartu, o pagal kiekvieno taško vėlavimą, t.y. anksčiausiai startuoja toliausias, didžiausią užlaikymą turintis taškas, vėliau, pagal užlaikymo skirtumus sekantis ir t.t., kad į centrinę dėstytojo studiją ateitų visi kartu, t.y. sumiksavus gautųsi galutinis visų taškų bendro atlikimo rezultatas. Naudojant tokį algoritmą atkrenta būtinybė centrinėje studijoje naudoti vėlinimo kompensavimo aparatūrą, tačiau kyla reikalavimai sekvenčių paleidimo tikslumui. Be abejo patogiausias sekvenčių paleidimo būdas yra iš pulto centrinėje studijoje. Tačiau dėl kintančio vėlinimo interneto linijose, tai gali dar sumažinti sinchronizavimo tikslumą. Buvo realizuota idėja nutolusių taškų sekvenčių programų paleisti iš tarpinio serverio naudojant atgalinį laiko skaičiavimą. Be abejo sudėtingiausia tokios sistemos dalis yra audio-video srauto vėlinimo iš nutolusio taško apskaičiavimas. Šio etapo eksperimente buvo naudojamas „rankinis“ vėlinimo nustatymo metodas. Lygindami monitorių ekranuose projektuojamus audio-video srautus, tam tikslui sekvenčio programoje galima atsidaryti tikslų laiką skaičiuojantį laikrodį – iš to gali būti apskaičiuojamas nutolusio taško paleidimo laikas taip, kad koncertuojant visi srautai į centrinę studiją ateitų sinchroniškai. Šiuo metodu vyko pirmasis mūsų „realaus laiko“ internetinis koncertas „Baltic Song Around The Globe“ 2016-08-23, minint „Juodojo kaspino“ dieną.

Koncerte buvo naudojama standartinė Youtube Live srautinio perdavimo paslauga duodanti gana ženklų, bet stabilų vėlinimą.

Ekspertimentuojant išaiškėjo trūkumai:

1) Jei atliekamas muzikos kūrinys yra ilgesnis (trukmė daugiau nei 15 minčių), didelė tikimybė, kad į jo pabaigą metronomų rodmenys jau pradės skirtis dėl kompiuteriuose esančių kvarcinių laikrodžių skirtumų, nes vidiniai laikai su išoriniu UTC yra sinchronizuojami, bet sekvenčines programas, ku-

rios generuoja metronomus, sinchronizuojamos nuo vidinio kvarcinių laikrodžių kiekviename atskirame kompiuteryje [12].

- 2) Paleidimo pagal vėlavimo laiką mechanizmas buvo ne visai tikslus [12].
- 3) Signalų vėlinimo laikas buvo kintantis, ir tai trukdė įvesti pastovias vėlinimo kompensacijos reikšmes [13] dėl vėlinimų interneto linijose pasikeitimų. Taip pat reikia automatizuoti interneto vėlinimo matavimo-sekimo mechanizmą ir tobulinti jo taikymo metodiką.

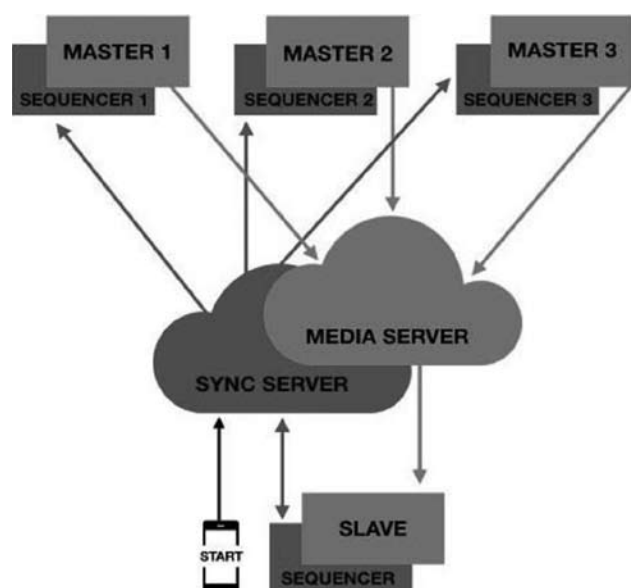
Dėl šių priežasčių nebuvo taikytas šis metodas – ieškota kito sprendimo.

III etapas. Bandymas paleisti veikti sekvenčines programas iš centrinės studijos (ProAud), naudojant debesų kompiuteriją arba debesiją (Cloud Computing).

Debesyse taip pat yra realizuotas mūsų srautinio perdavimo serveris, kurio vėlinimas mažesnis 4-5 kartus lyginant su II etapo eksperimentais. Iš ProAud per serverį „debesyje“, pasiunčiamas starto signalas į nutolusius taškus – Auditorijas (AUD). Gavę starto signalą sekvenčiai pradeda generuoti paruošto kūrinio metronomą, pagal jį dalyviai atlieka kūrinį. AUD filmuojama audio – video medžiaga siunčiama atgal per mūsų srautinį serverį debesyse, iš kurio ProAud jau gauna sinchronizuotus duomenis ir realiu laiku gali miksuoti su ProAud filmuojamais atlikėjais ir gyvu srautu transliuoti Youtube ar Facebooke ar kt. Norint įgyvendinti šį metodą reikėjo suprogramuoti eilę dalykų, – nutolusių taškų internetinio vėlinimo matavimą, tikslų tinklo kompiuterių laikrodžių sinchronizavimą ir sinchroninių visų sekvenčių paleidimą.

2 paveikslėlyje pavaizduotas supaprastintas ProAud sistemos modelis, kur Master 1, 2, 3 yra auditorijos 1, 2, 3, (Aud), Media Server ir Sync Server yra Cloud, o Slave yra profesoriaus auditorija (ProAud).

Tokiu būdu buvo sukurta pakankamai stabili ir



2 pav. ProAud sistemos schema

tur – *ProAud* šį kartą buvo įkurta Toronte, Kanadoje. Vėl buvo susisiektas su trijuose kontinentuose esančiais žymiais kompozitoriais ir atlikėjais – solistais, kameriniais ansambliais, orkestrais.

Atlikus stebėseną išsiaiškinta, kad naudojančių tokią sistemą nepavyko surasti. Panaši galėtų būti minėta dviejų vietovių (*master-slave*) sistema, tačiau rengiant koncertus, o ypač dirbant pedagoginį darbą, dalyvių būna daugiau.

Palyginus su kitais tokio pobūdžio eksperimentais *ProAud* sistema galima neriboti dalyvių skaičiaus ir centriniėje studijoje stebėti visų dalyvių atlikimą – galutinį rezultatą (1 lentelė).

Išvados

Ieškant sprendimo, kaip išvengti laiko vėlavimo problemų iš kelių vietų kartu atliekant vieną kūrinį, buvo atsisakyta šią problemą spręsti spartinant interneto greitį, o nutarta taikyti laiko suderinimo metodą, t. y. paleidžiant sekvenčines programas su metronomais, paleidimo laiką koreguojant pagal kiekvienos vietos užvėlinimą. Buvo atliktas eksperimentas taikant skirtingą laiką:

1. Tarptautinio atominio laiko (TAI) ir Pasaulinio koordinuotojo laiko (UTC) taikymas sinchronizuojant internetinį muzikinį atlikimą nepakankamai išsprendžia laiko vėlavimo problemas dėl vėlavimo nestabilumo ir kompiuterių vidinių laikrodžių netikslumo.

2. Nutolusiuose taškuose programas paleidžiant ne kartu, o pagal kiekvieno taško vėlavimą išlieka nestabilumo ir atsiranda kintančių paleidimo laikų numatymo, jų koregavimo problema.

3. Debesų kompiuterijos (*Cloud Computing*) metodu suderinant laikus skirtingose vietovėse pasiektas pakankamai mažą paklaidą turintis laiko stabilumas. Šis metodas kol kas pats tinkamiausias ir patikimiausias. Jis buvo pritaikytas tris kartus sinchroniškai atliekant muzikos kūrinius ir dalyvaujant solistams, orkestrams iš trijų kontinentų – Amerikos, Eurazijos ir Australijos.

4. Toliau tobulinant *Cloud* palaikomą ir kontroliuojamą sinchronizaciją tarp AUD ir *ProAud*, galima pasiekti dar mažesnių laiko paklaidų.

Šaltiniai

- FLEMING, John. Remote Music Lessons in Real Time and Almost Real Time. *Musical America* [interaktyvus]. Hoboken: Wiley- 2015 September 1 [žiūrėta 2018-03-14]. Prieiga per <https://www.musicalamerica.com/news/newsstory.cfm?archived=0&storyid=34572&categoryid=7>
- RILEY, Holly and B.Rebecca MacLeod. Low Latency Audio Video. Potentials for Collaborative Music Making Through Distance Learning. Volume: 34 issue: 3, page(s): 15-23, November, 2014-11-17; Prieiga per: <https://doi.org/10.1177/8755123314554403>.
- Pacific Rim of Wire*. Stanford University, Peking University in Beijing. <https://www.youtube.com/watch?v=8MsFBgcGjn4>
- Network Performing Arts Production Workshop*. University of Performing Arts and Music Vienna, Austrian Academic Computer Network, GARR, CESCO, TERENA (GEANT now); 4th Network Performing Arts Production Workshop <https://www.youtube.com/watch?v=fXKFrpXRwQY>
- Music Without Borders*. The Estonian Academy of Music and Theatre; <https://www.ema.edu.ee/en/the-eamt-first-in-estonia-to-use-the-lola-low-latency-technology/>
- Edinburgh Napier LOLA project*. Edinburgh Napier University, Berklee College of Music; <https://www.youtube.com/watch?v=UbCFafOdIyM>
- CARÔT, Alexander. Musical Telepresence – A Comprehensive Analysis Towards New Cognitive and Technical Approaches. PhD thesis.[interaktyvus]. Lübeck, 2009. [žiūrėta 2018-09-10]. Prieiga per: http://www.carot.de/Docs/dissertation_AC.pdf
- ALEXANDRAKI, Chrisoula and Rolf BADER. Using computer accompaniment to assist networked music performance. *The Journal of the Audio Engineering Society* [interaktyvus]. AES 53rd International Conference, London, UK, 2014 January 27–29 [žiūrėta 2018-09-10]. Prieiga per: http://musinet.aueb.gr/papers/AES53_AlexandrakiBader.pdf
- ODA, Reid K. *Tools and Techniques for Rhythmic Synchronization in Networked Musical Performance*. PhD thesis. [interaktyvus]. Princeton university, June 2017 Prieiga per: <ftp://ftp.cs.princeton.edu/reports/2017/005.pdf>
- What Is International Atomic Time (TAI)? Time and Date*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-03-20]. Prieiga per: <https://www.timeanddate.com/time/international-atomic-time.html>
- World Time Server* [interaktyvus]. [Žiūrėta 2018-03-20]; Prieiga per: https://www.worldtimeserver.com/current_time_in.UTC.aspx
- GANERIWAL, Saurabh, Ram KUMAR and Mani B. SRIVASTAVA. *Timing-sync Protocol for Sensor Networks*. [interaktyvus]. Los Angeles, California, USA — November 05 – 07, 2003. [žiūrėta 2018-08-15] DOI: 10.1145/958491.958508 Prieiga per: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.58.3367&rep=rep1&type=pdf>
- ELSON, Jeremy Lewis GIROD and Deborah ESTRIN. Fine-Grained Network Time Synchronization using Reference Broadcasts. *ACM Sigops*. [interaktyvus]. ACM: NY, 2002. Volume 36 Issue SI, 147-163 [žiūrėta 2018-08-15]. Prieiga per: <https://www.cs.ubc.ca/~krasic/cpsc538a-2005/papers/broadcast-osdi.pdf>
- Baltic Song Around The Globe short version*. [interaktyvus] 2016-09-07 Prieiga per: <https://www.youtube.com/watch?v=-oxavD4ERkA>
- Baltic Wave II / excerpts* [interaktyvus] 2018-01-21. Prieiga per: <https://www.youtube.com/watch?v=zKEnpDcV6-g>
- Baltic wave III | Black Ribbon. Day excerpts*. [interaktyvus] 2017-10-06. Prieiga per: <https://www.youtube.com/watch?v=RTPFvBT4TOg>
- Baltic wave IV Canada concert trailer*. [interaktyvus] 2018-04-11. Prieiga per: <https://www.youtube.com/watch?v=0qSKaE5hJAg>

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF ON-LINE LEARNING OF STAGE AND MUSIC ARTS

Gediminas Zujus¹, Dalia Matijkienė¹

¹ *Vilnius College of Technologies and Design*

Abstract. In order to remotely conduct music or stage arts lessons from three or more locations and check result in real time, one condition must be fulfilled on the Internet – there can be no time lag between performers. This is also a case and relevant for various cultural educational and musical network projects. Therefore, the biggest challenge is to synchronize time by avoiding its inevitable delay during online music per-

formance. The solution to this decision was to refuse to address this problem by improving the quality of the Internet, and it was decided to use the time alignment method, i.e. starting the sequencer programs at a certain time, and at the point of reference, synchronise all signals compensating time delays. An experiment was carried out, the results of which confirmed the hypothesis and it was found that using cloud computing can achieve a sufficiently small error with time stability. This method was adapted 3 times synchronously with musical works and with the participation of soloists, orchestras from three continents.

Key words: distance learning, time delay, time sync, live stream, sequencers, network musical performance, internet concert.

DYZELINO IR BIODYZELINO MIŠINIAIS VEIKIANČIO VARIKLIO EKOLOGINIŲ RODIKLIŲ TYRIMAS

Alfredas Rimkus¹, Jonas Matijošius¹, Saulius Stravinskas^{1,2}

¹ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

² Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius

Anotacija. Tyrime nagrinėjami slėginio uždegimo variklio, veikiančio biodyzelino – rapsų metilo esterio (RME) ir dyzelino mišiniais (D100, RME15 % ir RME30 %), ekologiniai rodikliai, nustatyti keičiant variklio apkrovą. Laboratorijoje atlikti degalų fizikinių ir cheminių savybių tyrimai. Stendiniai variklio rodiklių tyrimai atlikti naudojant variklio apkrovos stendą ir išmetamųjų dujų sudėties analizatorių ir dūmomatį. Straipsnyje pateikta tyrimo metodika, bandymo rezultatai ir jų analizė, vertinant koreliacinius ryšius tarp RME koncentracijos ir tiriamų ekologinių rodiklių. Nustatyta, kad, dyzeline didinant RME koncentraciją, išauga CO₂, CH bei NO_x koncentracija išmetamosiose dujose, tačiau dūmingumas mažėja. Įvertinus gyvavimo ciklą galima teigti, kad biodegalų CO₂ emisija yra mažesnė už dyzelino, pagaminto iš naftos dyzelino.

Reikšminiai žodžiai: slėginio uždegimo variklis, rapsų metilo esteris, ekologiniai rodikliai, koreliaciniai ryšiai.

Įvadas

ES transporto politikos „Baltojoje knygoje“ teigiama, kad iškastinės naftos gavyba mažės, o likusi nafta bus tiekama iš nepatikimų šaltinių. Norint sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių teršalų emisijas reikia naudoti švaresnę energiją, ieškoti alternatyvių degalų ir pakeisti iškastinio kuro degalus. ES ragina sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą ir užtikrinti, kad iki 2050 m., palyginti su 1990 m., išmetamų teršalų kiekis transporto sektoriuje būtų sumažintas iki 60 %, iki 2030 m., palyginti su 2008 m., šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos turi būti sumažintos 20 %. Energetinio saugumo ir ekologines problemas galima spręsti didinant biodegalų dalį vidaus degimo variklių (VDV) naudojamuose degaluose. ES reikalavimai diegti ir plėtoti atsinaujinančių išteklių energijos naudojimą, griežtėjantys aplinkosaugos reikalavimai, susiję su šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų bei atliekų mažinimu, verčia kuo rinktis vietinius atsinaujinančius energijos išteklius. Biodegalų gamyba skatina naudoti vietinius energijos išteklius mažinant importuojamo iškastinio kuro kiekį, taip pat atsiranda galimybė plėtoti žemės ūkį [1].

Straipsnio tikslas yra ištirti, kaip didesnė nei LST EN 590 standarte numatyta biodegalų koncentracija (iki 30 %) veikia slėginio uždegimo variklio ekologinius rodiklius: anglies monoksido (CO), anglies dioksido (CO₂), angliavandenilių (CH), azoto oksidų (NO_x) koncentraciją bei dūmingumą. Tyrimo rezultatai įvertinti nustatant koreliacinius ryšius tarp tiriamų rodiklių.

1. Literatūros šaltinių apžvalga

Viena iš biodegalų rūšių – riebiųjų rūgščių metilo esteriai (RRME) yra gaunami iš augalinių aliejų arba gyvulinių riebalų (biolipidų), kurie yra peresterinami naudojant alkoholį. Peresterinimo procesas yra cheminis riebiųjų rūgš-

čių, esančių augaliniame aliejuje, suskaldymas naudojant alkoholį ir norint suformuoti alkoholio esterius bei glicerolį, kad sumažėtų augalinio aliejaus klampa ir nestabilumas. Nors etanolis yra tinkamesnis alkoholis peresterinimo procesui dėl atsinaujinančios biomasės šaltinio ir mažesnio nuodingumo, metanolis dažniau naudojamas dėl mažesnės kainos, palyginti su kitais alkoholiais, tokiais kaip etanolis ir izopropanolis. Tai lemia RRME pasirinkimą [2].

RRME gali būti gaminamas iš įvairių rūšių aliejų. Europoje dažniausiai naudojamas rapsų aliejus (rapsų metilo esteris – RME), Jungtinėse Amerikos valstijose – sojų aliejus (sojų metilo esteris – SME). Peresterinimo metu katalizatoriai, tokie kaip natrio ar kalio hidroksidai, naudojami paverčiant augalinius aliejus ir metanolį RRME. Be to, peresterinimo metu gaunami šalutiniai produktai (glicerinas ir vanduo). Šalutiniai produktai turi būti pašalinti iš galutinio produkto kartu su metanolio pėdsakais. Grynas RRME gali būti naudojamas tik tuose slėginio uždegimo varikliuose, kuriuose tai daryti numato variklio gamintojas. Dažniausiai RRME naudojamas mišinyje su įprastu dyzelinu. RRME biodyzelino, kaip dyzelino pakaitalo, savybės labai geros. Tai rodo, kad biodyzelinas gali būti plačiai naudojamas įvairiose transporto priemonėse. RRME šilumingumas yra tarp 37 ir 40 MJ/kg., o tai atitinka dyzelino standartą, RRME dyzelino tankis yra 0,85–0,9 g/ml., kas taip pat atitinka tarptautinius dyzelino ir biodyzelino standartus. Šiame dyzeline yra labai mažai sieros, cetaninis skaičius (45–73) rodo geras savaiminio užsiliepsnojimo savybes. Pliūpsnio taškas svyruoja nuo 96 iki 188°C. Tačiau RRME sudėtyje yra didelis kiekis vandens, tas trumpina degalų filtrų naudojimo laiką bei sukelia koroziją. RRME yra didelio klampumo, tai garantuoja geras tepimo savybes [3].

Šiame darbe tirta ne tik variklio darbas ir išmetamųjų dujų emisija, bet ir įpurškimo sistemos siekiant išsiaiškinti, kokią įtaką turi biodegalų mišiniai įpurškimo ir degimo procesui, taip pat ieškota geriausių variklio modifikacijų, kad būtų išnaudotas biodegalų potencialas. Netaikant modifikacijų reikšmingi degalų

įpurškimo charakteristikų skirtumai užfiksuoti RRME koncentracijai viršijus 30 % [4].

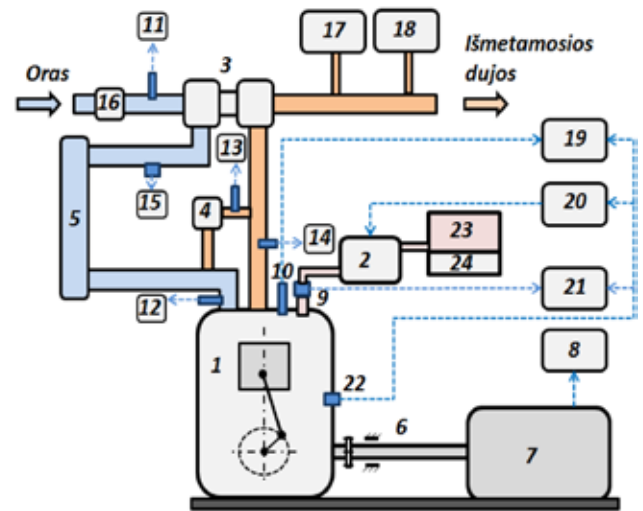
Biodyzelino kokybę apibūdinama eksploatacinėmis (takumas, garingumas, užsidegamumas, korozingumas, stabilumas), fizikinėmis ir cheminėmis (tankis, spalva, rūgštingumas) ir aplinkosauginėmis (nuodindumas, aplinkotarša) savybėmis. Biodyzelinas, kaip ir kiti degalai, turi atitikti nustatytus standartus bei reikalavimus. Biodyzelino kokybę apibrėžia 2004 m. parengtas ir patvirtintas Europos standartas, kuris tapo ir Lietuvos nacionaliniu standartu – LST EN 14214 „Automobiliniai degalai, RRME skirti dyzeliniams varikliams. Reikalavimai ir tyrimų metodai“, kuriame nurodyti kokybės rodikliai ir jų ribos. Šiuos reikalavimus turi atitikti Lietuvos biodyzelino gamintojų ir importuojama produkcija. Mineralinio dyzelino kokybę reglamentuoja standartas LST EN 590 „Automobiliniai degalai. Dyzelinas. Reikalavimai ir tyrimo metodai“. Šio standarto reikalavimus turi atitikti mineralinis dyzelinas su iki 5 % RRME iki 2009 m. ir 7 % RRME priedu nuo 2009 m. [5].

2. Tyrimo metodika

Ekspirimentiniai tyrimai atlikti naudojant slėginio uždegimo (SU) variklį 1.9 TDI (1 lentelė). Variklio efektyvus sukimo momentas M_e (Nm) ir veleno sukiai n (min^{-1}) nustatyti apkrovos stendu KI-5543. M_e matavimo paklaida $\pm 1,23$ Nm. Bandymai atlikti varikliu veikiant pastoviais sukiais $n = 2000 \text{ min}^{-1}$, variklio apkrova – 60; 90; 120 Nm, deginių recirkuliacija atjungta. Dyzelino valandinėms sąnaudoms B_d matuoti naudotos elektroninės svarstyklės SK-5000 ir chronometras, dyzelino sąnaudų matavimo paklaida $-0,5$ %. Išmetamųjų dujų temperatūrai matuoti naudota K tipo termopora. Šio jutiklio temperatūros matavimo ribos – $50 \text{ }^\circ\text{C} \div 800 \text{ }^\circ\text{C}$. Slėgis cilindre fiksuotas kaitinimo žvakėje integruotu pjezoelektriniu jutikliu GG2 1569 ir įrašytas naudojant AVL DiTEST DPM 800 įrangą. Slėgio matavimo tikslumas – 1 %. Slėgis variklio įsiurbimo kolektoriuje matuotas slėgio matuokliu Delta OHM HD 2304.0, matavimo paklaida $\pm 0,0002$ MPa. Teršalų koncentracija išmetamosiose dujose matuota naudojant AVL DiCom 4000 deginių (CO , CO_2 , CH , NO_x) analizatorių, o dūmingumas – AVL DiSmoke. Variklio bandymo įrangos išdėstymas pateiktas 1-me pav.

Bandymams naudoti šie degalai: grynas dyzelinas (D100); 85 % dyzelino ir 15 % RME mišinys (RME15); 70 % dyzelino ir 30 % RME mišinys (RME30). Grynų degalų (D100 ir RME100) fizinės ir cheminės savybės ištirtos Klaipėdos universiteto laboratorijoje ir pateiktos 2-oje lentelėje. Mišinių šilumingumas ir tankis apskaičiuoti remiantis adityvumo principu.

Variklio ekologinių rodiklių priklausomybė nuo biodyzelino (RME100) koncentracijos dyzelino ir RME mišinyje vertinama tiesine regresija ir koreliacija. Regresijos modelis – tai statistinis modelis, leidžian-



1 pav. Bandymo įranga: 1 – variklis; 2 – degalų siurblys; 3 – turbokompresorius; 4 – deginių recirkuliacijos (DR) vožtuvas; 5 – oro aušintuvas; 6 – velenas; 7 – variklio apkrova; 8 – sukčių įrašymo įranga; 9 – įpurškimo laiko jutiklis; 10 – slėgio jutiklis; 11 – oro temperatūros jutiklis; 12 – temperatūros jutiklis; 13 – DR temperatūros jutiklis; 14 – deginių temperatūros jutiklis; 15 – slėgio jutiklis; 16 – oro masės matuoklis; 17 – išmetamųjų dujų analizatorius; 18 – dūmingumo analizatorius; 19 – cilindro slėgio įrašymo įranga; 20 – degalų įpurškimo kampo reguliavimo įranga; 21 – degalų įpurškimo momento įrašymo įranga; 22 – alkūninio veleno padėties jutiklis; 23 – degalų talpa; 24 – degalų sąnaudų matavimo įranga

Šaltinis: sudaryta autorių

1 lentelė. 1.9 TDI 1Z variklio pagrindiniai rodikliai

Rodiklis	Reikšmė
Darbinis tūris, cm ³	1896
Suslėgimo laipsnis	19,5
Nominali galia, kW	66 (4000 min^{-1})
Sukimo momentas, N m	180 (2000–2500 min^{-1})
Cilindro skersmuo, mm	79,5
Stūmoklio eiga, mm	95,5

Šaltinis: Variklio 1.9 TDI 1Z techniniai duomenys

tis vieno kintamojo reikšmes prognozuoti pagal kito kintamojo reikšmes. Regresinė analizė – tai statistiniai modeliai, skirti regresijos modeliui sudaryti, patikrinti ir taikyti prognozėms. Norint sudaryti regresijos modelį, reikia [6, 7, 8]:

- Patikrinti ryšio stiprumą.
- Įvertinti nežinomus regresijos modelio parametrus.
- Įvertinti, ar pasirinktas modelis yra suderintas su duomenimis.

Tiesinio ryšio stiprumo matas yra koreliacijos koeficientas r_{xy} :

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S_x \cdot S_y}; \quad (1)$$

čia: \overline{xy} – kintamųjų sandaugos vidurkis; S_x ir S_y – kintamųjų dispersijos [9].

Vidutiniai standartiniai nuokrypiai yra skaičiuojami:

$$S_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \overline{(x^2)} - (\bar{x})^2; \quad (2)$$

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \overline{(y^2)} - (\bar{y})^2; \quad (3)$$

Atsižvelgiant į apskaičiuotą koreliacijos koeficientą, mokslinė tyrimo duomenų grafinio vaizdavimo programa *Origin8Pro* 2-me pav. pateikti koreliacinių ryšių grafikai. Vizualiai, analizuojant grafikuose pateiktus ovalus, galima konstatuoti tiriamų rodiklių koreliacines priklausomybes. Ovalui siaurėjant vertikaliame stulpelyje esantys rodikliai labiau priklauso nuo horizontalioje eilutėje pažymėto rodiklio. Ovalui kylant, horizontalioje eilutėje didėjantis rodiklis didina vertikaliame stulpelyje esančio rodiklio vertę, ovalui leidžiantis – mažina.

3. Degalų savybių tyrimas

Išnagrinėjus 2-oje lentelėje pateiktas degalų savybes matyti, kad RME100 žemutinis šilumingumas (MJ/kg) yra ~12,5 % mažesnis už D100 ir tai proporcingai didins degalų masės sąnaudas, didinant RME koncentraciją degalų mišinyje. RME100 tankis (g/ml) yra ~5,5 % didesnis už D100 tankį, taip galima iš dalies kompensuoti degalų sąnaudų didėjimą, augant RME koncentracijai, degalų sąnaudas įvertinant tūrio vienetais [10].

RME100 kinematinė klampa (mPa·s) viršija dyzelino klampą ~50 %, o dinaminė klampa (cSt) yra ~58,7 % didesnė, todėl galime numatyti, kad, didinant RME koncentraciją, keisis degalų išpurškimo procesas, įpurškimas truks ilgiau.

Nustatyta, kad RME oksidacinis stabilumas yra ~72 % mažesnis už dyzelino, ir tai parodo, kad, didinant RME koncentraciją, degalų saugojimo laikas trumpėja.

Šalinant sierą iš dyzelinių degalų vyksta hibridinio proceso. Šio proceso metu be sieros pašalinami ir poliarizuoti degalų komponentai, kurie gerai tepa. Naudojant dyzelinius degalus be sieros, iškyla skirstomojo tipo įpurškimo siurblių sudilimo problema dėl

2 lentelė. Degalų fizinės ir cheminės savybės

Rodiklis \ Degalai	D100	RME100
Žemutinis šilumingumas, MJ/kg	42,83	37,47
Ribinė filtruojamumo temperatūra, °C	-22	-14
Ribinė tankumo temperatūra, °C	-39	-33
Dinaminė klampa 40 °C, mPa·s	2,412	3,830
Kinematinė klampa, 40 °C, cSt	2,9401	4,421
Tankis, 15 °C, g/ml	0,838	0,884
Oksidacinis stabilumas, min	98,00	27,00
Vandens kiekis, % V/V	0,0028	0,0288
Tepumas, μm	406	166
Cetaninis skaičius	~ 53	51,7
Elementinė sudėtis, H %	13,31	11,82
Elementinė sudėtis, C %	86,69	77,52
Elementinė sudėtis, O ₂ %	0	10,66

Šaltinis: Klaipėdos universiteto laboratorija

nepakankamo degalų tepumo, todėl į dyzelinius degalus dedama tepumą gerinančių priedų. Tepumas nustatomas atliekant dilimo testą. Tvirtai įtvirtintas plieninis rutuliukas degaluose dideliu dažniu yra trinamas į plokštę. Susidariusios plokštumos dydis (angl. WSD: *Wear Scar Diameter*) – dilimo pėdsako skersmuo, išmatuotas μm, parodo nudilimą, todėl yra degalų tepumo matas (Bosch, 2009). Pagal EN590 reikalavimus dyzeliniams degalams maksimalus WSD ≤ 460 μm. Degalų tyrimo metu nustatyta, kad RME100 tepumas – 166 μm, o D100 tepumas – 406 μm. Vadinas, naudojant RME100 degalus, dilimo intensyvumas sumažėja ~59 %, palyginti su dyzelinu, o dyzeliną pakeičiant iš dalies, degalų mišinio tepumas gerėja proporcingai.

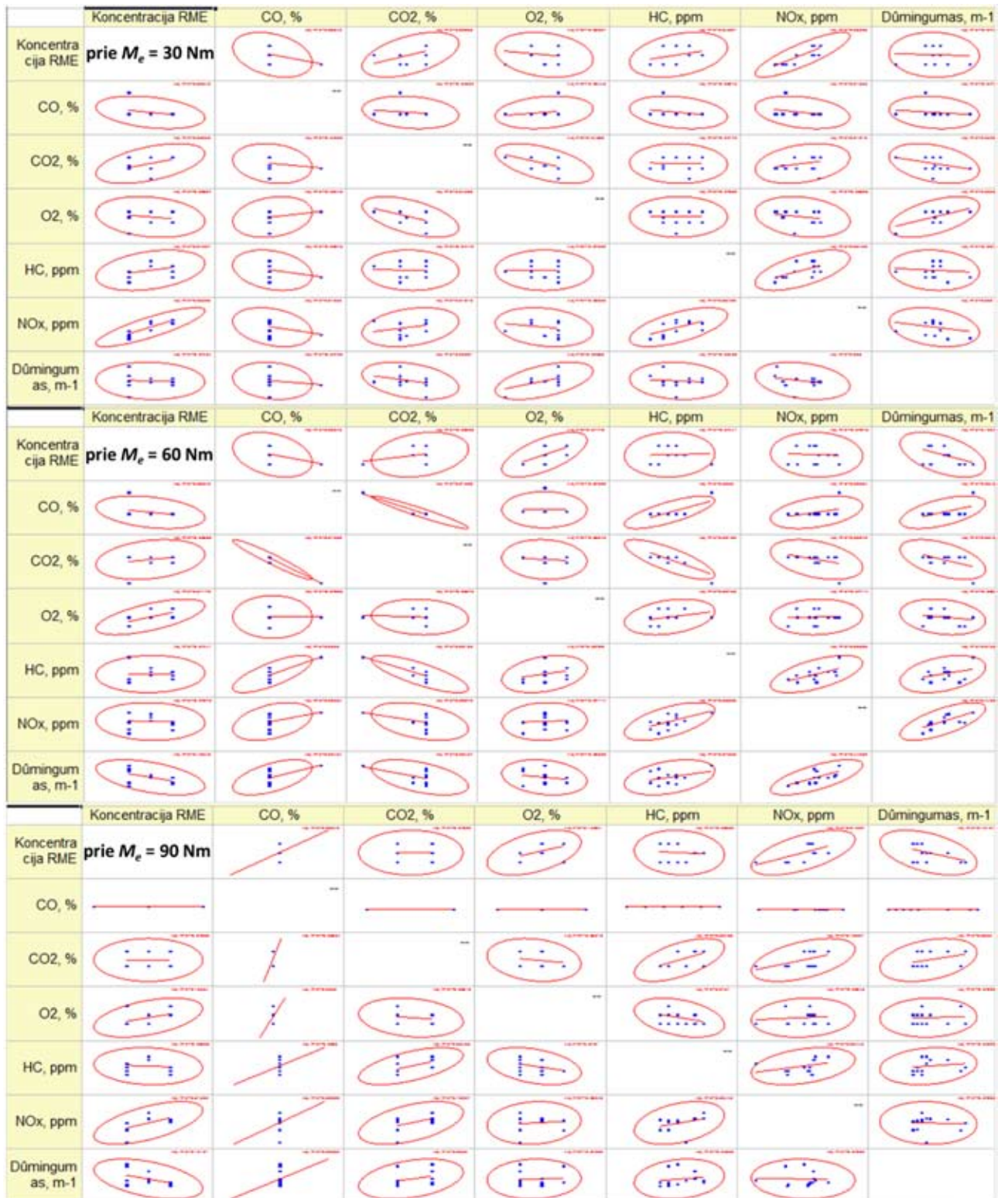
RME100 cetaninis skaičius yra artimas D100 (~2,5 % mažesnis) ir tai gali minimaliai veikti degalų mišinio cetaninį skaičių didinant RME koncentraciją. Mažėjant degalų cetaniniam skaičiui didėja slėgio prieaugis intensyvaus degimo periode ir tai didina variklio darbo trankumą, išauga degimo temperatūra bei padidėja NO_x koncentracija deginiuose [11].

Elementinė degalų sudėtis rodo, kad RME100 anglies/vandenilio (C/H) santykis yra artimas D100 degalams (6,558 ir 6,513). Taigi, galima numatyti, kad kietųjų dalelių (dūmingumo) formavimasis, didinant RME koncentraciją degalų mišinyje, mažai keisis. Analizuojant deguonies (O₂) koncentraciją degaluose konstatuojama, kad D100 degaluose deguonies nerasta, o RME 100 degaluose deguonies nustatyta 10,66 %. Vadinas, galima numatyti, kad deguonis gerins degaluose esančios anglies degimą, kas mažins dūmingumą, tačiau, pakilus degimo temperatūrai, padidės NO_x koncentracija išmetamosiose dujose [11].

4. Koreliaciniai ryšiai ir jų analizė

Išanalizavus 2-me pav. pateiktus koreliacinius ryšius matyti, kad CO koncentracija išmetamosiose dujose priklauso nuo RME koncentracijos degalų mišinyje ir, didinant RME koncentraciją, CO koncentracija mažėja. Tai paaiškinama didesne O₂ koncentracija degaluose, kas gerina anglies oksidaciją. Didesnė O₂ koncentracija RME degaluose veikia ir augančią CO₂ koncentraciją išmetamosiose dujose. Tai akivaizdu, kai apkrova mažesnė, turbokompresoriaus pripūtimo slėgis taip pat mažesnis. Augančioms CO₂ emisijoms įtakos turi ir didesnės degalų sąnaudos, didinant RME koncentraciją. Paprastesnė RME molekulinė grandinė taip pat turi veikti geresnę angliavandenių oksidaciją ir mažesnę degimo produktų (CO, CH, suodžiai) koncentraciją išmetamosiose dujose. Tačiau koreliacinių priklausomybių grafikuose matome, kad CH emisija, kai apkrovos mažos, didėja, ir tai gali lemti didesnės degalų sąnaudos, didinant RME koncentraciją.

Didėjantis RME kiekis degaluose didina NO_x koncentraciją, nes mažesnis RME cetaninis skaičius didina degimo intensyvumą ir temperatūrą difuzinėje (inten-



2 pav. Koreliaciniai ryšiai tarp RME koncentracijos degaluose ir variklio išmetamųjų dujų komponentų varikliui veikiant skirtinga apkrova

Šaltinis: sudaryta autorių

syvaus degimo) fazėje, kas skatina NO_x junginių formavimąsi. RME esantis O_2 taip pat didina degalų degimo temperatūrą. RME NO_x emisijas daugiausia veikia, kai apkrova didesnė, o degimo temperatūra išauga dėl didesnio ciklinio degalų kiekio ir yra pakankamai aukšta NO_x formuotis. Šiuo režimu ir nedidelis temperatūros prieaugis turi apčiuopiamos įtakos NO_x emisijoms.

Visose apkrovose RME veikia (mažina) variklio dū-

mingumą, tačiau stipriausi koreliaciniai ryšiai užfiksuoti varikliui veikiant didesnėmis apkrovomis. Didėjant RME koncentracijai degalų mišinyje, didesnis O_2 kiekis padeda geriau sudeginti suodžius. Kita mažėjančio dūmingumo priežastis – mažesnis RME žemutinis šiluminumas ir klampis. Tai pailgina degalų įpurškimo ir degimo procesą, o ilgiau išsilaikant aukštai temperatūrai išsiplėtimo takto metu suodžiai geriau sudega [11].

Padėka

Tyrimo rezultatai gauti vykdant 2014–2020 metų Europos Sąjungos fondų investicijų veiksmų programos 09.3.3-LMT-K-712 priemonės „Mokslininkų, kitų tyrėjų, studentų mokslinės kompetencijos ugdymas per praktinę mokslinę veiklą“ veiklos „Studentų gebėjimų vykdyti MTEP veiklą ugdymas“ poveiklės „Studentų gebėjimų ugdymas vykdant tyrimus semestro metu“ projektą „Slėginio uždegimo variklių, veikiančių pirmos bei antros kartos biodyzelino ir dyzelino mišiniais, eksploatacinių rodiklių tyrimas“, kodas: 09.3.3-LMT-K-712-03-0121.

Išvados

Atlikus biodyzelino – rapsų metilo esterio (RME) ir dyzelino mišinių (iki 30 % RME) slėginio uždegimo varikliuose ekologinių rodiklių tyrimą ir išanalizavus bandymų rezultatų koreliavimą pateikiamos šios išvados:

1. Didinant RME koncentraciją degaluose mažėja degalų mišinio šilumingumas ir auga degalų sąnaudos. RME taip pat didina O_2 koncentraciją degalų mišinyje ir tai gerina degimą. Dėl šių priežasčių didėja CO_2 koncentracija išmetamosiose dujose, tačiau RME yra atsinaujinantys degalai ir, įvertinant degalų gyvavimo ciklą, šių biodegalų naudojimas mažina šiltnamio dujų emisiją.
2. RME didina NO_x koncentraciją dėl mažesnio biodegalų cetaninio skaičiaus ir augančios O_2 koncentracijos degalų mišinyje.
3. RME mažina variklio dūmingumą, nes RME esantis didesnis O_2 kiekis padeda geriau sudeginti sudžius. Dūmingumą mažina ir dėl ilgesnio įpurškimo laiko ilgiau trunkantis RME degimas.
4. Koreliaciniai ryšiai tarp RME kiekio degaluose ir variklio išmetamųjų dujų komponentų suteikia galimybę įvertinti ir ekologinių rodiklių tarpusavio priklausomybę.

Literatūra

1. *Biodegalai*. [Interaktyvus] [žiūrėta 2018 m. spalio 12 d.]. Prieiga per internetą: http://www.lei.lt/_img/_up/File/atvir/bioenerlt/index_files/Biodegalai_galut.pdf.
2. PIN PIN, Oh et al. A review on conventional technologies and emerging process intensification (PI) methods for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012; 16:5131–45.
3. NG, Jo-Han, Hoon Kiat NG and Gan SUYIN. Advances in biodiesel fuel for application in compression ignition engines. *Clean Technologies Environmental Policy*, 2010; 12:459–93.
4. MILLO, Federico et al. Effects of different biofuels blends on

performance and emissions of an automotive diesel engine. *Fuel*, 2015; 159: 614–627.

5. Lietuvos Respublikos energetikos ministras įsakymas dėl „Dėl prekybos naftos produktais taisyklių patvirtinimo“ pakeitimo, 2015 m. vasario 5 d. Nr. 1–37.
6. KENDALL, Maurice. *Rank correlation methods*, 4th ed. London: Griffin, 1970. ISBN0852641990.
7. ARCHDEACON, Tomas. *Correlation and regression analysis: a historian's guide*. Madison, Wis: University of Wisconsin Press, 1994. ISBN 9780299136543.
8. COHEN, Jacob and Judith COHEN. *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences*. Mahwah, N.J.: L. Erlbaum Associates, 2003.
9. SIVILEVIČIUS, Henrikas. Application of Expert Evaluation Method to Determine the Importance of Operating Asphalt Mixing Plant Quality Criteria and Rank Correlation. *Balt. J. Road Bridge Eng.*, 2011 vol. 6, no. 1, p. 48–58.
10. SINGH, Devendra, K. A. SUBRAMANIAN and S. K. SINGAL. Emissions and fuel consumption characteristics of a heavy duty diesel engine fueled with Hydroprocessed Renewable Diesel and Biodiesel. *Applied Energy*, 2015; 155: 440–446.
11. HEYWOOD, John. *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill, 1988. ISBN 007028637.

RESEARCH OF ECOLOGICAL PARAMETERS OF ENGINES FUELED BY DIESEL AND BIODIESEL MIXTURES

Alfredas Rimkus^{1,2}, Jonas Matijošius^{1,2}, Saulius Stravinskas^{1,2}

¹Vilnius College of Technologies and Design

²Vilnius Gediminas Technical University

Abstract. The study examines the ecological indicators of a compression ignition engine operating on biodiesel – Rapeseed Methyl Ester (RME) and Diesel (D100, RME15% and RME30%) in different engine loads. Physical-chemical tests of fuels were done in a specialized laboratory. Engine performance tests were performed using engine load bench, exhaust gas analyzer and smoke detector. The article presents the research methodology, test results and their analysis for the purpose of evaluating the correlation relations between the RME concentration and the ecological indicators under investigation. It has been determined that increasing the concentration of RME in diesel increases the concentration of CO_2 , CH and NO_x in the exhaust gas, but smoke decreases. Life cycle assessment suggests that CO_2 emissions from biofuels are lower than those from petroleum-based diesel.

Key words: Compression-ignition engine, Rapeseed Methyl Ester, ecological indicators, correlation relations.

TERMINIO APDIRBIMO ĮTAKA MATMENŲ NUOKRYPIŲ STABILIZACIJAI

Vitalijus Rudzinskas¹, Jonas Matijošius¹, Virginijus Daugėla¹, Mantas Juchnevičius¹,
Mindaugas Pakalnis¹

¹ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

Anotacija. Metalo apdirbimo ir metalo gaminių pramonės įmonė technologinio proceso metu apdirbdama AW-5083, AW-6082, AW-7075 aliuminio lydinius susiduria su tam tikrais sunkumais. Apdirbimo ir gamybos proceso metu galimi linijinių ir kampinių matmenų nuokrypiai. Gaminio maršruto kortelėje numatyta daugybė nuoseklių skirtingo pobūdžio operacijų, taigi gamybos metu aliuminio ruošinys patiria daug skirtingų mechaninių poveikių. Šiuo metu dėl gamybos proceso specifikos gaunamas rezultatas neatitinka iš anksto numatytų reikalavimų. Tyrimo metu surinkta ir apdorota informacija padės atskleisti esamo proceso trūkumus, netikslumus ir surasti tinkamą ir efektyvų problemos sprendimą.

Reikšminiai žodžiai: detalių plokštumas, matmenų nuokrypiai, terminis apdirbimas, matmenų stabilumas.

Įvadas

ES transporto politikos „Baltojoje knygoje“ rašoma, kad analizuojant gamyboje iškilusią problemą būtina įvertinti gaminamų detalių operacijų nuoseklumą, kurį apibrėžia gamybos proceso metu naudojami mechanizmai, apdirbamos detalės tvirtinimo pobūdis apdirbimo metu bei detalės pastatymo skaičiaus staklynuose. Kiekviena operacija skirtingai veikia gaminamą detalę, dėl šios priežasties svarbu išsiaiškinti operacijos metu naudojamus apdirbimo režimus ir suprasti jų poveikį gaminamai detalei. Naudojami tokie režimai: pastūma, pjovimo greitis, parinkta užlaida bei pjovimo gylis. Išanalizavus operacijų nuoseklumą, naudojamus režimus, technologinėje kortelėje parenkamus įrankius bei tepimo, aušinimo skystį, galima apskaičiuoti rekomenduojamus ar maksimalius leistinus režimus [1].

Straipsnio tikslas yra nustatyti medžiagos matmenų stabilizacijos pobūdį bei pasiūlyti tipinį technologinį procesą gaminant aukšto tikslumo metalines detales.

1. Literatūros šaltinių apžvalga

Gaminant aukšto tikslumo metalines prietaisų detales, kurių maksimalus matmuo – iki 600 mm., darbinė temperatūra – iki 100 °C, turi būti nustatyti terminio apdirbimo rekomenduojami tipiniai technologiniai procesai, kurie užtikrina prietaisų detalių matmenų stabilizaciją.

Terminio apdirbimo technologija parenkama atsižvelgiant į metalinio gaminio kategoriją, kurią apibrėžia leistini detalės formos geometriniai nuokrypiai bei tikslumas.

Siekiant stabilizuoti medžiagos fazinę būseną ir struktūrą, būtinas stabilizacinis pakaitinimas. Šis būdas užtikrina medžiagos optimalų pasipriešinimą mikroplastinėms deformacijoms ir sumažina vidinius įtempius detalėse [2].

Stabilizacinio pakaitinimo efektyvumas nusakomas temperatūra. Optimalus temperatūros intervalas priklauso nuo lydinio, struktūrinės būsenos ir ankstesnių technologinių operacijų (karšta ar šalta plastinė deformacija, mechaninis apdirbimas pjovimu ir t. t.) [3].

1 lentelė. Detalių kategorijos priklausomybė nuo matmenų stabilumo

Detalės kategorija	Detalės matmenų stabilumas numatytomis sąlygomis pateikiamas procentais	Formos nuokrypių tikslumas ir pagrindinių plokštumų geometrinių parametrų išlaidymas, mm
1	≥ 0.0050	≥ 0.050
2	0.0002-0.0050	0.005-0.050
3	≤ 0.0002	≤ 0.005

Liejinių ir deformuotų lydinių tipiniai technologiniai procesai yra skirtingi.

Tipiniai technologiniai procesai naudojami gaminant aukšto tikslumo detales iš deformuojamų lydinių. Aukšto tikslumo metalinės detalės turi būti gaminamos iš medžiagų, kurių matmenys nekinta [4].

Matmenų stabilumas – tai medžiagos savybė priešintis matmenų pokyčiams eksploatuojant ir saugant gaminį [5].

Medžiagos matmenų stabilumas gali būti įvertintas pasipriešinimu mikroplastinei deformacijai.

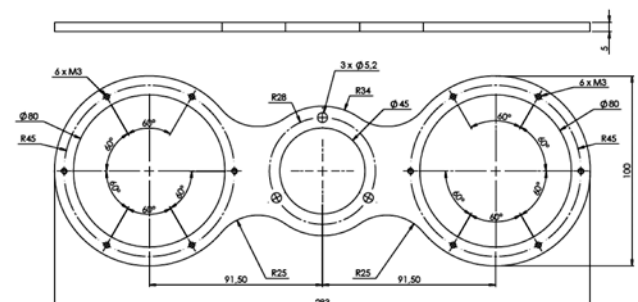
A) Santykinio tamprumo riba.

B) Santykinė relaksacinė riba (veiksnumo riba).

2. Tyrimo metodika

Tyrimams pasirinkta AW-7075 detalė (1 pav.). Prieš detalės terminį apdirbimą įvertintas detalės kiektumas, plokštumas.

Terminis apdirbimas buvo atliktas keliais režimais. Pasirinkti du egzemplioriai ir atliktas terminis apdir-



1 pav. AW-7075 detalė

Šaltinis: sudaryta autorių

bimas pirmu režimu (320 C išlaikyta 3val., aušinta ne greičiau nei 100 °C per val.).

Vėliau atliktas terminis apdirbimas antru režimu (100 °C išlaikyta 4 val., aušinta ne greičiau nei 100 °C per val.).

CNC operatoriui, kuris buvo atsakingas už detalių gamybą, nurodyta detalės netvirtinti griebtuvuose, kad priverstinai ji nebūtų ištiesinta, nes apdirbus vieną pusę ir atleidus griebtuvus detalė vėl sulinktų. Atliktas terminis apdirbimas pirmu režimu (320 °C išlaikyta 3 val, aušinta ne didesniu greičiu nei 100 °C per val.). Išmatuotas paruošų kietumas.

3. Detalių kietumo matavimai

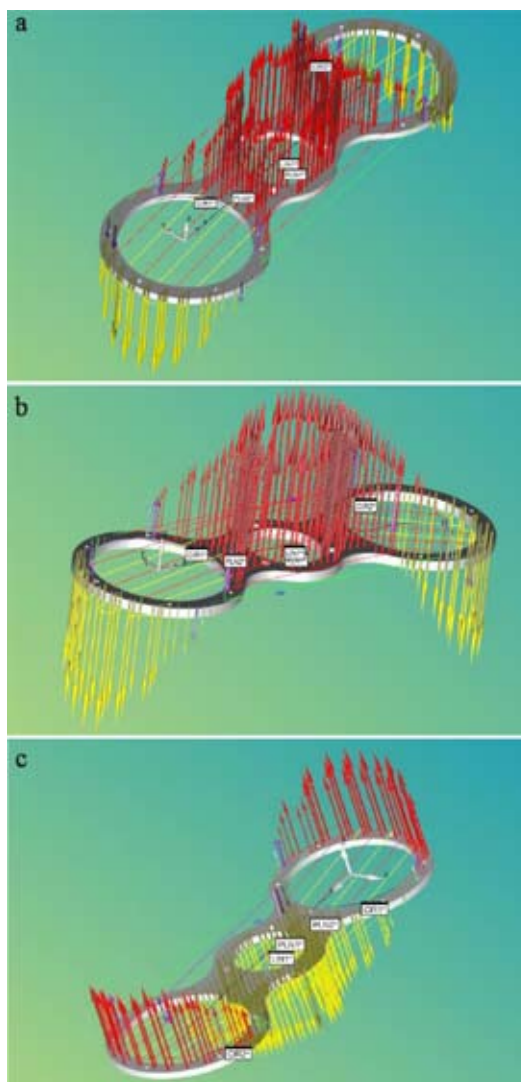
Atlikto plokštumo bandymo rezultatai pateikti 1-me pav. (4-d). Skirtingų partijų detalių plokštumo skirtumai akivaizdūs. Tokie skirtumai galimi ir dėl CNC operatoriaus kaltės, jie yra ištaisomi. Kietumo matavimų vertės – nuo 44HRB iki 49HRB. Atmetus matavimo paklaidas. lydinio kietumas pakankamai tolygus visame paviršiuje.

4. Plokštumo tyrimai po terminio detalių apdirbimo

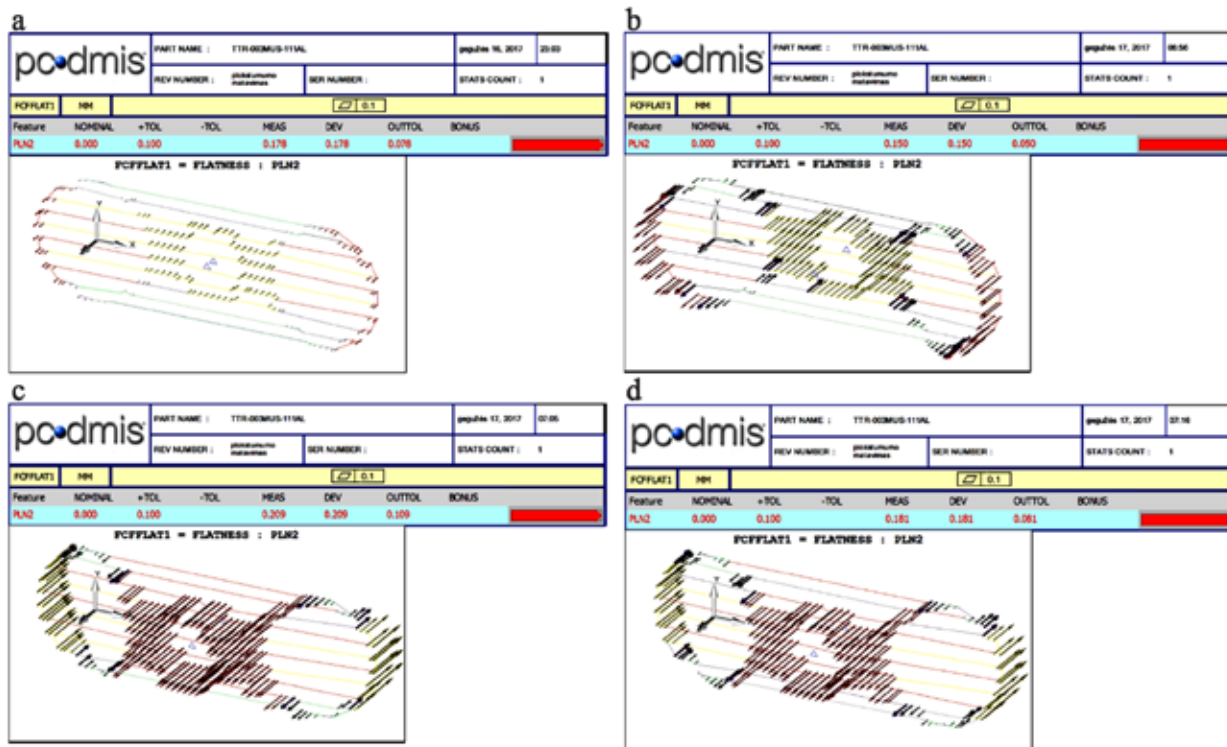
4.1. Tyrimas, atliktas pirmu režimu

Po terminio apdirbimo pamatavus kietumą matyti, kad aliuminio lydiny susminkštėjo. Matavimo rezultatai – nuo 5 HRB iki 10 HRB (3 pav.).

Atlikus plokštumo matavimus pastebėtas akivaizdus pablogėjimas. To ir buvo galima tikėtis: detalė susminkštėjo, nebeliko vidinių įtempių, ji labiau išsiritė.



3 pav. Plokštumo bandymų rezultatai po terminio apdirbimo pirmu režimu: a) partijos nr.1; b) partijos nr.2; c) partijos nr.3.



2 pav Plokštumo bandymų rezultatai: a) partijos nr.1; b) partijos nr.2; c) partijos nr.3; d) partijos nr.4.

4.2. Tyrimas, atliktas antru režimu

Po šio terminio apdirbimo buvo pamatuotos kelios detalės vietos kietumui nustatyti, bet nerasta jokių pokyčių. Priėjome prie išvados, kad pasirinkus pirmą režimą detalė suminkštėja, o tolesni veiksmai (mechaninis apdirbimas, kiti režimai) nedaro pastebimos įtakos detalei. (4 pav.).

Detalės buvo pamatuotos po terminio apdirbimo. Matavimo rezultatai turėtų rodyti pagerėjimą, bet nepaisyta matavimo vienodumo reikalavimų.

4.3. Detalių plokštumo matavimai po mechaninio apdirbimo

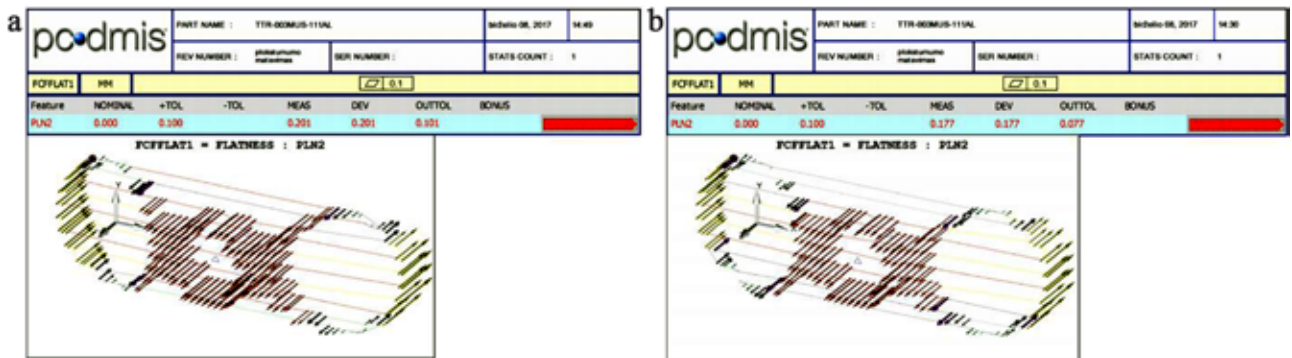
Kadangi matavimo rezultatai neturėtų būti tokie prasti, priėjome prie išvados, kad staklių operatorius, plovyklos darbuotojas kelionės metu į metrologiją arba metrologas neatsakingai elgėsi su detale ir ją stipriai deformavo (5 pav.).

Šiuo atveju tolesnis detalės terminis apdirbimas buvo beprasmis.

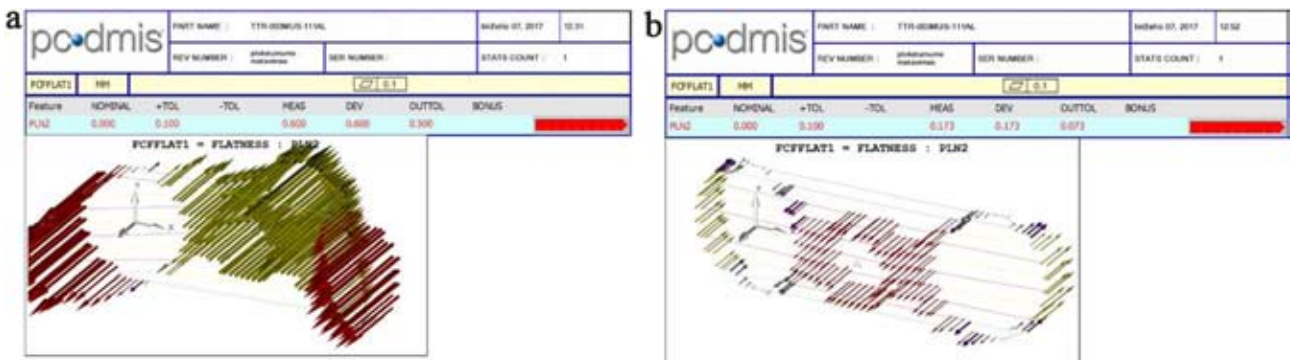
Paskutinis terminis apdirbimas neparodė plokštumo matavimo vertės skirtumo (6 pav.).

Išvados

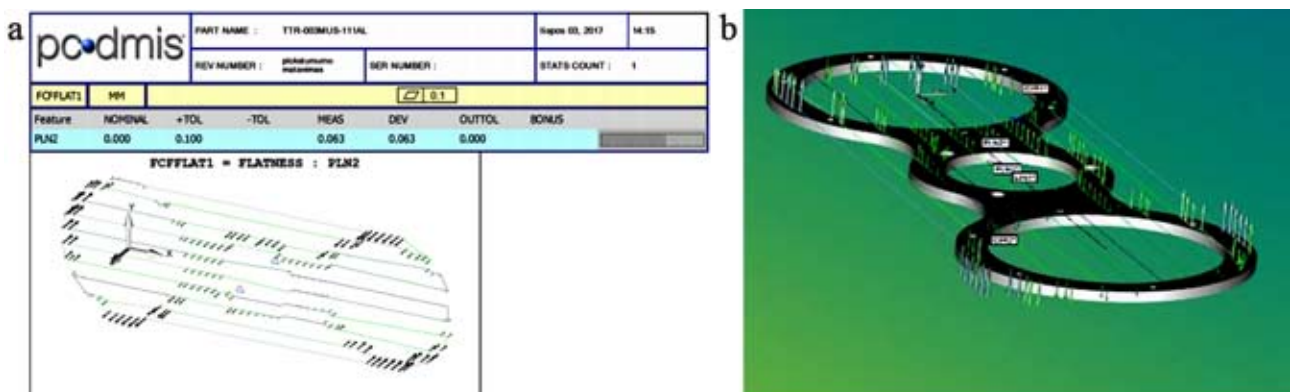
Terminio apdirbimo proceso metu detalės kietumo vertė pastebimai sumažėjo nuo 45–49 iki 5–10 HRB, vadinasi, lydinys suminkštėjo, medžiaga tapo plastiška. Pagamintos detalės, skirtos ciklinei apkrovai, ar detalės, naudojamos kaip laikančioji konstrukcija, neatitiktų mechaninių reikalavimų. Mechaninis apdirbimas ir tolesni terminiai apdirbimai kietumo vertės nekeičia, vadinasi, tolesni terminio proceso etapai nebūtini. Po pirmo tyrimo etapo matyti, kad terminis apdirbimas nedaro įtakos detalės plokštumo vertei. Antrojo etapo



4 pav. Plokštumo bandymų rezultatai po terminio apdirbimo antru režimu: a) partijos nr.1; b) partijos nr.2.



5 pav. Plokštumo bandymų rezultatai po mechaninio apdirbimo: a) partijos nr.1; b) partijos nr.2.



6 pav. Plokštumo bandymų rezultatai po mechaninio apdirbimo: a) partijos nr.1; b) partijos nr.2.

(paruošos) metu buvo įgyta „geros detalės“ vertė, antrąjo etapo eiga buvo glaudžiai susieta su mechaninio apdirbimo reikšme. Detalės padėtis griebtuvuose, autorių manymu, buvo svarbiausia pasiekiant 0,063 plokštumo vertę. Taigi kyla klausimas, ar įmanoma gauti tą patį rezultatą be terminio apdirbimo, paliekant 2 mm. ir 0,5 mm. užlaidas. Šios užlaidos padėtų išgauti plokštumą netvirtinant detalės griebtuvuose. Mechanškai apdorojamos detalėsvidiniai įtempiai galėtų šią detalę išlenkti. Pirmajam etape po pirmojo terminio apdirbimo proceso detalių plokštumo vertė sumažėjo.

Literatūra

1. BOSCHETTO, Alberto et al. *Finishing of Fused Deposition Modeling parts by CNC machining. Robot Comput-Integr Manuf.* 2016 Oct;41:92–101.
2. YANG, Lijie et al. *Novel method for high accuracy figure measurement of optical flat.* Opt Lasers Eng. 2017 Jan;88:162–6.
3. HANSEL, Adam et al. *Improving CNC Machine Tool Geometric Precision Using Manufacturing Process Analysis Techniques.* Procedia CIRP. 2014;14:263–8.
4. GHIBAUDO, Gerard et al. *Determination of well flat band condition in thin film FDSOI transistors using C-V measurement for accurate parameter extraction.* Solid-State Electron. 2018 Jan;139:88–93.
5. SOORI, Mohsen et al. *Virtual machining considering dimensional, geometrical and tool deflection errors in three-axis CNC milling machines.* J Manuf Syst. 2014 Oct;33(4):498–507.

THE INFLUENCE OF THE TERMINAL WORK FOR STABILIZATION OF DIMENSIONAL SURFACES

Vitalijus Rudzinskas¹, Jonas Matijošius¹,
Virginijus Daugėla¹, Mantas Juchnevičius¹,
Mindaugas Pakalnis¹

¹Vilnius College of Technologies and Design

Abstract. During the technological process, the metal working and metal products industry faces certain problems in the processing of aluminum alloys AW-5083, AW-6082, AW-7075. The processing and manufacturing process is subject to linear and angular deviations from the set value. The product routing card for aluminum coat provides a series of sequential operations of a different kind, so during production, the aluminum blade experiences a number of different mechanical conditions depending on the conditions. The result of the currently applied production process does not meet the pre-set requirements. The information gathered and processed during the study will make it possible to understand the shortcomings and inaccuracies of the current process and to formulate the necessary conclusions that will allow finding the most appropriate and effective solution to the problem.

Key words: Flatness of parts, dimensional deviations, thermal treatment, dimensional stability.

TRANSPORTO SRITIES SEMANTIZMŲ VARTOSENĄ STUDENTŲ KALBOJE

Jolita Grašienė¹, Angelika Petrėtienė²

¹ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, 10303 Vilnius

² Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius

Anotacija. *Specialybės kalbos programoje* [1] akcentuojama, kad svarbiausias dėstytojo tikslas yra gerinti studentų profesinės kalbos vartosenos įgūdžius. Šiame straipsnyje nagrinėjami transporto srities žodžių junginių reikšmės klaidos (semantizmai), deja, kai kurie jų tapę „pseudoterminais“, apžvelgiamos jų atsiradimo transportininkų kalboje priežastys, pateikiami taisyklingi atitikmenys. Anketinė apklausa siekta nustatyti, ar Vilniaus Gedimino technikos universiteto (toliau – VGTU) ir Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos (toliau – VTDK) studentai žino tikslus atrinktų žodžių junginių atitikmenis. Daugelio aptariamųjų žodžių junginių vienas iš dėmenų – semantinis komponentas, aptinkamas ir kitų mokslo sričių taisytiuose žodžių junginiuose (pvz.: *programinės įrangos aptarnavimas, atidirbtos medžiagos, draugiškas internetas, skaitiklio parodymai* ir kt.), kai kurie jų fiksuojami tik transporto srityje (pvz., *traukinių stotis* ir kt.). Tiriameji žodžių junginiai atrinkti remiantis studentų baigiamuosiuose darbuose, interneto tinklalapiuose, reklamos iškabose pastebėtomis klaidomis.

Reikšminiai žodžiai: anketinė apklausa, semantizmai, taisyklingi terminai, termino raida, žodžio reikšmė.

Įvadas

Semantizmas (plg. graikų *sēmantikos* „reikšminis“) – savas žodis, tam tikruose kontekstuose pavertojamas svetima, anksčiau neturėta reikšme arba kelio reikšmėmis [2]. Pasak A. Pupkio [3], semantizmų atsiradimo priežastys yra šios: 1) žodžio daugiareikšmiškumas, dėl kurio dviejų žodžių semantika nesutampa; 2) skirtingos reikšmės žodžių formų panašumas ar sutapimas.

Neturėtą reikšmę žodis įgyja dėl svetimos kalbos įtakos. Svetimos įtakos paprastai paveikia šalutines žodžio reikšmes [2]. Anot R. Dobržinskienės [4], „žinant, kad lietuvių kalbos žodžiai paprastai turi ne po vieną reikšmę, iš tikrųjų ne visada lengva kai kuriuos jų tinkamai vartoti“. Transporto srities semantizmų aptinkama nemažai [5].

Tirti parinkti šie taisytiniai žodžių junginiai: *automobilio techninis aptarnavimas, arklio jėga, atidirbtos tepalas, dėvėtos padangos, dyzelinis kuras, draugiškas aplinkai automobilis, greičių dėžė, kelio atkarpa, vedantysis ratas, vieninga transporto sistema, visuomeninis transportas, traukinių stotis; kėbulo išmatavimai, spidometro parodymai*.

Straipsnio tikslas – ištirti, ar VGTU ir VTDK studentai žino tikslus tiriamųjų žodžių atitikmenis.

Uždaviniai:

1. Atrinkti aktualias transporto srities žodžių junginių reikšmės klaidas, pateikti statistinius studentų tikslų atitikmenų – taisyklingų terminų – žinojimo duomenis.

2. Aptarti pasirinktų tirti žodžių junginių atsiradimo vartosenoje priežastis, jų taisyklingus atitikmenis remiantis *Dabartinės lietuvių kalbos žodyne* [6] teikiama žodžių reikšmėmis, senesniųjų raštų pavyzdžiais, naujausių šaltinių (VLKK Konsultacijų [7] ir Terminų banko [8], žodynų IATE [9], *Eurotermbank*

[10], *Eurovoc* [11], Lietuvos standartizacijos departamento Terminų bazės [12] informacija.

Tyrimo metodai: anketinė apklausa, duomenų sisteminimas ir apibendrinimas.

1. Tiriamųjų semantizmų apžvalga: atsiradimo vartosenoje priežastys, raida, atitikmenys

Arklio jėga. Dabartinis terminas yra *arklio galia* (rus. *лошадиная сила*, angl. *horsepower*, vok. *Pferdestärke*) [13]. *Dabartinės lietuvių kalbos žodyne* [6] teikiamas ir terminas *arklio jėga* su nuoroda „psn.“. Senesniuose šaltiniuose aptariamoji realija įvardijama ir skoliniu iš latvių kalbos *arklio spēka*, tačiau dažniausi – žodžių junginiai su dėmeniu *jėga*, kartais jis išreikštas ir kiek kitokia gramatine forma (*pajėga, pajiega*), pvz.:

Kasztas pajiegos vieno mechaniszko arklio lygus ½ litro naftos [14]. *Monoplano motoras 4-iais cilindriais turi 40 arklio spēku* [15]. *Jo pastatytas 80 arklio jėgu motoras yra varomas daug pigesniu kuru, negu Dieselio, o energijos duoda tiek pat* [16]. *Variklio galingumas AI* [17].

Aptarnavimas. Taisyklingas terminas *priežiūra* fiksuojamas jau A. Maciejausko „Techniko žodynelyje“: *уходъ (за машиной) – priežiūra* [18]. Aptinkamas ir kituose to laikotarpio šaltiniuose, pvz.: <...> *soferiui draudžiama su kuom nors kalbėtis, išskyrus trumpus pastebėjimus dėliai mašinos priežiūros* [19].

VLKK Konsultacijų banke [7] nurodomi šie žodžių junginio *automobilių techninis aptarnavimas* atitikmenys: *automobilių techninė priežiūra, apžiūra, remontas, taisymas, techninis patikrinimas* ir pan.

Daugybė tarybinio laikotarpio šaltinių pavyzdžių, kuriuose randamas rusų kalbos pavyzdžiai (*техническое обслуживание*) sudarytas žodžių jungi-

nys *techninis aptarnavimas*, leidžia daryti išvadą, kad jis paplito būtent šiuo laikotarpiu, pvz.:

Pagrindiniai alkūninio mechanizmo techninio aptarnavimo darbai [17]. *Štai ir techninio aptarnavimo stotis Nr. 1* [20].

Atidirbęs, -usi; atidirbtas, -a (tepalas, alyva). *Atidirbti* – atlikti pareigą dirbant: *Paskirtą laiką atidirbti* [6].

Netaisyklingi žodžių junginiai *atidirbęs (atidirbtas) tepalas, atidirbusi (atidirbta) alyva* yra reikšmės svetimybės, perimtos iš rusų kalbos (plg. *отработанное масло*). Kaip pažymimasis žodis vartojamas būtojo laiko dalyvis *naudotas, -a*, pvz.: *naudotas tepalas* [21, 10, 11] *naudota alyva* [12].

Atkarpa. *Dabartinės lietuvių kalbos žodyne* [6] teikiamos keturios žodžio *atkarpa* reikšmės: 1. atraiža, skiautė: *Daug prikirpo ~į.* 2. kuponas. 3. laikraščio dalis, einanti per visą puslapį po skersinės linijos. 4. *mat.* tiesės dalis tarp dviejų jos taškų. Transporto ir kitų sričių terminijoje vartojamas žodis *ruožas*: *maršruto ruožas, kelio ruožas, gatvės ruožas, tilto ruožas, geležinkelio ruožas, beiešmis ruožas*, meteorologijoje – *lietaus ruožas, rūko ruožas*, net kompiuterijoje – *magnetinis ruožas, tranzitinis ruožas* [22].

Kaip transporto terminas *ruožas* įteisintas *Techniko žodynyje*: *ruožas – участокъ (жел. дор.); участокъ – ruožas, nuovada* [18]. Knygoje *Įvardai, arba terminai, priimti Terminologijos komisijos aptinkamas kelio ruožas – участок нуму* [23].

Dėvėtas, -a. Su šiuo neveikiamosios rūšies dalyviu sudaromi žodžių junginiai drabužiams, batams apibūdinti, pvz.: *dėvimieji drabužiai* [6], *dėvėta avalynė* [24]. Technikos terminijoje sudėtinių terminų pažymimuoju žodžiu eina neveikiamosios rūšies dalyvis *naudotas, -a*, pvz.: *naudotas traktorius* [25].

Draugiškas, -a. Transporto srities moksliniuose tekstuose palyginti neseniai pradėti vartoti anglų kalbos pavyzdžiu (*environmentally friendly, eco-friendly, nature friendly*) sudaryti žodžių junginiai *draugiški aplinkai automobiliai, draugiškos aplinkai degalinės* ir pan. Žodžio *draugiškas, -a* reikšmės: 1. linkęs draugauti, draugus: *D. žmogus*. 2. gera linkintis, tarpusavyje sugyvenantis: *~os valstybės, tautos*. 3. neturintis oficialumo, bičiuliškas: *D. tonas* [6]. VLKK Konsultacijų banke [7] siūloma vartoti: *aplinkai nekenksmingi automobiliai, degalinės, medžiagos*. Žodyne *Eurovoc* [11] angliškam žodžių junginiui *environment-friendly label* teikiamas lietuviškas atitikmuo *aplinkos neteršianti etiketė*. Žodyne *Eurotermbank* [10] nurodytas angliškojo *enhanced environmentally friendly vehicle* atitikmuo *nekenksmingumo aplinkai požiūriu patobulinta transporto priemonė*. Žodyne IATE [9] *eco-friendly label* įvardytas lietuvišku žodžių junginiu *ekologinis ženklas*. V. Drukteinytės [26] straipsnyje siūlomi atitikmenys *saugus, nekenksmingas, patogus*, akcentuojama, kad šios būdvardžio *draugiškas* reikšmės „vidiniais kalbos dėsniais yra nepaaiškinamos, todėl laikinai skolintinėmis iš anglų kalbos“.

Greičių (greičio) dėžė. Tai pasenęs terminas, vis dar pasitaikantis šių dienų tekstuose. Tam įtakos greičiausiai turi vartosenos tradicija. Šio termino raidos studijos rodo, kad vietoj dabartinio termino *pavara* (-os) transporto srityje anksčiau plačiai vartotas žodis *greitis (greičiai)* (kai kuriuose šaltiniuose vartojamas ir moteriškąja gimine (kilm. *greities*), pvz.:

<...> *pradėti judėjimą nuo pirmutinės greities* [19]. *Dantračių pergrupavimai vadinami greičiais, užtat sakoma: autovežimis turi 3 ar 4 greičius* [27].

Žodis *greitis* anksčiau vartotas ir kaip sudėtinio termino *greičių dėžė* (pastebima ir deminutyvinė forma *dėželė*) komponentas, pvz.:

Naujas Fordo jėgos pardavimas yra moderni greičių dėžė; ji turi tris greičius pirmyn ir vieną atgal [28]. <...> *reikia įjungti greitį; panašiai reikia pasielgti ir su greičių dėžele* <...> [19].

Žodis *pavara* (*pavara – nepedача*) teikiamas A. Maciejausko *Techniko žodynyje* [18]. Tačiau, šaltinių duomenimis, kaip transporto terminas (ir vienažodis, ir kaip sudėtinio termino *pavarų dėžė* komponentas) pradeda įsitvirtinti tik apie XX a. vidurį:

коробка передач – pavarų dėžė [29]. *Automobilio M-21 „Volga“ pavarų dėžė turi tris pavaras važiuoti pirmyn ir vieną užpakalinės eigos pavarą* [17].

Kuras. A. Maciejausko *Techniko žodynyje* terminai *degalai* ir *kuras* jau skiriami: *degalai – горючее, kuras – топливо* [18]. Tačiau terminai *kuras* ir *degalai* ir šiuo metu dar vis painiojami, vartojami sinonimiškai. Šių terminų sinonimija pastebima ir ankstesniuose šaltiniuose, pvz.:

Kodėl skysto kuro klausimas vis darosi aktualesnis, tai esą visiems gerai suprantama – motomechanizacijos didelis vystymasis visuose kraštuose. <...> Šie degalai gaunami iš žemės alyvos [30].

VLKK Terminų banke [8] teikiama keletas terminų *kuras* ir *degalai* apibrėžčių. Visos jos pagrindžia *Dabartinės lietuvių kalbos žodyne* [6] teikiamas apibendrintas šių terminų apibrėžtis: *kuras* aiškinamas kaip „šildymo, kūrenamoji medžiaga (malkos, durpės, anglys ir kt.)“; *degalai* – „degiosios medžiagos vidaus degimo varikliams“.

Vedantysis, -ioji. Technikos terminijoje teikiami sudėtiniai terminai *varantysis* (ne *vedantysis*) *ratas*, *varantysis* (ne *vedantysis*) *velenas*, *varantysis* (ne *vedantysis*) *skriemulys*, *varantysis* (ne *vedantysis*) *tiltas*.

Išsamiai veikiamosios rūšies dalyvio *vedantysis* (-ioji) išgalėjimą technikos žodžių junginiuose aiškino J. Klimavičius [31]: Ši terminų mikrosistema labai ilgą laiką turėjo sąlytį su rus. *ведущее колесо* ↔ *ведомое колесо*, o ši semantiškai panaši į pranc. *roue menante* (dažniau *roue motrice*) ↔ *roue menée* (rečiau *roue commandée*). Lietuvių kalba gana gerai atlaikė svetimą semantinę poveikį – tik 1949 m. A. Novodvorskio *Trumpas rusiškai–lietuviškas techninis žodynas* [32] teikė terminus *vedančioji* (bet ir *varančioji*) *akis*, *vedantysis* ir *vedamasis* (bet ir *varomasis*) *skriemulys* (nors tik *varantysis* ir *varomasis velenas*,

o *rato nėra* jokio). Vėliau šitų reikšmės svetimybų atsisakyta.

Vieningas, -a. *Vieningas* – pasižymintis vienybe, pvz.: *vieninga tauta, vieningas darbas*. Tačiau šis būdvardis nederama reikšme dažnai vartojamas ir techniniuose tekstuose. Anot A. Rosino [33], „toks *vieningo* „agresyvumas“ aiškintinas veikiausiai rusų *единый*, vartojamu įvairiose samplaikose, nekūrybišku vertimu į lietuvių kalbą. Rusų *единый* reiškia ne tik *vieningas*, bet ir *bendras, vienodas, vientisas, vienalytis, vienas, vienintelis*. Vartojama: *bendras Europos dangus, vienas bendras transporto dokumentas, vienodos kainos, bendrasis fondas* ir kt. (plg. IATE [9], VLKK Konsultacijų banką [7], Terminų banką [8]).

Visuomeninis. Būdvardis *visuomeninis* neteiktinas žodžių junginyje *visuomeninis transportas*. *Visuomeninis* sietinas su daiktavardžiu *visuomenė: visuomeninė santvarka, visuomeniniai santykiai, visuomeninės paskirties pastatas*. Kaip transporto terminas vartojamas *viešasis transportas* (angl. *public transport*; vok. *Massenbeförderung*; pranc. *transport en commun*) (dar plg. *viešasis eismas, viešasis geležinkelis, viešasis sektorius* ir kt.).

Traukinių stotis. *Stotis* – transporto sustojimo vieta; jos pastatas [3]. Įsidėmėtina, kad yra *autobusų stotis*, tačiau traukinių sustojimo vieta nuo seno vadinama *geležinkelio* (o ne *traukinių*) *stotimi*. Taip aptariamieji dalykai įvardijami ir daugelyje kitų kalbų. Pvz.: latvių k. *autobusų stotis – autostacija, autoosta, geležinkelio stotis – dzelzcela stacija*; rus. k. – *автобусная станция, железнодорожный вокзал*; anglų k. – *a bus station, railway station, italų – autostazione (stazione degli autobus) – stazione ferroviaria*.

Tokia vartoseną pastebima ir senesniuose lietuviškuose šaltiniuose. (Pažymimasis žodis *geležinkelio* kartais vartotas ir daugiskaitos forma ar kitokios gramatinės formos (*gelžkelio*). Pvz.:

Pagal nesenei išdūtą paliepią centralizšku valdžiu ant stacijų geležinkelio tur but ant parodos dėl peržiūrėjimo matomoje vietoje pakabintos prekės grudu ir fraktiszkos tarifos už ju transportą [14]. *Kauno geležkelio stoties apyvarta* [34]. *Dėl to neseniai netoli geležinkelių stoties, Vytauto prospekte, pradėta statyti nauja, didelė ir patogi Kauno autobusų stotis* [35].

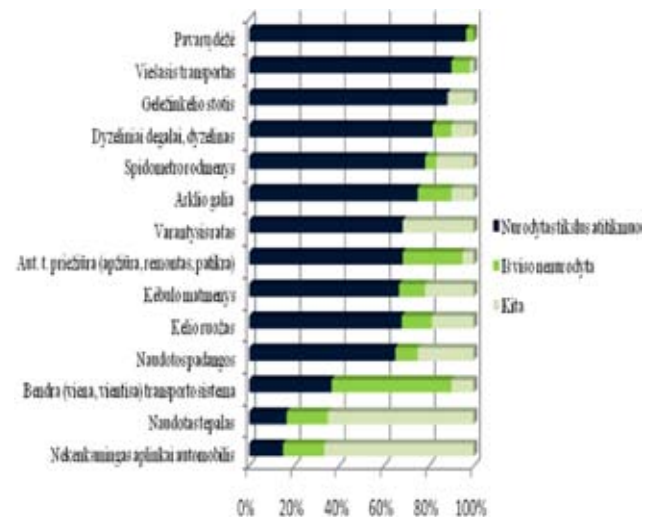
Išmatavimai. Parodymai. Žodžių išmatavimas ir *matmuo, parodymai* ir *rodmenys, duomenys* reikšmės skirtingos: pirmieji žymi veiksmą, antrieji – matavimo (ar kt.) rezultatą (dydį, numerį ir pan.). Dėl priesagos *-imas (-ymas)* vedinių reikšmių skirtumų (ar jų painingimo) jie aptariami ir semantikos tyrėjų. Įprastai šie vediniai nagrinėjami žodžių darybos skyriuje. Kaip teigia A. Skardžius [36], su priesaga *-imas* „visų pirma yra sudaromi veiksmožodiniai abstraktai iš būtojo kartinio laiko kamienų, pvz.: *bėgimas, krovimas* ir kt. Įgainiu daugelis iš jų yra įgiję konkrečią reikšmę, pvz., *arimas* „ōrė, išarta dirva“ (dar plg. *klojimas, nutarimas, skelbimas, vežimas* ir kt.). Daiktavardis *parodymai* įgijo konkrečią reikšmę teisės terminijoje, pvz., *liudytojų parodymai*.

A. Paulauskienės teigimu [37], „tai, kad iš esmės gali būti su priesaga *-imas* konkrečių daiktavardžių, sudaro palankias sąlygas įtakoms ir visai nereikalingiems dariniams“. Įsidėmėtini technikos terminai: *apylanka, aplinkkelis; pakuotė, -ės; įrenginys, -iai, įranga; įtempis, -iai; įtrūkis, -iai; mikroįtrūkis, -iai; nuokrypis, -iai; stotelė, -ės* (ne *apvažiavimas; įpakavimas; įrengimas, -ai; įtempimas, -ai; įtrūkimas, -ai; mikroįtrūkimas, -ai; nuokrypimas, -ai; sustojimas*).

2. VGTU ir VTDK studentų transporto srities semantizmų vartosenos tyrimas

Anketinė apklausa atlikta 2018 m. kovo mėn. Į anketos klausimus atsakė 120 respondentų – 60 VGTU Transporto inžinerijos fakulteto Transporto inžinerijos programos nuolatinų studijų ketvirto kurso ir Transporto inžinerinės ekonomikos ir logistikos programos ištęstinių studijų antro kurso studentų bei 60 VTDK Technikos fakulteto Automobilių elektronikos sistemų programos pirmo kurso nuolatinų studijų studentų.

Tyrimu siekta sužinoti, ar VGTU ir VTDK studentai žino tiriamųjų žodžių junginių taisyklingus atitikmenis. 1 ir 2 pav. pateikti teiginio „Parašykite pateiktų žodžių junginių tikslus atitikmenis“ statistiniai duomenys (paveiksluose nurodyti taisyklingi terminai).

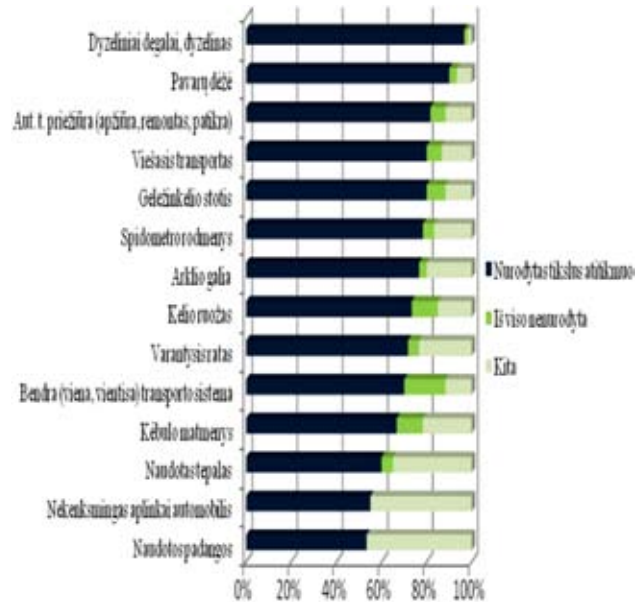


1 pav. VGTU studentų žinojimo tikslus sudėtinius transporto terminus duomenys procentais

Žinomiausias VGTU studentų – žodžių junginio *greičių dėžė* atitikmuo *pavarų dėžė* (97 %), (VTDK – 90 %). Tai būtų galima paaiškinti šio termino raida: dabartinis terminas turi palyginti senas vartosenos tradicijas ir retai bepainiojamas su XIX a. pabaigos – XX a. pirmosios pusės terminais. Tai pasakytina ir apie terminą *arklio galia* (taisyklingą atitikmenį nurodė 77 % VTDK ir 75 % VGTU studentų).

Daugiausiai VTDK studentų nurodė tikslus žodžių junginio *dyzelinis kuras* atitikmenis. Apklausos

rezultatai rodo, kad VTDK studentai pirmenybę teikia vienažodžiam terminui (*dyzelinas* – 74 %, *dyzeliniai degalai* – 26 %), o VGTU studentai – dvižodžiam (*dyzeliniai degalai* – 76 %; *dyzelinas* – 24 %). Iš visų atsakusių VGTU studentų 6 % aptariamąjį žodžių junginį įvardijo žodžiu *dyzelis*. Įsidėmėtina, kad šis žodis netinka nagrinėjamai degalų rūšiai nusakyti. Pateisinamas šnekamajame kalbos stiliuje dyzeliniam varikliui pavadinti.



2 pav. VTDK studentų žinojimo tikslus sudėtinius transporto terminus duomenys procentais

Žodžių junginio *vieninga transporto sistema* pateiktų atitikmenų analizė rodo, kad iš nurodytų taisyklingų variantų populiariausias – *bendra transporto sistema* (pasirinko 68 % VGTU ir 67 % VTDK taisyklingus variantus pateikusių studentų).

Gerai respondentų žinomas sudėtinis terminas *viešasis transportas*. Taisyklingą variantą nurodė 90 % VGTU ir 80 % VTDK studentų.

Žodžių junginio *automobilių techninis aptarnavimas* tyrimo statistiniai duomenys rodo, kad iš pasirinktų taisyklingų variantų (tiek VGTU (73 %), tiek VTDK (53 %) studentų) dažniausias buvo *automobilio techninė priežiūra*. Tikėtina, kad tokį rezultatą nulėmė tai, kad šis terminas, palyginti su kitais teikiamais variantais, yra plačiausios reikšmės [38].

88 % VGTU ir 80 % VTDK studentų nurodė tikslų žodžių junginio *traukinių stotis* atitikmenį. 12 % visų atsakusių VGTU studentų pateikė variantą *geležinkelių stotis*. Šio varianto priskirti prie taisyklingų negalima. Kaip aptarta teorinėje dalyje, ši daugiskaitinė forma (*geležinkelių*) aptinkama senesniuose raštuose ir studentų pateiktą variantą galima laikyti pasenusiu terminu.

72 % VTDK ir 68 % VGTU studentų pateikė tikslų žodžių junginio *vedantysis ratas* atitikmenį. 28 % VGTU ir 17 % VTDK visų atsakusių studentų parašė variantą *varomasis ratas*. Galbūt tam įtakos turėjo stu-

dentų išmanymas, kad lietuvių kalboje terminus įprasta sudaryti su įvardžiuotinėmis neveikiamųjų dalyvių formomis. Tačiau sudėtinių terminų rūšiniu dėmeniu veikiamasis dalyvis gali eiti tada, kai egzistuoja priešprieša. Aptariamuoju atveju ji egzistuoja: *varantieji ratai* (jie automobilį varo) – *varomieji* (arba nevaromieji, laisvai riedantys ratai) [39].

Ne itin didelį žodžių junginio *atidirbęs tepalas* taisyklingo atitikmens procentą nulėmė tai, kad 28 % VGTU ir 23 % VTDK studentų rinkosi priešdėlinę neveikiamosios rūšies dalyvio formą (*panaudotas*). Žodžių junginio *panaudotas tepalas* galbūt nereikėtų priskirti prie netekintų (plg. *panaudota alyva* [12]).

78 % VGTU ir 78 % VTDK studentų parašė tikslų žodžių junginio *spidometro parodymai* atitikmenį. Netikslų atsakymų skaičiumi įtakos turėjo ir studentų manymas, kad taisyklingas yra skolintas žodis *spidometras*. Tai yra tarptautinis žodis, turintis liet. atitikmenį *greitmatės*. Tiek VGTU, tiek VTDK studentų nurodyti atitikmenys nėra taisyklingi: VGTU – *prietaisų skydelis, odometras*, VTDK – *greitis, rida*. Tai rodo skolinių temos dėstymo reikalingumą: svarbu aptarti, kokie skolinti žodžiai laikomi klaidomis, supažindinti su tarptautinių žodžių vartosenos ypatumais.

Žodžių junginio *draugiškas aplinkai automobilis* tikslų atitikmenį nurodė 15 % VGTU ir 55 % VTDK studentų. Tačiau net 62 % VGTU ir 5 % VTDK studentų pateikė atitikmenį *ekologiškas automobilis*, o 3 % VGTU ir 13 % VTDK studentų – *neteršiantis aplinkos automobilis*. Šių atitikmenų žodžių junginiui *draugiškas aplinkai automobilis* šaltiniuose nepavyko aptikti, tačiau, remiantis teorinėje dalyje išdėstyta informacija, galbūt juos būtų galima vartoti greta siūlomo *nekenksmingas aplinkai*. Pažyminys *ekologiškas*, manytume, ypač tiktų elektromobiliams apibūdinti.

Išvados

1. Transporto srities semantizmą vartosenos studentų kalboje tyrimas parodė šios temos dėstymo svarbą. Taisyklingų terminų išmanymas svarbus tiek studijuojant, tiek ir pradėjus profesinę veiklą, nes jų prisireiks rašant baigiamąjį darbą, reikalų raštus, bendraujant su klientais ir kt.

2. Tokie tyrimai parodo, kokioms temoms reikėtų skirti daugiau dėmesio per specialybės kalbos paskaitas. Pvz., studentų nurodytas žodžių junginio *vedantysis ratas* atitikmuo *varomasis ratas* atkreipia dėmesį į tai, kad lietuvių kalboje terminai sudaromi ne tik su įvardžiuotinais neveikiamosios rūšies dalyviais. Per paskaitas reikėtų išsamiau paaiškinti, kad sudėtinių terminų rūšiniu dėmeniu veikiamasis dalyvis gali eiti tada, kai egzistuoja priešprieša arba kai yra tiesioginis veiksmo atlikėjas, pvz., *laikančioji konstrukcija*.

3. Ne itin seniai vartosenoje paplitusių žodžių junginių reikšmės klaidų vartosenos tyrimas naudingas tuo, kad studentai pateikia šaltiniuose nefiksuotų atiti-

kmenų. Kai kuriuos jų galbūt būtų galima apsvarstyti ir priimti kaip galimus pakaitus. Tai pasakytina apie studentų pateiktus atitikmenis *ekologiškas automobilis, neteršiantis aplinkos automobilis* (žodžių junginiui *draugiškas aplinkai automobilis*).

4. Semantizmai neretai apibūdinami kaip viena pavojingiausių klaidų grupių. Svarbu supažindinti studentus su terminų žodymais, kad būtų vartojami tikslūs (o ne nugirsti) terminai.

Literatūra ir šaltiniai

Specialybės kalbos programa, 2014 [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-09-17]. Prieiga per internetą: <http://www.vlkk.lt>.

1. PAULAUŠKIENĖ, Aldona. *Lietuvių kalbos kultūra*. Kaunas: Technologija, 2001, 256 p. ISBN 9986-13-764-0.
 2. PUPKIS, Aldonas. Daugiareikšmiai žodžiai ir semantizmai. *Gimtas žodis*, 1990, 2, p. 10–12. ISBN 0235-7151.
 3. DOBRŽINSKIENĖ, Rasa. Semantizmai policijos pareigūnų tarnybiniuose dokumentuose. *Visuomenės saugumas ir viešoji tvarka*, 2014, 11, p. 59–66. ISSN 2029–1701.
 4. PETRETIENĖ, Angelika. *Transportininkų kalbos kultūra: teorija ir praktika*. Vilnius: Technika, 2016, 280 p. ISBN 978-609-457-914-1.
- Dabartinės lietuvių kalbos žodynas*, 2006 [interaktyvus] [žiūrėta 2018-09-04]. Prieiga per internetą: <http://lkiis.lki.lt>.
5. *Valstybinės lietuvių kalbos komisijos Konsultacijų bankas* [žiūrėta 2018-09-19]. Prieiga per internetą: <http://www.vlkk.lt>.
 - Valstybinės lietuvių kalbos komisijos Terminų bankas* [žiūrėta 2018-08-17]. Prieiga per internetą: <http://www.vlkk.lt>.
 - Daugiakalbė Europos Sąjungos terminų bazė IATE* [žiūrėta 2018-03-14]. Prieiga per internetą: <http://iate.europa.eu>.
 - Europos terminų bankas „Eurotermbank“* [žiūrėta 2018-07-14]. Prieiga per internetą: <http://www.eurotermbank.com>.
- Europos žodynas „Eurovoc“* [žiūrėta 2018-07-14]. Prieiga per internetą: <http://www3.lrs.lt/pls/ev/ev.main>.
7. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. LST ISO 1998-1+AC:2005. *Naftos pramonė. Terminija. 1 dalis. Žaliavos ir produktai (tapatus ISO 1998-1:1998 kartu su technine pataisa ISO 1998-1:1998/Cor.1:1999)*. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2011.
 8. VALIUKĖNAS, Vytautas; Pranas Juozas ŽILINSKAS. *Penkiakalbis aiškinamasis metrologijos terminų žodynas*. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, 2006. ISBN 5-420-01568-4.
 9. *Varpas*. Literatūros, politikos ir mokslo mėnesinis laikraštis. Red. Vincas Kudirka. Tilžė, 1889–1905; 1913–1914; 1920–1921; 1931–1932.
 10. *Lietuvos žinios*. Politikos, visuomenės ir literatūros laikraštis. Red. Jonas Vileišis. Vilnius, 1909–1915; 1922–1940.
 11. *Lietuvos auto*. Lietuvos šoferių ir auto tarnautojų sąjungos mėnesinis žurnalas. Kaunas, 1932–1935.
 12. NAGULA, Grigorijus ir kt. *Trečios klasės šoferio vadovėlis*. Vilnius, 1963.

13. MACIEJAUSKAS, Antanas. *Techniko žodynas*. Kaunas: Valstybės spaustuvė, 1920, 141 p.
14. *Instrukcijos karo automobilių šoferiams*. Krašto apsaugos ministerijos Literatūros dalies leidinys. Kaunas: Valstybės spaustuvė, 1919.
15. *Vakarinės naujienos*. Laikraštis. Vilnius, 1958–1999.
16. DAUKŠAS, Kazys ir kt. *Chemijos terminų aiškinamasis žodynas*. 2-asis patais. ir papild. leid. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, 2003. ISBN 5-420-01510-2.
17. KLIMAVIČIUS, Jonas. Kelio ar maršruto dalis – segmentas, atkarpa, ruožas? *Gimtoji kalba*, Nr. 1, p. 8. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, 2002. ISSN 0868-5134.
18. VIRELIŪNAS, Antanas. *Įvardai, arba terminai, priimti Terminologijos komisijos*. Kaunas: Sakalas, 1924.
19. RATAUTAS, Stanislovas, Algimantas, Eugenija STRAZDIENĖ, Ada GULBINIENĖ. *Aiškinamasis aprangos terminų žodynas*. Kaunas: Technologija, 2014. ISBN 978-609-02-1042-0.
20. LIETUVOS RESPUBLIKOS ŽEMĖS ŪKIO MINISTERIJA. *Dėl traktorių, savaeigių ir žemės ūkio mašinų ir jų priekabų reģistravimo taisyklių patvirtinimo*: Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministro 2006 m. spalio 2 d. įsakymas Nr. 3D-384. *Valstybės žinios*, 2006, Nr. 109–4138.
21. DRUKTEINYTĖ, Vaida. Dėl būdvardžio „draugiškas“ reikšmių, *Res Humanitariae XVI*, 2014, p. 66–85. ISSN 1822-7708.
22. LEVANAS, Juozas. *Autovežimis*. Kaunas: Sakalas, 1940.
23. *Lietuva*. Visuomenės ir politikos dienraštis. Red. Pranas Dailidė. Kaunas, 1919–1928.
24. NOVODVORSKIS, Andrius ir kt. *Rusų–lietuvių kalbų politechninis žodynas*. Vilnius: Valstybinė politinės ir mokslinės literatūros leidykla, 1959. UDK 62(038)808.2-316.4.
25. *Kardas*. Lietuvos kariuomenės karininkų laikraštis. Vilnius, 1925–1940.
26. KLIMAVIČIUS, Jonas. Vedantysis tiltas. *Gimtoji kalba*, Nr. 7, p. 6–7. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, 2004. ISSN 0868-5134.
27. NOVODVORSKIS, Andrius. *Trumpas rusiškai–lietuviškas techninis žodynas*. Kaunas: Valstybinė enciklopedijų, žodynų ir mokslo literatūros leidykla, 1949.
28. ROSINAS, Albertas. Technikos mokslų vadovėlių ir mokomųjų knygų kalba. *Mūsų kalba*. Vilnius: Mokslas, 1987, Nr. 5, p. 17–24.
29. *Darbininkas*. Lietuvos darbo federacijos savaitinis laikraštis. Kaunas, 1919–1940.
30. *Amatininkas*. Lietuvių amatininkų savaitinis laikraštis. Ats. red. Aleksandras Marcinkevičius. Kaunas, 1934–1940.
31. SKARDŽIUS, Pranas. *Rinktiniai raštai*. Sud. Albertas Rosinas. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, 1996, t. 1, 768 p. ISBN 5-420-01430-0.
32. PAULAUŠKIENĖ, Aldona. *Teisininkų kalba ir bendrosios normos*. Vilnius: Justitia, 2004, 430 p. ISBN 9955-616-10-5.
33. *NATO terminų aiškinamasis žodynas*. 3-iasis patais. leid. Ats. red. Jurgis Norgėla. Vilnius: Lietuvos Respublikos krašto apsaugos ministerija, 2006, 415 p.
34. KLIMAVIČIUS, Jonas. Varantieji ratai. *Terminologija*, Nr. 7, p. 18–24. Vilnius: LKI, 2000. ISSN 1392-267X.

TRANSPORT RELATED SEMANTISMS IN THE LANGUAGE OF STUDENTS

Jolita Grašienė¹, Angelika Petrėtienė²

¹*Vilnius College of Technologies and Design*

²*Vilnius Gediminas Technical University*

Abstract. *The Language for special purposes programme* (2014) emphasizes that its general objective is to improve students' professional language skills. This article deals with semantic mistakes (semantisms) in the area of transport, some of which have, unfortunately, already become pseudo-terms. It discusses the reasons for their emergence in the language of transport specialists and

provides correct equivalents. The aim was to determine, by means of a questionnaire, if the students of Vilnius Gediminas Technical University (VGTU) and Vilnius College of Technologies and Design (VTDK) know the exact equivalents of selected phrases. One of the components of many of those phrases, namely the semantic component, is commonly found in phrases to be corrected used in other science related areas (e. g. *programinės įrangos aptarnavimas, atidirbtos medžiagos, draugiškas internetas, skaitiklio parodymai*, etc.), while others are registered only in the area of transport (e. g. *traukinių stotis*, etc.). The phrases analysed were selected on the basis of mistakes noticed in students' final papers, websites, and advertising signboards.

Key words: questionnaire, semantisms, correct terms, term development, word meaning.

TRANSPORTO STATINIŲ MODELIAVIMAS IR ANALIZĖ, TAIKANT BAIGTINIŲ ELEMENTŲ PRINCIPU VEIKIANČIAS KOMPIUTERINES PROGRAMAS

Darius Ulbinas

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Petro Vileišio geležinkelio transporto fakultetas,
K. Kalinausko g. 7, LT-03106 Vilnius, d.ulbinas@vtdko.lt

Anotacija. Tiesiant naują kelią, arba remontuojant seną, jo trasoje pasitaiko įvairių kliūčių: upių, kanalų, daubų griovių, slėnių ir t.t. Norint nutiesti kelią per šias kliūtis reikia statyti specialius statinius – transporto statinius. Statant šiuos statinius, labai svarbu yra tinkamai pasirinkti statinio konstrukcinę schemą bei racionaliai sukombinuoti transporto statinio konstrukcinius elementus, tam, kad būtų sunaudojama kuo mažiau medžiagų, statinio konstrukcija būtų kiek įmanoma lengvesnė, grakštesnė išvaizdos ir ekonomiškė.

Straipsnyje aprašoma transporto statinio modeliavimo ir analizės ypatumai, taikant baigtinių elementų principu veikiančią kompiuterinę programą Staad. Pro. Atlikus transporto statinio modeliavimą, statinys apkraunamas realų pėsčiųjų eismą imituojančiomis apkrovomis, bei atliekama transporto statinio konstrukciniuose elementuose veikiančių įrašų analizė.

Reikšminiai žodžiai: arkinis tiltas, transporto statinys; kompiuterinė programa, palyginamoji analizė.

Įvadas

Pastaruoju metu pastatoma daugybė vienas už kitą gražesnių tiltų. Kai kuriuos iš šių statinių galima būtų priskirti prie didžiausių žmogaus rankomis sukurtų pasaulio stebuklų. Daugelis tiltų formų, sukurtų prieš daug metų, buvo tobulinamos ir išliko iki mūsų dienų. Tačiau ne visoms konstrukcinėms formoms buvo lemta peržengti šį istorinį slenkstį ir vis dar džiuginti žmogaus akį. Todėl apie daugelį didingų tiltų galima sužinoti tik iš istorinių šaltinių. Vieni iš tokių buvo arkiniai kombinuotieji lėšio formos tiltai. Šie statiniai reikšmingi ne tik dėl savo unikalios formos, bet ir dėl istorinės vertės, nes buvo statomi du paskutiniuosius XIX a. dešimtmečius (Pang, Hai- Fan 2007).

Be reikalo buvo sustabdyta lėšiuo konstrukcinės formos tiltų statyba, nes, palyginti su tradicine arkine perdanga, jie turi savų privalumų. Juk ne visuomet sąlygos leidžia iškelti tradicinės formos arką iki norimos pakylės aukščio, tuomet tikslinga įrengti apatiniausias arkas. Šie tiltai taip pat racionali ir tuo, palyginti su tradicine arkine perdanga, jog pasiskirsčiusios įrašos tilto elementuose sumažina pamatų masyvumą, kai tradicinės arkinės perdangos elementuose veikiančioms didelėms ašinėms jėgoms reikia masyvių pamatų.

Temos aktualumas ir problematika: Pasirinkus transporto statinio (tilto, viaduko) konstrukcinę schemą, labai svarbu yra ją optimizuoti. Šis procesas reikalauja palyginamosios analizės, siekiant priimti kaip įmanoma kuo racionalią sprendimą. Straipsnyje, taikant baigtinių elementų principu veikiančią programą Staad.Pro, yra nagrinėjami du arkiniai pėsčiųjų tiltai, turintys vienodą ilgį tarp atramų ir atliekama šių konstrukcijų palyginamoji analizė, taikant skirtingus komponuojamuosius parametrus. Kas leis masės atžvilgiu sumažinti pačios tilto perdangos medžiagų bei gamybos kaštus.

Straipsnio tikslas – Taikant baigtinių elementų principu veikiančią kompiuterinę projektavimo programą, sumodeliuoti ir išanalizuoti du transporto statinių variantus.

Straipsnio uždaviniai:

1. Išnagrinėti praktikoje taikomas arkinų perdangų konstrukcines schemas;
2. Taikant baigtinių elementų principu veikiančią programą Staad. Pro pasirinktinai sumodeliuoti dvi, arkines perdangas, taikant skirtingą jų konstrukcinių elementų komponavimo tipą;
3. Apskaičiuoti nagrinėjamųjų tiltų konstrukciniuose elementuose veikiančias įrašas;
4. Nustatyti abiejų transporto statinių konstrukcijų masę bei pasiūlyti racionalią (masės atžvilgiu) arkinio tilto konstrukcinį sprendimą;

Tyrimo objektas – arkinė transporto statinio perdanga ir jos projektavimas.

Tyrimo metodika: tyrimas atliekamas taikant palyginamąją dviejų transporto statinių analizę, pagal skaitinio eksperimento metu, taikant baigtinių elementų principu veikiančią programą Staad.Pro, nustatytus projektinius duomenis.

Arkinų tiltų perdangų konstrukcinių sprendimų literatūros apžvalga

Savo moksliniame straipsnyje S. Žilėnaitė (3) teigia, kad: „Arkiniai tiltai – vieni populiariausių, seniausių ir grakščiausių tiltų, statomų miesto ir užmiesčio zonoje. Tačiau dėl dominuojančios ašinės gniuždymo jėgos arkos tampa ypač jautrios stabilumo praradimui arkų plokštumoje ir iš plokštumos. Pirmieji pavienių arkų ir arkinų tiltų elgsenos tyrimai buvo atliekami esant tampriai stadijai“ (3).

Šio darbo autorė, arkose veikiančias ašines gniuž-



1 pav. Arkinis tiltas su paklotu virš arkos ir tiltas su paklotu arkos viduryje

dymo jėgas įvardija kaip trūkumą, kadangi šios jėgos padidina arkų jautrumą stabilumo praradimui, tačiau žvelgiant kitu aspektu, kaip teigia kitas mokslininkas D. Ulbinas (1, 2) „archoje veikiančios simetrinės apkrovos sukelia tik gniuždymo įrašas, o nedidelis lenkiamasis momentas atsiranda tik dėl asimetrinių apkrovų poveikio. Todėl arkoms sunaudojama santykinai mažai plieno (2). Šis autorius taip pat išsako tai, kad „Arkos dėl savo veiksmingumo yra dažnos šiuolaikiniuose pėsčiųjų tiltuose. Racionali apybrėžos forma (dažniausiai kvadratinė parabolė) lemia šių konstrukcijų racionalų įrašų pasiskirstymą (2).

„Anksčiau arkinis tiltas buvo suvokiamas kaip tiltas su važiuojamąja dalimi (tilto paklotu) virš laikiančiosios arkos. Vystantis medžiagų pramonei ir didėjant konstruktorių sumanumui, pakloto padėtis arkos atžvilgiu kito. Kartais paklotas įrengiamas arkos padų lygyje ir joje veikiančios skėtimo jėgos perduodamos sijai – stygai. Tokių neskėtrių statinių skaičiuojamoji schema jau yra gerokai nutolusi nuo primityvių arkų“ (1).

Arkiniai tiltai yra pakankamai unikalūs tuo, kad šiose konstrukcijose paklotą galima įrengti trim būdais, įrengiant jį virš arkos ir atremiant per vertikalius statramsčius jį į arką. Tokio pakloto įrengimo būdas yra pateiktas 1 paveiksle. Kitu atveju, paklotas yra įrengiamas per arkos vidurį ir pakabomis sujungiamas su standumo sija. Tačiau dažniausiai projektuojant ir statant arkinis tiltus, priimamas pakloto įrengimo tipas, kai paklotas įrengiamas arkos apatinėje dalyje, pakabomis palaikomus visame jos tarpatramyje.

Pastaruosiu metu pastatoma daugybė, vienas už kitą gražesnių arkinų tiltų. Kai kuriuos iš šių statinių galima būtų priskirti prie didžiausių pasaulio stebuklų, sukurtų žmogaus rankomis. Daugelis tiltų formų, sukurtos prieš daug metų, buvo tobulinamos ir išliko iki mūsų dienų. Tačiau ne visoms konstrukcinėms formoms buvo lemta peržengti šį istorinį slenkstį ir vis dar džiuginti žmogaus akį.

Todėl apie daugelį didingų tiltų galima sužinoti tik iš istorinių šaltinių. Vieni iš tokių buvo arkiniai kombinuotieji lęšio formos tiltai. Šie statiniai reikšmingi ne tik dėl savo unikalios formos, bet ir dėl istorinės vertės, nes buvo statomi tik iki XIX a. pabaigos. Jie kaip dino-

zaurai mėgavosi savo istorine epocha, prieš daug, daug metų ir tada staiga išnyko.

Lęšio formos tiltai taip vadinami dėl jų unikalios formos, kurią sudaro dvi išlenktos juostos, tarpusavyje suformuojančios lęšio formą, kitaip dar vadinamą „žuvelės“ formą, arba parabolinę santvarą. Abipusiai iškilos formos tiltuose viršutinės ir apatinės juostos yra tokios formos, kad viršutinė dalis tarnauja kaip arka, o apatinė dalis kaip kabamasis lynas. Vertikalūs ir įstriži pakabų tinklelio elementai atskiria apatinę juostą – arką nuo viršutiniosios ir paskirsto apkrovą konstrukcijos elementams.

Vertikalūs ir įstriži tinklelio elementai taip išdalina asimetrinę apkrovą, kuriai pasipriešinti neužtenka vien tik arkos arba lyno. Tad įstriži ryšiai stabilizuoja konstrukcijos poslinkius veikiant asimetrinėms apkrovoms.

Abipusiai iškilos formos sukūrimas yra susietas su tuo, jog buvo norima pagaminti idealios formos konstrukciją, kurios arkos atitiktų parabolės formą. Kai momentų diagrama nuo tolygiai paskirstytos apkrovos standumo sijoje yra parabolė, ašinės gniuždymo jėgos, visuose parabolinių arkų elementuose yra lygios. Dėl asimetrinės apkrovos, šiems tiltams buvo reikalingi įstriži tinklelio elementai.

Ši arkinų – kombinuotųjų tiltų rūšis iš pradžių paplito Europoje ir tik po to, XIX a. viduryje pasirodė JAV. Lęšio formos konstrukcijos Europoje atsirado apie pusę amžiaus anksčiau, nei buvo pradėta naudoti Amerikoje.

Konstruojant visus šiuos statinius stengiamasi išvengti lenkiamųjų momentų laikiančiojoje archoje, tačiau ne visuomet tai pavyksta. Be to, kiekvienas projektas turi būti kuriamas priklausomai nuo jam realizuoti numatytų metodų bei priemonių, neignoruoju statinio estetinio vaizdo.

Transporto statinių skaitinis eksperimentas

Šiame skyriuje nagrinėjamas tradicinis arkinis plieninis pėsčiųjų tiltas ir arkinės kombinuotosios lęšio formos plieninės pėsčiųjų tilto konstrukcijos, sudarytos iš parabolės apybrėžos viršutinės ir apatinės juostų – arkų, sujungtų tarpusavyje bei su standumo sija tinkleliu, variantai. Šiuose variantuose keičiami pagrindiniai geometriniai arkų – juostų parametrai.

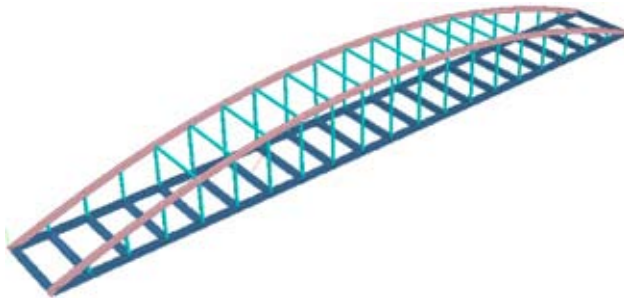
Taikant skaitinį eksperimentą nustatomas arkinio kombinuotojo tilto konstrukcijų variantų įrašų pasiskirstymas, veikiant simetrinėms ir asimetrinėms apkrovoms. Visų šešių analizuojamų tiltų tarptračiai yra po 40 m, o jų konstrukcijų elementams taikomas vienodas lenkiamasis standumas. Visų analizuojamų tiltų arkos gaminamos iš dėžinio TUB2502506 skerspjuvio, kurio

$A = 61,20\text{cm}^2$, $W = 484\text{cm}^3$. Tiltų standumo sijos konstruojamos iš dvitėjinio HE 300A profilio, kurio $A = 113\text{cm}^2$ ir $W = 421\text{cm}^3$.

Tiltų vertikaliosios pakabos modeliuojamos iš apvalaus 0,15m. skersmens skerspjuvio.

Analizuojamus tiltus veikiančios nuolatinė 9,77 kN/m ir laikinoji 13,5 kN/m apkrovos sukonzentruojamos į mazgus, per pakabas jungiančius standumo sijas su arkomis.

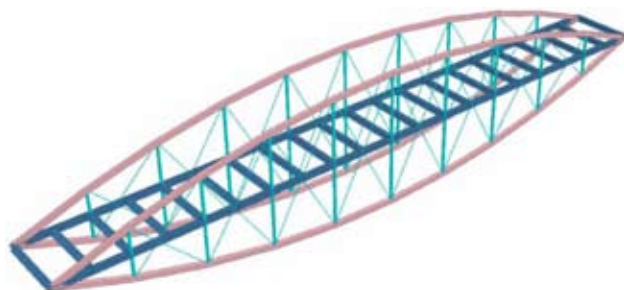
Pirmuoju atveju buvo sumodeliuota arkinė perdanga, kurios einamoji dalis buvo įrengta tilto apačioje, ją apjungiant į bendrą darbą su tilto arkomis (2 pav.). Tokiu atveju tilto paklotas tarnauja kaip styga, arkoje veikiančias ašines gniuždymo jėgas perimdamos ašinės tempimo jėgomis.



2 pav. Tradicinės arkinės perdangos modelis

Modeliuojant antrąjį arkinio tilto variantą (lęšio formos konstrukciją) buvo papildomai įrengiami įstriži tinklelio elementai (3 pav.). Šiame konstrukciniame sprendime buvo įrengiamos viršutinės ir apatinės arkos. Kadangi arkos buvo vienodo aukščio, tai viršutinėse arkose veikiančias ašines gniuždymo jėgas pilnai tempimu perėmė apatinės arkos, taip nukraudamos einamąją tilto dalį.

Abiejų modeliuojamųjų tiltų arkos buvo įrengiamos iš vienodo dėžinio skerspjuvio elementų, standumo ir skersinės sijos iš dvitėjinio profilio elementų, o pakabos ir įstriži tinklelio elementai iš apvalaus vamzdinio skerspjuvio elementų.



3 pav. Lęšio formos arkinės perdangos modelis

Skaitinio eksperimento metu gautų rezultatų aptarimas

Atlikus pirmojo tilto varianto skaitinį eksperimentą buvo gautos ašinių jėgų ir lenkiamųjų momentų pasiskirstymo tilto konstrukciniuose elementuose diagramos. Jos atitinkamai yra pateikiamos 4 – 5 paveiksluose.



4 pav. Ašinių jėgų pasiskirstymas tradicinės arkinės perdangos elementuose

Kaip matome iš 4 paveikslo, išilginėse standumo sijose ašinės jėgos neveikia, kadangi arka atremiama atskirai nuo standumo sijos į pamatą, nors ji ir įtvirtinama tame pačiame lygyje kaip standumo sija. Tuo tarpu arkoje susidaro ašinės gniuždymo jėgos (ruda spalva), o pakabose, jungiančiose arkas su standumo sijomis – ašinės tempimo jėgos (mėlyna spalva).



5 pav. Lenkiamųjų momentų pasiskirstymas tradicinės arkinės perdangos elementuose

Pagal 5 paveiksle pateiktą arkinės perdangos momentų pasiskirstymo diagramą matome, kad tiek arkoje, tiek standumo sijoje susidarę lenkiamieji momentai pasiskirsto pagal kvadratinės parabolės formą.

Atlikus 3 paveiksle pateikto lęšio formos tilto varianto analizę, nustatyta, kad viršutinių arkų gniuždymo įrašas pilnai perima apatinės arkos tempimu.

Siekiant nustatyti racionalesnį tilto variantą (lyginant tradicinę arkinę perdangą su lęšio formos perdanga pagal masės kriterijų), pagal gautas įrašas buvo parinkti abiejų tiltų konstrukcinių elementų skerspjuviai ir gautos bendros tiltų masės. Bendrųjų tiltų masių palyginamosios analizės metu buvo nustatyta, kad tradicinio arkinio tilto bendroji masė yra lygi 17,321 tonos, o 3 paveiksle pateikto abipusiai iškilo tilto masė yra 8,849 tonos. Tai reiškia, kad arkinio lęšio formos tilto masė yra apie du kartus mažesnė už tradicinės arkinės perdangos masę.

Išvados

1. Išnagrinėtos praktikoje taikomos arkinės perdangų konstrukcinės schemas;
2. Taikant baigtinių elementų principu veikiančią programą Staad. Pro pasirinktinai sumodeliuotos dvi arkinės perdangos, taikant skirtingą jų konstrukcinių elementų komponavimo tipą;

3. Apskaičiuotos nagrinėjamųjų tiltų konstrukcijoje elementuose veikiančios įrašos;

Nustatyta, kad antrojo, arkinio lęšio formos tilto masė yra apie du kartus mažesnė už tradicinės arkinės perdangos masę. Todėl antrasis nagrinėjamas tilto variantas yra racionalesnis.

Literatūra

1. ULBINAS, D. *Metalinių arkinių pėsčiųjų tiltų racionalių komponentų parametrų paieška ir analizė*. Baigiamasis magistro darbas. Vilnius, 2008. 85 p.
2. ULBINAS, D. *Plieninių arkinių ir arkinių kombinuotųjų pėsčiųjų tiltų konstrukciniai sprendimai ir įrašų analizė*. Technologijos ir menas. Vilnius, 2012, Nr. 3. 65 – 69 p.
3. ŽILĖNAITĖ, S. *Plieninių tinklinių arkinių tiltų geometrinio netiesiškumo vertinimas*. Mokslas Lietuvos ateitis, 2016, Vilnius, 8 tomas, Nr. 5. 490 – 494 p.

Modelling and Analysis Of Transport Structures Using Finite Element-Based Computer Programs

Darius Ulbinas

Vilnius College of Technologies and Design

Annotation. When laying a new route, or repairing the old, there are various obstacles on its route: rivers, canals, troughs, valleys, etc. In order to pave the way through these obstacles, it is necessary to build special structures – transport structures. When constructing these structures, it is very important to choose the structure of the structure properly and to construct the structural elements of the transport structure rationally, in order to use as little material as possible, the construction of the structure is as easy as possible, more graceful and more economical.

The article describes the peculiarities of modeling and analysis of transport static, applying a computer program operating on the principle of finite element. After carrying out modeling of the transport structure, the building overloads actual pedestrian traffic simulations, as well as analysis of the operating inflows of the structural elements of the transport structure.

Key words: arched bridge, transport building, computer program, comparative analysis.

HIBRIDINIŲ KONSTRUKCIJŲ PANAUDOJIMO GALIMYBIŲ APŽVALGA

Tautvydas Pravilonis¹, Edmundas Blėdis¹, Jurijus Tretjakovas², Vitalijus Rudzinskas²

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

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

Anotacija. Hibridinėmis konstrukcijomis vadiname konstrukcijas, kurios yra sudarytos iš mažiausiai dviejų visiškai skirtingų medžiagų. Transporto priemonių gamybos pramonėje hibridinės konstrukcijos – tai konstrukcijos, sudarytos iš plieno ir anglies pluošto kompozito arba iš plieno ir stiklo pluošto kompozito. Statybos pramonėje taip pat plačiai naudojami hibridinės konstrukcijos: plieninės kolonos ir medinės sijos, gelžbetoninės kolonos ir plieninės sijos, plieninės sijos ir iš kompozitinių medžiagų pagamintos sijos, betoninės perdangos, kuriose plieninė armatūra yra pakeista kompozitinės medžiagos armatūra.

Reikšminiai žodžiai: hibridinė konstrukcija, kompozitas, stiklo pluoštas, anglies pluoštas, pultruzija.

Įvadas

Transporto priemonių gamybos pramonėje plačiai naudojami anglies arba stiklo pluošto kompozitai, kurie sumažina transporto priemonės masę. Lengvųjų automobilių pramonėje įvairios kompozitinės medžiagos naudojamos gaminant interjero ir eksterjero komponentus, automobilio kėbulą, pavyzdžiui, autobuso saugos konstrukcija vis dar gaminama iš plieno. Vidutiniškai saugos konstrukcija sudaro apie 20–25 procentus autobuso masės. Tradicinę plieninę konstrukciją būtų galima pakeisti hibridine konstrukcija, pagaminta iš kompozitinių medžiagų.

Objektas ir problema

Darbo objektas yra kompozitinė konstrukcija ir jos pritaikymo galimybės transporto inžinerijos srityje siekiant panaudoti kompozitinę struktūrą autobuso rėmo gamybai.

Dėl hibridinių konstrukcijų įvairovės, kainos ir savybių rodiklių jos parinkimas pasidaro probleminis.

Tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – apžvelgti plačiausiai pasaulyje naudojamą hibridines konstrukcijas. Tikslui pasiekti iškeliami tokie uždaviniai:

1. Aprašyti kompozitines medžiagas ir palyginti jas su įprastomis konstrukcijomis;
2. Apžvelgti stiklo audinio kompozitą;
3. Išnagrinėti anglies pluošto privalumus ir trūkumus;
4. Pristatyti kompozitinių konstrukcijų šiuolaikinės gamybos technologijas.

Temos aktualumas ir metodai

Naudojant kompozitines medžiagas, transporto priemonės masę galima sumažinti apie 30 procentų [1]. Taigi pritaikius hibridinę konstrukciją, dėl sumažėjusio transporto priemonės masės transporto priemonės nebūtų perkrautos, užtikrintas didesnis keleivių saugumas, taip pat sumažintos degalų sąnaudos ir padangų nusidėvėjimas.

Visi uždaviniai nagrinėjami analitiniu metodu.

1. Hibridinių konstrukcijų privalumai

Konstrukcijoms, kuriose yra naudojamos kompozitinės medžiagos, būdingos tokios savybės:

- jos yra atsparios korozijai, nes, skirtingai nei metalas, tiek anglies, tiek stiklo pluošto kompozitas yra apsaugoti nuo oksidacijos;
- kompozitinių medžiagų, kurios naudojamos hibridinėje konstrukcijoje, gamybos technologija leidžia per trumpesnę laiką pagaminti gaminius;
- konstrukcijos yra puikių fizinių ir mechaninių charakteristikų, ergonomiškos;
- naudojant hibridines konstrukcijas, vidutiniškai galima sutaupyti apie 30–40 procentų skirtų lėšų, nes nereikia sunkių pamatų, jos greitai montuojamos, lengvai gabenamos;
- tokios konstrukcijos dažniausiai labai gerai atlaiko skersines jėgas;
- naudojant kompozitines medžiagas galima sumažinti konstrukcijos masę apie 30 procentų [2];
- naudojant pultruzijos būdu pagamintus profilius, galima sumažinti žaliavų kiekį, gamybos sąnaudas bei aplinkos taršą [3].

2. Kompozitinės medžiagos – kas tai?

Kompozitinė medžiaga – tai vienalytė medžiaga, sudaryta iš mažiausiai dviejų visiškai skirtingų medžiagų, kurios įgauna tam tikrų savybių ir gali atlikti tokias funkcijas, kurių negalėtų atlikti būdamos atskirai [4]. Inžinerine prasme kompozitinės medžiagos turi atitikti tokius reikalavimus:

- kompozitinės medžiagos turi būti sudarytos iš dviejų aiškiai atskiriamų komponentų;
- sudėtis, forma ir jų kiekis turi būti iš anksto suprojektuoti;
- medžiaga turi turėti tokių eksploatacinių savybių,

kurių neturi nė vienas atskirai paimtas kompozitinės medžiagos komponentas [4].

Kompozitams priskiriami laminatai, sluoksniuotosios, armuotosios medžiagos bei medžiagos, kuriose gausu įvairaus dydžio dalelių ir kt.

Kompozito struktūroje skiriamos dvi pagrindinės dalys (komponentai): matrica ir armuojamosios medžiagos (dar vadinamos užpildais arba intarpais). Matrica suteikia gaminiui formą, suriša visus komponentus, užpildo kitus komponentus bei perduoda veikiančias apkrovas armuojamosioms medžiagoms. Dažniausiai skiriami matricos tipai yra polimerinis, metalo bei keramikos.

Praktika rodo, kad didžiausią įtaką kompozito savybėms turi užpildai, jų pasiskirstymas ir išsidėstymas matricoje. Armuojamosioms medžiagomis arba užpildams priskiriami metalai ir jų lydiniai, keramika, stiklas, organinės medžiagos bei kompozicinės sandaros medžiagų siūlai. Dažniausiai armuojama stiklo ar anglies pluoštu [4].

Įvairių pluoštų parinkimas kompozitinėms medžiagoms armuoti pagrįstas tuo, kad skirtingų medžiagų

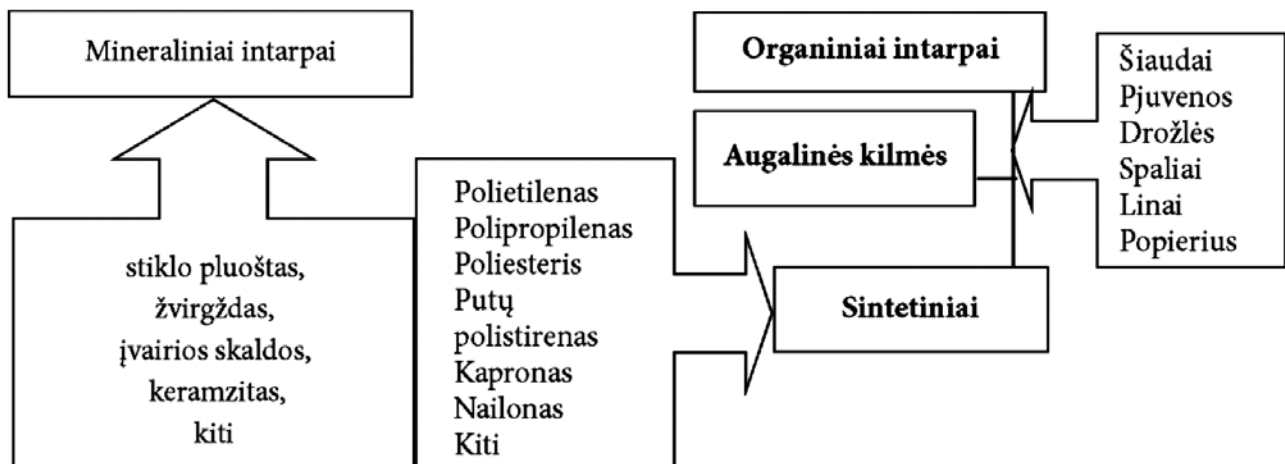
pluoštas suteikia kompozitui stiprumo ir standumo, be to, pluoštų lankstumas palengvina klojimą, armuojamoji medžiaga gali būti įvairiai formuojama. Pluoštai dedami į palyginti trapią cemento masę, kad medžiaga taptų atsparesnė smūgiams, lėčiau suirtų formuojantis įtrūkiams bei norint padidinti tempiamąjį ir lenkiamąjį stiprius [4].

Knygoje „Kompozicinės medžiagos ir dirbiniai energetiškai efektyvių pastatų gamybai“ pateikia schemas (1 pav. ir 2 pav.) [4].

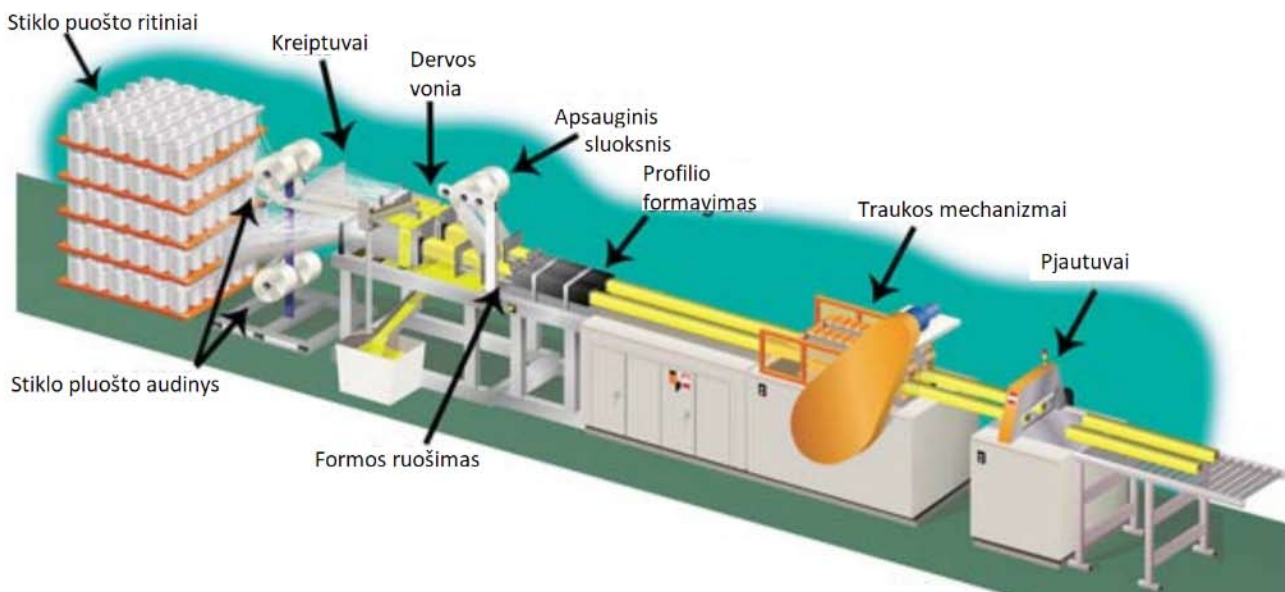
Efektīvūs yra tie kompozitai, kurių intarpai (užpildai) mišrūs ir yra skirtingo skersmens ir ilgio. Tokia medžiaga naudojama kelio dangoms, oro uostų dangoms, krantinėms ir t. t.

3. Stiklo pluoštas

Stiklo pluoštas – dažnai naudojama medžiaga aviacijos, automobilių, laivų gamybos pramonėje, nes ji tvirta, atspari korozijai ir lengva. Iš šios medžiagos gaminamos net toksinių chemikalų taros, taip pat vonios, dušo kabinos, vandentiekio vamzdžiai, meškerių kotai.



1 pav. Mineraliniai ir organiniai intarpai



2 pav. Pultruzijos įrenginio pagrindinės dalys

Stiklo plastikas – tai kompozitas iš stiklo pluošto ar stiklo audinio ir termoreaktyviosios dervos [5]. Stiklo pluoštas yra medžiaga iš labai plonų stiklo siūlelių. Ji naudojama gaminant plastiko produktus. Stiklo plastiko konstrukcija yra labai paklausi visame pasaulyje, net ir šiandien ji sudaro daugiau kaip 60 % visų konstrukcijų [6]. Stiklo pluošto konstrukcijos, deja, negali būti pigesnės nei cinkuoto ar juodojo metalo gaminiai, nes jos turi daugybę pranašumų: stiklo pluošto gaminiams būdingas didelis mechaninis atsparumas. Šios konstrukcijos taip pat atsparios korozijai bei įvairioms cheminėms medžiagoms, nesukelia radijo trukdžių

Stiklo pluošto profilis – tai stiklo pluošto ir termoaktyvių dervų mišinys. Šių dervų pagrindas – skystos poliesterio, vinilo, epoksidinės ir fenolio dervos. Pastarosios suteikia antikorozių ypatybių, o dervų įvairovė padaro medžiagą atsparią korozijos poveikiui.

Dėl ilgaamžiškumo, saugumo bei kokybiškumo stiklo pluošto gaminiai plačiai pritaikomi, jie naudojami chemijos bei maisto pramonėje, nutekamųjų vandens įrenginiuose, tekstilės ir popieriaus pramonėje, tiltų bei tunelių statyboje ir įvairios paskirties architektūros statiniuose. Stiklo pluošto konstrukcijų profiliai naudojami visur, kur yra išskelti ypatingi reikalavimai [2].

Stiklo pluošto profiliai verta pasirinkti, nes jie [2]:

- yra mechaniškai atsparūs ir geri dielektrikai;
- turi gerą šiluminę izoliaciją ir antimagnetinių savybių, nesukelia radijo trukdžių;
- atsparūs karščiui ir šalčiui ir UV;
- yra neslidūs.

4. Anglies pluoštas

Karbonas yra anglies pluoštas, panašus į stiklo pluoštą, tačiau tvirtesnis ir brangesnis. Anglies pluoštai yra ypač standūs, atsparūs tempimo jėgoms, korozijai, cheminiam poveikiui, jų lyginamasis svoris mažas, taip pat nedidelis šiluminio plėtimosi koeficientas. Anglies pluoštas gaminamas kaip ir stiklo pluoštas.

Iš šio pluošto gaminamos lengvos, bet tvirtos detalės: motociklų rėmai, ratlankiai, lenktyninių bolidų

daly, aptakai, modernizuojamų automobilių sparnai, kapotai, aptakai ir net ratlankiai [2].

Anglies pluoštas taip pat sėkmingai naudojamas ir statybose. Dėl puikių fizinių savybių – ypatingo stiprio tempiant ir mažo svorio – ši medžiaga jau kurį laiką pritaikoma ten, kur reikia sustiprinti esamas konstrukcijas ir nenorima ar negalima naudoti papildomų masyvių plieninių konstrukcinių elementų. Pavyzdžiui, kai reikia išsaugoti istorinę ir architektūrinę vertę turinčių pastatų konstrukcijų pradinę išvaizdą. Anglies pluoštas – tekstilė arba anglies pluošto ir epoksidinės dervos laminatai su praktiškai nepastebimu statybiniais masteliais skerspjūviu – gali atlaikyti milžiniškas apkrovų jėgas ir minimaliai pakeisti konstrukcinio elemento geometrinius parametrus. Be to, anglies pluoštas, palyginti su plieniu, turi dar vieną pranašumą, – dėl panašių tamprumo (Jungo) modulio reikšmių, kurios gali siekti iki 200 GPa ir daugiau, jis pradeda veikti žymiai anksčiau – vos atsiradus net visiškai nedidelei elemento deformacijai. Jau senokai mokslininkams ir statybininkams iš anglies pluošto gamintojams kilo mintis, kad būtų puiku sukurti šio pluošto įtempiamosios armatūros sistemą ir dar efektyviau išnaudoti ypatingą jų stiprį. Be visų čia išvardytų pranašumų anglies pluoštas turi ir vieną neabejotiną trūkumą – jis yra labai jautrus skersinio kirpimo jėgoms. Tai sukelia didžiulius sunkumų ieškant būdų, kaip galima būtų įtempti ir užfiksuoti („inkaruoti“) jau įtemptą elementą. Dėl šios priežasties ši technologija ilgą laiką buvo daugiau akademinė diskusijų objektas nei reali praktika statybos aikštelėje [7].

5. Pultruzijos technologija

Pultruzija – viena iš sparčiausiai populiarėjančių sudėtingesnių stiklo plastiko gaminių gamybos technologijų. Žodis „pultruzija“ (angl. *pultrusion*) kildinamas iš žodžio *pull* (liet. „traukti“) ir žodžio *trusion* bei žodžio *ekstrusion* (liet. „išspaudimas“). Ekstruzija – tai vienodo profilio gaminių (vamzdžių, plėvelių, strypų, juostų, siūlų) gavimas išspaudimu (ekstruderiu arba ekstruziniu



3 pav. Formos profilių gamybai



4 pav. Stiklo pluošto gijos ir pusverpaliai

presu) per šampą. Nors pultruzijos ir ekstruzijos procesai turi tam tikrų panašumų, pagrindiniai šių procesų skirtumai yra tie, jog ekstruzijos metu suformuojamas profiliuotis iš išlydytos medžiagos, o pultruzijos metu stiklo pluoštas impregnuojamas derva ir, veikiamas tam tikros traukos jėgos, juda per šampą, kuris suformuoja stiklo pluošto profiliuotį [8]. Pultruzijos įrenginys ir jos sudedamosios dalys pavaizduotos 2-me paveiksle.

Pultruzija – nenutrūkstamas procesas, kurio metu stiklo pluošto siūlų matrica impregnuojama termoaktyviomis dervomis, o dervoje impregnuotas stiklo pluoštas toliau tiekiamas į įkaitintą formą, kuri parinkta pagal formuojamo produkto geometrines ypatybes (3 pav.).

Iš esmės visi profiliai sustiprinti stiklo pluošto audiniu (4. pav.). Profilio centre išdėstytas stiklo siūlų pluoštas, kuris atlaiko išilgines jėgas, nepalyginamai didesnes už skersines jėgas. Tokia sandara leidžia atlaikyti didesnes apkrovas [9, 10].

Kietinimas vyksta įkaitusioje krosnyje, taip sukietėja dervos. Suformuotas stiklo pluošto profiliuotis supjaustomas reikiamu ilgiu. Stiklo pluošto profilių paviršiai būna padengti papildomu pluošto audiniu, kad būtų garantuotas UV ir oro sąlygų atsparumas.

Išvados

1. Plieną pakeitus kompozitine medžiaga, konstrukcijos svorį galima sumažinti 15–30 procentų, išlaikant tokias pačias geras stiprumo savybes.

2. Individualiai parenkant medžiagas, jų tarpusavyje padėtį, galima sukurti tam tikrų savybių turinčius kompozitus, kurie būtų tinkami pasirinktai konstrukcijai.

3. Stiklo pluošto kompozitai stiprūs, lengvi, ilgaamžiai palyginti su plienu ar aliuminiu.

4. Stiklo pluoštas nėra toks tvirtas kaip anglies pluoštas, tačiau gerokai pigesnis;

5. Dėl gamybos technologijos pultruzijos būdu pagaminti profiliai gerai atlaiko išilgines jėgas, gaunama kokybiška paviršiaus struktūra.

Literatūra

1. QIANG, Liu et al. Lightweight design of carbon twill weave fabric composite body structure for electric vehicle, *Composite Structures*. 2013. 2013(97), 231-238;
2. *Anglies pluošto gaminiai* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-10-06]. Prieiga per: <http://www.ronika-engineering.lt/puslapis/anglies-pluosto-gaminiai.16/>;
3. XIOA, Yang et al. Dynamic and fatigue performances of a large-scale space frame assembled using pultruded GFRP composites, *Composite Structures*. 2015. 2015(138), 227-236;
4. GAILIUS, Albinas. *Kompozicinės medžiagos ir dirbiniai energetiškai efektyvių pastatų statybai*. Vilnius: VGTU leidykla „Technika“, 2012. ISBN 978-609-457-177-0;
5. *Stiklplastikis* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-10-05]. Prieiga per :<http://lt.wikipedia.org>;
6. LINDSAY, Miller et al. Challenges and Alternatives to Plastics Recycling in the Automotive Sector. *Materials*. 2014(7), 5883-5902;

7. *Naujos technologijos skinasi kelią* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-10-06]. Prieiga per: <http://www.deltanova.lt/uploads/pdf/Ogres%20tiltas%20CFRP%20straipsnis.pdf>;
8. GANGAROA, Hota V. S et al. *Reinforced Concrete Design with FRP Composites*. 2006. ISBN 9780824758295;
9. *Production dies* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-10-07]. Prieiga per: <http://martinpultrusion.com/pultrusion-dies>;
10. *The putrusion process* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-10-07]. Prieiga per: <http://basalt.today/2015/12/1694/>.

????????????????????

Tautvydas Pravilonis¹, Edmundas Blėdis¹, Jurijus Tretjakovas², Vitalijus Rudzinskas²

¹ *Vilnius Gediminas Technical University*

² *Vilnius College of Technologies and Design*

Annotation. Hybrid construction is a construction which consists of two or more different materials. In the vehicle manufacturing industry, hybrid constructions are constructions made of steel and carbon fiber composites or of steel and glass fiber composites. In the construction industry, hybrid structures are also widely used: steel columns and wooden beams, reinforced concrete columns and steel beams, steel beams and beams made of composite materials, concrete overlays, where steel reinforcement is replaced with reinforcement of composite material.

Key words: hybrid construction, composite, glass fiber, carbon fiber, pultrusion.

TONINIO DAŽNIO BĖGIŲ GRANDINIŲ LINIJOS TYRIMAS

Dr. Vytautas Gargasas

Vilniaus dizaino ir technologijų kolegija, Petro Vileišio geležinkelio transporto fakultetas,
K. Kalinausko g. 7, Vilnius. v.gargasas@vdtko.lt

Anotacija. Toninio dažnio bėgių grandinių elektrinių parametų tyrimas – svarbus uždavinys, siekiant tinkamai apskaičiuoti veikimo parametrus skirtinguose darbo režimuose. Skirtingos schemos kombinacijos ir aukštesnis, nei įprastai, signalinės srovės dažnis reikalauja didesnio skaičiavimo tikslumo ir bėgių linijoje vykstančių procesų suvokimo. Kadangi nuo bėgių grandinių veikimo tiesiogiai priklauso geležinkelio eismo saugumas, o toninio dažnio bėgių grandinės vis dažniau diegiamos geležinkelių infrastruktūroje, svarbu apžvelgti ir suprasti kaip klasikiniai analizės metodai gali būti pritaikyti individualiems toninio dažnio bėgių grandinių struktūros atvejams analizuoti.

Reikšminiai žodžiai: Bėgių grandinės, Toninio dažnio bėgių grandinės, Besandūrinės bėgių grandinės, Bėgių linija.

Įvadas

Geležinkelio ruožų užimtumo kontrolė – viena svarbiausių geležinkelio automatikos eismo saugumą užtikrinančių techninių priemonių funkcija. Būtent ruožų užimtumo informacija yra esminė, kontroliuojant geležinkelio eismo valdymo įrangą: iešmų pavaras, šviesoforus, automatinės lokomotyvų signalizacijos (ALS) sistemą. Praktiškai realizuojant geležinkelio ruožų užimtumo kontrolės technines priemones, po truputį nutolstama nuo klasikinių užimtumo kontrolės sprendinių. Ilgą laiką naudotos elektrinių bėgių grandinių schemos yra modifikuojamos, tolimesnėje perspektyvoje vystomos idėjos visiškai atsisakyti bėgių grandinių schemų, užimtumo kontrolę patikint balisėms, traukinių pozicionavimo sistemoms su nuolatinio centralizuotu duomenų perdavimo ryšiu arba ašių skaitiklių sistemos principu.

Žvelgiant į šių dienų aktualijas, modernizuojant Lietuvos geležinkelių tinklą, ruožų užimtumo kontrolė vis dar numatyta bėgių grandinių schemoms. Egzistuoja taisyklės, kuriomis vadovaujantis geležinkelio kelio ruožai yra suskirstomi į atskiras, viena nuo kitos elektriškai izoliuotas atkarpas. Kiekvienos iš šių atkarpų kontrolei diegiama individuali bėgių grandinės schema. Pastebėtina, kad izoliacinės sandūros konstrukcijai naudojamos medžiagos yra riboto atsparumo mechaniniam poveikiui. Veikiamos bėgiais važiuojančių sąstatų sukeliama mechaninė vibracija bei gniuždomos bėgio, kurio ilgis keičiasi priklausomai nuo aplinkos temperatūros, izoliacinių sandūrų pramušimas išlieka pagrindine bėgių grandinių funkcionavimo sutrikimo priežastimi.

Į šį faktą buvo atsižvelgta pasirenkant bėgių grandinių tipą Lietuvoje modernizuojamiems geležinkelio ruožams. Parinktas toksai bėgių grandinių tipas, kuriam realizuoti nebūtų reikalingos izoliacinės sandūros. Tai TRC3 tipo toninio dažnio bėgių grandinės. Pastebėtina, kad šio tipo bėgių grandinių konstrukcijoje besandūrinių bėgių grandinių galimybė yra numatyta tik tarpstočio ruožuose, geležinkelio stočių bėgių grandinės vis dar suskirstant į atskirus izoliuotuosius ruožus.

Mokslinės literatūros apžvalga

Pasaulyje egzistuoja ir kitokios toninio dažnio sistemos, skirtos geležinkelio ruožų užimtumui kontroliuoti, tačiau jose signalas siunčiamas ne bėgiais, o kitomis techninėmis priemonėmis, arba nenaudojama besandūrinė bėgių grandinių sistema (1, 2).

Analizuojant elektrinius procesus bėgių linijoje, dominuoja klasikinę bėgių linijos struktūrą aprašantys analizės modeliai (3, 4, 5, 6, 7). Čia visada aiškiai apibrėžtas bėgių linijos ilgis, o riedmenimis šuntuojamas bėgių linija siunčiamas signalas parametrus keičia tik šuntuojamos linijos ribose, nesudarydamas jokio poveikio gretimame ruože, už izoliacinės sandūros esančios bėgių linijos elektriniams parametrams.

Yra literatūros, kurioje galima rasti besandūrinių bėgių linijų elektrinių parametų skaičiavimo keturpolių koeficientų išraiškas (8, 9), tačiau nepakankamai argumentuojama šių išraiškų gavimo būdas ir kiek tiksliai jomis skaičiuojami parametrai atitinka realiose bėgių linijose vykstančius procesus.

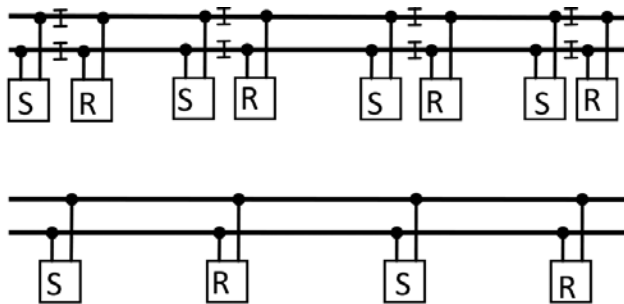
Tiriant bėgių grandinių parametrus visada tinka klasikiniai bėgių grandinių analizės ir sintezės metodai. Čia Bėgių grandinės aparatūra įvertinama elektrotechnikos principais, o analizei įdomiausia bėgių grandinės dalis – bėgių linija, analizuojama kaip elektrinių junginių darinys, atitinkantis elektrinius parametrus bėgiuose, priklausančius nuo tiriamojo režimo: normalusis režimas, kontrolės režimas ir šunto režimas. Būtent bėgių linijos tyrimas yra aktualiausias, siekiant apskaičiuoti bėgių grandinės parametrus taip, kad ji tinkamai funkcionuotų visais reikiama. Tačiau toninio dažnio bėgių grandinių struktūra ne visada atitinka klasikinę struktūrą. Būna atvejų, kai nešakotoji bėgių grandinė turi du relinius galus, arba bėgių linijos galuose nėra izoliuotųjų sandūrų. Be to ir toninis dažnis yra gerokai aukštesnis už klasikinėse bėgių grandinėse naudojamą 50 Hz arba 25 Hz signalinės srovės dažnį. Dėl to signalas greičiau slopsta ir parametų skaičiavimas reikalauja didesnio tikslumo, norint suderinti bėgių grandinių darbo režimus. Darbe apžvelgiami tarpstočio besandūrinių bėgių grandinių, stoties šakotųjų bėgių grandinių tyrimo problematika ir ypa-

tumai, pasiūlomas fizinio toninio dažnio bėgių linijos modelio sudarymo idėja, leisianti imituoti bėgių linijos parametrus ir bėgių grandinės veikimą įvairiuose darbo režimuose.

Besandūrinių bėgių grandinių bėgių linijos tyrimas

Besandūrinėse bėgių grandinėse pasireiškia šuntuojamojo ruožo pailgėjimo efektas, prie bėgių grandinės pradžios artėjant traukiniui, bėgiais tekantis signalas jau yra veikiamas riedmenų šunto ir todėl ruožo užimtumas fiksuojamas traukiniui fiziškai dar nepriartėjus prie bėgių grandinės pradžios. Šio efekto keliami nesklandumai yra išspręsti, blokuojamojo ruožo šviesoforus montuojant numatytu atstumu (40 m) nuo bėgių grandinės pradžios. Bėgių grandinių diegimo metu pastebėta, kad projektiniai bėgių linijos elektrinių parametrų reguliavimo duomenys dažnai neduoda tikslaus šuntuojamojo ruožo ilgio rezultato. Siekiant sureguliuoti šuntuojamojo ruožo ilgį taip, kad jis neviršytų numatytojo (40 m), paleidimo-derinimo metu dažnai nepasiteisina projektiniai sprendiniai ir tikslių bėgių linijos parametrų tenka ieškoti eksperimentiškai. Tai sulėtina įrengimo darbų ir projekto išpildomosios dokumentacijos parengimo eigą.

Jei klasikinis bėgių grandinės parametrų skaičiavimo būdas vertindavo bėgių linijos parametrus tik ilgyje nuo bėgių grandinės maitinimo galo iki relinio galo, besandūrinės bėgių linijos atveju, tiriant bėgių liniją, tenka įvertinti dar ir tą apkrovą, kurią sudaro bėgių linijos dalis, esanti už tiriamos bėgių grandinės ribų.



1 pav. Sandūrinė ir besandūrinė bėgių grandinių struktūra (S – maitinimo galas, R – relinis galas)

Už tiriamosios bėgių grandinės esančios bėgių linijos dalies apkrovą sudaro bėgių linijos ir prie jos prijungtos gretimų bėgių grandinių aparatūros sudaroma apkrova.

Tiriant bėgių linijos sudaromą apkrovą, vertinami du varžiniai parametrai: bėgių linijos varža ir izoliacijos tarp bėgių varža. Jei laikome, kad visame tarpstotyje naudojamas

vienodas bėgių tipas R65, tai bėgių linijos varža ir izoliacijos tarp bėgių varža priklauso nuo bėgių linijos ilgio l , siunčiamo signalo dažnio f ir izoliacijos tarp bėgių varžos r_i . Prie bėgių prijungtos maitinimo galo

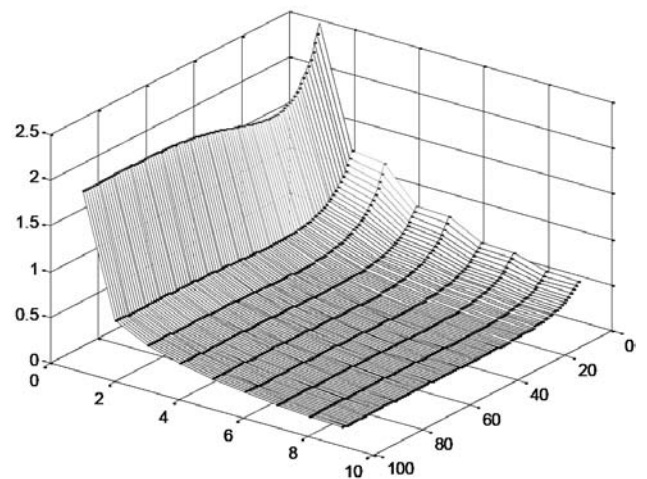
ir relinio galo aparatūros sudaroma apkrovos Z_{am} ir Z_{ar} gali būti apskaičiuotos klasikiais elektrotechnikos metodais, įvertinant geležinkelio automatikos įrenginių žinyuose pateiktus duomenis, todėl šio tyrimo kontekste laikysime, kad yra žinomi dydžiai.

Jei tyrimui pasirenkama n -toji bėgių grandinė, tai iš maitinimo galo pusės esančios $n-1$ -sios bėgių grandinės ir prie jos prijungto relinio galo aparatūros apkrovos Z_{ar} sudaroma varža Z_{bm-1} , naudojantis pasiskirsčiusių parametrų linijoje tyrimo metodus, nustatoma naudojantis (1) formule:

$$Z_{bm-1} = \frac{Z_{ar} \cosh(l_{n-1} \cdot \gamma) + Z_b \sinh(l_{n-1} \cdot \gamma)}{\frac{Z_{ar}}{Z_b} \sinh(l_{n-1} \cdot \gamma) + \cosh(l_{n-1} \cdot \gamma)}, \quad (1)$$

kur γ – bėgių linijos sklaidimo koeficientas, Z_b – bėgių linijos banginė varža, l_{n-1} – priešais tiriamąją n -tąją bėgių liniją esančios bėgių linijos ilgis.

Tarpstočiuose skaičius n priklauso nuo to, kokių atstumu nuo stoties yra tiriamoji tarpstočio bėgių grandinė, skaičiuojant bėgių grandinių skaičiumi. Maksimalus Lietuvoje naudojamų tarpstočių, kuriose įdiegtos toninio dažnio bėgių grandinės, ilgis neviršija 20 km ir bėgių grandinių skaičius jose yra iki 80. Siekiant ištirti kokias bėgių grandinių skaičius turėtų būti įvertintas siekiant nustatyti už bėgių grandinės esančios bėgių linijos sudaromą apkrovą, tiriama kaip sudaroma apkrova priklausys nuo įvertinamų BL ilgių ir ruožų skaičiaus. Tyrime įvertinta bėgių izoliacijos varža $R_i = 0,5\Omega$ km, signalinės srovės dažnis 780 Hz.

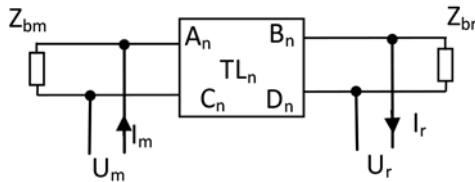


2 pav. Tolimesnių $[n]$ bėgių grandinių sudaromos apkrovos priklausomybė nuo grandinių ilgio [10 m]

Iš tyrimo nustatyta, kad bėgių grandinėms, kurių linijos ilgis didesnis už 200 m, didinant įvertinamų bėgių grandinių skaičių, jų sudaromos apkrovos reikšmė nusistovi. Todėl tiriant aparatūros bei bėgių linijos sudaromą apkrovą, tikslinga įvertinti ne daugiau, nei $n-6$ -tąją bėgių grandinę.

Normaliojo režimo tyrimas. Pagrindinis normaliojo režimo tyrimo tikslas yra nustatyti BG maitinimo įtampą maitinimo gale, kuriai esant patikimai suveiktų reliniame gale esantis kelio imtuvas. Iš žiny-

nuose pateiktų techninių charakteristikų galima įvertinti imtuvo patikimo suveikimo sąlygas, klasikiniiais elektrotechnikos metodais galima įvertinti pajungtos maitinimo galo schemas elementų ar relinio galo schemose sujungtų elementų įtaką schemas veikimui. Pagrindinis tyrimo objektas – bėgių linijoje vykstantys procesai ir jų įtaka elektriniams parametrams. Nuo klasikinių bėgių grandinių analizavimo metodų TDBG analizė skiriasi tuo, kad kartu vertinama už tiriamosios bėgių grandinės galų esančių bėgių grandinių įtaka – t.y. sudaroma apkrova.



3 pav. Besandūrinės BG tyrimas normaliajame režime

Sudarytą bėgių linijos tyrimo užduotį galima spęsti vertinamas bėgių linijų apkrovas įvertinant keturpoliais ir tada trijų kaskada sujungtų keturpolių bendro keturpolio koeficientus galima išreikšti naudojant matricų sandaugą (4):

$$\begin{vmatrix} A_{nr} & B_{nr} \\ C_{nr} & D_{nr} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ Z_{bm} & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \cosh(l_n \cdot \gamma) & Z_b \sinh(l_n \cdot \gamma) \\ \frac{1}{Z_b} \sinh(l_n \cdot \gamma) & \cosh(l_n \cdot \gamma) \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ Z_{br} & 1 \end{vmatrix} \quad (2)$$

Tada, įvertinus patikimo suveikimo įtampą reliniame linijos gale, bei įvertinę relinio galo aparatūros sudaromą apkrovą, maitinimo galo įtampą ir srovę galima nustatyti naudojantis keturpolio lygtimis.

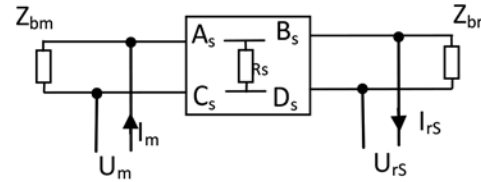
Tokiu būdu nustačius patikimo suveikimo įtampą \tilde{U}_m ir srovę \tilde{I}_m bėgių linijos maitinimo gale, galima apskaičiuoti generatoriaus parametrus, kuriems esant schema bus aprūpinta šiais parametrais. Reikia nepamiršti, kad tas pats generatorius yra naudojamas dar ir $n-1$ -ajai bėgių grandinei maitinti. Jei daryti prielaidą, kad $l_n \approx l_{n-1}$, tada maitinimo galo trosu tekanti srovė bus lygi $2\tilde{I}_m$.

Šunto režimo tyrimas. Šunto režimo tyrimo tikslas nustatyti kaip keičiasi bėgių linijos parametrai bėgių liniją šuntuojant pravažiuojančiais riedmenimis. Įvertinus normaliojo režimo metu nustatytą bėgių grandinės maitinimo įtampą, yra nustatoma kaip keičiasi įtampa bėgių grandinės reliniame gale U_{rs} , priklausomai nuo liniją šuntuojančių riedmenų vietos. Šunto režimo tyrimas vykdomas nepalankiausiomis sąlygomis: vertinamas tik vienos ratų poros sudaromas šuntas, kurio varžos R_z norminė reikšmė yra lygi $0,06 \Omega$. Tačiau besandūrinės bėgių grandinės šunto režimo tyrimui tenka įvertinti papildomus faktorius:

1. Reikia įvertinti kitoje tiriamosios bėgių grandinės pusėje esančios bėgių linijos sudaromą apkrovą,
2. Reikia įvertinti į tiriamąją bėgių grandinę dar neatvažiavusių, tačiau jau artėjančių riedmenų šunto įtaką relinio galo įtampai.

Nešuntuojamoje pusėje esančios bėgių linijos su-

daroma apkrova turi būti vertinama analogiškai, kaip ir normaliojo režimo atveju. Tada, šunto vietai judant nuo tiriamosios bėgių grandinės vieno galo iki kito, tinka klasikinis bėgių grandinės šunto režimo tyrimo būdas, papildytas nešuntuojamosios bėgių grandinės sudaromos apkrovos įvertinimu.



4 pav. Besandūrinės BG tyrimas šunto režime

Šunto režimo tyrimui keturpolio koeficientai gaunami tokiu būdu:

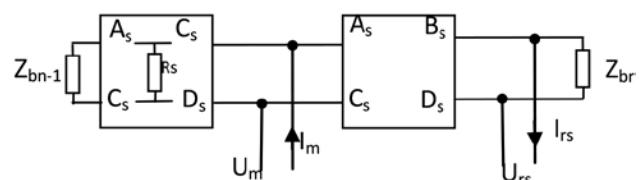
$$\begin{vmatrix} A_s & B_s \\ C_s & D_s \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ Z_{bm} & 1 \end{vmatrix} \times \left(1 + \frac{Z_{bl}(l_n - x)}{R_s} \right) \frac{Z_{bl}^2(l_n - x)x}{R_s} + Z_{bl}l_n \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ Z_{br} & 1 \end{vmatrix} \quad (3)$$

čia Z_{bl} – tai bėgių linijos varža, priklausanti nuo signalinės srovės dažnio, x – tai šuntavimo vieta.

Tada, remiantis keturpolio lygtimis, galima nustatyti įtampą ir srovę reliniame bėgių grandinės gale:

$$\begin{cases} U_{rs} = U_m \frac{1}{A_s - \frac{B_s C_s}{D_s}} - I_m \frac{B_s}{D_s A_s - B_s C_s}; \\ I_{rs} = I_m \frac{1}{D_s} + U_{rs} \frac{C_s}{D_s}. \end{cases} \quad (4)$$

Bėgių grandinių tyrimą aprašančiuose literatūros šaltiniuose nepavyko rasti kaip įvertinti šunto įtaką, kai liniją šuntuojantys riedmenys artėja prie tiriamosios bėgių grandinės, tačiau ar nėra jos privažiavęs. Akivaizdu, kad $n-1$ -tąja bėgių grandine link tiriamosios artėjantis šuntas sudaro papildomą apkrovą maitinimo aparatūrai.

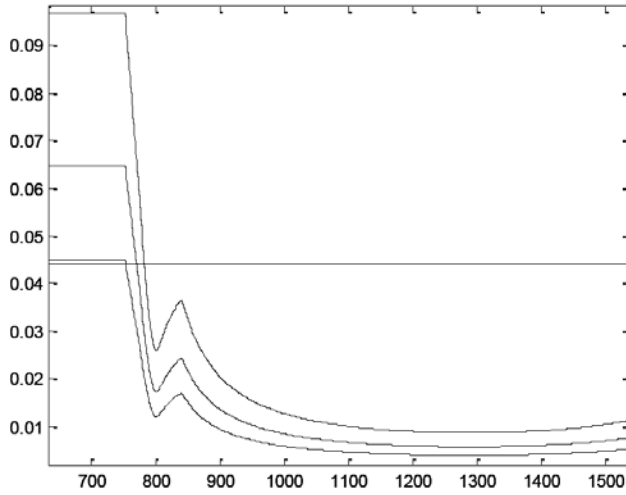


5 pav. Besandūrinės BG tyrimas gretimos grandinės šuntavimo atveju

Toninio dažnio bėgių grandinėse esantis generatorius yra ribotos galios – 20VA. Būtent dėl to, kas prie generatoriaus artėjantis šuntas sudaro generatoriui apkrovą, didesnę už jo nominalią ir sumažėja generatoriaus signalo įtampa. Būtent šis įtampos sumažėjimas

ir lemia relinio galo įtampos sumažėjimą, dėl kurio ruožo užimtumas fiksuojamas bėgių šunto vietai dar net nepasiekus tiriamosios bėgių grandinės.

Matematinio modeliavimo būdu galima nustatyti kaip keičiasi generatoriaus sudaroma maitinimo įtampos U_m reikšmė ir įtampos reliniame gale U_{rs} reikšmė, šuntavimo vietai artėjant link tiriamosios bėgių grandinės.

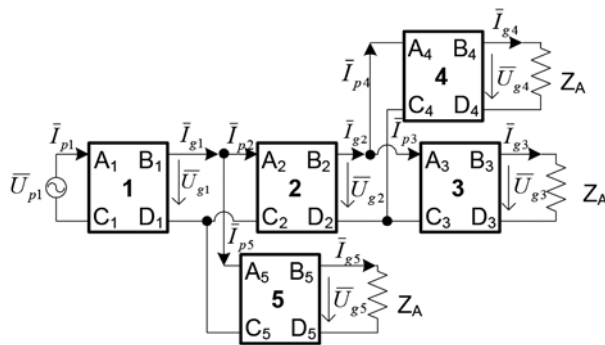


6 pav. Bedandūrinės bėgių linijos tyrimo šunto režimu rezultatas

Gautame grafike matoma, kad artėjant šuntavimo vietai, likus 40 m atstumui iki n -tosios bėgių grandinės, įtampa reliniame gale yra sumažėja.

Šakotosios BG linijos parametrų tyrimo modelis

Šakotosios BL parametrų skaičiavimui siūlome suformuoti keturpolių struktūrą, kur kiekvienas keturpolis imituos bėgių linijos atkarpą, esančią tarp BL arba atšakos galo ir iešmo arba tarp dviejų iešmų. Sudėtingiausia naudojama šakotosios BG struktūra yra trijų atšakų. Tokiai BL matematiškai aprašyti reikia tirti penkių keturpolių junginį:



7 pav. Šakotosios BL keturpolių junginys

Tarkime, kad n – tai keturpolio numeris. Tada kiekvieno keturpolio įėjimo arba pradžios įėjimo srovė ir įtampa I_{pn} ir U_{pn} , o išėjimo arba galo – \bar{I}_{gn} ir \bar{U}_{gn} . BG atveju \bar{U}_{p1} ir \bar{I}_{p1} – tai įtampa ir srovė, kurią bėgių linijai

turi tiekti BG maitinimo galo aparatare. Papildoma sąlyga – keturpoliu 3 yra pažymėta atšaka, kurios relinis galas labiausiai nutolęs nuo maitinimo galo, toliau nei keturpoliais 4 ir 5 žymimų atšakų reliniai galai:

Per keturpolių koeficientus, apkrovos varžą Z_A ir tolimiausio relinio galo suveikimo įtampą \bar{U}_{g3} , išvedame BL maitinimo įtampą \bar{U}_{p1} ir srovę \bar{I}_{p1} reikšmes:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{U}_{p1} = A_1 \bar{U}_{g1} + B_1 \bar{I}_{g1}, \bar{I}_{p1} = C_1 \bar{U}_{g1} + D_1 \bar{I}_{g1}, \\ \bar{I}_{g1} = \bar{I}_{p2} + \bar{I}_{p5}, \bar{I}_{p5} = \bar{U}_{g5} (C_5 + D_5 Z_A), \\ \bar{U}_{g5} = \frac{A_5 + B_5 Z_A}{\bar{U}_{g1}}, \bar{U}_{g1} = A_2 \bar{U}_{g2} + B_2 \bar{I}_{g2}, \\ \bar{I}_{p2} = C_2 \bar{U}_{g2} + D_2 \bar{I}_{g2}, \bar{I}_{g2} = \bar{I}_{p4} + \bar{I}_{p3}, \\ \bar{I}_{p4} = \bar{U}_{g4} (C_4 + D_4 Z_A), \bar{U}_{g4} = \frac{A_4 + B_4 Z_A}{\bar{U}_{g2}}, \\ \bar{U}_{g2} = A_3 \bar{U}_{g3} + B_3 \bar{I}_{g3}, \bar{I}_{p3} = C_3 \bar{U}_{g3} + D_3 \bar{I}_{g3}, \\ \bar{I}_{g3} = \frac{\bar{U}_{g3}}{Z_A}. \end{array} \right. \quad (5)$$

Keturpolių koeficientai normaliajame režime apskaičiuojami kaip ir klasikiniame ryšio linijoje:

$$\left\{ \begin{array}{l} A_n = \cosh(\gamma \cdot l_n), B_n = Z_b \sinh(\gamma \cdot l_n), \\ C_n = \frac{\sinh(\gamma \cdot l_n)}{Z_b}, D_n = A_n. \end{array} \right. \quad (6)$$

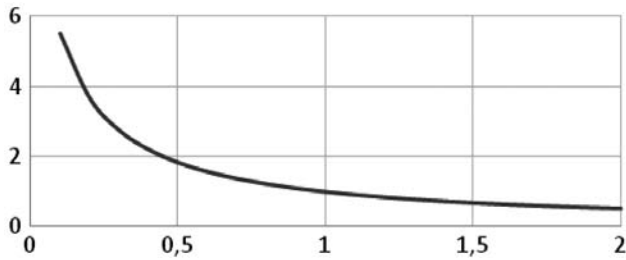
Sklidimo koeficientui γ ir banginei varžai Z_b skaičiuotėje įvertinama per visą BL ilgį pasiskirsčiusi lyginamoji BL izoliacijos varža r_i ir savitoji BL varža Z , kuri yra kompleksinė ir jos modulis bei argumentas priklauso nuo signalinės srovės dažnio. Z reikšmė gaunama iš lentelės, kuri eksperimentiniu būdu sudaryta kiekvienam bėgio tipui.

Bėgių linijos fizinio modelio idėja

Toninio dažnių bėgių grandinės reikalauja detalesnio signalo sklidimo bėgių linija fizikinių reiškinų suvokimo, aukšto skaičiavimų tikslumo, bėgių grandinių projektavimo metu, ir individualios analizės atskirais bėgių grandinės struktūros atvejais. Todėl nuspręsta sukurti laboratorinį stendą, skirtas padėti iliustruoti TDBG bėgių linijoje vykstančius signalo slopimo reiškinis, realizuoti bėgių grandinių darbo režimus.

Bėgių linija laboratoriniame stende realizuotina elektrinius parametrus atitinkančiais elementais. Iš projektavimo normų, paremtų eksperimentiniais rezultatais, matyti, kad kilometras bėgių sudaro kompleksinę apkrovą, turinčią induktyvinę dedamąją. Stende numatoma, kad izoliacijos varža tarp vieno kilometro ilgio bėgių yra $1 \Omega \cdot \text{km}$. Tokią izoliacijos varžą galima interpretuoti kaip lygiagrečiai sujungtas trumpesnių ruožų izoliacijos varžas. Tada 100 m bėgių ati-

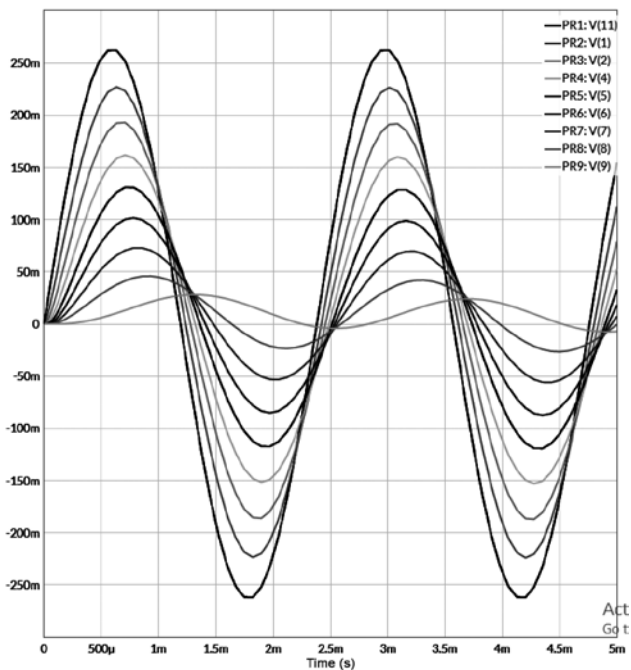
tiks 11Ω varžą.



8 pav. Bendrosios BL izoliacijos varžos [Ω] priklausomybė nuo BL ilgio [km]

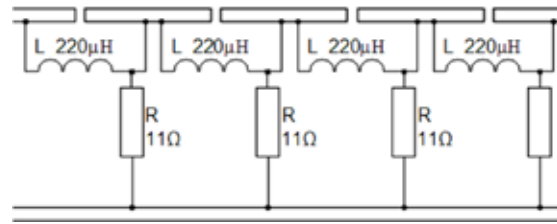
Viską apibendrinus galima sudaryti imitacinį bėgių linijos elektrinių parametrų modelį.

Modelis sudarytas iš 8 segmentų, atitinkančių 100m ilgio BL parametrus; bendrai 800 m. Imitacinis modelis leidžia užfiksuoti įtampos atskiruose bėgių linijos taškuose kitimo grafikus ir palyginti skirtingo dažnio signalinės srovės slopinimą bėgių linijoje. Iš apskaičiuotų oscilogramų galima matyti, kad 420 Hz signalo įtampa nuslopo iki 35 mV, o 780 Hz signalo įtampa – iki 20 mV, nors linijos pradžioje signalo amplitudė buvo viena. Tai labai vaizdžiai demonstruoja signalo slopinimo priklausomybę nuo dažnio, arba tai, kad aukštesniojo dažnio signalai bėgių linijoje slopsta labiau.



9 pav. 420 Hz signalo įtampų oscilogramos, užfiksuotos bėgių linijoje kas 100 m

Tokios bėgių linijos elektrinių parametrų fiziniam modeliavimui tiktų bėgių linijos modelio modulinė struktūra, sudaryta iš bėgių linijos segmentų, atitinkančių 100 metrų bėgių linijos elektrinius parametrus. Tokio modelio realizavimas – atskira užduotis. Tokių parametrų modelį galima panaudoti tiek stoties kelio BG, tiek tarpstočio BG aparatūros jungimo variantui.



10 pav. Bėgių linijos fizinio elektrinių parametrų modelio schema, toninio dažnio atvejui

Tokia struktūra atitinka klasikinę bėgių linijos analizės aprašą ir, skirtingai jungiant toninio dažnio bėgių grandinių aparatūrą, gali būti pritaikyta skirtingo tipo bėgių grandinių imitavimui ir elektrinių bėgių linijos parametrų eksperimentiniam tyrimui.

Išvados

Teorinės elektrotechnikos metodais galima įvertinti kiekvienos schemos elementų įtaką ir nustatyti koka įtampa bėgių linijos gale atitinka kelio imtuvo jautrumo ribą. Pateiktais būdais ir priemonėmis galima tiksliau įvertinti gretimų bėgių linijų apkrovos sudaromą įtaką relinio galo įtampai U_{rs} ir nustatyti koku dėsniu ši įtampa kis prie tiriamosios bėgių grandinės artėjant šuntui. Tokiu būdu galima nustatyti ne generatoriaus įtampą ne tik užtikrinant normaliojo, šunto ir kontrolės režimų veikimą, bet ir apskaičiuoti tokią generatoriaus siunčiamo signalo reikšmę, kuriai esant tiriamoji besandūrinė bėgių grandinė užimtumą fiksuoti pradės šuntui priartėjus tiksliai numatyto ilgio atstumu. Realizavus pateiktą fizinių bėgių linijos parametrų tyrimo modelį laboratoriniame stende, galima bus realizuoti ir tirti skirtingos struktūros toninio dažnio bėgių grandinių struktūros variantus mokymo arba mokslinių-inžinerinių tyrimų tikslais.

Literatūra

1. FALVO, M. C., FEDELI, E. AND LAMEDICA, R. A *measurement campaign on audio frequency track circuits of Italian high speed railway systems*, International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPE-EDAM), May 23–26, pp. 1115–20, (2006).
2. METROPOLITAN ATLANTA TRANSIT CONSULTANTS *Dual Code Audio Frequency Track Circuits and Their Use in Vital Train Detection*, 2010 Rail Conference, Vancouver, 2011
3. АРКАТОВ, В.С, АРКАТОВ, Ю.В. И ДР. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: *Справочник 3-е издание, переработанное и дополненное* – Москва, “ООО Миссия-М” 2006. – 496 с.
4. ЕВСЮНИН, В.И. *Совершенствование эксплуатации тонельных рельсовых цепей* / В.И. Евсюнин // Автоматика, связь, информатика. – 2006. – №3. – С.14-16.
5. ФЕДОРОВ, Н. Е. *Современные системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями: Учебное пособие*. – Самара: СамГАПС, 2004. – 132с.

6. ЛЕУШИН, В.Б. *Машинное моделирование в исследованиях рельсовых цепей: учеб. пособие* / В. Б. Леушин, Г. Р. Рахметов. – Самара: СамГУПС, 2012. – 166 с.
7. ГАВРИЛЮК, В. І. *Модель впливу тягового струмуна тональні рейкові кола* / В. І. Гаврилюк // *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. – 2011. – Ном. 2. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 6 – 10.
8. АРКАТОВ, В. С. *Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание* [/ В. С. Аркатов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – М.: Транспорт, 1990. – 295 с.
9. ДМИТРИЕВ, В.С., МИНИН, В.А. *Системы автоблокировки с рельсовыми цепями тональной частоты*. – М.: Транспорт, 1992.

Investigation of Audio Frequency Circuit Track Line

Dr. Vytautas Gargasas

Vilnius College of Technologies and Design

Annotation. Audio frequency track circuits become more popular at the railway infrastructure. To determine the parameters of the track circuits it is necessary to investigate and evaluate the electrical processes in a track line at different operating modes. In this type of track circuits, the signal slips faster than in traditional track circuits, higher requirements for engineering calculations. The article presents methods for determination the parameters of the different types of track circuits. A special case of the audio frequency track circuit structure is frequency separated circuits, without isolated junctions. The paper presents the idea of the influence of non-junction track circuits on the load of the next track equipment's load. Suggestions for normal and shunt modes investigation are presented. In the course of the study, a method is provided for assessing the train's forward shunt zone. The next section presents a method for the analysis of the parameters of the branched audio frequency track circuit. Finally, the idea of creating a physical track line model is presented. There is simulation result that shows how the phase amplitude of the signal current changes, depending on the signal measurement location in the track line. The physical model is intended for the training process and is suitable for checking the results of the analysis in laboratory conditions.

Keywords: Track Circuit, Audio Frequency Track circuit, Non-junction track circuits, Track line.

THE EFFECT OF FOREST VEGETATION ON THE DISTANCE OF THE RADIO COMMUNICATION OF WIRELESS MODULES ZIGBEE

Valentin Popov

Riga Technical University, Riga, Latvia, Azenes street 12a, LV-1048 popovs@latnet.lv

Annotation. This paper, based on the results of experimental studies of the influence of forest vegetation on the transmission of digital signals in a radio channel for ZigBee technology, testifies that there is a zone (with a radius of about 50 m), within which the influence of forest on the loss of packet information does not occur, it suggests: 1) an empirical calculation model for the linear attenuation coefficient and its numerical value for the frequency 2.4 GHz is estimated to $\alpha_{mF} = 0.5215$ dB / m, which is practically close to the value $\alpha_{mF} = 0.5$ dB / m. as per Recommendations ITU-R P.833.6., 2) an empirical expression determining the dependence of the working attenuation of a radio signal in forest vegetation as a function of the operating frequency and the distance between the transmitting and receiving stations.

Key words: wireless modules in sensor networks, forest vegetation, attenuation coefficient, working attenuation.

Introduction

As is known (1), ZigBee is a specification based on IEEE 802.15.4 for a set of high-level communication protocols being used for creating personal networks of small low-power digital radio stations with low-capacity low-bandwidth requirements designed for small projects that require a wireless connection, i.e. ZigBee is a wireless network with low power, low data rate and close proximity. It should be noted that the technology defined by the ZigBee specification should be simpler and cheaper than other wireless personal networks (WPAN), such as Bluetooth or more general wireless networks such as Wi-Fi.

In recent years, ZigBee technologies are being widely used in the construction of wireless sensor networks, and these technologies are usually used where it is impossible to operate wired sensors. Since in most cases ZigBee networks operate in real terrain conditions, while manufacturers of these networks indicate the range of the transceivers for free space, experimental studies and the construction of empirical formulas on their basis are necessary to assess the impact of forest vegetation on the transmission rate of digital signals and on the range of stable radio communication.

1. ZigBee hardware and its characteristics (1)

For the experiments used 2 XBee modules (Fig. 1a) from Digi (MaxStream) (Specifications of ZigBee XBee modules are given in Table 1), while the complete set of equipment and corresponding setup kits are shown in Fig. 1b.

As the transmitter and receiver antennas in Xbee modules, vertical nonsymmetrical vibrators were used, i.e. the polarization of electromagnetic waves in experiments was vertical and at the receiving point, the multimode electromagnetic field represented a superposition of EMW reflected from the forest litter and scattered on the trunks, twigs and leaf. Digital in-

formation packets transmission was used and the percentage of packets on the receiving side was estimated (Figure 1).

2. Description of the experiment

The experiment on the through propagation of radio waves was carried out in the mixed forest area



Fig. 1. Appearance of the Xbee (a) and set of equipment for the experiment (b)



Fig. 2. Mixed forest in the place of the experiment and clearing in the place of the experiment

Table 1. Specifications of ZigBee XBee and XBee-Pro modules
XBee Options

Range of action in the room, m	30
Effective range in free space, m	100
Maximum output power, mW	1
Data transmission rate over the air, kbit / s	250
Data transfer rate on the interface, kbps / s	1.2 .. 115.2
Sensitivity, dBm -92	
Supply voltage, V	2,8 .. 3,4
Current consumption in transmission mode, mA	45
Current consumption in receive mode, mA	50
Current consumption in energy saving mode, μ A	10
Operating frequency, GHz	2.4
Number of channels	16
Number of addresses in the network	65000
Dimensions, mm	24,4 * 27,6
Operating temperature range, C	-40 ... +85

(Fig. 2) at the level of tree trunks within the territory of M. Gorky Park in the city of Kharkov.

In Fig. 2 shows a map of the forest massive, where points of different diameters correspond to trees having different diameters, and the dashed line shows the trajectory of the Xbee mobile transceiver module.

The experiment was carried out under identical conditions twice, with a time interval between experiments of 15 minutes.

3. Results of experiments

Fig. 4 and 5 represent the dependencies of the received packets percentage, while Figs. 6 and 7 show the dependence of working attenuation of radio signals as a function of the distance between the Xbee modules under impact of forest vegetation on propagation of radio signals for the first and second experiments.

4. Analysis of the results

4.1. Dependencies of the number of received packets on the distance upon impact by forest vegetation on the propagation of a radio signal

As follows from the graphs of Figures 2 and 3, the following features are observed in the number of re-

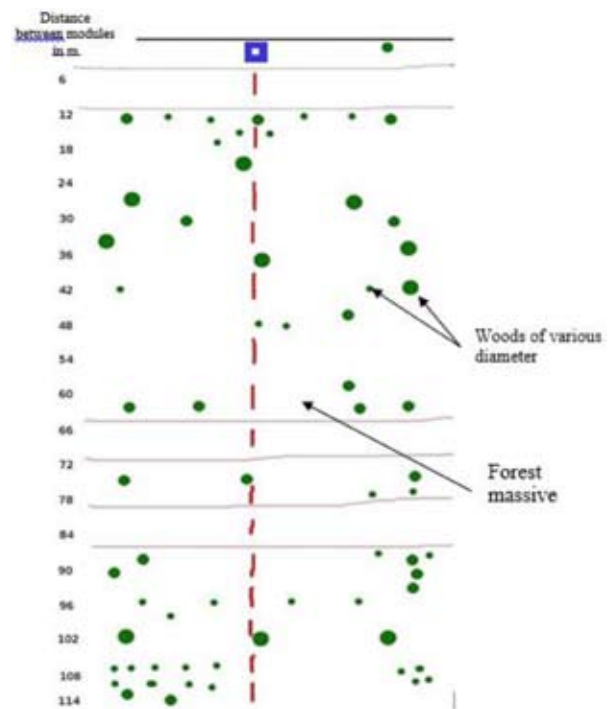


Fig. 3. Forest map where the experiment was conducted (the dashed line shows the path of the mobile unit's movement)

ceived packets depending on distance upon impact of forest vegetation:

- up to a distance of 66 m in the first case, and up to a distance of 54 m in the second, the influence of vegetation on the batch mode of transmission is practically not observed (100%), which for WiFi systems means that an undistorted transmission of digital signals is possible in woodlands at distances less than 50 m,

- at distances exceeding 50 m, digital information packets sustain losses of fluctuating character, which is due to two reasons – signal attenuation and EMW scattering on forest vegetation, leading to interference of electromagnetic waves at the receiving antenna (at certain points – where the percentage of losses packets is very low (addition of EMF vectors), and at other points, the percentage of packet loss increases dramatically (the antiphase of the scattered EMF vectors).

4.2. Dependence of the attenuation of the radio signal on the distance between the modules under the influence of forest vegetation.

As shown by experiments, the average value of the coefficient of linear attenuation in a light forest at 2.4 GHz was: $\alpha_{mF} = 0.5215$ dB/m, which practically

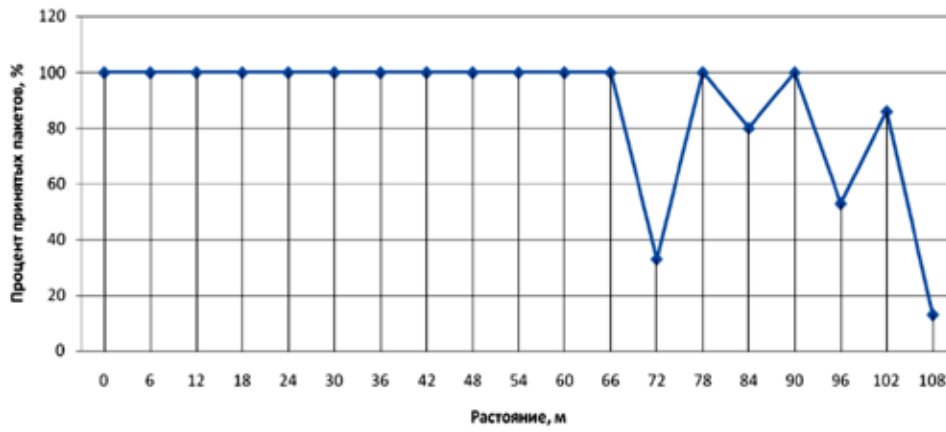


Fig. 4. A graph of the received packets percentage depending on distance under influence by forest vegetation upon propagation of a radio signal for the first experiment

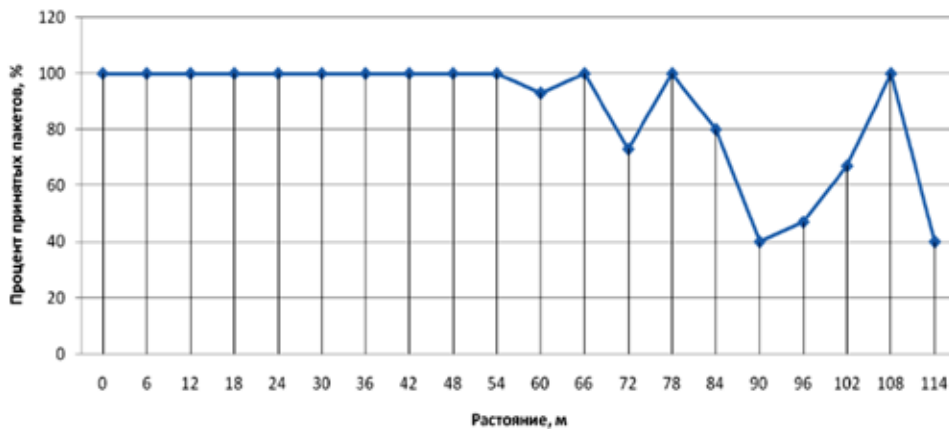


Fig. 5. The plot of the received packets percentage depending on distance under influence by forest vegetation upon propagation of a radio signal for the second experiment

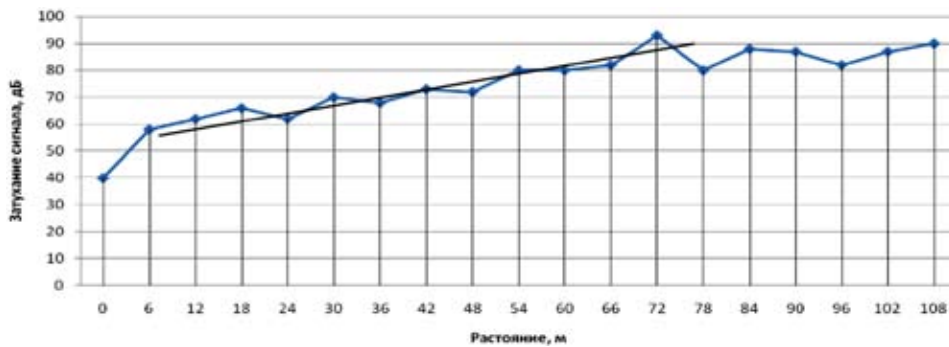


Fig.6. The plot of the radio signal attenuation dependence on the distance under influence of forest vegetation

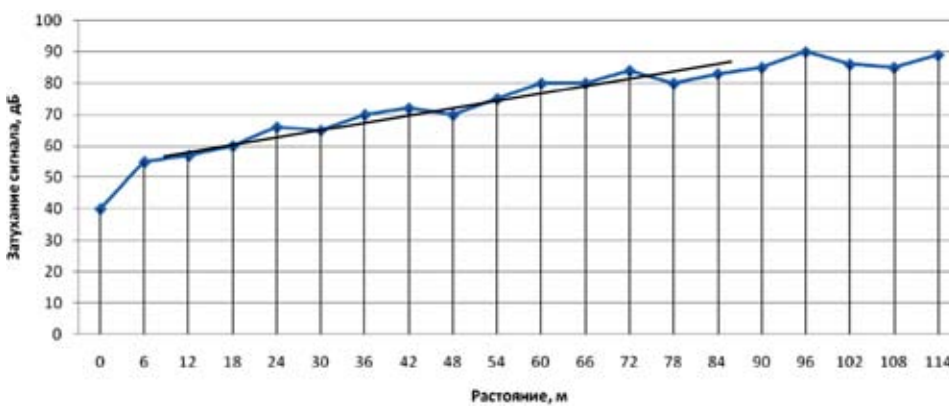


Fig. 7. The plot of the radio signal attenuation dependence on the distance under influence of forest vegetation for the second experiment

corresponds to a value of $\alpha_{mF} = 0.5$ dB/m. , given for the frequency of 2.4 GHz in Recommendations ITU-R P.833.6 (2).

4.3. The empirical dependence of the coefficient of linear attenuation of the radio signal on the operating frequency under the influence of forest vegetation can be written in the form (3):

$$\alpha_{mF} = c \cdot \left(\frac{f}{f_0} \right)^\beta, \quad (1)$$

where f is the operating frequency, $f_0 = 1$ MHz is the normalizing frequency, $c = 1.35 \cdot 10^{-4}$ (dB / m) and $\beta = 0.8$ – constants obtained empirically.

Consider the numerical example

$$\alpha_{mF} = 1,35 \cdot 10^{-4} \left(\frac{2400}{1} \right)^{0,8} = 0.5215 \text{ dB/m.}$$

4.4. The empirical dependence of the radio signal attenuation on the operating frequency and distance under the influence of forest vegetation can be written in the form [2]:

$$L_w(f, r_F) = L_{w0} + a \cdot \left(\frac{f}{f_0} \right)^b \cdot \left(\frac{r_F}{r_0} \right)^c, \quad (2)$$

where f is the operating frequency, $f_0 = 1$ GHz is the normalizing frequency, $a = 13.1$ (dB) and $b = 0.3$ and $c = 1$ – constants determined empirically.

A numerical example:

$$\begin{aligned} L_w(f, r_F) &= L_{w0} + 13,1 \cdot \left(\frac{f}{f_0} \right)^{0,6} \cdot \left(\frac{r_F}{r_0} \right)^1 = \\ &= 55 + 13,1 \cdot \left(\frac{2,4}{1} \right)^{0,6} \cdot \left(\frac{12}{1} \right) = 60 \text{ db,} \end{aligned}$$

which corresponds to the points on the graph in Fig.7

4.5. At a weak signal level (close to the sensitivity – (-92) dB), the trees with leaf cover, i.e. levels of the canopy, can exert a strong influence on the number of errors. Even a simple displacement of the second module by 2–3 centimeters resulted in an increase in the number of lost packets from 20% to 90% (Fig. 4).

Conclusions

The influence of forest vegetation (light forests) on the transmission speed of digital signals is expressed in the fact that there is a zone in which forest vegetation practically does not cause errors in the transmission of packet information in WiFi networks, while in this zone the condition of stable radio communication is fulfilled (power levels at 15- 20 dB exceed the sensitivity of the receiving equipment). Outside this zone, forest vegetation causes not only the appearance of the effect of packet loss, but also a decrease in the speed of their transmission and, ultimately, the loss of stable radio communication. Therefore, when using WiFi networks in forest conditions, the radius of stable radio communication at a frequency of about 2.4 GHz should not exceed $r_F < 50$ m.

REFERENCES

1. POPOV, V.I.; GALKIN, P.V.; BORISENKO, A.S. *Experimental study of the influence of forest massifs on the radio communication range of ZigBee wireless modules*. (report, E-version). Kharkov: Kharkov National University of Radio-Electronics, 2010, 7 p..
2. Recommendation ITU-R P.833-6. Attenuation in Vegetation. International Telecommunication Union, Geneva, 2007.
3. POPOV, V.I. Radio waves propagation in forests. M.: Gorjatchaja Linija – TELECOM, 2015, 392 p.

ANALYSIS OF STANDARDS AND NORMS OF ELECTROMAGNETIC IRRADIATION LEVELS IN WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS

V. Popov, A. Shevchenko

Riga Technical University, Riga, Latvia, Azenes street 12a, LV-1048 popovs@latnet.lv, alexey@cryptolab.net

Annotation. This paper analyzes information on standards and norms for electromagnetic radiation in wireless communication systems, including cellular mobile communication networks. It is shown that in the CENELEC, ANSI / IEEE, FCC standards, the accepted levels of safe EMR for the population in the 900-1900 MHz range are from 400 to 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, which is much higher than the levels of a safe electromagnetic background – 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. In this regard, from the viewpoint of environmental safety, it is concluded that it is necessary to revise the standards and reduce the values of safe levels to the values close to electromagnetic background levels.

Keywords: Electromagnetic irradiation (ECI), levels of EMI, Power Density (PD), Specific Absorption Rate (SAR), Maximum Permissible Exposure (MPE), Cellular Networks of Mobile Communication (CNMC)

Introduction

Electromagnetic radiation in the human environment is created by both natural and artificial sources.

Natural sources include:

- electromagnetic radiation of the sun, which creates a power flux density of 1400 W/m^2 in a wide range of radio frequencies over the Earth's atmosphere, and no more than 100 W/m^2 on the surface of the earth;
- electrostatic (up to several V/m) and magnetic field (up to 40 A/m) radiated by terrestrial sources;
- electromagnetic radiation caused by natural phenomena on earth, for example, by lightning discharges, turbulent currents in the ionosphere, etc.

Throughout the entire existence of mankind on Earth the natural emitters create an electromagnetic background (less than 1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$), to which mankind has long adapted itself. Over the past 100 years there has been an increase in the level of electromagnetic background, due to the rapid development of artificial sources of electromagnetic radiation, while they can be divided into two large groups:

- radio systems: radio and television stations, radars, radio navigation systems, radio relay communication lines, mobile communication systems, technological installations in industry, physiotherapeutic installations, etc.;
- devices that are not intended to radiate electromagnetic energy into space, but wherein electric currents flow, which are sources of parasitic electromagnetic fields: transformer substations, high-voltage power lines, electric stoves, electric heaters, refrigerators, TV sets, microwave ovens, etc.

Electromagnetic fields of different wavelength ranges are biologically active and can affect living organisms, humans including, in different ways. The human body consciously responds only to electromagnetic waves of the optical range (eyes, $f \sim 10^{14}$ Hz), while for other wave bands people do not have sensitive organs (perhaps during evolution, sensitivity was lost). However, as practice and studies show, the following

organs are most sensitive to electromagnetic radiation: eyes, central nervous system, cardiovascular, hormonal and reproductive systems. Despite numerous studies on the effects of electromagnetic fields upon human health, so far there is only scattered information about the effect of the respective ranges of electromagnetic waves with the appropriate power fluxes and exposure time (1-17). Therefore, to ensure safety in all countries of the world, standards of norms for safe exposure of electromagnetic radiation have been developed and adopted. The following parameters were selected as the basis for the parameters by which the impact of the electromagnetic field on the human body is evaluated (1-17):

- PD – power density, P (mW/cm^2);
- SAR – specific absorption rate (degree of specific absorption): SAR (mW/g , W/kg);
- MPE – maximum permissible exposure, usually expressed in units of PD (mW/cm^2);
- exposure time t (min).

It should be noted that SAR and PD values are related by the following simple relationship:

$$SAR = \frac{d}{dt} \frac{dw}{dm} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dw}{d(\rho \cdot V)} \right) = \frac{P}{\rho \cdot l \cdot dS} = \frac{P}{\rho \cdot l} \quad (1)$$

where m is the tissue mass, W is the energy of the electromagnetic field, ρ is the tissue density, V is the tissue volume, l is the tissue length, S is the tissue section. If we accept that $\rho = 1 \text{ g}/\text{cm}^3$, $l = 1 \text{ cm}$, $S = 1 \text{ cm}^2$, $P = 1 \text{ mW}/\text{cm}^2$, then $[SAR] = 1 \frac{\text{mW}}{\text{g}}$.

The use of PD and SAR as standard parameters is somewhat different: SAR values are more suitable for estimating the levels of exposure of electromagnetic field, which cause tissue heating processes, while PD allows evaluating both the effects of weak and strong electromagnetic fields.

It should be noted that usually safety standards are divided into two groups:

- safety standards for personnel working with installations emitting electromagnetic fields (Radio-

frequency Protection Guidelines for Controlled and Uncontrolled Environments),

- safety standards for the population (Limits for General Population / Uncontrolled Environment).

Therefore, below we will analyze the standard norms adopted in European countries, in Latvia, in the USA, in Japan and in Russia, for the two indicated groups.

Safety standards for personnel

Safety standards of being in the zone of electromagnetic radiation for personnel, developed by various institutes and committees of the countries in the world:

1) CENELEC (Committee European de Normalization Electro-technique) ES 59005, October 1998. (4)

The largest SAR in the frequency range from 30 MHz to 6 GHz:

- for tissues of arms, legs, average SAR value for time $\tau \leq 6$ min. must not exceed the values: **SAR ≤ 20 mW/g** (for tissue $m = 10$ g);

- for other tissues (not limbs), the average SAR value for $\tau \leq 6$ min. must not exceed **SAR ≤ 10 mW/g** (for tissue $m = 10$ g);

- for the whole body of working personnel in the radiation zone at $\tau \leq 6$ min., average should be **SAR ≤ 0.4 mW/g**.

2) Similar SAR values are introduced in the **Latvian standard LVS ENV 50166.2: 1995**. (7)

Elektromagnētiskā lauka iedarbība uz cilvēku. Augstas frekvences (10 kHz līdz 300 GHz):

- Admissible PD rate in the range of 400–2000 MHz: **$P \leq f / 400$ (MHz) = $900/400 = 2.25$ mW/cm²** with an exposure time of $\tau \leq 6$ min.

3) **ANSI / IEEE C95.1 – 1992** (ANSI – American National Standards Institute) / (Institute of Electrical and Electronics Engineers) (5):

- in the frequency range 300 – 3000 MHz, the value of PD is determined by the approximate formula – $P \leq f$ (MHz) / 300 (MHz), with an exposure time of $\tau \leq 6$ min, that is, for example, for the frequency **$f = 900$ MHz, $P \leq 3$ mW/cm²**, this is the allowable PD level for personnel of monitoring equipment and radiation levels;

- for a similar case, only with uncontrolled radiation, the value of PD will be: **$P \leq f / 1500 = 900/1500 = 0.6$ mW/cm²** with $\tau \leq 6$ min.

4) **FCC** (Federal Communication Commission) 1996 (6):

- MPE for the case of controlled radio equipment in the frequency range 300 – 1500 MHz, the value of PD is determined by the approximate formula:

$P \leq f / 300$, for example, $P = 900 / 300 = 3$ mW/cm² with $\tau \leq 6$ min.

So, the allowable values of electromagnetic exposure of the entire body of personnel in the frequency range used by mobile communication should not ex-

ceed when the exposure time $\tau \leq 6$ min.:

- by PD: **$P < (0.6 - 3)$ mW/cm²**;

- SAR: **SAR ≤ 0.4 mW/g**.

It should be noted that in Russia [8] for the personnel working in the zone of electromagnetic radiation during the time $\tau \leq 20$ min, the value of PD according to the standard should not exceed **$P \leq 1$ mW/cm²**.

Electromagnetic Exposure Safety Standards for the Public

The safety standards for the population are usually about 5 (and preferably 10 times) less than the permissible standards accepted for service personnel. Permissible safety standards of electromagnetic radiation for the population adopted in various standards:

1) CENELEC ES 59005, 1998:

- for tissues of feet, hands, etc. The average SAR value for a time $\tau \leq 6$ min should not exceed the value: **SAR ≤ 4 mW/g** (at $m = 10$ g);

- for other tissues (muscles, etc.), the average SAR value during $\tau \leq 6$ min should not exceed the values: **SAR ≤ 2 mW/g** (at $m = 10$ g);

- for the whole human body at $\tau \leq 6$ min, the average value of **SAR ≤ 0.08 mW/g**, i.e. 5 times less (**0.4 mW/g**) / 5 than for staff.

2) Standard of Latvia LVS ENC 50166.2: 1995 for the frequency range 400-2000 MHz, the PD value for an exposure time $\tau \leq 6$ min is defined as $P = f / 200$ (MHz) (W/m²),

those. at $f = 900$ MHz: $P \leq 4.5$ W/m² = 0.45 mW/cm² = **450 μ W/cm²**;

with $f = 1800$ MHz: $P \leq 9$ W/m² = 0.9 mW/cm² = **900 μ W/cm²**;

with $f = 1900$ MHz: $P \leq 9.5$ W/m² = 0.95 mW/cm² = **950 μ W/cm²**.

3) **ANSI / IEEE C95.1-1992**:

- in the frequency range 300–3000 MHz, the value of PD at the exposure time $\tau \leq 30$ min $P \leq f / 1500$ (MHz) = $900/1500 = 0.6$ mW/cm².

4) **FCC 1996**:

MPE for the population with uncontrolled radio equipment:

$MPE = P = f / 1500$ (MHz) = $900/1500 = 0.6$ mW/cm² with $\tau \leq 30$ min.

5) Standard of Russia [8]:

With continuous radiation and the constant presence of the population in the electromagnetic field in the frequency range 300 MHz – 3000 GHz: the value of PD should not exceed **$P \leq 10$ μ W/cm²**.

Thus, for the public, a safe level of electromagnetic radiation in the frequency range used in cellular mobile communication systems (900-1800 MHz) is:

- by SAR **≤ 0.08 mW/g ≤ 80 μ W/g**,

- by PD **$P \leq 400 - 1000$ μ W/cm²** (Europe, USA).

- by PD **$P \leq 10$ μ W/cm²** (Russia);

It should be noted that the values of PD from 400 to 1000 μ W/cm² are large enough for the population to

remain permanently in the zone of electromagnetic radiation. They should be reduced by two orders of magnitude from 4 to 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Levels of electromagnetic radiation of mobile phones

Table 1 shows the SAR values (at the ear / near the body) experimentally found for mobile phones manufactured by leading companies.

As follows from a comparative analysis, and the permissible SAR values that were discussed above, the safe SAR level should be equal to $\text{SAR} = 80 \mu\text{W}/\text{g}$. SAR values for mobile phones are in the range from 170 to 1700 $\mu\text{W}/\text{g}$, which indicates that the safe background effect of the electromagnetic field is exceeded from 3 to 20 times.

The maximum SAR value $\leq 1.7 \text{ mW}/\text{g}$ for mobile phones exceeds the allowable standards defined by the standards:

ANSI / IEEE: $900/1500 = 0.6 \text{ mW}/\text{cm}^2$,

1900/1500 = $1.26 \text{ mW}/\text{cm}^2$,

CENELEC: $\text{SAR} \leq 0.4 \text{ mW}/\text{g}$.

Therefore, the use of mobile phones by cellular mobile subscribers at cell borders (that is, at a significant distance of mobile stations, MS, from base tower station, BTS, (for the GSM standard at distances of 10–30 km from BTS)) when the transmitter of the mobile station is operating at maximum power it is advisable to have a short talk time mode not exceeding 1–2 minutes.

Conclusions

Using the above, we will conduct a final analysis of the possible effects of electromagnetic radiation from mobile phones on the human body:

Table 1. Information obtained from <https://www.bfs.de/>

Manufacturer/model	SAR value (at the ear) mW/g	SAR value (near the body) mW/g
Apple – iPhone SE	0,72	0,97
Apple – iPhone 8	1,32	1,36
Apple – iPhone X	0,92	0,95
Samsung – Galaxy Note8 DUOS	0,17	1,29
Samsung – Galaxy J1	0,99	1,17
Samsung – Samsung Galaxy S9+	0,294	1,35
Xiaomi – Redmi 4X LTE Dual SIM	0,39	1,41
Xiaomi – Xiaomi Mi A1	1,75	0,76
Sony Mobile – Xperia X Compact	1,08	1,25
Sony Mobile – Xperia XZ Premium	1,21	1,16
Nokia 7 Plus	0,361	1,776
LG V30	0,48	1,23
Huawei – Huawei P20 Pro Dual SIM	0,73	1,22
OnePlus – OnePlus 6	1,33	1,38

At intensities less than $10 \text{ mW}/\text{cm}^2$, the temperature of the tissues of the human body practically should not increase. Apparently, the interaction of the electromagnetic field and tissue structure should occur at the cellular and membrane levels.

When the intensity of electromagnetic radiation is greater than $10 \text{ mW}/\text{cm}^2$ in the frequency range from 100 to 3000 MHz, the following should be observed:

- an increase in local temperature, especially in the area of the eye and brain tissue;
- increase of the skin temperature;
- complex interaction of the electromagnetic field with neurons of the brain, changing the biorhythms, conditions of transmission and storage of information, causing the appearance of the “radio sound” effect, in certain conditions initiating the formation of brain tumors;
- irreversible changes in the eye lens (the appearance of cataracts), changes in the processes occurring in the fundus of the eye;
- changes in the processes occurring in the body at the membrane level, which can cause disturbances in metabolic processes;
- a change in blood viscosity, a general change in the hydrodynamics of blood in blood vessels and the associated thrombus formation processes;
- a change in the sexual function of the body (hormonal functions of the sex glands) and the associated appearance of impotence, a change in the processes of childbirth and pathology in the health of the new generation;
- the appearance of benign and malignant tumors in tissues located in areas of high electromagnetic radiation.

As an example, the temperature increases in the tissues of a living organism when irradiated with an electromagnetic field. An increase in temperature during the irradiation of living organisms with different values of the density of electromagnetic energy flows was confirmed experimentally. (12) Calculation of temperature increase, for example, blood in blood vessels according to the formula (2):

$$\Delta t^{\circ}\text{C} = P_t \cdot \tau \left[120\pi \cdot \sigma_t \cdot \sqrt{\varepsilon_t} \right] = \frac{\sigma_t \cdot E_t^2 \cdot \tau}{c_t \cdot p_t} \quad (2)$$

showed that for mobile phones having transmitter output power equal to 10 W at frequencies higher than 100 MHz with blood parameters: $\varepsilon_{\text{bco}} = 160$, $\sigma_{\text{bco}} = 12 \text{ s}/\text{m}$, $\rho_b \cong 1,01 \cdot 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$, $c_v = 4 \cdot 10^3 \text{ J}/\text{kg} \cdot \text{C}$, $l = 10 \text{ cm}$, $S_{\text{bv}} = 250 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$ (for large arteries with a diameter of $d = 10 \text{ mm}$) at a distance from the antenna $r = 5 \text{ cm}$ (the intensity of the electromagnetic field is $P = 31,6 \text{ mW}/\text{cm}^2$) the increase in the blood temperature “in vivo” in the large blood artery will be $\Delta t = 4,63^{\circ}\text{C}$, which is close to the values obtained experimentally (i.e. the temperature of the blood of a large artery may increase to a value equal to $36,2^{\circ} + 4,63^{\circ} = 40,83^{\circ}\text{C}$). The dependence of blood tem-

perature "in vivo" on the exposure time and power flux density is shown in Fig. 1, from which it follows: 1) to the values of $P = 10 \text{ mW/cm}^2$, the thermal effects are weakly expressed; 2) when exceeding the value of $P = 10 \text{ mW/cm}^2$ (the value of which in accordance with international standards (17) is the maximum permissible when the exposure time does not exceed 6 minutes), the influence of the exposure time becomes decisive and under reaching $P = 100 \text{ mW/cm}^2$ mortally dangerous to humans.

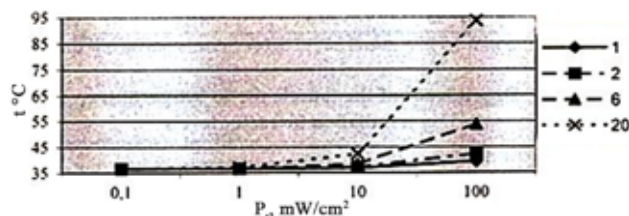


Fig. 1. Dependence of blood "in vivo" temperature on irradiation intensity levels

Since the effect of the electromagnetic field is hidden and practically does not appear immediately after irradiation (only at intensities of 100 mW/cm^2 and higher), long-term and regular use of mobile phones having transmitter powers of 1W, 2W and more, as well as wearable radio stations similar power, may have an accumulative effect, expressed in the accumulation of irreversible changes in the human body, including the structure and dynamics of blood, under the influence of the electromagnetic field emitted by the antenna of mobile phone, and subsequently leads to an increase in the probability of occurrence of irreversible changes in the human body: the appearance of brain tumors, a change (deterioration) level, a change in hormonal functions of the organism, the possible occurrence of leukemia and other severe diseases.

References

1. *Electromagnetic Radiation Hazards*. U.S. Air Force TO 31Z-10-4.
2. *Radio Frequency Hazards Manual*. U.S. Navy NAVWEPS, 16-1-529.
3. *USA Standard of Electromagnetic Radiation with Respect to Personnel*. USAS C95.1-1966, USA Standards Institute, N.Y.
4. *Considerations for the evaluation of human exposure to Electromagnetic Fields (EMFs) from Mobile Telecommunication Equipment (MTE) in frequency range 30 MHz – 6 GHz*. CENELEC ES 59005, October 1998.
5. *ANSI / IEEE C95.1 – 1992*.
6. FCC (Federal Communication Commission) 1996.
7. LVS ENV 50166-2: 1995. *Elektromagnētiskā lauka iedarbība uz cilvēku. Augstas frekvences (10 kHz līdz 300 GHz)*.
8. Safety standard in Russia. ГОСТ 12.1.002-84
9. *A Review of the Potential Health Risk of Radiofrequency Fields from Wireless Telecommunication Devices*. The Royal Society of Canada. Mach 1999.
10. POPOV, V. *Electromagnetic Radiation of Mobile Phones and Human Organism*. Riga: RTU Izdevniecība, 1999.
11. POPOV, V.; DRABKINA, M.; BRALENA, I. *Mathematical model of electromagnetic radiation mobile phones and base stations of the cellular network of GSM-standards in an arbitrary point of arbitrary cell*. In: Second International Conference. Simulation, Gaming, Training and Business Process Reengineering in Operations, Riga, September 8 –9, 2000.
12. POPOV, V. I. *Influence of electromagnetic radiation on the living tissues*. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, 2002, No 1, pp. 44-50.
13. POPOVS, V. *Šūnu mobilas sakaru sistēmu elektromagnētisko radiāciju līmeņu normas*. International Conference, RTU, Proceedings, Transport, 2002.
14. Cost 244 Position Papers, (CEC-XIII-PP01/96), Proceeding, June, 1996.
15. POPOVS, V. *Šūnu mobilas sakaru sistēmu elektromagnētisko radiāciju līmeņu normas*. RTU Zinātniskie raksti: Mašīnzinātne un transports, Dzelzceļa Transports, 2002.
16. POPOVS, V. *GSM standarta šūnu mobilas sakaru sistēma. Projektēšanas problēmas*. Riga: RTU izdevniecība, 2003, 396.lpp.
17. ПООПОВ, В.И. *Основы сотовой связи стандарта GSM*. М.: Эко-Трендз, 2005, 296 с.

MODELLING OF ADJUSTABLE SPEED DRIVE WITH SIX-PHASE MOTOR

Roma Rinkevičienė¹, Bronė Mitkienė¹

¹ Vilnius College of Technologies and Design, Antakalnio str. 54, LT-10303 Vilnius

Abstract. The paper presents elaboration Matlab Simulink model of six-phase motor controlled by six-phase frequency converter and analyzes its dynamic performance. The motor model is designed in synchronously rotating reference frame. Two new Simulink blocks for direct and inverse transform of reference frame required for modelling six-phase motors and not included in Simulink library are elaborated for six-phase motor control. Model of adjustable six-phase drive includes models of power electronic devices, allowing to consider behaviour of drive in real control conditions. The torque, speed and currents transients of six-phase drive controlled by frequency converter and operating in both at no-load and loading modes are presented and analysed. The reliability of six-phase motor is shown by examining motor operation at phase fault. The transients at fault of three phases are presented and discussed.

Key words: six-phase motor, converter, model, transients, phase fault.

Introduction

Rapid development of power electronics was challenge to design multiphase converters leading to real interest in application of multiphase motors. At that time the performance of five-phase motor, supplied by frequency converter was described in [1]. In 1990's perfection and upgrading of electronic devices raised new wave of interest in multiphase motors. Mostly they were used in high power applications. The multiphase motors divide the controlled power on more converter legs and reduce the current of power electronic switches as well as on the larger number of electric motor phase windings. Development of multiphase motors lead to solve the main problem of minimization and miniaturization of actuators and electric drives. The multiphase induction motors have advantages over three phase motors, investigated in [2,3]: lower torque pulsations at high frequency, higher power per rms ampere ratio for the same machine volume, reduced torque ripples in converter fed drives. Beside five phase motors, the six, seven and more phases having motors were designed and investigated. The detailed overview state-of-the art of multiphase electric drives area is presented in the articles [2–10].

Steady-state or dynamic characteristics of six-phase motor drive can be analyzed by solving of the motor state-frequency converter blocks for three phase motor control but it does not include similar blocks for multi-phase motor control. The paper presents elaboration of special Simulink blocks to transform the reference frame of six-phase motor and considers designed model of six-phase PWM converter based on two three-phase converters and synchronized by PWM generators.

Space equations describing dynamic performance. They can be expressed in matrix form and be solved by elaborated computer program. Otherwise the Simulink model, made from typical Simulink blocks can be used and simulation results can be analyzed. Both

methods are used to consider dynamics of the multiphase drives. The first method is used [4, 11–17]. Applications of these transforms depend on problem to be solved.

Due to motor state-space equations containing variable coefficients and non-linearity of the controlled system, application of numerical methods to solve these equations becomes complicated. Simulation models are more convenient and more universal [13–15]. Simulation models, elaborated in *Simulink*[®] can be applied for real time control systems.

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

Simulink[®] toolbox “SimPowerSystems” has typical

1. Mathematical model of six-phase motor

Dynamics of multiphase electric drive is described by nonlinear differential equations with time varying coefficients. Mathematical description of three phase motor in a stationary three phase reference frame $as - bs - cs$ due to varying mutual inductances because rotation is seldom used for modelling and analysis. Time varying inductances can be eliminated. G. Kron [12] proposed to transform both stator and rotor variables to a synchronously rotating reference frame which moves with magnetic field. This transform will be used in this paper. The stationary reference frame, assuming rotor variables transformed to fictitious stator windings also is widely used in analysis of electrical machines.

An equivalent circuit of symmetrical six-phase machine, shown in Fig. 1, with an arbitrary displacement between two winding sets together with mathematical model of machine is given in [16]. Equivalent circuit

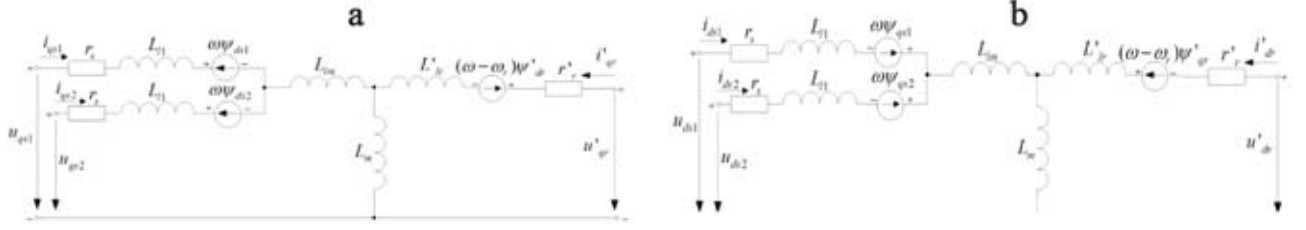


Fig. 1. The dynamic equivalent circuits of six-phase motor: a) stator circuit, b) rotor circuit

assumes presence of two similar three phase windings sets in the stator with their leakage inductance L_{l1} and mutual leakage inductance between two stator winding sets L_{lm} . Stator of equivalent circuit has two direct current supply voltages v_{qs1} and v_{qs2} in arbitrary reference frame with d and q axis. Rotor is supplied by voltages v_{ds1} and v_{ds2} which are assumed equal to zero for cage type rotor. The other notations as r_1 denotes stator resistor, r_1 is rotor resistance referred to stator, L_m is magnetizing inductance and L_{lm} is mutual leakage inductance between two stator linkage, ψ'_{qr} and ψ'_{dr} are rotor q and d axis flux linkages accordingly.

The mathematical model of the motor in synchronously rotating reference frame is expressed as voltage drops v_{qs1} and v_{ds1} as well as v_{qs2} and v_{ds2} across two sets of stator windings and single common rotor winding voltages v'_{qr} and v'_{dr} , referred to a stator as this [10]:

$$\begin{cases} v_{qs1} = r_s i_{qs1} + s\psi_{qs1} + \omega\psi_{ds1}; \\ v_{ds1} = r_s i_{ds1} + s\psi_{ds1} - \omega\psi_{qs1}; \\ v_{qs2} = r_s i_{qs2} + s\psi_{qs2} + \omega\psi_{ds2}; \\ v_{ds2} = r_s i_{ds2} + s\psi_{ds2} - \omega\psi_{qs2}; \\ v'_{qr} = r'_r i'_{qr} + s\psi'_{qr} + (\omega_0 - \omega_r)\psi'_{dr}; \\ v'_{dr} = r'_r i'_{dr} + s\psi'_{dr} - (\omega_0 - \omega_r)\psi'_{qr}; \end{cases} \quad (1)$$

where flux linkages aligned with the direct and quadrature axes are:

$$\begin{cases} \psi_{qs1} = (L_{ls} + L_{lm} + L_m) i_{qs1} + (L_{lm} + L_m) i_{qs2} + L_m i'_{qr}; \\ \psi_{ds1} = (L_{ls} + L_{lm} + L_m) i_{ds1} + (L_{lm} + L_m) i_{ds2} + L_m i'_{dr}; \\ \psi_{qs2} = (L_{ls} + L_{lm} + L_m) i_{qs2} + (L_{lm} + L_m) i_{qs1} + L_m i'_{qr}; \\ \psi_{ds2} = (L_{ls} + L_{lm} + L_m) i_{ds2} + (L_{lm} + L_m) i_{ds1} + L_m i'_{dr}; \\ \psi'_{qr} = (L'_{lr} + L_m) i'_{qr} + L_m (i_{qs1} + i_{qs2}); \\ \psi'_{dr} = (L'_{lr} + L_m) i'_{dr} + L_m (i_{ds1} + i_{ds2}). \end{cases} \quad (2)$$

Notations used in (1) and (2): ψ_{qs1} , ψ_{qs2} are stator q axis flux linkage, ψ_{ds1} , ψ_{ds2} are stator d axis flux linkage, L_{ls} is stator leakage inductance, L'_r is rotor leakage inductance, i_{qs1} and i_{qs2} are stator q axis current components, i_{ds1} and i_{ds2} are stator d axis current components, i'_{qr} and i'_{dr} are rotor current components in q and d axis accordingly.

The electromagnetic torque, delivered by motor is calculated as:

$$T_e = \frac{3}{2} \left(\frac{P}{2} \right) \left(\frac{L_m}{L'_{lr}} \right) \left[\psi'_{dr} (i_{qs1} + i_{qs2}) - \psi'_{qr} (i_{ds1} + i_{ds2}) \right], \quad (3)$$

where P is number of poles.

The movement of electric drive is described by equation:

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J_r} (T_e - T_L), \quad (4)$$

where ω_r is motor rotational velocity, J_r is rotor inertia, T_e is electromagnetic torque and T_L is load torque.

Analysis of multiphase motor dynamics applies all general assumption for electrical machines. Three phase machine transformation from the stationary three phase reference frame $as - bs - cs$ to two-phase stationary reference frame $d^s - q^s$ and synchronously rotating reference frame $d - q$ is described in [12], where the stator voltage v_{as} axis is aligned with v_q axis. The transformations are made in this way. If stationary $d^s - q^s$ axes of three phase machine are oriented at angle θ , the voltages v_{ds}^s and v_{qs}^s can be represented in matrix form as:

$$\begin{bmatrix} v_{qs1}^s \\ v_{ds1}^s \\ v_{0s1}^s \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - 120^\circ) & \cos(\theta + 120^\circ) \\ \sin \theta & \sin(\theta - 120^\circ) & \sin(\theta + 120^\circ) \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

where v_{0s}^s is zero component. In balanced machine $v_{0s}^s = 0$.

Usually θ is assumed equal to zero.

Inverse transform of (5) can be made in this way:

$$\begin{cases} v_{as} = v_{qs1}^s; \\ v_{bs} = -\frac{1}{2} v_{qs1}^s - \frac{\sqrt{3}}{2} v_{ds1}^s; \\ v_{cs} = -\frac{1}{2} v_{qs1}^s + \frac{\sqrt{3}}{2} v_{ds1}^s. \end{cases} \quad (6)$$

The synchronously rotating $d - q$ axes rotate with synchronous speed ω_e with respect to $d^s - q^s$ axes and form the angle $\theta_e = \omega_e t$. The voltages on $d^s - q^s$ axes are transformed into $d - q$ axes by this way:

$$\begin{cases} v_{qs1} = v_{qs1}^s \cos \theta_e - v_{ds1}^s \sin \theta_e; \\ v_{ds2} = v_{qs2}^s \sin \theta_e + v_{ds2}^s \cos \theta_e. \end{cases} \quad (7)$$

According to reference frame transform theory we propose set of three phase voltages v_{xs} , v_{ys} and v_{zs} shifted by 120° apart, starting with phase voltage v_{xs} lagging the voltage v_{as} by 60° , transform to stationary reference frame in this way:

$$\begin{bmatrix} v_{qs2}^s \\ v_{ds2}^s \\ v_{0s2}^s \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta - 60^\circ) & \cos(\theta - 180^\circ) & \cos(\theta - 300^\circ) \\ \sin(\theta - 60^\circ) & \sin(\theta - 180^\circ) & \sin(\theta - 300^\circ) \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{xs} \\ v_{ys} \\ v_{zs} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Equation (8) can be written like this:

$$\begin{bmatrix} v_{qs2}^s \\ v_{ds2}^s \\ v_{0s}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -1 & \frac{1}{2} \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{xs} \\ v_{ys} \\ v_{zs} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Then the inverse transform becomes:

$$\begin{aligned} v_{xs} &= \frac{1}{2} v_{qs2}^s - \frac{\sqrt{3}}{2} v_{ds2}^s; \\ v_{ys} &= -v_{qs2}^s; \\ v_{zs} &= \frac{1}{2} v_{qs2}^s + \frac{\sqrt{3}}{2} v_{ds2}^s. \end{aligned} \quad (10)$$

According to equation (9), sinusoidal variables in $xs - ys - zs$ reference frame appear as sinusoidal quantities in rectangular reference frame v_{qs2}^s and v_{ds2}^s .

Voltages v_{qs2}^s and v_{ds2}^s can be transformed to synchronously rotating reference frame like this:

$$\begin{aligned} v_{qs2} &= v_{qs2}^s \cos \theta_e - v_{ds2}^s \sin \theta_e; \\ v_{ds2} &= v_{qs2}^s \sin \theta_e + v_{ds2}^s \cos \theta_e. \end{aligned} \quad (11)$$

Thus, we have two transforms for two three phase voltage sets $v_{as} - v_{bs} - v_{cs}$ and $v_{xs} - v_{ys} - v_{zs}$. The voltages are shifted by 120 electrical degrees in each set. These sets are transformed to stationary rectangular reference frame with equations (5) and (8). The variables from rectangular stationary reference frame are transformed to synchronously rotating reference frame using (7) and (11). Simulink model of six phase motor elaborated on the (1), (2), (3) and (4) is given in the article [15] and shown in Fig. 2.

The motor parameters are measured experimentally performing locked rotor and no load tests. Leakage mutual inductance L_{lm} was defined experimentally also. Motor parameters are presented in Table 1.

Table 1. Six phase motor parameters

Parameter	r_s	r'_s	L_m	L_{ls}	L_{lr}	L_{lm}
Value	68.8	2.0	4.02	0.45	0.36	0.09
Units	Ω	Ω	H	H	H	H

Inertia of modelled motor is 0.027 kg·m² and number of poles is 8.

Outputs of Simulink model are: delivered torque, speed and direct current i_{qs1} , i_{qs2} , i_{ds1} , i_{ds2} and ψ'_{dr} , ψ'_{qr} in

$d - q$ reference frame. They can be transformed to stationary reference frame $d^s - q^s$ and then to three phase reference frames according to equations similar to (6) and (10), where voltages should be replaced by currents.

2. Model of six-phase induction motor with frequency converter

Simulink library does not include six phase converter models and corresponding switching blocks to elaborate pulses for converter, producing output voltages, shifted by 60 electrical degrees, therefore we solved this problem in the way as shown in Fig. 3.

The model consists of two conventional three-phase Simulink blocks named "Three phase converter 1" and "Three phase converter 2" controlled by blocks "PWM generator 1" and "PWM generator 2" operating in synchronized mode. The first converter elaborates voltages by 0, -120, -240 electrical degrees with respect to v_{as} reference axis. The reference signal from block "Sine wave 2" is tuned to control PWM generator 2 and "Converter 2" to produce the other set of voltages v_{xs} , v_{ys} , v_{zs} shifted by -120 electrical degrees apart with phase voltage v_{xs} lagging the voltage v_{as} by 60°. Thus the three phase "Converter 2" is controlled by switching block "PWM generator 2" and results in shift of voltages by -60, -180 and -300 electrical degrees. This control method of two three phase converters allows getting six phase voltage system with each phase voltage shifted by 60 electrical degrees.

Thus the output of each converter produces three phase system of voltages. The first one is transformed to stationary two-phase system by block, based on (5) and the second one - on (9). Following two blocks fulfill transform from stationary reference frame to synchronously rotating frame according to (7) and (10). Output of these blocks is direct current voltage which is transferred to motor model.

Simulation results of electromagnetic torque, developed by six-phase motor at starting at no-load and motor speed are presented in Fig. 4. The first peak of torque is 67 Nm. Eight pole motor supplied by voltage of frequency 314 rad/s reaches synchronous speed 78 rad/s at no-load.

Applied load of 10 Nm at 0.2 s reduces motor speed up to 67 rad/s, i.e., by 15 %.

Comparison of results, presented in figures 4 and 5 are summarized in Fig. 6.

The torque, delivered by motor and its speed at starting without load and after 0.2 s application load of 10 Nm, as well as load torque is shown in Fig. 5.

In both cases motor starts at no load. After time 0.2 s motor is loaded by 10 Nm load causing reduction in speed up to 67 rad/s and increasing torque, produced by motor up to applied load torque.

Settling time is fast and torque and speed transients take 0.2 s.

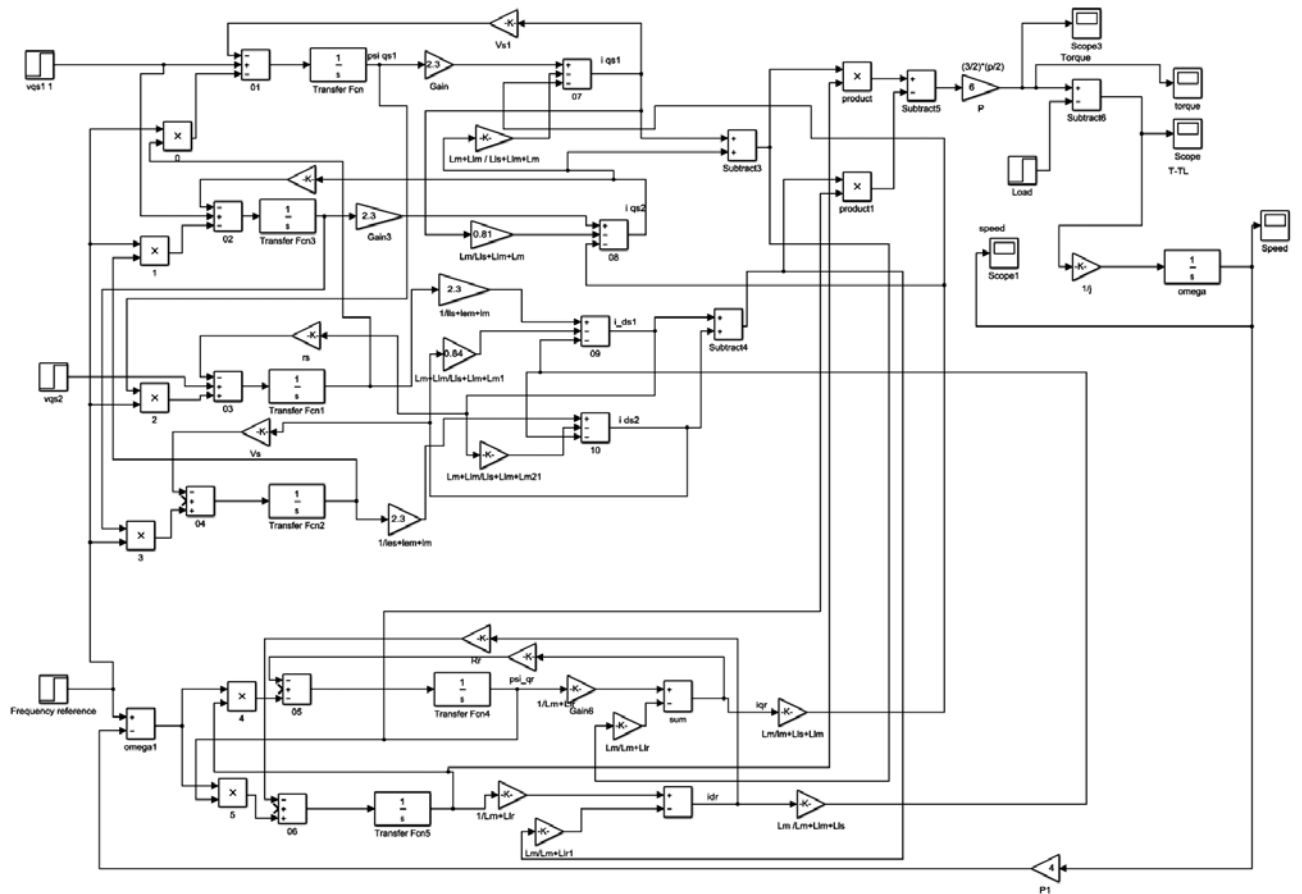


Fig. 2. Simulink model of six-phase motor

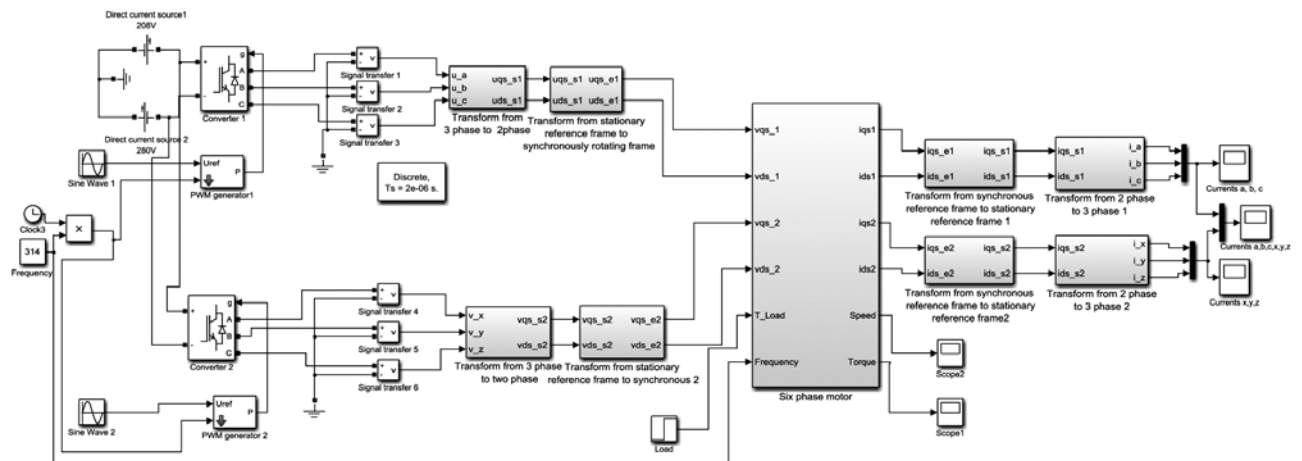


Fig.3. Simulink model of frequency controlled six-phase drive

The model gives possibility to calculate all six currents of motor. Figure 7 shows all currents of six-phase motor. The peak of starting current for this motor is limited by great stator resistance and it exceeds steady-state current by 25 %, which is equal to 24 A. Load torque increases current by 12.5 %.

The elaborated model of adjustable speed of six-phase motor allows consideration of motor dynamic characteristics at change of applied frequency keeping voltage and frequency ratio constant. Figure 8 presents starting characteristics of six-phase motor at reduced two and three times voltage and frequency ratio.

In these operation modes the maximum torque value reduces two or three times respectively.

Keeping frequency and voltage ratio two and three times smaller, the no-load speed reduces twice or three times accordingly.

3. Operation of the motor with phase fault

Multiphase induction motors are distinguished by its reliability. They can operate with phase fault and can rotate after some phases have been interrupted up to three phases have being left to produce revolving magnetic field.

Figure 9 indicates motor speed transients of six-phase motor without fault and with fault of v_{xss} , v_{ys} and

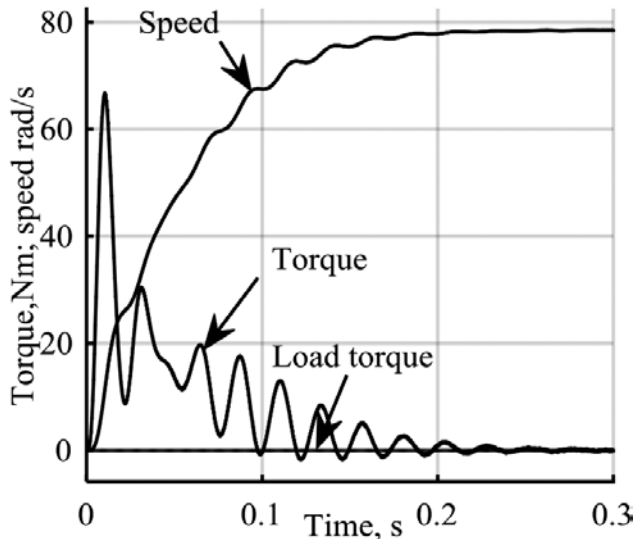


Fig. 4. Starting transients of torque and speed at no load

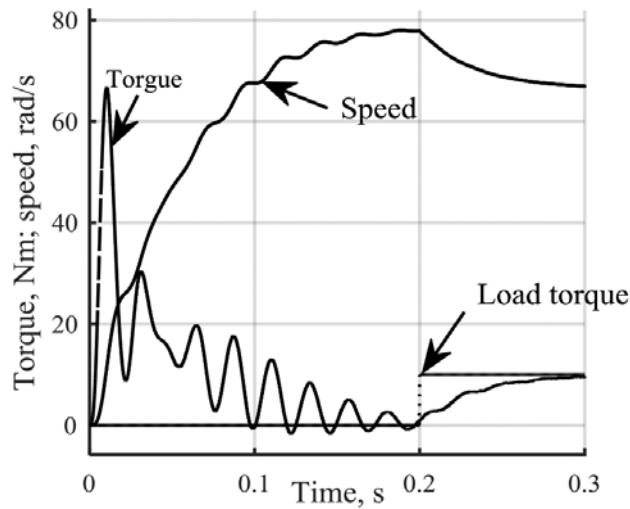


Fig. 5. Torque and speed starting transients with load of 10 Nm

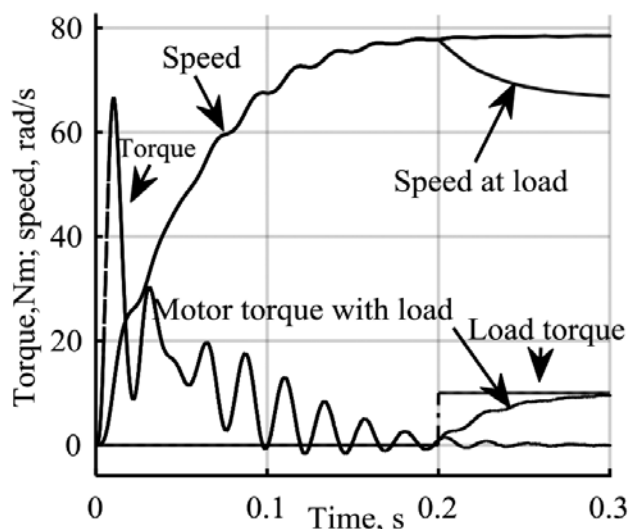


Fig. 6. Comparison of torque and speed starting transients for motor operation at no load and with load of 10 Nm

v_{zs} phases. Mathematical model allows modelling this mode of operation due to assumption common rotor winding for all stator windings, developing revolving magnetic field. At this mode only one set of windings

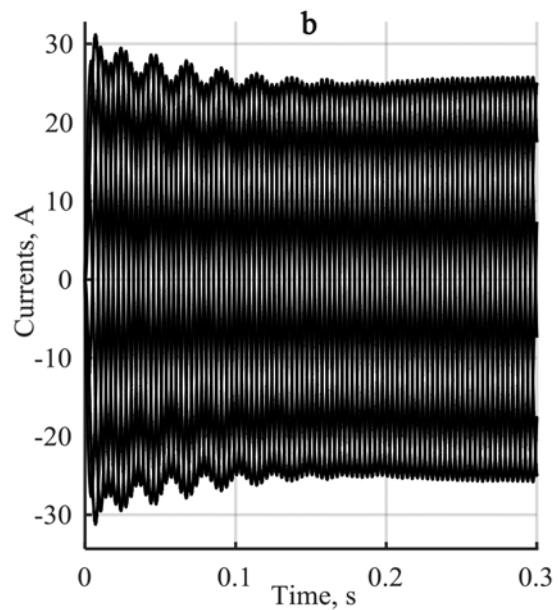
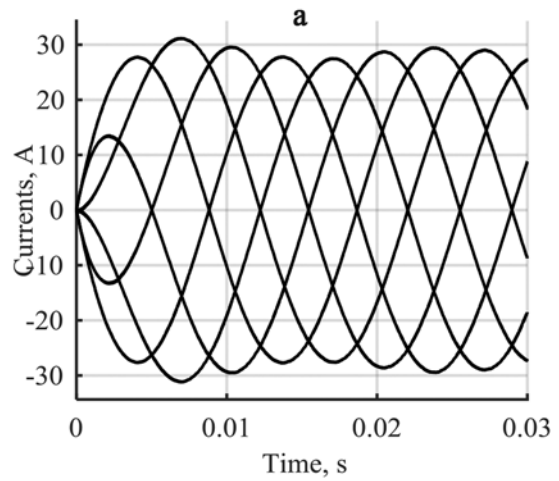


Fig. 7. Starting currents of six-phase motor: a) – at initial stage, b) during all process

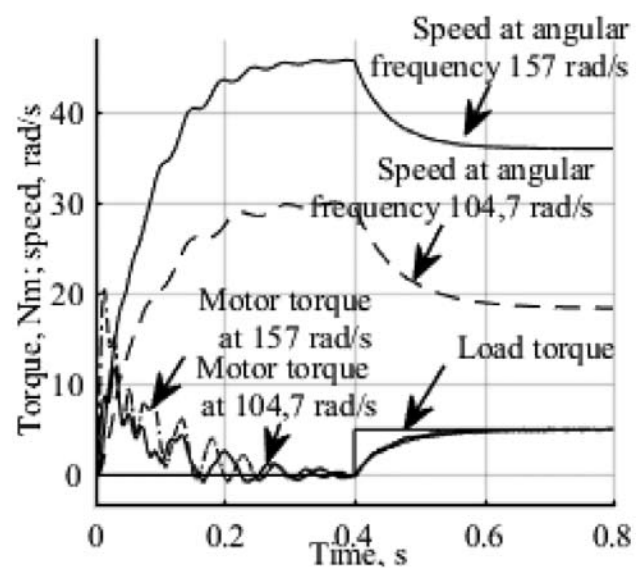


Fig. 8. Torque and speed of the motor at variable frequency

a_s , b_s and c_s is provided by voltage. Motor with phase fault reaches the same synchronous speed with some inertia which is result of smaller torque, produced by the motor.

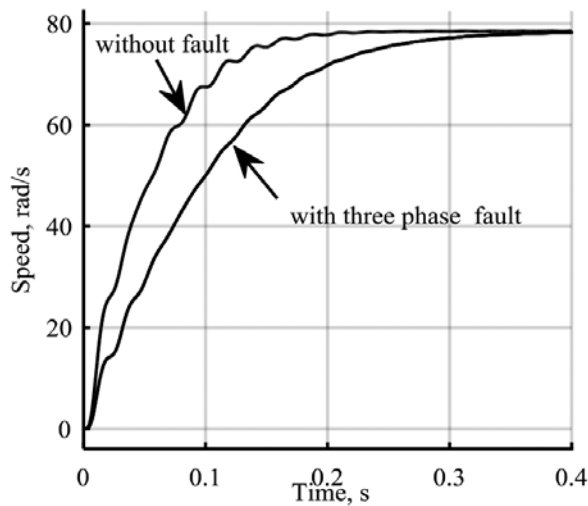


Fig. 9. Speed of the motor at fault in x , y and z phases at no load

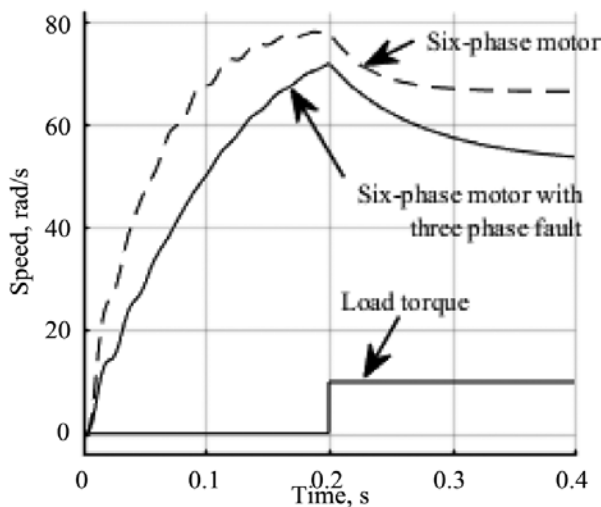


Fig. 10. Speed of the motor with 10 Nm load at fault in x_s , y_s and z_s phases

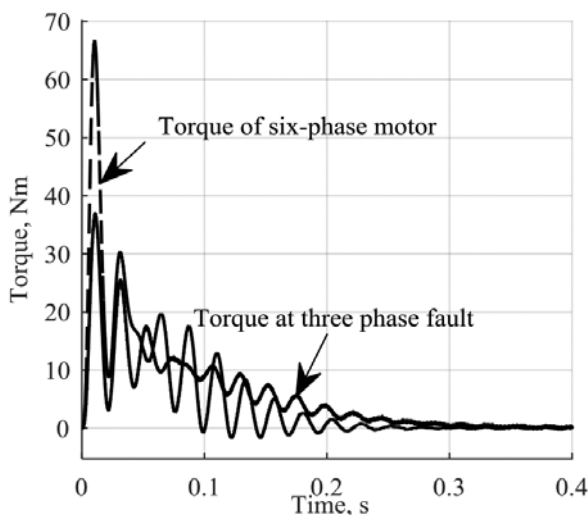


Fig. 11. Torque of the motor at fault in x_s , y_s and z_s phases at no load

Figure 10 presents the change in motor speed after three phase fault. The motor remains rotating but at fault its speed reduces more significantly.

Torque of the motor operating with fault in x_s , y_s and z_s phases at no load is shown in Fig. 11. Maximum

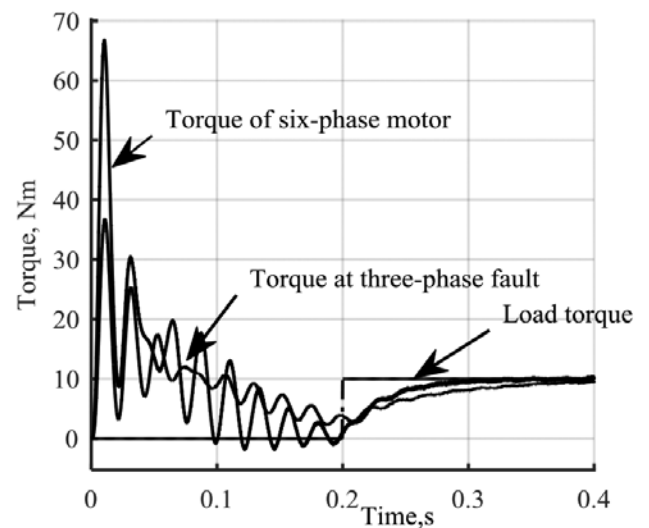


Fig. 12. Torque of the motor at fault in x_s , y_s and z_s phases at 10 Nm load

value of torque developed by the motor with three phase fault is two times smaller.

Figure 12 presents speed of the motor operating in normal conditions with 10 Nm load and at fault in x_s , y_s and z_s phases.

Conclusions

Elaborated model of six-phase converter for six phase motor based on two three phase converters with synchronized PWM generators allows examining of frequency controlled multiphase electric drives. Blocks for transform of reference frame are proposed. Modelling proves, that six-phase motor is able to start and continues rotating after three phase fault. The synchronous speed remains constant for both cases. Torque, developed by motor, reduces twice. Current values at three phase fault remain the same.

On the base of this work different modes of vector control and intelligent control systems currently are used in elaboration different vector control and intelligent control modes of multiphase electric drives.

Influence of three phase fault indicates, that motor can start and operate while three phases are provided with voltage. This show its good applicability in electric and hybrid transport.

References

1. WARD, E. E. and HARER, H. "Preliminary investigation of a converter fed 5-phase induction motor in *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, vol. 116. No. 6, pp. 980-984, 1969.
2. BOJOI, R. et. al. "Dual-three phase induction machine drives control" – A survey," in *Proc. IEEE IPEC*, pp. 90-99, CD-ROM, 2005.
3. JONES, M. and LEVI, E. A literature survey of state-of-the-art in multiphase AC drives," in *Proc. Conf. Rec. UPEC*, pp. 505-510, 2002.

4. LEVI, E. et al. "Multiphase induction drives – a technology status review", *IET Electr. Power Appl.*, 2007, 1 (4), pp. 489–516.
5. SINGH, G. K. "Multiphase induction drive research – a survey", *Electr. Power Syst. Res.*, No 61, pp.139–147,
6. APSLEY, J. and WILLIAMSON, A. "Analysis of Multiphase induction machines with winding faults" in *IEEE Transactions on industry applications*, vol. 42 No2, 2006.
7. ASHLEY, J. et al. "Induction motor performance as a function of phase number" in *IEE Proceedings online "The Institution and Technology"*, No 2006091, 2006.
8. BOGLIETTI A., et al. "Efficiency Analysis of PWM Inverter Fed Three-Phase and Dual Three-Phase High Frequency Induction Machines for Low/Medium Power Applications", in *IEEE Transactions on industrial electronics*, vol. 55, pp. 2015–2023, 2008.
9. LU, S. and CORZINE, K. "Multilevel Multi-Phase Propulsion Drives", in *IEEE Electric Ship Technologies Symposium*, pp. 363–370, 2005.
10. KUNDROTAS, Benas et al. "Research of six-phase induction motor windings". *Electronics and Electrical Engineering, Kaunas, Technologija*, vol.20, No. 1, pp. 15–18, 2014.
11. NABI, H. P., DADASHI, P. and SHOULAIE, A. "A novel structure for vector control of symmetrical six-phase induction machines with three current sensors", *Engineering, technology and applied science research*, vol. 1, No 2, pp.23-29, 2011.
12. BOSE B. K. *Modern power electronics and electric drives*, p.711, 2001.
13. GREGOR, R. et al. "Model Based Predictive Current Control of Asynchronous Six-phase Motor Drive", available at <http://www.icrepq.com/icrepq-08/230-gregor.pdf>, 2008.
14. MALLA J. and DAS M. "Review on Direct Torque Control of Induction Motor", in *International Journal of New Technologies in Science and Engineering*, No1(1), pp. 32–51. 2014.
15. RINKEVICIENE Roma, KUNDROTAS, Benas and LISAIUSKAS, Saulius. "Model of controlled six phase induction motor", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 7, No 1, Zurich, pp. 217–221, 2013.
16. RENUKADEVI, G. and RAJAMBAL K. "Generalized Model of Multi-Phase Induction Motor Drive Using Matlab/Simulink", in *Innovative Smart Grid Technologies*, pp. 114–119, 2011.
17. SUMIT, M. "Performance Analysis of Six-Phase Induction Motor", *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* www.ijert.org, vol. 4, Issue 02, 2015.

REGULIUOJAMO GREIČIO PAVAROS SU ŠEŠIAFAZIŲ VARIKLIŲ MODELIAVIMAS

Roma Rinkevičienė¹, Bronė Mitkienė¹

¹ *Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija*

Anotacija. – Straipsnis nagrinėja šešiafazio variklio, valdomo šešiafaziu dažnio keitikliu ir analizuojama pavaros pereinamuosius vyksmus. Variklio modelis yra sudarytas sinchroniškai besisukančioje koordinatinių sistemoje. Šešiafazio variklio valdymui sudaryti du nauji Simulink blokai, skirti tiesioginei ir atvirkštinei koordinatinių sistemos transformacijai, kurių nėra Simulink bibliotekoje. Reguliuojamo greičio šešiafazės pavaros modelyje panaudoti galios elektronikos įtaisai, leidžiantys nagrinėti pavaros veikimą esant realioms valdymo sąlygoms. Pateikti ir išnagrinėti šešiafazės pavaros, valdomos dažnio keitikliu, veikiančios tuščiosios veikos ir apkrovos režimais, momento, greičio ir srovės pereinamieji vyksmai. Išanalizuotas šešiafazio variklio veikimo patikimumas, esant fazės gedimui. Pateikti ir išanalizuoti pereinamieji vyksmai, sugedus variklio trimis fazėmis.

Reikšminiai žodžiai: šešiafazis variklis, dažnio keitiklis, modelis, pereinamieji vyksmai, fazės gedimas.

AUTOMOBILE SEAT BELT DESIGN: MINIMIZING THE RISK OF SERIOUS AND FATAL INJURY FOR SENIOR DRIVERS

Susana C. F. Fernandes¹, J. L. Esteves², Ricardo Simoes³ and João Sampaio⁴

¹ Polytechnic Institute of Maia – IPMAIA, sfernandes@ismai.pt

² Faculty of Engineering of University of Porto – FEUP, jesteves@fe.up.pt

³ Polytechnic Institute of Cávado and Ave – IPCA, rsimoes@ipca.pt

⁴ University of Aveiro – UA, joao.sampaio@ua.pt

Abstract. The proper use of seat belts is an effective means of preventing serious injury or death in a motor vehicle crash. However, injuries caused by the seat belt itself may result in serious injury to the user.

This article examines how to minimize the risk of serious and fatal injuries in older adults, resulting from seat belts in crash involvement, with the aim of improving the design, ergonomic and anthropometric adjustments, and comfort of seat belts.

The research methodology is descriptive and correlates recent automotive studies, seat belt laws, road accident statistics, crash tests, medical reports, ergonomic and anthropometric data, and elderly health evaluations.

This study concludes that the seat belt design in most marketed vehicles with three attachment points, are not the most adequate to the anthropometry, physical fragility and weakness, comfort, and safety of elderly users. From this research, we propose improvement aspects to consider in seat belt design to minimize this problem.

Key-words: Seat belt design; Senior drivers; Occupant protection; Crash involvement; Safety; Ergonomic

Introduction

The *Association for Safe International Road Travel (ASIRT)* classifies road traffic as the ninth leading cause of death worldwide, accounting for 2.2% of all causes of death. The “annual global road traffic statistics” [1] indicate that at least 1.3 million people are killed in traffic accidents annually, with an average of 3,877 deaths per day. In addition, between 20 and 50 million people suffer permanent injuries or lasting harm every year from car related injuries. Injuries caused by road accidents are estimated to become the fifth leading cause of death worldwide by 2030.

Currently, cars represent the primary means of transportation for many seniors in numerous countries [2, 3, 4], with the number of drivers aged 65 and over expected to be more than double over the next 30 years [5]. It is expected that older drivers will keep their driving licence and the ability to drive safely for longer [6-7]. The *OECD/ITF* (8) report adds that seniors have been increasing the duration and frequency of car trips, and this increase is even greater for those aged over 75. The same report also shows that drivers aged 65 or older have higher death rates than drivers between 25 and 64 years of age, suggesting that seniors are at greater risk of fatal accidents. Consequently, increases in the number of injury-related fatalities in road accidents are expected in the most advanced age groups [1, 5].

Police and medicine reports, and motor insurance statistics suggest that older drivers are more susceptible to involvement in multiple-vehicle accidents and more serious injuries, as well as being held responsible for the accidents in which they are involved [5, 9-10].

Seniors, due to their greater physical frailty, are more likely to suffer serious or fatal injuries (about 2

to 5 times more) than young adults in a collision, and they recover more slowly from injury due to greater physical weakness [11].

In several countries, since the introduction of mandatory seat belt legislation in the late 1970s, the reduction of serious and fatal injuries has become effective at around 25% [12]. It is widely demonstrated that the use of seat belts contributes to reducing the number of fatalities in road accidents (12-15). Although the benefits of seatbelt use are clear, it should not be disregarded that these are associated with user injury patterns. Thus, users of seat belts, when involved in road accidents, should be specifically evaluated by specialized doctors in identifying such injuries [16].

Recent investigations by the *Ohio State’s Wexner Medical Center* [17] indicate that current car seatbelts are not designed to protect older people who are fragile or thought to have the current anthropometric standards of the population. Body injuries are common throughout the areas covered by the safety belt, particularly in the thoracic and abdomen, where ribs and spinal vertebrae fractures and crushing soft tissues, arteries, and vital organs can result.

Road safety issues in older adults are a current concern of the automotive industry, which is interested in identifying what contributes to the use or non-use of seatbelts by people aged 65 years and over [1, 5].

This research intends to understand issues related to the use of seat belts by senior users, namely: the factors that influence the decision making of a seat belt; the physical and comfort conditions experienced; the ergonomic characteristics and design of the safety belts; the effectiveness of legislation on seat belts; the levels and techniques of safe use; and other factors that may contribute to the reduction of the level of personal injuries in cases of impact/collision of vehicles.

We conducted a broad review of the literature related to the issues of physical changes of the human body in aging and injury patterns caused by the three-point automobile safety belt, to identify potential improvements in automotive safety belts design to mitigate the risk of serious and fatal injury to senior drivers.

1. Fragility, weakness, and body morphology of the senior

The fragility and weakness of the human body increases with aging due to numerous morphological mutations and organism composition changes, each of a complex and diverse nature. Fragility is characterized by the lower capacity for resistance to disease or injury. The biomechanics of frailty involve studies on age and the reduction of bone density, such as declines in bone mass or changes in bone morphology and geometry (which makes them more prone to fractures). In automobile accidents, due to the magnitude of the impact force, it is likely that greater fragility will induce higher levels of body damage. Therefore, in an accident with more impact energy, a more fragile individual will experience a higher level of bodily injury [14, 18-19].

Weakness, in turn, refers to the ability to recover from disease or injury, and an aged body takes longer to recover from injury [11, 20-21]. The physical components of fragility and weakness include muscular atrophy (sarcopenia), loss of muscle mass, physical inactivity, and decreased motor function. For example, the tolerance and recovery of spinal tissues decrease during aging due to increased weakness [22-23].

Body fragility and weakness were identified as the major factors contributing to the increased risk of death in older people in road traffic accidents [3, 24-26].

Aging is associated with innumerable bodily mutations that directly and/or indirectly influence human fragility and weakness. We identified the most significant mutations that influence the level of damage or injury caused by seat belt retention as: slow and progressive reduction of muscle mass and function, which in stages of increased degeneration result in sarcopenia – muscle atrophy and loss of strength [22, 27-28]; degeneration of the elastic fibres and collagen support of the dermis and weakening of the epidermis in general [29]; the replacement of some body tissues by fat mass [30]; the increase of the abdominal perimeter, i.e., larger diameter in the waist and hip circumferences [31-33], with many individuals even presenting obesity (due to variations in societal anthropometric standards in recent years, with special emphasis on urban regions of developed countries) [13, 34-36]; the rigidity of the bony and muscular elements of the thorax [29]; the reduction of bone calcification [29]; loss of elasticity and resistance of cartilages and joints (which causes a greater propensity for bone fractures) [29]; the narrowing of the bronchial channels and greater

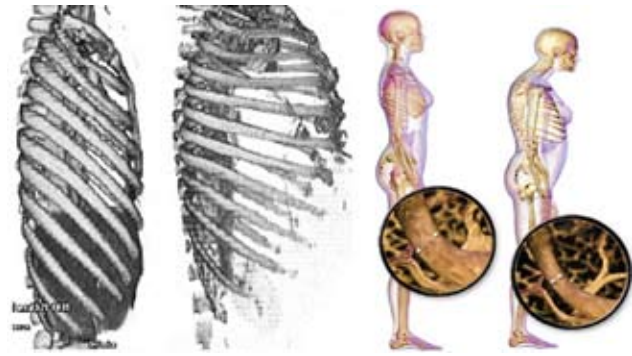


Fig. 1. (left) Comparison of the ribs of a young adult person with a senior, respectively. (right) Declines in bone mass with aging. Image source: NHTSA (accessible in: <https://www.toyota.com/csrc/projects/index.html>).

difficulty in muscle ventilation [29]; and the reduction of the contractile force of the heart and the bioelectric centres that regulate its rhythm [29].

Figure 1 compares, in a side view, the chest (ribs, costal cartilages, and costal muscles) of a young adult with a senior [5]. The senior chest shows: wide spacing of the twelve ribs (on each side of the thorax), composed of flat and curved bones that extend from the dorsal vertebral column to the external; loss of bone mass, with morphological alterations suggesting atrophy, volume reduction, and bone density; loss of muscle mass from the thoracic walls to the abdomen decreased; clavicle and sternum bones; and higher thoracic cavity volume and depth of the lateral chest, as pointed out by several studies [5, 12, 29, 37].

The vertebrae that form the vertebral column (cervical, dorsal, and lumbar) project in the central region of the dorsum, following a vertical line [29]. In aging, loss of bone density, changes in the properties and relative proportions of connective tissue elements of the intervertebral discs¹, when associated with the loss of capacity of the intervertebral discs for water absorption, result in the reduction of shock absorption capacity in the spine [29].

In a senior, the geometric and degenerative changes in the vertebral structures (which are forced to support disc load and postural changes) associated with a greater proportion of the compressive, traction, and shear loads that act on the spine [38-39], influence the reduction of the height of the vertebral column and are the origin of the deformation of the abdomen region and the reduction of physical height in general, contributing for the adoption of the forward flexed posture, as represented in Figure 2.

2. Standard seat belt legislation and design (with three attached points)

A seat belt directs the occupant forces into the structure of the vehicle through seat belt assembly anchor-

¹ Intervertebral discs: fibrocartilaginous structures existing between different vertebrae and that serve as a bumper at the points of union between vertebrae [29].

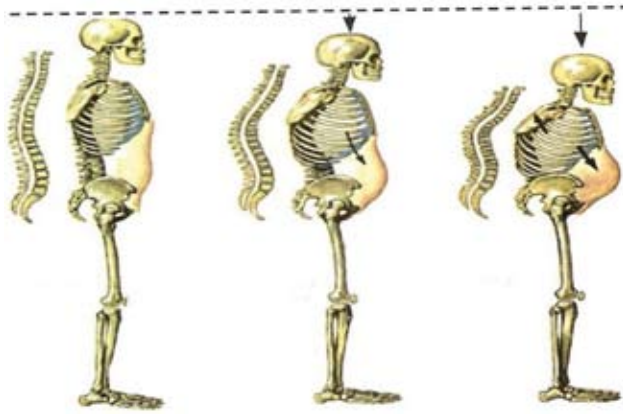


Fig. 2. Variation of the spine with age: (left) 55-year-old individual. (centre) 65-year-old man. (right) 75-year-old individual. Source image: <http://bioquimicaenvelhecimento.blogspot.pt/2010/11/>.

age points and this aspect is regulated separately in the US by standard FMVSS 210 (and to some extent FMVSS 207 on seating systems) and in the EU by UNECE Regulation No 14. In summary, the seat belt anchorage point prescriptions (FMVSS 210/207 and R14) for passenger cars (EU: M1 vehicles) between the EU and US are not identical, varying specifically in terms of the ramp-up time and duration of the maximum test force application [40-41]. It should be pointed out that carrying out a compliance test on a test bench poses certain limitations that will cause the strength test not to be completely representative of a real-world crash. regulatory standards in the US and EU covering car safety in general differ to such great extent that it would not be possible to make a meaningful comparison on single subject-to-subject basis (40-41). However, European Commission, in 2016, concluded on equivalence of certain automotive safety standards, on the basis of their real-world performance [40-41].

In Portugal, Decree-Law n° 190/2006, of September 25 (published in the *Diário da República*, 1st series, number 185/2006, of September 25) regulates the approval of safety belts and systems approved by Decree-Law n° 225/2001 of 11 August and transposes Directive 2005/40/EC of the European Parliament and of the Council of 7 September 2005 into the internal legal order [42]. The preamble to this law emphasizes that “*the studies carried out show that the use of safety belts and restraint systems can contribute to a drastic reduction in the number of victims and the severity of injuries in the event of an accident, its installation in all categories of vehicles is an important step towards increasing road safety and preventing loss of life, providing a substantial benefit to society*”.

Safety belts and restraint systems are accessible mechanisms designed to reduce the risk of injury to the user in the event of a collision or sudden deceleration of the vehicle, limiting the possibilities of body movement and, in principle, less serious injuries for the occupant [43].

Standardized seat belts, currently applied to all marketed vehicles, are “three-point” type. This desi-

gnation is due to the anchorage or fixation that takes place in three points (in *Figure 3*, identified by points 1, 2, and 3). Apart from the safety belt between points 1 and 3, it is customary to refer to the shoulder belt and, in turn, to the part between points 2 and 3 as a “lap belt” [43].

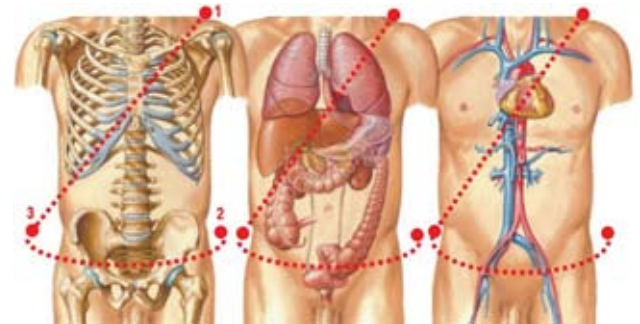


Fig. 3. Human body and three-point seatbelt retention zones: (left) Bones: clavicle, sternum, ribs and costal cartilages. (centre) Vital organs: lungs, liver, and intestines. (right) Major arteries. Image adapted from source: Vigué-Martin, 2006 [29].

Safety belts are designed to distribute the impact forces through the strongest parts of the upper body (as depicted in *Figure 4*), namely: clavicle, sternum, and pelvic bones [45-45]. A literature review found no evidence of seat belt anchorage failures (in both EU and the US) supporting that such failures are not an issue when it comes to passenger car safety in the real-world [40-41]. However, the current three seat belt retention points for seat retention result from a balance between safety factors and usability factors [5].

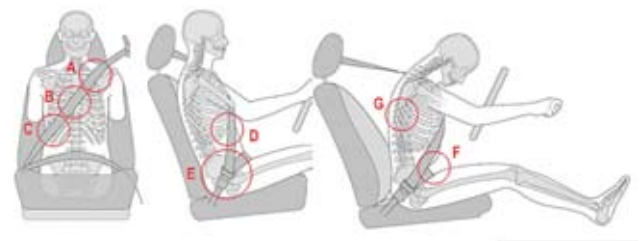


Fig. 4. (left and centre) Illustrations showing the position of the bones of the thorax and abdomen in relation to the parts of the shoulder belt – (A) clavicle, (B) sternum, (C) ribs and costal cartilage, (D) condrocostal union, (E) pelvic bones. (right) Illustration of frontal collision: the occupant advances in relation to the interior of the vehicle and the seat belt, in the region of the shoulder, applies a restraining force to the clavicle, sternum, and rib cage. The belt in the abdominal region reacts by applying a restraining force to the pelvis and abdomen (F). The body is propelled forward and the spine (G) folds and compresses the intervertebral discs. Image adapted from the original source: <https://www.thompsoncoe.com/>.

First-class safety belts were designed and tested in the late 1970s using “Crash Test Dummies”², like a “mid-sized”, “middle-aged” (40-year), weighing approximately 78 kilos “standard man” (17). Presently,

² Crash Test Dummies: full-scale anthropomorphic test devices (ATDs) that simulate the human body’s dimensions, weight, and joint proportions, generally instrumented to record information about dynamic behavior in vehicle impact simulation tests [46].

many of the assessment procedures adopted by the automotive industry for designing vehicle safety systems for the driver and occupant continue to use the “standard man”. Anthropomorphic Testing Devices (ATDs)³ are used as human models with a small number of body sizes, when studies have already identified significant effects of stature and obesity on the risk of injury, especially in frontal and lateral accidents (17, 31).

Only recently have some of the major automotive brands (such as Toyota and Volvo) begun to consider the need for more ATDs scaled to the current population percentiles to assess shock resistance and protection of the driver and occupant in tests (31) and their impact on the levels of protection achieved through the seat belt (47).

According to both UNECE Regulation No 14 and FMVSS 207, about comparison of static and dynamic seat belt forces, the restraining device for a forward-facing seat shall not release or fail when a forward Hynd et al. (2001) undertook a study investigating the potential benefits that could be realised if modern car restraint systems were optimised to protect a more diverse range of car users. A part of this research programme involved sled testing with different size dummies and measurements of the seat belt webbing forces (40). Worldwide, only a few sizes of adult occupants are represented by ATDs (31). Regulatory testing of ATDs varies across countries, but the dimensions of the reference body do not correspond to the percentiles of that population. For example, the American man currently weighs about 89kg, and the woman weighs 75kg, which is almost 10kg more than 40 years ago (48). Thus, obese and non-obese drivers and the “tall man” and the “small woman” present a higher risk of injury than the standard “middle-aged man.” In height analysis, greater risks of injury were observed in obese drivers compared to non-obese drivers. These results suggest that the size and shape of the body of the driver and occupant affect their interaction with the components of the seat belt at the position of the attachment points and the kinematics of the bodies, increasing the risk of severe injuries in frontal and lateral accidents (31), to which are added the effects of corporeal aging (18, 47, 49).

The *Ohio State’s Wexner Medical Center* and the *University of Michigan* (17, 32, 46, 49) indicate that current car seatbelts are not designed to protect the most fragile seniors, nor for current population anthropometric standards. New ATDs (*Figure 5*) are being developed for vehicle impact/collision tests [46-48].

Current ATDs with standard usage procedures are not capable of representing the large belt-skeleton offset and sub-optimal belt routing, so current testing does not evaluate the load-sharing situations encountered by most -occupants, particularly those who are obese [47-48].



Fig. 5. (left) Photo of obese ATD (≈ 124 kg), in the driving position and with a safety belt. (right) Comparative photo between ATDs of different sizes: on the left – “woman of 70 years”; in the centre – “obese man”; on the right – “standard man”. Image source (left): Splash News (<http://www.mirror.co.uk/news/weird-news/fat-crash-test-dummies-weigh-9812349>). Image source (right): <http://www.dailymail.co.uk/news/article-4212828/Crash-test-dummies-fatter-older.html>.

The standard seatbelt design (with three attachment points) may be less effective for older drivers and may cause fatal injuries resulting from injuries sustained along the belt path [47, 49]. *Figure 3* shows the bodily retention areas by the seat belt at skeletal, organ, and artery levels.

3. Senior bodied regions with damage or injury caused by the retention of the automobile standard safety belt (three fixing points)

In the elderly population, physiological changes associated with aging play a role in increasing general susceptibility to injury because the general shape of the body changes, particularly in the thorax, associated with structural and geometric differences in the thoracic region [15, 38].

In a car crash event, the combination of airbags and three-point seat belt does not relieve the body from injury [12]. Hospital clinicians often detect open or hidden intra-abdominal lesions in injured patients. Hematoma in the trunk and abdomen along the seat belt course is a noticeable sign suggesting an increased risk of thoracic and abdominal injury (*Figures 6* and *7*). However, signs of bruising are not always apparent, which does not mean there is no lesion, lacking evaluation of other subtler signs of injury [12, 50].



Fig. 6. Thoracic contusion and excoriation in a 59-year-old woman, related to the shoulder belt. Image source: *Western Journal of Emergency Medicine* [50].

³ ATDs – Anthropomorphic Test Devices.

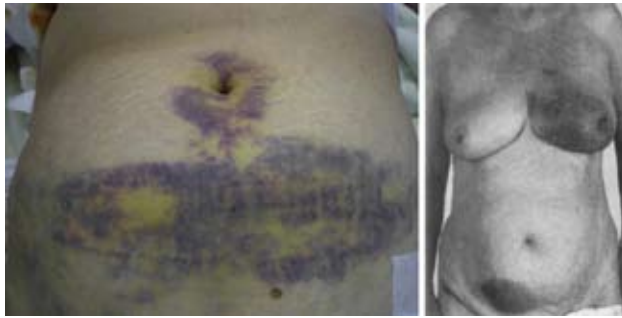


Figure 7 – (left) Abdominal hematoma in a 58-year-old man caused by the back belt. (right) Bruising in a senior woman (chest, breast and lower abdomen). Image source (left): <http://www.sciencedirect.com/>. Image source (right): Abdominal Trauma by Beka Aberra (Addis Ababa University, School of Medicine, 2012).

Along the course of the safety belt, bruises are the most frequent signs of injury. In women, hematomas occur in the chest and breast, as well as in the lower abdominal region (Figure 7) [51].

According to data from the *Emergency Medicine Journal* [51], overweight and obese drivers are at increased risk of fatal crashes in the event of car crashes compared to other drivers considered “healthy weight”⁴. Thus, it was found that the people with the highest fat mass index are about 80% more likely to die in motor vehicle accidents than healthy weight drivers. Obese women (with a BMI of 35) have twice the risk of fatality compared to men, with twice the risk of fatality when compared to other women of normal weight for height (Figure 8). Obesity has a strong effect on lap belt routing. On average, an obese individual place the belt fully above the pelvis and an average of 61 mm forward of the anterior superior iliac spine (ASIS) [49]. Shoulder belt fit is strongly affected by D-ring location and body size [49].



Fig. 8. Woman body scan image: (left) 113.4 kg woman. (right) 54.4 kg woman. Image source: National Geographic, 2016.

Depending on the strength of the impact force resulting from a motor vehicle accident, retention by the

safety belt can cause the following bodily injuries: compression fracture of the upper end plate of the vertebral body; displaced sternal fracture; and lateral fractures of the left ribs and contusions (Figure 9). Although with less incidence, lesions can occur in the small intestine and the supra-aortic vessels (carotid and subclavian) in association with rib fractures [50, 51].

Chest and thorax injuries, including rib fractures, are reported as the most common accident wounds among senior drivers. In addition, older adults have a much higher morbidity and mortality rate as a result of rib fracture compared to young adults [16, 25, 52-55].

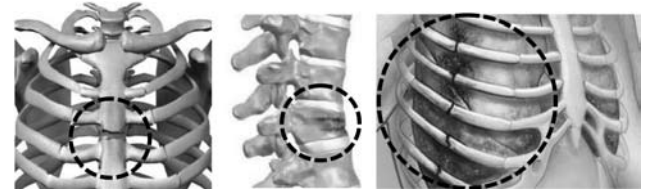


Fig. 9. (left) Dislocated sternal fracture; (centre) Rib fracture; (right) Compression fracture of the upper end plate of the vertebral body. Images source: medmovie.com.

In addition, problems arise due to the incorrect adjustment and positioning of the seat belt by the user (not foreseen in design). For example, the shoulder belt: (i) when placed in regions closer to the neck, causes serious neck injuries; (ii) when placed under the arm, causes rib fractures; (iii) when placed in the supra abdominal region, causes lesions in the organs of the digestive tract [51-55]. In turn, the back belt, when too short, may potentiate bone fractures in the pelvis region. Fracture of a pelvic bone, femur, or other basin region in older people can become a fatal injury [55].

Several studies, based on road crash data with frontal collisions, have also shown that obese drivers and occupants are at increased risk of injury to the thorax [56] and lower extremities [56-60], as compared to normal-weight subjects.

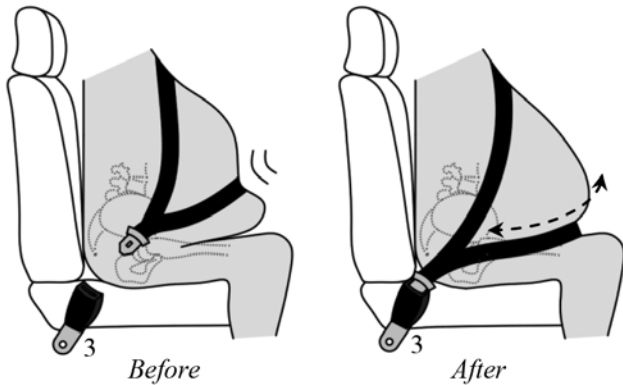
Recommendations and Conclusions

Automobile safety belts play a key role in the safety of the driver and occupant, but a significant portion of the world's population still suffers serious and fatal injuries caused by the retention of their own seat belts. The adjustment of the driver and occupant belt should consider age, level of fragility and weakness, body mass index, and the effects of dimensional change of the lap belt due to greater adipose mass in the pelvic cavity. Thus, the following aspects of improvement in the interior design of the vehicle are suggested, to better adjust to the anthropomorphology of the senior driver and to enhance the effectiveness of the standard seat belt, in which the images are schematic representations of seat belt geometry and anchorage positions:

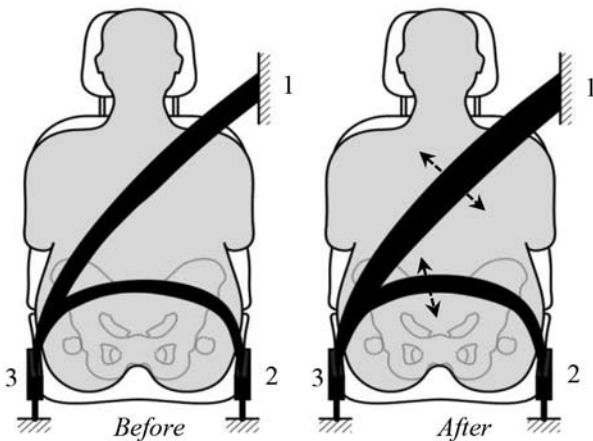
- i) Create a larger back belt length, i.e., longer re-

⁴ Healthy Weight – The Body Mass Index (BMI) is an indicator of body fat and is usually based on the ratio of weight to height (there are other mechanisms for measuring the amount of fat in the body). The healthy or normal weight of an adult should be associated with BMI between 18.5-24.9 [61-63].

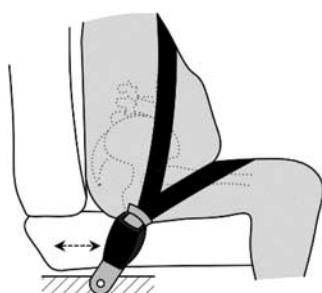
tractor position (point 3) and fixed anchorage (point 2), thus contemplating anthropometric differences and higher body mass indexes of the user, as well as better adjustment to the neck / abdomen.



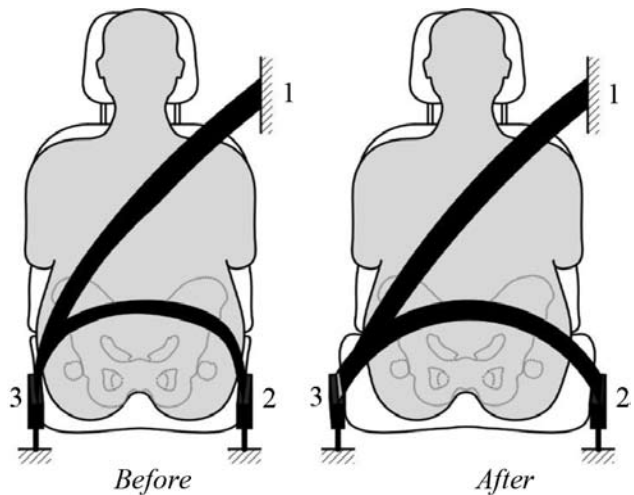
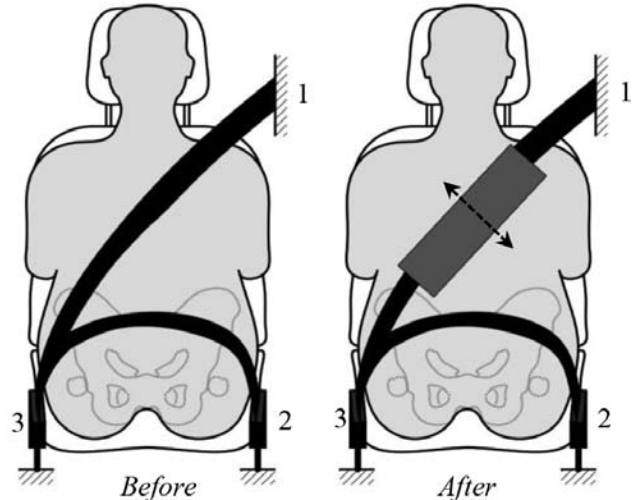
ii) Larger seats at coccyx level and pelvis region, or, alternatively, increase the spacing between points 2 and 3 of anchorage, for better positioning and adjustment by the user between points (2) and (3).



iii) Position anchor points (2 – Lower outboard anchorage) and (3 – Lower inboard anchorage) a few inches ahead of the current position of the seat back, thus slightly pulling the belt back from the position of the soft tissues and organs of the abdomen, i.e., belt must go under the belly. A new transitional position is therefore proposed on the thigh (driver's legs). This repositioning continues to promote retention of the driver in the seat, preventing slippage and slightly redistributing the impact forces of the belt back into the femur bones (with greater strength). This repositioning mainly benefits users with a higher body mass index or greater abdominal volume. It is important to emphasize that tests must be carried out to validate this theory.

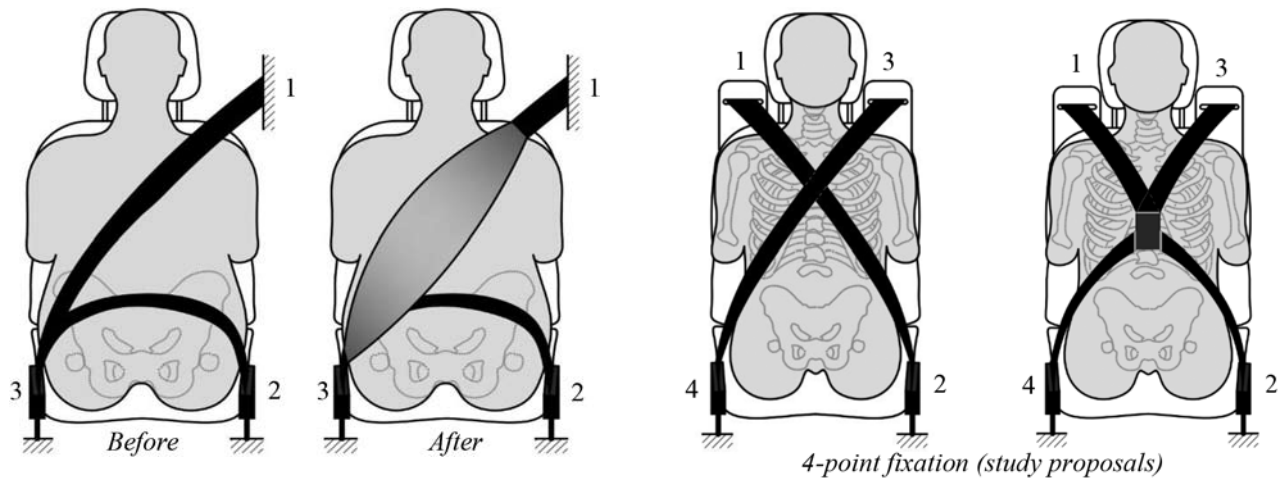


iv) Increase the width of the safety belt in order to obtain a larger area of contact surface with the user's body for a greater distribution of the impact energy, minimizing its intensity and, consequently, the level of localized damage. Women should position strap between the breasts.



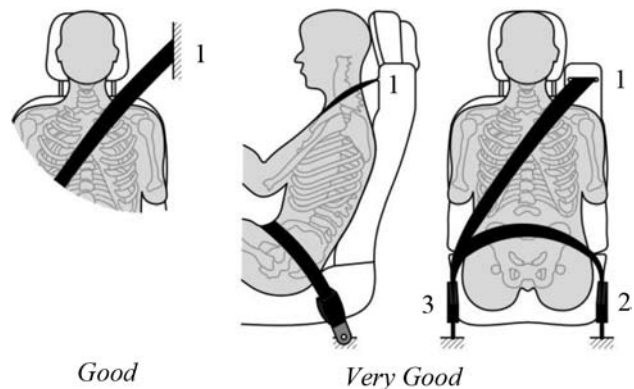
v) Providing a belt airbag, i.e., inflatable safety system that increases the area of distribution of impact energy on the user's body would make injuries less burdensome and less likely. The beltbag is an inflatable seat belt strap that can lower the risk of injury to the driver during a frontal impact by reducing the loads acting on the ribcage. Should the crash sensors detect severe frontal impact, the airbag control unit trigger deployment and inflation of the beltbag. A gas generator then inflates the multi-layered belt strap with Velcro seams to nearly three times its normal width. The resulting larger surface area can better distribute the force acting on the seat occupant, thereby reducing the risk of injury.

vi) Choose the "Belt-in-Seat Design" in front of the "B Pillar Seat Belt Design" (D-ring anchorage). By adjusting the position of the seat to their comfortable driving position, many drivers do not modify the shoulder belt's travel position in the respective belt height adjuster guide (located on the B-pillar) because of ignorance, inattention, or due to the difficulty of the operations necessary for the respective adjustment.



The “Belt-in-Seat Design” provides a better fit of the shoulder belt to the body, better belt access, and greater occupant comfort.

vii) Use a seat with a higher lumbar backrest “Belt-in-Seat Design” (providing different positions for adjusting the head restraint), with the aim of improving anthropometric positioning and its relation to shoulder height (predicting the effects of geometric variation of height).



vii) Further investigations suggest that a four-point belt design could minimize many of the current injury patterns noted in this paper. However, solutions to the limitations of the four-point seat-belt are lacking, in terms of belt retractability, retention mechanisms, and accessories for easy placement, which ensure acceptable usability standards. It is important to provide an intelligent, retractable, easy-to-fit seat belt that can be adjusted to the anthropomorphological profile of the user.

The reclining seat should be standard equipped with a cushion bag to provide a higher level of accident safety. The airbag is located under the seat cushion upholstery, but on top of the plastic seat shell, which is moved by the seat mechanisms. This means the airbag is always in the same position on the seat shell, and therefore relative to the pelvis position of the occupant. In an accident, with the occupant in a reclined position on a flat seat cushion, there would otherwise be danger of the pelvic area sliding beneath the seat belt (so-called submarining). This can be prevented by the cushionbag, as it raises the front section of the seat

cushion upholstery. The airbag is only activated if the seat is in the reclined position. It is not activated in the upright position, as there is then no danger of submarining because of the seat cushion angle.

To better identify the lesions and the effects of age on the risk of injury, lesion type, and severity of the lesion, further studies are required that consider the biomechanical metrics and anthropomorphic profiles of the user, especially for the most vulnerable individuals, seniors, whose profile is not always considered by the automobile manufacturer.

A design that best addresses the ergonomic issues of the senior driver can contribute to the development of risk assessment matrices and solutions to mitigate injury levels caused by the seat belt in the event of an accident/collision of the vehicle.

References

1. ASIRT – Association for Safe International Road Travel. (2016). Retrieved from: <http://asirt.org/initiatives/informing-road-users/road-safety-facts/road-crash-statistics>. Accessed July 15, 2016.
2. OECD/IRTAD. (2014). Road Safety 2014 Annual Report. International Transport Forum. International Traffic Safety Data and Analysis Group. Retrieved from: <http://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/14irtadreport.pdf>. Accessed July 15, 2016.
3. Eby, D.W. and Molnar, L.J. (2012) Has the Time Come for an Older Driver Vehicle?, Report No. UMTRI-2012-5, University of Michigan Transportation Research Institute, Ann Arbor, MI. Retrieved from: <https://www.aaafoundation.org/sites/default/files/SeniorsAndSelfRegulationReport.pdf>. Accessed July 15, 2017.
4. Molnar, L.J. and Eby, D.W. (2009). “Getting around: meeting the boomers’ mobility needs”, in Houston, R. (Ed.): *Boomer Bust?*. Economic and Political Issues of the Graying Society, Praeger Publishing, Westport, CT, Vol. 2.
5. NHTSA – Highway Traffic Safety Administration, N., and Department of Transportation, U. (2013). 2013 Data: Older Population, (May). Retrieved from: <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812273>. Accessed July 15, 2017.

6. Shergold, I., Lyons, G. and Hubers, C. (2015) 'Future mobility in an ageing society – Where are we heading?', *Journal of Transport and Health*, Vol. 2 (Transport, travel and mobility in later life), pp.86–94.
7. Kahvedzic, A. (2013) *International Re-licensing Models of Older Drivers*, pp.1–7, https://www.rcpi.ie/wp-content/uploads/2016/02/4_International-Re-Licensing-Models-of-Older-Drivers1.pdf. Accessed July 15, 2016.
8. OECD/ITF. (2014). *Road Safety Annual Report 2014*. DOI: 10.1787/irtad-2014-en. Retrieved from: http://www.oecd-ilibrary.org/transport/road-safety-annual-report-2014_irtad-2014-en. Accessed July 15, 2017.
9. Morris A, Welsh R, Hassan A. (2003). Requirements for the crash protection of older vehicle passengers. In: *Annual Proceedings/Association for the Advancement of Automotive Medicine*. 47(2003):165–180.
10. Langford J, Methorst R., and Hakamies-Blomqvist L. (2006). Older Drivers Do Not Have A High Crash Risk – A Replication of Low Mileage Bias. *Accident Analyses and Prevention*, 38(2006):574–578.
11. Platts-Mills, T.F., Flannigan, S.A., Bortsov, A.V., Smith, S., Domeier, R.M., Swor, R.A. and McLean, S.A. (2015). 'Persistent pain among older adults discharged home from the emergency department after motor vehicle crash: a prospective cohort study', *Annals of Emergency Medicine*, 67 (2):166–176.e1.
12. Masudi, T., Capitelli, McMahon H., Scott JL, L. A. (2017). Seat belt-related injuries: A surgical perspective. *Journal of Emergency Trauma Shock*, 70–73. doi:10.4103/0974-2700.201590.
13. Beck, L. F., Downs, J., Stevens, M. R., and Sauber-Schatz, E. K. (2017). Rural and Urban Differences in Passenger Vehicle Occupant Deaths and Seat Belt Use Among Adults-US 2014. *Mmwr*, 66 (17): 1–14. Retrieved from: <https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/66/ss/pdfs/ss6617.pdf>. Accessed July 15, 2016.
14. Kahane, C. J. (2013). *Injury vulnerability and effectiveness of occupant protection technologies for older occupants and women*. (Report No. DOTHS 811 766). Washington, DC, National Highway Traffic Safety Administration.
15. Kent R, Henary B, Matsuoka F. (2005). On the fatal crash experience of older drivers. In: *Annual Proceedings/Association for the Advancement of Automotive Medicine*. 49(2005):371–393.
16. Fong, C. K., Keay, L., Coxon, K., Clarke, E., and Brown, J. (2015). Seat belt use and fit among drivers aged 75 years and older in their own vehicles. *Traffic Injury Prevention*, 9588 (just-accepted), 0. <https://doi.org/10.1080/15389588.2015.1052420>.
17. Randi Belisomo in Reuters 'Health News' (2016). 'Down the road: better seatbelts for seniors'. December 16, 2016. Retrieved from: <http://www.reuters.com/article/us-health-seniors-seatbelts/down-the-road-better-seatbelts-for-seniors-idUSKBN1452GO>.
18. Fernandes, Susana C.F., Esteves, J.L., and Simoes, Ricardo (2017). Characteristics and human factors of older drivers: improvement opportunities in automotive interior design. *International Journal of Vehicle Design*. 74(3):67–203. doi.org/10.1504/IJVD.2017.086418.
19. Duarte, Vera Mafalda Gomes. (2013). *Fragilidade nas pessoas idosas*. Tese de doutoramento em Gerontologia e Geriatria, Universidade de Aveiro.
20. Key, C.E.J., Morris, A.P. and Mansfield, N.J. (2016). 'Situation awareness: its proficiency amongst older and younger drivers and its usefulness for perceiving hazards', *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 40(2016):156–168.
21. Narayan, Y., Nahum, A. M., and Melvin, J.W. (2014). *The Medical College of Wisconsin Inc., Accidental Injury: Biomechanics and Prevention*, Springer New York Heidelberg Dordrecht London, DOI: 10.1007/978-1-4939-1732-7.
22. McGill, S. (2007) *Low Back Disorders: Evidence Based Prevention and Rehabilitation*, 2nd ed., University of Waterloo, Human Kinetics, Champaign, IL.
23. Nakahama, K. (2010). Cellular communications in bone homeostasis and repair. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 67(2010): 4001 – 4009.
24. Crandall, M., Streams, J., Duncan, T., Mallat, A., Greene, W., Violano, P., Christmas, B. and Barraco, R. (2015). 'Motor vehicle collision Y related injuries in the elderly: An Eastern Association for the Surgery of Trauma evidence-based review of risk factors and prevention', *J. Trauma Acute Care Surg.*, Chicago, Illinois, 79 (1):152–158.
25. Meuleners, L.B., Harding, A., Lee, A.H. and Legge, M. (2006). 'Fragility and crash overrepresentation among older drivers in Western Australia', *Accident Analysis and Prevention*, 38(5):1006–1010.
26. Li, G., Braver, E.R. and Chen, L. (2003). 'Fragility versus excessive crash involvement as determinants of high death rates per vehicle-mile of travel among older drivers'. *Accident Analysis and Prevention*, 35(2003): 227–235.
27. Portugal, Luís. (2012). *Osteopenia e osteoporose: fatores modificáveis e não modificáveis*. Universidade Fernando Pessoa, Faculdade de Ciências Da Saúde. Retrieved from http://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/3208/3/TM_15335.pdf. Accessed July 15, 2016.
28. Doherty, T. (2003). Invited review: ageing and sarcopenia. *J. Appl. Physiol.* 95(4):1717e1727 (Bethesda, Md: 1985).
29. Vigué-Martin (2006). *Atlas del Cuerpo Humano*. Grupo Ars XXI de Comunicación, S.L. Edição traduzida. 1.ª Ed., Lisboa. setembro de 2006. ISBN 972-796-184-3.
30. Kuk, J.L., Saunders, T.J., Davidson, L.E., Ross, R. (2009). Age-related changes in total and regional fat distribution. *Ageing Res Rev.* 8(2009):339–348.
31. Hu, J., Zhang, K., Fanta, A., Jones, M. L. H., Reed, M. P., Neal, M., Wang, J., Lin, C. and Cao, L. (2017). Stature and Body Shape Effects on Driver Injury Risks in Frontal Crashes: A Parametric Human Modelling Study. IRC-17-85 IRCOBI conference 2017, 656–667.
32. Reed, M. P., Ebert, S. M., and Hallman, J. J. (2013). Effects of Driver Characteristics on Seat Belt Fit. *Stapp Car Crash Journal*, 57(November), 43–57.
33. Zamboni M, Zoico E, Scartezzini T, et al. (2013). Body composition changes in stable-weight elderly subjects: the effect of sex. *Aging Clin Exp Res.* 15(2003):321–327.
34. Kumanyika, S. K., and Brownson, R. C. (2007). *Handbook of Obesity Prevention: A Resource for Health Professionals*. New York: Springer.
35. Ho, L. M., Wang, M. P., Ho, S. Y., and Lam, T. H. (2015). Changes in Individual Weight Status Based on Body Mass Index and Waist Circumference in Hong Kong Chinese. *Plos ONE*, 10(3):1-10. doi:10.1371/journal.pone.0119827.

36. Busetto, L., Romanato, G., Zambon, S., Calò, E., Zanoni, S., Corti, M. C., Baggio, G., Enzi, G., Crepaldi, G. and Manzato, E. (2009), The Effects of Weight Changes After Middle Age on the Rate of Disability in an Elderly Population Sample. *Journal of the American Geriatrics Society*, 57: 1015–1021. doi:10.1111/j.1532-5415.2009.02273.x.
37. Parenteau, C.S., Zhang, P., Holcombe, S., and Wang, S. (2014). Characterization of vertebral angle and torso depth by gender and age groups with a focus on occupant safety. *Traffic Injury Prevention*. 15(2014):66–72.
38. Hammerberg, E. M., and Wood, K. B. (2003). Sagittal profile of the elderly. *Journal of Spinal Disorders and Techniques*. 16(2003):44–50.
39. Guccione, Andrew A. (2002). *Fisioterapia Geriátrica*. 2.^a Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, pp.256.
40. European Commission. (January 7, 2015). Proposed Methodology for automotive regulatory equivalence. EU-US TTIP Negotiations. Retrieved from http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2015/january/tradoc_153023.pdf. Accessed July 15, 2017.
41. European Commission. (July 12, 2016). TTIP – Car Safety Analysis in the EU and US in relation to US and EU Regulatory Standards on Crash Testing. Grow.ddg1.c.dir(2016)3880469. Retrieved from http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2016/september/tradoc_154981.pdf. Accessed July 15, 2017.
42. MAI – Ministério da Administração Interna. (2006). Decreto-Lei N.º 190/2006, de 25 de setembro. *Diário Da República*, n.º 185-2, 1.a Série. pp.6995–6996.
43. PGDL – Procuradoria-Geral Distrital de Lisboa, Ministério Público. (2005). Regulamenta o uso de cinto de segurança pelo condutor e passageiros de veículos automóveis – Portaria n.º 311-A/2005, de 24/03. Retrieved from http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=369andtabela=lei_velhasandnverso=1. Accessed July 15, 2017.
44. Chen L, Balci R, Vertiz A. (2003). Safety belt fit, comfort, and contact pressure based on upper anchorage location and seat back angle. *Human Factors in Driving, Seating and Vision*. SP-1772, pp.131–136.
45. IIHS – Insurance Institute for Highway Safety. (2009). *Booster Seat Belt Fit Evaluation Guidelines for Ratings*. Arlington, VA: Author; 2009.
46. Kurczewski, Nick. (2015). *Smart Crash Test Dummies – The Latest Car Safety Tech – RoadandTrack.com*. Road and Track. Accessed July 15, 2016.
47. Reed, M.P. and Rupp, J.D. (2013). An anthropometric comparison of current ATDs with the U.S. adult population. *Traffic injury prevention*. 14(7):703-705.
48. Hanson, F. in *Dailymail.com*. (2017, February 10). That's one big dummy! Crash test dummies pile on up to 100lbs and are molded like a 70-year-old to reflect today's changing society of older and heavier drivers. Retrieved from: <http://www.dailymail.co.uk/news/article-4212828/Crash-test-dummies-fatter-older.html>. Accessed July 15, 2017.
49. Reed, M. P., Park, B.-K., Hallman, J. J., and International Research Council on Biomechanics of, I. (2015). Effects of Driver Attributes on Lower Abdomen Contour, pp.701-705. Retrieved from <http://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc15/default.htm> <https://trid.trb.org/view/1370830>. Accessed July 15, 2017.
50. Vaca, F.E., Anderson, C.L., Herrera, H., Patel, C., Silman, E.F., Deguzman, R., Lahham, S., and Kohl, V. (2009). Crash Injury Prediction and Vehicle Damage Reporting by Paramedics. *Western Journal of Emergency Medicine*. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19561820>. Accessed July 15, 2017.
51. Hope, Jenny in *Dailymail.co.uk*. (2013). Fat drivers are 80% more likely to die in a crash: Extra weight stops seat belts tightening properly. Retrieved from: <http://www.dailymail.co.uk/health/article-2266178/Fat-drivers-80-likely-die-crash-Extra-weight-stops-seat-belts-tightening-properly.html>. Accessed July 15, 2016.
52. Bergeron E, Lavoie A, Clas D, et al. (2003). Elderly trauma patients with rib fractures are at greater risk of death and pneumonia. *J Trauma Acute Care Surg*. 54(2003): 478–485.
53. Stawicki, S.P., Grossman, M.D., Hoey, B.A., Miller, D.L., Reed, J.F. (2004). Rib fractures in the elderly: a marker of injury severity. *Journal of the American Geriatrics Society*. 52(2004): 805–808.
54. Bulger EM, Arneson MA, Mock CN, Jurkovich GJ. (2000). Rib fractures in the elderly. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. 48:1040–1047.
55. Victoria Allen in *Dailymail.co.uk*. (2017). Elderly people who break their hip are three times more likely to die in the year following their accident. Retrieved from <http://www.dailymail.co.uk/health/article-4142216/Elderly-people-break-hip-likely-die.html#ixzz4yuOLQ1Lp>. Accessed July 15, 2017.
56. Ma, X., Laud, P.W., et al. (2011). Obesity and non-fatal motor vehicle crash injuries: sex difference effects. *International Journal of Obesity*, 35(9):1216-1224.
57. Boulanger, B.R., Milzman, D., Mitchell, K., and Rodriguez, A. (1992). Body habitus as a predictor of injury pattern after blunt trauma. *The Journal of trauma*, 33(2):228-232.
58. Moran, S.G., McGwin, G., Jr., et al. (2002). Injury rates among restrained drivers in motor vehicle collisions: the role of body habitus. *The Journal of trauma*, 52(6):1116-1120.
59. Reiff, D.A., Davis, R.P., et al. (2004). The association between body mass index and diaphragm injury among motor vehicle collision occupants. *The Journal of trauma*, 2004, 57(6):1324-1328; discussion 1328.
60. Mock, C.N., Grossman, D.C., Kaufman, R.P., Mack, C.D., and Rivara, F.P. (2002). The relationship between body weight and risk of death and serious injury in motor vehicle crashes. *Accident Analyse Prevention*, 34(2): 221-228.
61. Deurenberg, P., Weststrate, J., and Seidell, J. (1991). Body mass index as a measure of body fatness: Age- and sex-specific prediction formulas. *British Journal of Nutrition*, 65(2):105-114. doi:10.1079/BJN19910073.
62. Dymrna Gallagher, Marjolein Visser, Dennis Sepúlveda, Richard N. Pierson, Tamara Harris, Steven B. Heymsfield. (1996). How Useful Is Body Mass Index for Comparison of Body Fatness across Age, Sex, and Ethnic Groups?, *American Journal of Epidemiology*, 143(3): 228–239. Retrieved from <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a008733>. Accessed July 15, 2017.
63. Lawrence Cheskin in *National Geographic* (2016). Why Are We So Fat?. Retrieved from: <https://www.nationalgeographic.com/science/health-and-human-body/human-body/fat-costs/>. Accessed July 15, 2016.

SAUGOS DIRŽAI: VYRESNIO AMŽIAUS VAIRUOTOJŲ RIMTŲ SUŽALOJIMŲ RIZIKOS IR MIRTINGUMO MAŽINIMAS

Susana C. F. Fernandes¹, J. L. Esteves²,
Ricardo Simoes³ ir João Sampaio⁴

¹ *Maia Politechnikos Institutas*

² *Porto Universiteto Inžinerijos Fakultetas*

³ *Cávado ir Ave Politechnikos Institutas*

⁴ *Aveiro Universitetas*

Santrauka: Tinkamas saugos diržų naudojimas yra efektyvi saugumo priemonė, apsauganti nuo rimtų sužalojimų arba mirčių automobilio avarijos metu. Tačiau, sužalojimai nuo pačių saugos diržų avarijos metu gali sukelti rimtų pasekmių vairuotojui.

Šis straipsnis nagrinėja vyresnio amžiaus vairuotojų rimtų sužalojimų rizikos ir mirtingumo avarijų metu mažinimo būdus, naudojant saugos diržus tam,

kad pagerinti automobilių dizainą, ergonomiškumą, antropometrinius duomenis ir saugos diržų patogų naudojimą.

Tyrimo metodologija – aprašomasis tyrimas, kuris koreliuoja su naujai atliktais automobilių tyrimais, saugos diržų įstatymais, kelių eismo įvykių statistika, avarijos metu atliktais techniniais testais, medicininėmis ataskaitomis, ergonominiais ir antropometriniais duomenimis bei pagyvenusių žmonių sveikatos vertinimu.

Šiame tyrime padaryta išvada konstatuoja, kad saugos diržų dizainas daugumoje parduodamų transporto priemonių su trimis tvirtinimo taškais nėra tinkamiausias antropometrijai, fizinei sveikatai, patogumui ir pagyvenusių žmonių saugumui. Remdamiesi šiuo tyrimu siūlome patobulinti saugos diržų dizainą, siekiant sumažinti šią problemą.

Reikšminiai žodžiai: saugos diržų dizainas, vyresnio amžiaus vairuotojai, keleivio apsauga, avarija, saugumas, ergonomika

TECHNOLOGIJOS IR MENAS TECHNOLOGY AND ART

2018/9

Sudarytojas / Compiler **Andrius GULBINAS**
Kalbos redaktorė / Language Editor **Jolita GRAŠIENĖ**
Konsultantė / Consultant **Inga KRAKELIENĖ**

ISSN 2029-400X

2018-12-18. 60×90/8. 14,75 sąlyg. sp. l. Tiražas 100 egz.
Spausdino UAB „Baltijos kopija“ Kareivių g. 13B, Vilnius

Redakcijos adresas

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

Antakalnio g. 54; LT-10303 Vilnius, Lietuva

Tel. (8 5) 234 1524; Faksas (8 5) 234 3769; El.p. info@vtdko.lt

Address of the publisher

Vilnius College of Technologies and Design

Antakalnio g. 54; LT-10303 Vilnius, Lithuania

Phone: +370 5 234 1524; Fax: +370 5 234 3769;

E-mail info@vtdko.lt