

TECHNOLOGIJOS IR MENAS

TECHNOLOGY AND ART

2022 / 13

TYRIMAI IR AKTUALIJOS
RESEARCH AND TOPICALITIES



VILNIAUS TECHNOLOGIJŲ IR DIZAINO KOLEGIJA

VILNIUS COLLEGE OF TECHNOLOGIES AND DESIGN

VILNIUS 2022

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

VYRIAUSIASIS REDAKTORIUS / EDITOR-IN-CHIEF

Dr. Vytenis Surblys

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

LIETUVIŲ KALBOS REDAKTORĖS / LITHUANIAN LANGUAGE EDITORS

Jolita Grašienė

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

Zita Markūnaitė

UAB „Baltijos kopija“ redaktorė / JSC „Baltijos kopija“ Editor (LTU)
Humanitariniai mokslai / Humanitarian Science

ANGLŲ KALBOS REDAKTORĖ / ENGLISH LANGUAGE EDITOR

Svetlana Toropovienė

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

REDAKTORIŲ KOLEGIJA / EDITORIAL BOARD

Prof. Habil. Dr. Jozsef GAL

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

Prof. Habil. Dr. Máté Zöldy

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

Prof. Habil. Dr. Sławomir Wierbicki

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

Prof. Habil. Dr. Vytautas Bučinskas

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

Dr. Donatas Rekus

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

Prof. Habil. Dr. Šarūnas Paulikas

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

Dr. Aušra Stankiuviene

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

Doc. Dr. Alfredas Rimkus

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

Dr. Mindaugas Grigonis

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

Dr. Aurelijus Pitrenas

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

Dr. Ela Jarmolajeva

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

Dr. Andrius Buska

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

Dr. Asta Anikienė

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

Doc. Dr. Saugirdas Pukalskas

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

TURINYS

Roma Rinkevičienė, Bronė Mitkienė Modelling and analysis of field oriented six-phase induction motor drive with pid and pid fuzzy logic controllers	3
Dovydas Mačiulis, Alfredas Rimkus, Jonas Matijošius Slėginio uždegimo variklio rodiklių analizė naudojant įvairių biodegalų mišinius ir keičiant išmetamųjų dujų recirkuliacijos intensyvumą.....	10
Aušra Špuraitė Vežėjų mokamų mokesčių už naudojimąsi viešąja infrastruktūra įtaka transporto paslaugų konkurencingumui	17
Olga Ovtšarenko, Daiva Makutėnienė, Sunil Suwal Application of bim technologies for interactive engineering graphic content	23
Vytenis Surblys, Donatas Pilipuitis, Deividas Navikas, Petras Kaikaris Kelio paviršiaus nustatymo tyrimas.....	30
Tomas Pasaulis, Robertas Pečeliūnas Automobilio deformacijų kompiuterinis modeliavimas LS DYNA programa.....	35
Angelika Petrėtienė, Goda Šalkevičiūtė, Jolita Grašienė Avionikos ir kartografinės sritys įmonės „X“ reklamos tekstų terminijos analizė	39
Aurelijus Pitrėnas, Deividas Navikas, Audrius Matulis Harmonic spectrum analysis of automobile original and modified exhaust system sound	44
Saulius Stravinskas, Alfredas Rimkus, Jonas Matijošius Dvejojų degalų įtaka slėginio uždegimo variklio garso slėgiui ir vibracijoms	49
Jolanta Stupakova N-tipo akytojo silicio darinių jautrio tyrimas	54
Paulius Černas, Saulius Nagurnas, Vytenis Surblys Lengvųjų automobilių draudžiamųjų įvykių žalos vertinimo metodikos pritaikymas.....	58
Tadas Vipartas, Alfredas Rimkus Hibridinio automobilio degalų sąnaudų ir anglies dioksido priklausomybės nuo baterijos talpos tyrimas skaitinio modeliavimo būdu.....	63
Jurijus Tretjakovas Triatramių sijų įrašų skaičiavimo būdų analizė.....	67
Vaida Vasiliauskienė Ozono, susidarančio technologinių procesų metu, koncentracijos lygio patalpoje įvertinimas.....	71
Audrius Čereška Frezavimo būdu apdirbamų skirtingų medžiagų sukeltos oro taršos kietosiomis dalelėmis tyrimai	76
Jurijus Tretjakovas, Jelena Selivonec Varžto ir veržlės srieginio sujungimo sriegio vijos kirpimo stiprumo lyginamoji analizė.....	81

MODELLING AND ANALYSIS OF FELD ORIENTED SIX-PHASE INDUCTION MOTOR DRIVE WITH PID AND PID FUZZY LOGIC CONTROLLERS

Roma Rinkevičienė, Bronė Mitkienė

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

Abstract. The paper presents developed MATLAB Simulink model of system with PID and PID fuzzy controller for symmetrical six phase motor and analyses its step response and performance at prescribed speed reference. Simulink model of the motor was elaborated with the actual parameters of real six-phase motor. Six-phase voltage set was formed using two three phase Simulink converters, elaborating two three-phase voltage sets, shifted by 60 electrical degrees. The model of the six-phase motor is based on d-q mathematical model and indirect field-oriented control. Fuzzy controller with 49 rules is considered and designed. The simulation results with PID controller and PID fuzzy controller are presented and analysed. Simulation results indicate the robustness of both systems with six-phase motor to load disturbance. The step response for both systems has no overshoot. The system with both controllers provides great accuracy in following of reference input. Response of fuzzy controlled system to complex reference input including acceleration, steady state and deceleration and reverse indicates a small speed delay at the beginning of performance and accurate following the response input.

Key words: six-phase motor, field-oriented control, PID controller, PID fuzzy controller, model, simulation, analysis.

Introduction

Fast growing development of power electronic devices, intended for design of multiphase power converters caused interest in development and applications of multiphase motors. The multiphase induction motors are increasingly being studied in scientific literature (Duran & Barrero, 2016; Levi, 2008; Singh, 2002; Yadav et al., 2014). The multiphase motors divide the controlled power on more converter legs and reduce the current of power electronic switches as well as motor phase current. The main problem of minimization and miniaturization actuators and electric drives was implemented with development of multiphase motors. The multiphase motors and drives are characterized by improved reliability as they are able operate under fault conditions in loss one or more converter legs.

Multi-phase motors have been applied in areas such as variable-speed applications (Levi, 2008), traction systems of railway vehicles (Brazhnikov & Belozarov, 2012), and energy and electrical transportation applications (Bugade, 2018). They are also used in submarine applications (Akpama E.J., 2018), centrifugal pump systems (Abdelwanis & Selim, 2018), as well as in electrical vehicles (Rao, 2018) and electronic differential, using five phase motor (Salem & Narimani, 2019) and more electrical aircraft (Cao et al., 2012).

Dynamic characteristics of six-phase motor drive can be analysed by solving of the motor state-space equations describing dynamic performance. They can be expressed in matrix form and can be solved by elaborated computer program. Otherwise, the Simulink model, made from typical Simulink blocks can be used and simulation results can be analysed. Both methods are used to analyse dynamics of multiphase drives. The first method is used (Levi et al., 2007; Mandal, 2015; Nabi et al., 2011). All control methods, used for three phase motors, can be used for multiphase motors.

Simulation models are more convenient and more universal (Aher & Thosar, 2016; Gregor et al., 2008; Rinkeviciene et al., 2020). Simulation models, elaborated in *Simulink* can be applied for real time control systems. Simulink models make easier design of controllers, including models of multiphase converters. The article analyses indirect field-oriented control and design of PID and PID fuzzy controllers for six-phase induction motor drive.

1. Dynamic model of six-phase drive

An equivalent circuit of symmetrical six-phase machine, with an arbitrary displacement between two winding sets together with mathematical model of machine is presented in (Yadav et al., 2014). A mathematical d-q model of six-phase, two pole induction motor in rotating reference frame is considered in (Mandal, 2015; Renukadevi & Rajambal, 2011). Simulation of six phase field oriented electric drives, considering models of power electronic devices is analysed in (Rinkeviciene et al., 2020, 2021). Models of PI, PD, PID controllers are frequently analysed in control of technological plants (Abdelwanis & Selim, 2018; Jakhar & Gaur, 2015; Pre-eti & Beniwal, 2012). The paper examines ability *Simulink* toolbox "SimPowerSystems" converter blocks, developed for three phase motor control, using additional means to apply for six-phase motor control. The model block diagram and Simulink model of indirect rotor flux-oriented control for six phase drive with designed PID and PID fuzzy controllers, having 49 rules is presented and analysed. Simulation results are discussed.

Advantages and proper design of fuzzy logic controllers indicate getting adaptive and robust control for a drive system with parameter variation and load disturbance. Nevertheless, PID and PID fuzzy controllers need additional research in application those

3. Indirect field oriented control of six-phase motor-drive

In indirect field-oriented control rotor flux vector is aligned with axis d of revolving $d - q$ reference frame. θ_e is angle between two reference frames: stationary $d^s - q^s$ and revolving at synchronous speed $d - q$. It changes with rotor rotation. Rotor flux $\bar{\Psi}_r$ is aligned with d axis and its projection to d axis $\Psi_{rd} = |\bar{\Psi}_r|$ and $\Psi_{rq} = 0$. Then torque, delivered by induction motor is calculated as (Bose B.K., 2002):

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

where P is number of poles and i_{sq} is torque producing current.

Current i_{sq} is calculated in rotating reference frame from given speed reference ω_r^* and current i_{sd}^* from given flux reference Ψ_r^* , rotating at synchronous speed ω_0 .

The angular position of Ψ_r is reference frame orientation angle and is calculated as:

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

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

Motor synchronous speed ω_0 is sum of slip speed ω_{sl} and electrical rotor speed ω_r :

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

and angle

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

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

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

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

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

$$i_{sd}^* = \frac{T_e^*}{k_1 i_{sd}^*} = \frac{T_e^*}{k_1 \Psi_{rd}^*} \quad (6)$$

Current component i_{sq}^* in revolving reference frame

is proportional to reference torque T_e^* and is calculated as:

$$i_{sq}^* = \frac{T_e^*}{k_1 i_{sd}^*} = \frac{T_e^*}{k_1 \Psi_{rd}^*} \quad (7)$$

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

4. Simulink model of PID controller

Simulink model of PID controller is presented in Fig. 2. The parameters of PID controller are selected according to experience of simulations, done before: KP = 1; KI = 0.01; KD = 0.001 and gain K3=25.

Step response of the drive is shown in Fig. 3. Motor is starting without load, load torque is applied at steady state at $t = 0.3$ s.

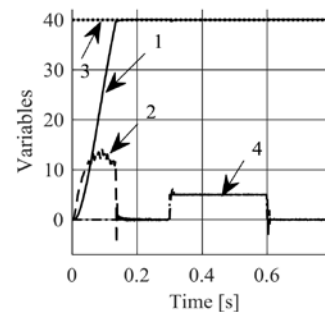


Fig. 3. Step response of six-phase drive with PID controller: 1 – motor speed in rad/s, 2 – motor produced torque, Nm; 3 – speed reference, 4 – load torque

Motor speed approaches to steady state without overshoot, settling time is 0.16 s. Load application at $t = 0.3$ s gives small speed decrease, no greater than 1 %.

Control errors, used as inputs of PID controller elaborating control signal, are presented in Fig. 4.

Proportional error is the greatest error, that changes from 40 rad/s to zero during motor acceleration.

Output of PID controller is amplified by gain K3 and forms torque reference to vector control block.

Motor phase current is shown in Fig. 5. The maximum current value, 2.7 A, appears during starting and reduces to 0.3 A at steady state. Applied load at $t = 0.3$ s increases the current up to 1.8 A and with cancelling the load motor current acquires 0.3 A value.

Response to predetermined speed reference, shown in Fig. 6, including acceleration, steady state, deceleration

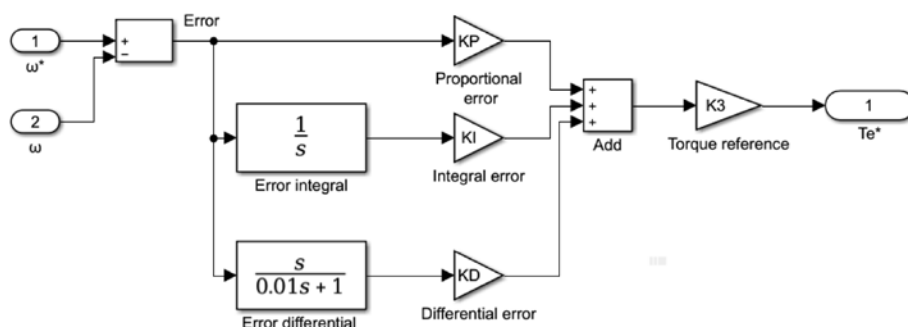


Fig. 2. Model of PID controller

and speed reverse with negative acceleration, negative steady state value and acceleration to zero is shown in Fig. 7.

Motor speed has insignificant delay during acceleration, which lasts about 0.12 s. It approaches to steady state value without overshoot. Maximum value of torque reference, produced by PID controller reaches 76 Nm, speed reduction due to applied load at $t = 0.3$ s do not exceed 1 %. The maximum torque, delivered by motor, does not exceed 13 Nm. Motor accelerates linearly with constant motor torque. When the load torque of 5 Nm is applied, motor delivers constant torque of 5 Nm.

Actual motor speed deviates from reference after $t = 1$ s, when motor from negative steady state begins decelerate to zero. This deviation causes quick increase

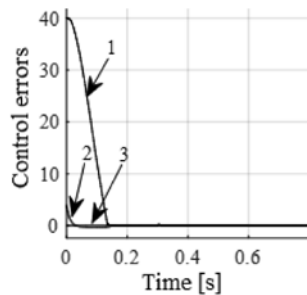


Fig. 4. Control errors: 1 – proportional error, 2 – error derivative, 3 – integral error

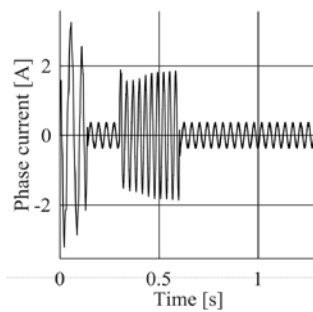


Fig. 5. Motor phase current

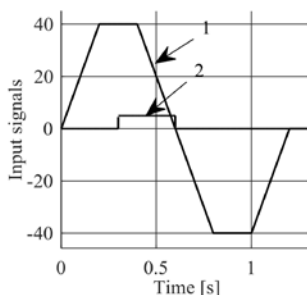


Fig. 6. Input signals: 1 – speed reference, 2 – load torque

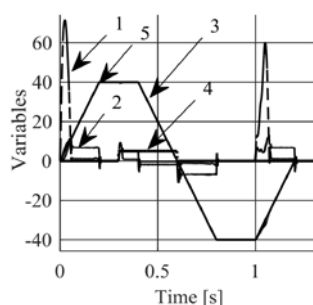


Fig. 7. Motor variables: 1 – torque reference, 2 – motor delivered torque, 3 – motor speed, 4 – load torque, 5 – speed reference

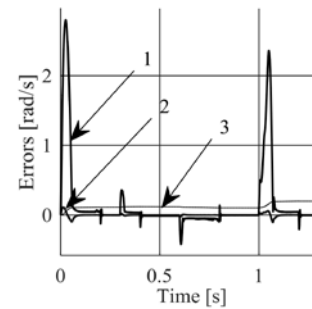


Fig. 8. 1 – proportional error, 2 – error derivative, 3 – integral error

in torque reference up to 60 Nm, motor produced torque also increase and after 0.12 s error disappears and motor speed exactly follows the reference up to final value, equal to zero.

Control errors are presented in Fig. 8. Proportional error is the greatest error. Its maximum value is 2.7 rad/s and it reduces with motor acceleration. Maximum value of error derivative does not exceed 0.1 rad/s².

Integral error is also small. Sum of these errors is amplified by gain K_3 and produce torque reference for field oriented block.

5. Simulation with PID fuzzy controller

Operation of fuzzy logic controller is based on sets. Each set represents several linguistic variables defining the possible state of the output. Fuzzy logic controller consists of fuzzification block, the knowledge base, and the inference engine. The fuzzification block converts each piece of input data to degrees of membership functions (Passino & Yurkovich, 2010). The designed system controller is based on the error, and the integral error and error derivative as inputs. The knowledge base consists of the membership functions and the fuzzy rules, which are obtained by knowledge of the system operation.

Knowledge base holds the rules represented by IF-THEN rule base, relating the input and output variables. Designed controller comprises forty-nine rules.

The inference engine, which is based upon the input fuzzy sets, uses the IF-THEN rules in the knowledge base to make decisions.

Elaborated Mamdani fuzzy sets for input and output variables is shown in Fig. 9. Simulink model of PID fuzzy controller is shown in Fig. 10.

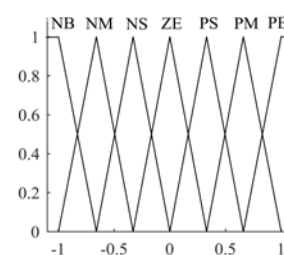


Fig. 9. Input and output membership functions

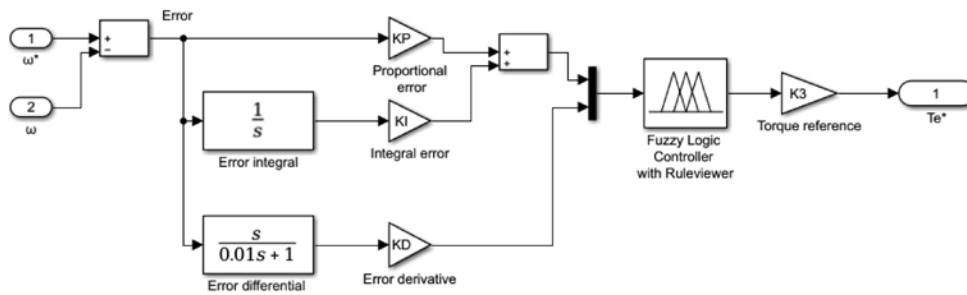


Fig. 10. Model of PID fuzzy controller

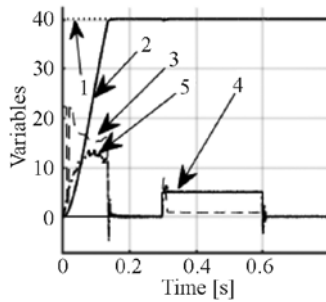


Fig. 11. Step response: 1 – speed reference, 2 – rotor speed, 3 – torque reference, 4 – load torque, 5 – motor delivered torque

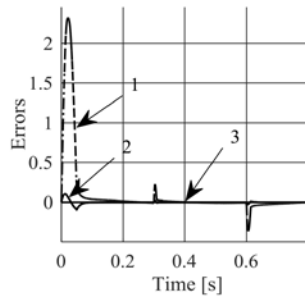


Fig. 12. Control errors at step response: 1 – proportional error, 2 – error derivative, 3 – integral error

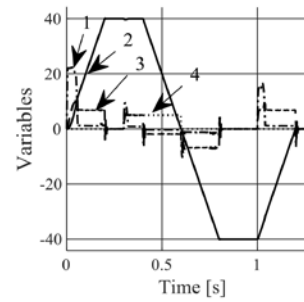


Fig. 13. Response to speed reference: 1 – torque reference, 2 – rotor speed, 3 – motor delivered torque, 4 – load

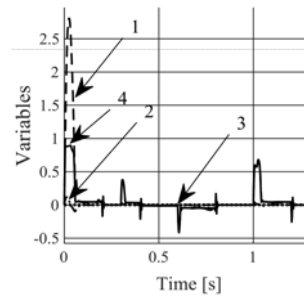


Fig. 14. Control errors: 1 – proportional error, 2 – error derivative, 3 – integral error, 4 – fuzzy controller output

Step response of motor variables is shown in Fig. 11. Motor speed reaches its steady-state value after 0.12 s without overshoot.

Control errors at step response are shown in Fig. 12.

Proportional error is the greatest error and reaches its maximum of 2.8 rad/s at motor starting.

Response to speed reference (Fig. 13) shows small speed delay in the beginning of performance and small error of 0.75 % at instant of load application.

Control errors are shown in Fig. 14. The greatest error of 2.7 rad/s appears at starting. Application of load gives small error increase of 0.3 rad/s, i.e. 0.75 %.

The largest proportional error is the same as for step response and the same as for PID controller. Produced torque reference signal is about 3 times smaller than for PID controller, nevertheless the greatest motor delivered torque is the same for both controllers.

Conclusions

1. Elaborated model of indirect vector control of six-phase electric drive with PID and PID fuzzy con-

trollers compose robust system, with negligible 0.75 % short time error due to load and exact following of reference input.

2. PID fuzzy controller with 49 linguistic rules is considered and elaborated.

3. Both modelled systems have no overshoot.

4. The small speed deviation no greater than 1 % is noticed at tracking the speed reference in the system with PID controller while it does not exist in the system with PID fuzzy controller.

5. Short time speed error due to load application is 0.5 % in PID controlled system and 0.75 % in PID fuzzy controlled system.

References

- Abdelwanis, M. I. & Selim, F. (2018). A sensorless six-phase induction motor driving a centrifugal pump system. *2017 19th International Middle-East Power Systems Conference, MEP-CON 2017 – Proceedings, 2018-Febru(December)*, 242–247. <https://doi.org/10.1109/MEPCON.2017.8301190>.
- Aher, K. S. & Thosar, A. G. (2016). *Modeling and Simulation of Five Phase Induction Motor using MATLAB / Simulink*, 6(5), 1–8.

- Akpama, E. J. (2018). Six Phase Induction Motor Modelling For Submarine Application, 13(1), 61–66. <https://doi.org/10.9790/1676-1301046166>.
- Bose, B. K. (2002). *Modern power engineering and electric drives*. Prentice Hall.
- Brazhnikov, A. V. & Belozerov, I. R. (2012). Prospects for the use of Multiphase Inverter-fed Asynchronous Drives in the Field of Traction Systems of Railway Vehicles. *International Journal of Railway*, 5(1), 38–47. <https://doi.org/10.7782/ijr.2012.5.1.038>.
- Bugade, V. (2018). Multiphase Induction Motor Drive for Energy and Electrical Transportation Applications. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 6(4), 166–174. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2018.4033>.
- Cao, W., Mecrow, B. C., Atkinson, G. J., Bennett, J. W. & Atkinson, D. J. (2012). Overview of electric motor technologies used for more electric aircraft (MEA). *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 59(9), 3523–3531. <https://doi.org/10.1109/TIE.2011.2165453>.
- Duran, M. J. & Barrero, F. (2016). Recent advances in the design, modeling, and control of multiphase machines – Part II. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63(1), 459–468. <https://doi.org/10.1109/TIE.2015.2448211>.
- Gregor, R., Barrero, F., Toral, S. & Durán, M. J. (2008). Realization of an asynchronous six-phase induction motor drive test-rig. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(6), 101–105. <https://doi.org/10.24084/repqj06.230>.
- Jakhar, A. & Gaur, P. (2015). *Comparative Study of PI, PID and Fuzzy PI Controller Based Direct Torque Control Induction Motor Drive*, 2(3), 261–265.
- Levi, E. (2008). Multiphase electric machines for variable-speed applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(5), 1893–1909. <https://doi.org/10.1109/TIE.2008.918488>.
- Mandal, S. (2015). *Performance Analysis of Six-Phase Induction Motor*, 4(02), 589–593.
- Nabi, H. P., Dadashi, P. & Shoulaie, A. (2011). A novel structure for vector control of a symmetrical six-phase induction machine with three current sensors. *2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering, IEEEIC.EU 2011 – Conference Proceedings*, 1, 23–29. <https://doi.org/10.1109/IEEEIC.2011.5874735>.
- Passino, K. M. & Yurkovich, S. (2010). Fuzzy control. In *The Control Systems Handbook: Control System Advanced Methods, Second Edition*. <https://doi.org/10.1201/b10384>.
- Preeti, D. & Beniwal, N. (2012). Comparison of Conventional and Fuzzy P/PI/PD/PID Controller for Higher Order Non Linear Plant with High Dead Time. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(8), 1–5. Access via internet: <http://www.ijsrp.org/research-paper-0812/ijsrp-p0863.pdf>.
- Rao, Y. L. N. (2018). A novel electric vehicle control - electronic differential – strategy using five phase induction motor, 032(1), 153–159.
- Renukadevi, G. & Rajambal, K. (2011). Generalized model of multi-phase induction motor drive using matlab/simulink. *2011 IEEE PES International Conference on Innovative Smart Grid Technologies-India, ISGT India 2011*, 114–119. <https://doi.org/10.1109/ISGT-India.2011.6145366>.
- Rinkeviciene, R., Mitkiene, B. & Udris, D. (2020). Design and Comparison of Fuzzy Controllers for Six-phase Drive. *2020 IEEE Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences, EStream 2020 – Proceedings*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/eStream50540.2020.9108786>.
- Rinkeviciene, R., Mitkiene, B. & Udris, D. (2021). Modelling of Six-Phase Electric Drive with PI and PD Fuzzy Controllers. *2021 IEEE Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences, EStream 2021 – Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/eStream53087.2021.9431453>.
- Salem, A. & Narimani, M. (2019). A Review on Multiphase Drives for Automotive Traction Applications. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 5(4), 1329. <https://doi.org/10.1109/TTE.2019.2956355>.
- Singh, G. K. (2002). Multi-phase induction machine drive research – A survey. *Electric Power Systems Research*, 61(2), 139–147. [https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(02\)00007-X](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(02)00007-X).
- Yadav, K. B., Mohanty, A. K. & Kumar, P. (2014). Recent research trend on multi-phase induction machines. *Proc. of Int. Conf. on Control, Communication and Power Engineering, CCPE*.

ŠEŠIAFAZĖS VEKTORINIO VALDYMO PAVAROS SU PID IR NERAIŠKIOSIOS LOGIKOS PID REGULIATORIAIS MODELIAVIMAS IR ANALIZĖ

Roma Rinkevičienė, Bronė Mitkienė

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

Santrauka. Straipsnyje pateikiamas sukurtas MATLAB SIMULINK sistemos modelis su PID ir PID neraiškiosios logikos reguliatoriais simetriniam šešių fazių varikliui ir analizuojamas jo atsakas į vienietinį šuolinį signalą bei veikimas, esant sudėtingam greičio nuostatui. Variklio SIMULINK modelis sukurtas pagal realius šešiafazio variklio parametrus. Šešiafazės pavaros modelis yra pagrįstas variklio d–q matematinio modeliu ir rotoriaus srauto vektoriaus netiesioginiu valdymu. Sudarytas neraiškiosios logikos reguliatorius su keturiasdešimt devyniomis taisyklėmis. Pateikiami ir analizuojami modeliavimo su PID reguliatoriumi ir PID neaiškiuoju reguliatoriumi rezultatai. Modeliavimo rezultatai atskleidė abiejų šešiafazio variklio valdymo sistemų atsparumą apkrovos trikdžiams. Sistema su abiem reguliatoriais užtikrina didelį nuostato signalo atkartojimo tikslumą. Neraiškiosios valdymo sistemos su PID reguliatoriumi atsakas į sudėtingą nuostato signalą, tarp jų greitėjimą, nusistovėjusį greitį ir lėtėjimą bei atbulinę eigą, rodo mažą greičio atsilikimą veikimo pradžioje ir tikslesnį nuostato signalo sekimą.

Reikšminiai žodžiai: šešių fazių variklis, rotoriaus srauto vektoriaus valdymas, PID reguliatorius, neraiškiosios PID reguliatorius, modelis, modeliavimas, analizė.

SLĖGINIO UŽDEGIMO VARIKLIO RODIKLIŲ ANALIZĖ NAUDOJANT ĮVAIRIŲ BIODEGALŲ MIŠINIUS IR KEIČIANT IŠMETAMŲJŲ DUJŲ RECIRKULIACIJOS INTENSYVUMĄ

Dovydas Mačiulis¹, Alfredas Rimkus^{1,2}, Jonas Matijošius^{1,2}

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

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

Anotacija. Straipsnyje analizuojamas vidaus degimo variklio veikimas, naudojant įvairius hidrinto augalinio aliejaus (angl. *Hydrotreated Vegetable Oils* – HVO) ir biobutanolio mišinius, išmetamųjų dujų recirkuliacijos (angl. *Exhaust Gas Recirculation* – EGR) poveikis nepilno degimo produktų (CO, CH), azoto oksidų (NO_x), šiltnamio efektą sukeliančių dujų (CO₂) ir dūmingumo emisijai. Eksperimentinio tyrimo metu, keičiant EGR intensyvumą, ieškota optimalaus biodegalų mišinio, kuris išlaikytų aukštą variklio veikimo šiluminį efektyvumą ir sumažintų kenksmingų medžiagų išsiskyrimą. Nustatyta, kad varikliui veikiant 80 proc. HVO ir 20 proc. biobutanolio mišiniu, kai EGR 0,20, pasiekiamas reikšmingas NO_x koncentracijos mažėjimas, nedaug kinta dūmingumas ir kitų teršalų emisija. Pasirinkus biodegalų mišinį ir įvertinus degalų gyvavimo ciklą, galima teigti, kad CO₂ emisija mažėja.

Reikšminiai žodžiai: hidrintas augalinis aliejus, biobutanolis, išmetamųjų dujų recirkuliacija, iškastinis dyzelinas, slėginio uždegimo variklis.

Įvadas

Nuo XIX a., kai buvo išrastas vidaus degimo variklis, iki šių dienų transporto priemonių skaičius pasaulyje išaugo apytikriai iki milijardo vienetų. Opiausia problema yra tai, kad automobilių išmetamųjų dujų ir kietųjų dalelių emisija tiesiogiai kenkia žmonių sveikatai, sukelia šiltnamio efektą. Mokslininkai dirba siekdami sumažinti transporto taršą.

Atliekant mokslinius tyrimus, sukurtos įvairios biodegalų rūšys. Degalai gaminami ne tik iš iškastinių žaliavų, bet ir iš atsinaujinančių išteklių. Degalų kūrimo proceso metu mokslininkai kartu tobulina ir degimo procesą, norėdami pasiekti efektyvų variklio darbą mažiausiomis degalų sąnaudomis, pritaiko EGR technologiją, kuri ypač mažina NO_x emisiją.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti biodegalų savybes ir EGR įtaką degimo procesui, siekiant išsiaiškinti, kurie degalai yra ne tokie taršūs, palyginti su iškastiniu dyzelinu.

Darbo tyrimų objektas: slėginio uždegimo variklio energetiniai ir ekologiniai rodikliai.

Tyrimo uždaviniai:

1. Atlikti slėginio uždegimo variklio degimo proceso, ekologinių ir energetinių rodiklių, naudojant įvairius biodegalus, mokslinių tyrimų apžvalgą.
2. Sudaryti tyrimo metodiką, aprašyti tyrimams reikalingą įrangą ir naudojamus degalus.
3. Atlikti CO, CH, NO_x, CO₂ ir dūmingumo tyrimą, naudojant skirtingų rūšių biodegalų mišinius, keičiant EGR intensyvumą.

1. Literatūros apžvalga

HVO (hidrinto augalinio aliejaus) naudojimo slėginio uždegimo variklyje analizė

Degalai, pagaminti iš hidrinto augalinio aliejaus (angl. *Hydrotreated Vegetable Oils*), gaunami žaliavą

apdorojant vandeniliu ir izomeruojant. Jie gaminami iš atliekų: žuvų, gyvulinės kilmės riebalų (Parravicini ir kiti, 2021).

Atlikus tyrimą su tiesioginio įpurškimo 1,9 TDI slėginio uždegimo varikliu, naudojant iškastinį dyzeliną ir HVO, nustatyta, kad degimo pradžioje (angl. *Start of combustion SOC*), palyginti su iškastiniu dyzelinu, hidrinto augalinio aliejaus trumpesnė užsiliepsnojimo gaisties fazė, nes šie biodegalai turi didesnę cetaninį skaičių, ir šilumos išsiskyrimo intensyvumas iš anksto sumaišyto degimo (kinetinėje) fazėje mažėja. Šilumos išsiskyrimo intensyvumo skirtumas tarp hidrinto augalinio aliejaus ir dyzelino yra ~10 J/°AV. Greitas šilumos išsiskyrimas lemia didesnę temperatūros kilimą ir azoto oksidų išsiskyrimą į aplinką, naudojant dyzeliną. Hidrinto augalinio aliejaus šilumos išsiskyrimo greitis difuzinėje degimo fazėje yra didesnis, palyginti su dyzelinu, o tai padeda geriau išdeginti suodžius. Abiejų degalų šilumos išsiskyrimo reikšmės susilygina tik vėlyvo degimo fazėje (Rimkus ir kiti, 2020).

Shepel ir kitų autorių atliktame tyrime, naudojant hidrintą augalinį aliejų, riebalų rūgščių esterius ir iškastinį dyzeliną, 1,9 litro darbinio tūrio tiesioginio įpurškimo slėginio uždegimo variklyje nustatyta, kad HVO klampumas mažesnis nei dyzelino, jis intensyviau išgaruoja, geriau susimaišo su aplinkos oru. Šios savybės sudaro palankias sąlygas mažesniai išmetamųjų teršalų kiekiui susidaryti degimo proceso metu (Shepel ir kiti, 2021).

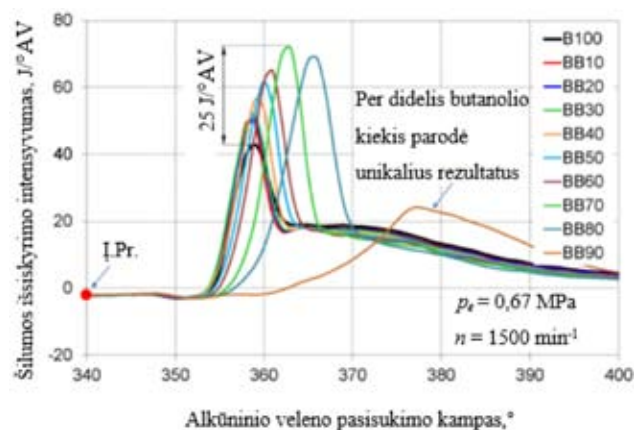
Biobutanolio, kaip slėginio uždegimo variklio, degalų priedo naudojimas

Aukštesnieji alkoholiai, tokie, kaip biobutanolis, yra degalų priedo rūšis, gaunama biologiškai fermentuojant biomasę: miežius, šiaudus, cukranendres (Trindade ir kiti, 2017). Biobutanolis laikomas perspektyviu degalų priedu slėginio uždegimo varikliuose dėl klampumo, didesnio šilumingumo, palyginti su mažesniais alkoholiais, ir sudaro stabilius mišinius (Goga ir kiti,

2019). Todėl jis dažnai maišomas su kitomis degalų rūšimis, pagerina jų energetines ir aplinkosaugines savybes.

Buvo atliktas tyrimas, kai į tiesioginio įpurškimo 1,9 TDI slėginio uždegimo variklį, veikiantį HVO ir biobutanolio mišiniais, įmaišyta 5, 10 ir 20 proc. tūrio biobutanolio. Apibendrinus rezultatus matyti, kad kinetinėje degimo fazėje didėjant biobutanolio koncentracijai iki 20 proc., hidrintame augaliniame aliejuje šilumos išsiskyrimo intensyvumo reikšmė tampa didesnė už gryno augalinio aliejaus, bet ne tokia didelė, kaip iškastinio dyzelino. Augantis šilumos išsiskyrimo intensyvumas didina NO_x emisiją. Difuzinėje degimo fazėje hidrinto augalinio aliejaus su didesne biobutanolio koncentracija šilumos išsiskyrimas taip pat intensyvėja, tai lemia biobutanolio sudėtyje esantis deguonis. Dėl šios priežasties geriau išdega kinetinės degimo fazės metu susidarę suodžiai. Dyzelinas difuzinėje degimo fazėje nepasiekia hidrinto augalinio aliejaus su butanolio priedais šilumos išsiskyrimo intensyvumo reikšmių, todėl variklyje blogiau išdega suodžiai. Difuzinės degimo fazės pabaigoje ir vėlyvo degimo fazėje visų degalų rūšių šilumos išsiskyrimo greitis susilygina (Valeika ir kiti, 2021).

Atliktas tyrimas, naudojant biodyzeliną (rapsų metilo esterį – RME), kuris maišomas įvairiomis proporcijomis su biobutanoliu, pridendant po 10 proc. tūrio, kol pasiekia 90 proc. butanolio. Naudojant vieno cilindro slėginio uždegimo variklį, nustatyta, kad kuo didesnė butanolio koncentracija rapsų metilo esteryje, tuo degimo gaištis fazė yra ilgesnė (1 pav.).



1 pav. Šilumos išsiskyrimo intensyvumo priklausomybė nuo butanolio kiekio rapsų metilo esteryje

Šaltinis: Tutak ir kiti, 2021.

Kinetinėje degimo fazėje rapsų metilo esteris pasiekia $\sim 42 \text{ J/}^\circ\text{AV}$ šilumos išsiskyrimo intensyvumą, o didėjant butanolio koncentracijai, tendencingai didėja šilumos išsiskyrimas ir susidaro daugiau azoto oksidų. RME mišiniai su 70 ir 80 proc. biobutanolio didžiausias šilumos išsiskyrimo intensyvumo reikšmės ($\sim 70 \text{ J/}^\circ\text{AV}$) pasiekia kinetinėje degimo fazėje. Tarp gryno RME ir mišinio su 70 proc. butanolio šilumos išsiskyrimo intensyvumo skirtumas siekia $25 \text{ J/}^\circ\text{AV}$. Grynas rapsų metilo esteris difuzinėje degimo fazėje

šilumą išskiria intensyviau, ir jo greitis siekia $19 \text{ J/}^\circ\text{AV}$. Didėjant biobutanolio koncentracijai rapsų metilo esteryje, tolygiai mažėja šilumos išsiskyrimo intensyvumas difuzinėje degimo fazėje. Biobutanolio koncentracijai didėjant, ilgėja vėlyvo degimo fazė. Pasiekus 90 proc. biobutanolio koncentraciją mišinyje, degimo procesas iš esmės keičiasi (yra unikalūs) dėl sumažėjusio degalų mišinio cetaninio skaičiaus ir išaugusios degimo gaištis. Tai sumažina šilumos išsiskyrimo intensyvumą ir degimo temperatūrą, bet labai sumažėja ir terminis ciklo efektyvumas. Taigi, tokia aukšta biobutanolio koncentracija nėra efektyvi, nes dėl užsitęsusio degimo didelė dalis degimo energijos buvo išleista pro išmetimo vožtuvus, sukuriama mažesnis sukimo momentas (Tutak ir kiti, 2021).

Apibendrinant šiuos tyrimus, pastebėta, kad biobutanolis yra tinkamas priedas slėginio uždegimo variklio degalams. Jis gerai maišosi su iškastiniu dyzelinu ir su įvairiais biodyzelinais, yra klampus, šilumingas. Deguonis, esantis biobutanolyje, sumažina CO ir suodžių emisijas, pagerina degimo stabilumą. Biobutanolio koncentracijai degaluose siekiant 20 proc., mišinio tūrio degimo procesas nepablogėja, o koncentracijai didėjant, akivaizdus kai kurių rodiklių pablogėjimas. Grynas biobutanolis, kaip degalai, negali būti naudojamas slėginio uždegimo varikliui, nes jo cetaninis skaičius nėra pakankamas, blogesnės tepimo savybės. Biobutanolio gamybai naudojamos atsinaujinančios biologinės atliekos, taip mažinamas iškastinio dyzelino naudojimas.

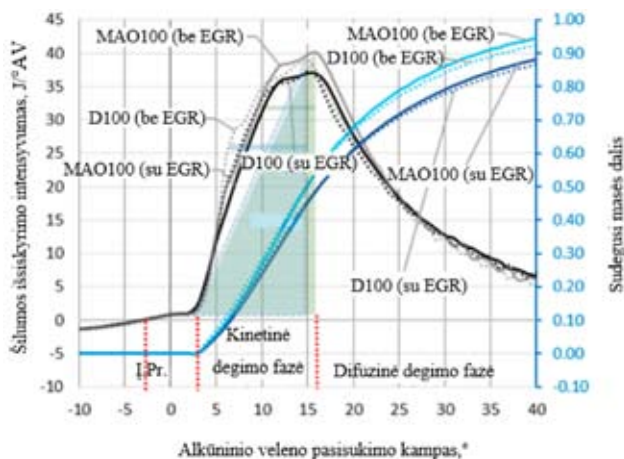
Išmetamųjų dujų recirkuliacijos (EGR) įtaka degimo procesui ir variklio rodikliams

Šiuo metu automobiliuose naudojamos dviejų rūšių – aukšto ir žemo slėgio – išmetamųjų dujų recirkuliacijos sistemos. Aukšto slėgio (vidinė) išmetamųjų dujų recirkuliacijos sistema išsiskiria tuo, kad dalis išmetamųjų dujų, susidariusių po degimo proceso, sumaišoma su naujai įsiurbtu oru ir grąžinama į variklį degimo procesui vykdyti. Šis procesas vyksta, kol išmetamosios dujos turi didelį slėgį, kurio dar nepanaudojo turbokompresorius. Esant mažiausioms apkrovoms ir nepakankamam išmetamųjų dujų ir įsiurbiamo oro slėgio skirtumui šioje sistemoje, droseliu tenka priverstinai sumažinti įtekančio oro srautą (slėgį).

Žemo slėgio (išorinė) EGR sistema taip pat dalį išmetamųjų dujų kartu su naujai įsiurbtu oru grąžina į variklį vykdyti naują degimo procesą. Tačiau pagrindinis šios sistemos ypatumas yra tai, kad išmetamosios dujos yra grąžinamos, kai prateka turbokompresorių bei oksidacijos tipo katalizinį konverterį. Tokiu būdu grąžintose išmetamosiose dujose yra gerokai sumažintas kenksmingų aplinkai dalelių skaičius. Taip pat šios dujos yra grąžinamos dar prieš turbokompresorių, t. y. kai yra žemas įsiurbiamo oro slėgis, taip siekiant kuo vienodžiau paskirstyti atskiriems cilindrams tenkantį išmetamųjų dujų bei oro mišinį.

Naudojant 1,9 litro darbinio tūrio tiesioginio įpurš-

kimo slėginio uždegimo variklį su turbokompresoriumi ir aukšto slėgio išmetamųjų dujų recirkuliacijos sistema, palyginti variklio, veikiančio iškastiniu dyzelinu (D100), mikrodumblių aliejaus esteriu (MAO100) ir skirtingos koncentracijos dyzelino ir mikrodumblių 30 ir 70 proc. tūrio bei 70 ir 30 proc. tūrio mišiniais, rodikliai. Kai EGR 18 proc., iškastinio dyzelino NO_x emisija sumažėja apie 35 proc., o kitų degalų mišinių NO_x reikšmės skiriasi nedaug – nuo 35 iki 31 proc. Azoto oksidų susidarymą lemia variklio apkrova, nes nuo to priklauso degimo temperatūra ir EGR dydis (Mohiuddin ir kiti, 2021). Šilumos išsiskyrimo intensyvumo skirtumas, kai EGR 0 ir 18 proc., yra $4 \text{ J}^\circ\text{AV}$ (2 pav.). Naudojant EGR, šilumos išsiskyrimo greitis kinetinėje degimo fazėje yra mažesnis ir lemia mažesnę azoto oksidų susidarymą, priešingai negu be EGR. Difuzinėje degimo fazėje šilumos išsiskyrimo greitis, naudojant visas tirtas degalų rūšis, nepaisant EGR, tolygiai mažėja (Felneris ir kiti, 2021).



2 pav. Šilumos išsiskyrimo intensyvumo priklausomybė nuo EGR
Šaltinis: Felneris ir kiti, 2021.

EGR stipriai padidina visų tirtų degalų rūšių dūmingumą, ypač gryno iškastinio dyzelino, tačiau mišiniuose didėjant mikrodumblių aliejaus esterio koncentracijai, mažėja ir dūmingumas (Felneris ir kiti, 2021).

Atliktas tyrimas naudojant vištienos taukų mišinį, kuris buvo kaitinamas iki $50 \text{ }^\circ\text{C}$, kad sumažėtų degalų klampumas ir pagerėtų įpurškimas. Degalai buvo šildomi prijungti prie variklio aušinimo sistemos šildytuvo. Grynas dyzelinas ir vištienos taukų mišiniai be EGR pasiekė didesnę šilumos išsiskyrimo intensyvumą kinetinėje degimo fazėje. Didėjant dyzelino koncentracijai vištienos riebaluose, atitinkamai didėja ir šilumos išsiskyrimo greitis, ypač be EGR kinetinėje degimo fazėje. Grynų vištienos taukų dūmingumas, sudarius skirtingas variklio apkrovas, siekia $0,04 \text{ m}^{-1}$. Įjungtas EGR padidino grynų vištienos taukų dūmingumą, bet ne taip smarkiai, kaip iškastinio dyzelino (Rimkus ir kiti, 2021).

EGR didėjant nuo 0 iki 60 proc., NO_x emisija nuo 520 ppm akivaizdžiai mažėja ir, pasiekus EGR 60 proc., tampa artima nuliui. Tiriant suodžių emisijas, buvo gauti rezultatai, kad nuo EGR 0 proc. iki EGR 30 proc.

suodžių susidarymas yra nedidelis. Didėjant EGR iki 45 proc., suodžių emisija padidėja iki 2 filtro dūmingumo skaičiaus (angl. *Filter smoke number* – FSN). EGR pasiekus 55 proc., suodžių emisija akivaizdžiai padidėja ir siekia 5,5 FSN. Kai EGR 60 proc., matomas staigus suodžių emisijos kritimas iki 2,2 FSN. EGR didėjimas daro teigiamą poveikį NO_x mažėjimui, tačiau EGR didėjant nuo 30 proc. ir daugiau, susidaro gausenės suodžių kiekis. Suodžių ir NO_x emisijos optimalus variantas gaunamas, kai EGR yra apie 38 proc. (Shi ir kiti, 2017). Panašią suodžių ir NO_x emisijų susidarymo tendenciją atliktame tyrime pastebėjo ir Liang ir kiti mokslininkai (2021).

Apibendrinus tyrimus, kurių metu degimo procesuose buvo naudojama EGR, matyti, kad EGR sistema mažina NO_x emisijų susidarymą, bet didina dūmingumą, anglies monoksido, anglies dioksido, angliavandenilių emisijas. Priežastis yra tai, kad į cilindrą grąžinamos išmetamosios dujos yra CO_2 ir tai mažina degimo temperatūrą, taip pat deguonies koncentraciją. Didėjant EGR, mažėja NO_x emisija. EGR pasiekus 50 proc. ir daugiau, NO_x emisija artima nuliui, bet dūmingumas stipriai padidėja. Didėjant variklio apkrovai, turėtų būti mažinama išmetamųjų dujų recirkuliacija, nes yra riebinamas degusis mišinys ir neigiamas CO_2 poveikis tampa akivaizdesnis. EGR sistemos naudojamos dyzeliniuose varikliuose, ieškant kompromiso tarp EGR dydžio, degalų rūšių ir variklio apkrovos.

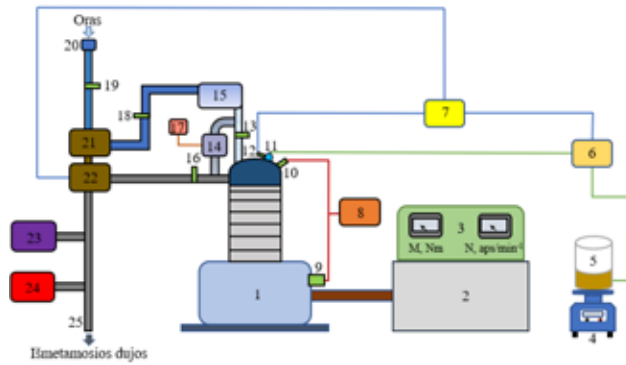
2. Tyrimo metodika ir priemonės

Tyrimo įranga

Bandymai buvo atlikti VILNIUS TECH Transporto inžinerijos ir logistikos laboratorijos Vidaus degimo variklių skyriuje, naudojant 1,9 l darbinio tūrio tiesioginio įpurškimo slėginio uždegimo variklį, turintį turbokompresorių ir aukšto slėgio išmetamųjų dujų recirkuliacijos sistemą. Pagrindiniai variklio techniniai duomenys pateikti 1 lentelėje. Bandymo metu variklio apkrova sukurta elektromechaniniu apkrovos stendu, matuojamos degalų ir oro sąnaudos, įsiurbiamo oro ir išmetamųjų dujų temperatūra, turbokompresoriaus slėgis, išmetamųjų dujų sudėtis. Bendra įrangos išdėstymo schema pateikta 3 paveiksle.

Bandymo metu naudotos įrangos pagrindiniai techniniai duomenys pateikti 2 lentelėje.

Pradinis tyrimo režimas pasiektas, kai variklio apkrova yra 30, 60, 90, 120 Nm. Bandymai buvo atlikti, kai EGR išjungtas arba EGR intensyvumas buvo 0,10, 0,20, 0,30. EGR intensyvumas reguliuojamas vožtuvą atjungus nuo variklio valdymo bloko ir naudojant EGR valdymo moduliatorių. EGR intensyvumas vertinamas lyginant variklio oro įsiurbimo intensyvumą, atjungus EGR ir keičiant EGR vožtuvo atidarymą. Pastebėta, kad didinant EGR intensyvumą iki 30 proc., variklis tolygiausiai veikė 60 Nm apkrova. Šios apkrovos rezultatai ir yra analizuojami. ~60 Nm apkrova



3 pav. Bandymo schema, sudedamosios dalys: 1 – variklis; 2 – variklio apkrovos stendas; 3 – duomenų rodikliai; 4 – svarstyklės; 5 – degalų bakas; 6 – aukšto slėgio degalų siurblys; 7 – elektroninis valdymo blokas; 8 – slėgio cilindre registravimo įranga; 9 – alkūninio veleno padėties jutiklis; 10 – cilindro slėgio jutiklis; 11 – purkštuvas; 12 – purkštuvu adatos jutiklis; 13 – temperatūros jutiklis; 14 – EGR vožtuvas; 15 – tarpinis EGR aušintuvas; 16 – išmetamųjų dujų temperatūros jutiklis; 17 – EGR valdymo moduliatorius; 18 – pripūtimo slėgio jutiklis; 19 – įsiurbiamo oro temperatūros jutiklis; 20 – oro masės matuoklis; 21 – kompresorius; 22 – turbina; 23 – išmetamųjų dujų analizatorius; 24 – dūmų analizatorius; 25 – išmetamųjų dujų vamzdis

Šaltinis: sudaryta autorių.

1 lentelė. Variklio 1,9 TDI (1Z) pagrindiniai techniniai duomenys

Parametras	Reikšmė
Cilindrų darbo tūris, cm ³	1 896
Nominalus galingumas, kW	66
Maksimalus sukimo momentas, Nm (prie n = 2 200 min ⁻¹)	180
Cilindrų skaičius	4
Suspaudimo laipsnis	19,5
Stūmoklio eiga, mm	95,5
Cilindro skersmuo, mm	79,5
Darbo eiliškumas	1–3–4–2

Šaltinis: Felneris ir kiti, 2021.

2 lentelė. Bandymo metu naudojama įranga ir jos tikslumas

Matavimo įranga Matuojamas rodiklis	Pavadinimas Techninė charakteristika	Tikslumas
Oro masės matuoklis Temperatūros diapazonas Matavimo diapazonas	BOSCH HFM 5 –40 °C – (+120 °C) 8–370 kg/h	≤ 3 %
Variklio apkrovos stendas Maksimali galima apkrova Maksimali stabdymo galia Apsisukimų kontroliuojamos ribos	KI – 5543 440 Nm 185 kW 1 500–3 000 aps/ min ⁻¹	± 1,23 Nm
Svarstyklės Matavimo ribos	SK – 5001 0–5 000 g	± 0,5 g
Termopora Temperatūros matavimo režimas	K – tipo 0–(+1 250 °C)	± 0,5 %
Cilindro slėgio jutiklis Jautrumas	AVL GH13P 15,84 ± 0,09 pC/bar	≤ 0,3 %
Slėgio cilindre įrašymo įranga Signalio santykis Įvesties diapazonas Matavimo diapazonas	AVL DITEST DPM 800 1 mV/pC 6 000 pC 0–200 bar	1 %
Degalų įpurškimo laiko nustatymo įtaisas	AVL DISYSTEM 845	± 1 °AV
Įsiurbiamo oro slėgio matuoklis Slėgio jutiklis TP 704-2BAI	DELTA OHM HD 2304.0 1–2 bar	± 0,002 bar
Diagnostikos prietaisas	VCDS v11.2	
Išmetamųjų dujų analizatorius / dūmomatis	AVL DICOM 4 000	
λ	0–9,999	0,001
CO	0–10 %	0,01 %
CO ₂	0–20 %	0,1 %
O ₂	0–25 %	0,01 %
CH	0–20 000 ppm	1 ppm
NO _x	0–5 000 ppm	1 ppm
Dūmingumas	0–99,99 m ⁻¹	0,01 m ⁻¹

Šaltinis: sudaryta autorių.

susidaro, kai automobilis važiuoja mieste, o jo greitis siekia apie 50 km/h.

Tiriami degalai

Bandymo metu naudotas grynas iškastinis dyzelinas (D100), hidrintas augalinis aliejus (HVO100) ir HVO mišiniai su biobutanoliu. Buvo paruošti trys skirtingi biodegalų mišiniai, į HVO100 įmaišant tam tikrą tūrį



4 pav. Tiriamų degalų ir jų mišinių tūrio dalis 1 litre

Šaltinis: sudaryta autorių.

biobutanolio – 5 proc. (HVOB5), 10 proc. (HVOB10) ir 20 proc. (HVOB20). Siekiant užtikrinti tepimo savybes, papildomai į mišinius buvo įpilta ricinos aliejaus, kurio kiekis sudarė 5 proc. butanolio tūrio. Naudotų degalų sudėtis pateikta 4 paveiksle.

Apskaičiuotas įvairių degalų žemutinis šilumingumas: D100 – 43,1 MJ/kg, HVO100 – 44,1 MJ/kg, HVOB5 – 43,5 MJ/kg, HVOB10 – 42,9 MJ/kg, HVOB20 – 41,7 MJ/kg. Nustatytas degalų tankis D100 – 830,4 kg/m³, HVO100 – 780 kg/m³, HVOB5 – 781,9 kg/m³, HVOB10 – 783,9 kg/m³, HVOB20 – 787,8 kg/m³.

3. Tyrimo rezultatai ir jų analizė

Mažiausios valandinės degalų masės sąnaudos yra HVO100, nes šių degalų žemutinis šilumingumas didžiausias, tačiau biobutanolis degalų sąnaudas didina dėl mažesnio šilumingumo (5 pav.). Kai EGR 0, 0,10 ir 0,20, degalų sąnaudos išlieka mažai pakitusios. EGR pasiekus 0,30, degalų sąnaudos šiek tiek padidėja, nes lėtėja ir blogėja degimo procesas.

Degalų tūrio sąnaudos skiriasi nuo masės sąnaudų, nes HVO100 tankis yra ~6 proc. mažesnis ir HVO100 tūrio sąnaudos yra 5 proc. didesnės, palyginti su D100. Biobutanolio priedas HVO dėl didesnio deguonies kiekio, kuris mažina žemutinį šilumingumą, padidina degalų valandines tūrio sąnaudas (6 pav.). HVOB20 valandinės degalų tūrio sąnaudos dėl sumažėjusio šilumingumo yra ~8 proc. didesnės, palyginti su D100. Degalų sąnaudos auga ir didėjant EGR, ypač pasiekus 30 proc. ribą.

Didžiausias efektyvusis naudingumo koeficientas (η_e) visais EGR atvejais pasiekiamas, kai variklis veikia D100. Naudojant HVO100, η_e sumažėja, nors šių degalų masės sąnaudos yra mažiausios, bet jų šilumingumas didžiausias. Visų tirtų degalų η_e mažai kinta, EGR didinant nuo 0 iki 0,20 (7 pav.). Kai EGR 0,2, biobutanolio koncentraciją didinant iki 20 proc., η_e rezultatas gerėja. Kai EGR 0,30, dėl mažesnio deguonies kiekio degimo proceso metu efektyvusis naudingumo koeficientas sumažėja D100 ~4 proc., HVO 100 ~4 proc., HVOB20 ~3 proc. Dėl didesnio deguonies kiekio biobutanolyje, HVOB20, kai EGR 0,30, efektyvusis naudingumo koeficientas sumažėjo mažiausiai.

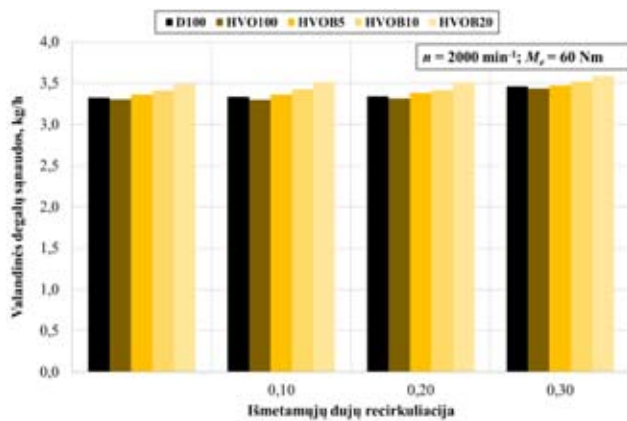
D100 daugiausiai išskiria anglies monoksido išmetamosiose dujose (8 pav.). Kai EGR išjungtas, D100 CO koncentracija siekia 0,025 proc., HVO100 – 0,024 proc., o HVOB5 ir HVOB10 CO koncentracija yra ~20 proc. mažesnė, palyginti su D100. Didinant EGR, CO kon-

centracija išauga dėl blogesnio degimo, nes sumažėjusi deguonies koncentracija ir CO₂ slopina degimą, kuris vyksta žemesnėje temperatūroje.

Didžiausia CO koncentracija yra iškastinio dyzelino, kai EGR 0,30, ir siekia 0,042 proc. HVO100, HVOB5 CO koncentracija siekia 0,04 proc., o HVOB10 ir HVOB20 – 0,036 proc. Iš to matome, kad 20 proc. biobutanolio priedas iki ~14 proc. mažina CO koncentraciją, palyginti su D100, kai EGR 0,3. Dar didesnę CO mažinimo efektą turi 20 proc. biobutanolio priedas, kai EGR – 0,2. Tai lemia didesnę deguonies koncentraciją biobutanolyje.

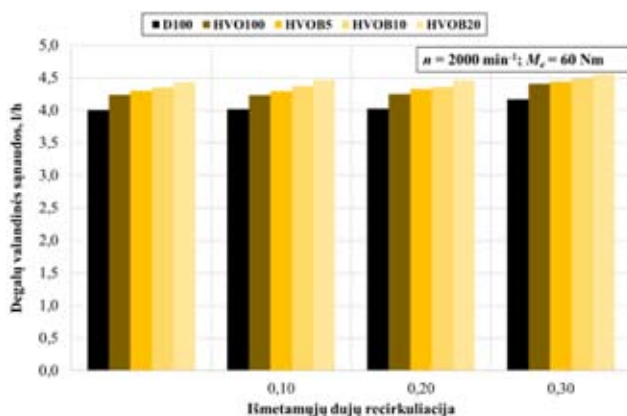
D100 išskiria didžiausią CO₂ emisiją dėl didžiausio C/H santykio, palyginti su biodegalais. Degimo proceso metu, įjungus EGR, į cilindrą grįžta nemaža dalis CO₂, kuri nedega, tačiau padidina CO₂ koncentraciją išmetamosiose dujose (9 pav.). Įjungus 0,30 EGR, varikliui veikiant, CO₂ koncentracija padidėja 38–40 proc. Kai EGR 0,30, 20 proc. biobutanolio didina CO₂ koncentraciją dėl geresnio degimo, tačiau, kai EGR 0,20, biobutanolis CO₂ koncentraciją mažina.

Be EGR didžiausia CH koncentracija yra D100, ji siekia 30 ppm. Naudojant HVO ir biobutanolio mišinius, CH koncentracija mažėja dėl paprastesnės biodegalų molekulinės struktūros. EGR naudojimas gerokai didina CH koncentraciją visuose tirtuose degaluose (10 pav.). Pasirinkus D100 ir kitus degalus, EGR padidinus iki



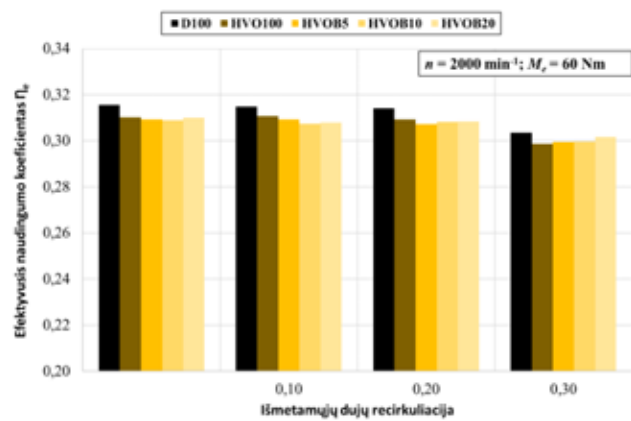
5 pav. Degalų valandinių masės sąnaudų priklausomybė nuo EGR

Šaltinis: sudaryta autorių.



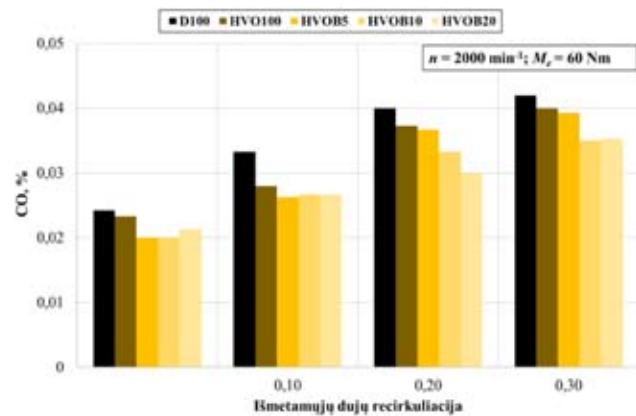
6 pav. Degalų valandinių tūrio sąnaudų priklausomybė nuo EGR

Šaltinis: sudaryta autorių.



7 pav. Efektyvaus naudingumo koeficiento priklausomybė nuo EGR

Šaltinis: sudaryta autorių.



8 pav. CO priklausomybė nuo EGR

Šaltinis: sudaryta autorių.

0,30, CH koncentracija padidėja beveik du kartus, nes dėl sumažėjusios deguonies koncentracijos mažėja degimo temperatūra. Biobutanolyje esantis deguonis gerina degimą, mažina CH ir geriausias efektas pastebimas, kai EGR 0,2, o biobutanolio koncentracija siekia 20 proc.

Be EGR didžiausia NO_x koncentracija yra D100 ir siekia 290 ppm. Naudojant HVO, NO_x koncentracija sumažėja ~20 proc. (11 pav.), nes HVO turi aukštesnį cetaninį skaičių. Tai sutrumpina HVO užsiliepsnojimo gaišties fazę ir sumažina šilumos išsiskyrimo intensyvumą kinetinėje degimo fazėje. Didėjant biobutanolio koncentracijai HVO, NO_x koncentracija didėja dėl mažėjančio cetaninio skaičiaus ir deguonies, kuris gerina degimą. EGR mažina NO_x koncentraciją, ypač HVO, tikėtina, kad dėl padidėjusios temperatūros suspaudimo takto pabaigoje, o tai dar labiau trumpina gaišties fazę. Padidinus EGR nuo 0 iki 0,30, D100 NO_x koncentracija sumažėja ~27 proc., HVO100 – ~47 proc., HVOB20 – ~42 proc. Mažiausia NO_x koncentracija yra HVO100 – 120 ppm, kai EGR 0,30. Tačiau ir kai EGR 0,2, NO_x sumažėjimas taip pat yra akivaizdus, bet 20 proc. biobutanolio koncentracija NO_x didina santykinai mažiau.

Naudojant D100, pasiekiamas gausiausias dūmingumas dėl didžiausio C/H santykio ir sudėtingesnės molekulinės struktūros. Pasirinkus HVO100 be EGR, dūmingumas mažėja ~30 proc., naudojant HVOB20 –

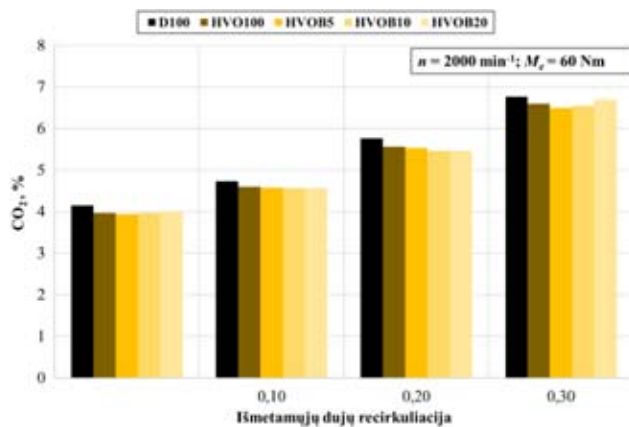
~80 proc. (12 pav.). EGR 0,30 naudojimas 8 kartus padidina D100 dūmingumą, HVO – 12 kartų, HVOB20 – 13 kartų, nes degimas vyksta žemesnėje temperatūroje, esant mažesnei deguonies koncentracijai. Biobutanolio priedas sumažina dūmingumą, nes padidina O_2 koncentraciją. Naudojant HVOB20, kai EGR 0,2, dūmingumas padidėja nedaug, palyginti su D100, kai EGR 0.

Apibendrinus tyrimo, kurio metu degimo procesuose buvo naudojama EGR, rezultatus, matoma, kad išmetamųjų dujų recirkuliacijos sistema mažina NO_x susidarymą, nes slopina degimo procesą, bet tai didina CO, CH, CO_2 koncentraciją ir dūmingumą. Dyzeliną pakeitus optimaliu HVO ir biobutanolio (~20 %) mišiniu, kai EGR 0,20, galima pasiekti reikšmingą NO_x koncentracijos sumažėjimą, dūmingumui mažai pakitus.

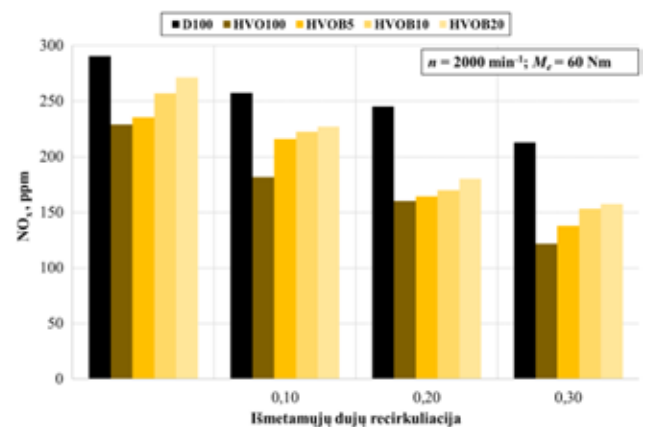
Išvados

Slėginio uždegimo varikliui veikiant vidutine apkrova ir dyzeliną pakeitus įvairiais biodegalų mišiniais, keičiant EGR intensyvumą, gauti eksperimentinio tyrimo rezultatai, kurie pateikti apibendrinančiose išvadose:

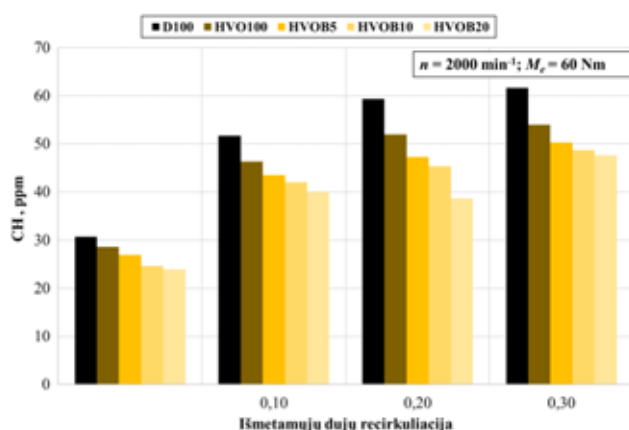
1. Dyzeliną pakeitus HVO ir biobutanolio (iki 20 % tūrio) mišiniais, C/H santykis, žemutinis šilumingumas, tankis ir cetaninis skaičius sumažėja, tačiau padi-



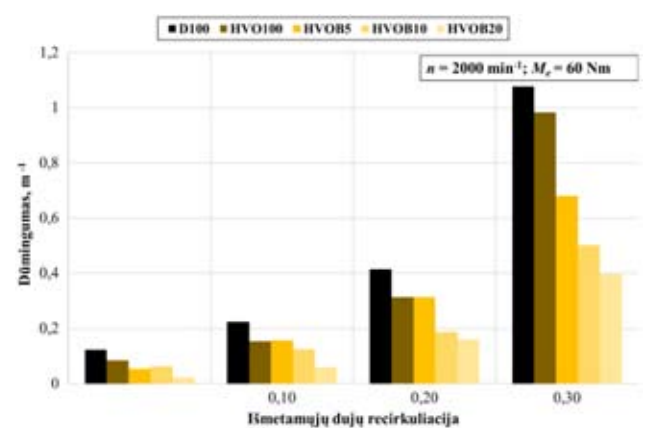
9 pav. CO_2 priklausomybė nuo EGR
Šaltinis: sudaryta autorių.



11 pav. NO_x priklausomybė nuo EGR
Šaltinis: sudaryta autorių.



10 pav. CH priklausomybė nuo EGR
Šaltinis: sudaryta autorių.



12 pav. Dūmingumo priklausomybė nuo EGR
Šaltinis: sudaryta autorių.

dėja deguonies koncentracija mišinyje. Tai lemia biodegalų mišinių išpurškimo ir degimo skirtumus.

2. EGR sistemos naudojimas mažina šilumos išsiskyrimo greitį kinetinėje degimo fazėje, bet padidina difuzinėje degimo fazėje, ir tai mažina NO_x koncentraciją išmetamosiose dujose. Didėjant EGR, dėl žemesnės degimo temperatūros ir mažesnės O_2 koncentracijos cilindre gausėja dūmingumas. Tačiau HVOB20 degalų mišiniu veikiančio variklio, kai EGR 0,20, dūmingumas nedaug padidėja, o NO_x koncentracijos sumažėjimas yra reikšmingas (~38 %).

3. EGR naudojimas didina CO , CH koncentraciją, kai variklis veikia tiriamais degalais, tačiau HVO degaluose esantis biobutanolio priedas, gerindamas oksidacijos procesą, mažina šių teršalų kieki.

4. Didinant EGR intensyvumą, CO_2 koncentracija auga, nes dėl blogesnio degimo mažėja efektyvusis naudingumo koeficientas ir didėja degalų sąnaudos. CO_2 koncentracija išauga ir dėl sumažėjusio išmetamųjų dujų srauto didinant EGR. Tačiau, naudojant HVO ir biobutanolio mišinį, CO_2 dujų emisiją reikia vertinti atsižvelgiant į biodegalų gyvavimo ciklą, kurio metu didelė dalis CO_2 absorbuojama biomasės augimo metu.

Literatūra

- Felneris, M., Raslavičius, L., Pukalskas, S. ir Rimkus, A. (2021). Assessment of Microalgae Oil as a Carbon-Neutral Transport Fuel: Engine Performance, Energy Balance Changes, and Exhaust Gas Emissions. *Sustainability*, 13(14), 7878. <https://doi.org/10.3390/su13147878>.
- Goga, G., Chauhan, B. S., Mahla, S. K. ir Cho, H. M. (2019). Performance and emission characteristics of diesel engine fueled with rice bran biodiesel and n-butanol. *Energy Reports*, 5, 78–83. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2018.12.002>.
- Liang, J., Zhang, Q., Chen, Z., Zheng, Z. (2021). The effects of EGR rates and ternary blends of biodiesel/n-pentanol/diesel on the combustion and emission characteristics of a CRDI diesel engine. *Fuel*, 286, 119297. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119297>.
- Mohiuddin, K., Kwon, H., Choi, M. ir Park, S. (2021). Effect of engine compression ratio, injection timing, and exhaust gas recirculation on gaseous and particle number emissions in a light-duty diesel engine. *Fuel*, 294, 120547. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120547>.
- Parravicini, M., Barro, C. ir Boulouchos, K. (2021). Experimental characterization of GTL, HVO, and OME based alternative fuels for diesel engines. *Fuel*, 292, 120177. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120177>.
- Rimkus, A., Vipartas, T., Matijošius, J., Stravinskas, S. ir Kriaučiūnas, D. (2021). Study of Indicators of CI Engine Running on Conventional Diesel and Chicken Fat Mixtures Changing EGR, *Applied Sciences*, 11(4), 1411. <https://doi.org/10.3390/app11041411>.
- Rimkus, A., Stravinskas, S. ir Matijošius, J. (2020). Comparative Study on the Energetic and Ecologic Parameters of Dual Fuels (Diesel-NG and HVO-Biogas) and Conventional Diesel Fuel in a CI Engine. *Applied Sciences*, 10(1), 359. <https://doi.org/10.3390/app10010359>.

Shepel, O., Matijošius, J., Rimkus, A., Duda, K. ir Mikulski, M. (2021). Research of Parameters of a Compression Ignition Engine Using Various Fuel Mixtures of Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) and Fatty Acid Esters (FAE). *Energies*, 14(11), 3077. <https://doi.org/10.3390/en14113077>.

Shi, X., Liu, B., Zhang, C., Hu, J. ir Zeng, Q. (2017). A study on combined effect of high EGR rate and biodiesel on combustion and emission performance of a diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 125, 1272–1279. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.083>.

Trindade, W. R. da S. ir Santos, R. G. dos. (2017). Review on the characteristics of butanol, its production and use as fuel in internal combustion engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 642–651. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.213>.

Tutak, W., Jamrozik, A. ir Grab-Rogaliński, K. (2021). The Effect of RME-1-Butanol Blends on Combustion, Performance and Emission of a Direct Injection Diesel Engine. *Energies*, 14(10), 2941. <https://doi.org/10.3390/en14102941>.

Valeika, G., Matijošius, J., Górski, K., Rimkus, A. ir Smigins, R. (2021). A Study of Energy and Environmental Parameters of a Diesel Engine Running on Hydrogenated Vegetable Oil (HVO) with Addition of Biobutanol and Castor Oil. *Energies*, 14(13), 3939. <https://doi.org/10.3390/en14133939>.

ANALYSIS OF PERFORMANCE OF A COMPRESSION IGNITION ENGINE OPERATING ON DIFFERENT BIOFUEL MIXTURES AND CHANGING THE INTENSITY OF EXHAUST GAS RECIRCULATION

Dovydas Mačiulis¹, Alfredas Rimkus^{1,2},
Jonas Matijošius^{1,2}

¹Vilnius Gediminas Technical University

²Vilnius College of Technologies and Design

Abstract. The paper analyzes the performance of an internal combustion engine using various blends of hydrotreated vegetable oil and biobutanol and the effect of exhaust gas recirculation on the emissions of incomplete combustion products (CO , CH), nitrogen oxides (NO_x), greenhouse gases (CO_2) and smoke. During the experimental study, by changing the intensity of EGR, the most optimal biofuel mixture was searched for, which would maintain high thermal efficiency of engine operation and reduce the emission of harmful substances. Running the engine on a mixture of 80% HVO and 20% biobutanol at an EGR of 0,20 was found to achieve significant reductions in NO_x with little change in smoke and other pollutant emissions. In the case of the biofuel mixture, after evaluating the life cycle of the fuel, it can be stated that the CO_2 emission decreases significantly.

Key words: Hydrotreated vegetable oil, biobutanol, exhaust gas recirculation, fossil diesel, compression ignition engine.

VEŽĖJŲ MOKAMŲ MOKESČIŲ UŽ NAUDOJIMĄSI VIEŠĄJA INFRASTRUKTŪRA ĮTAKA TRANSPORTO PASLAUGŲ KONKURENCINGUMUI

Aušra Špuraitė

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

Anotacija. Siekis populiarinti aplinką tausojančias transporto rūšis yra rimtas pretekstas apžvelgti priežastis, kodėl šiuo metu mažiau konkurencingos transporto rūšys yra ne tokios populiarios nei kelių transportas. Be kitų technologinių veiksnių, labai svarbus yra ekonominis veiksnys, todėl šiame straipsnyje analizuojama krovinių vežėjų teikiamų paslaugų savikainos sudėtis ir ypatingas dėmesys skiriamas bene reikšmingiausiam sąnaudų komponentui – vežėjų mokamiems infrastruktūros mokesčiams. Autorės atlikti skaičiavimai patvirtina prielaidą, kad geležinkelių krovinių vežėjai Lietuvoje patiria gerokai didesnes naudojimosi infrastruktūra sąnaudas nei kelių vežėjai, nors keliams tenka didžiausia transporto išmetamų teršalų dalis (72 %). Straipsnyje taip pat pateikiama Lietuvoje taikomų infrastruktūros mokesčių analizė, jie palyginti su kitose šalyse galiojančiais analogiškais mokesčiais.

Reikšminiai žodžiai: vežimų savikaina, infrastruktūros mokesčiai, transporto ekonomika, konkurencingumas.

Įvadas

Vienas svarbiausių Europos Sąjungos ilgalaikių transporto strateginių tikslų yra siekis daugiau dėmesio skirti aplinką tausojančioms transporto rūšims. Būtina pabrėžti, kad šiuo metu rinka nepakankamai skatina naudotojus pereiti nuo kelių transporto prie kitų transporto rūšių, kurios vis dar ekonomiškai ne tokios konkurencingos. Kaip teigiama Europos audito rūmų paskelbtoje Padėties apžvalgoje (2018), galima įvardyti keletą pagrindinių priežasčių, dėl kurių vežant krovinius geležinkelių transportas yra ne toks populiarus nei kelių transportas. Tai – didesnis kelių transporto lankstumas iki vežimo (paprastesnė prieiga prie infrastruktūros, mažesnės administracinės kliūtys, didesnis vežėjų pasirinkimas) ir vežimo metu (vežama nuo durų iki durų, mažesni prieigos mokesčiai, kroviniams neteikiamas mažesnis pirmumas, retesni technologijų nulemti sustojimai).

Be technologinių, organizacinių transporto rūšių skirtumų, labai svarbūs vidiniai ir išoriniai ekonominiai veiksniai.

Šiame straipsnyje bus nagrinėjama geležinkelio vežėjų apmokestinimo už naudojimąsi viešąja infrastruktūra tema.

Palyginus kelių ir geležinkelių vežėjų paslaugų sąnaudų struktūrą, matomas akivaizdus sąnaudų, susijusių su naudojimosi infrastruktūra, lygio ir sudėties skirtumas.

Straipsnio autorės preliminariais skaičiavimais, tarptautinių krovinių vežimus vykdančios kelių vežėjai į sąnaudų struktūrą įtraukia 10–20 proc. bendrųjų sąnaudų sudarančias naudojimosi keliais mokesčių sąnaudas, o geležinkelių vežėjų sąnaudose analogiški mokesčiai sudaro iki 70 proc.

Tokie skirtumai dažnai lemia diskriminuojančias konkurencines sąlygas.

Europos Sąjungoje vyksta diskusijos dėl apmokestinimo sistemų (visų pirma kelių transporto apmokestinimo), nagrinėjami principai „moka naudotojas“ ir „moka teršėjas“ (įvairių transporto rūšių). Akivaizdu,

kad yra poreikis išsamiai išnagrinėti galimus išorės sąnaudų internalizavimo trūkumus ir naudą. Išorės sąnaudų internalizavimas reiškia, kad naudotojai prisiima savo sukeltas sąnaudas ir taip yra skatinami keisti savo elgesį, kad galėtų tas sąnaudas sumažinti. Internalizavimas turėtų reikšmingų padarinių transporto tinklams, galutinių vartotojų sąnaudoms ir transporto infrastruktūros naudojimui. Tuo pačiu tai paskatintų spartesnę transporto srautų persiskirstymą iš taršių transporto modų į ne tokias taršias.

Objektas – geležinkelių ir kelių vežėjų paslaugų sąnaudų struktūra.

Tyrimo tikslas – įvertinti šalyje taikomą viešosios geležinkelių struktūros minimalaus prieigos paketo (MPP) paslaugų kainų politiką ir įtaką vežėjų veiklos rezultatams.

Suformuluoti uždaviniai: išanalizuoti transporto sektoriaus indėlį į šalies ekonomiką, svarbą siekiant ilgalaikių strateginių darnios plėtros tikslų; atlikti MPP paslaugų kainų nustatymo reglamentavimo apžvalgą ir pateikti šalyje taikomų vidutinių mokesčių palyginimą su analogiškais kitų šalių mokesčiais; vadovaujantis pasirinktomis prielaidomis sumodeliuoti tarptautinių krovinių gabenimo geležinkeliais maršrutus, apskaičiuoti šiuose maršrutuose vežėjų mokėtinus infrastruktūros mokesčius ir bendras sąnaudas. Gautus rezultatus palyginti su kelių transporto patiriamais naudojimosi kelių infrastruktūra kaštais.

Tyrimo metodai – straipsnyje naudota mokslinės literatūros, teisės aktų ir kitų dokumentų analizė, skaičiavimai, lyginamoji ir grafinė analizė.

1. Transporto sektoriaus svarba siekiant strateginių darnios plėtros tikslų

Europos audito rūmų 2018 metais atliktoje ES transporto sektoriaus apžvalgoje teigiama, kad transportas yra strateginis ES ekonomikos sektorius, kuris turi tiesioginę įtaką kasdieniam visų ES piliečių gyvenimui,

taip pat transporto paslaugų sektoriuje sukuriama apie 11 milijonų darbo vietų. Tai Europos integracijos pagrindas, nes visiškai sujungti ir tvarūs transporto tinklai yra būtina Europos bendrosios rinkos sukūrimo ir tinkamo veikimo sąlyga.

Lietuvos statistikos departamento duomenimis, šalies transporto įmonės 2021 metais teikė vežimo paslaugas 208,9 mln. keleivių ir šalies teritorija gabenoti kiek daugiau nei 127 milijonus tonų krovinių (duomenys neapima kelių transporto vežėjų, vežančių tarp tautinius krovinius tarp užsienio šalių ir kabotažo, veiklos). Lietuva Europos Sąjungoje ir toliau pirmąja pagal transporto ir saugojimo sektoriaus indėlį į Lietuvos biudžetą. Vežėjų organizacijos duomenimis, jis sudaro apie 13 proc. šalies BVP – pusė tenka kroviniui kelių transportui (Butkus, 2021).

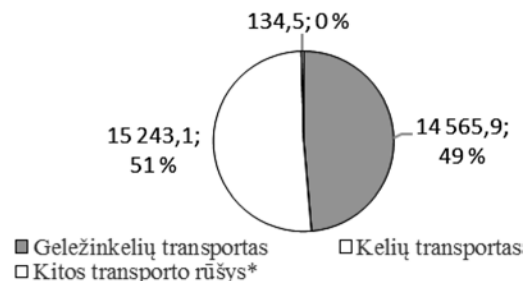
Įvertinus svarų transporto indėlį į šalies ūkį, parbrėžtina šio sektoriaus svarba, kalbant apie darnios plėtros tikslų siekį artimoje ir tolimesnėje perspektyvoje. Lietuvos pažangos strategijoje „Lietuva 2030“ išskiriamos trys esminės pažangos sritys – visuomenė, ekonomika ir valdymas. Sumani ekonomika – lanksti ir gebanti konkuruoti pasaulyje, aukštą pridėtinę vertę kurianti ekonomika, grindžiama žiniomis, inovacijomis, verslumu ir socialiniu atsakingumu bei „žaliuoju“ augimu. „Žaliojo“ augimo siekis skatina diegti pažangias, išteklius tausojančias ir aplinkos taršą bei klimato kaitą mažinančias technologijas ir gaminius pramonės, energetikos ir transporto sektoriuose.

Europos Komisijos siūlomus veiksmus įvairiose srityse dėl vidaus rinkos konkurencingumo, ekonomikos augimo tempų pristatanti Baltoji knyga apibrėžia tokius siektinus transporto sektoriaus tikslus – iki 60 proc. sumažinti išmetamų teršalų kiekį, iki 2030 m. 30 proc. daugiau kaip 300 km atstumu gabenamų krovinių turėtų būti vežama geležinkelių arba vandens transportu, o iki 2050 m. šis skaičius turėtų būti didesnis nei 50 proc. Be įvardytų tikslų, per ateinančius 40 metų reikia užtikrinti beveik absoliutų saugumą keliuose.

Anksčiau minėtoje Europos audito rūmų apžvalgoje teigiama, kad transportui tenka maždaug ketvirtadalis visų ES išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD). Kadangi transporto išmetamų teršalų kiekis nuo 2014 m. vėl pradėjo didėti, šis sektorius tampa vienu pagrindinių iššūkių siekiant ES bendrą priklausomybės nuo iškastinio kuro mažinimo tikslų. Kelių transportui tenka didžioji keleivių ir krovinių vežimo dalis pagal apimtį. Keliavimas automobiliu yra pagrindinis keleivių transporto būdas, kuriam tenka maždaug 71 proc. visos transporto veiklos keleivio kilometrais, po jo eina oro, miesto ir (arba) tolimojo susisiekimo autobusų ir geležinkelių transportas (atitinkamai apie 10, 8 ir 7 proc.). Keliam tenkanti kroviniui vidaus transporto dalis padidėjo nuo 75,1 proc. 2011 m. iki 76,4 proc. 2016 m.

Lietuvos transporto veiklos apimčių (tkm) dinamikos ir pasiskirstymo analizėje Lietuvos statistikos departamentas pateikia tokius duomenis: 2017–2021 m.

bendros visų transporto rūšių krovinių vežimo apimtys mažėjo 4,7 proc. (nuo 31 411,2 mln. tkm iki 29 943,5 mln. tkm), iš to skaičiaus kelių transporto rodiklis mažėjo 1,1 proc., o geležinkelių – 5,5 proc., dėl šios priežasties kelių transporto dalis bendruose pervežimuose išaugo iki 51 proc., geležinkelių dalis išliko tokia pati (apie 49 %). Informacija pateikta 1 paveiksle.



1 pav. Krovinių vežimo 2021 m. struktūra pagal transporto rūšis, mln. tkm ir proc.

Šaltinis: sudaryta autorės

pagal Lietuvos statistikos departamento duomenis.

*Susieti vidaus vandens, oro transporto ir naftotiekio duomenys.

Pastarųjų metų statistika rodo, kad transporto veiklos apimčių dinamikai įtakos turėjo įvairūs struktūriniai transporto paslaugų rinkų pokyčiai, nemenkai rinkas (ypač keleivių vežimo) paveikė COVID-19 pandemijos nulemti judumo ribojimai.

Atsižvelgus į didelę transporto sektoriaus svarbą ekonomikai, svarbu plačiau išnagrinėti, kaip ekonominiai veiksniai, tokie, kaip mokesčiai už naudojamąsi viešąją infrastruktūrą, gali paveikti sausumos transporto konkurencines sąlygas.

2. Geležinkelių viešosios infrastruktūros paslaugų sąnaudos – svarus vežėjų paslaugų savikainos elementas

Šiame skyriuje bus analizuojamas geležinkelių vežėjų už naudojamąsi infrastruktūrą mokėtinų mokesčių reglamentavimas ir aptariami iššūkiai, su kuriais susiduria infrastruktūros valdytojai bei viešosios geležinkelių infrastruktūros klientai.

Pagrindiniai teisės dokumentai, reglamentuojantys infrastruktūros mokesčių apskaičiavimą, skelbimą bei surinkimą, yra šie: 2012 m. lapkričio 21 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2012/34/ES, kuria sukuriamas bendra Europos geležinkelių erdvė (toliau – **Dirrektyva 2012/34/ES**) bei Europos Komisijos 2015 m. birželio 12 d. įgyvendinimo reglamentas (ES) 2015/909 dėl išlaidų, kurios tiesiogiai patiriamos dėl traukinių eksploatavimo, apskaičiavimo tvarkos (toliau – **Reglamentas**). Minėtų teisės aktų nuostatos perkeltos į nacionalinę teisę – įstatymus ir poįstatyminius teisės aktus, kurių vykdymą kontroliuoja Rysių reguliavimo tarnyba bei kitos įgaliotos institucijos.

Lietuvos Respublikos geležinkelių transporto kodekso (toliau – **Geležinkelių transporto kodeksas**) 24 straipsnio 1 dalies 6 punkte teigiama, kad viena iš vie-

šiosios geležinkelių infrastruktūros valdytojo funkcijų yra teikti minimalųjį prieigos paketą sudarančias paslaugas. Geležinkelių transporto kodekso 25 straipsnio 1 dalyje nustatyta, kad geležinkelio įmonės (vežėjai), kurioms skirti viešosios geležinkelių infrastruktūros pajėgumai, viešosios geležinkelių infrastruktūros valdytojui turi sumokėti užmokestį už minimalųjį prieigos paketą. Vadinasi, geležinkelio įmonės, siekdamos naudotis viešąja geležinkelių infrastruktūra Lietuvoje, privalo viešosios geležinkelių infrastruktūros valdytojui sumokėti nustatytą užmokestį.

Minimalusis prieigos prie viešosios geležinkelių infrastruktūros paketas, remiantis Geležinkelių transporto kodekso 3 straipsnio 31 punktu, yra paslaugos, kurias sudaro prašymų skirti viešosios geležinkelių infrastruktūros pajėgumus tvarkymas; teisės naudotis viešąja geležinkelių infrastruktūra pagal paskirtus viešosios geležinkelių infrastruktūros pajėgumus, taip pat iešmais, elektros energijos tiekimo įrenginiais traukos srovei užtikrinti tuo atveju, kai yra tokie įrenginiai, suteikimas; traukinių eismo valdymas, kuris apima ir signalizavimą, reguliavimą, traukinių eismo tvarkymą; informacijos apie traukinių judėjimą, taip pat visos kitos informacijos, reikalingos norint pradėti teikti paslaugą arba paslaugai, kuriai buvo skirti viešosios geležinkelių infrastruktūros pajėgumai, teikti, perdavimas ir teikimas. Atitinkamai užmokestis už minimalųjį prieigos paketą, remiantis Geležinkelių transporto kodekso 3 straipsnio 46 punktu, yra geležinkelio įmonių (vežėjų) mokama suma už minimalųjį prieigos paketą, kuris yra būtinas geležinkelio įmonėms (vežėjams), kai jos teikia keleivių, bagažo ir (ar) krovinių vežimo vietiniais ir (ar) tarptautiniais maršrutais paslaugas.

Kaip nustatyta Geležinkelių transporto kodekso 25 straipsnio 3 dalyje, užmokestis už minimalųjį prieigos paketą turi būti lygus išlaidoms, tiesiogiai patiriamoms dėl traukinių eksploatavimo.

Užmokesčio už minimalųjį prieigos paketą dydžio apskaičiavimo ir skelbimo bei konkrečios geležinkelio įmonės mokėtino mokesčio už minimalųjį prieigos paketą dydžio apskaičiavimą ir mokėjimą nustato Užmokesčio už minimalųjį prieigos paketą ir užmokesčio už skirtus, bet nepanaudotus viešosios geležinkelių infrastruktūros pajėgumus apskaičiavimo ir mokėjimo taisyklės (toliau – **Užmokesčio taisyklės**). Užmokesčio taisyklių 3 punkte nustatyta, kad užmokestį už minimalųjį prieigos paketą sudaro: (1) traukinių eismo įmoka; (2) keleivių, bagažo vežimo tranzitu įmoka; (3) krovinių vežimo tranzitu įmoka; (4) keleivių, bagažo ir (ar) krovinių, priskirtų vežimo geležinkelių transportu rinkos segmentui, kuriame gali būti taikomas antkainis, vežimo įmokos; (5) kontaktinio elektros tinklo naudojimo įmoka.

Bendrą mokesčių už naudojimąsi viešąja geležinkelių infrastruktūra sumą sudaro visas sąrašas mokesčių, kurių dydžių nustatymą reglamentuoja direktyvos 2012/34/ES ir Reglamentu taisyklės.

Taigi, galima kelti klausimą, ar tinkamas šalies infrastruktūros mokesčių nustatymo procesas ir ar pa-

tvirtinti mokesčiai užtikrina palankias nediskriminacines sąlygas veikti geležinkelių sektoriaus vežėjams, juo labiau kad kalbama apie vietinę ir tarptautinę vežimų rinkas.

Daugiausia diskusijų šalies ir tarptautinėje erdvėje kelia reikalavimas, kad užmokestis už minimalųjį prieigos paketą turi būti lygus išlaidoms, tiesiogiai patiriamoms dėl traukinių eksploatavimo, bei infrastruktūros valdytojo teisė taikyti mokesčių antkainius atskiriems krovinių vežimo segmentams. Antkainių taikymas turi būti pagrįstas ir įrodyta vežėjų galimybė mokėti didesnius, nei tiesiogiai patiriamos sąnaudos, mokesčius. Nepamatuotas ir ekonomiškai nepagrįstas antkainių taikymas gali sukurti dirbtinius ekonominius barjerus į rinką siekiantiems įsilieti naujiems vežėjams, taip pat sudaryti diskriminacines konkuravimo su kitų transporto priemonių vežėjais sąlygas, iškreipti atskirų vežimo segmentų finansinius rodiklius.

Tarptautinė praktika rodo, kad infrastruktūros valdytojai taiko du modelius – ribinių kaštų (RK) padengimo (šiuo atveju tiesiogiai su traukinių eismu susijusių sąnaudų) ir visiško kaštų (VK) padengimo (taiko antkainių sistemą). RK modelis rodo, kad paslaugos vieneto sąnaudos padengia ribines sąnaudas, kurios susiformuoja sukūrus papildomą eismo vieneta, t. y. praleidus papildomą traukinį. Pagal VK modelį reikalaujama, kad paslaugos vieneto mokestis padengtų visas veiklos sąnaudas. Taigi, jei laikomasi RK principo, paslaugos vieneto mokestis bus mažesnis už vidutinės sąnaudas, o gaunamo mokesčio ir vidutinių sąnaudų tapatumas yra neišvengiamas norint padengti visas su veikla susijusias sąnaudas. Kita vertus, jei bus laikomasi VK principo, mokestis bus didesnis už ribines sąnaudas, o tai gali sudaryti prielaidas neefektyviai paskirstyti pajėgumus ir tapti priežastimi potencialiems naujiems operatoriams sunkiai patekti į rinką (Arrigo & Di Foggia, 2014).

Tai, kokį modelį taiko šalis, iš esmės priklauso nuo keleto veiksnių – vežimų rinkos struktūros (vyrauja keleivių vežimas ar krovinių), vežimo rinkų paslaugų kainų, valstybės dotacijų eksploatacinei veiklai ir investicijoms politikos.

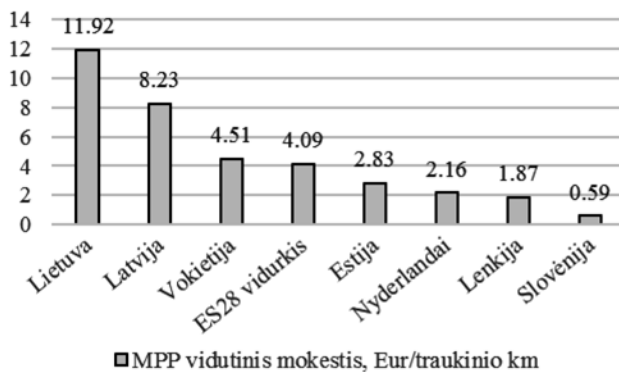
Nepriklausomų geležinkelių reguliavimo institucijų grupės (*IRG- Rail*) rinkos stebėsenos darbo grupės 9-ojoje rinkos stebėsenos ataskaitoje nurodyta, kad vidutinis užmokestis už minimalųjį prieigos paketą (MPP) 2019 metais Lietuvoje krovinių traukinio ridos kilometrui sudarė vidutiniškai apie 11,92 Eur, tuo tarpu, pavyzdžiui, Vokietijoje – 4,51 Eur, Lenkijoje – 1,87 Eur, o Slovėnijoje – tik 0,59 Eur. Šiuo klausimu buvo atlikta duomenų analizė (2 pav.), pagrindžianti, jog Lietuvoje, net ir nevertinant iš tranzito veiklos surenkamų mokesčių, prieigos mokestis yra itin aukštas.

IRG atlikta infrastruktūros mokesčių sumos paskirstymo tarp keleivių ir krovinių vežėjų analizė parodė, kad situacija atskirose šalyse yra labai skirtinga. Mokesčių struktūra pagal segmentus pavaizduota 3 paveiksle.

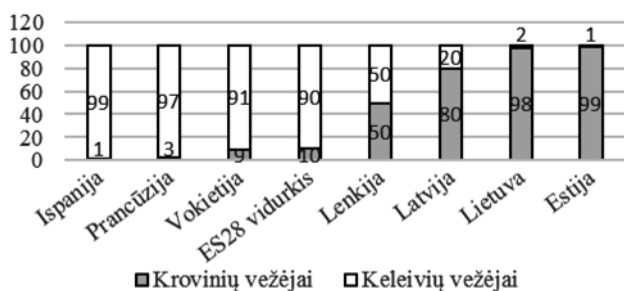
3 paveiksle pateikti duomenys rodo, kad ES kelevių vežėjai sumoka vidutiniškai 90 proc. bendros mokesčių sumos, krovinių vežėjai – tik 10 proc. Šalyse, kur kelevinių traukinių eismas sudaro didžiąją dalį, krovinių vežimas tampa netiesioginio subsidijavimo objektu ir mokami santykinai maži mokesčiai. Lietuvos ir Estijos infrastruktūros valdytojai beveik visas MPP pajamas gauna iš krovinių vežėjų.

Krovinių vežėjų mokamų naudojimosi minimaliuoju paslaugų paketu mokesčių analizė atskleidė, kad Lietuvoje taikomi mokesčiai yra 8,7 karto didesni nei ES šalių vidurkis, 1,8 karto didesni nei Latvijoje taikomi mokesčiai, o Lenkijos krovinių vežėjų mokami mokesčiai sudaro tik 14 proc. mūsų šalyje veikiančių vežėjų mokamų mokesčių (4 pav.).

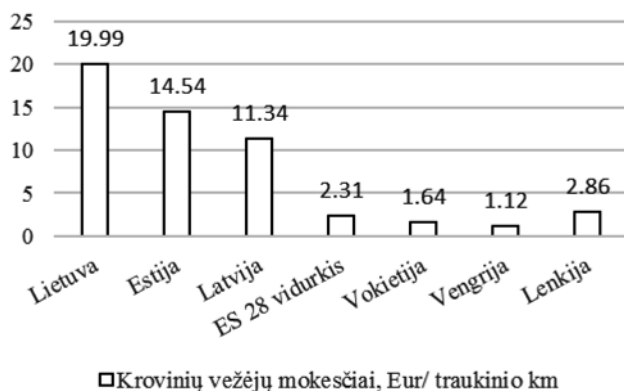
Toks aukštas mokesčių lygis vargu ar sukuria palankias sąlygas sėkmingai konkuruoti su kaimyninių šalių vežėjais tarptautinių krovinių vežimo rinkose ir kitų transporto rūšių vežėjais.



2 pav. ES 28 infrastruktūros valdytojų MPP vidutinės pajamos
Šaltinis: IRG-Rail.



3 pav. Infrastruktūros valdytojams kelevių ir krovinių vežėjų sumokėta mokesčių dalis, proc.
Šaltinis: IRG-Rail.



4 pav. Krovinių vežėjų 2019 metais mokėti vidutiniai mokesčiai
Šaltinis: IRG-Rail.

Apibendrinant atliktą infrastruktūros mokesčių analizę, galima teigti, kad itin aukštų infrastruktūros mokesčių lygį mūsų šalyje lemia infrastruktūros valdytojo taikomas PK padengimo modelis, nes valstybė iki pastarojo laikotarpio nebuvo numaciusi biudžeto lėšų infrastruktūros valdytojo eksploatacinei veiklai finansuoti ir tokiu būdu sumažinti krovinių vežėjams tenkančią mokesčių našta. Istoriskai nerentabilūs kelevių pervežimai vietiniais maršrutais generuoja tik 2 proc. MPP mokesčių sumos, taigi beveik visa infrastruktūros finansavimo našta perkeliama ant krovinių vežėjų. Įtakos turi ir objektyvūs veiksniai, nes geležinkelių infrastruktūra istoriskai orientuota į krovinių vežimus ir tam tikri krovinių segmentai gali „pakelti“ aukštesnius rinkos antkainius. Krovinių traukinių techniniai rodikliai taip pat aukštesni – jie yra gerokai ilgesni ir sunkesni nei kitose ES šalyse važiuojantys traukiniai. Dar vienas ypatumas – Lietuva turi išimtį tranzitui Kaliningrado kryptimi, kurioje pagal galiojančius teisės aktus gali taikyti gerokai aukštesnius antkainius ir tokiu būdu padengti reikšmingą PK dalį.

Kitame skyriuje bus pateikta Lietuvoje veikiančių geležinkelių krovinių vežėjų paslaugų sąnaudų ir savikainos rodiklių analizė, kuri bus atlikta sumodeliavus hipotetinį importuojamų ir tranzitinių krovinių gabėtiną šalies teritorija, kad būtų galima nustatyti, kokią dalį paslaugų savikainos sudaro viešosios infrastruktūros paslaugų (MPP) kaštai.

3. Minimalaus prieigos paketo paslaugų sąnaudų dalies krovinių vežimo paslaugų savikainoje nustatymas

Siekiant pagrįsti teiginį, kad geležinkelių krovinių vežėjai moka aukštesnius nei kelių vežėjai infrastruktūros mokesčius, pagal nustatytas prielaidas buvo sumodeliuoti bei apskaičiuoti krovinių vežimo tarptautiniais maršrutais eksploataciniai ir finansiniai rodikliai. Pateikti viešosios infrastruktūros naudojimo sąnaudų, kurias patiria vežėjas, dalies bendroje paslaugų savikainoje skaičiavimai.

Skaičiavimams atlikti buvo pasirinkti du skirtingi tarptautinių krovinių gabenimo segmentai – krovinių įvežimas per sausumos pasienio punktus išvežti laivais per Klaipėdos uostą (toliau – įvežami kroviniai) bei krovinių vežimas tranzitiniu maršrutu. Šioms kryptims būdingas didžiausias intensyvumas – apie 50 proc. bendro kelių ilgio sudarančiomis atkarpomis vežama apie 80 proc. krovinių. Tranzitinis maršrutas dar pasirinktas dėl to, kad čia taikomi tranzitiniam vežimui specialiai pritaikyti mokesčiai.

Skaičiavimo prielaidos – 422 km ilgio tarptautiniu maršrutu gabenama 3 000 t krovinių (50 vagonų po 60 tonų krovinio kiekviename vagonė), 236 km ilgio tranzitiniu maršrutu – tokio paties svorio kroviny. Traukinys pirmyn važiuoja pakrautas, atgal grąžinami tušti vagonai, todėl yra apskaičiuojami abiejų reisų eksploataciniai ir finansiniai rodikliai.

Skaičiavimams buvo atrinkti kroviniai iš skirtingų krovinių segmentų, kurie yra nurodyti Viešosios geležinkelių infrastruktūros 2020–2021 metų tarnybinio traukinių tvarkaraščio tinklo nuostatų *Vertinimo ir nustatymo, ar atitinkamuose vežimų geležinkelio transporto segmentuose veiklą vykdančios geležinkelio įmonės (vežėjai) šiuos antkainius gali mokėti tvarkos apraše*. Šio aprašo 1 priede visi vežėjų gabenami kroviniai yra suskirstyti į pavojinguosius, mažos vertės ir kitus krovinius.

Minėtas skirstymas leidžia teisingai parinkti minimalaus prieigos paketo paslaugų mokesčių dydžius. Mokesčiai yra patvirtinti AB „LTG Infra“ generalinio direktoriaus įsakymu ir paskelbti geležinkelių infrastruktūros valdytojo interneto svetainės skiltyje „Viešosios geležinkelių infrastruktūros valdytojo paslaugos“.

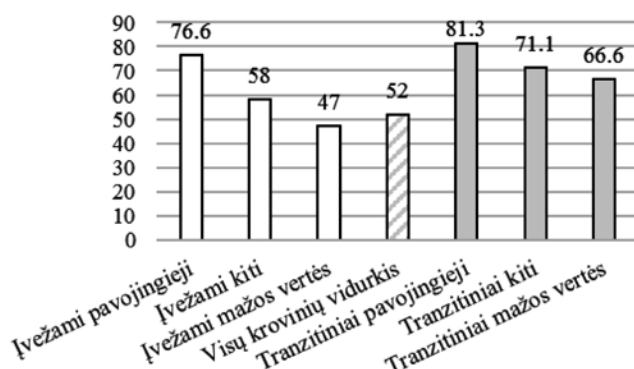
Į krovinių vežimo paslaugų savikainą taip pat buvo įtraukti kiti sąnaudų elementai: degalų ir eksploatacinių medžiagų, darbo apmokėjimo, geležinkelio riedmenų nusidėvėjimo bei techninės priežiūros ir veiklos netiesioginės sąnaudos. Sąnaudos apskaičiuotos remiantis praktikoje žinomais sąnaudų normatyvais ir ekspertiniu vertinimu.

Skaičiavimo rezultatai pateikti 5 paveiksle. MPP sąnaudų dalis (procentais) bendrose krovinių vežimo sąnaudose apskaičiuota, remiantis viešai prieinamais infrastruktūros valdytojo ir krovinių operatoriaus duomenimis, 2021 metais šis dydis sudarė 52 proc.

Skaičiavimai parodė, kad tranzitinius krovinius veždamas vežėjas sumoka aukštesnius nei vidutinius MPP paslaugų mokesčius – MPP sąnaudų dalis bendrose sąnaudose svyruoja nuo 66,6 proc. mažos vertės kroviniams iki 81,3 proc. pavojingiesiems kroviniams, o į Klaipėdos uostus vežamų krovinių mokesčių dalis mažesnė – sudaro 47 proc. mažos vertės krovinių ir 76,6 proc. pavojingųjų krovinių paslaugų savikainos.

Skaičiavimų rezultatai patvirtino hipotezę, kad geležinkelių krovinių operatoriai patiria gerokai didesnes sąnaudas už viešosios infrastruktūros valdytojo teikiamas MPP paslaugas nei kelių vežėjai (infrastruktūros sąnaudos kelių vežėjų savikainoje, atsižvelgiant į maršrutą, sudaro 10–20 % visų sąnaudų).

Svarbu paminėti, kad MPP paslaugos yra tik viena infrastruktūros valdytojo teikiamų paslaugų grupių.



5 pav. Tarptautinių krovinių vežimo MPP sąnaudų dalis bendroje savikainoje, proc.

Šaltinis: sudaryta autorės.

Vežėjai gali naudotis didele įvairove geležinkelio prieigos įrenginių (GPI) paslaugų, kurias taip pat teikia viešosios infrastruktūros valdytojas bei kiti įrenginių operatoriai. Taigi, faktinės su infrastruktūros naudojimu susijusios sąnaudos yra dar aukštesnės.

Viešosios geležinkelių infrastruktūros valdytojo veikla, susijusi su MPP ir didžiąja dalimi GPI, gali būti vertinama kaip monopolinė. Paslaugų kainų nustatymo mechanizmas griežtai reglamentuotas, ilgai trunkantis procesas. Paslaugų gavėjai neturi realių svirtų, kaip paveikti paslaugų kainų lygį, todėl šis procesas išlieka valstybės reguliavimo objektu ir tokie sprendimai, kaip dalies eksploatacinių viešosios infrastruktūros sąnaudų kompensavimas biudžeto lėšomis, gali objektyviai sumažinti vežėjų finansinę naštą. Kaip jau buvo minėta, Lietuvoje taikomas visų kaštų (VK) metodas, kai visas infrastruktūros sąnaudas padengia infrastruktūros naudotojai, todėl, atsižvelgiant į šių dienų ekonomikos ir politikos aktualijas, infrastruktūros valdytojo pajamų ir sąnaudų subalansavimas tampa svarbiausiu uždaviniu.

Išvados

1. Transportas yra strateginis ES ekonomikos sektorius, kuriam keliami ambicingi strateginiai tikslai – diegti pažangias, išteklius tausojančias ir aplinkos taršą mažinančias technologijas. Pastarųjų penkerių metų tendencijos rodo, kad transportavimo apimtys keliais auga (nuo 75,1 % 2011 m. iki 76,4 % 2016 m.), o rinkos paskatos pereiti nuo kelių transporto prie kitų transporto rūšių yra nepakankamos. To priežastis – technologiniai, organizaciniai pranašumai, tačiau ekonominiai veiksniai taip pat yra svarbūs.

2. Nediskriminacinių konkurencinių sąlygų sudarymas yra svarbus veiksnys, užtikrinantis aplinką tausojančių transporto rūšių plėtrą. Straipsnyje nagrinėjama vežėjų teikiamų paslaugų savikainos ir vieno svarbiausių sąnaudų komponentų – mokesčių už naudojimąsi infrastruktūros paslaugomis – tema. Atlikta informacijos šaltinių analizė rodo, kad šalyje taikomi geležinkelių infrastruktūros mokesčiai vieni aukščiausių Europoje. MPP paslaugų kainoms pagrįsti taikomas visų kaštų padengimo metodas, dėl to šalies geležinkelių krovinių vežėjams sudėtinga konkuruoti su kitų transporto šakų vežėjais bei kitų šalių geležinkelių vežėjais.

3. Atliktas tarptautinių krovinių populiariais šalies maršrutais vežimo finansinių rezultatų modeliavimas atskleidė, kad už naudojimąsi viešosios infrastruktūros paslaugomis sumokami mokesčiai geležinkelių vežėjo savikainoje vidutiniškai sudaro 52 proc., atskirose nagrinėtose kryptyse – nuo 47 proc. iki 81,3 proc., o kelių transporto vežėjų tarptautinių maršrutų savikainoje svyruoja nuo 10 proc. iki 20 proc. Todėl Europos Sąjungoje vykstančios diskusijos dėl apmokestinimo sistemų (visų pirma, kelių transporto apmokestinimo), kuriose nagrinėjami principai „moka naudotojas“ ir „moka teršėjas“ yra savalaikiai ir neabejotinai aktualūs.

Literatūra

- AB „LTG Infra“ (2020). *Viešosios geležinkelių infrastruktūros 2020–2021 metų tarnybinio traukinių tvarkaraščio tinklo nuostatai*. Prieiga per internetą: https://ltginfra.lt/documents/12778/114099/2020_2021m._TTT_Infrastrukturos_tinklo_nuostatai_2021_09_22.pdf.
- AB „LTG Infra“ (2022). *2022 m. I pusmečio tarpinė ataskaita*. Prieiga per internetą: https://ltginfra.lt/documents/12778/11611447/LTG_INFRA_tarpin%C4%97s_ataskaitos_2022H1.pdf.
- AB „LTG Infra“ (2022). *Įsakymas dėl 2021–2022 m. tarnybinio traukinių tvarkaraščio galiojimo laikotarpio užmokesčio už minimalųjį prieigos paketą įmokų tarifų apskaičiavimo (2020 m. gruodžio 11 d. Nr. ĮS-PAJ(LGI)-467)*. Prieiga per internetą: <https://ltginfra.lt/documents/12778/5886583/U%C5%BEmokes%C4%8Dio+u%C5%BE%20MPP+%C4%AFmok%C5%B3%20tarif%C5%B3%20apskai%C4%8Diavimas+%282021-2022+TTT%29%201+%281%29.pdf>.
- Arrigo, U. ir Di Foggia G. (2014). Theoretical and viable charging models for railway infrastructure access: an European survey. *Management Research and Practice*, 6(2). Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/263996192_Theoretical_and_viable_charging_models_for_railway_infrastructure_access_an_European_survey.
- Butkus, L. (2021-03-01). Transportas ir saugojimo sektorius sukuria apie 13 % Lietuvos BVP. *Verslo žinios. Logistika ir transportas*. Prieiga per internetą: <https://www.vz.lt/transportas-logistika/2021/03/01/transportas-ir1-saugojimo-sektorius-sukuria-apie13-lietuvos-bvp>.
- Europos audito rūmai. (2018). *Padėties apžvalga. Siekiant sėkmingo transporto sektoriaus Europos Sąjungoje. Uždaviniai, kuriuos reikia išspręsti*. Prieiga per internetą: <https://op.europa.eu/webpub/eca/landscape-review-transport/lt/>.
- Independent Regulator's Group-Rail (2021). *Ninth Annual Market Monitoring Report. Main Report*. Prieiga per internetą: <https://www.irg-rail.eu/irg/documents/market-monitoring/312,2021.html>.
- Independent Regulator's Group-Rail (2021). *Ninth Annual Market Monitoring Report. Working Document*. Prieiga per internetą: <https://www.irg-rail.eu/irg/documents/market-monitoring/312,2021.html>.
- Lietuvos Respublikos Seimas (2004). *Lietuvos Respublikos geležinkelių transporto kodeksas* (2004 m. balandžio 22 d. Nr. IX-2152). Suvestinė redakcija 2022-05-01. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.232217/asr>.
- Lietuvos Respublikos Vyriausybė (2004). *Rinkliavos už naudojimąsi viešąja geležinkelių infrastruktūra nustatymo taisyklės* (2004 m. gegužės 19 d. Nr. 610). Suvestinė redakcija 2021-12-07. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.233775?jfwid=13vf82na5y>.
- Lietuvos Respublikos Vyriausybė (2012). *Valstybės pažangos strategija „Lietuva 2030“* (2012 m. gegužės 15 d. Nr. XI-2015). Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.425517>.
- Lietuvos Respublikos ryšių reguliavimo tarnyba (2022). *Viešosios geležinkelių infrastruktūros mokesčiai*. Prieiga per internetą: <https://www.rrt.lt/gelezinkeliai/apskaita-ir-kainos/uzmokescio-uz-prieigos-paketa-prieziura/>.
- Lietuvos statistikos departamentas (2022). *Oficialiosios statistikos portalas. Transportas ir ryšiai. Bendrieji transporto rodikliai*. Prieiga per internetą: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize/>.

IMPACT OF CHARGES PAID BY CARRIERS FOR THE USE OF PUBLIC INFRASTRUCTURE ON THE COMPETITIVENESS OF TRANSPORT SERVICES

Aušra Špuraitė

Vilnius College of Technologies and Design

Summary. The effort to promote environmentally friendly modes of transport is a serious pretext for reviewing the reasons why at the moment less competitive modes of transport are inferior in popularity to road transport. In addition to technological factors, the economic factor is very important, therefore, this article analyzes the composition of the cost of services of freight carriers and pays special attention to perhaps the most significant component of costs – infrastructure charges paid by carriers. The author's calculations confirm the assumption that railway freight carriers in Lithuania incur significantly higher costs of using the infrastructure than road carriers, while roads account for the largest share of transport pollution (72%). The article also presents the analysis of infrastructure charges applied in Lithuania, comparing them with similar charges in force in other countries. Countries, where a marginal costs' model is in use, the transportation costs have a smaller impact on public spending.

Key words: costs of transportation, infrastructure access charges, transport economics, competition.

APPLICATION OF BIM TECHNOLOGIES FOR INTERACTIVE ENGINEERING GRAPHIC CONTENT

Olga Ovtšarenko¹, Daiva Makutėnienė², Sunil Suwal³

¹TTK University of Applied Sciences, Pärnu road 62, Tallinn 10135, Estonia

²Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania

³Metropolia University of Applied Sciences, Myllypurontie 1 4000 - 00920, Helsinki, Finland

Abstract. Modern developing technologies require significant changes in the training of engineers and specialists in the construction industry. Given the current situation of physical distancing in the world, a new approach to training specialists is needed, in which the leading role is given to distance and independent learning using high-quality interactive learning materials. Such teaching and learning require new tools, processes and innovative solutions to activate students' motivation in learning. This article discusses the work on creating the open e-course resource of Basic Engineering Graphics with BIM integration for construction engineering students developed under an Erasmus+ project called "Using virtual technologies in STEM" (VirSTEM). It presents the process of defining the intended learning outcomes of the course through utilization of knowledge, skills and competence matrix. The paper discusses and presents the development and implementation of open educational resources. The key findings of the project emphasize on the works improving the efficiency of teaching technical disciplines, on the integration of modern technological solutions through virtual and augmented reality with traditional teaching and learning methods, and developing of new approaches in educational and methodical work. The paper also provides results of the approach undertaken in the project to develop the educational content as well as preliminary findings through student participation and feedback for the developed educational content.

Key words: interactive learning, VR, e-course, BIM, engineering graphics.

Introduction

Rapidly developing technologies, fast transfer of information, and competition require a new approach to the planning and implementation of the educational processes. The teaching and learning style, tools and environments as well as introduction of innovative solutions to support these processes have changed the way of traditional teaching and learning. Educators are continuously looking for integrative ways of utilizing new tools to support innovative teaching strategies that engage students, whereas students actively seek knowledge and best ways to learn deeper and wider than before. Students are interested in the learning process that is interactive, which requires not only listening, but also analyzing, summarizing and evaluating the received information to convert the information into useful and practical knowledge.

Amongst various educational programs, engineering studies related with the built environment like civil / architectural / construction engineering today use various digital tools and technologies integrated with model-based environments to understand the whole built environment aspects of design, construction and operation of the spaces. These model based environments support interactive platforms to engage students during the teaching and learning of a subject matter. It has been well perceived that simulators of various objects and other virtual materials are effective learning tools to help students understand the teaching content related to construction products and systems. With the use of modern tools and technologies, such simulators and environments are today quickly accessible to both educators and students. Educators can easily generate teaching contents, with the necessary

information and functions that can be easily deployed to students through web-based systems like a browser that is easily accessible, simple and intuitive.

One of the simulators was created while working as a team in the Erasmus project VirSTEM. It aims to create a digital house model and a set of teaching materials for first-year construction majors, covering everything from the history of standards to the analysis of BIM technologies. The simulator developed aims to enrich and activate student engagement as it provides tasks of this simulator are to give the learner the opportunity to independently acquire knowledge about building components and the details through an online virtual environment platform without the need of any special equipment.

The purpose of this article is to demonstrate a scientific approach (analysis of the curricula used, the use of knowledge, skills and competencies matrices, feedback analysis) to determine the formed skills of students in the development of modern interactive learning materials, which allows you to accurately select interactive tools and environments for students to work independently, increasing their interest and involvement in the educational process.

1. Literature overview

Engineering education with diversified disciplines streamline project-based learning approaches for teaching and learning about the built environment. The need of the qualified engineering professionals not only be able to specialize in ones' domain but also require cross discipline working methods and tools to actively collaborate with other project participants and stakeholders to reach the common goal of designing and

construction of buildings or an infrastructure. Today, the construction industry sees an adverse use of BIM (building information modelling) both as a tool as well as process for better built environment projects. Such practical BIM implementation requires competent engineers with adequate BIM knowledge and competence. And thus engineering education providers should actively integrate BIM tools and methodologies in their education to generate BIM ready engineers upon graduation to support the demand of the skilled workforce for the industry. BIM has perceived benefits of supporting the construction industry in a variety of ways along with improved project performance and optimized quality. BIM fundamentals focus on use of parametric objects and the information content to generate a virtual 3D model (Succar, 2009).

But to understand those models, students need some background. “Over the past decade, the global construction industry has shown a clear and urgent need for its professionals to command building information modelling (BIM) knowledge. Many educational institutions have thus incorporated BIM into their construction engineering and management-related programs. However, BIM education faces several challenges, such as the difficulties in transforming existing programs, a lack of instructors with sufficient practical knowledge and misalignment of educational outcomes and industry needs.” (Chen et al., 2020).

BIM provides various opportunities for the project stakeholders to accomplish the digital requirements, the integration possibilities to analyze as well as support coordination and collaboration on the projects (Sampaio, 2022). The impact of BIM in engineering education were studied through the teams existing competencies as most of the project participants were active BIM educators in the higher education institutions as well as several academies better classified within the architectural and engineering sector, were selected and its curricular programs were analysed. The didactic strategies of inserting BIM teachings are similar in the main concept and practice, but depending of the expertise of the school, the aspects related to architecture, structures, construction or planning are in varying levels; the level cycles of introduction BIM (bachelor, master or postgraduate) changes based on the location, degree program, content and learning outcomes of the course. Some of the partner institutions are active in providing the professional courses offered to architects and engineers with a focus towards the teaching of fundamental concepts of BIM as well as various tools that are active in a construction project. The principal aim of the curricular research is to understand the characterization as well as to map the existing level of BIM education integration in distinct academies. A resume of actions and organization of topics that promotes an adequate updating of the students’ skills was achieved, helping BIM educators in their activity.

Study technology today is not only about tools, sof-

ware and educational theory. The use of complementary technologies to facilitate learning and improve performance through the development, use and management of appropriate technological processes and resources provides more opportunities. Each engineering discipline treats the conceptual framework of modelling differently. Innovative materials and new teaching tools, educational technologies have been developing for many years. Ever since Steve Russell created the first Space War game at the Massachusetts Institute of Technology, games have grown rapidly and game elements have also been introduced into the study process. The implementation of simulation games in civil engineering studies has shown encouraging results with students learning a variety of skills including management, engineering cost control, and teamwork. This is very important in the new era of model-based systems and virtual environments that are widely popular as BIM in implementation for the construction industry.

The teaching and learning process does not avoid the usual methods - theoretical material, task solving, tests and self-control, but new technologies also offer new solutions. A lot of scientists, researchers and teachers are researching new teaching methods for engineering subjects that have their own specifics. The authors of the article have a greater opportunity to visualize a building as a series of systems, to visualize the construction sequence, to identify co-location problems and to work with other students in related fields.

Creating 3D Virtual Reality (VR) models and immersing students in that virtual world could provide an engaging and meaningful experience (Salman, 2020). It is also necessary to take into account the active use of VR in educational research, in contact lessons in the classroom and in independent work of students (Lege & Bonner, 2020).

The basic skills of specialists in certain specialties are indicated in professional standards. The Table 1 shows the requirements of the professional standard for a specialist in various industries in Estonia related to construction.

1 Table. Occupational Qualification Standards (extract)

Professional standard	Fields of Education and Training	Personal qualities required for work: abilities and characteristics	Validity
Civil Engineer in Buildings and Structures, level 6 high education qualification	Engineering, manufacturing and construction, -Architecture and construction, -Building and civil engineering	analytical ability, accuracy, spatial imagination, creativity, independence, decision making, adaptability, willingness to communicate, manage and cooperate	2021–2023

Source: Occupational Qualification Standards..., 2021.

The above list of qualities necessary for the successful work of a technical specialist primarily includes the ability to think logically, and analyze, accurately and spatially. In order to acquire them, a thorough study of real science engineering graphics is required.

2. Objectives

The project looks toward the existing courses and their linkage with respect to the fundamentals and components of Engineering graphics. Firstly, we look into different courses that have a direct as well as indirect linkage to the existing courses provided by partner universities. A total number of 18 courses along with their intended learning outcomes (ILO) ranging from 3–9 ECTS from a total of four partner universities viz. TTK UAS, Metropolia UAS, Tampere UAS, Riga Technical University (RTU) and Vilnius Gediminas Technical University (Vilnius TECH) were collected. At Vilnius TECH, engineering and digital graphics are taught in 18 study programs in 8 faculties. Learning outcomes have fundamental tasks – to present the general and applied engineering and computer graphics fundamentals necessary in civil and mechanical background engineering.

The different courses and their ECTS value and the degree program they belong to are presented in Figures 1–5.

Learning outcomes are valuable and are key to expressing the level of competence attained by a student which are normally verified by assessment(s). They are sentiments of what a learner has been able to know, understand and do on the completion of a le-

arning process. The collected learning outcomes were thus analyzed through a knowledge, skills and competence (KSC) matrix where an individual learning outcome was subdivided into the KSC components and categorized from simple to complex and from concrete to abstract through a Likert scale of 1-5, where 1 relates to that of low complexity and is concrete and 5 with a high complexity and is abstract in nature. An example of such division is provided in Figure 6.

The collected learning outcomes were further refined to define the ILOs for the engineering graphics course that are as follows: the learner:

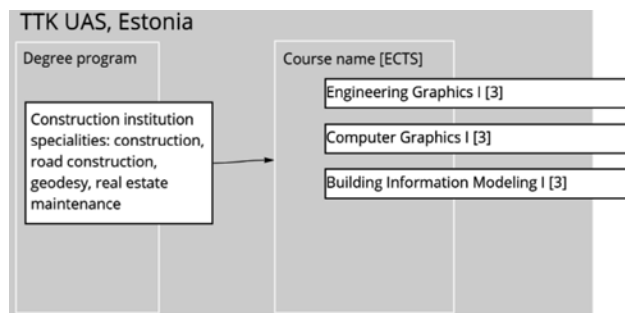


Fig 1. Courses of TTK UAS, Estonia that have the linkage with engineering graphics

Source: Article authors.

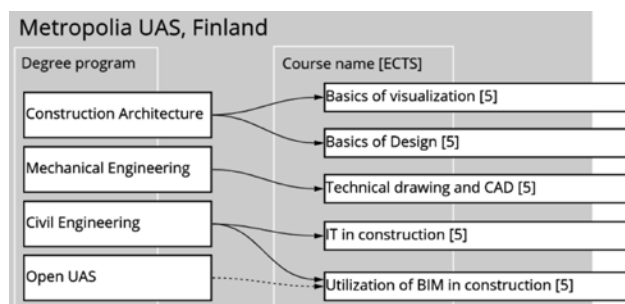


Fig 2. Courses of Metropolia UAS, Finland that have the linkage with engineering graphics

Source: Article authors.

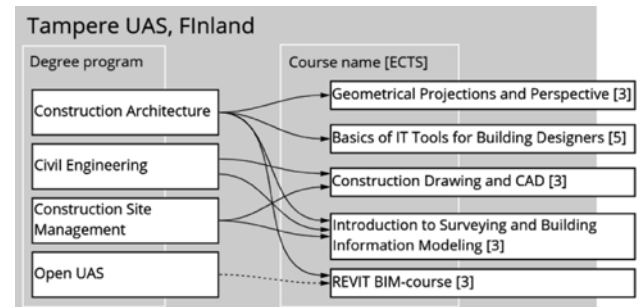


Fig 3. Courses of Tampere UAS, Finland that have the linkage with engineering graphics

Source: Article authors.

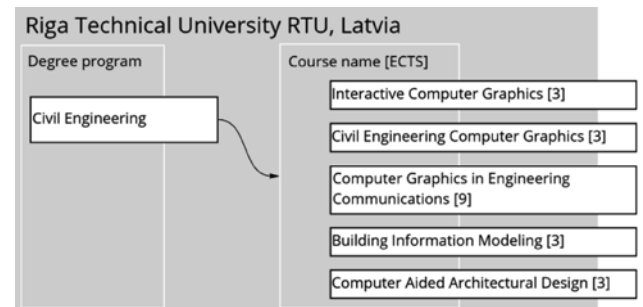


Fig 4. Courses of RTU, Latvia that have the linkage with engineering graphics

Source: Article authors.

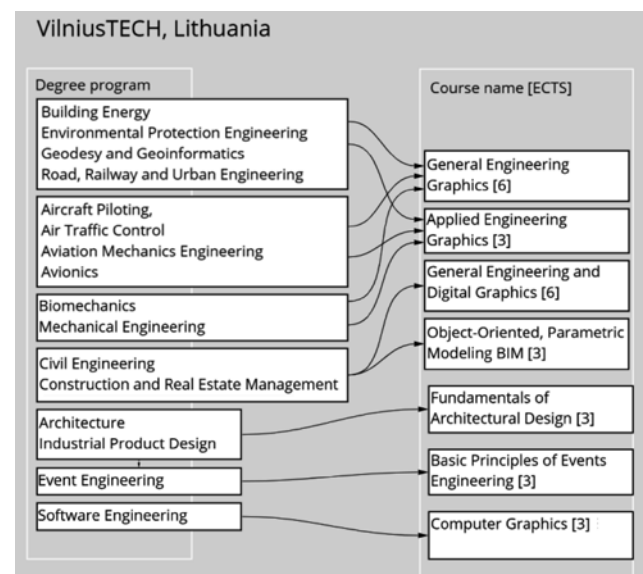


Fig 5. Courses of Vilnius TECH, Lithuania that have the linkage with engineering graphics

Source: Article authors.

Partner univeristy		Metropolia			
Course title/ECTS		Basics of visualization		5	
Course belong to		Construciton Architecture			
LEARNING OUTCOMES	Complexity	Abstractness	Knowledge	Skills	Competence
The student will be able to illustrate designs with both 2- and 3-dimensional visualization methods.	4	1	basic knowledge about design illustration	basic skill to handsketch and use computer program to draw	ability to use computer programs to draw basic 2D and 3D shape
The student will be familiar with artistic expression as a part of architectural design.	4	4	architectural expressions	basic skill to explain the use of architectural expression	ability to define architectural concepts and expressions
The student will be able to construct perspective and axonometric drawings.	3	1	descriptive geometry	basic skill to draw different views related with a solid object	ability to use computer programs to draw basic 2D and 3D shape and required views
The student will be able to use and combine colours in architectural design.	4	1	color usage in architecture	basic skill to use color combinations	ability to use color combinations
The student is aware of both traditional and computer aided illustration	4	1	computer drawing programs and workflow	basic skill to use computer drawing programs	able to use computer drawing programs to

Fig 6. KSC matrix for existing course at Metropolia related with engineering graphics

Source: Article authors.

- has an overview of standards and knows how to handle reference material,
- knows the norms that deal with making technical drawings and types of graphic images,
- can read in accordance with valid norms technical drawings with needed images,
- knows what a building information model is and what it can be used for,
- knows how to save .dwg and .pdf drawings from a BIM model,
- knows how to save the designed object in IFC format and share it with other design/project parties,
- can use model viewer software,
- understands the content structure of the model.

3. Methods

To achieve better results in the study of the subject, it is necessary to use modern technological solutions to ensure the interactivity of educational objects using mobile devices, the popularity of which is growing mobile learning needs in interactive learning objects (Hwang et al., 2021).

Mobile learning, in turn, requires the teacher to have a well-thought structure of the learning process and update / create educational material with feedback and ensure student self-control. On the Figure 7 a content test question is presented with the assessment and

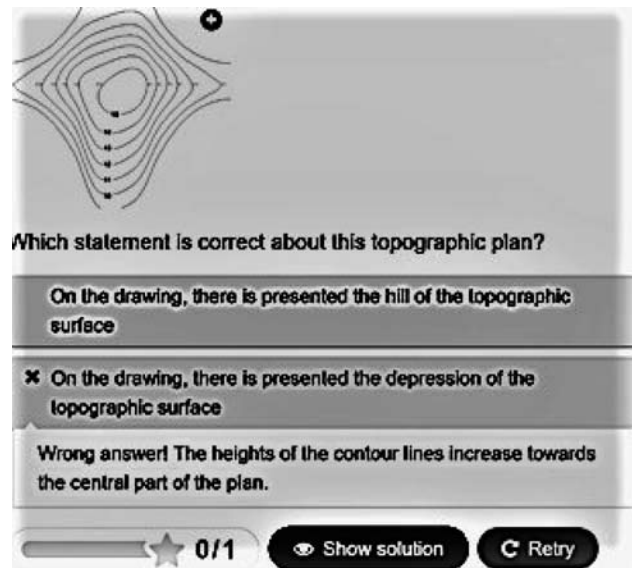


Fig 7. Interactive test example

Source: Article authors.

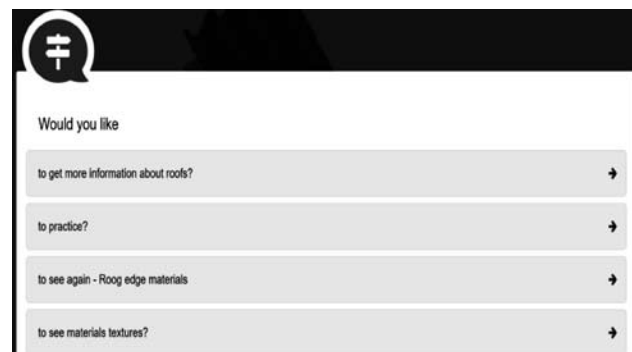


Fig 8. Branching scenario exercise with choices for a next step of the exercise

Source: Article authors.

feedback for the selected option.

Studies show that the use of a game form of learning not only increases the interest of students in the study of a particular topic and their involvement in the learning process but also has a very positive effect on the thinking process during learning, increasing the level and complexity of students' reasoning, the speed of decision making (Castronovo et al., 2022).

In the Figure 8, there is demonstrated the content of one topic's exercise with information in branching scenario form.

The use of virtual reality (VR) in teaching is a practical way to provide students with a very interesting environment for experimentation in learning, which is not always possible to find in real life (Mayer et al., 2021). VR simulators make very productive not only the individual work of the student but also the use of the simulator by a group of students who meet in the simulator environment simultaneously and can conduct joint excursions, discussions, and group experiments (Fig. 9).

Visualized and interactive educational objects turn the learning process into a very interesting activity. The student is not only actively involved in the study of the

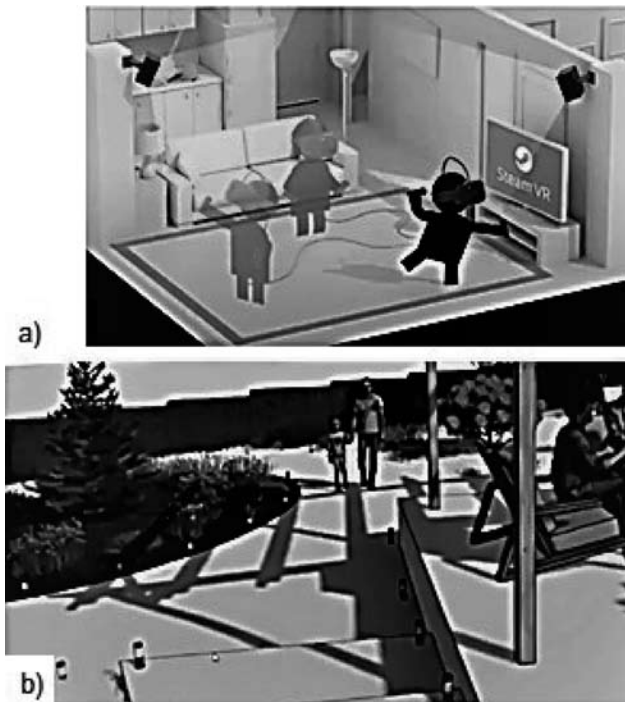


Fig 9. a) Meeting in VR, b) moving in VR environment
Source: Article authors.

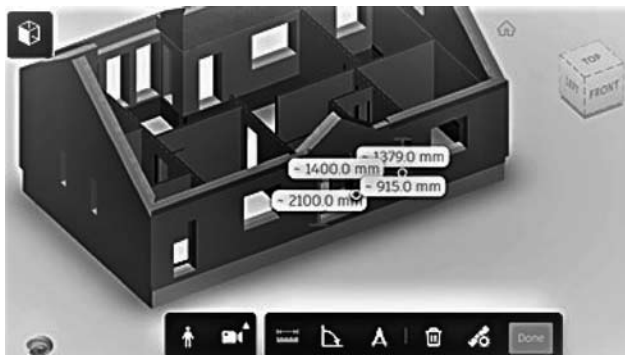


Fig 10. The house walls model viewer used for measures
Source: Article authors.

topic, but also sees a very high-quality example and the result of the work, which is a challenge for the student and at the same time is a powerful incentive for development. BIM objects are not only serve as a way of visualization, but also the objects from BIM can cater for the simultaneous use of information from different educational subjects supporting the course content.

BIM models have an impact on the spatial abilities of the students to visualize constructive components in 3D for better perception and understanding (Arcas et al., 2021). The integration of BIM technology allows the use of a virtual environment for learning, which ensures increased involvement and motivation of students. The learning process can be described as “learning by doing”, which is often difficult to implement in traditional lectures, and even more so in the student’s self-study (Timinskas et al., 2022). The 3d model viewer normally integrated in BIM applications can be actively used to support this learning process. Its integration and use help the learner to better understand the building and or the contents of the building as well as to extract information in the contextual environment. One

such environment used in the project is shown in Figure 10 along with the use of the measurement tool to inquire the geometrical properties of the components.

The VirSTEM project team, consisting of teachers, web designers and programmers, is working on creating an open educational resource using interactive objects, simulators, VR and AR. The ability of the student to use the electronic course at a convenient time for him and on an accessible device makes this educational material a good help in studying the rather complex theory of engineering graphics, and it helps to overcome difficulties with spatial imagination, use visualized objects for training and for developing student’s mental representation of another object.

4. Results

Testing e-course material and using students feedback to correct educational material was done at the project Learning/ Training/ Teaching (LTT) event. There was a total participation of 19 students of Vilnius Tech, Lithuania. The Figure 11 shows the statistics of student’s positive feedback on the question - *Using of the e-course for independent studying the subject of Basic Engineering Graphics is (pick one).*

There was also a demonstration of several modules of the course to 8 teachers of Vilnius Tech - non-participants of the project. Their feedback to the question – *I will provide my students with links to this material as additional recommended course material,* is shown in Figure 12.

In general, students and teachers’ feedbacks were very positive, and according the both of feedbacks notes, the e-course navigation, some tests questions’ con-

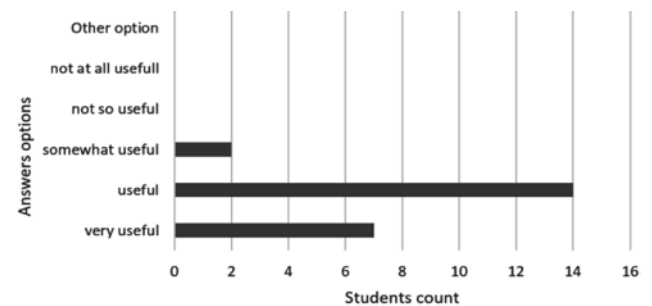


Fig 11. Statistics of student feedback
Source: Article authors.

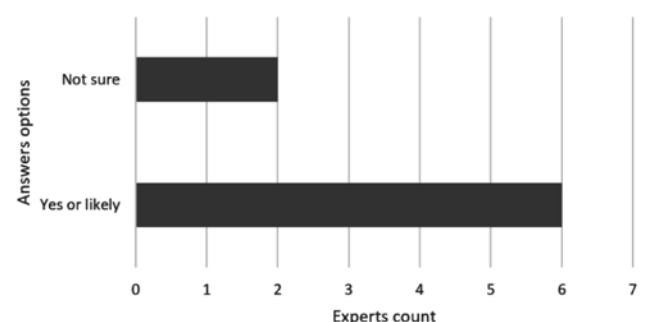


Fig 12. Statistics of teachers’ feedback
Source: Article authors.

tent and pictures resolution were updated. Students noted and highly appreciated the dynamics of changing the complexity of questions - from simple to complex, the interestingness of the content and ease of use for distance and self-study. Also, based on the feedback from the participants, it was noted the need for additional attractiveness for the course content. This suggestion has been included and supported in the development and update of the course modules.

Conclusion

1. Modern developing technologies require significant changes in the training of specialists. Given the rapid development of tools and technologies along with the various factors like the current situation of physical distancing in the world, a new approach to training specialists of the engineering domain is needed, in which the leading role is given to easily accessible distance and independent learning using high-quality interactive learning materials to support student's learning. Practise training shows that students are interested in the learning process, which is interactive, which makes it possible to directly participate in the learning process, plan their own course of the educational process, analyze, generalize and evaluate the information received or to use their own personal learning paths.

2. This article discusses the work on creating the open e-course Basic Engineering Graphics with BIM integration for specialists/personnel/students of construction domain. The Erasmus+ project "Using virtual technologies in STEM" (VirSTEM) international team which consist of teachers, designers, developers of information technology from higher education institutions from the neighbouring Baltic states - Estonia, Finland, Latvia and Lithuania, works on improving of the efficiency of teaching technical disciplines, on the integration of modern technological solutions with traditional teaching and learning methods, and on developing of new approaches in educational and methodical work.

3. The KSC matrix implemented to define the intended learning outcomes have acted as a basis to develop the open-course resource material as well as to set the target and goals of defining various activities and tasks for the specific course. BIM integration in such course modules not only help the students to actively immerse in the course content in an interesting way through utilization of virtual environment simulators but also helps them to actively understand the fundamentals of different building components and their visual representations.

4. The effectiveness of an open online course is ensured by creating a logical connection between theo-

retical information and the use of visualization, simulation and modelling approaches BIM tools provides. Online and mobile learning expand the possibilities of distance learning by providing access to quality content regardless of the time and place of learning. Engineering thinking skills are acquired in an interactive, playful way, providing a fundamental basis for target groups for the future use of BIM technology.

Reference list:

- Arcas, E., Rocamora, A., & Erades, A. (2021). Influence of BIM-Based Teaching Methodology on the Spatial Abilities of Construction Engineering Students. *Advances in Building Education*, 5(3), 9–26. <https://doi.org/10.20868/abe.2021.3.4732>.
- Castronovo, F., Stepanik, N., Van Meter, P., & Messner, J. (2022). Problem-solving processes in an educational construction simulation game. *Advanced Engineering Informatics*, 52, 101574. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101574>.
- Chen, Ke, Lu, Weisheng & Wang, Jing. (2020). University-Industry Collaboration for BIM Education: Lessons Learned from a Case Study. *Industry and Higher Education*, 34(6), 401–409.
- Hwang, B.-L., Chou, T.-C., & Huang, C.-H. (2021). Actualizing the Affordance of Mobile Technology for Mobile Learning: A Main Path Analysis of Mobile Learning. *Educational Technology & Society*, 24 (4), 67–80.
- Lege, R., & Bonner, E. (2020). Virtual reality in education: The promise, progress, and challenge. *The JALT call Journal 2020: Forum*, 16(3), 167–180. <https://doi.org/10.29140/jaltcall.v16n3.388>.
- Mayer, E., Kriszun, K., Radon, K., & Garrido, M. (2021). Designing an Educational Virtual Reality Application to Learn Ergonomics in a Work Place. In *ACM International Conference on Interactive Media Experiences (IMX '21)*, Virtual Event, NY, USA. ACM, New York, NY, USA, 6 pages. <https://doi.org/10.1145/3452918.3465504>.
- Occupational Qualification Standards: Civil Engineer in Buildings and Structures, level 6 high education qualification*. Access via internet: <https://www.kutseregister.ee/ctrl/en/Standardid/vaata/10895135>.
- Salman, A. (2020). Student Learning Assessment from a Virtual Field Trip. *EPiC Series in Built Environment*, 1, 99–107. <https://doi.org/10.29007/x8zk>.
- Sampaio, A. Z. (2022). Introducing BIM in Curricular Programs of Civil Engineering. *International Journal of Higher Education*, 11(1), p. 31.
- Succar, B. (2009). Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18, 357–375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>.
- Timinskas, E., Makuteniene, D., & Ovtšarenko, O. (2022). Erasmus project VIRSTEM interactive tools for education. *Education and New Developments*, 2: International Conference on Education and New Developments, Madeira, Portugal, 18–20 June, 2022. Ed. Mafalda Carmo. Lisboa, Portugal: GIMA, 3–7. <https://doi.org/10.36315/2022v2end001>.

BIM TECHNOLOGIJOS INTERAKTYVIAME INŽINERINĖS GRAFIKOS TURINYJE

Olga Ovtšarenko¹, Daiva Makutenienė²,
Sunil Suwal³

¹*TTK University of Applied Sciences*

²*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

³*Metropolia University of Applied Sciences*

Santrauka. Šiuolaikinės besivystančios technologijos reikalauja didelių pokyčių, rengiant statybos pramonės inžinierius ir kitus specialistus. Atsižvelgiant į tai, reikalingas naujas požiūris į specialistų rengimą, kurio metu pagrindinis vaidmuo tenka nuotoliniam ir savarankiškam mokymuisi, naudojant kokybišką interaktyvią mokymosi medžiagą. Toks mokymas ir mokymasis reikalauja naujų įrankių, procesų ir novatoriškų sprendimų, galinčių labiau motyvuoti studentus. Šiame straipsnyje aptariamas atviros prieigos bazinės inžinerinės grafi-

kos kurso, į kurį integruotas BIM, statybos inžinerijos studentams kūrimo procesas. Šis kursas kurtas pagal Erasmus+ projektą „Virtualių technologijų naudojimas STEM“ (VirSTEM). Straipsnyje pateikiamas numatomų studijų rezultatų apibrėžimas, naudojant žinių, įgūdžių ir kompetencijų matricą. Aptariamas ir pristatomas atvirųjų edukacinių išteklių kūrimas ir diegimas. Svarbiausiose projekto išvadose akcentuojami techninių disciplinų mokymo efektyvumo didinimo darbai, šiuolaikinių technologinių sprendimų integravimas per virtualią ir papildytą realybę su tradiciniais mokymo ir mokymosi metodais, naujų požiūrių ugdymas edukaciniame ir metodiniame darbe. Straipsnyje taip pat pateikiami projekte taikomo metodo, skirto ugdymo turiniui plėtoti, rezultatai, taip pat preliminarios išvados, gautos dalyvaujant studentams ir pateikiant grįžtamąjį ryšį apie sukurtą ugdymo turinį.

Reikšminiai žodžiai: interaktyvusis mokymasis, VR, e. kursai, BIM, inžinerinė grafika.

KELIO PAVIRŠIAUS NUSTATYMO TYRIMAS

Vytenis Surblys^{1,2}, Donatas Pilipuitis², Deividas Navikas^{1,2}, Petras Kaikaris¹

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

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

Anotacija. Kelio paviršiaus lygumas yra labai svarbus veiksnys saugiam eismui užtikrinti. Išanalizavus kelio paviršių ir dangos kokybę, galima ne tik pagerinti saugumą keliuose, bet ir sumažinti automobilių važiavimo išlaidas. Išmanieji telefonai yra neatsiejami įrenginiai mūsų gyvenime, o juose integruoti akcelerometrai, giroskopai ir globalios padėties nustatymo sistemos (angl. GPS – *Global positioning system*) jutikliai gali būti panaudoti kelio paviršiui nustatyti. Šio darbo tikslas – panaudojus išmaniajame telefone esantį akcelerometrą, nustatyti kelio paviršių. Darbe pateiktas „Matlab Simulink“ programine įranga sukurtas ketvirčio automobilio modelis, imituojuantis judantį ratą per vertikalius atsitiktinio dydžio nelygumus. Siekiant patikrinti teorinį modelį, atlikti realūs eksperimentiniai bandymai miesto gatvėse. Atsitiktiniu būdu pasirinktos septynios skirtingos atkarpos, o rezultatai prilyginami skirtingoms kelio lygumo klasėms pagal ISO 8606 standartą.

Reikšminiai žodžiai: kelio paviršius, akcelerometras, vertikalusis pagreitis, išmanusis telefonas, kelio paviršiaus nelygumo indeksas, vidutinis kvadratinis nuokrypis.

Įvadas

Atliekant kelio dangos analizę, naudojamos gana sudėtingos programos, lazeriniai jutikliai, specialūs pagreičio matavimo prietaisai, montuojami automobiliuose. Tyrimams atlikti reikia ir šios srities ekspertų. Vadinas, kelio dangos analizei būtinas nemažas finansavimas (Alessandroni et al., 2015). Pasak mokslininko Zhang (2020), panašų ar net geresnį rezultatą galima gauti kasdieniame gyvenime naudojant išmaniuosius telefonus. Išmaniuoju telefonu galima susieti akcelerometro duomenis su GPS ir gauti sisteminius kiekvienos vietovės duomenis. Šis procesas yra itin sistemiškas ir nesunkiai įgyvendinamas.

Darbo tikslas – nustatyti kelio paviršiaus dangos tipą ir jos kokybę naudojantis išmaniuoju telefonu.

1. Standarto ISO 8608 ir IRI indekso priklausomybė

ISO 8608 (ISO 8608:2016) yra tarptautinis ISO techninio komiteto patvirtintas standartas. Šis standartas apima mechanines vibracijas, kelio dangos profilius ir matavimo duomenų ataskaitas. ISO 8608 standartas, kaip ir IRI indeksas, apibūdina kelio nelygumą. Vis dėlto, kai mokslininkas Sayer'is ir kiti (1998) pristatė IRI (angl. *International Roughness Index*) indeksą, jis tapo populiariesnis nei ISO 8608 standartas (Sayers et al., 1998). Paprasčiausia dviejų bangų priklausomybė pateikta 1 formulėje:

$$IRI = 2,21\sqrt{G_d}; \quad (1)$$

čia: G_d – kelio nelygumo koeficientas, naudojamas ISO 8608 simuliacijoje, (m^3/rad).

ISO 8608 standarte kelio danga skirstoma į aštuonias grupes: A, B, C, D, E, F, G, H. IRI indeksas skaičiuojamas naudojant paprastesnes simuliacijas, šiam indeksui užtenka automobilio ketvirčio dinaminio modelio simuliacijos (Pawar et al., 2017). Tyrimo metu

1 lentelė. IRI indekso ir ISO 8608 priklausomybė

Kelio nelygumo klasė (ISO 8608)	Ketvirčio modelio IRI reikšmė (m/km)	Kelio nelygumo koeficientas, naudojamas ISO 8608 simuliacijoje, G_d (m^3/rad)	IRI, gautos iš G_d reikšmės, $IRI = 2,21\sqrt{G_d}$ (m/km)
A klasė	3	2	3,1
B klasė	6,1	8	6,3
C Klasė	12	32	12,5
D Klasė	24,3	128	25
E Klasė	49	512	50
F Klasė	98,2	2048	100
G Klasė	189,1	8192	200

Šaltinis: sudaryta autorių.

IRI indekso ir ISO 8608 priklausomybė pateikta 1 lentelėje.

2. Teorinio tyrimo metodika

Teorinis modelis buvo sukurtas pasirinkus „Matlab Simulink“ programinę įrangą. Šis modelis naudotas, kad būtų galima įvertinti ir palyginti eksperimentinio tyrimo rezultatus.

Geriausias dydis, apibūdinantis kelio nelygumą, yra galios spektrinis tankis. Šis dydis aprašomas ISO 8608 standarte ir tik tokiu atveju, jeigu greitis yra tolygus (He et al., 2008), 2 formulė perteikia kelio nelygumo spektrinio dydžio tankį.

$$G_d(n) = G_0(n_0)\left(\frac{n}{n_0}\right)^{-w} \quad (2)$$

čia: n_0 – erdvinis dažnis, aps/m, $n_0 = 0,1$; w – bangavimas, $1,75 < w < 2,25$, $w = 2$.

Naudojantis ISO 8608 standarto klasėmis ir Song ir kitų (2018) straipsniu, nusakomas kelio nelygumo spektrinis tankis visoms ISO standarto klasėms. Duomenys pateikti 2 lentelėje ir bus naudojami kuriant „Matlab Simulink“ modelį.

Kelio nelygumo simuliacijai atlikti pasirinkta formulė, kuri nustato kelio aukštį skirtingu laiko momentu.

2 lentelė. ISO 8608 kelio nelygumo koeficientas skirtingoms nelygumo klasėms

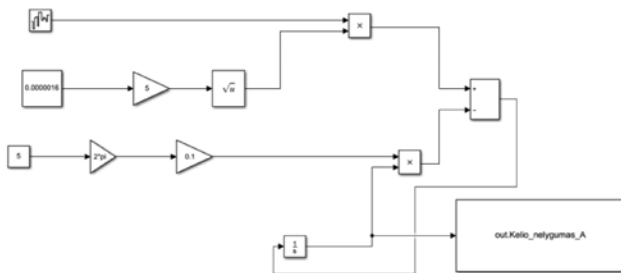
Kelio nelygumo klasė (ISO 8608)	$G(n_0)/m^3$
A	$1,6 \cdot 10^{-6}$
B	$6,4 \cdot 10^{-5}$
C	$2,56 \cdot 10^{-4}$
D	$1,024 \cdot 10^{-3}$
E	$4,096 \cdot 10^{-2}$
F	$1,6384 \cdot 10^{-2}$
G	$6,5536 \cdot 10^{-2}$
H	$2,62144 \cdot 10^{-1}$

Šaltinis: Song et al., 2018.

$$\dot{z}_0(t) = -2 \cdot \pi \cdot v_{xi}(t) \cdot n_0 \cdot z_0(t) + w(t) \sqrt{G_d(n_0) \cdot v_{xi}(t)} \quad (3)$$

čia: v_{xi} – greitis, m/s; $z_0(t)$ – vertikalus kelias skirtingu laiko momentu, m; $w(t)$ – „baltasis triukšmas“.

„Baltasis triukšmas“ generuoja atsitiktinio dydžio reikšmes skirtingais laiko momentais. Kreivė padeda sukurti atsitiktinį kelio nelygumą. Naudojant 3 formulę ir programinę įrangą „Matlab Simulink“, sukurtas modelis, kuriuo bus aprašomas atsitiktinio kelio nelygumas pagal ISO 8608 standartą. Nors kelio nelygumas atsitiktinis, jis bus sugeneruotas taip, kad atitiktų kelio nelygumo klasės standartą. Naudojantis He ir kitų (2008) bei Žuraulio ir Sokolovskij (2013) straipsniais, erdvinis dažnis parinktas $n_0 = 0,1$. Li He (2008) straipsnyje teigia, kad „baltojo triukšmo“ galios spektro tankio koeficientas turi būti 1. Atliekant simuliaciją, pasirinktas 5 m/s greitis, tai atitinka apie 18 km/h. „Matlab Simulink“ kelio nelygumo bloko modelis pavaizduotas 1 paveiksle.



1 pav. „Matlab Simulink“ blokas, generuojantis A klasės kelio nelygumą

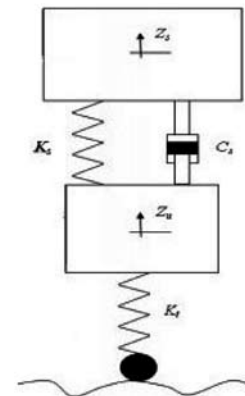
Šaltinis: sudaryta autorių.

Norint atlikti simuliaciją, reikia sugeneruoti ketvirčio modelį, jis pavaizduotas 2 paveiksle.

2 paveiksle pavaizduotą schemą galima apibrėžti lygčių sistema, kuri pateikta 4 formulėje (Pawar et al., 2017):

$$\begin{cases} m_s z_s = k_s(z_u - z_s) + c_s(\dot{z}_u - \dot{z}_s); \\ m_u z_u = -k_s(z_u - z_s) - c_s(\dot{z}_u - \dot{z}_s) - k_t(h - z_u); \end{cases} \quad (4)$$

čia: $m_s z_s$ – amortizuotos masės poslinkis, m·kg; $m_u z_u$ – neamortizuotos masės poslinkis, m·kg; k_s – standumo koeficientas, N/m; c_s – slopinimo koeficientas, N·s/m; Z_u – neamortizuotos masės vertikalus poslinkis, m; Z_s – amortizuotos masės vertikalus poslinkis, m; \dot{Z}_u – neamortizuotos masės vertikalus greitis, m/s; k_t – standumo koeficientas su kelio danga, m/s; h – kelio nelygumo suteikiamas poslinkis, m/s.



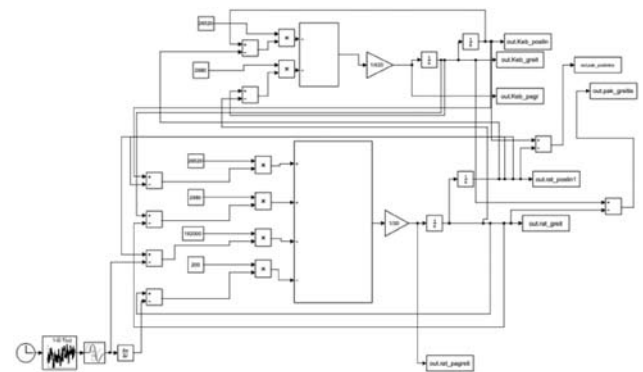
2 pav. Ketvirčio modelis (Pawar et al., 2017)

Šaltinis: sudaryta autorių.

3 lentelė. Matematinio modeliavimo pradiniai duomenys

Rodiklis	Aprašymas	Reikšmė
M	Amortizuota masė	420 kg
m	Neamortizuota masė	30 kg
k_M	Pakabos standumo koeficientas	26 520 N/m
c_m	Pakabos slopinimo koeficientas	2 980 N·s/m
k_t	Padangos standumo koeficientas	182 000 N/m
c_t	Padangos slopinimo koeficientas	200 N·s/m

Šaltinis: sudaryta autorių.



3 pav. Automobilio ketvirčio „Matlab Simulink“ blokas

Šaltinis: sudaryta autorių.

Atliekant skaitinį modeliavimą „Matlab Simulink“ programine įranga, reikia sugeneruoti automobilio ketvirčio modelį ir nelygumą, per kurį važiuos automobilis. Naudojantis 3 formule, buvo sugeneruotas tam tikros grupės kelio nelygumas, perteiktas ketvirčio modeliu. Ketvirčio modelio blokas pateiktas 3 paveiksle.

Tyrimo metu naudotas automobilis „Skoda Octavia“, pagamintas 2008 m. Pakabos slopinimo ir standumo koeficientai, amortizuota ir neamortizuota masė pateikta 3 lentelėje.

Simuliacijos trukmė – 8 sekundės. Skaičiavimas atliktas taikant paprastųjų diferencialinių lygčių (PDL) baigtinių skirtumų Oilerio skaičiavimo metodą. Duomenų fiksavimo dažnis – 500 Hz.

3. Eksperimentinio tyrimo metodika

Eksperimentinio tyrimo metu bus naudojami išmaniojo telefono (Samsung S8) pagreičio matavimo juti-

kliai ir „Skoda Octavia“ (2008 m.) automobilis. Automobilio duomenys pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. Eksperimento metu naudoto automobilio duomenys

Automobilio duomenys	
Automobilis	Skoda Octavia II
Metai	2008
Variklio dydis	1,9 l
Kėbulo tipas	Universalias
Neapkrauto automobilio masė	1 315 kg
Automobilio ilgis	4 572 mm
Automobilio plotis	1 769 mm
Klasė	Mažos klasės automobilis
Padangos	R16 205/55
Pakabos standumo koeficientas	26 520 N/m
Pakabos slopinimo koeficientas	2 980 N·s/m

Šaltinis: sudaryta autorių.

Automobilio pakabos standumo ir slopinimo koeficientai skaičiavimuose naudojami kaip nekintantys, nors automobilio pakaba gali būti susidėvėjusi.

Rezultatams tiesiogiai įtakos turi automobilio pakaba, tad tiek modeliavimo, tiek tyrimo metu bus naudojamas tas pats automobilis.

Atliekant eksperimentinį tyrimą, pasirinktas išmanusis telefonas *Samsung S8* su *Android 9.1* operacine sistema. Šioje operacinėje sistemoje tyrimui labiausiai tiko „Phyphox“ programėlė.

Programėlėje pasirinktas 500 Hz dažnis ir matuojamas z ašies pagreitis kartu su žemės sunkio jėga $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Norint išvengti papildomų slopinimų, kuriuos sukelia automobilio sėdynės ar kiti salono įrenginiai, išmanusis telefonas yra dedamas ant priekinio keleivio kilimėlio. Matuoti pradeda automobiliumi pasiekus 20 km/h greitį.

4. Eksperimentinio tyrimo metodika

Eksperimentinio tyrimo metu matuotos septynios skirtingos kelio atkarpos. Užrašytos preliminarios atkarpų koordinatės padeda tiksliau nustatyti matuojamą atkarpą, taip pat matuojamos atkarpų ilgi ir laiką, per kurį įveikiama matuojama atkarpa. Kadangi kelias yra gana platus ir galima važiuoti skirtinga kelio dalimi, atsiranda paklaida. Siekiant sumažinti paklaidos galimybę, kuri kyla dėl skirtingo padangų pėdsako, bandymas atliktas 3 kartus tame pačiame ruože. Norint sumažinti šią paklaidą, reikia kuo daugiau kartų pravažiuoti per šį ruožą (Laser... 2018). Visi duomenys pateikti 5 lentelėje.

4 paveiksle pateikta Antakalnio gatvės ruožo schema.

4 paveiksle pateikta schema rodo Antakalnio gatvės pirmojo tyrimo važiavimo trajektoriją ir bendrą atkarpų ilgį. Tyrimas buvo atliktas tris kartus skirtingomis

5 lentelė. Matuojamų atkarpų sąrašas

Gatvės pavadinimas	Koordinatų pradžia	Koordinatų pabaiga	Atkarpos ilgis, m	Matavimo laikas, s	Bandyimų skaičius
Antakalnio gatvė	54°42'31.4"N 25°18'47.6"E	54°42'33.3"N 25°18'49.0"E	60	8	3
Liepkalnio gatvė	54°39'38.2"N 25°18'11.8"E	54°39'42.3"N 25°18'07.4"E	70	10	3
Dunojaus gatvė	54°39'45.8"N 25°18'08.0"E	54°39'47.3"N 25°18'09.9"E	60	8	3
Geležinkelio gatvė	54°40'15.7"N 25°17'05.5"E	54°40'16.7"N 25°17'09.0"E	70	10	3
Plytinės gatvė	54°43'32.7"N 25°20'32.5"E	54°43'39.5"N 25°20'49.4"E	350	57	3
Nemenčinės plentas	54°43'57.1"N 25°20'05.7"E	54°44'02.0"N 25°20'13.2"E	170	31	3
Saulėtekio alėja	54°43'33.4"N 25°19'42.5"E	54°43'31.0"N 25°19'48.7"E	130	23	3

Šaltinis: sudaryta autorių.



4 pav. Antakalnio gatvės ruožo schema

Šaltinis: sudaryta autorių.

trajektorijomis, kad būtų gautas tikslesnis pagreičio vidutinis kvadratinis nuokrypis.

5. Tyrimo rezultatai

Eksperimentinis tyrimas buvo atliktas pagal aprašytą metodiką. Pirmiausia aprašyti atliktų tyrimų rezultatai, jie palyginti su teorinio modelio rezultatais ir nustatomas nelygumas, aprašytas ISO 8608 standarte. Kadangi teorinis modelis sukurtas remiantis eksperimento metu naudota technika, rezultatai turi tiksliai nusakyti kelio dangos būklę.

Pagal metodiką atlikus eksperimentinį tyrimą, gauti duomenys buvo apdoroti, suskaičiuotas pagreičio vidutinio standartinio nuokrypio vidurkis, išskirtos vidutinės reikšmės ir mediana. Visi duomenys surašyti į 6 lentelę.

6 lentelė. Tyrimo rezultatai

Gatvės pavadinimas	∂_1	∂_2	∂_3	∂_{vid}	Pagreičio rezultatai, m/s ²			
					Maksimali reikšmė	Minimali reikšmė	Vidutinė reikšmė	Mediana
Antakalnio gatvė	0,73	0,58	0,76	0,69	3,72	-2,72	-0,18	-0,16
Liepkalnio gatvė	0,91	0,92	1,06	0,96	6,01	-4,33	-0,07	-0,09
Dunojaus gatvė	0,28	0,24	0,22	0,25	0,8	-1,58	-0,11	-0,11
Geležinkelio gatvė	1,92	2,16	2,00	2,08	10,94	-8,20	-0,19	-0,16
Plytinės gatvė	0,43	0,51	0,38	0,44	3,64	-4,03	-0,14	-0,14
Nemenčinės plentas	0,53	0,52	0,53	0,53	2,33	-2,98	-0,22	-0,22
Saulėtekio alėja	0,74	0,97	0,63	0,78	3,97	-3,31	-0,20	-0,22

Šaltinis: sudaryta autorių.

7 lentelė. Teorinio modelio ir eksperimento rezultatų palyginimas

Gatvės pavadinimas	Eksperimento pagreitis, ∂_{vid}	Teorinio modelio pagreitis, ∂	Rezultatas
Antakalnio gatvė	0,693	0,772 (B kategorijos)	B kategorijos
Liepkalnio gatvė	0,966	0,772 (B kategorijos) 1,55 (C kategorijos)	B/C kategorijos
Dunojaus gatvė	0,254	0,116 (A kategorijos)	A kategorija
Geležinkelio gatvė	2,08	1,55 (C kategorijos) 3,12 (D kategorijos)	C/D kategorija
Plytinės gatvė	0,448	0,772 (B kategorijos) 0,116 (A kategorijos)	A/B kategorija
Nemenčinės plentas	0,531	0,772 (B kategorijos) 0,116 (A kategorijos)	A/B kategorija
Saulėtekio alėja	0,78	0,772 (B kategorijos)	B kategorija

Šaltinis: sudaryta autorių.

6 lentelėje pateikti trijų bandymų rezultatai panašūs. Trys bandymai atlikti, kad būtų gauti tikslesni rezultatai dėl skirtingų kelio dangos nelygumų įvairiose ruožo vietose. 7 lentelėje gauti pagreičio vidutinio kvadratinio nuokrypio duomenys palyginti su teorinio modelio pagreičio vidutinio nuokrypio duomenimis ir gautas rezultatas pagal ISO 8608.

Turint teorinio modelio ir eksperimentinio tyrimo vidutinio kvadratinio nuokrypio pagreičio reikšmes, galima nustatyti, kokia yra gatvių atkarpu kategorija. Dunojaus gatvėje gauta mažiausia pagreičio reikšmė (0,254) labai artima teorinio modelio A kategorijos atsitiktinės kelio dangos reikšmei (0,116). Tokiu būdu septynios tiriamos gatvės yra suskirstytos į kategorijas ir pagal šias kategorijas galima spręsti, ar kelias yra geros būklės, ar jį reikia remontuoti.

Išvados

1. Sukurtas teorinis „Matlab Simulink“ modelis pagal ISO 8608 standartą. Pagal ISO standarto kelio ne-

lygumo kategorijas buvo imituotos atsitiktinės kelio nelygumo dangos ir pritaikytos ketvirčio modelyje. Apdorojus pagreičio rezultatus, gautas vidutinis kvadratinis nuokrypis:

- A kateg. teorinis vidutinis kvadratinis nuokrypis – 0,116.
- B kateg. teorinis vidutinis kvadratinis nuokrypis – 0,771.
- C kateg. teorinis vidutinis kvadratinis nuokrypis – 1,553.
- D kateg. teorinis vidutinis kvadratinis nuokrypis – 3,116.
- E kateg. teorinis vidutinis kvadratinis nuokrypis – 6,243.
- F kateg. teorinis vidutinis kvadratinis nuokrypis – 12,498.

2. Eksperimentinio tyrimo metu nustatytas telefono akcelerometro pagreitis važiuojant septyniomis skirtingomis gatvėmis (Antakalnio g., Liepkalnio g., Dunojaus g., Geležinkelio g., Plytinės g., Nemenčinės pl., Saulėtekio al.). Atlikus tyrimą, buvo nustatyti vidutiniai kvadratiniai nuokrypiai ir palyginti su ISO standarto duomenimis:

- Antakalnio gatvės vidutinis kvadratinis nuokrypis (0,693) labai artimas B kategorijos teoriniam modeliui.
- Liepkalnio gatvės vidutinis kvadratinis nuokrypis (0,966) labai artimas B ir C kategorijos teoriniam modeliui.
- Dunojaus gatvės vidutinis kvadratinis nuokrypis (0,254) labai artimas A kategorijos teoriniam modeliui.
- Geležinkelio gatvės vidutinis kvadratinis nuokrypis (2,08) labai artimas C ir D kategorijos teoriniam modeliui.
- Plytinės gatvės vidutinis kvadratinis nuokrypis (0,448) labai artimas A ir B kategorijos teoriniam modeliui.
- Nemenčinės plento vidutinis kvadratinis nuokrypis (0,531) artimas A ir B kategorijos teoriniam modeliui.
- Saulėtekio alėjos vidutinis kvadratinis nuokrypis (0,780) artimas B kategorijos teoriniam modeliui.

Literatūra

- Alessandroni, G., Carini, A., Lattanzi, E. ir Bogliolo, A. (2015). Sensing road roughness via mobile devices: A study on speed influence. *2015 9th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis (ISPA)*, 270–275, <https://doi.org/10.1109/ISPA.2015.7306071>.
- He, L., Qin, G., Zhang, Y. ir Chen, L. (2008). Non-stationary Random Vibration Analysis of Vehicle with Fractional Damping. *2008 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*, 150–157. <https://doi.org/10.1109/ICICTA.2008.348>.

ISO 8608:2016. *Mechanical vibration – Road surface profiles – Reporting of measured data.*

Laser Profiler vs Smartphone – Precise vs Accurate IRI Data. Prieiga per internetą: <https://totalpave.com/blog/laser-profiler-vs-smartphone-precise-vs-accurate-iri-data/>.

Pawar, P. R., Mathew A. T. ir Saraf, M. R. (2017). *IRI (International Roughness Index): An indicator of vehicle response. Materials Today: Proceedings*, 11738–11750.

Sayers, M. W. ir Karamihas, S. M. (1998). *The little book of profiling.* The regent of the University of Michigan. USA, pp. 98–102.

Song, Y., Wang, J., Xie, J. ir Zhao, Z. (2018). Influence of Random Road Surface Roughness to Servo System. *2018 5th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, 791–795. <https://doi.org/10.1109/ICISCE.2018.00168>.

Zhang, P., Huang, J. ir Chen, S. (2020). Research on Evaluation Technology of Pavement Roughness Based on Smartphone. *2020 IEEE International Conference on Advances in Electrical Engineering and Computer Applications (AEECA)*, 123–126. <https://doi.org/10.1109/AEECA49918.2020.9213638>.

Žuraulis, V. ir Sokolovskij, E. (2018). *Vehicle Velocity Relation to Slipping Trajectory Change: An Option For Traffic Accident Reconstruction.* Vilnius: Vilnius Gediminas Technical University. 1–12 p.

RESEARCH OF ROAD SURFACE DETERMINATION

Vytenis Surblys^{1,2}, Donatas Pilipuitis²,
Deividas Navikas^{1,2}, Petras Kaikaris¹

¹*Vilnius College of Technologies and Design*

²*Vilnius Gediminas Technical University*

Summary. The smoothness of the road surface is a very important factor for ensuring safe traffic. Knowing the quality of the road surface and pavement can not only improve road safety, but also reduce the cost of driving cars. Smartphones have become integral devices in our lives, with built-in accelerometers, gyroscopes and GPS sensors that can be used to determine road surfaces. The aim of this work is to determine the road surface by using the accelerometer in the smartphone. The paper presents a model of a quarter-car model that simulates a moving wheel through vertical random-variable excitations created by Matlab Simulink software. In order to verify the theoretical model, experimental tests were carried out in the real streets of Vilnius. Seven different sections are selected and the results are compared to different road classes according to the ISO 8606 standard

Key words: road surface, accelerometer, vertical acceleration, smartphone, road surface roughness index, root mean square deviation.

AUTOMOBILIO DEFORMACIJŲ KOMPIUTERINIS MODELIAVIMAS LS DYNA PROGRAMA

Tomas Pasaulis, Robertas Pečeliūnas

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

Anotacija. Darbe analizuojama automobilio kėbulo konstrukcijos įtaka pasyviajam saugumui, nagrinėjama automobilio kėbulo kūrimo strategija, naudojamos medžiagos ir paskirtis. Apžvelgiami pagrindiniai būdai, kuriais tikrinamas kėbulo konstrukcinis saugumas, įvertinami pagrindiniai nagrinėjamų būdų privalumai ir trūkumai. Atliekamas kompiuterinis modeliavimas LS DYNA programa, naudojant automobilio „Toyota Yaris“ baigtinių elementų modelį. Aprašoma kompiuterinio modeliavimo eiga, analizuojami gauti rezultatai, sudaromi grafikai, įvertinamos automobilio deformacijos bei pateikiamos išvados. Sumodeliavus automobilio „Toyota Yaris“ susidūrimus, buvo gautos jėgos, atsirandančios susidūrimo su kliūtimi metu. Didžiausia jėga susidūrimo su nedeformuojama siena, kai persidengimas 25 proc. ir automobilis juda 30 km/h greičiu, yra apie 178,6 kN, o jei automobilis juda 50 km/h greičiu – apie 334,5 kN, t. y. padidinus greitį 20 km/h, jėga padidėja beveik 1,9 karto.

Reikšminiai žodžiai: LS DYNA, kėbulas, susidūrimas, deformacija.

Įvadas

Eismo įvykiai visame pasaulyje yra labai rimta problema, dėl kurios kiekvienais metais žūsta daugybė žmonių ir dar daugiau patiria įvairių sužalojimų. Pasaulinės sveikatos organizacijos duomenimis, kasmet dėl eismo įvykių žūsta beveik 1,3 milijono žmonių, apie 20–50 milijonų žmonių patiria įvairių sužalojimų, dėl kurių daugelis tampa neįgalūs (Road traffic injuries..., 2022).

Siekiant sumažinti neigiamą poveikį žmogui eismo įvykio metu, svarbu, kad automobilis atitiktų aukščiausius saugumo standartus. Automobilų inžinieriai, siekdami užtikrinti tinkamą automobilių saugumą, turi daug dėmesio skirti automobilio projektui, gamybai. Įvykus automobilio susidūrimui su kitu automobiliu ar objektu, atsiranda įvairių transporto priemonės deformacijų, kurios turi būti įvertintos. Egzistuoja daug įvairių priemonių ir būdų, kurie padeda įvertinti automobilio deformacijas susidūrimo metu. Atlikus gautų duomenų analizę, galima užtikrinti tinkamą automobilio kūrimo strategiją, gerinant konstrukcinį saugumą eismo įvykio metu.

Šio darbo tikslas yra išanalizuoti automobilio kėbulo kūrimo strategiją, konstrukciją ir paskirtį bei atlikti kompiuterinį automobilio, judančio skirtingais režimais, susidūrimo modeliavimą, kuris leistų pamatyti, kaip yra deformuojamas automobilis ir kaip kinta greičio ir jėgos parametrai.

1. Automobilio kėbulo kūrimo strategija ir įtaka saugumui

Projektuojant ir kuriant automobilius, labai svarbu turėti tinkamą skirtingų automobilio kėbulo dalių medžiagų parinkimo strategiją. Automobilio kėbulo dalių medžiagų parinkimas yra pati svarbiausia ir tuo pačiu sunkiausia užduotis, apimanti daug įvairių sričių. Skirtingos automobilio kėbulo dalys turi didelę įtaką

suvartojamam degalų kiekiui, ekologijai, automobilio valdymui, keleivių saugumui (Fechová et. al., 2016).

Norint užtikrinti automobilio saugumą, svarbu iš anksto nustatyti deformacijos zonas, kurios susidūrimo metu galėtų sugerti kinetinę energiją ir galbūt sumažinti pagreitį. Gaminant kėbulą siekiama, kad susidūrimo metu būtų kontroliuojamos atsirandančios kėbulo apkrovos sukuriant specialius deformacijos kelius, kurie susidūrimo metu galėtų sugerti smūgio metu atsirandančią kinetinę energiją (1 pav.) ir sumažintų neigiamą poveikį vairuotojui bei keleiviams (Vangi, 2020).



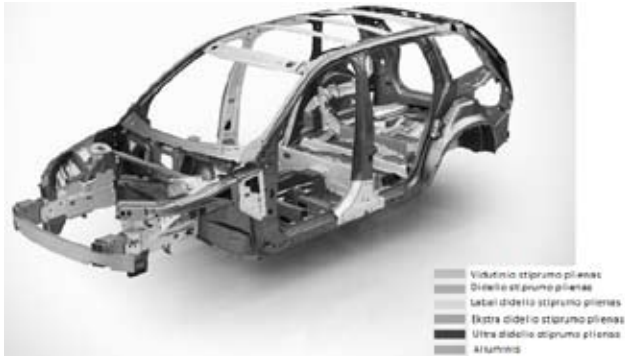
1 pav. Deformacijos keliai, sugeriantys priešpriešinio susidūrimo metu atsirandančią energiją

Šaltinis: Mercedes-Benz..., 2013.

Susidūrimo metu vairuotojo ir keleivių galimybė išgyventi yra glaudžiai susijusi su eismo įvykio metu atsirandančia žmogaus organizmo perkrova, kuri priklauso nuo automobilio kėbulo deformacijos zonos elementų gebėjimo sugerti kinetinę energiją (Evin & Tomáš, 2012).

Paprastai automobilio deformacinės zonos yra gaminamos iš deformuojamų medžiagų, o automobilyje esančios saugos zonos – iš tvirtesnių medžiagų, siekiant vairuotoją ir keleivius geriau apsaugoti eismo įvykio metu (2 pav.). Norint nustatyti, ar kėbulo struktūra yra

tinkama, ar automobilio deformacijos zonos efektyviai sugeria kinetinę energiją ir apsaugo keleivius bei vairuotoją, yra atliekami įvairūs automobilių susidūrimo testai (Offset-Deformable....).



2 pav. Automobilio „Volvo XC90“ kėbulo konstrukcinė struktūra
Šaltinis: Volvo XC90 body..., 2014.

Automobilių saugumo bandymus atlieka įvairios organizacijos, pavyzdžiui, „APV Tech Center“, „Autoliv“, „Dynamic Test Center“, „Euro NCAP“ (3 pav.) ir pan. Atlikę bandymus ir apibendrinę rezultatus, gamintojai gali gerinti ir tobulinti kuriamų automobilių kėbulo konstrukciją.



3 pav. „Euro NCAP“ realaus susidūrimo bandymas
Šaltinis: Euro NCAP...2021.

Labai svarbu tinkamai suprojektuoti automobilio kėbulą, siekiant užtikrinti efektyvų keleivių ir vairuotojų saugumą susidūrimo metu. Nors kėbulas vertinamas pagal daugelį kriterijų, tačiau pagrindiniu visgi galima laikyti gebėjimą sumažinti pasekmes susidūrimo metu.

2. Kompiuterinė įranga automobilio kėbului kurti

Daugiausia informacijos apie deformacijos procesus ir kitus pavojus, kylančius eismo įvykių metu, suteikia automobilių susidūrimo bandymų rezultatai (Prochowski et. al., 2020). Šiuo metu labai plačiai automobilių pramonėje yra naudojama kompiuterinio modeliavimo LS DYNA programinė įranga. Automobilių gamintojai, testuotojai, naudodami šią programinę

įrangą, atlieka įvairius modeliavimus ir skaičiavimus, pavyzdžiui, automobilių susidūrimo, saugos diržų efektyvumo ar automobilio kėbulo deformacijos modeliavimus. LS DYNA automobilių gamintojams padeda prognozuoti, kas nutiks jų suprojektuotoms automobilių konstrukcijoms įvykus susidūrimui, kokie bus padariniai. Visa tai leidžia automobilių gamintojams sutaupyti daug pinigų ir laiko bei palengvina visą projektavimo procesą. Gamintojams nebereikia nuolat testuoti realių automobilių modelių, užtenka programine įranga sumodeliuoti ir sukurti optimalų variantą, kuris vėliau bus testuojamas atliekant realius bandymus (LS-DYNA application...).

3. Tiriamasis automobilio modelis susidūrimui modeliuoti

Bandymams naudotas 2010 metų „Toyota Yaris“ automobilio baigtinių elementų modelis (4 pav.), skirtas įvairiems susidūrimams modeliuoti LS DYNA programine įranga. Baigtinių elementų modelis, sukurtas JAV George'o Masono universitete įsikūrusio eismo įvykių saugos ir analizės centro, yra laisvai prieinamas visiems vartotojams (Toyota Yaris Finite Element..., 2016).



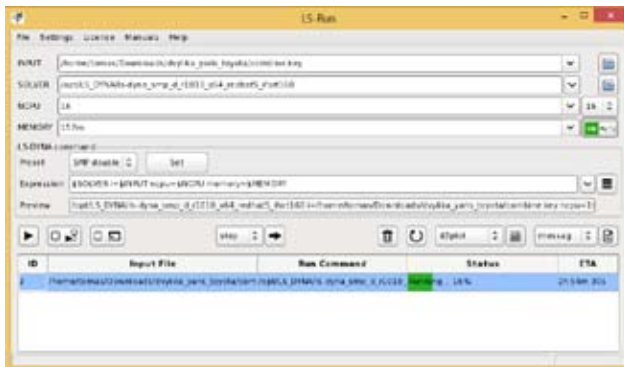
4 pav. Automobilio „Toyota Yaris“ baigtinių elementų modelis
Šaltinis: sudaryta autorių.

Automobilio „Toyota Yaris“ modelį sudaro 378 376 elementai ir 393 165 mazgai. Šiame modelyje yra tiksliai ir išsamiai atkurti realaus automobilio konstrukciniai komponentai, pakabos sistemos detalės, interjero detalės (Toyota Yaris Finite Element..., 2016).

4. Automobilio „Toyota Yaris“ susidūrimo modeliavimas LS DYNA kompiuterine programa

Automobilio modelis yra įkeliamas į LS DYNA programės „LS-PrePost“ aplinką. „LS-PrePost“ aplinkoje modelis paruošiamas skaičiavimams. Nustatomos tyrimo sąlygos, t. y. automobilio greitis, kliūtis tipas, forma, padėtis. Kliūtys nustatomos programos funkcija „rigidwall“, automobilio greitis – funkcija „velocity“, o modeliavimo trukmė – funkcija „termination“. Išėjimo duomenys nustatomi „database“ aplinkoje. Atlikus

reikiamus pakeitimus ir išsaugojus įėjimo duomenis, modeliavimo failas yra įkeliamas į „LS-Run“ aplinką (5 pav.).



5 pav. „LS Run“ skaičiavimo lango pavyzdys
Šaltinis: sudaryta autorių.

„LS-Run“ aplinkoje atlikti skaičiavimai. Gauti rezultatai išsaugoti ir apibendrinti. Visi veiksmai atliekami iš naujo kiekvienu numatytu automobilio judėjimo atveju taikant dvigubą skaičiavimą „SMP double“.

Darbe modeliuojant baigtinius elementus, pasirinktas 30 km/h ir 50 km/h greitis. Statistiškai susidūrimas dažniausia įvyksta automobilio priekiu. Dažnu atveju yra deformuojama automobilio priekinės dalies dešinė arba kairė pusė, todėl pasirinkta, kad susiduriama su nedeformuojama siena, kai persidengimas 25 proc. (žr. 6 pav.). Modeliavimo laiko intervalas – 150 ms.



6 pav. Automobilio „Toyota Yaris“ vaizdas prieš susidūrimą su nedeformuojama siena, kai persidengimas 25 proc.
Šaltinis: sudaryta autorių.

Sumodeliavus automobilio, judančio 30 km/h greičiu, susidūrimą, gauti rezultatai (7 pav.). Išanalizavus gautus rezultatus, matyti, kad po susidūrimo su nedeformuojama siena deformuota automobilio priekinė dalis arčiau kairiojo krašto, ši dalis yra sugadinta visa. Matomi išoriniai automobilio sugadinimai: sulankstytas variklio dangtis, deformuotas priekinis buferis kairėje pusėje, priekinis kairės pusės sparnas, apgadintas

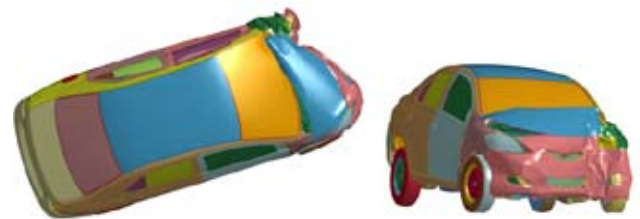


7 pav. Automobilio „Toyota Yaris“, važiuojančio 30 km/h greičiu, vaizdas po susidūrimo su nedeformuojama siena, kai persidengimas 25 proc.

Šaltinis: sudaryta autorių.

kairės pusės žibintas. Automobilis po susidūrimo buvo pasuktas prieš laikrodžio rodyklę.

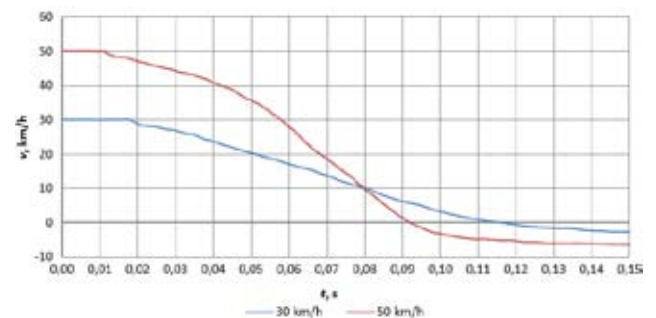
Sumodeliavus automobilio, važiuojančio 50 km/h greičiu, susidūrimą ir apžvelgus rezultatus, pateiktus 8 pav., matyti, kad po susidūrimo yra stipriai deformuota visa automobilio priekinė dalis arčiau kairiojo krašto. Paveiksle matyti tokie išoriniai automobilio sugadinimai: stipriai sulankstytas variklio dangtis, deformuotas priekinis buferis, ypač kairėje pusėje, stipriai deformuotas priekinis kairės pusės sparnas ir sulankstytas dešinės pusės priekinis sparnas, sugadintas priekinis kairės pusės žibintas, taip pat pažeista priekinio kairio rato pakaba. Po susidūrimo automobilis buvo pasuktas prieš laikrodžio rodyklę, o jo galinė dalis šiek tiek pakilo į viršų.



8 pav. Automobilio „Toyota Yaris“, važiuojančio 50 km/h greičiu, vaizdas po susidūrimo su nedeformuojama siena, kai persidengimas 25 proc.

Šaltinis: sudaryta autorių.

Susidūrimo su kliūtimi metu transporto priemonės greitis sumažėja dėl smūgio į objektą, šiuo atveju – į nedeformuojamą sieną. Toliau pateiktas greičio kitimo grafikas po susidūrimo su nedeformuojama siena, kai persidengimas 25 proc., o automobilis juda 30 km/h ir 50 km/h greičiu (9 pav.).



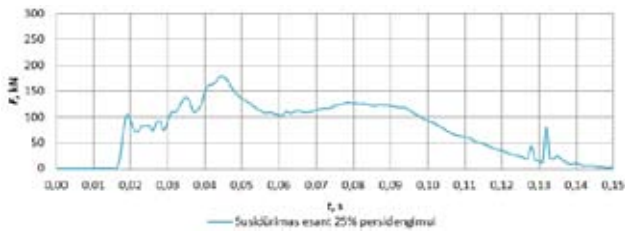
9 pav. Greičio kitimo grafikas

Šaltinis: sudaryta autorių.

9 paveiksle matyti, kad įvykus susidūrimui, 30 km/h važiuojančio automobilio greitis iki 0 km/h sumažėjo po maždaug 0,115 s, o 50 km/h važiuojančio automobilio greitis iki 0 km/h – po 0,092 s, be to, automobilio greitis įgyja neigiamą reikšmę.

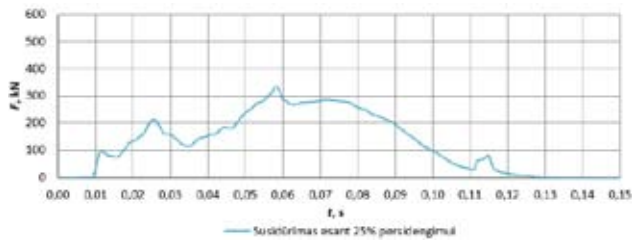
Sumodeliavus automobilio „Toyota Yaris“ susidūrimą, buvo gautos jėgos, atsirandančios susidūrimo su kliūtimi metu (10 ir 11 pav.).

Jėgos, atsirandančios susidūrimo metu, sukelia automobilio deformacijas. Galima pastebėti, kad jėgos kinta netolygiai, vadinasi, susidūrimo su kliūtimi metu sąveikauja skirtingo standumo automobilio dalys.



10 pav. Automobilį, judantį 50 km/h greičiu, susidūrimo metu veikiančios jėgos

Šaltinis: sudaryta autorių.



11 pav. Automobilį, judantį 50 km/h greičiu, susidūrimo metu veikiančios jėgos

Šaltinis: sudaryta autorių.

Išvados

1. Padidinus automobilio judėjimo greitį nuo 30 km/h iki 50 km/h, automobilio išorinės deformacijos akivaizdžiai padidėjo. Galima vizualiai pastebėti, kad automobilio deformacijos, padidinus greitį, tapo gilesnės.

2. Automobilio greitis nuo pasirinkto modeliavimo greičio (50 km/h ir 30 km/h) iki 0 km/h sumažėjo per skirtingą laiko tarpą, t. y. greitis nuo 50 km/h iki 0 km/h sumažėjo maždaug apie 0,023 s greičiau negu nuo 30 km/h iki 0 km/h.

3. Galima pastebėti, kad po susidūrimo automobilis buvo atbloktas atgal, tai parodo grafikuose pavaizduotas neigiamas greitis. Automobilis buvo pasuktas prieš laikrodžio rodyklę.

4. Didžiausia susidūrimo su nedeformuojama siena jėga, kai persidengimas 25 proc. ir automobilis juda 30 km/h greičiu, yra apie 178,6 kN, o kai automobilis juda 50 km/h greičiu, didžiausia jėga yra apie 334,5 kN, t. y. padidinus greitį 20 km/h, jėga padidėja beveik 1,9 karto.

Literatūra

- Official Subaru Outback 2021 safety rating. (2021). *Euro NCAP*. Prieiga per internetą: <http://www.euroncap.com>.
- Evin, E. ir Tomáš, M. (2012). Comparison of deformation properties of steel sheets for car body parts. *Procedia Engineering*, 48, 115–122. Elsevier Ltd. Selection and/or peer-review under responsibility of the Branch Office of Slovak Metallurgical Society at Faculty of Metallurgy and Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Košice.
- Fechová, E., Kmec, J., Vagaská, A. ir Kozak, D. (2016). Material Properties and Safety of Cars at Crash Tests. International

- Conference on Manufacturing Engineering and Materials. *Procedia Engineering*, 149, 263–268. Elsevier Ltd.
- LS-DYNA application. Prieiga per internetą: <http://www.lstc.com/applications>.
- Mercedes-Benz Group Media. 2013. Prieiga per internetą: <https://group-media.mercedes-benz.com/marsMediaSite/en/instance/picture.xhtml?oid=7609478>.
- Offset Deformable Barrier OBD. Prieiga per internetą: <https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/adult-occupant-protection/previous-tests/offset-deformable-barrier/>.
- Prochowski, L., Gidlewski, M., Ziubinski, M. ir Dziewiecki, K. (2020). Kinematics of the motorcar body side deformation process during front-to-side vehicle collision and the emergence of a hazard to car occupants. *Modelling and analysis of mechanical systems dynamics*. Springer.
- Road traffic injuries. (2022). Prieiga per internetą: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>.
- Toyota Yaris Finite Element Model Validation Coarse Mesh. (2016). Prieiga per internetą: <https://www.ccsa.gmu.edu/wp-content/uploads/2016/11/2010-toyota-yaris-coarse-validation-v1.pdf>.
- Vangi, D. (2020). *Vehicle Collision Dynamics: Analysis and Reconstruction*. Elsevier Science.
- Volvo XC90 body structure. (2014). Prieiga per internetą: <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/photos/148215/volvo-xc90-body-structure>.

COMPUTER SIMULATION OF CAR DEFORMATIONS WITH THE PROGRAM LS DYNA

Tomas Pasaulis, Robertas Pečeliūnas

Vilnius Gediminas Technical University

Summary. The work analyzes the influence of the car body structure on passive safety. The strategy of creating a car body, the materials used and their purpose are also examined. The main methods used to check the structural safety of the body are reviewed, the main advantages and disadvantages of the considered methods are evaluated. Computer simulation is carried out using the LS DYNA program, using the Toyota Yaris finite element model. The course of computer modelling is described, the obtained results are analyzed, graphs are made, car deformations are evaluated and conclusions are presented. After simulating the collisions of the Toyota Yaris car, the forces generated during a collision with an obstacle were obtained. The maximum force in the collision with a non-deformable wall at 25% overlap and the car moving at 30 km/h is about 178.6 kN, and the maximum force is about 334.5 kN when the car is moving at 50 km/h, i.e., when the speed is increased to 20 km/h, the force increases almost 1.9 times.

Key words: LS DYNA, car body, collision, deformation.

AVIONIKOS IR KARTOGRAFIJOS SRITIES ĮMONĖS „X“ REKLAMOS TEKSTŲ TERMINIJOS ANALIZĖ

Angelika Petrėtienė¹, Goda Šalkevičiūtė², Jolita Grašienė³

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

²Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Linkmenų g. 28-2, LT-08217 Vilnius

³Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

Anotacija. Straipsnyje aptariama avionikos ir kartografijos srities įmonės „X“, teikiančios matavimo ir skenavimo paslaugas, prekiaujančios bepiločiais orlaiviais, geodeziniais prietaisais ir susijusiais priedais, reklamos tekstų terminija. Leidinių, kuriuose įvairiais aspektais nagrinėjama reklamos kalba, esama nemažai. Iš lietuvių autorių išsamiai reklamos teksto ypatybes savo knygoje aptarė Župerka (2008), Smetonienė (2009). Šia tematika parašyta ir nemažai straipsnių. Kalbėdami apie reklamos stilių, įvairūs autoriai pabrėžia, kad jis yra artimiausias publicistiniam, tačiau būdingos ir kitų funkcinių stilių, tarp jų ir mokslinio, ypatybės. Būtent mokslinio stiliaus ypatybės išsamiausiai yra aptariamoms per specialybės kalbos paskaitas siekiant suformuoti studentų rašymo moksliniu stiliumi įgūdžius. Mokslinių tekstų leksikos pagrindas – terminai. Straipsnyje pasirinkta panagrinėti reklamos tekstų terminus kilmės, sandaros ir kalbos taisyklingumo aspektais.

Reikšminiai žodžiai: kalbos taisyklingumas, prepozicija, postpozicija, reklama, skoliniai, vientisiniai ir sudėtiniai terminai.

Įvadas

Kalba, vartojama bendraujant internetu, įprastai vadinama elektroniniu diskursu. VILNIUS TECH bei Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos (toliau – VTDK) absolventams dirbant gali tekti kurti ir įmonių interneto svetainių tekstus. Viena iš svetainių sudedamųjų dalių neretai būna informacija apie parduodamas ar platinamas prekes. Tokio pobūdžio tekstais siekiama perduoti informaciją apie produktą, pateikti ją patraukliai turint tikslą sudominti pirkėją, paskatinti įsigyti reklamuojamą prekę, todėl kūrėjams svarbu išmanyti ir reklamos kūrimo, poveikio adresatui ypatumus.

Reklama įvardijama kaip specifinė komunikacijos tarp reklamuotojo ir potencialaus vartotojo sritis (Romat, 1996, cituojama iš Dobržinskienė, 2012). Ji turi visus reikalingus komunikacinės veiklos komponentus, taip pat adresantą ir adresatą. <...> Išskirtinis reklamos, kaip komunikacijos akto, bruožas – ne tik perduoti informaciją, bet ir paveikti adresatą (Dobržinskienė, 2012).

Andriušytė (2006), kalbėdama apie reklamos stilių, teigia, kad reklamos teksto dominuojančios stilistinės ypatybės daro stilių artimą publicistiniam, nes jis yra tarpinis tarp mokslinio ir meninio, o reklamos tekstais meniškai perteikiama informacija. Tačiau dėl reklamoje pateikiamų žinių apie reklamuojamą daiktą, dėl kartais vartojamų mokslinių terminų reklamai būdingi ir mokslinio stiliaus bruožai. VILNIUS TECH ir VTDK per specialybės kalbos paskaitas, nagrinėjant funkcinius stilius, daugiausia dėmesio skiriama moksliniam stiliui, nes šiuo stiliumi studentai rašo mokslinius referatus, straipsnius, baigiamuosius bakalauro ir magistro darbus, rengia pranešimus. Mokslo kalbos leksikos pagrindas yra terminai. Šiame straipsnyje apžvelgiami avionikos ir kartografijos srities įmonės „X“ interneto svetainės reklamos tekstų terminai. Bet kokios srities specialistams svarbu susipažinti su terminologijos teorija, išmanyti terminų darybos būdus, žinoti šaltinius,

kuriuose būtų galima pasitikslinti, ar terminas yra taisyklingas. Reklamos tekstų kalbos taisyklingumą apskritai, taip pat vartojamų terminų atitiktį kalbos normoms būtų galima traktuoti ir kaip vieną iš teigiamo poveikio adresatui priemonių.

Straipsnyje, apžvelgiant vienažodžius terminus, apsiribota skoliniais ir hibridinės darybos terminais, nes jų vartoseną kalbos vartotojams dažniau kelia abejonių dėl taisyklingumo, t. y. suabejojama dėl skolinių ar hibridinės darybos terminų vertinimo laipsnių.

Mokslinė problema. Vienas iš reklamos tekstų tikslų – daryti teigiamą poveikį adresatui. Iš daugybės poveikio priemonių svarbus ir tekstų kalbos taisyklingumas, kaip vienas iš aspektų – taisyklinga profesinė terminija.

Straipsnio tikslas: ištirti įmonės „X“ reklamos tekstų terminus kilmės, sandaros, atitikties kalbos normoms aspektu.

Uždaviniai:

1. Išnagrinėti reklamos tekstų skolintus vientisinius terminus: nustatyti jų kilmę, atitikmens buvimą, aptarti vertinimo laipsnius.

2. Išanalizuoti sudėtinius terminus: suskirstyti juos pagal sudėtį (t. y. dvizodžiai, trižodžiai ir daugiažodžiai terminai), aptarti jų struktūrinius modelius, leidžiančius išsamiau atskleisti sudėtinių terminų sandarą, nustatyti atitiktį terminų darybos taisyklėms.

3. Aptarti sudėtinių terminų jungimo būdus, t. y. išskirti prepozicijos ir postpozicijos atvejus.

4. Išnagrinėti terminus kalbos taisyklingumo aspektu.

1. Skolinti ir hibridinės darybos terminai

Tarptautiniai terminai, svetimybės

Nagrinėtuose tekstuose aptikta daug tarptautinių terminų: *adapiteris* (angl.), *algoritmas* (pagal Vid. Azijos matematiko al Chozermio vartotą lot. formą *Al-*

gorithmi), *archeologija* (gr.), *antena* (lot.), *aplikacija* (lot.), *baterija* (pranc.), *biuras* (pranc.), *detalė* (pranc.), *diapazonas* (gr.), *dizainas* (angl.), *dronas* (angl.), *ekranas* (pranc.), *failas* (angl.), *formatas* (pranc.), *fotogrametrija* (gr.), *funkcija* (lot.), *geodezija* (gr.), *indeksas* (lot.), *infrastruktūra* (lot.), *interferencija* (lot.), *inžinerija* (angl.), *kadastras* (pranc.), *kadras* (pranc.), *kamera* (lot.), *kinematika* (gr.), *kodas* (pranc.), *kompanija* (pranc.), *konfigūracija* (lot.), *koordinatės* (lot.), *maršrutas* (pranc.), *matrica* (lot.), *minutė* (lot.), *misija* (lot.), *modelis* (pranc.), *modemas* (angl.), *modifikacija* (lot.), *modulis* (lot.), *monitoringas* (angl.), *navigacija* (lot.), *objektas* (lot.), *objektyvas* (lot.), *opcija* (angl.), *parametras* (gr.), *pilotas* (pranc.), *planšetė* (pranc.), *platforma* (pranc.), *programa* (gr.), *projektas* (lot.), *propelelis* (angl.), *prožektorius* (pranc.), *pultas* (vok.), *rastras* (vok.), *reglamentas* (pranc.), *reljefas* (pranc.), *rezoliucija* (lot.), *režimas* (pranc.), *robotas* (ček.), *sistema* (gr.), *skeneris* (angl.), *spektras* (lot.), *stabilizatorius* (lot.), *standartas* (angl.), *šablonas* (vok.), *tacheometras* (gr.), *technologija* (gr.), *temperatūra* (lot.), *teritorija* (lot.), *trajektorija* (lot.), *transliacija* (lot.), *versija* (lot.).

Tekstuose rastų tarptautinių žodžių pasiskirstymas pagal kilmę: lotynų k. – 39,13 proc., prancūzų k. – 24,64 proc., anglų k. – 15,94 proc., graikų k. – 14,49 proc., vokiečių k. – 4,35 proc., čekų k. – 1,45 proc.

Atkūrus nepriklausomybę, į lietuvių kalbą įsiliejo nemažai anglų kalbos skolinių. Vaicekauskienė (2007) akcentavo, kad „klasikinių kalbų pagrindu atsiradę naujieji anglų kalbos dariniai jau kelia vertinimo sunkumų, o į plintančius angliškus žodžius žiūrима neigiamiausiai“. Palonio (1985) nuomone, „ankstesnių anglų kalbos skolinių tarptautiškumas neneigiamas: gerai žinoma, kad lietuvių kalboje yra nemažai tarptautiniais tapusių anglų kalbos žodžių“. Iš pavyzdžių matyti, kad tarptautinių angliškos kilmės skolinių yra nemažai: vieni jų (pvz.: *dizainas*, *inžinerija*, *standartas*) jau nuo seno vartojami lietuvių kalboje, kiti (anksčiau traktuoti kaip Vakarų kalbų naujieji skoliniai, pvz.: *adapteris*, *dronas*, *failas*, *modemas*, *monitoringas*, *opcija*, *skeneris*) tapo tarptautiniai. Kai kurios anglybės, taip pat keletas iš kitų kalbų kilusių tarptautinių žodžių turi atitikmenis: *adapteris* / *siejiklis*; *aplikacija* / *programa*, *taikomoji programa*; *failas* / *rinkmena*; *kompanija* / *įmonė*, *bendrovė*; *modifikacija* / *atmaina*, *kaita*; *monitoringas* / *stebėseną*, *stebėjimas*; *opcija* / *parinktis*; *rezoliucija* / *skyrą*, *skiriamoji geba*; *skeneris* / *skleistuvą*, *skaitytuvą*, *žvalgytuvą*.

Didėjantis dronų populiarumas lemia ir dažnesnę šią realiją įvardijančių žodžių vartoseną. Šaltiniuose teikiamas ne vienas anglybės *dronas* atitikmuo: *bepilotis orlaivis* (KB, IATE), *bepilotė skraidyklė* (KB), *radijo bangomis valdomas lėktuvas* (Žegūnienė, 2014). Bitinienės (2013) teigimu, „sinonimiški terminai dažnai žymi skirtingai traktuojamas sąvokas ar įtvirtina naują mokslinę koncepciją. <...> Iš įvairių mokslo terminų žodynų kiekvienas mokslinio darbo autorius gali pasirinkti žodį, geriausiai atitinkantį jo mokslinio ty-

rimo krypties sąvoką ir stilistines nuostatas.“ Taip pat ir reklamos tekstų autoriams reikėtų pasirinkti vieną terminą. Konsultacijų banke skatinama skolinį *dronas* rinktis laisvesnio stiliaus tekstuose. Prie nenorminių priskirtinas tekstuose aptiktas aptariamąją realiją pavadinantis terminas *bepilotis kopteris*. Žodyne (Žegūnienė, 2014) nurodoma, kad angl. žodžiu *copter* šneka-mojoje kalboje įvardijamas sraigtasparnis.

Nagrinėtuose tekstuose rasta nedaug neteiktinų ir vengtinių svetimybų. *Kontroleris* (atitikmuo – *valdiklis*) priskiriamas prie neteiktinų svetimybų, *sensorius* (atitikmuo – *jutiklis*) vertinamas kaip vengtina vartoti svetimybė. Prie žargonų galima priskirti žodį *ortofoto*, norminis terminas – *aerofotografinė nuotrauka*. *Skeneris* (atitikmuo – *skaitytuvą*) teikiamas TŽŽ (2013); tekstuose pastebima netaisyklinga jo rašyba (*skaneris*).

Hibridinės darybos terminai

Reklamos tekstuose vartojama nemažai taisyklingos darybos hibridinės darybos terminų. Didžiumą sudaro veiksė pavadinimų reikšmės hibridai, sudaryti su priesaga *-imas*, pvz.: *aerokartografavimas*, *importavimas*, *inspektavimas*, *interpoliavimas*, *filtravimas*, *generavimas*, *kalibravimas*, *klasifikavimas*, *konfigūravimas*, *licencijavimas*, *pozicionavimas*, *redagavimas*, *skenavimas*, *stabilizavimas*, *sugeneravimas*, *transformavimas*.

Aptikti du hibridinės darybos priesagos *-umas* vediniai (vardažodžių abstraktai) – *funktionalumas*, *produktyvumas*, su priesaga *-ininkas* sudarytas asmenį pagal profesiją įvardijantis vedinys *geodezininkas*, taip pat deminutyvai *programėlė*, *pultelis*.

Pastebėta netaisyklinga žodžių *geo-orientavimas*, *meta duomenys* (= *georientavimas*, *metaduomenys*) rašyba. Tarptautiniai dėmenys *geo-*, *meta-* rašomi kartu su antruoju dėmeniu.

Kai kurie aptarti tarptautiniai ar hibridinės darybos terminai nagrinėtuose tekstuose aptikti ir kaip sudėtinų terminų komponentai.

2. Sudėtiniai terminai

Dvižodžiai terminai

Iš dviejų žodžių sudaryti sudėtiniai terminai yra dvejopi: 1) su prepoziciškai prijungtais dėmenimis (tokių yra daugiausia), 2) su postpoziciškai prijungtais dėmenimis (Akelaitis, 2008).

Vienas iš pirmosios grupės modelių: įvardžiuotinis būdvardiškas žodis (būdvardis, skaitvardis, neveikiamasis dalyvis) + daiktavardis. Tekstuose aptikta nemažai dvižodžių terminų, kurių pirmieji dėmenys – rūšinę ypatybę įvardijantys vns. ar dgs. išreikšti įvardžiuotiniai būdvardžiai *išmanusis (-ioji)*, *mobilusis (-ioji)*, pvz.: *išmaniosios baterijos*, *išmanusis akumuliatorius*, *išmanusis fotografavimas*, *išmanusis telefonas*, *mobilieji įrenginiai*, *mobilieji tinklai*. Taip pat taisyklingai vartojama: *keliamoji galia*, *realusis laikas*, *viešosios įstaigos*.

Taisytini šių dvižodžių terminų pažyminiai: *aukšti* (=aukštieji) *dažniai*, *bendra* (=bendroji) *masė*, *keičiami* (=keičiamieji) *objektyvai*, *pilotuojami* (=pilotuojamieji) *orlaiviai*.

Įsidėmėtina: jei būdvardiškai vartojamas termino žodis įeina į tarinį (yra tarinio vardinė dalis), vartojama neįvardžiutinė forma (Europos Sąjungos..., 2020), pvz.: *maksimali apkrova* – 2,7 kg, *maksimalus svoris* – 9 kg.

Kai nereikia apibrėžimo ar išskyrimo, vartojami neįvardžiutiniai būdvardžiai, pvz.: *aukšta kokybė*, *aukšta temperatūra*, *tankūs miškai*.

Išskirtini dvižodžiai terminai, kurių prepoziciniai dėmenimis eina priesagos *-inis*, *-ė* būdvardžiai. Gaivenis dar 1968 m. atkreipė dėmesį į tai, kad „sudarant sudėtinius technikos mokslų terminus iš dviejų žodžių, dažnai esti neaišku, ką geriau pasirinkti: būdvardį su priesaga *-inis*, *-ė* ar daiktavardžio kilmininką“. Išsamiai priesagos *-inis* būdvardžių raišką, taip pat jų sinonimiją su kilmininku monografijoje yra išnagrinėjęs Kniūkšta (1976). Nagrinėtuose tekstuose aptikta taisyklingų priesagos *-inis*, *-ė* vedinių, einančių sudėtinių terminų pažyminais, reiškiančių: medžiagą, iš kurios daiktas padarytas, pvz., *metalinės konstrukcijos*; daikto ypatybę pagal vietą, pvz., *automobilinis kroviklis*; paskirtį, pvz.: *komerčiniai dronai*, *signalinės lemputės*, *signalinės šviestos*; ypatybę pagal veikimo priemonę (ar pagal veikimo būdą), pvz.: *fotogrametrinis apdorojimas*, *lazerinis skenavimas*, *mechaninis užraktas*, *optinis artinimas*, *skaitmeninis (pri)artinimas*; iš priklausomybės kilusius šalutinius (neapibrėžtus) santykius, sąsajas ar priklausymą tam tikrai kategorijai (pagal Administracinės...), pvz.: *autonominiai skrydžiai*, *autonominė stotis*, *bazinė stotelė*, *dinaminis diapazonas*, *dirbtinis intelektas*, *fotogrametriniai matavimai*, *kibernetinis saugumas*, *magnetiniai laukai*, *magnetinė interferencija*, *programinė įranga*, *topografiniai matavimai*.

Reklamos tekstuose neaptikta neteiktinų priešdėlio *be-* ir priesagos *-inis*, *-ė* vedinių. Darybiškai taisyklingi, tačiau taisytini leksikos aspektu žodžių junginių (dvižodžių ir trižodžių) *bevieliai* (=belaidžiai) *jutikliai*, *bevieliai* (=belaidžiai) *duomenų kaupikliai* pažyminiai.

Sudurtiniai būdvardžiai paprastai nedaromi su priesaga *-inis*, *-ė*. Tekstuose vartojamų žodžių junginių *multitrotoriniai kopteriai*, *multispektrinė kamera*, *multispektrinė sistema*, *multispektrinis dronas* pažyminiai taisytini tiek leksikos, tiek žodžių darybos aspektu. Teiktina: *daugiarotoriai sraigtasparniai*; *daugiaspektrė kamera*; *daugiaspektrė sistema*; *daugiaspektris dronas* / *daugiaspektris bepilotis orlaivis* (plg. *daugiaspektris vaizdas* TB). Žodžių darybos nuostatas atitinka sudėtinis terminas *įvairiakryptė* (ne *įvairiakryptinė*) *kamera*. Tačiau tekstuose pastebėta netaisyklinga pažyminio rašyba (*įvairiekryptė*).

Akelaitis (2008) pastebi, kad dviejų žodžių terminų modelis – daiktavardžio (labai dažnai veiksmažodinio) kilmininkas + daiktavardis – yra produktyvus. Šio modelio terminų vartoseną nėra paini. Tekstuose ap-

tikta nemažai veiksmažodinių priesagos *-imas*, *-ymas* daiktavardžių kilmininkų, pvz.: *aerokartografavimo darbai*, *apšvietimo žibintas*, *fotografavimo greitis*, *gelbėjimo operacijos*, *kalibravimo lentelė*, *kartografavimo sistemos*, *krovimo laidai*, *maitinimo sistema*, *redagavimo įrankiai*, *valdymo pultas*. Veiksmažodinių abstraktų kilmininkas rodo paskirtį pagal atliekamą veiksmą (Kniūkšta, 1976). Šie kilmininkai su priesagos *-inis*, *-ė* būdvardžiais sinonimų nesudaro, nes šiuo atveju tokia daryba sunkiai įmanoma.

Dažnai nederinamojo pažyminio kilmininku pasakoma, iš kur yra kilęs ar koks yra pažymimasis daiktas. Terminologijoje jį būtų galima vadinti rūšinės priklausomybės kilmininku (Gaivenis, 1964). Tekstuose taisyklingai vartojama: *atminties kortelė* (TB, IATE), *darbo įrankis* (TB), *dujų pramonė* (EUROVOC), *ekrano įstrižainė* (TB), *elektros laidai* (TB), *gaisro židiniai* (BLKŽ), *interneto naršyklė* (IATE), *oro balionas* (IATE), *naftos pramonė* (TB), *navigacijos sistemos* (TB).

Taisytini tekstuose pastebėti žodžių junginiai *internetinė* (=interneto) *svetainė*, *internetinis* (=interneto) *tinklalapis* (dar plg. *interneto puslapis*, *interneto telefonija*, *interneto televizija* (KB)); *navigacinė* (=navigacijos) *sistema* (dar plg. *navigacijos įtaisas*, *navigacijos palydovas*, *navigacijos zona* (TB)).

Dvižodžio termino *propelerio mentės* pažymins išreikštas visumos ir dalies santykio kilmininku (dar plg. *kompiuterio dalys*, *orlaivio dalys*).

Trižodžiai ir daugiažodžiai terminai

Reklamos tekstuose rasta nemažai taisyklingų trižodžių terminų. Paprasčiausia sudedamoji modelio dalis yra tokia: vienas dvižodis sudėtinis terminas ir dar vienas (pagrindinis) dėmuo. Į grandinę gali būti įtraukti ir derinamieji, ir valdomieji (kilmininko formos) dėmenys (pagal Akelaitis, 2008), pvz.: (*biuro darbų*) *automatizavimas*, (*duomenų apsaugos*) *reglamentas*, (*duomenų perdavimo*) *sistema*, (*kelio kadastro*) *byla*, (*krovinių tvirtinimo*) *taškai*, (*kultūros paveldo*) *kartografavimas*, (*linijinių objektų*) *kartografavimas*, (*nuotolinio valdymo*) *pultas*, (*mechanizuotos gamybos*) *priemonės*, (*optinio priartinimo*) *galimybė*, (*priedų transportavimo*) *krepsys*, (*rizikos zonų*) *kartografavimas*, (*skaitmeninio vektorizavimo*) *įrankiai*, (*sklypo registro*) *duomenys*, (*skrydžio planavimo*) *modulis*, (*valdymo pulto*) *ekranas*, (*žmonių paieškos*) *darbai*.

Rasta taisytinių trižodžių terminų pavyzdžių. Kaip ir dvižodžių terminų, rūšinę ypatybę žymintys būdvardžiai vartotini įvardžiutinės formos, pvz.: *aukštos* (=aukštosios) *įtampos laidai*, *žemų* (=žemųjų) *dažnių juostos*.

Reikėtų įvardžiutinės formos sudarant sudėtinius terminus su būdvardžiu *maksimalus* (*-i*), pvz.: *maksimalus* (*-maksimalusis* / *didžiausiasis*) *kilimo svoris*, *maksimalus* (*-maksimalusis* / *didžiausiasis*) *skrydžio laikas*.

Aptikta leksikos normų neatitinkančių aptariamojo

darybos modelio sudėtinių terminų: *pilno (=viso) kadro jutiklis, pilno (=viso) kadro kamera*. Prie neteiktinos reikšmės žodžių būdvardį *pilnas, -a*, taip patrieveiksmį *pilnai* reikšmėmis *visas, -a, visiškai, -a; visai, visiškai* priskyrė J. Jablonskis. Piročkinas (1986) akcentavo, kad „šie abudu atvejai aktualūs ir mūsų dienomis“. Prabėgus daugiau nei 30 metų, aptariamųjų žodžių vartoseną vis dar kelia abejonių. Įsidėmėtini taisyklingi dvižodžiai ir daugiažodžiai terminai: *visa informacija* (IATE), *visas ekranas* (TB), *visas skrydžio laikas* (TB), *visiškas skrydžio valdymas* (IATE), *visiškojo sujungimo grandinė* (TB), *viso adreso signalai* (TB), *viso skrydžio imituoklis* (IATE). Taisytini daugiažodžių terminų pavyzdžiai: *pilnai (=visiškai) redaguojamos automatizuotos ataskaitos, pilnai (=visiškai) automatizuota fotogrametrinė programinė įranga*.

Tekstuose vartojami derinamuoju ryšiu susieti trižodžiai terminai, kurių vienas iš dėmenų – būdvardis *aukštas, -a: aukštos raiškos jutiklis, aukštos raiškos kamera, aukštos rezoliucijos nuotraukos*. Kai kuriuose žodynuose šiuo atveju teikiami sudėtiniai terminai, sudaryti su būdvardžiu *didelis, -ė*, pvz.: *didelės raiškės (HD) vaizdo kameros [ausinės], didelės raiškės televizijos kanalai* (BLKŽ), *didelės raiškos multimedijos sąsaja* (IATE). Teikiama pavyzdžių, kai angl. *high-definition* atitikmeniu sudėtiniame termine eina įvardžiutinis būdvardis *raiškūsis (-ioji)*, pvz.: *raiškioji televizija* (angl. *high-definition television*) (IATE, ETB). Anglų–lietuvių kompiuterijos žodyne teikiamas terminas *aukštoji raiška* (HD). Akivaizdu, kad šių terminų pažymini vartoseną dar nėra griežtai apibrėžta.

Mažiau rasta trižodžių sudėtinių terminų, sudarytų pagal įprastinę lietuvių kalbai pažyminių išdėstymo tvarką (derinamasis pažyminys + nederinamasis pažyminys + pažymimasis žodis), pvz.: *automatinis kliūčių apskridimas, ilgas skrydžio laikas, išmanusis baterijų valdymas, išmanusis kliūčių vengimas*.

Nedaug aptikta keturžodžių terminų. Jų darybos schema atitiktų modelį, kuriame priklausomųjų dėmenų pozicijoje eina du arba daugiau tarsi grandys sukibusių dvižodžių terminų. Tokie įtraukti terminai sudaro kilmininkų eilę (pagal Akelaitis, 2008), pvz.: *trijų baterijų (krovimo) stotelė, skrydžio duomenų (kokybės) ataskaita*.

1 paveiksle pateikiami sudėtinių terminų vartosenos ir taisyklingumo statistiniai duomenys. Kaip matyti, daugiausia vartojama dvižodžių (67 %) terminų, gerokai mažiau – trižodžių (30 %) ir keturžodžių (3 %) terminų.

Apibendrinamoji sudėtinių terminų taisyklingumo diagrama (2 pav.) rodo, kad įmonių reklamos tekstų kūrėjai neblogai išmano terminologijos teoriją: tik 23 proc. reklamos tekstuose vartojamų sudėtinių terminų neatitinka kalbos taisyklingumo kriterijaus.

Sudėtiniai terminai su postpoziciniais dėmenimis

Šio darybos tipo terminai sudaro nedidelę visų reklamos tekstuose aptiktų sudėtinių terminų dalį, todėl straipsnyje jie neskiriami pagal juos sudarančių dėme-

Dvižodžiai terminai	Trižodžiai terminai	Keturžodžiai terminai
• Taisyklingi: 54 (81 %) • Taisytini: 13 (19 %)	• Taisyklingi: 21 (70 %) • Taisytini: 9 (30 %)	• Taisyklingi: 2 (67 %) • Taisytini: 1 (33 %)

1 pav. Dvižodžių, trižodžių ir keturžodžių terminų taisyklingumo duomenys



2 pav. Apibendrinamoji sudėtinių terminų atitikties kalbos normoms diagrama

nų skaičių. Terminai su postpoziciniais prijungtais netiesioginio (prielinksninio) valdymo ir tiesioginio (linksninio) valdymo arba šliejamaisiais dėmenimis yra trijų modelių (pagal Akelaitis, 2008): vienas modelis – daiktavardis + prielinksninė konstrukcija, pvz.: *ekranas su specializuota GSR programa, vizualinė kamera su 32x skaitmeniniu artinimu*. Kitą modelį sudaro daiktavardis + daiktavardžio naudininkas arba įnagininkas, pvz.: *atsparumas magnetinėms interferencijoms, duomenų apsauga slaptažodžiu, duomenų eksportavimas GIS formatu*. Nagrinėtuose tekstuose neaptikta pagal trečiąjį modelį sudarytų terminų (daiktavardis + bendratis arba padalyvis).

Išvados

1. Apžvelgus nagrinėtų tekstų skolintinę leksiką, matyti, kad didžiumą sudaro tarptautiniai žodžiai. Kai kurie jų turi lietuviškus atitikmenis. Nedaug neteiktinų, vengtinų svetimybų, žargonybių. Nagrinėtuose tekstuose nemažai vartojama taisyklingos darybos hibridinių terminų, keletas iš jų – neatitinkantys lietuvių kalbos rašybos taisyklių.

2. Dvižodžiai terminai su prepoziciškai prijungtais dėmenimis sudaro gausiausią reklamos tekstų sudėtinių terminų grupę. Rūšinę ypatybę įvardijantys būdvardžiai ar dalyviai daugeliu atvejų vartojami išlaikant įvardžiutinę formą. Įvairūs pagal reikšmę aptikti taisyklingi priesagos *-inis, -ė* vediniai. Rasta ir taisytinių šio darybos tipo terminų, kai jų komponentus sieja rūšinė priklausomybė. Negausi trižodžių terminų grupė. Dažniausiai jie sudaryti pagal modelį: vienas dvižodis sudėtinis terminas ir dar vienas (pagrindinis) dėmuo. Rasta ir trižodžių terminų, sudarytų pagal įprastinę lietuvių kalbai modelį (derinamasis pažyminys + nederinamasis pažyminys + pažymimasis žodis). Iš kalbos normų neatitinkančių trižodžių terminų pastebėta rūšinės ypatybės raiška neįvardžiutine forma, taip pat keletas taisytinių sudėtinių terminų pažyminių, neatitinkančių leksikos normų.

3. Nagrinėtuose tekstuose reti keturžodžiai terminai. Jų priklausomųjų dėmenų pozicijoje eina du arba daugiau tarsi grandys sukibusių dvižodžių terminų. Taip pat negausi sudėtinių terminų su postpoziciniais dėmenimis grupė.

4. Terminų taisyklingumo analizė parodė, kad nagrinėtos įmonės reklamos tekstų kūrėjai neblogai susipažinę su terminologijos teorija: vartojamų terminų daugumą sudaro taisyklingi terminai.

Santrumpos

- BLKŽ – Bendrinės lietuvių kalbos žodynas
 ETB (angl. EuroTermBank) – Europos terminų bankas
 EUROVOC (angl. EU's multilingual and multidisciplinary thesaurus) – ES daugiakalbis daugiadalykis žodynas
 IATE (angl. Inter-Active Terminology for Europe) – tarpinstitucinė Europos Sąjungos terminų bazė
 KB – Konsultacijų bankas
 TB – Terminų bankas

Literatūra

- Administracinės kalbos atmintinė. Prieiga internetu: <https://alytus.lt/uploads/documents/files>.
- Akelaitis, G. (2008). Sudėtinių administracinių terminų struktūriniai modeliai. *Specialybės kalba: terminija ir studijos*, 5–12. Prieiga internetu: https://repository.mruni.eu/bitstream/handle/007/15464/specialybes_kalba_2008.
- Andriušytė, R. (2006). *Reklamos kalbos tyrinėjimai lietuvių mokslininkų darbuose*. Prieiga internetu: <https://repository.mruni.eu/>.
- Bitinienė, A. (2013). *Mokslinio teksto stilistika*. Vilnius: Lietuvos edukologijos universiteto leidykla.
- Dagienė, V.; Grigas, G. ir Jevsikova, T. *Anglų-lietuvių kompiuterijos žodynas*. Prieiga internetu: <http://www.ims.mii.lt/ALK%C5%BD/angl.html>.
- Dobrzinskienė, R. (2012). *Pragmatinė lingvistinė televizijos reklamų komunikatų analizė*. Daktaro disertacija. Prieiga internetu: <https://talpykla.elaba.lt/elabfedora/objects/elaba:2060864/dastreams/MAIN/content>.
- Europos Sąjungos institucijų vertimo į lietuvių kalbą vadovas. (2020). Prieiga internetu: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/linguistic_guidelines_lt.pdf.
- Gaivenis, K. (1964). Būdingesni kilmininko vartojimo atvejai sudėtinuose terminuose. *Kalbos kultūra*, 6: 43–47.
- Gaivenis, K. (1968). Būdvardis su priesaga *-inis*, *-ė* ar daiktavardžio kilmininkas? *Mokslas ir technika*, 10: 52.

- Kniūkšta, P. (1976). *Priesagos -inis būdvardžiai (daryba, reikšmės, gramatiniai sinonimai)*. Vilnius: Mokslas.
- Piročkinas, A. (1986). *Jono Jablonskio kalbos taisymai*. Kaunas: Šviesa.
- Smetonienė, I. (2009). *Reklama... Reklama? Reklama!* Vilnius: Tyto Alba.
- Vaicekauskienė, L. (2007). *Naujieji lietuvių kalbos svetimžodžiai*. Vilnius: Lietuvių kalbos institutas.
- Žegūnienė, N. O. (2014). *Anglų-lietuvių kalbų aviacijos terminų žodynas*. Vilnius: Technika.
- Župerka, K. (2008). *Reklamos tekstas: pragmatika, stilius, kalba*. Šiauliai: Šiaulių universiteto leidykla.

ANALYSIS OF TERMINOLOGY USED IN THE ADVERTISING TEXTS OF THE AVIONICS AND CARTOGRAPHY COMPANY “X”

Angelika Petrėtienė¹, Goda Šalkevičiūtė²,
 Jolita Grašienė³

¹Vilnius Gediminas Technical University

²Vilnius Gediminas Technical University

³Vilnius College of Technologies and Design

Annotation. This study examines the terminology used in the advertising texts provided by the avionics and cartography company “X”. The company offers various measuring and scanning solutions, sells unmanned aerial vehicles, surveying instruments and associated accessories. There are numerous publications that analyze different aspects of advertising language. Among the Lithuanian linguistic scholars, Župerka (2008) and Smetonienė (2009) extensively discussed advertising text characteristics in their books. A multitude of articles have been written on this topic as well. When it comes to identifying the hallmarks of the advertising writing style, various authors emphasize its similarity to the publicist style; nevertheless, it also possesses features that describe other functional styles, such as the scientific style. Namely, the distinctive features of the scientific style are discussed in greatest detail during the lectures of specific purpose language in an effort to shape and improve students’ scientific writing skills. Terminology is the basis of scientific texts’ lexicon. Therefore, this article examines the terminology used in advertising texts, its origin, structure and linguistic correctness.

Keywords: advertising, borrowed terms, linguistic correctness, preposition, postposition, simple and compound terms.

HARMONIC SPECTRUM ANALYSIS OF AUTOMOBILE ORIGINAL AND MODIFIED EXHAUST SYSTEM SOUND

Aurelijus Pitrėnas¹, Deividas Navikas^{1,2}, Audrius Matulis¹

¹Vilnius College of Technologies and Design, Antakalnis g. 54, LT-10303 Vilnius

²Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius

Annotation. Noise pollution is one of the many problems in the transport sector. In this article, experimental studies of the harmonic spectrum and sound levels of the automobile Volkswagen Golf MK VI R 2.0 FSI original and modified exhaust system were carried out. The tests were done with the car operating at maximum load torque and its internal combustion engine rotating at a speed from 2000 to 7000 rpm. After analyzing the measurements, it was found that the harmonic composition of the sound of the automobile with modified exhaust system has higher harmonics, and their sound pressure level is 23.53% higher, than automobile with original exhaust system.

Keywords: spectrogram, sound pressure, exhaust system, internal combustion engine.

Introduction

Noise pollution is one of pollutants which take a big role in the transport sector. This is increasingly important problem as according to World Health Organization report 360 million people worldwide have suffered from disabling hearing loss. (World Health Organization, 2021).

Speaking about noise pollution of road vehicles, usually big attention is given to sport cars. These vehicles construction, engines, exhaust systems etc. differs from public road vehicles according to individual regulations.

According to the study presented by authors (Tranter and Lowes, 2005), noise levels from Formula cars are similar to those produced by a jet plane taking off. The authors also suggest that noise pollution from motorsport penetrates not only buildings but has also an impact to areas which are near circuits.

There are a lot of carried out researches which represent noise pollution affect to surrounding (Meyer *et al.* 2019). As an example, there could be mentioned the noise levels research in which data of different automobiles sports noise exposure limits and effects highlighting current levels associated is presented. (Kardous and Morata, 2010).

A new test method for the measurement of noise emission was introduced as part of the 2011 revised EU regulation for motor vehicles (Roo *et al.* 2012) and they are improving. As well as new standards of measuring (International Organization for Standardization, 2006), or requirements for motorsport vehicle, or standard public road vehicles were described.

Researches are searching optimized construction of exhaust system (Arjunan and Baroutaji, 2021) which could not only perform the best noise reduction but also pull-out exhaust gases effectively.

For that reason, researches (Arjunan and Baroutaji, 2021; Qiu *et al.* 2021) are using different methods and their combinations (Finite element method, analysis of measured sound etc.) to determine and optimize not only noise reduction but also not losing the main function of exhaust system.

Additional problem is vehicles in public streets with modified engines or exhaust systems. Modified vehicles exhaust systems are allowed to use according to technical regulations if it fits requirements of noise and exhaust gas emissions. According to this situation detailed researches must be carried out for the transport noise pollution reduction not only for massive production vehicles for public streets or sports cars but also for modified public streets vehicles.

Main goal of this paper – obtain the sound recordings and analyze sound pressure levels and harmonic spectrums of automobile with original and modified exhaust systems.

1. Research object and methodology

During experimental tests two different exhaust systems of 2012 Volkswagen Golf MK VI R 2.0 FSI were analyzed: original and modified exhaust systems.

Modifications of tested exhaust system include: removing of the catalytic converter, removing of the muffler, making the exhaust system pipe as straight as possible.

The sound of both exhaust systems was recorded using RODE iXY stereo microphone while the vehicles engine was revved up from 2000 to 7000 rpm. During this test vehicle's engine was loaded with dynamically changing load (Fig.1). Load was provided using chassis dynamometer Cartec LPS 2510.

Recording microphone was oriented according to international standard ISO/FDIS 5130 methodology (Fig. 2). Sound was recorded at standard CD audio quality and saved as WAV files. Later these files were transferred to personal computer where they were analyzed.

For sound analysis a special audio software was used called Audacity. Using this software audio files were cropped to needed lengths, mixed to mono channel and also their spectrum was analyzed.

All experimental measurements were carried out at Automobile transport engineering department laboratory of Vilnius College of Technology and Design.



Figure 1. Vehicle under the test
Source: authors.

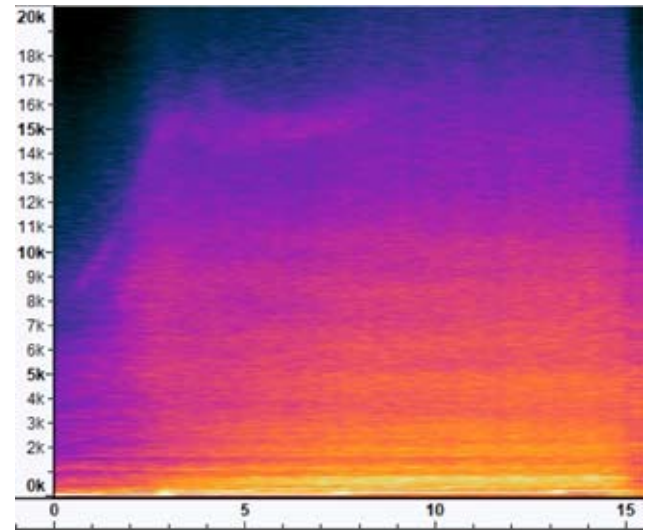


Figure 3. Full spectrogram of original exhaust system
Source: authors.



Figure 2. Orientation of recording microphone
Source: authors.

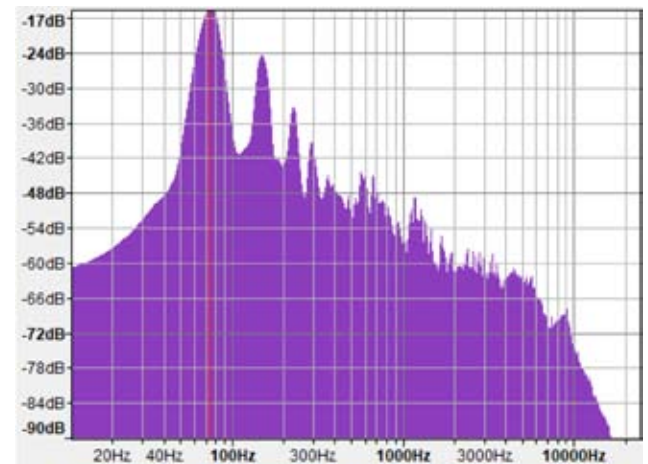


Figure 4. Spectrum analysis of the first second of sound recording with original exhaust system
Source: authors.

frequencies are located at the lower frequencies of around 0 to 1000 Hz. All higher frequencies tend to have very low sound pressure and the frequencies over 15000 Hz are practically non existing. It is impossible to connect higher frequency harmonics to the main harmonic.

In order to get the main high sound level frequencies, the first and last second of the recording were investigated and their spectrums were analyzed. They are shown in Fig. 4 and Fig. 5. As seen from Fig. 4 during first second of audio recording the main harmonic with highest pressure was recorded at around 75 Hz with -18 dB. Also, other higher order harmonics can be distinguished at 149 Hz with -24 dB and 288 Hz with -38 dB respectively.

Fig. 5 shows that during last second of audio recording the main harmonic with the highest pressure has a frequency of 236 Hz at -23 dB. It is seen clearly that basically all higher sound pressure harmonics are absent and cannot be distinguished from the recording.

In order to visualize all this low frequency harmonics new spectrogram was generated as shown in Fig. 6. In this spectrogram all frequencies higher than 1000 Hz

2. Experimental results and analysis

Two main sound recordings were chosen to spectrum analysis one of stock exhaust system and one of modified. During both test vehicles fuelled with 98RON gasoline and was under maximum power and torque testing.

First, the audio files were imported to computer software Audacity then they were cropped to length and mixed to mono audio channel.

Firstly, the original exhaust system was investigated. The recorded sound spectrogram of full frequency band is shown in Fig. 3.

As seen from Fig.3 the main high sound pressure

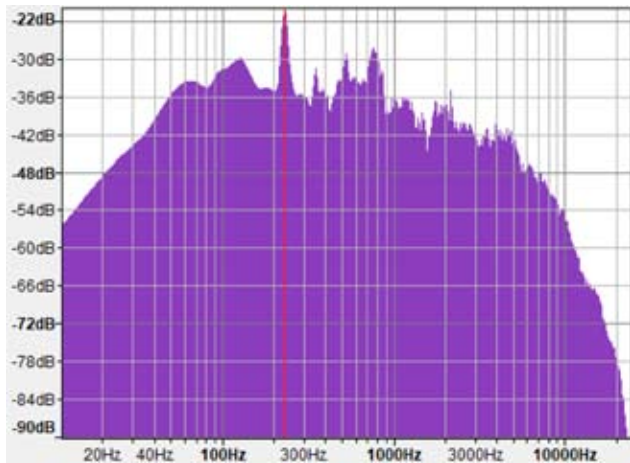


Figure 5. Spectrum analysis of the last second of sound recording with original exhaust system

Source: authors.

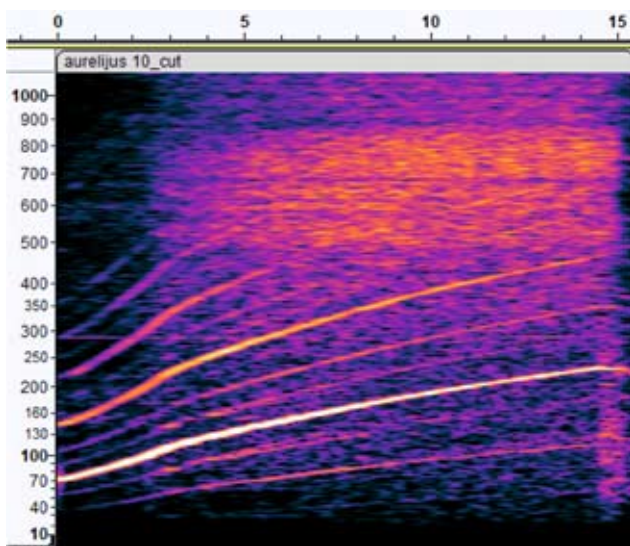


Figure 6. Spectrogram up to 1000 Hz of sound recording with original exhaust system

Source: authors.

were removed together with low sound pressure noise. This allowed to clearly identify how the frequency of main harmonic varies during full testing range, while engine speed is changing from 2000 to 7000 rpm.

As seen from Fig. 6 the sound of original exhaust system basically consists of only main harmonic and 2nd order harmonic. Some odd number harmonics could be also distinguished, but their sound pressure levels are very low and almost neglectable. Also, it is clearly visible that no higher sound pressure harmonics exist over frequencies of 500 Hz. This led to overall pleasant to human ear sounding of original exhaust system. The sound is low and comfortable.

Next the modified exhaust system was tested. Fig. 7 shows the full audio spectrogram of modified exhaust systems sound recording

As seen from Fig. 7 the audio spectrum above around 1000 Hz mainly consists of small pressure higher frequency noise. Even above 1000 Hz some harmonics can be connected to main harmonic of exhaust system sound could be identified. It was decided

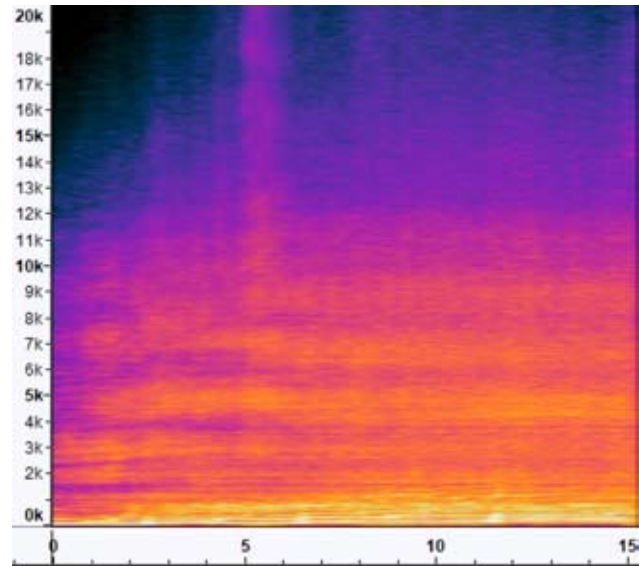


Figure 7. Full spectrogram of modified exhaust system

Source: authors.

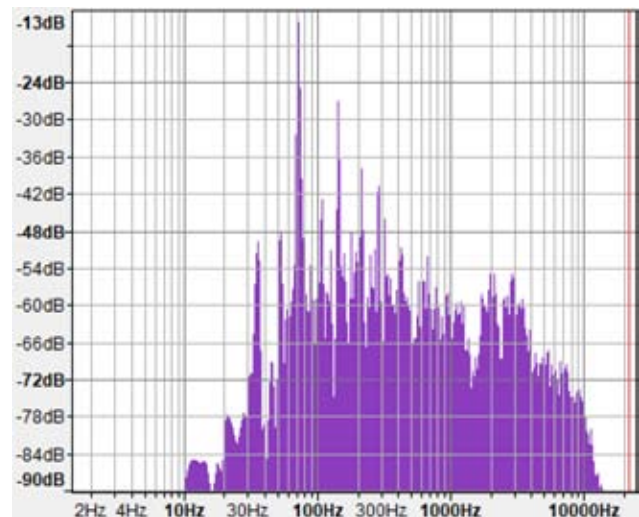


Figure 8. Spectrum analysis of the first second of sound recording with modified exhaust system

Source: authors.

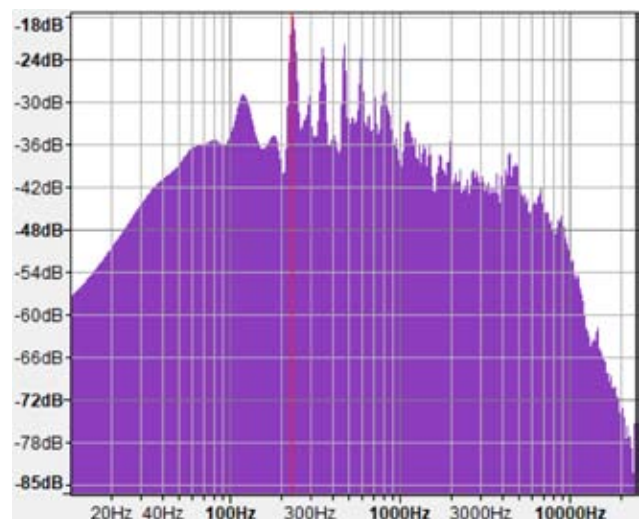


Figure 9. Spectrum analysis of the last second of sound recording with modified exhaust system

Source: authors.

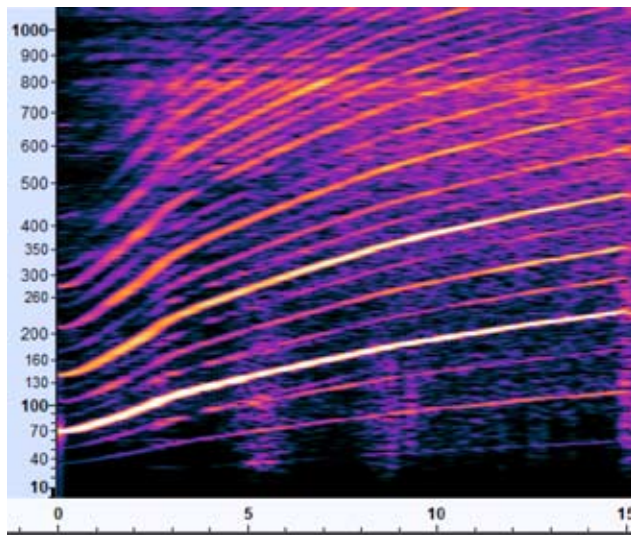


Figure 10. Spectrogram up to 1000 Hz of sound recording with modified exhaust system

Source: authors.

to look at spectrum components of both first and last second of this audio file. The results are shown on Fig. 8 and Fig. 9.

As seen from figure 8 during the first second of audio recording the main harmonic with the highest pressure was recorded at around 72 Hz with -14 dB. Also, other higher order harmonics can be distinguished at around 144 with -26 dB and 288 Hz with -42 dB.

Fig. 9 shows that during the last second of audio recording the main harmonic with the highest pressure has a frequency of 236 Hz with -18 dB. Also, some higher harmonics could be seen at frequency of 349, 473 and 586 Hz with sound pressures of around -24 dB.

In order to visualize all this low frequency harmonics new spectrogram was generated as shown in Fig. 10. In this spectrogram all frequencies higher than 1000 Hz were removed and low sound pressure noise was removed. This allowed to clearly identify how the frequency of main harmonic varies during the test while internal combustion engine is revving up and also all higher order harmonics can be seen clearly.

While analyzing Fig. 10 it is clearly seen that spectrogram consists of high sound pressure main harmonic than a bit lower pressure 2nd order harmonic and even lower pressure 4th order harmonic. This leads to high overall sound pressure because there is no sound muffler in the modified exhaust system. Also, there is a lot of odd order harmonics which make sound profile rough, squeaking and unpleasant to hearing overall.

Conclusions

From conducted experiments and their analysis it is clear that original exhaust system produces sound with lower number harmonics which has lower sound pressure levels of -17 dB. This sound is more pleasant to human hearing.

Modified exhaust system produces sound which is more aggressive and not so appealing to human hearing despite much higher sound pressure levels of -13 dB.

Main harmonic sound pressure of modified exhaust sound system was increased by 20% in recorded dB scale but about 40 % in real hearing sound pressures.

References

- Arjunan, A. & Baroutaji, A. (2021). Sound pressure level of a Formula 3 car and the influence of detachable muffler-tip. *Results in Engineering*, 11: 1–8.
- International Organization for Standardization. (2006). *Acoustics – Measurements of sound pressure level emitted by stationary road vehicles, ISO/FDIS 5130:2006*, 24 p.
- Kardous, C. A. & Morata, T. C. (2010). Occupational and recreational noise exposures at stock car racing circuits: an exploratory survey of three professional race tracks. *Noise Control Engineering Journal*, (58)1: 54–61. <https://doi.org/10.3397/1.3270506>.
- Meyer, R., Benetto, E., Mauny, F. & Lavandier, C. (2019). Characterization of damages from road traffic noise in life cycle impact assessment: a method based on emission and propagation models. *Journal of Cleaner Production*, 231: 121–131. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.185>.
- Qiu, Y., Zhou, E. L., Xue, H. T., Tang, Q., Wang, G. & Zhou, B. (2021). Analysis on vehicle sound quality via deep belief network and optimization of exhaust system based on structure-SQE model. *Applied Acoustics*, 171(107603): 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107603>.
- Roo, F. D., Dittrich, M., Bosschaart, C. & Berry, B. (2012). *Management Summary Title: Reduction of Vehicle Noise Emission-Technological Potential and Impacts*.
- Tranter, P. J. & Lowes, M. D. (2005). The place of motorsport in public health: an Australian perspective. *Health & Place*, 11(4): 379–391.
- World Health Organisation. (2021). *World Report on Hearing*, Geneva, 2021. <https://www.who.int/publications/i/item/world-report-on-hearing>.

AUTOMOBILIO ORIGINALIOS IR MODIFIKUOTOS IŠMETIMO SISTEMOS GARSO HARMONINĖS SUDĖTIES ANALIZĖ

Aurelijus Pitrenas¹, Deividas Navikas^{1,2},
Audrius Matulis¹

¹Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

²Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Santrauka. Garso tarša yra viena iš daugelio transporto sektoriaus problemų. Šiame straipsnyje pateikti eksperimentiniai originalios ir modifikuotos automobilio Volkswagen Golf MK VI R 2.0 FSI išmetimo siste-

mos skleidžiamo garso harmoninio spektro ir garso lygio tyrimų rezultatai. Tyrimai buvo atlikti automobilio vidaus degimo variklio didžiausių apkrovų momentu, variklio sūčiai kito nuo 2 000 iki 7 000 aps./min. Išanalizavus gautus duomenis, buvo nustatyta, kad automo-

bilio, kurio išmetimo sistema modifikuota, garso harmoninė sudėtis turi daugiau aukštesniųjų harmonikų ir garso lygis yra 23,53 proc. stipresnis nei automobilio, turinčio standartinę išmetimo sistemą.

Reikšminiai žodžiai: spektrograma, harmoninė sudėtis, garso slėgis, vidaus degimo variklis.

DVEJOPŲ DEGALŲ ĮTAKA SLĖGINIO UŽDEGIMO VARIKLIO GARSO SLĖGIUI IR VIBRACIJOMS

Saulius Stravinskas, Alfredas Rimkus, Jonas Matijošius

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

Anotacija. Griežtėjant aplinkosaugos reikalavimams ir didėjant planetos užterštumui, įprasto naftos kilmės dyzelino pakeitimas alternatyviais degalais sulaukia vis didesnio susidomėjimo. Alternatyvių degalų, tokių, kaip biodyzelinas ir gamtinės dujos, poveikis turi būti ištirtas, atsižvelgiant ne tik į variklio ekologinius rodiklius, bet ir į variklio vibracijas bei garso slėgį. Atliekant tyrimą, išnagrinėta dvejopų degalų – biodyzelino ir gamtinių dujų – įtaka slėginio uždegimo variklio vibracijoms ir garso slėgiui. Dujoms užsidegti naudoti pirminiai degalai (įprastas dyzelinas (D) arba *Hydrotreated vegetable oil* biodyzelinas (HVO)). Dujiniai degalai buvo gamtinės dujos (GD), įpurškiamos į įsiurbimo kolektorių, keičiant dujinių degalų energijos dalį (40, 60 ir 80 proc.). Keičiant degalų sudėtį, buvo fiksuotas pirminių degalų įpurškimo pradžios momentas, bandymai atlikti esant pastoviam variklio alkūninio veleno sukčių dažniui ir keičiant apkrovą. Eksperimentas atskleidė koreliacinius ryšius tarp dujinių degalų energijos dalies degaluose ir variklio ekologinių bei energetinių rodiklių.

Reikšminiai žodžiai: biodyzelinas, gamtinės dujos, vibracijos, garso slėgis, koreliacijos.

Įvadas

Slėginio uždegimo variklių emisijos yra vienas iš pagrindinių veiksnių, lemiančių pasaulinį atšilimą, kuris paveikia visą ekosistemą (Ashok et al., 2017). Ši problema tampa vis aktualesnė dėl didėjančio transporto priemonių, kurios yra pagrindinės dyzelino naudotojos, skaičiaus (Owen et al., 2010). Ribotos naftos atsargos kartu su žalingu iškastinių degalų poveikiu aplinkai yra pagrindinė priežastis atlikti mokslinius tyrimus alternatyvių degalų srityje (Ashok et al., 2021).

Slėginio uždegimo varikliai dėl patikimumo, nedidelių degalų sąnaudų, ilgaamžiškumo ir gerų dinamių charakteristikų yra labai populiarūs transporto sektoriuje. Tačiau tokios problemos, kaip didelės NO_x ir kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos, vibracija, sukelia didelę taršą, taip pat vairavimo diskomfortą ir nuovargį (International Energy Agency, 2014; Satsangi & Tiwari, 2018). Vibracijos, kurių kartais nepaisoma, yra esminis variklio veikimo ir keleivių komforto veiksnys. Kūno vibracijos daro įtaką keleivių sveikatai ir yra glaudžiai susijusios su variklio vibracijomis (Omar et al., 2017).

Slėginio uždegimo variklio vibracijas ir garsą tyrė daug mokslininkų (Çelebi et al., 2017). Jie atliko eksperimentinį tyrimą su slėginio uždegimo varikliu, veikiančiu penkiais skirtingais alkūninio veleno sukčių dažniais ir naudojančiu dyzelino ir biodyzelino mišinius kartu su gamtinėmis dujomis. Pagrindiniai tyrimo rezultatai tokie: variklio vibracijos ir garso slėgis stipriai didėja didėjant variklio sukčiams; palyginti su įprastu dyzelinu, garso slėgis ir vibracijos sumažėja naudojant biodyzelino mišinius; vibracijos ir garso slėgio reikšmės sumažėja papildomai tiekiant gamtines dujas kartu su įsiurbiamu oru; biodyzelino mišiniai turi teigiamos įtakos CO emisijoms, tačiau gamtinių dujų naudojimas pastebimai padidino CO emisiją. Nors pasirinkus biodyzeliną padidėjo CO_2 ir NO_x emisijos, tačiau gamtinių dujų naudojimas jas sumažino (Çelebi et al., 2017).

Atlikęs tyrimą, Çalik (2018) nustatė, kad variklio alkūninio veleno sukčių dažnis turi didelį poveikį vibracijoms. Kai jis padidėja, vibracijos taip pat didėja. Biodyzelino, pagaminto iš panaudoto aliejaus, pasirinkimas vietoj įprasto dyzelino sumažina variklio vibracijas dėl pagerėjusio degimo proceso, didesnis deguonies kiekis biodyzeline lemia trumpesnį degimo gaišties periodą (Çalik, 2018).

1. Tyrimo metodika

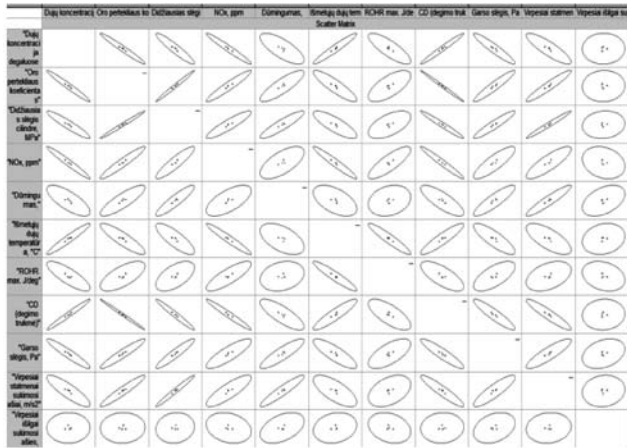
Eksperimentiniai slėginio uždegimo (SU) variklio, veikiančio skystais (dyzelinu, biodyzelinu) ir dujiniais (gamtinėmis dujomis) degalais, energetinių ir ekologinių rodiklių tyrimai atlikti pasirinkus 1,9 TDI (1Z) variklį su apkrovos stendu. Tai keturių cilindrų tiesioginio įpurškimo dyzelinis variklis su turbokompresoriumi, pasiekiantis 66 kW galią ir 182 Nm sukimo momentą. 1 lentelėje pateikti pagrindiniai SU variklio 1,9 TDI techniniai rodikliai. Varikliui sumontuota dujų tiekimo sistema *Dual fuel* (*Elpigaz – Degamix*) gamtinėms dujoms (GD) tiekti. GD buvo tiekiamos į įsiurbimo kolektorių prieš turbokompresorių (1 pav.).

Fiksuota variklio apkrova (sukimo momentas M_B) ir alkūninio veleno sukčiai n (aps./min.) buvo nustatyti apkrovos stendu *KI-5543*. M_B matavimo paklaida –

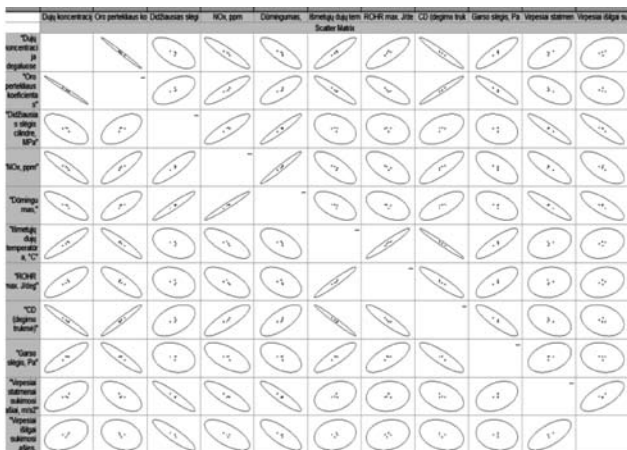
1 lentelė. Slėginio uždegimo variklio TDI (1Z) techniniai rodikliai

Parametras	Reikšmė
Darbinis tūris, V_D , cm^3	1 986
Cilindrų skaičius	4
Dujų skirstymo mechanizmas	OHC
Suspaudimo laipsnis	19,5
Cilindro skersmuo, mm	79,5
Stūmoklio eiga, mm	95,5
Didžiausia galia, P , kW	66 (4 000 aps./min.)
Didžiausias sukimo momentas, M , Nm	182 (2 000–2500 aps./min.)

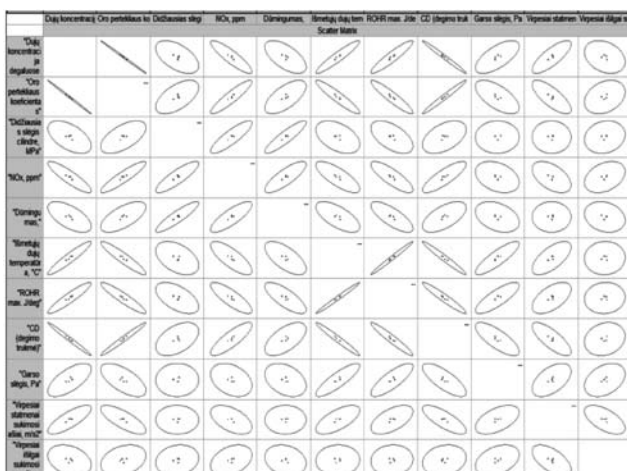
energijos dalis skystuose degaluose teigiamai koreliuoja su išmetamųjų dujų temperatūra, šilumos išsiskyrimo intensyvumu (ROHR), garso slėgiu ir virpesiais išilgai cilindrų. Neigiamos koreliacijos pastebimos su oro pertekliaus koeficientu, slėgiu cilindre, NO_x emisija, dūmingumu ir degimo trukme (7, 8 pav.).



6 pav. Vibracijų ir garso slėgio koreliaciniai ryšiai su variklio rodikliais. $BMEP = 0,4$ MPa. Pirminiai degalai – HVO
Šaltinis: sudaryta autorių.



7 pav. Vibracijų ir garso slėgio koreliaciniai ryšiai su variklio rodikliais. $BMEP = 0,6$ MPa. Pirminiai degalai – dyzelinas
Šaltinis: sudaryta autorių.



8 pav. Vibracijų ir garso slėgio koreliaciniai ryšiai su variklio rodikliais. $BMEP = 0,6$ MPa. Pirminiai degalai – HVO
Šaltinis: sudaryta autorių.

Tokią koreliaciją, kai apkrova $BMEP = 0,6$ MPa, galima paaiškinti pasikeitusiu degimo procesu. Kai apkrova didesnė ir dujinių degalų yra 60 proc. ir daugiau, oro pertekliaus koeficientas ($\lambda = 2-1,9$) sumažėja iki savaiminio gamtinių dujų degimo ribų ($\lambda < \sim 1,9$) (4 pav.). Dujoms užsidegti reikia pirminių degalų, tačiau liepsnos frontas dujose sklinda savaime, o purškiami skysti degalai dega kartu. Dėl šios priežasties intensyvėja šilumos išsiskyrimas, tačiau dujiniai degalai vis tiek liepsnoja lėčiau pradinėje degimo fazėje nei 100 proc. dyzelinas arba biodyzelinas HVO, todėl didžiausias slėgis cilindre mažėja, trumpėja degimo trukmė, mažėja NO_x emisija, dūmingumas. Šios tendencijos panašios naudojant įprastą dyzeliną arba biodyzeliną HVO.

Išvados

Išanalizavus slėginio uždegimo variklio bloko vibracijų cilindrų išilgine ir skersine kryptimis bei garso slėgiu, varikliui veikiant skystais ir dvejopais degalais ir didinant dujinių degalų energijos dalį degaluose, koreliacinius ryšius su variklio ekologiniais ir energetiniais rodikliais, pastebėti tokie ryšiai:

1. Kai variklio apkrova maža ($BMEP = 0,3$ MPa) ir vidutinė ($BMEP = 0,4$ MPa), didėjanti gamtinių dujų energijos dalis skystuose degaluose teigiamai koreliuoja su išmetamųjų dujų temperatūra ir degimo trukme. Neigiamos koreliacijos pastebimos su oro pertekliaus koeficientu, slėgiu cilindre, NO_x emisija, dūmingumu, šilumos išsiskyrimo intensyvumu, garso slėgiu ir vibracijomis. Tokią koreliaciją galima paaiškinti lėtesniu gamtinių dujų degimu, oro pertekliaus koeficientas yra per didelis, kad gamtinės dujos degtų savaime. Dėl šios priežasties mažėja šilumos išsiskyrimo intensyvumas, ilgėja degimo trukmė, mažesnė degimo temperatūra.

2. Kai apkrova 90 Nm ($BMEP = 0,6$ MPa), didėjanti gamtinių dujų energijos dalis skystuose degaluose teigiamai koreliuoja su išmetamųjų dujų temperatūra, šilumos išsiskyrimo intensyvumu (ROHR), garso slėgiu ir virpesiais išilgai cilindrų. Neigiamos koreliacijos pastebimos su oro pertekliaus koeficientu, slėgiu cilindre, NO_x emisija, dūmingumu ir degimo trukme. Tokią koreliaciją galima paaiškinti pasikeitusiu degimo procesu. Kai apkrova didesnė, dujinių degalų energijos dalis 60 proc. ir daugiau, oro pertekliaus koeficientas ($\lambda = 2-1,9$) sumažėja iki savaiminio gamtinių dujų degimo ribų ($\lambda < \sim 1,9$). Dujoms užsidegti reikia pirminių degalų, tačiau liepsnos frontas dujose sklinda savaime, o purškiami skysti degalai dega kartu. Dėl šios priežasties intensyvėja šilumos išsiskyrimas, tačiau dujiniai degalai vis tiek liepsnoja lėčiau pradinėje degimo fazėje nei 100 proc. dyzelinas arba biodyzelinas HVO, todėl didžiausias slėgis cilindre mažėja, trumpėja degimo trukmė, mažėja NO_x emisija, dūmingumas.

Literatūra

- Ashok, B., Jeevanantham, A. K., Vignesh, R., Bhat Hire, K. R., Prabhu, K., Raaj Kumar, R. A., Shivshankar, N. & Edwin Sudhagar, P. (2021). Calibration of engine parameters and fuel blend for vibration and noise characteristics in CRDI engine fuelled with low viscous biofuel. *Fuel*, 288, 119659. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119659>.
- Ashok, B., Thundil Karuppa Raj, R., Nanthagopal, K., Krishnan, R. & Subbarao, R. (2017). Lemon peel oil – A novel renewable alternative energy source for diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 139, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.02.049>.
- Çalık, A. (2018). Determination of vibration characteristics of a compression ignition engine operated by hydrogen enriched diesel and biodiesel fuels. *Fuel*, 230, 355–358. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.05.053>.
- Çelebi, K., Uludamar, E., Tosun, E., Yıldızhan, Ş., Aydın, K. & Özcanlı, M. (2017). Experimental and artificial neural network approach of noise and vibration characteristic of an unmodified diesel engine fuelled with conventional diesel, and biodiesel blends with natural gas addition. *Fuel*, 197, 159–173. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.01.113>.
- International Energy Agency. (2014). *World Energy Outlook 2014*. OECD. <https://doi.org/10.1787/weo-2014-en>.
- Kubica, G., Flekiewicz, M. & Marzec, P. (2019). Selected aspects of the use of gaseous fuels blends to improve efficiency and emission of si engine. *Transport Problems*, 14(1), 95–103. <https://doi.org/10.21307/tp.2019.14.1.9>.
- Omar, F. K., Selim, M. Y. E. & Emam, S. A. (2017). Time and frequency analyses of dual-fuel engine block vibration. *Fuel*, 203, 884–893. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.05.034>.
- Owen, N. A., Inderwildi, O. R. & King, D. A. (2010). The status of conventional world oil reserves—Hype or cause for concern? *Energy Policy*, 38(8), 4743–4749. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.02.026>.
- Satsangi, D. P. & Tiwari, N. (2018). Experimental investigation on combustion, noise, vibrations, performance and emissions characteristics of diesel/n-butanol blends driven genset engine. *Fuel*, 221, 44–60. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.060>.

EFFECT OF DUAL FUEL ON SOUND PRESSURE AND VIBRATIONS OF COMPRESSION IGNITION ENGINE

Saulius Stravinkas, Alfredas Rimkus,
Jonas Matijošius

Vilnius College of Technologies and Design

Summary. As environmental requirements become more stringent and the planet becomes more polluted, the replacement of conventional diesel is attracting more interest. In order to use alternative fuels, such as biodiesel and natural gas, their effects must be examined not only in terms of the engine's environmental indicators but also in terms of engine vibrations and sound pressure. This study examined influence of dual fuel – biodiesel and natural gas on the vibrations and sound pressure of a compression ignition engine. Conventional diesel (D) or Hydrotreated vegetable oil biodiesel (HVO) was used as a pilot fuel for gas ignition. Gaseous fuel was natural gas (NG), which was injected into the intake manifold changing energy share of the gaseous fuel (40%, 60% and 80%). Tests performed at a constant engine crankshaft speed and fixed start of pilot fuel injection 6° BTDC, while fuel composition and engine load was changed. This experiment revealed correlations between gas energy share in liquid fuel and ecological and energy indicators of the compression-ignition engine.

Key words: biodiesel, natural gas, vibrations, sound pressure, correlation analysis.

N-TIPO AKYTOJO SILICIO DARINIŲ JAUTRIO TYRIMAS

Jolanta Stupakova

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

Anotacija. Darbe pateikta galimybė aptikti impulsinę mikrobangų spinduliuotę per sidabro, silicio oksido ar akytojo silicio struktūras ir analizuojamos galimos fizinės priežastys, dėl kurių kyla elektrovaros įtampos signalas. *N*-tipo akytieji sluoksniai buvo pagaminti pasirinkus įprastą elektrocheminio ėsdinimo procedūrą ir veikiami impulsine 10 GHz mikrobangų spinduliuote. Tyrimo rezultatai rodo, kad darinių, turinčių akytojo silicio sluoksnių, įtampos ir galios jautris yra viena dviem eilėmis didesnis nei bandinių, neturinčių akytojo sluoksnio, ir galima manyti, kad šie dariniai turi potencialą jį didinti toliau. Laisvųjų krūvininkų kaitinimo reiškinys yra pagrindas signalui susidaryti.

Reikšminiai žodžiai: aktytasis silicis, mikrobangų spinduliuotė, karštieji krūvininkai, taškinis kontaktas.

Įvadas

Mikrobangų spinduliuotė yra plačiai taikoma tiek karinėje, tiek civilinėje srityse ir vis dar sulaukia tyrėjų, norinčių tiek generuoti, tiek aptikti atsako signalus, dėmesio. Vieni jautriausių ir todėl plačiausiai naudojamų tokios elektromagnetinės spinduliuotės detektorių yra Šotkio diodai (Hesler et al., 2007). Karštųjų krūvininkų reiškiniai taip pat sėkmingai padeda aptikti mikrobangų spinduliuotę. Pavyzdžiui, varžiniai jutikliai gali išmatuoti nanosekundžių trukmės mikrobangų impulsus iki dešimčių kilovatų kritimo galios, tačiau jie yra gana sudėtingi (Dagys et al., 1997). Whisker tipo diodai veikia karštųjų krūvininkų termoelektrovaros pagrindu. Termoelektrovara susidaro dėl taškinio kontakto (Ašmontas et al., 1983). Pagrindinis tokio tipo detektorių trūkumas – maži aukšto mikrobangų dažnio bangolaidžiai. Šiuolaikinės technologijos leidžia gaminti tokios konfigūracijos submikrometro dydžio diodus, kurie veikia plačiu elektromagnetinės spinduliuotės spektro diapazonu – nuo mikrobangų iki infraraudonųjų spindulių – ir turi pritaikytą tinkamą įtampos jautrį. Šie diodai dažniausiai buvo gaminami iš galio arsenido (Gradauskas et al., 2010). Paprastesnis ir pigesnis diodų gamybos metodas naudojamas tobulėjant šiuolaikinėms silicio technologijoms.

Aktytasis silicis (ASi) nanotechnologijų požiūriu yra įdomi medžiaga. Jai būdingos unikalios savybės, todėl galima įvairiai pritaikyti, pavyzdžiui, energijai kaupti (Peng et al., 2008), termoelektrai (Hochbaum et al., 2008), biologinių ir cheminių jutiklių gamybai (Zhang et al., 2008). Unikalus jutikliai, fotodetektoriai ar kiti prietaisai gali būti pagaminti iš akytojo silicio, pritaikius elektrocheminio ėsdinimo technologijas (Lehmann, 2002). ASi pritaikymas aukšto dažnio elektromagnetinės (SAD) spinduliuotės technologijose yra gana paprastas. Buvo įrodyta, kad SAD spinduliuotės galios nuostoliai gali būti sumažinti, jei ASi būtų naudojamas aukšto dažnio koplanariniuose bangolaidžiuose ir sujungimuose (Itotia and R. F. Franklin, 2006, Ponchak et al., 2003). Iš šios medžiagos pagamintos jungtys galėtų būti naudojamos siekiant pagerinti mobiliųjų telefonų ryšį ir kitas aukšto dažnio technologijas. Akivaizdu, kad kitas elementas po jungties turi būti jutiklis,

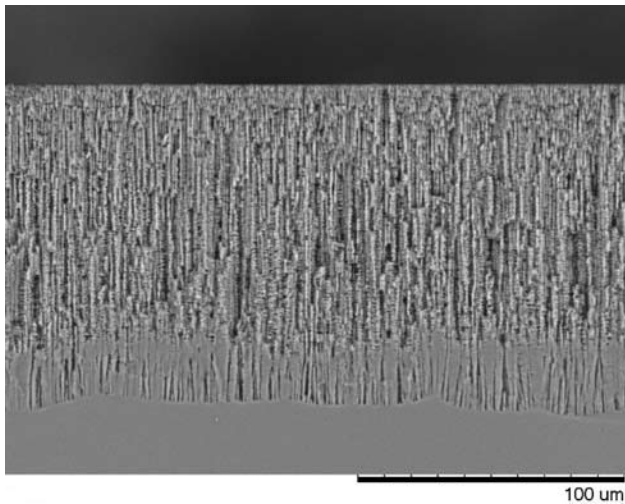
todėl praktiškas būdas jį pagaminti – naudoti akytąjį silicį. Norint panaudoti ASi galimybes SAD spinduliuotės technologijoje, svarbu iširti ASi sluoksnių ir struktūrų fizines savybes, veikiant SAD spinduliuotei. Iširtas SAD spinduliuotės poveikis ASi struktūrų fiziniams savybėms (Shatkovskis, et al., 2007, Stupakova et al., 2006). Parodyta, kad ASi turinčios struktūros gauna elektrovaros atsaką su mikrobangų spinduliuotės forma ir ženklu, atsižvelgiant į jos galios ir mikrobangų spinduliuotės įtaką ASi elektriniam laidumui (Gradauskas and Stupakova, 2016). Yra žinomi kristalinio silicio mikrobangų spinduliuotės detektoriai, kurių fizinis veikimo pagrindas – karštųjų krūvininkų efektai (Dienys and Požela, 1971). Šių prietaisų jautris priklauso nuo taškinio kontakto matmenų, todėl jį mažinant, jautris didėja (Guoga and Pozhela, 1969).

Akytojo silicio technologija turi privalumų – ją pritaikius, akytojo silicio kamieno matmenys gali būti sumažinti iki nanometrų dydžio. Naudojant akytojo silicio gamybos technologiją jutikliuose, kai pageidaujama kuo mažesnių tam tikrų matmenų, galima tikėtis padidinti tokių jutiklių jautrį. Papildomų privalumų galima tikėtis ir iš ASi erdvinio kvantinio ribojimo (pagavimo) efekto. Šiame darbe parodyta, kad mikrobangų detektoriui pritaikyta ASi struktūra padidina jo jautrumą.

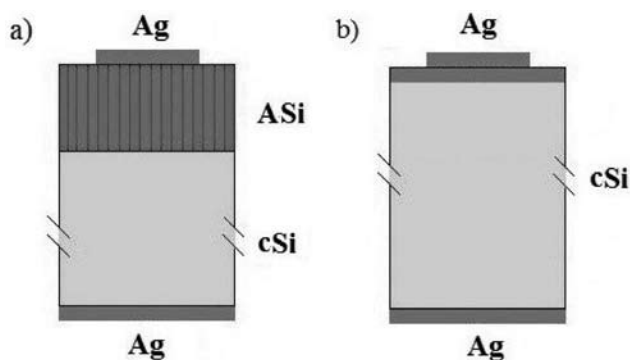
Eksperimentas

Akytojo silicio sluoksniai buvo formuojami įprastu elektrocheminiu būdu, ėsdinant *n*-tipo 1 Ω·cm savitosios varžos (100) orientacijos silicio plokštelės HF:C₂H₅OH:H₂O = 1:1:1 tirpale. Aktytasis sluoksnis buvo ėsdinamas 45 minutes, kai srovės tankis 70 mA/cm². Po ėsdinimo proceso viršutinis nanoaktytasis sluoksnis buvo valomas 5 proc. KOH vandeniniu tirpalu, bandiniai nuplauti distiliuotu vandeniu ir išdžiovinti. Akytojo sluoksnio gylis buvo nustatytas skenuojančiu elektroniniu mikroskopu (SEM) Hitachi TM3000. Gylis siekė apie 100 μm (1 pav.).

Plokštelės buvo supjaustytos į stačiakampius 0,5×0,6 mm² bandinius. Metaliniai kontaktai suformuoti iš abiejų bandinio pusių, nusodinant sidabro



1 pav. SEM Hitachi TM3000 akytojo silicio nuotrauka



2 pav. Akytojo silicio bandinių schemos: a) jutiklis su akytoju sluoksniu, b) jutiklis be akytojo sluoksniu

epoksidą CW2400 ir kaitinant apie 30 min. 100 °C temperatūroje. Apatinis metalinis kontaktas buvo ištisinis, o viršutinis siekė apie 100 μm ir buvo salelės pavidalo (2a pav.). Kristalinio silicio (cSi) mėginys be akytųjų sluoksnių buvo pagamintas taip pat, taikant tuos pačius technologinius etapus, išskyrus akytųjų sluoksnių formavimą (2b pav.).

ASi bandiniams sužadinti buvo spinduliuojami 10 GHz dažnio moduluoti stačiakampiai impulsai, kurių pasikartojimo dažnis buvo 100 Hz, o didžiausia impulso galia siekė 3 W. Atsirandantys elektros signalai buvo įrašyti į osciloskopo *Instek* GDS-2202 skaitmeninę saugyklą.

Rezultatų aptarimas

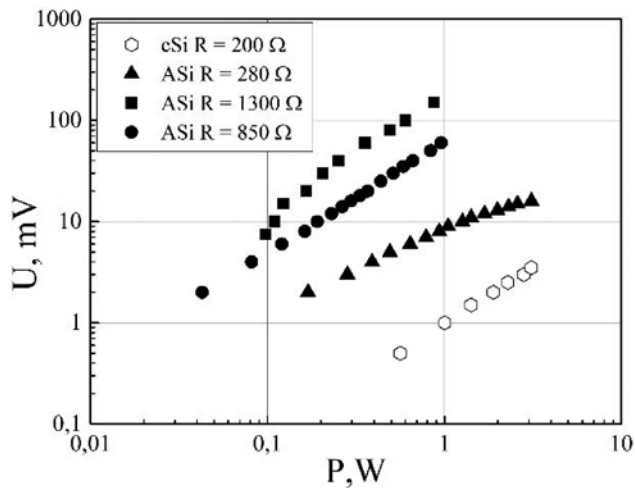
Veikiant mikrobangų spinduliuotei, akytojo silicio dariniuose indukuojasi elektros signalai, net kai palyginti maža mikrobangų spinduliuotės galios vertė. Skirtingų varžų su akytojo silicio sluoksniu bandinių įtampos ir galios priklausomybė pateikta 3 paveiksle. Čia pavaizduoti elektros signalai didėjo nemonotoniškai, atsižvelgiant į mikrobangų galią. Didžiausia elektros vertė atsiradavo 1 300 Ω varžos bandinyje, o mažiausias signalas buvo aptiktas mažiausios varžos bandinyje (280 Ω). Bandinių teigiami impulsai atkartodavo superaukšto dažnio mikrobangų galios

signalą, todėl atsako laiko konstanta buvo trumpesnė nei viena mikrosekundė. Pateikiamas kristalinio silicio bandinio atsakas, kurio varža siekė 200 Ω (3 pav.). Akivaizdu, kad kristalinio silicio bandinio, veikiamo mikrobangų spinduliuotės, įtampos jautris yra mažesnis, palyginti su bandiniais, kuriuose yra akytojo silicio sluoksnių. Bandiniuose signalų poliškumą lemia spinduliuotės indukuotasis elektronų srautas – iš pagrindinio cSi sluoksniu į ASi sluoksniu.

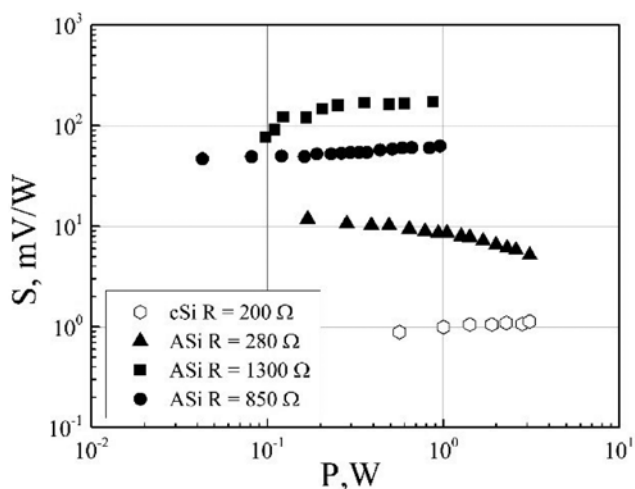
Paprastai be temperatūros gradiento krintanti spinduliuotė gali generuoti elektros puslaidininkyje tik per potencialinį barjerą. Atliktame eksperimente ASi sluoksniu turinčioje struktūroje galima išskirti kelis potencialinius barjerus. Du iš jų: metalas, oksidas ir puslaidininkis, kuris susidaro struktūrose dėl natūraliai užauginto SiO₂ sluoksniu, viršutinis – sidabras, oksidas, akytasis silicis (Ag/SiO₂/ASi), ir apatinis – sidabras, oksidas, kristalinis silicis (Ag/SiO₂/cSi). Trečiasis potencialinis barjeras gali būti traktuojamas kaip akytojo silicio ir kristalinio silicio (ASi/cSi) heterosandūros barjeras, o ketvirtasis – laipsniško tarpo struktūra, kuri atsiranda dėl akytojo sluoksniu kūgio formos silicio viduje (1 pav.). Pastarieji du barjerai (trečiasis ir ketvirtasis) atsiranda dėl kvantinio pagavimo efekto, susijusio su draudžiamojo energijos tarpo padidėjimu, atsižvelgiant į akytumą (Shatkovskis et al., 2008) ir keičiant akytojo silicio kūgio skersmenį (Medvid', 2012). Dėl šios priežasties per kiekvieną barjerą gali būti sugeneruotos keturios elektros, o jų suma sudaro aptiktą signalą. Kadangi mikrobangų spinduliuotė negali generuoti krūvininkų silicyje, manoma, kad visos keturios elektros turėtų atsirasti dėl laisvųjų krūvininkų šildymo.

Žinoma, kad karštųjų krūvininkų elektros indukuojama per heterosandūrą, veikiant mikrobangų spinduliuotei (Sužiedėlis, 2009). Šio eksperimento atveju ASi sluoksniu akytumas nėra didelis (daugiausia 30 %), o potencialinio barjero aukštis ASi-cSi heterosandūroje mažas, todėl karštųjų krūvininkų elektros per jį gali būti laikoma nereikšminga. Stebimas kristalinio silicio kolonelių draudžiamos energijos tarpo pločio padidėjimas, kuris atsiranda tik esant siauresniam nei dešimt nanometrų kolonelių skersmeniui (Medvid', 2012). Kristaliniame silicyje pagaminto ASi sluoksniu skersmuo akivaizdžiai nesiekia tokių mažų verčių (3 pav.), todėl galima pagrįstai neatsižvelgti ir į akytojo tarpo struktūrą bei per ją sukeltą karštųjų krūvininkų elektros.

Įkaištą krūvininkams, krūviai perskirstomi išeikvotame Ag/SiO₂/ASi struktūros sluoksnyje (Mikhailik et al., 1979). Tai sukelia elektrinio paviršiaus potencialo pokytį. Potencialo pokyčio poliškumas yra priešingas mikrobangų spinduliuotės sukeltam elektros poliškumui, nes padidėja elektronų srautas potencialo kryptimi. Taigi, Ag/SiO₂/ASi jungtis sukuria potencialo pokytį, kurio poliškumas sutampa su mikrobangų spinduliuotės signalo teigiama dalimi, o Ag/SiO₂/cSi jungtis „veikia“ priešinga kryptimi. Gali-



3 pav. Aptikto fotoatsako signalo priklausomybė nuo mikrobangų impulsų galios



4 pav. Bandinių jautrio priklausomybė nuo mikrobangų galios

mos dvi labiausiai tikėtinos priežastys, kodėl pirmoji jungtis pranoksta antrąją. Pirmą priežastį – viršutinio metalinio kontakto plotas yra daug mažesnis nei apatinio kontakto (schemiškai jis pateiktas 2 pav.). Taigi, mėginį galime traktuoti kaip „taškinį kontaktinį mikrobangų diodą“. Apskritai taškinio kontaktinio diodo įtampos ir galios jautris didėja proporcingai $1/r^3$, kur r yra taško kontakto spindulys (Ašmontas et al., 1983), (Ašmontas, 1984). Taškinio kontakto voltatinis jautris S tirtas daugelyje darbų, o jo išraiška, taikant karštųjų krūvininkų termoelektrovaros teoriją, yra:

$$S \sim F(s', p') \frac{\tau_e}{3\pi n_0 r^3} \cdot \quad (1)$$

čia: $F(s', p')$ – funkcija, priklausanti nuo impulso ir energijos laiko relaksacijos laipsnių rodiklių, e – elektrono krūvis, n_0 – krūvininkų koncentracija, r – taškinio kontakto spindulys.

Taip yra dėl padidėjusio elektrinio lauko koncentracijos ir stipresnio laisvųjų krūvininkų kaitinimo žemiau kontakto. Todėl potencialo pokytis viršutiniame kontakte yra didesnis, palyginti su potencialo pokyčiu apatinėje struktūros dalyje, nes jis yra mažesnio ploto.

O antroji priežastis yra ta, kad akytojo bandinio

sluoksnio kraštas gali būti traktuojamas kaip mikro- ar net submikrokolonėlių rinkinys, padengtas metalu, t. y. kaip taškinų kontaktų rinkinys. Taigi, daug didesnę aptikto signalo reikšmę akytojo silicio mėginyje galima dar kartą paaiškinti, atsižvelgiant į minėtą $1/r^3$ priklausomybę. Dėl tos pačios priežasties ASi sluoksnį turinčio bandinio įtampos ir galios jautrio vertė yra daug didesnė, palyginti su cSi bandiniais – siauresnis kontakto spindulys sukelia stipresnę elektronų kaitinimą ir indukuoja didesnės vertės elektrovarą (2 pav.).

Verta paminėti, kad violetinės šviesos LED CW konstrukcijų apšvietimas kartu su mikrobangų impulsais neturėjo įtakos nei ASi bandinio atsako signalo formai, nei dydžiui. Šis eksperimentinis faktas taip pat patvirtina karštųjų krūvininkų reiškinį, kuris tormuoja signalą, o ne generuoja krūvininkus iš paviršiaus lygmenų.

Iš bandinių įtampos jautrio $S = U/P$ priklausomybės nuo mikrobangų galios matyti, kad jautris ASi sluoksnius turinčiuose bandiniuose yra keletu eilių didesnis nei cSi bandinių jautris (4 pav.).

Išvados

1. Siauresnis kontakto spindulys sukelia stipresnę karštųjų krūvininkų kaitinimą ir indukuoja didesnės vertės elektrovarą.
2. Jautris akytojo silicio sluoksnius turinčiuose bandiniuose yra keletu eilių didesnis nei kristalinio silicio bandinių jautris.

Literatūra

- Ašmontas, S. (1984). *Electrogradient phenomena in semiconductors*. Vilnius: Mokslas Publishing House.
- Ašmontas, S., Vingelis, L., Guoga, V., Olekas, A. ir Sužiedėlis A. (1983). Volt-vattnaja chuvstvitelnost detektora s tochechnym n-n+ perechodom. *Radiotekhnika i elektronika*, 28(2), 577–582.
- Ašmontas, S., Vingelis, L., Guoga, V., Olekas, A. ir Sužiedėlis A. (1983). Volt-vattnaja chuvstvitelnost detektora s tochechnym n-n+ perechodom. *Radiotekhnika i elektronika*, 28(2), 577–582.
- Dagys, M., Kancleris, Ž., Orševski, V. ir Simniškis, R. (1997). Microwave pulse power density determination using resistive sensors, *Proceedings 6th International Symposium on Recent Advances in Microwave Technology*, ISRAMT97, eds. Rawat B. S. and Siyong Zh., Beijing, 224–228.
- Dienys, V. and Požela, J. (1971). *Hot Electrons*. Vilnius: Mintis Publishing House.
- Gradauskas, J. ir Stupakova, J. (2016). PSi-Based Microwave Detection. *Porous Silicon: From Formation to Application: Biomedical and Sensor Application*, 2, 186–196. <https://doi.org/10.1201/b19205..>
- Gradauskas, J., Sužiedėlis, A., Ašmontas, S., Kazlauskaitė, V., Lučun, A. ir Vingelis, M. (2010). Sensitive Planar Semiconductor Detector From Microwave to IR

- Applications. *IEEE Sensors Journal*, 10(3), 662–667. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2009.2038654>.
- Guoga, V. I. ir Pozhela, J. K. (1969). O chuvstvitelnosti SVČ-detektora na gorjačich nositeliah toka. *Radiotekhnika i elektronika*, 14(3), 565–569.
- Hesler, J. L. and Crowe, T. W. (2007). Responsivity and noise measurements of zero-bias Schottky diode detectors. *18th International Symposium on Space Terahertz Technology*, 89–92. Prieiga per internetą: <https://www.nrao.edu/meetings/isst/pepers/2007/2007089092.pdf>.
- Hochbaum, A. I., Chen, R., Delgado, R. D., Liang, W., Garnett, E. C., Najarian, M., Majumdar, A. ir Yang, P. (2008). Enhanced thermoelectric performance of rough silicon nanowires. *Nature*, 451, 163–167. <https://doi.org/10.1038/nature06381>.
- Itotia, I. K. and Franklin, R. R. (2002). Porosity effects on coplanar waveguide porous silicon interconnects. *IEEE MTT-S 2002 International Microwave Symposium digest 2*, 681–684. <https://doi.org/10.1109/MWSYM.2002.1011713>.
- Lehmann, V. (2002). *Electrochemistry of Silicon: Instrumentation, Science, Materials and Applications*. <https://doi.org/10.1002/3527600272>.
- Medvid', A. (2012). Laser Induced Self-Assembly Nanocones' Formation on a Surface of Semiconductors. *Laser growth and processing*. London: WOODHEAD.
- Mikhaliak, M. M., Versockas, A. P. ir Kalvėnas, S. P. (1979). Dependence of the surface thermoemf of hot electrons on the surface bending of zones in electronic silicon. *Fizika I Tekhnika Poluprovodnikov*. (Semiconductors), 13(8), 1512–1517.
- Peng, K., Jie, J., Zhang, W. ir Lee, S. T. (2008). Silicon nanowires for rechargeable lithium-ion battery anodes. *Applied Physics Letters*, 93(3). <https://doi.org/10.1063/1.2929373>.
- Ponchak, G. E., Itotia, I. K. ir Franklin, R. R. (2003). Propagation characteristics of finite ground coplanar waveguide on Si substrates with porous Si and polyimide interface layers. *Conference: 33rd European Microwave*, 45–48. <https://doi.org/10.1109/EUMC.2003.1262214>.
- Shatkovskis, E., Gradauskas, J. ir Česnys, A. (2008). Porous silicon structures under action microwave radiation: charge carrier heating effects. *Bulletin of the American Physical Society*, 53(2), 348–352. Prieiga per internetą: <https://meetings.aps.org/Meeting/MAR08/Content/1017>.
- Shatkovskis, E., Gradauskas, J., Stupakova, J., Česnys, A. ir Sužiedėlis, A. (2007). Effect of microwave radiation on conductivity of porous silicon nanostructures. *Lithuanian Journal Physics*, 47(2), 169–173. <https://doi.org/10.3952/lithjphys.47211>.
- Stupakova, J., Ašmontas, S., Gradauskas, J., Zagadskij, V., Shatkovskis, E. ir Sužiedėlis, A. (2006). Studies of Response of Metal – Porous Silicon Structures to Microwave Radiation. *Acta Physica Polonica A*, 110(6), 817–822. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.110.817>.
- Sužiedėlis, A., Ašmontas, S., Kazlauskaitė, V. and Gradauskas, J. (2009). Sensitivity increase of a point contact hot carrier microwave detector. *Electronics Letters*, 45(25), 1328–1329. <https://doi.org/10.1049/el.2009.1345>.
- Zhang, B., Wang, H., Lu, L., Ai, K., Zhan, G. ir Cheng, X. Large-Area Silver-Coated Silicon Nanowire Arrays for Molecular Sensing Using Surface-Enhanced Raman Spectroscopy. *Advanced functional materials*, 18, 2348. <https://doi.org/10.1002/adfm.200800153>.

SENSITIVITY STUDY OF N-TYPE MICROPOROUS SILICON DERIVATIVES

Jolanta Stupakova

Vilnius Gediminas Technical University

Summary. The possibilities of detecting microwave radiation using porous silicon (PSi) derivatives were investigated. Porous silicon layers were formed by electrochemical etching of n-type 1 Ω-cm resistivity (100) oriented silicon wafers in HF:C₂H₅OH:H₂O = 1:1:1 solution. After the etching process, the upper nano porous layer was cleaned with 5% KOH aqueous solution, the samples were washed with distilled water and dried. 10 GHz frequency modulated rectangular pulses with a repetition rate of 100 Hz and a maximum pulse power of 3 W were emitted for the excitation of the PSi specimens.

The paper presents the possibility of detecting pulsed microwave radiation through silver/silicon oxide/porous silicon structures and analyses the possible physical causes of the electromotive voltage signal. The n-type porous layers were fabricated by a conventional electrochemical etching procedure and exposed to pulsed 10 GHz microwave radiation. The research results show that the voltage and power sensitivity of samples with porous silicon layers is at least one to two orders of magnitude higher than that of samples without a porous layer, and it is believed that they have great potential to increase it further. The phenomenon of heating of free carriers is considered to be responsible for the generation of the signal. The conclusions presented in the work are that a narrower contact radius causes stronger heating of the hot charge carriers and induces a higher value electric motor; and sensitive samples with porous silicon layers are several orders of magnitude higher than crystalline silicon samples.

Key words: porous silicon, microwave radiation, hot carriers, point contact.

LENGVŪJŲ AUTOMOBILIŲ DRAUDŽIAMŪJŲ ĮVYKIŲ ŽALOS VERTINIMO METODIKOS PRITAIKYMAS

Paulius Černas¹, Saulius Nagurnas¹, Vytenis Surblys^{1,2}

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

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

Anotacija. Straipsnyje pateikiamas lengvųjų automobilių draudžiamųjų įvykių žalos (toliau – DĮŽ) vertinimo tyrimas. Šiuo tyrimu siekiama pritaikyti matematinės statistikos modelius vertinant DĮŽ ir nustatyti vidutinius lengvųjų automobilių žalos dydžius konkrečiais atvejais, kurie fiksuojami garantiniu automobilių eksploatacijos laikotarpiu. Šiam tikslui pasiekti, remiantis didžiausios Lietuvoje veikiančios ne gyvybės draudimo įmonės eksperimentiniais duomenimis apie DĮŽ, atlikta matematinė statistinė analizė, nustatyti lengvųjų automobilių DĮŽ rodikliai. Apibendrinus gautus rezultatus nustatytas nagrinėtų automobilių žalos vidutinis nuostolio dydis, vidutinis kvadratinis nuokrypis, atlikta žalos regresijos analizė, atskleidžianti žalos kiekio pasiskirstymą pagal žalos nuostolio dydžius, ir pateikti šių DĮŽ prognozės modeliai.

Reikšminiai žodžiai: draudžiamoji įvykių žala, matematinės statistikos modeliai, nuostolio dydis, žalos tikimybė.

Įvadas

Dauguma, t. y. apie 71 proc., įskaitinių eismo įvykių kaltininkų yra vairuotojai. 2017 metais žala Lietuvos ekonomikai dėl 1 eismo įvykyje sugadinto materialiojo turto vidutiniškai siekia 1 795 eurus. Nuostolių dydis dažniausiai priklauso nuo transporto priemonių draudikų, bendrovių, kurios atlygina eismo įvykio metu patirtą nukentėjusiojo žalą pagal bendrosios civilinės atsakomybės draudimo arba KASKO draudimo taisykles. Dažniausiai klientas, dalyvavęs eismo įvykyje, draudimo bendrovei tampa nuostolingas. Kadangi draudimo įmonės pagrindinį uždarbį sudaro klientų įmokos už tam tikro automobilio draudimą, draudimo kompanijoms reikia papildomo statistinio svertinio koeficiento, kuriuo galima įvertinti klientų drausmingumą prieš draudžiant objektą, t. y. įvertinti DĮŽ nuostolius. Todėl šiame tyrime, naudojantis matematinės statistikos metodais, vertinti lengvųjų automobilių, patekusių į eismo įvykį, DĮŽ rodikliai.

Tyrimo tikslas – remiantis matematinės statistikos modeliais išanalizuoti eksperimentinių tyrimų duomenis, įvertinti konkrečių draudžiamųjų įvykių žalos tikimybinis rodiklius, o modelius pritaikyti praktiškai.

Tikslui pasiekti iškelti uždaviniai:

1. Atlikti mokslinės literatūros, nagrinėjančios DĮŽ vertinimo metodiką, analizę.
2. Sudaryti metodiką, kuria remiantis būtų sukurta automobilių DĮŽ vertinimo teoriniai matematinės statistikos modeliai.
3. Pritaikius matematinės statistikos modelius, išanalizuoti eksperimentinius duomenis ir sudaryti DĮŽ vertinimo metodiką, išskiriant DĮŽ vertinimo rodiklius.

Straipsnio struktūra. Pateikta mokslinių darbų, nagrinėjančių lengvųjų automobilių DĮŽ, analizė, lengvųjų automobilių patekimo į DĮŽ tyrimų apžvalga tikimybė, lengvųjų automobilių DĮŽ duomenų registravimo metodika eksperimentiniams žalos duomenims analizuoti, taikomų matematinės statistikos modelių sudarymo metodika.

1. Lengvųjų automobilių patekimo į draudžiamuosius įvykius apžvalga

Mokslinėje literatūroje aprašyti įvairūs automobilių, patekusių į draudžiamuosius įvykius, tyrimai. Viename iš straipsnių (Sai & Naroznaja 2018) nagrinėjama tikimybė patekti į draudžiamąjį eismo įvykį skirtingų klasių automobiliams. Tyrimo metu išbandyti trijų klasių (kompaktinės, vidutinės ir visureigių) automobiliai. Atliktas tyrimas važiuojant realiais automobiliais ir tam tikrą laiką fiksuojant GPS ir OBD duomenis. Tyrimo metu surinkta daugybė duomenų, kuriais vertinama tam tikros rūšies automobilio rizika patekti į eismo įvykį. Apibendrinus gautus duomenis, galima teigti, kad visureigių vairuotojams patekti į eismo įvykį tikimybė yra mažiausia (balų vidurkis yra aukščiausias, palyginti su kitų klasių automobiliais). Žemiausias balas užfiksuotas kompaktinės klasės automobilių, nes didžiąją laiko dalį toks automobilis eksploatuojamas mieste, kur rizika pateikti į eismo įvykį yra didžiausia.

Skirtingai nei J. N. Russo ir kitų tyrėjų straipsnyje (2016), šio straipsnio autoriai įvertina rizikingą vairuotojo, kuris gali sukelti eismo įvykį, elgesį. Nagrinėjama priemonė, vadinama rizikos lygio vertinimo priemone (angl. RITAL), kai vertinama automobilio rizika patekti į eismo įvykį, naudojant Bayeso tinklą (angl. Bayesian Network, BN). Remiantis per CAN magistralę surinkta informacija, apskaičiuojami kintamieji (pvz., ratų sukibimo su kelio danga dydis ir reakcijos laikas), tuo tarpu CAN pateikia tikimybę BN, kuriame vienu metu atsižvelgiama į vairuotojo dėmesį, transporto priemonės judėjimą, aplinką, pvz., kelių infrastruktūrą, orą, ir informaciją iš kitų automobilių. Autoriai bandymais įrodė, kad jų sukurta RITAL ir BN bendra rizikos vertinimo sistema veikia ir pateikia konkrečius rezultatus tam tikromis sąlygomis.

Kun-Feng ir kitų tyrėjų (2018) straipsnyje tiriama galimybė patekti į eismo įvykį dviraitei motorinei transporto priemonei, prieš tai išanalizavus dažniausiai vairuotojų, eksploatuojančių tokią transporto priemonę, atliekamus veiksmus, dėl kurių įvyksta eismo įvykiai.

Buvo tiriami draudžiamieji eismo įvykiai, į kuriuos pateko dviratės transporto priemonės. Sudarytos matematinės priklausomybės, įvertinant tris veiksniai:

- 1) grįžtamąjį ryšį, t. y. apibūdinamas pasekmės dydis;
- 2) saugumą, naudojant šalną;
- 3) rezultatą, kuriam įtaką daro ne vienas, o keli veiksniai.

Aprašytos dažniausios situacijos. Pasirinkta formulė, kai keičiant koeficientą yra nustatomas sužalojimo sunkumas.

Vadovaujantis šiais metodais, gautus žalos koeficientus galima tiksliai suskirstyti pagal matricų lentelę ir pateikti rekomendacijas, kaip gerinti eismo saugumą keliuose.

Moksliniuose darbuose dažnai pateikiami atlikti eksperimentiniai tyrimai. Tačiau svarbi ir tyrimų duomenų analizė, naudojant matematinės statistikos modelius. Remiantis matematinės statistikos modeliais, tikslinga sudaryti nagrinėjamų DĮŽ rodiklių prognozę. Toks metodas pasirinktas ir šiame darbe.

2. Lengvųjų automobilių draudžiamųjų įvykių žalos duomenų registravimo metodika

Atliekant tyrimą, pasirinkti didžiausią rinkos dalį Lietuvoje turinčios ne gyvybės draudimo įmonės lengvųjų automobilių DĮŽ dydžiai. Naudoti tik tų automobilių, kuriems galioja gamintojo garantija ir yra ne senesni nei penkerių metų, duomenys, todėl visi DĮŽ dydžiai yra tiesiogiai susiję su garantinėmis, autorizotomis remonto įmonėmis, vykdančiomis veiklą Lietuvoje.

Šio tyrimo metu buvo fiksuojama trijų tipų DĮŽ:

- 1) bendrieji lengvųjų automobilių, ne senesnių kaip vienerių metų, patekusių į DĮ, bendrųjų sugadinimų nuostolio dydžiai;
- 2) lengvųjų automobilių, ne senesnių kaip vienerių metų, patekusių į DĮ, buferių sugadinimų nuostolio dydžiai;
- 3) lengvųjų automobilių, ne senesnių kaip vienerių metų, patekusių į DĮ, priekinių stiklų sugadinimų nuostolio dydžiai.

Visos DĮŽ buvo surinktos pagal 2018 metais draudimo įmonės registruotus draudžiamuosius eismo įvykius. Lengvųjų automobilių DĮŽ sugrupuotos didėjimo tvarka (sudaromos DĮŽ variacinės eilutės). Duomenys apdoroti taikant matematinės statistikos metodus.

3. Eksperimentiniams žalos duomenims analizuoti taikomų matematinės statistikos modelių sudarymo metodika

Bendroju atveju atsitiktiniai dydžiai (transporto priemonių žala) dažniausiai pasiskirsto pagal normalųjį (Gausso) arba Veibulio skirstinį (Bertsche, 2008).

Prieš iškeliant hipotezę, pagal kokį skirstinį yra išsidėstę atsitiktiniai dydžiai, jie turi būti atitinkamai susisteminti (Bertsche, 2008; DeCoursey, 2003).

Pirmiausia, kaip buvo minėta anksčiau, duomenys sugrupuoti reikšmių didėjimo tvarka, po to suskirstyti į skaičiuojamuosius intervalus. Tam pirmiausia reikia nustatyti intervalo imties dydį pagal formulę:

$$h = \frac{\Delta L}{1 + 3,3 \lg N}, \quad (1)$$

čia: $\Delta L = t_{max} - t_{min}$, N – visų atsitiktinių dydžių (žalos) skaičius.

Pasirenkamas skaičiuojamųjų intervalų skaičius pagal formulę:

$$n_{int} = \frac{\Delta L}{h}, \quad (2)$$

čia: h – intervalo imties dydis.

Kai atsitiktinių dydžių vertės yra sugrupuotos į intervalus, apskaičiuojamas vidutinis tiriamojo objekto dydis:

$$\bar{T}_{vid} = \sum_{i=1}^N T_{vi} \cdot \frac{m_i}{N}, \quad (3)$$

čia: T_{vi} – vidutinė reikšmė, atitinkanti i -ojo (nagrinėjamojo) intervalo vidurkį, m_i – žalos skaičius intervale.

Vidutinis kvadratinis nuokrypis σ apskaičiuotas pagal formulę:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (T_{vi} - \bar{T}_{vid})^2 \cdot \frac{m_i}{N}}. \quad (4)$$

Variacijos koeficientas ν apskaičiuotas:

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{T}_{vid}}. \quad (5)$$

Atsižvelgiant į gautą variacijos koeficiento vertę, galima iškelti hipotezę dėl tiriamojo objekto atsitiktinių dydžių žalos pasiskirstymo dėsnio (Bertsche, 2008; DeCoursey, 2003). Jei variacijos koeficiento vertė yra $0,33 < \nu$, iškeliamą hipotezę, kad atsitiktinė žalos vertė (kiekio iki žalos dydžio) yra pasiskirsčiusi pagal normaliojo pasiskirstymo (Gausso) dėsnį. Jei apskaičiuotas variacijos koeficientas yra $0,33 \leq \nu \leq 1$, iškeliamą hipotezę, kad atsitiktiniai dydžiai pasiskirstę pagal Veibulio skirstinį. Iškeliai hipotezei patvirtinti apskaičiuojamas Pirsono patikimumo kriterijus χ^2_{sk} (Bertsche, 2008; DeCoursey, 2003):

$$\chi^2_{sk} = \sum_{i=1}^{n_{int}} \frac{(m_i - N \cdot p_i)^2}{N \cdot p_i}, \quad (6)$$

čia p_i – statistinė tikimybė įvykti žalai.

Apskaičiuota Pirsono koeficiento reikšmė yra lyginama su lentelėje pateikta koeficiento reikšme. Jei $\chi^2_{lent} > \chi^2_{sk}$, pasirenkama, kad pasiskirstymo dėsnis yra tinkamas apibūdinti atsitiktinių dydžių pasiskirstymą. Nustačius konkretų atsitiktinių dydžių pasiskirstymo dėsnį, galima apibrėžti DĮŽ vertinimo rodiklius ir pateikti žalos prognozę.

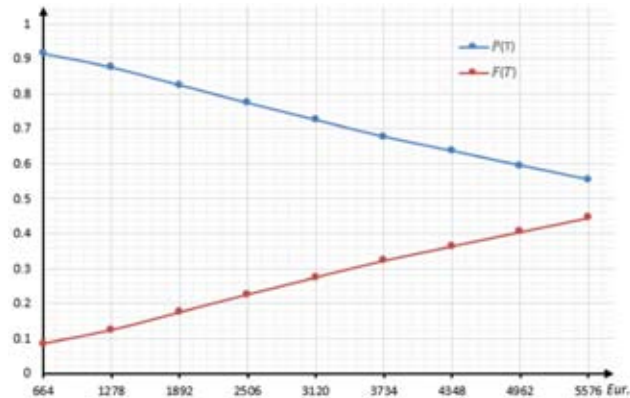
Kadangi šiame tyrime nagrinėjami du žalos tipai pasiskirstę pagal Veibulio skirstinį, o vienas – pagal

Gausso dėsnį (žr. tolimesnę tyrimo aprašymą), nustatomi šie pagrindiniai patikimumo rodikliai ir braižomos jų charakteristikos (1–6 pav.).

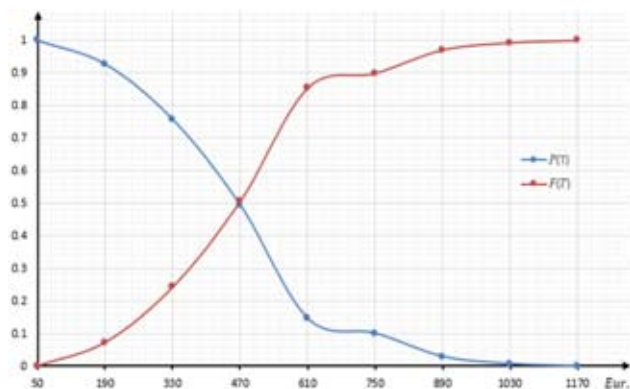
Veibulio skirstinio atsitiktinio dydžio empirinė pasiskirstymo histograma ir teorinė diferencialinė funkcija $a \cdot f(T)$.

$$a \cdot \lambda(T) = \frac{a \cdot f(T)}{P(T)} \quad (7)$$

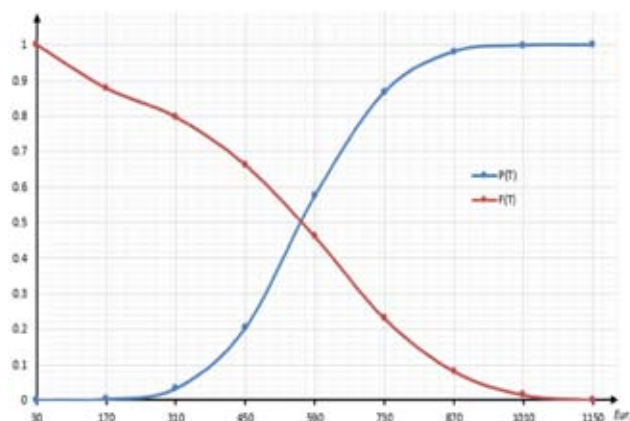
čia: a – pasiskirstymo parametras; $f(T)$ – diferencialinė funkcija, $P(T)$ – pasiskirstymo funkcija.



1 pav. DĮŽ, kai buvo vertinami automobilių sugadinimai, integralinės pasiskirstymo funkcijos: $P(T)$ – tikimybė, kad žala nebus padaryta, $F(T)$ – tikimybė, kad žala bus padaryta
Šaltinis: sudaryta autorių.



2 pav. DĮŽ, kai buvo vertinami automobilių buferių sugadinimai, integralinės pasiskirstymo funkcijos: $P(T)$ – tikimybė, kad žala nebus padaryta, $F(T)$ – tikimybė, kad žala bus padaryta
Šaltinis: sudaryta autorių.



3 pav. DĮŽ, kai buvo vertinami automobilių stiklų sugadinimai, integralinės pasiskirstymo funkcijos: $P(T)$ – tikimybė, kad žala nebus padaryta, $F(T)$ – tikimybė, kad žala bus padaryta
Šaltinis: sudaryta autorių.

Integralinė DĮŽ pasiskirstymo funkcija $P(T)$, atitinkanti DĮŽ tikimybę įvykti, nuo pasiskirstymo funkcijos $F(T)$, atitinkančios DĮŽ tikimybę neįvykti:

$$F(T) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{T}{\theta}\right)^m\right] \quad (8)$$

Patikimumas apskaičiuojamas:

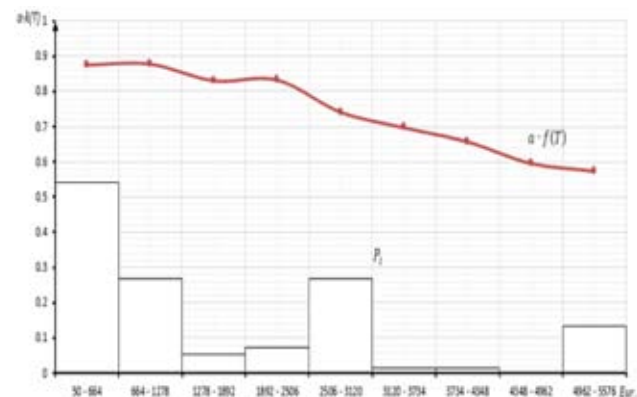
$$P(T) = 1 - F(T) \quad (9)$$

4. Eksperimentinio duomenų (DĮŽ) tyrimo analizės matematinės statistikos modeliais rezultatai

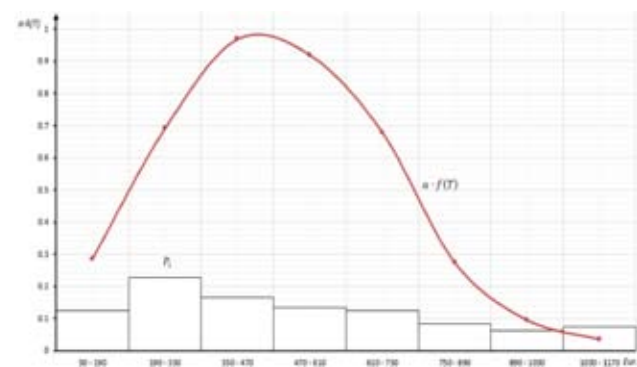
Remiantis DĮŽ tikimybių integralinių pasiskirstymo funkcijų grafikais (1–3 pav.), galima tiksliai nustatyti, kokią procentinę dalį sudaro tikimybės, kad DĮŽ dydis sieks tam tikrą reikšmę. Bendru atveju nustatyta, kad lengvųjų automobilių iki vienu metų senumo DĮŽ dydis 80 proc. siekia iki 1 280 Eur.

Remiantis 7–9 pav. pateiktais grafikais, galima tiksliai prognozuoti, koks žalos dydis tikėtinas konkrečiam automobiliui arba koks nuostolio dydis tikėtinas sugadintus automobilio tam tikrą kėbulo dalį draudžiamojame įvykio metu. Kiekvienu atveju, įstačius bet kokią x reikšmę į regresijos lygtį, paklaida, atitinkanti y ašyje esantį eismo įvykių kiekį, gali siekti iki 3 proc.

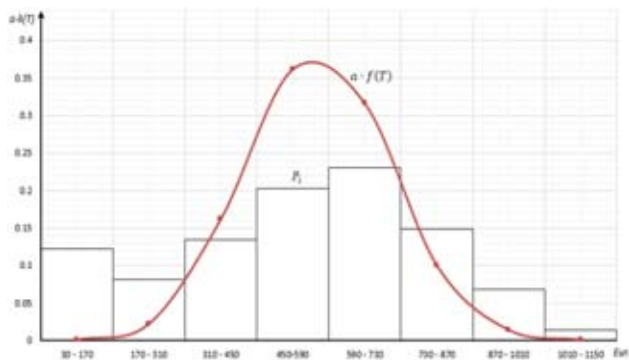
Bendru atveju pagal visus tris eksperimentiniu būdu gautus regresijos grafikus galima tiksliai progno-



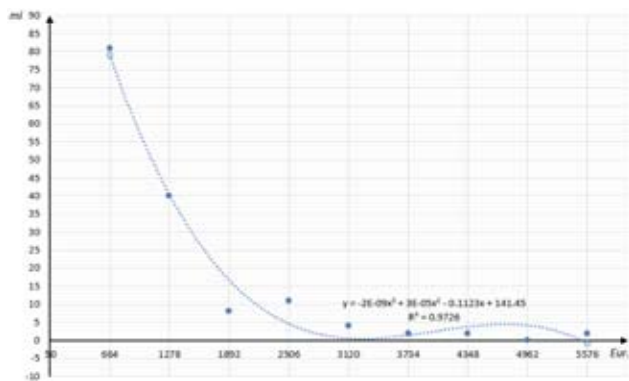
4 pav. DĮŽ, kai buvo sugadinti automobiliai, tikimybių histograma ir teorinės diferencialinės funkcijos $a \cdot f(T)$ grafikas
Šaltinis: sudaryta autorių.



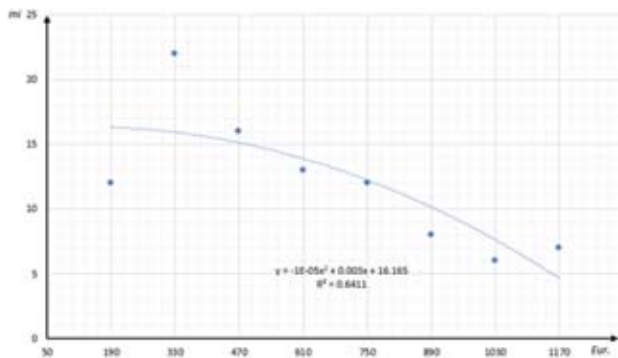
5 pav. DĮŽ, kai buvo sugadinti automobilių buferiai, tikimybių histograma ir teorinės diferencialinės funkcijos $a \cdot f(T)$ grafikas
Šaltinis: sudaryta autorių.



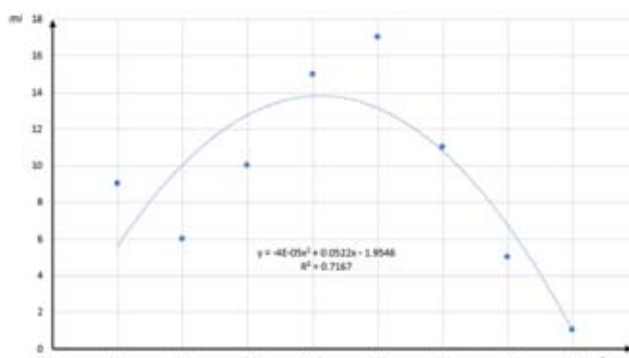
6 pav. DŽ, kai buvo sugadinti automobilių priekiniai stiklai, histograma ir teorinės diferencialinės funkcijos $a \cdot f(T)$ grafikas
Šaltinis: sudaryta autorių.



7 pav. DŽ atvejų, kai sugadintas automobilis, nuostolio dydžių išsidėstymas intervalais ir regresijos kreivė
Šaltinis: sudaryta autorių.



8 pav. DŽ atvejų, kai sugadintas automobilio buferis, nuostolio dydžių išsidėstymas intervalais ir regresijos lygtis
Šaltinis: sudaryta autorių.



9 pav. DŽ atvejų, kai sugadintas automobilio priekinis stiklas, nuostolio dydžių išsidėstymas intervalais ir regresijos lygtis
Šaltinis: sudaryta autorių.

zuoti, koks žalos dydis tikėtinas konkrečiam automobiliui arba koks nuostolio dydis tikėtinas sugadinus automobilio tam tikrą kėbulo dalį draudžiamąjo eismo įvykio metu.

Išvados

1. Remiantis atliktu tyrimu, galima teigti, kad nagrinėtų lengvųjų automobilių DŽ fiksuojama dar garantinio laikotarpio metu, t. y. žalos nuostolio dydis yra tiesiogiai priklausomas nuo autorizuotų remonto įmonių įkainių.

2. Apibendrinus eksperimentinius duomenis ir pritaikius matematinę statistiką, buvo nustatyti vidutiniai DŽ dydžiai \bar{T}_{vid} :

- Įvairių lengvųjų automobilių, ne senesnių nei vieni metai, registruotų 2018 metais, vidutinis DŽ dydis $\bar{T}_{vid} = \bar{T}_{vid} = 942,38$ Eur. Kadangi variacijos koeficientas ν siekia 0,87, buvo taikomas Veibulio dėsnis.
- Vokiškų lengvųjų automobilių, ne senesnių nei vieni metai, registruotų 2018 metais, vidutinis draudiminių įvykių, kurių metu buvo sugadinti tik automobilių buferiai, žalos dydis $\bar{T}_{vid} = 529,39$ Eur. Kadangi variacijos koeficientas ν siekia 0,42, buvo taikomas Veibulio dėsnis.
- Japoniškų lengvųjų automobilių, ne senesnių nei vieni metai, registruotų 2018 metais, vidutinis draudiminio įvykio, kurių metu buvo sugadinti tik automobilių priekiniai stiklai, žalos dydis $\bar{T}_{vid} = 570,00$ Eur. Kadangi variacijos koeficientas ν siekia 0,27, buvo taikomas normaliojo pasiskirstymo (Gausso) dėsnis.

3. Sudaryti matematinės statistikos modeliai gali būti sėkmingai naudojami atliekant lengvųjų automobilių DŽ rodiklių prognozę, optimizuojant draudimo bendrovėms prognozuoti galimus automobilių žalos dydžius.

4. Regresijos grafikų ir eksperimentinių duomenų neatitiktis siekia tik 3 proc., taigi, darytina prielaida, kad matematinės statistikos modeliai gali būti sėkmingai pritaikyti atliekant lengvųjų automobilių DŽ rodiklių prognozę ir optimizuojant galimybę draudimo bendrovėms prognozuoti galimus automobilių žalos dydžius.

Literatūra

- Bertsche, B. (2008). *Reliability in automotive and mechanical engineering*. Berlin: Springer-Verlag, 492 p.
- Čekanaivičius, V. ir Muraustas, G. (2014). *Taikomoji regresinė analizė socialiniuose tyrimuose*. Prieiga per internetą: <http://www.statistika.mif.vu.lt/wp-content/uploads/2014/04/regresine-analize.pdf>.

- Kun-Feng, W., Sasidharan, L., Thor, C. P. ir Chen, S. (2018). *Crash sequence based risk matrix for motorcycle crashes*. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000145751830126X>.
- Sai, A. E. ir Naroznaja, A. (2018). *Analyzing the Vehicle Insurance Ecosystem in Estonia using Actor-Network Theory*. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/327834330_Analyzing_the_Vehicle_Insurance_Ecosystem_in_Estonia_using_Actor-Network_Theory.
- Russo, J. N., Sproesser, T., Drouhin, F. ir Basset, M. (2016). *Risk level assessments for automotive application*. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316310023>.

APPLICATION OF THE DAMAGE EVALUATION METHODOLOGY FOR INSURED LIGHT VEHICLES

Paulius Černas¹, Saulius Nagurnas¹,
Vytenis Surblys^{1,2}

¹*Vilnius Gediminas Technical University*

²*Vilnius College of Technologies and Design*

Summary. This article presents a study on a damage of insured light vehicles. The aim of this study is to apply the mathematical statistics to insured event damage of light vehicles through warranty period as well as to forecast the average damage of it in different cases. In order to achieve this aim, based on the collected experimental data, a mathematical statistical analysis was performed from one of the largest insurance companies in Lithuania, which determined the indicators of damage for passenger cars. According to the results of the data analysis, the average insured event damage, standard deviation, distribution of damages by extent has been assessed.

Key words: insured event, models of mathematical statistics, value of damage, damage probability.

HIBRIDINIO AUTOMOBILIO DEGALŲ ŠAŅAUDŲ IR ANGLIES DIOKSIDO PRIKLAUSOMYBĖS NUO BATERIJOS TALPOS TYRIMAS SKAITINIO MODELIAVIMO BŪDU

Tadas Vipartas^{1,2}, Alfredas Rimkus^{1,2}

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

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

Anotacija. Hibridinių automobilių sistemos, vertinančios eksploataavimo sąlygas ir važiavimo dinamiką, remiasi skirtingais valdymo algoritmais, kurie užtikrina pakankamą varančiąją jėgą, tačiau maksimaliai taupo degalų energiją ir taip mažina teršalų emisijas. Skaitinio modeliavimo programa AVL CRUISE sudarytu hibridinio automobilio skaitiniu modeliu siekiama įvertinti degalų sąnaudų ir anglies dioksido priklausomybę nuo aukštos įtampos baterijos talpos, naudojant pasaulinę suderintą lengvųjų automobilių bandymų procedūrą. Visas važiavimo ciklas yra sudarytas ir keturių greičio etapų – mažo, vidutinio, didelio ir itin didelio, kuriais siekiama imituoti hibridinio automobilio važiavimą miesto, priemiesčio, užmiesčio keliais ir greitkeliais. Gauti rezultatai rodo, kad hibridinio automobilio baterijos talpa turi būti koreguojama, atsižvelgiant į numatomas eksploatacijos sąlygas.

Reikšminiai žodžiai: hibridiniai automobiliai, anglies dioksidas, degalų sąnaudos, aukštos įtampos baterijos talpa, skaitinis modeliavimas, AVL CRUISE.

Įvadas

2019 metais Europos Komisija paskelbė Europos žaliąją kursą (Pietzcker ir kt., 2021), kurio pagrindinis tikslas – didinti Europos Sąjungos (ES) ekonomikos tvarumą ir siekti, kad Europa iki 2030 m. CO₂ emisiją sumažintų bent iki 55 proc., palyginti su 1990 m. (Europos Komisija, 2020), o iki 2050 m. taptų neutrali klimatui, neišmetanti šiltnamio efektą sukeliančių dujų (Europos Komisija, 2021). Norint pasiekti užsibrėžtų tikslų, ES šalims būtina investuoti į ekologiškas technologijas, mažinant teršalų emisijas (Europos Komisija, 2019).

Hibridinėms transporto priemonėms skiriama vis daugiau dėmesio dėl mažesnio išmetamų teršalų kiekio (Rahman ir kt., 2016), nes esant mažai apkrovai naudojama tik elektrinė pavarą, o atsiradus galios poreikiui – paleidžiamas vidaus degimo variklis (VDV) (Un-Noor ir kt., 2017). Hibridinių automobilių sistemos, atsižvelgdamos į eksploatacijos sąlygas ir važiavimo dinamiką, priima skirtingus valdymo sprendimus, būtinus užtikrinti pakankamą varančiąją jėgą, tačiau maksimaliai taupo degalų energiją (Tran ir kt., 2020) ir taip mažina taršą.

Didžiausias hibridinių automobilių privalumas – efektyvesnis vidaus degimo variklio veikimas didesnės apkrovos zonose. Elektriniam varikliui būdingas didelis sukimo momentas, kai sukiai maži, todėl yra sumažinamas VDV sukimo momento poreikis (Balci ir kt., 2021), kuris, kaip ir efektyvumas, labai priklauso nuo sukčių bei apkrovos (Ruan ir kt., 2017). Variklių efektyvumo sumažėjimas nuo greičio yra palyginti mažas, ypač kai sukiai dideli (Zhang ir kt., 2017). Hibridinių automobilių degalų sąnaudų ir anglies dioksido sumažėjimas yra įvardijamas vienu esminiu privalumu, palyginti su VDV varomais automobiliais (Taymaz ir kt., 2014).

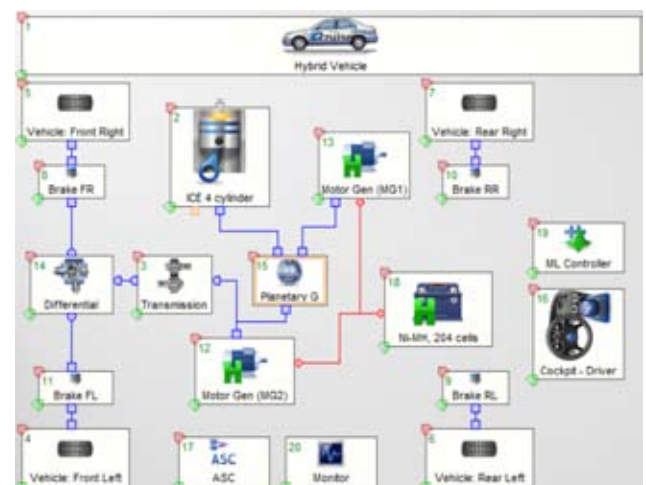
Šio straipsnio tikslas – pritaikius pasaulinę suderin-

tą lengvųjų automobilių bandymų procedūrą, remiantis skaitinio modeliavimo programa AVL CRUISE, nustatyti degalų sąnaudų ir anglies dioksido emisijos pokytį keičiant hibridinio automobilio aukštos įtampos baterijos talpą.

1. Hibridinio automobilio skaitinio modeliavimo metodika

Sudarant skaitinį hibridinio automobilio modelį (1 pav.), parinktas keturių cilindrų, 2 494 cm³ darbinio tūrio kibirkštinio uždegimo variklis (2), kurio maksimali galia – 114 kW, esant 5 700 min⁻¹. Maksimalus sukimo momentas – 206 Nm, esant 4 400– 4 800 min⁻¹. (Automobilio prototipas – TOYOTA RAV4 HV, variklio kodas – 2AR-FXE).

Hibridinę pavarą sudaro du nuolatinės srovės elektriniai varikliai: 1 variklis-generatorius (13), 2 variklis-generatorius (12) ir aukštos įtampos baterija (18). 2 variklis-generatorius pasiekia maksimalią 105 kW ga-



1 pav. Hibridinio automobilio skaitinio modelio schema
Šaltinis: sudaryta autorių.

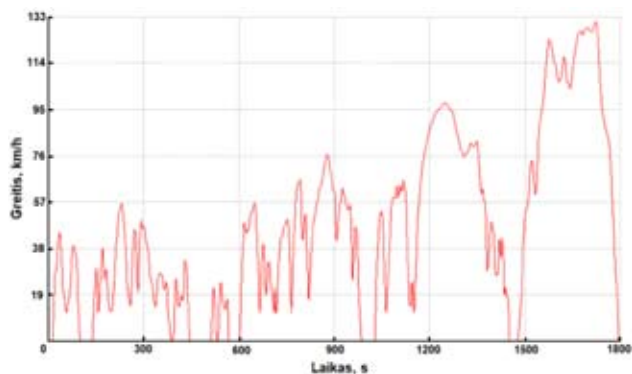
lią ir maksimalų 270 Nm sukimo momentą, kurį per transmisiją (3) ir diferencialą (14) perduoda į priekinės ašies varančiuosius ratus. 1 variklis-generatorius modelyje atlieka vidaus degimo variklio paleidimo ir aukštos įtampos baterijos įkrovimo funkcijas. Visos hibridinės sistemos, taip pat ir kibirkštinio uždegimo variklio, maksimali galia yra 147 kW.

Aukštos įtampos nikelio-metalu hidrido baterija sudaryta iš 34 modulių, kiekviename iš jų yra po 6 elementus (iš viso 204 vnt.), kurie elektrinėje grandinėje sujungti nuosekliai. Vieno elemento nominali įtampa yra 1,2 V, bendra baterijos nominali įtampa – 244,8 V, talpa – 6,5 Ah. Aukštos įtampos baterijos didžiausia įkrovimo įtampa sudarytame modelyje yra 300 V, iškrovimo – 220 V. Bendra aukštos įtampos baterijos masė – ~30,6 kg (vieno elemento masė – ~150 g).

Hibridinio automobilio skaitiniame modelyje yra naudojama antipraslydimo kontrolės sistema (17) (angl. *Anti Slip Control* – ASC), kuri užtikrina varančiųjų ratų sukibimą su važiuojamąja kelio danga ir neleidžia jiems praslysti, kai automobilis greitėja. Stabdymo ir greitėjimo charakteristikos pateiktos automobilio salono sistemoje (16). Rodiklių stebėsenai ir gautų rezultatų analizei naudojama duomenų surinkimo ir atvaizdavimo sistema (20).

Siekiant, kad modelyje sudarytas važiavimo ciklas būtų kuo artimesnis įprastoms automobilio važiavimo sąlygoms kelyje, yra taikoma pasaulinė suderinta lengvųjų automobilių bandymų procedūra, kurios suminė važiavimo ciklo trukmė – 30 minučių (1 800 s), nuvažiuotas atstumas – 23,25 km. Modelyje visą važiavimo ciklą (2 pav.) sudaro keturi etapai:

- mažo greičio (vidutinis greitis – 25,0 km/h, maksimalus – 56,5 km/h, važiavimo trukmė – 589 s, sustojimo trukmė – 156 s),
- vidutinio greičio (vidutinis greitis – 44,4 km/h, maksimalus – 76,6 km/h, važiavimo trukmė – 433 s, sustojimo trukmė – 48 s),
- didelio greičio (vidutinis greitis – 60,5 km/h, maksimalus – 97,4 km/h, važiavimo trukmė – 455 s, sustojimo trukmė – 31 s),
- itin didelio greičio (vidutinis greitis – 93,7 km/h,



2 pav. Hibridinio automobilio skaitinio modelio važiavimo ciklas pagal pasaulinę suderintą lengvųjų automobilių bandymų procedūrą

Šaltinis: sudaryta autorių.

maksimalus – 131,3 km/h, važiavimo trukmė – 323 s, sustojimo trukmė – 7 s).

Šiais važiavimo ciklo etapais yra imituojamas hibridinio automobilio važiavimas miesto, priemiesčio, užmiesčio keliais ir greitkeliais.

2. Skaitinis modeliavimas AVL CRUISE programa: pradinių duomenų parinkimas ir gautų rezultatų analizė

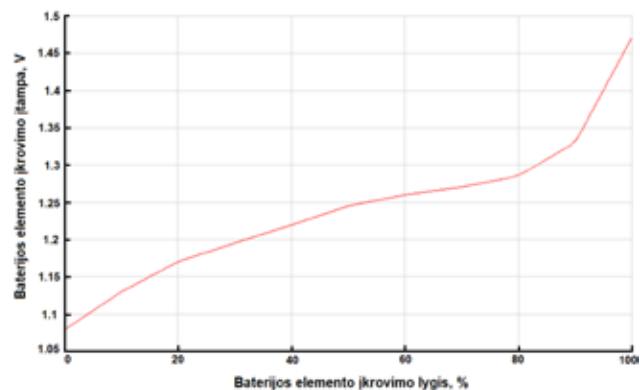
Siekiant įvertinti degalų sąnaudų ir CO₂ pokytį, sudarytame hibridinio automobilio modelyje yra analizuojami trys skirtingi atvejai keičiant aukštos įtampos nikelio-metalu hidrido baterijos talpą (6,5 Ah, 13 Ah, 19,5 Ah), kurios pradinis įkrovimo lygis – 100 proc.

Didinant baterijos talpą, didinama bendra hibridinio automobilio masė. Nominali įtampa nesikeičia (244,8 V), nes papildomi elementai elektrinėje grandinėje jungiami lygiagrečiai. Norint užtikrinti aukštos įtampos baterijos ilgaamžiškumą, maksimali leistina įkrovimo įtampa modelyje apribota iki 300 V, minimali – 220 V.

Sudaryta vieno baterijos elemento įkrovimo charakteristika (3 pav.), nurodant įkrovimo lygį ir įtampos reikšmes: minimali įtampa – 1,08 V, nominali – 1,2 V, maksimali – 1,47 V. Elemento iškrovimo charakteristika sudaryta pagal tokią pačią įtampos priklausomybę nuo iškrovimo lygio.

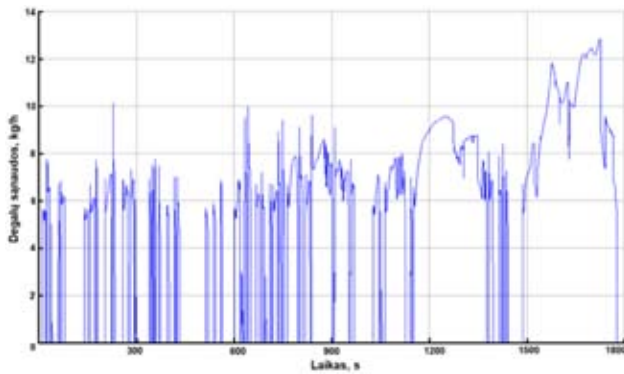
Vaziavimo ciklas pagal pasaulinę suderintą lengvųjų automobilių bandymų procedūrą modelyje yra sudarytas iš keturių etapų: važiuojantis mažu greičiu hibridinis automobilis sustoja ir stovi (greitis = 0 km/h) 26,5 proc. šiam etapui skirto važiavimo laiko, vidutiniu – 11,1 proc., dideliu – 6,8 proc. ir itin dideliu – 2,2 proc. Tokiu būdu yra imituojamas šalto kibirkštinio uždegimo variklio paleidimo režimas.

Hibridinio automobilio važiavimo ciklo bandymai atlikti parinkus 6,5 Ah aukštos įtampos baterijos talpą, naudojant 95 oktaninio skaičiaus benzina, kurio šilumingumas – 43,5 MJ/kg. Vidutinės degalų masės sąnaudos yra 7,42 kg/h (4 pav.). Vertinant kiekvieną važiavimo ciklo etapą, mažiausios vidutinės sąnau-

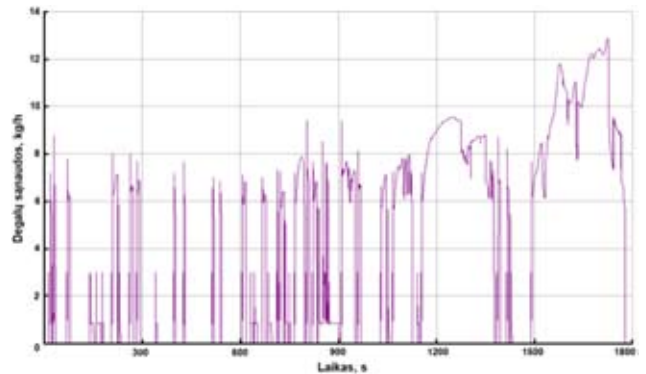


3 pav. Aukštos įtampos baterijos elemento įkrovimo charakteristika

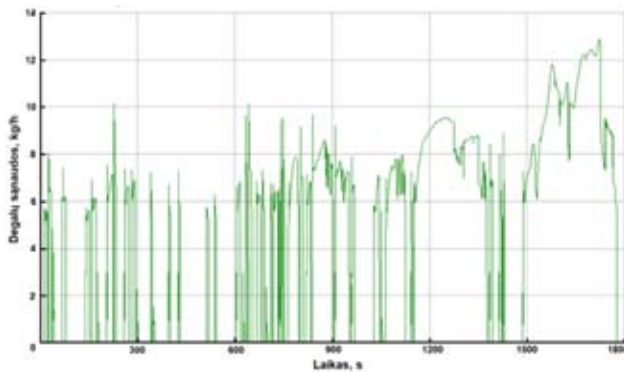
Šaltinis: sudaryta autorių.



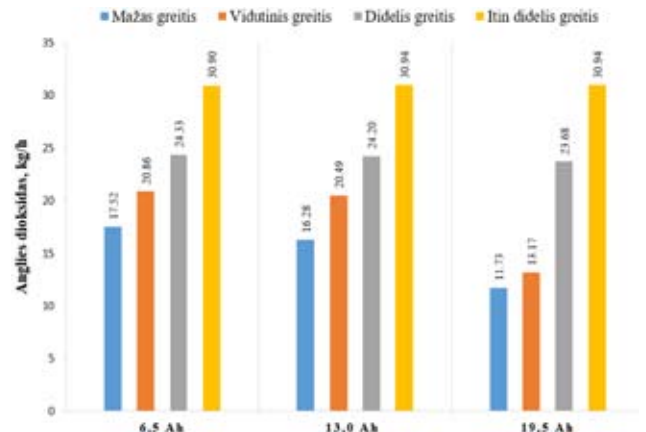
4 pav. Degalų sąnaudų pokytis pagal pasaulinę suderintą lengvųjų automobilių bandymų procedūrą. Baterijos talpa – 6,5 Ah
Šaltinis: sudaryta autorių.



6 pav. Degalų sąnaudų pokytis pagal pasaulinę suderintą lengvųjų automobilių bandymų procedūrą. Baterijos talpa – 19,5 Ah
Šaltinis: sudaryta autorių.



5 pav. Degalų sąnaudų pokytis pagal pasaulinę suderintą lengvųjų automobilių bandymų procedūrą. Baterijos talpa – 13,0 Ah
Šaltinis: sudaryta autorių.



7 pav. Anglies dioksido emisijos priklausomybė nuo aukštos įtampos baterijos talpos
Šaltinis: sudaryta autorių.

dos, kai automobilis važiuoja mažu greičiu – 5,56 kg/h (miesto režimu). Didžiausios vidutinės sąnaudos fiksuojamos, kai automobilis važiuoja itin dideliu greičiu – 9,80 kg/h.

Didinant hibridinio automobilio aukštos įtampos baterijos talpą iki 13,0 Ah, matomas degalų sąnaudų sumažėjimas (5 pav.). Vidaus degimo variklis yra paleidžiamas rečiau ir dirba trumpesnę laiką. Mažiausios vidutinės sąnaudos, kai automobilis važiuoja mažu greičiu – 5,16 kg/h, didžiausios vidutinės sąnaudos – itin dideliu greičiu – 9,81 kg/h.

Didžiausias vidutinis degalų sumažėjimas pasiekiamas, kai baterijos talpa padidinama iki 19,5 Ah ir automobilis važiuoja mažu greičiu – 3,72 kg/h (6 pav.). Daugiausia degalų vidaus degimo variklis sunaudoja, kai automobilis važiuoja itin dideliu greičiu – 9,81 kg/h.

Hibridinio automobilio išmetamas anglies dioksido kiekis tiesiogiai priklauso nuo sunaudojamų degalų masės. Pastebima tendencija, kad didinant aukštos įtampos baterijos talpą (6,5 Ah iki 13 Ah ir 19,5 Ah) anglies dioksido sumažėja, kai automobilis važiuoja tik mažu ir vidutiniu greičiu dėl sukaupto didesnio elektros energijos kiekio baterijose (7 pav.).

Dideliu ir itin dideliu greičiu važiuojančio automobilio baterijos talpa įtakos emisijoms neturi, nes, atsiradus didesniam galios poreikiui, užvedamas vidaus degimo variklis. Važiuojant itin dideliu greičiu ir pa-

didinus baterijos talpą iki 19,5 Ah, CO₂ kiekis šiek tiek padidėja (~1,3 %) dėl padidėjusios automobilio masės.

Išvados

Hibridinio automobilio veikimo skaitinis modeliavimas atliktas taikant pasaulinę suderintą lengvųjų automobilių bandymų procedūrą, kuria siekiama imituoti automobilio važiavimą miesto, priemiesčio, užmiesčio keliais ir greitkeliais. Nustatytos šios energetinių ir ekologinių rodiklių pokyčio tendencijos keičiant hibridinio automobilio aukštos įtampos baterijos talpą:

1. Didinant hibridinio automobilio baterijos talpą nuo 6,5 Ah iki 19,5 Ah, baterijos masė išauga nuo ~31 kg iki ~93 kg ir tai padidina automobilio riedėjimo varžą bei inerciją.

2. Miesto sąlygomis mažu (~25,0 km/h) greičiu važiuojančio hibridinio automobilio degalų sąnaudos sumažėja ~33 proc., nes padidinus baterijos talpą (nuo 6,5 Ah iki 19,5 Ah) daugiau išnaudojama regeneracinio stabdymo metu sukauptą elektros energiją, o vidaus degimo variklis yra užvedamas rečiau ir dirba trumpesnę laiką.

3. Didinant vidutinį hibridinio automobilio greitį nuo mažo (~25,0 km/h) iki itin didelio greitkelio greičio (~93,7 km/h), vidutinės degalų sąnaudos auga.

Įtakos neturi ir baterijos talpa, nes, didėjant energijos poreikiui įveikti oro pasipriešinimą, mažėja energijos dalis, gaunama iš elektros variklio, ir intensyviau naudojamas vidaus degimo variklis.

4. Važiuojant greitkeliu itin dideliu (~93,7 km/h) greičiu, didesnės talpos baterija turi labai mažą įtaką degalų sąnaudoms, nes stabdymo metu regeneruota elektros energija naudojama santykinai mažiau, palyginti su degalų energija, o energijos poreikis įveikti riedėjimo varžą papildomai išauga dėl sunkesnės baterijos.

5. Hibridiniu automobiliu važiuojant mieste mažu bei vidutiniu greičiu, parinkus optimalią baterijos talpą ir efektyviai išnaudojant stabdymo energijos regeneraciją, galima gerokai (~33 %) sumažinti CO₂ emisiją. Skaitiniu modeliavimu nustatyta, kad itin dideliu greičiu greitkeliu važiuojančio automobilio didesnės talpos baterija CO₂ emisijos ne tik nemažina, bet gali ir nedaug didinti.

Padėka

Autoriai dėkoja AVL kompanijai už galimybę pritaikyti transporto priemonių sistemų ir transmisijos skaitinio modeliavimo programą AVL CRUISE. Ši programa buvo panaudota hibridinio automobilio degalų sąnaudų ir anglies dioksido priklausomybei nuo baterijos talpos tirti ir rezultatams pristatyti. Tarp Vilniaus Gedimino technikos universiteto Transporto inžinerijos fakulteto ir „AVL Advanced Simulation Technologies“ sudaryta bendradarbiavimo sutartis.

Literatūra

- Balci, Ö., Karagöz, Y., Gezer, O., Kale, S., Köten, H., Pusat, S. ir Yüksek, L. (2021). Numerical and experimental investigation of fuel consumption and CO₂ emission performance for a parallel hybrid vehicle. *Alexandria Engineering Journal*, 60, 3649–3667. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.02.025>.
- European Commission, Joint Research Centre, Alberti, V., Caperna, G., Colagrossi, M. ir kt. (2021). *Tracking EU citizens' interest in EC priorities using online search data: the European Green Deal*, Publications Office. Prieiga per internetą: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/18216>.
- European Commission. (2020). Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en.
- European Commission. (2019). *2050 long-term strategy*. Prieiga per internetą: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2050-long-term-strategy_en.
- Pietzcker, R. C., Osorio, S. ir Rodrigues, R. (2021). Tightening EU ETS targets in line with the European Green Deal: Impacts on the decarbonization of the EU power sector. *Applied Energy*, 293, 116914. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116914>.
- Rahman, I., Vasant, P. M., Singh, B. S. M., Abdullah-Al-Wadud,

- M. ir Adnan, N. (2016). Review of recent trends in optimization techniques for plug-in hybrid, and electric vehicle charging infrastructures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1039–1047. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.353>.
- Ruan, J., Walker, P. D., Zhang, N. ir Wu, J. (2017). An investigation of hybrid energy storage system in multi-speed electric vehicle. *Energy*, 140, 291–306. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.119>.
- Taymaz, I. ir Benli, M. (2014). Emissions and fuel economy for a hybrid vehicle. *Fuel*, 115, 812–817. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.04.045>.
- Tran, D.-D., Vafaeipour, M., El Baghdadi, M., Barrero, R., Van Mierlo, J. ir Hegazy, O. (2020). Thorough state-of-the-art analysis of electric and hybrid vehicle powertrains: Topologies and integrated energy management strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109596. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109596>.
- Un-Noor, F., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L., Mollah, M. ir Hosain, E. (2017). A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development. *Energies*, 10, 1217. <https://doi.org/10.3390/en10081217>.
- Zhang, Y., Chu, L., Fu, Z., Xu, N., Guo, C., Zhang, X., Chen, Z. ir Wang, P. (2017). Optimal energy management strategy for parallel plug-in hybrid electric vehicle based on driving behavior analysis and real time traffic information prediction. *Mechatronics*, 46, 177–192. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2017.08.008>.

DEPENDENCE OF HYBRID CAR FUEL CONSUMPTION AND CARBON DIOXIDE ON BATTERY CAPACITY USING NUMERICAL MODELING METHOD

Tadas Vipartas^{1,2}, Alfredas Rimkus^{1,2}

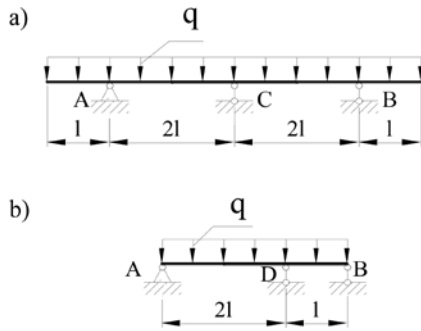
¹Vilnius College of Technologies and Design

²Vilnius Gediminas Technical University

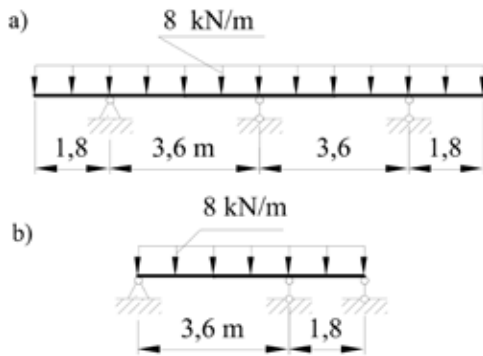
Summary. Hybrid car systems that evaluate operating conditions and driving dynamics are based on different control algorithms that ensure sufficient driving force, but maximizes fuel energy savings and thus, reduce pollutant emissions. Numerical simulation program AVL Cruise's model of a hybrid car aims to evaluate the dependence of fuel consumption and carbon dioxide on the capacity of a high-voltage battery using the Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure. The entire driving cycle is also composed of four speed stages – low, medium, high and ultra-high, which aim is to simulate the driving of a hybrid car in the city, suburbs, on country roads and the highway. The obtained results show that the battery capacity of the hybrid car must be adjusted depending on the expected operating conditions.

Key words: hybrid cars, carbon dioxide, fuel consumption, capacity of high voltage battery, numerical modeling, AVL Cruise.

gis – $l = 1,80$ m, linijinis tolygiai išskirstytas krūvis – $q = 30$ kN/m.



1 pav. Triatramių sijų pradinės schemas (a) ir (b)
Šaltinis: sudaryta autoriaus.



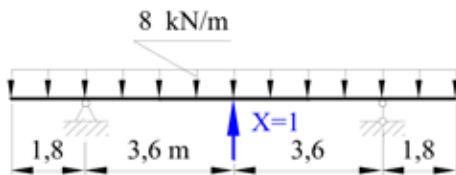
2 pav. Triatramių sijų skaičiuojamosios schemas
Šaltinis: sudaryta autoriaus.

Statiškai neišsprendžiamų sistemų analizės atvejais (Atkočiūnas ir Nagevičius, 2004, Čižas, 2011) nekinant skerspjūviui ir medžiagai standis $E \cdot I_x$ laikomas const.

2. Pagrindinių sistemų variantai

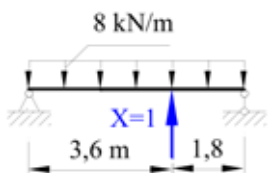
Parenkame kiekvienai triatramei sijai po vieną pagrindinę sistemą.

Sijai su konsolėmis patogu atmesti vidurinę atramą (3 pav.) ir gauti dvitramę siją.



3 pav. Sijos su konsolėmis pagrindinė sistema
Šaltinis: sudaryta autoriaus.

Antrajai sijai pasirenkama atmesti tarp kraštinių atramų esantį įtvirtinimą (4 pav.).



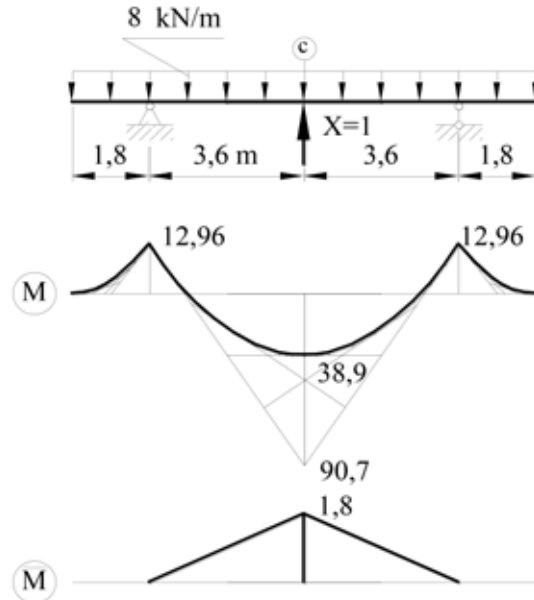
4 pav. Pagrindinė sistema
Šaltinis: sudaryta autoriaus.

Taip gaunama pagrindinė sistema, kurios pagrindu bus skaičiuojami kanoninės lygties (2) nariai.

3. Pirmosios sijos skaičiavimas

Grafoanalitinis metodas

Naudojant pjūvio ir superpozicijos metodus, skaičiuojamos įrašos.



5 pav. Lenkimo momentų diagramos
Šaltinis: sudaryta autoriaus.

Labai patogu skaičiavimuose ties dešine atrama naudoti koncentruotą momentą, tuomet apkrova transformuojama.

$$M_F = -8 \cdot 1,8 \cdot \frac{1,8}{2} = -12,96 \text{ kNm.}$$

Sudaroma sijos tikrųjų lenkimo momentų diagrama ir lenkimo momentų diagrama nuo vienutinės jėgos (5 pav.).

Pagrindinės sistemos poslinkis:

$$\Delta^* = 2 \cdot \left[\frac{8,0 \cdot 3,6^3}{12} \cdot \left(-\frac{1,8}{2} \right) + \left[\frac{1}{2} \cdot 38,9 \cdot 3,6 \cdot \left(-\frac{2}{3} \cdot 1,8 \right) + \left[\frac{1}{2} \cdot (-12,96) \cdot 3,6 \cdot \left(-\frac{1}{3} \cdot 1,8 \right) \right] \right] = -196$$

Sistemos poslinkis nuo vienutinės jėgos:

$$\delta = \left[\frac{1}{2} \cdot 1,8 \cdot 3,6 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 1,8 \right) \right] \cdot 2 = 7,78$$

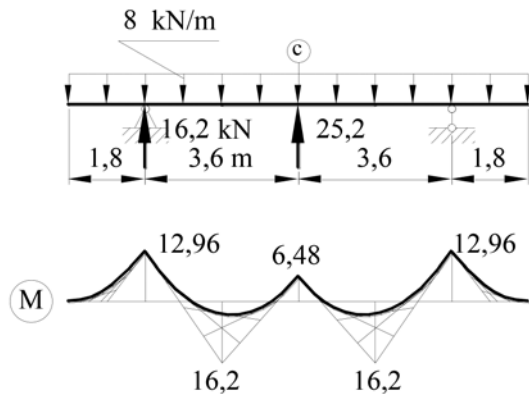
$$\text{Lygties (2) sprendinys: } X = \frac{\Delta^*}{\delta} = \frac{-(-196)}{7,78} = 25,2.$$

Analitinis metodas

Analitinio metodo taikymas skaičiuojant įlinkį c ties tarpatriumi centru pūviu pagrįstas tipinių formuliu naudojimu. Šis įlinkis privalo ties atrama C būti lygus nuliui:

$$v_c + v_c' = 0. \quad (4)$$

čia: v_c – įlinkis nuo tikrosios apkrovos; v_c' – įlinkis nuo vienietinės jėgos.



6 pav. Statiškai neišsprendžiamos sijos lenkimo momentų diagrama

Šaltinis: sudaryta autoriaus.

Šiems įlinkiams rasti taikome analitines formules, naudodami superpozicijos principą.

$$v_c = \frac{1}{E \cdot I_x} \cdot \left(\frac{5 \cdot 8,0 \cdot 7,2^4}{384} - \left(\frac{12,96 \cdot 7,2^2}{16} \right) \cdot 2 \right) = \frac{196}{E \cdot I_x}$$

Įlinkis nuo vienietinės jėgos:

$$v_c' = \frac{-X \cdot 7,2^3}{48 \cdot E \cdot I_x} = \frac{-7,78 \cdot X}{E \cdot I_x}$$

Lygties (4) išraiška su reikšmėmis:

$$\frac{196}{E \cdot I_x} + \frac{-7,78 \cdot X}{E \cdot I_x} = 0.$$

ir sprendinys $X = -\frac{196}{7,78} = 25,2 \text{ kN}$.

Abiem metodais gauti identiški rezultatai. Žinant atramoje C veikiančią jėgą (6 pav.), statiškai išsprendžiamos sijos įrąžos skaičiuojamos pjūvio metodu.

Gauta lenkimo momentų diagrama M, parodyta 6 paveiksle, iliustruoja maksimalios momento reikšmės sumažėjimą 3 kartais.

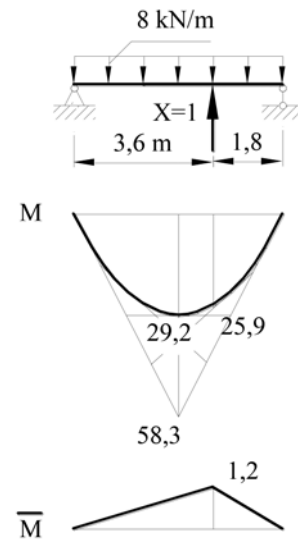
4. Antrosios sijos skaičiavimas

Naudojant grafoanalitinį metodą, pakartojamos tos pačios procedūros, kaip ir pirmosios sijos skaičiavimuose, apkraunant siją vienetine jėga ties atrama D ir gaunant lenkimo momentų diagramą M nuo tikrosios apkrovos ir nuo vienietinės apkrovos \bar{M} (7 pav.).

Čia maksimalus sijos lenkimo momentas yra viduryje ir sudaro:

$$M_{\max} = -8 \cdot \frac{5,4^2}{8} = 29,2 \text{ kNm}.$$

Visas nuoseklus skaičiavimas šiame skyriuje nepateikiamas, parodomi tik svarbiausi tarpiniai rezultatai: - pagrindinės sistemos poslinkis



7 pav. Antrosios sijos diagramos

Šaltinis: sudaryta autoriaus.

$$\Delta^* = \left[\left[\frac{8,0 \cdot 3,6^3}{12} \cdot \left(-\frac{1,2}{2} \right) \right] + \left[\frac{1}{2} \cdot 25,9 \cdot 3,6 \cdot \left(-\frac{2}{3} \cdot 1,2 \right) \right] + \left[\frac{8,0 \cdot 1,8^3}{12} \cdot \left(-\frac{1,2}{2} \right) \right] + \left[\frac{1}{2} \cdot 25,9 \cdot 1,8 \cdot \left(-\frac{2}{3} \cdot 1,2 \right) \right] \right] = -76,9$$

- sistemos poslinkis nuo vienietinės jėgos

$$\delta = \left[\frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 3,6 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 1,2 \right) \right] + \left[\frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 1,8 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 1,2 \right) \right] = 2,59$$

Skaičiuojamas lygties sprendinys:

$$X = \frac{\Delta^*}{\delta} = \frac{-(-76,9)}{2,59} = 29,7$$

Inžinerine prasme šis rezultatas parodo jėgą, veikiančią ties atrama D (1b pav.) triatramėje sijoje.

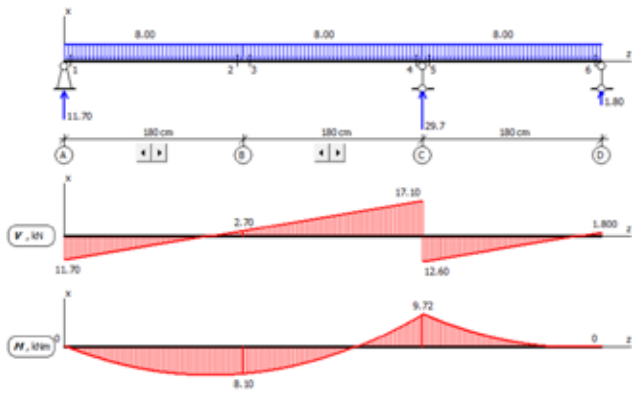
5. Antrosios sijos skaičiavimas programa

Modeliuojant inžinerines sistemas, kompiuteriniai metodai, programų rinkiniai ir skaičiuojamosios programos beveik išstūmė klasikinius skaičiavimo metodus.

Statiškai neišsprendžiamų sijų atveju galima naudoti bet kokią baigtinių elementų (Zienkiewicz, 2000, Wei et al., 2021) programų rinkinį (ANSYS, NASTRAN).

Šiame straipsnyje sijai skaičiuoti naudota „Medžiagų mechanikos“ elektroninio vadovėlio (Vislavičius ir kiti, 2008) skaičiuojamoji programa ir gautas rezultatas pateikiamas 8 paveiksle.

Palyginę gautą lygties sprendinį 29,7 kN su skaičiuojamąja programa gautu sprendiniu 29,7 kN (7 pav.), matome visišką sutapimą.



8 pav. Antrosios sijos įrašų diagramos
Šaltinis: sudaryta autorių.

Išvados

Darbe atlikus triatramių sijų analizę trimis įvairiais skaičiavimo būdais, daromos tokios išvados:

1. Grafoanalitiniu metodu ir naudojant tipines formules gautas sprendinys atskleidė identišką rezultatą.
2. Skaičiuojamąją edukacinę kompiuterinę programą gautas rezultatas su 0 proc. paklaida yra identiškas grafoanalitinio skaičiavimo rezultatams.
3. Laikui imliausias yra grafoanalitinis metodas, po to analitinis, trumpiausiai skaičiuota skaičiuojamąją programa.
4. Maksimalių lenkimo momentų palyginimas parodė, kad tiek pirmos sijos su atrama viduryje, tiek antros su papildoma atrama D lenkimo momentas sumažėja 3 kartus.

Literatūra

- Atkočiūnas, J. ir Nagevičius, J. (2004). *Tamprumo teorijos pagrindai*. Vilnius: Technika.
- Čižas, A. (1993). *Medžiagų atsparumas. Konstrukcijų elementų mechanika*. Vilnius: Technika.
- Hibbeler, R. C. (2011). *Mechanics of materials*. Prentice Hall.
- Vislavičius, K. et al. (2008). *Medžiagų atsparumo elektroninis vadovėlis*. Vilnius.
- Bhattiprolu, U., Bajajm, A. K. ir Davies, P. (2013). An efficient solution methodology to study the response of a beam on viscoelastic and nonlinear unilateral foundation: Static response. *International Journal of Solids and Structures*, 50, 14–15.
- Zienkiewicz, O. C. ir Taylor, R. L. (2000). *The Finite Element Method. The Basis, 1*. Butterworth Heinemann, Oxford.
- Wei, M., Li, Y. ir Gang Li, G. (2021). Lower and upper solutions method to the fully elastic cantilever beam equation with support. *Advances in Difference Equations volume*.

ANALYSIS OF THE METHODS OF TRI-SUPPORT BEAM

Jurijus Tretjakovas

Vilnius College of Technologies and Design

Summary: Tri-support beams are widely used in mechanical, transport, aviation and construction engineering. The calculated model of the shaft anchored in three bearings is also analogous to the tri-support beam model. The stresses of such structural elements are calculated by solving the system of canonical equilibrium equations in various ways: graph analytical, Moro, using typical formulas or computer programs, etc. Each of these methods has its advantages, which will be analyzed in the article.

Key words: tri-support beams, degree of static indeterminacy, bending moment.

OZONO, SUSIDARANČIO TECHNOLOGINIŲ PROCESŲ METU, KONCENTRACIJOS LYGIO PATALPOJE ĮVERTINIMAS

Vaida Vasiliauskienė

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

Anotacija. Didžiąją dalį laiko žmonės praleidžia patalpose, tačiau ir čia jie nuo ozono nėra apsaugoti, nors šio teršalo koncentracija patalpose (kai nėra ozono emisijos šaltinių) mažesnė nei lauke. Ozono koncentracija uždaroje patalpoje dėl vykstančių technologinių procesų (kopijavimo, suvirinimo), kurių metu susidaro šis teršalas, gali pasiekti žmogaus sveikatai pavojingą lygį, todėl ši problema tampa vis aktualesnė. Ozonas patalpose susidaro išlydžių metu (vainikinis išlydis kopijuojant, lankinis išlydis suvirinant). Tyrimas atliktas darbo (be ozono emisijos šaltinių) patalpoje, registruojant ozono iš lauko patekimą į patalpą. Be to, uždaroje patalpoje nustatytas ozono, vykstant technologiniams procesams (kopijavimui ir suvirinimui), koncentracijos lygis. Ozono patekimas iš lauko į patalpą padidina ozono koncentraciją patalpoje (be ozono emisijos šaltinių) 18 kartų. Kopijavimo metu registruotas 28 kartus, o suvirinimo metu – 45 kartus didesnis ozono koncentracijos lygis nei patalpoje be galimų ozono šaltinių. Nustatyta, kad technologinio proceso intensyvumas turėjo daugiausia įtakos ozono koncentracijos pokyčiams uždaroje darbo patalpoje.

Reikšminiai žodžiai: technologinis procesas, darbo patalpa, kopijavimas, suvirinimas, išlydis, ozonas.

Įvadas

Ozonas gali susidaryti natūraliai (deguonies ir ultravioletinės spinduliuotės reakcijų metu) ir dirbtinai (išlydžių metu) (Park et al., 2006; Dyer et al., 1997). Natūraliai ozonas susidaro perkūnijos metu, vykstant savaiminei elektros iškrovai atmosferoje. Kadangi ozonui būdingos dezinfekcinės savybės, po perkūnijos oras tampa gairus (Verma et al., 2021). Ozono šaltiniai patalpose gali būti ozonas iš lauko ir biuro ar namų elektriniai prietaisai (kopijavimo ar suvirinimo aparatai, lazeriniai spausdintuvai, elektrostatiniai oro valymo filtrai) (Nandan et al., 2019; Wang et al., 2012).

Uždaroje patalpoje žmonės vidutiniškai praleidžia 87 proc. laiko (Tipayarom & Tipayarom, 2011). Kai uždaroje patalpoje nėra tiesioginių ozono emisijos šaltinių, lauke esantis ozonas laikomas pagrindiniu ozono šaltiniu patalpoje (Zhong et al., 2017). Šios koncentracijos santykis priklauso nuo daugelio veiksnių: oro infiltracijos, vidaus oro cirkuliacijos, vidaus paviršių struktūros, ozono reakcijos su kitais cheminiais junginiais ir t. t. (Grøntoft, 2004; Mundackal & Ngolet, 2022). Nustatyta, kad ozono koncentracijos patalpoje ir lauke santykis kinta nuo 0,10 iki 0,80 (Nazaroff & Weschler, 2021). Filtruodamasis per namų sienas, oras praranda ozoną: šių dujų koncentracija patalpoje gali sumažėti iki 250 kartų (Vasiliauskienė & Vasiliauskas, 2022; Kalimeri et al., 2017). Dėl didelio reaktyvumo ozonas patalpoje nestabilus, todėl jo pusėjimo trukmė yra 7 minutės (Byčenkienė et al., 2009; Salonen et al., 2018).

Kopijavimo metu, vykstant vainikiniam išlydžiui, susidaro ir į aplinką patenka šie teršalai: ozonas, angliavandeniliai, azoto oksidai, lakieji organiniai junginiai, dulkės (Vicente et al., 2017). Ozonas kopijuojant susidaro būgno ir popieriaus įkrovimo ir iškrovimo bei ultravioletinių spindulių lempos veikimo metu. Ozono susidarymas kopijavimo metu priklauso nuo kopijavimo mašinos tipo, veikimo trukmės ir dažnumo, kopijavimo sąlygų (Benczek et al., 2000).

Suvirinimo metu, vykstant lankiniam išlydžiui, per vieną valandą išsiskiria iki 40 g žalingų dūmų ir dalelių. Suvirinimo dūmuose aptinkama ozono, anglies monoksido, anglies dioksido, azoto oksidų, fosgeno (Dennis et al., 2022). Ozonas susiformuoja iš ore esančio deguonies, veikiant ultravioletinei spinduliuotei, kurią suvirinimo metu skleidžia elektrodo lankas. Virinant 82 proc. skleidžiamos ultravioletinės spinduliuotės sudaro UVA ir 18 proc. UVB (Chadyšienė & Girgždys, 2009). Ozonas susidaro po 30 sekundžių nuo virinimo lydžiuoju elektrodu pradžios, o ypač intensyviai kibirkščiavimo ir staigaus lanko gesimo metu (Ojima et al., 2000). Ozono susidarymas suvirinimo metu priklauso nuo ultravioletinės spinduliuotės intensyvumo ir bangos ilgio, kuriems įtakos turi virinamos medžiagos rūšis ir elektrodo tipas (Liu et al., 2007).

Veikiant lazeriniam spausdintuvui, patalpoje ozono vidutiniškai susidaro 0,5–0,6 ppb/kopijai (Lee et al., 2001), o veikiant kopijavimo aparatui – 2–150 ppb/kopijai (Ayotamuno et al., 2013). Elektrostatiniai oro valymo filtrai, esant 2,9 mg/h ozono emisijos greičiui, gali generuoti 44 ppb šio teršalo koncentraciją (Jiang & Wen, 2022).

Žmogus per 8 valandas įkvepia iki 4 000 l oro, todėl uždaroje patalpoje, vykstant technologiniams procesams, suvartojamas didelis užteršto ozonu oro kiekis. Didelės ozono koncentracijos gali lemti autoimunines ligas (trombobolinį reiškinį, sąnarių ir inkstų pažeidimą) (Bar-Sela & Shoenfeld, 2008; Nuvolone et al., 2018; Othman et al., 2020; Elangov et al., 2013). Kai ozono koncentracija siekia 50,9 ppb, žmogui gali pradėti skaudėti galvą, o 152,8 ppb šio teršalo koncentracija gali sudirginti akis (Sundell, 2004; Singh et al., 2014). Ozono koncentracijos lygiui patalpoje padidėjus 10 ppb, žmonių mirtingumas nuo kvėpavimo ligų padidėja 4 proc. (Jerrett et al., 2009). Ozono poveikiui ypač jautrūs senjorai ir vaikai.

Siekiant apsaugoti žmones nuo žalingo ozono poveikio sveikatai, šio teršalo koncentracija tiek lauke,

ties uždarose patalpose ribojama. Pagal 2002/3/EB direktyvą Europos Sąjungos šalys privalo informuoti žmones, kai vienos valandos vidutinė ozono koncentracija ore siekia 90 ppb. Šioje direktyvoje nustatyta, kad ozono koncentracija aplinkos ore 25 dienas per metus, imant trejų metų vidurkį, turi neviršyti 60 ppb. Lietuvoje atlikti ilgalaikiai tyrimai rodo, kad apie 9 proc. laiko ozono koncentracija atmosferos ore viršija 50 ppb (Girgzdiene & Girgzdys, 2003). Pagal Lietuvos higienos normą HN 23:2011 ribinė ozono koncentracija darbo patalpoje yra 300 ppb, imant 5 minučių vidurkį, ir 100 ppb, imant 8 valandų vidurkį.

Darbo tikslas – įvertinti lauko ozono indėlį į ozono koncentracijos lygį patalpoje (be ozono emisijos šaltinių) bei iširti ozono susidarymą technologinių procesų (kopijavimo ir suvirinimo) metu.

1. Eksperimentinių tyrimų metodika ir prietaisai

Eksperimentas vykdytas 20 m² darbo patalpoje, registruojant ozono koncentraciją joje. Eksperimentas atliktas patalpoje tiek be ozono emisijos šaltinių joje, tiek su jais (kopijavimo ir suvirinimo aparatu).

Atliekant tyrimą, patalpoje elektriniai prietaisai, kuriems veikiant susidaro ozonas, buvo išjungti, iš pradžių matuota ozono koncentracija lauke, vėliau atidarytas 1,44 m² ploto langas ir registruota 0,5 m aukštyje nuo lango apačios teršalo koncentracija patalpoje. Ozono koncentracija patalpoje matuota skirtingu atstumu nuo lango esančiuose taškuose (0–5 m) praėjus 1 minutei po lango atidarymo. Langas uždarytas po 20 minučių.

Ozono susidarymas technologinių procesų metu tirtas prie „Toshiba 2860“ kopijavimo aparato ir suvirintojo, virinančio 4 mm skersmens lydžiuoju elektrodu. Matavimai atlikti 0,5 m aukštyje ir 0,25–1,0 m atstumu nuo šaltinių (1 pav.).

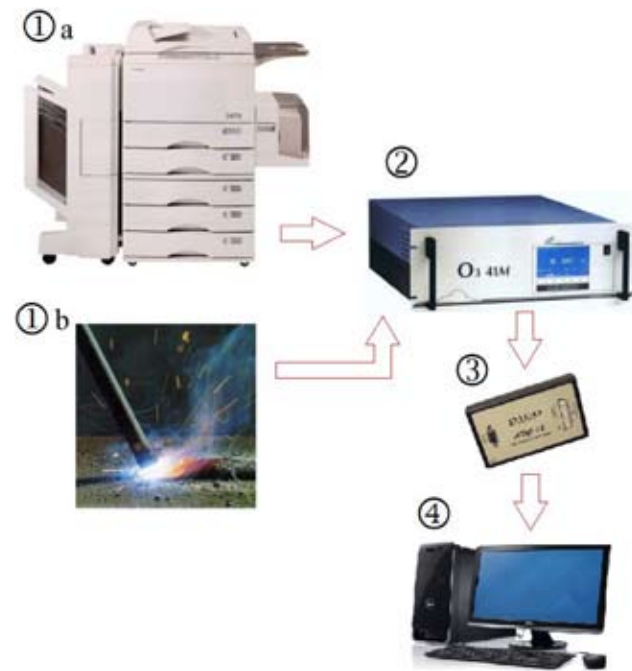
Ozono koncentracija nustatyta O₃ 41M ozono analizatoriumi, matuojant šio teršalo koncentraciją ppb (angl. *pats per bilion* – milijardinės dalys) matavimo vienetais. Šis analizatorius gali registruoti iki 1 000 ppb ozono koncentraciją. Prietaiso jautris – 0,5 ppb, jis veikia plačiu temperatūros (0–45 °C) ir slėgio (0,608 – 1,22)·10⁵ Pa intervalu. O₃ 41M analizatoriaus techninės charakteristikos pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Techninės ozono analizatoriaus O₃ 41M charakteristikos

Duomenų pateikimo vienetai (programuojami)	ppb, ppm arba mg/m ³
Matavimo ribos (programuojamos)	100 ppb, 250 ppb, 500 ppb, 1 000 ppb
Atsako laikas (programuojamas)	nuo 10 iki 90 s
Oro įtekėjimo greitis	~1,6 L/min
Tiesiškumas	1 %

Šaltinis: sudaryta autorių.

Siekiant įvertinti kopijavimo aparato darbo tempo įtaką ozono kiekiui patalpoje, kopijavimo intensyvumas suskirstytas į penkis režimus: 1 – 0 kopijų/min; 2 – nuo 1 iki 30 kopijų/min; 3 – nuo 31 iki 60 kopijų/min; 4 – nuo 61 iki 90 kopijų/min; 5 – nuo 91 iki 120 kopijų/min.



1 pav. Eksperimentui naudota aparatūra: 1 – ozono emisijos šaltinis (a – kopijavimo aparatas, b – virinimo elektrodas), 2 – ozono analizatorius, 3 – duomenų kaupiklis, 4 – kompiuteris
Šaltinis: sudaryta autorių.

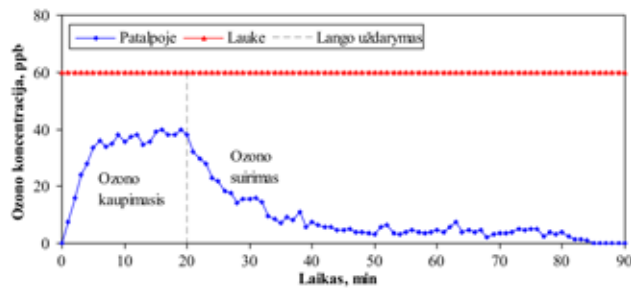
Oras tiriamame taške siurbtas iš ozono analizatoriaus išvestu tefloniniu vamzdeliu. Analoginiam signalui konvertuoti į skaitmeninį naudotas 8 kanalų ir 0,2 proc. tikslumo ADC – 16 duomenų kaupiklis. Ozono koncentracijos registracijai ir analizei pasirinkta *Pico-Log* programinė įranga. Ozono koncentracija patalpoje matuota nenutrūkstamai, kompiuterio duomenų bazėje kaupiant 1 minutės vidutines vertes.

2. Eksperimentinių tyrimų rezultatai ir analizė

Darbo patalpoje visi elektriniai prietaisai, kuriems veikiant susidaro ozonas, patalpoje buvo išjungti, vasaros sezono metu registruotas ozono patekimas į patalpą per atidarytą langą. Gauti ozono kaupimosi ir irimo patalpoje duomenys, atidarius ir uždarius langą, pateikti 2 paveiksle.

Ozono koncentracija darbo patalpoje, prieš atidarius langą, siekė <0,5 ppb. Lauke buvo 25 °C temperatūra, o patalpoje – 22 °C. Gauti tyrimo duomenys rodo, kad, atidarius langą, po 5 minučių patalpoje nusistovi pastovi 38±2 ppb ozono koncentracija.

Geresnei ozono koncentracijai dėl patalpos oro maišymosi su lauko oru langas paliktas atviras dar 15 minučių. Uždarius langą, stebimas ozono suirimas. Intensyviausias ozono suirimas fiksuotas tik uždarius

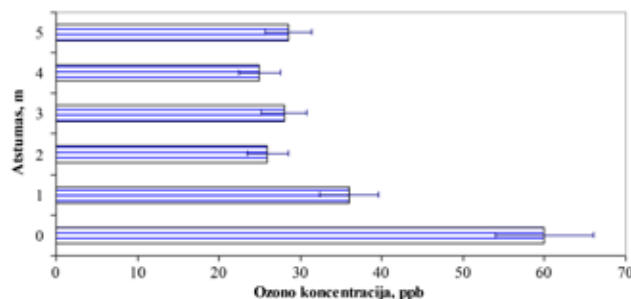


2 pav. Ozono kaupimasis ir irimas patalpoje (be ozono emisijos šaltinių), atidarius langą
Šaltinis: sudaryta autorių.

langą. Šis procesas sparčiai vyksta, kol suyra pusė viso patalpoje esančio ozono, vėliau teršalo irimo greitis mažėja. Nustatyta, kad į darbo patalpą iš lauko patekęs ozonas visiškai suiro per 1,5 valandas. Gauti tyrimo duomenys rodo, kad pusė darbo patalpoje esančio ozono suiro per 7 minutes. Nustatyta ozono pusėjimo patalpoje trukmė artima kitų mokslininkų gautoms vertėms (Salonen et al., 2018).

Tirtoje darbo patalpoje įvertintas ozono koncentracijos patalpoje (38 ± 2 ppb) ir lauke (60 ± 5 ppb) santykis, kuris lygus $0,63 \pm 0,04$. Artimi rezultatai gauti ir kitų mokslininkų tyrime, kai ozono koncentracijos patalpoje ir lauke santykis, atidarius langą, nustatytas $\sim 0,65$ (Sabersky et al., 1973).

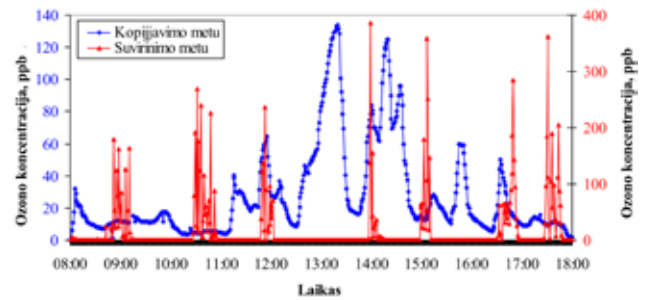
Siekiant įvertinti, koks ozono patekimo iš lauko atstumas saugus žmogui patalpoje, atlikta ozono koncentracijos priklausomybės nuo skirtingu atstumu atidaryto lango patalpoje analizė (3 pav.).



3 pav. Ozono koncentracijos pokyčiai patalpoje atidarius langą
Šaltinis: sudaryta autorių.

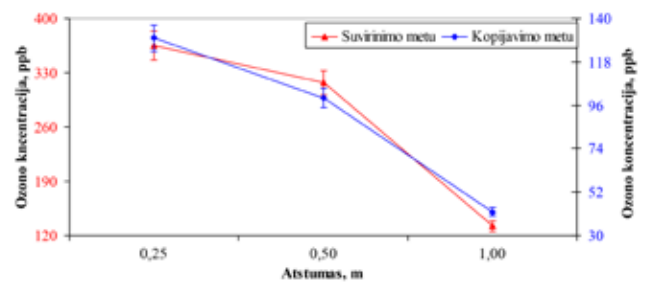
Atlikti ozono koncentracijos darbo patalpoje matavimai skirtingu atstumu nuo atidaryto lango rodo, kad ozono koncentracija staigiai kinta tik iki 2 m atstumu nuo lango. Toliau nuo lango ozonas patalpoje pasiskirsto maždaug tolygiai, todėl 2–5 m atstumu nuo lango gauta panaši ozono koncentracija, kurios vidutinė reikšmė buvo 27 ± 2 ppb. Tai rodo, kad ozono koncentracija patalpoje 1 m atstumu nuo lango yra 40 proc., o 2 m atstumu – 57 proc. mažesnė nei prie pat lango.

Kopijavimo aparatą ir suvirinimui naudojamą elektrodą galima priskirti prie lokalių oro taršos ozonu patalpose šaltinių. Ozono koncentracijos pasiskirstymas vieną dieną uždaroje darbo patalpoje, vykstant technologiniams procesams (kopijavimui ir suvirinimui), pateiktas 4 paveiksle.



4 pav. Ozono koncentracijos dinamika vieną darbo dieną kopijavimo ir suvirinimo metu
Šaltinis: sudaryta autorių.

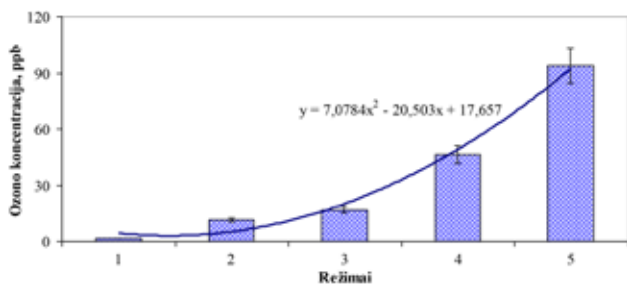
Tiek kopijavimo, tiek suvirinimo patalpoje ozono koncentracija pasiskirstė netolygiai. Tyrimo dieną kopijavimo darbai patalpoje vyko nuolatos, kopijavimo aparatas stabtelėdavo tik trumpai. Suvirinimo patalpoje galima išskirti septynis virinimo proceso epizodus. Suvirinimas uždaroje darbo patalpoje truko mažiau nei 30 proc. darbo dienos. Ypač suvirinimo metu dėl turbulentių fluktuacijų kyla tik susidaręs ozono koncentracijų laukas buvo labai nevienalytis, todėl matomi dideli koncentracijų svyravimai. Kopijavimo metu ozono koncentracija patalpoje kito 1–134 ppb intervalu, o suvirinimo metu – 2–386 ppb ribose. Tai rodo, kad ozono, susidarančio kopijavimo metu, koncentracija beveik 60 proc. mažesnė už teršalo, susidarančio suvirinimo metu, koncentraciją. Vykstant šiems technologiniams procesams, vidutinė ozono koncentracija darbo dieną neviršijo leistinos ozono koncentracijos darbo patalpose vertės – 100 ppb, tačiau momentinė ozono vertė buvo didesnė už žmogaus sveikatai saugų šio teršalo koncentracijos lygį.



5 pav. Ozono koncentracijos pasiskirstymas patalpoje pagal nuotolį nuo ozono emisijos šaltinių
Šaltinis: sudaryta autorių.

Atlikta ozono koncentracijos ir atstumo nuo ozono emisijos šaltinių tarpusavio ryšio paieška (5 pav.). Išanalizavus gautus duomenis matyti, kad didėjant atstumui nuo ozono emisijos šaltinio (kopijavimo aparato, elektrodo), ozono koncentracija patalpoje mažėja. Didžiausia ozono koncentracija nustatyta 0,25 m atstumu nuo ozono emisijos šaltinio. Ozono koncentracija šiuo atstumu nuo kopijavimo aparato kito nuo 6 iki 125 ppb, o nuo virinimo elektrodo – 18–363 ppb intervalu. Atstumui nuo ozono emisijos šaltinio padidėjus 4 kartus, patalpoje fiksuota 66 proc. mažesnė ozono koncentracija.

Ozono koncentracijos kitimas patalpoje, keičiantis kopijavimo aparato darbo režimui, pateiktas 6 paveiksle.



6 pav. Ozono koncentracijos dinamika darbo patalpoje kopijavimo aparatui veikiant skirtingu režimu

Šaltinis: sudaryta autorių.

Gauti tyrimo duomenys rodo, kad ozono koncentracija darbo patalpoje didėja kartu su augančiu kopijavimo intensyvumu. Kopijavimo aparatui veikiant 5 režimu (t. y. automatinio kopijavimo metu), užfiksuota didžiausia ozono koncentracija – 94 ppb. Kopijavimo aparato 2 darbo režimo metu (1–30 kopijų/min) nustatyta 88 proc. mažesnė ozono koncentracija nei 5 režimo atveju (91–120 kopijų/min).

Išvados

1. Vasaros metu ozono koncentracija lauke 95 proc. didesnė nei patalpoje (be galimų ozono susidarymo šaltinių). Įvertintas ozono koncentracijos patalpoje ir lauke santykis lygus 0,63. Tiriant ozono patekimą iš lauko į patalpą pastebėta, kad ozono koncentracija kinta tik iki 2 m atstumu nuo lango.

2. Ozono koncentracija patalpoje, vykstant technologiniams procesams (kopijavimui, suvirinimui), pasiskirstė netolygiai. Nuotolis nuo ozono emisijos šaltinio svarbus ozono koncentracijos lygiui darbo patalpoje. Prie kopijavimo aparato ir virinimui naudojamo elektrodo (0,25 m atstumu) stebima 3 kartus didesnė ozono koncentracija nei 1 m atstumu nuo šaltinių.

3. Kopijavimo ir suvirinimo intensyvumas yra pagrindinis veiksnys, darantis įtaką ozono koncentracijai darbo patalpoje. Suvirinimo metu greitai besilydantis elektrodas lemia 35 kartus didesnę ozono koncentraciją, nei elektrodo atitraukimo momentu. Ozono koncentracija automatinio kopijavimo metu (91–120 kopijų/min) registruota 8,2 karto didesnė nei aparato mažiausio kopijavimo intensyvumo laikotarpiu (1–30 kopijų/min).

4. Ozono koncentracija patalpoje, vykstant technologiniams procesams, neviršijo leistino darbo dienos ozono koncentracijos patalpoje lygio, tačiau momentinės šio teršalo vertės nėra saugios tokį darbą dirbančio žmogaus sveikatai.

Literatūra

Ayotamuno, M. J., Okoroji, J. and Ako, A. J. (2013). Ozone emission by commercial photocopy machines in Rivers State University of Science & Technology, Nigeria. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 4(6), 607–616.

Bar-Sela, S. and Shoenfeld, Y. (2008). Photocopy machines and occupational antiphospholipid syndrome. *Israeli Medical Association Journal*, 10(1), 52–54.

Benczek, K. M., Gawęda, E. and Kurpiewska, J. (2000). Prediction of toxic substances emission for occupational exposure assessment. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 6(1), 35–43. <https://doi.org/10.1080/10803548.2000.11105106>.

Byčėnėnė, S., Valuntaitė, V. and Girgždienė, R. (2009). Simulation of indoor ozone concentration. *Lithuanian Journal of Physics*, 49(3), 335–339. <https://doi.org/10.3952/lithjphys.49302>.

Chadyšienė, R. and Girgždys, R. (2009). Assessment of ultraviolet (UV) radiation from technical sources. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 17(3), 164–170. <https://doi.org/10.3846/1648-6897.2009.17.164-170>.

Dennis, J., French, M. J., Hewitt, P. J. and Pedding, C. E. J. (2022). Control of Occupational Exposure to Hexavalent Chromium and Ozone in Tubular Wire Arc-welding Processes by Replacement of Potassium by Lithium or by Addition of Zinc. *The Annals of Occupational Hygiene*, 46(1), 33–42. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mef024>.

Dyer, M. J., Bressler, C. G. and Copeland, R. A. (1997). Photodissociation of solid oxygen with tunable ultraviolet laser light: ozone production monitored via Fourier-transform infrared spectroscopy. *Chemical Physics Letters*, 266(5–6), 548–553. [https://doi.org/10.1016/S0009-2614\(97\)00042-0](https://doi.org/10.1016/S0009-2614(97)00042-0).

Elango, N., Vallikkannu, K. and Bhuvaneshwari, V. (2013). Chronic exposure to emissions from photocopiers in copy shops causes oxidative stress and systematic inflammation among photocopier operators in India. *Environ Health*, 12(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-78>.

Girgždienė, R. and Girgždys, A. (2003). Variations of the seasonal ozone cycles in the Preila station over the 1988–2001 period. *Environmental and Chemical Physics*, 25(1), 11–16.

Grøntoft, T. (2004). Measurements and modeling of the ozone deposition velocity to concrete tiles, including the effect of diffusion. *Atmospheric Environment*, 38(1), 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.09.044>.

Jerrett, M., Burnett, R. T., Arden Pope, C., Ito, K., Thurston, G., Krewski, D., Shi, Y., Calle, E. and Thun, M. (2009). Long-Term Ozone Exposure and Mortality. *The New England Journal of Medicine*, 360(11), 1085–1095. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa0803894>.

Jiang, E.-Y. and Wen, T. (2022). Indoor ozone removal and deposition using unactivated solid and liquid coffee. *PLoS ONE*, 17(8), e0273188. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273188>.

Kalimeri, K. K., Bartzis, J. G. and Saraga, D. E. (2017). Commuters' personal exposure to ambient and indoor ozone in Athens, Greece. *Environment*, 4(3), 53. <https://doi.org/10.3390/environments4030053>.

Lee, S. C., Lam, S. and Fai, H. K. (2001). Characterization of VOCs, ozone, and PM10 emissions from office equipment in an environmental chamber. *Building and Environment*, 36(7), 837–842. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00009-9).

Liu, H. H., Wu, Y. C. and Chen, H. L. (2007). Production of ozone and reactive oxygen species after welding. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 53(4), 513–518. <https://doi.org/10.1007/s00244-007-0030-1>.

- Mundackal, A. J. and Ngole, V. M. (2020). Evaluation of indoor and outdoor air quality in university academic buildings and associated health risk. *International Journal of Environmental Health Research*, 32(1), 1–19. <https://doi.org/10.1080/09603123.2020.1828304>.
- Nandan, A., Siddiqui, N. and Kumar, P. (2019). Assessment of environmental and ergonomic hazard associated to printing and photocopying: a review. *Environ Geochem Health*, 41(3), 1187–1211. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0205-x>.
- Nazaroff, W. and Weschler, C. J. (2021). Indoor ozone: Concentrations and influencing factors. *Indoor Air*, 32(1), 1–21. <https://doi.org/10.1111/ina.12942>.
- Nuvolone, D., Petri, D. and Voller, F. (2018). The effects of ozone on human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(9), 8074–8088. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9239-3>.
- Ojima, J., Shibata, N. and Twasaki, T. (2000). Laboratory Evaluation of Welder's Exposure and Efficiency of Air Duct Ventilation for Welding Work in Confined Space. *Industrial Health*, 38(1), 24–29. <https://doi.org/10.2486/indhealth.38.24>.
- Othman, M., Latif, M. T., Yee, C. Z., Norshariffudin, L. K., Azhari, A., Halim, N. D. A., Alias, A., Sofwan, N. M., Hamid, H. H. A., Matsumi, Y. (2020). PM_{2.5} and ozone in office environments and their potential impact on human health. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 194, 110432. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110432> PMID:32169727.
- Park, S. L., Moon, J. D., Lee, S. H. and Shin, S. Y. (2006). Effective ozone generation utilizing a meshed-plate electrode in a dielectric-barrier discharge type ozone generator. *Journal of Electrostatics*, 64(5), 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2005.06.007>.
- Sabersky, R. H., Sinema, D. A. and Shair, F. H. (1973). Concentrations, Decay rates and Removal of Ozone and Their Relation to Establishing Clean Indoor Air. *Environmental Science and Technology*, 7(4), 342–346. <https://doi.org/10.1021/es60076a001>.
- Salonen, H., Salthammer, T. and Morawska, T. (2018). Human exposure to ozone in school and office indoor environments. *Environment International*, 119, 503–514. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.07.012>.
- Singh, B., Kumar, A., Singh, D., Puni, M., Kumar, K. and Jain, V. (2014). An assessment of ozone levels, UV radiation and their occupational health hazard estimation during photocopying operation. *Journal of Hazardous Materials*, 275C, 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.04.049>.
- Sundell, J. (2004). On the history of indoor air quality and health. *Indoor Air*, 7(7), 51–58. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00273.x>.
- Tipayarom, A. and Tipayarom, D. (2011). Ozone level emitted from photocopiers and its exposure. *International Conference on Environmental and Computer Science*, 19, 42–47.
- Vasiliauskienė, V. and Vasiliauskas A. V. (2022). A case study on the assessment of chemical and physical pollution levels during the copying process. *Sustainability*, 14(3), 1–12. <https://doi.org/10.3390/su14031287>.
- Verma, S., Yadava, P. K., Lal, D. M., Mall, R. K., Kumar, H. and Payra, S. (2021). Role of Lightning NO_x in Ozone Formation: A Review. *Pure and Applied Geophysics*, 178, 1425–144. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02710-5>.
- Vicente, E. D., Ribeiro, J. P., Custódio, D. and Alves, C. A. (2017). Assessment of the indoor air quality in copy centres at Aveiro, Portugal. *Air Qual. Atmos. Health*, 10(2), 117–127. <https://doi.org/10.1007/s11869-016-0401-8>.
- Wang, H., He, C., Morawska, L., McGarry, P. and Johnson, G. (2012). Ozone-initiated particle formation, particle aging, and precursors in a laser printer. *Environmental Science and Technology*, 46(2), 704–712. <https://doi.org/10.1021/es203066k>.
- Zhong, L., Lee, C. S. and Haghghat, F. (2017). Indoor ozone and climate change. *Sustainable Cities and Society*, 28, 466–472. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.08.020>.

ASSESSMENT OF THE LEVELS OF OZONE FORMED DURING TECHNOLOGICAL PROCESSES INDOORS

Vaida Vasiliauskienė

General Jonas Žemaitis Military Academy of Lithuania

Summary. People spend most of their time indoors, however even here they are not protected from exposure to ozone, although the concentration of this pollutant indoors (in the absence of ozone emission sources) is lower than outdoors. The ozone formed during technological processes (such as copying, welding) in closed premises can reach the levels dangerous to human health. For this reason, ozone formation in closed rooms is becoming an increasingly urgent problem. Ozone is formed indoors during discharges (corona discharge during copying, arc discharge during welding). The study was carried out in a work room (without ozone emission sources) by recording the inflow of ozone from outside into the room. In addition, the levels of ozone formed during technological processes (copying and welding) were measured in a closed room. The inflow of ozone from outside into the room increases the concentration of ozone in the room (without ozone emission sources) by 18 times. Meanwhile, the levels of ozone recorded during copying were 28 times higher and 45 times higher welding in comparison with the ozone levels in the premises without potential ozone pollution sources. It has been determined that the intensity of the technological process had the greatest impact on the changes in the ozone concentration in the closed work room.

Key words: technological process, work room, copying, welding, discharge, ozone.

FREZAVIMO BŪDU APDIRBAMŲ SKIRTINGŲ MEDŽIAGŲ SUKELIAMOS ORO TARŠOS KIETOSIOMIS DALELĖMIS TYRIMAI

Audrius Čereška^{1,2}

¹Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Basanavičiaus g. 28, LT-03224 Vilnius

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

Anotacija. Oro tarša – viena svarbiausių šiuolaikinių problemų. Daug oro taršos susidaro mechaninio apdirbimo metu, kai ruošiniai apdirbami įvairiais būdais: tekinami, gręžiami, frezuojami, šlifuojami, tuomet į aplinką pasklinda daug įvairaus dydžio kietųjų dalelių. Žmogaus sveikatai pavojingiausias kietosios dalelės yra nuo 1 iki 10 µm dydžio. Taršos kiekis ir dalelių dydis priklauso nuo apdirbamos medžiagos, apdirbimo būdo, režimo ir kitų veiksnių. Kadangi medžiagų ir apdirbimo būdų labai daug, tyrimai turi būti atliekami tam tikrais etapais. Šiame darbe pateikti frezavimo būdu apdirbamų skirtingų medžiagų sukeltos taršos eksperimentiniai tyrimai ir gauti rezultatai.

Reikšminiai žodžiai: oro tarša, kietosios dalelės, frezavimas, aliuminis, fanera, organinis stiklas.

Įvadas

Gamyboje taikomos skirtingos mechaninio apdirbimo technologijos (Smith, 2016). Detalių mechaninio apdirbimo technologijos naudojamos įvairiose gamybos srityse: laivyboje, aviacijoje, automobilių, geležinkelių pramonėje ir pan. Metodų ir medžiagų pasirinkimas priklauso nuo gaminio savybių ir taikymo srities (Smith, 2016).

Viena pagrindinių problemų, su kuria susiduria gamybos pramonės darbuotojai, – oras, užterštas kietosiomis dalelėmis, kurios kelia pavojų darbuotojų sveikatai (Rogozinski et al., 2015). Sąvoka „dalelės“ apibrėžia skirtingo dydžio ir medžiagų daleles (Seinfeld & Pandis, 1998), kurios nebūtinai susidaro gamybos metu. Apdirbant medžiagas atsiranda kietųjų dalelių ir skysčio lašų, kurie sklinda ore, tai vadinama tarša kietosiomis dalelėmis (Davidson, Phalen & Solomon, 2005).

Vienas pagrindinių oro užterštumo šaltinių apdirbimo pramonėje – mechaninio apdirbimo technologinės operacijos: tekinimas, gręžimas, frezavimas ir kt.

Taršos lygis priklauso nuo daugelio veiksnių: greičio, pastūmos, suklio sukimosi dažnio (Heng et al., 2014), apdirbamos medžiagos, drožlės formos ir t. t. Mechaninio apdirbimo metu, kai formuojama drožlė, susidaro tarša (Chen et al., 2004).

Sveikatos mokymo ir ligų prevencijos centras informuoja, kad per pastaruosius keletą dešimtmečių oro užterštumas visame pasaulyje, ypač pramoniniuose rajonuose, labai išaugo.

Europoje aplinkos oro taršos vertinimas ir valdymas reglamentuojamas direktyvomis. Vadovaujantis jomis, nustatomi pagrindiniai aplinkos oro taršos vertinimo reikalavimai. Direktyva 96/62/EC (1996) nustato oro kokybės valdymą ir vertinimą, bendrosios strategijos pagrindinius principus.

Oro užterštumas taip pat reglamentuojamas įsakymais ir įstatymais. Aplinkos oro užterštumo normos nustatytos įsakyme Nr. 591/640, 2001, aplinkos oro kokybės valdymo prioritetai, aplinkos oro valdymo bei vertinimo principai – Lietuvos Respublikos įstatyme

Nr. VIII-1392, 1999, aplinkos apsaugos stebėsenos įgyvendinimo tikslai, struktūra ir principai – įstatyme Nr. X-595, 2006.

Pramoninių procesų taršą galima vertinti įvairiais metodais. Vertinant medžiagų apdirbimo metu sukeltą taršą, dažniausiai skaičiuojama medžiagų dalelių sklaida ir dalelių koncentracija atmosferoje. Dalelės grupuojamos taip, kad būtų lengviau nustatyti jų daromą žalą žmonių sveikatai (Davidson et al., 2005). Išskiriamos dvi dalelių grupės: mažos (2–5 µm dydžio) ir didesnės (5–10 µm dydžio) dalelės. Vienos dalelės yra matomos, kitos nematomos, nes labai mažos, tačiau jos gali lengvai patekti į žmogaus organizmą ir daryti žalą.

Mokslinėje literatūroje pateikta daug tyrimų apie kietųjų dalelių žalingą poveikį žmogaus sveikatai (Očkajová et al., 2020; Piernik et al., 2019; Sazonova et al., 2018; Rogoziński, 2015), taigi, būtina susimąstyti, kaip sumažinti šį poveikį. Rautio ir kiti mokslininkai (2007) teigia, kad oro taršą galima sumažinti keičiant detalių mechaninio apdirbimo parametrus.

Gamybos procesų skaitmeninimas (Baskutis et al., 2016) suteikia daugiau galimybių automatizuoti gamybą (Greenwood, 1997) ir pasitelkti robotus, kurie dirbtų taršioje aplinkoje.

Fujimoto, Takano ir Okumura (Fujimoto et al., 2011) tyrė apdirbamų medienos kompozitų taršą ir nustatė, kad susidaro daug dalelių, kurios žalingos žmogaus sveikatai. Tą patį teigia ir kiti tyrėjai (Rogozinski et al., 2015).

Kietųjų dalelių poveikis žmogaus sveikatai priklauso ir nuo darbo prie staklių trukmės. Sazonova ir kt. (2018) ištyrė ryšį tarp širdies ir kraujagyslių sistemos ligų bei darbo prie staklių trukmės.

Siekiant sumažinti dalelių sklaidą ore detalių mechaninio apdirbimo metu, gali būti naudojami pramoniniai filtrai, cikloniniai, elektrostatiniai nusodintuvai (Peukert & Wadenpohl, 2001). Kitų straipsnių autoriai rekomenduoja įrengti vietines dalelių sklaidos kontrolės sistemas (Kic & Müller, 2018).

Medžio dulkės sukelia nosies ertmės ir paranoalinių sinusų bei nosiaryklės ligas (Očkajová et al., 2020). Medienos dulkės taip pat yra susijusios su akių, nosies

ir gerklės dirginimu, dermatitu ir poveikiu kvėpavimui, gali sukelti lėtinę obstrukcinę plaučių ligą, astmą ir alerginę reakciją.

Atlikus mokslinės literatūros analizę, galima teigti, kad pramoninė tarša sukelia daug problemų. Siekiant spręsti šias problemas, turi būti atliekami tyrimai.

Šio darbo tikslas – nustatyti frezavimo būdu apdirbamų skirtingų medžiagų sukeliama oro taršą kietosiomis dalelėmis.

1. Apdirbamos medžiagos ir tyrimo įranga

Šiame skyriuje pateikta informacija apie apdirbamas medžiagas ir naudotą įrangą.

1.1. Apdirbamos medžiagos

Eksperimentiniams tyrimams atlikti naudotos trys skirtingos struktūros, tankio, svorio medžiagos:

- aliuminis;
- fanera;
- organinis stiklas.

Aliuminis – spalvotasis metalas, plačiai naudojamas pramonėje. Palyginti su kitais metalais, jis lengvas, nekoroduoja, lengvai apdirbamas ir nesimagnetina. Trūkumas – brangus.

Fanera – sluoksniais klijuotos medienos plokštė. Medžiaga plačiai naudojama baldų gamybai, interjero apdailai, sunkvežimių ir autobusų įrangai. Fanera dažniausiai gaminama iš beržo. Klijuojama su derva ir presuojama, vienas faneros sluoksnis gali būti nuo 1 iki 1,5 mm storio.

Organinis stiklas (PMMA) – polimeilmetakrilatas – skaidrus polimerinis plastikas, gaunamas polimerizacijos būdu. Dėl svorio, skaidrumo ir gero atsparumo įbrėžimams PMMA dažnai naudojamas kaip mažo svorio stiklo pakaitalas apdailai. PMMA svarbi savybė – atsparumas įvairių atmosferos sąlygų poveikiui.

1.2. Tyrimų įranga

Eksperimentiniams oro taršos kietosiomis dalelėmis matavimams atlikti naudota standartinė gamybinė įranga: CNC frezavimo staklės ir freza.

Detalės apdirbtos CNC frezavimo staklėmis KIM-LA 5D BFN2141 (1 pav.).



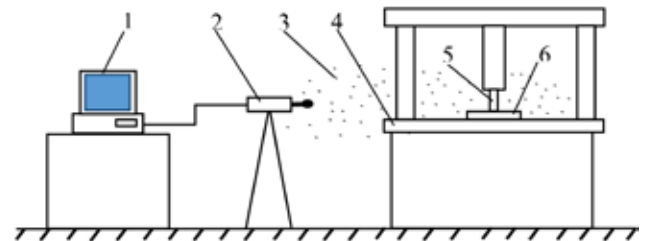
1 pav. CNC frezavimo staklės



2 pav. Freza



3 pav. Kietųjų dalelių skaitiklis



4 pav. Principinė matavimo schema: 1 – kompiuteris; 2 – kietųjų dalelių skaitiklis; 3 – kietosios dalelės; 4 – CNC frezavimo staklės; 5 – apdirbimo įrankis; 6 – apdirbamoji medžiaga

Šaltinis: sudaryta autoriaus.

Naudota standartinė 12 mm skersmens freza (2 pav.).

Kietųjų dalelių kiekis ore matuotas dalelių skaitikliu APC ErgoTouch Pro 2 (3 pav.).

Atlikus matavimus, kietųjų dalelių skaitiklis prijungiamas prie kompiuterio ir matavimo rezultatai perkeliama į kompiuterį.

Medžiagų mechaninio apdirbimo metu sukeltos oro taršos kietosiomis dalelėmis principinė matavimo schema pateikta 4 paveiksle.

2. Tyrimo metodika

Tyrimo metu medžiagos apdirbtos CNC frezavimo staklėmis.

Eksperimentiniai oro taršos kietosiomis dalelėmis matavimai atlikti taikant šiam tyrimui sudarytą metodiką.

Tyrimų metodika:

1. Prieš eksperimentinius matavimus patalpa išvalyta ir išvėdinta.
2. Užtikrinta, kad matavimų metu patalpoje nevyktų jokių kitų darbų.

3. Parengtos visos techninės priemonės.
4. Prieš tyrimą pamatuotas dalelių kiekis patalpoje.
5. Atliekant matavimus buvo keičiami medžiagų apdirbimo režimai, suklio sukimosi dažnis ir pastūma:
 - pastūma – 2,8 ir 3,6 m/min;
 - suklio sukimosi dažnis – 10 000 ir 12 000 suk./min;
 - frezavimo gylis – 3 mm;
 - frezavimo trukmė – 2 min.
6. Pastovūs parametrai:
 - kiekvieno oro taršos matavimo trukmė – 10 min;
 - tarša matuota 0,5 m atstumu nuo staklių;
 - matuotas 1, 5 ir 10 μm dydžio dalelių kiekis.
7. Kiekvienas matavimas kartotas 3 kartus.
8. Gauti rezultatai perkelti į kompiuterį.
9. Atlikta matavimo rezultatų analizė.

Matavimų eiga:

1. Įtvirtinama freza.
2. Pritvirtinama apdirbama medžiaga.
3. Nustatomi pagal metodiką numatyti parametrai.
4. Įjungiamas dalelių skaitiklis.
5. Įjungiamos CNC frezavimo staklės.
6. Nustatomas sukimosi dažnis.
7. Įjungiamas pastūma.
8. Frezuojama.
9. Po 2 min. frezavimo staklės išjungiamos.
10. Dalelių skaitiklis išjungiamas po 10 min.
11. Pakeitus apdirbamą medžiagą, procesas kartotas nuo 2 punkto.

3. Tyrimo rezultatai ir jų analizė

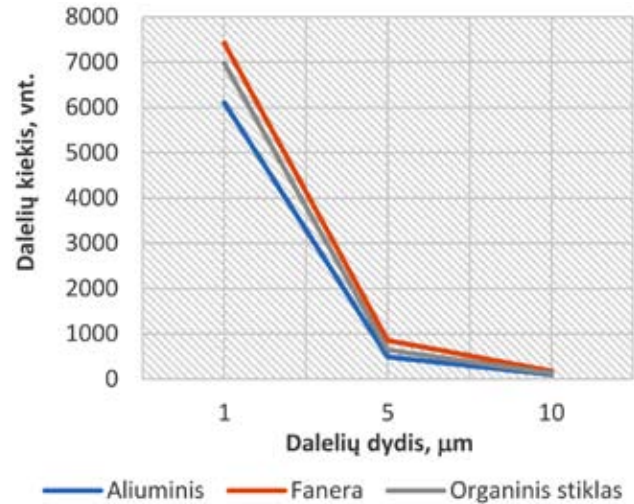
Atlikus eksperimentinius matavimus, gauti rezultatai pateikti 1 lentelėje.

Apibendrinus oro užterštumo kietosiomis dalelėmis eksperimentinių matavimų rezultatus, galima teigti, kad trijų apdirbamų medžiagų dalelių sklaida tokia:

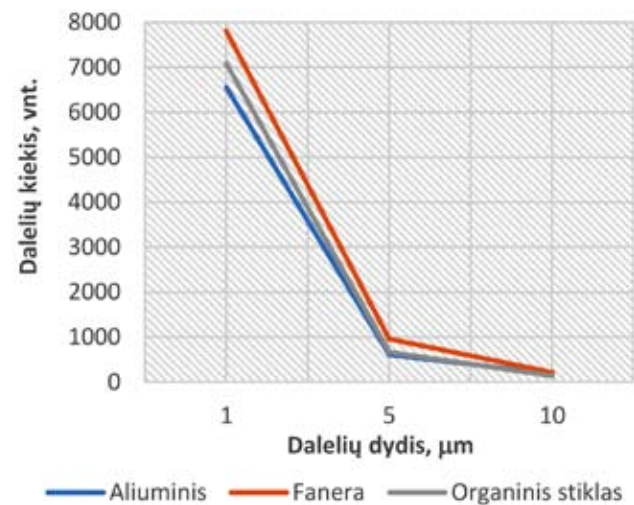
mažiausia dalelių sklaida apdirbant aliuminį, didesnė – organinį stiklą, didžiausia – fanerą.

Eksperimentinių matavimų rezultatai, sugrupuoti pagal suklio sukimosi dažnius ir pastūmas, pateikti 5–8 paveiksluose.

Apdirbant medžiagas 10 000 suk./min suklio sū-



5 pav. Sukimosi dažnis – 10 000 suk./min, pastūma – 2,8 m/min
Šaltinis: sudaryta autoriaus.

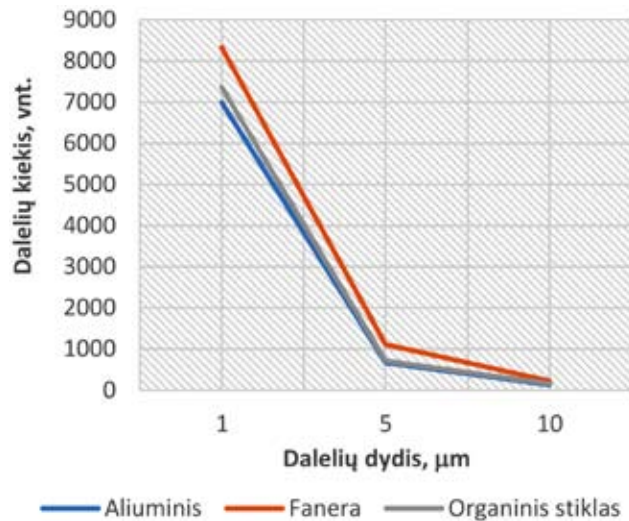


6 pav. Sukimosi dažnis – 10 000 suk./min, pastūma – 3,6 m/min
Šaltinis: sudaryta autoriaus.

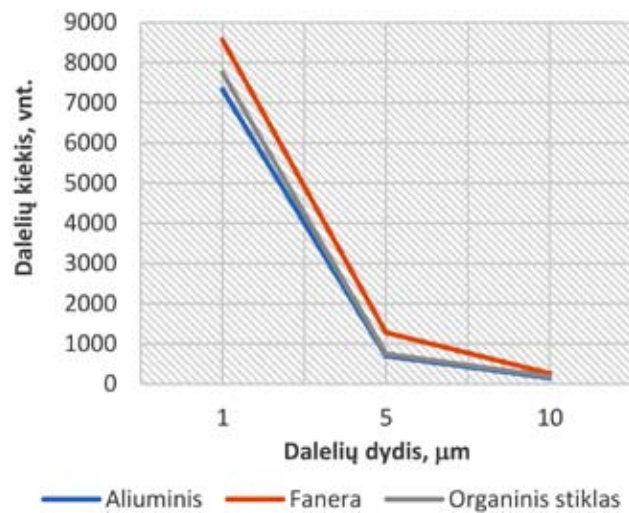
1 lentelė. Kietųjų dalelių kiekio eksperimentinių matavimų rezultatai

Eil. Nr.	Apdirbama medžiaga	Parinkti parametrai		Dalelių dydis, μm		
		Sukimosi dažnis, n (suk./min)	Pastūma, m/min	1	5	10
1.	Aliuminis	10 000	2,8	6 104	493	101
2.	Fanera			7 421	851	177
3.	Organinis stiklas			6 973	642	126
4.	Aliuminis		3,6	6 553	611	179
5.	Fanera			7 805	955	211
6.	Organinis stiklas			7 082	661	135
7.	Aliuminis	12 000	2,8	6 988	673	128
8.	Fanera			8 324	1 110	224
9.	Organinis stiklas			7 355	713	156
10.	Aliuminis		3,6	7 331	701	151
11.	Fanera			8 563	1 283	261
12.	Organinis stiklas			7 752	752	183

Šaltinis: sudaryta autoriaus.



7 pav. Sukimosi dažnis – 12 000 suk./min, pastūma – 2,8 m/min
Šaltinis: sudaryta autoriaus.



8 pav. Sukimosi dažnis – 12 000 suk./min, pastūma – 3,6 m/min
Šaltinis: sudaryta autoriaus.

kiais bei 2,8 ir 3,6 m/min įrankio judėjimo pastūmomis, matyti, kad pastūmos pokytis turi įtakos dalelių kiekiui. Tarša vidutiniškai padidėjo 4,39 proc. 1 µm dydžio kietosiomis dalelėmis, 10,82 proc. 5 µm dydžio kietosiomis dalelėmis ir 23,05 proc. 10 µm dydžio kietosiomis dalelėmis (5, 6 pav.).

Apdirbant medžiagas 12 000 suk./min suklio sukiais bei 2,8 ir 3,6 m/min įrankio judėjimo pastūmomis, matyti, kad pastūmos pokytis turi įtakos dalelių kiekiui. Tarša vidutiniškai padidėjo 4,22 proc. 1 µm dydžio kietosiomis dalelėmis, 8,77 proc. 5 µm dydžio kietosiomis dalelėmis, 14,62 proc. 10 µm dydžio kietosiomis dalelėmis (7, 8 pav.).

Palyginus visus matavimo rezultatus, galima teigti, kad daugiausia pasklido 1 µm, mažiau 5 µm ir mažiausia 10 µm dydžio dalelių. Vadinasi, kuo dalelė yra mažesnė, tuo lengvesnė ir ilgiau sklendo ore.

Faneros dalelės lengviausios, todėl šios medžiagos dalelių kiekis didžiausias, aliuminio mažiausias, nes aliuminio dalelės sunkiausios.

Apibendrinus frezavimo būdu apdirbamų trijų skirtingų medžiagų sukeliama oro tarša kietosiomis

dalelėmis rezultatus, galima teigti, kad daugiausia dalelių pasklido apdirbant fanerą. Rezultatai lyginti pagal 1, 5 ir 10 µm dydžio kietųjų dalelių kieki.

Išvados

1. Įrankio sukimosi dažnis ir pastūma turi tiesioginę įtaką oro taršai kietosiomis dalelėmis. Didėjant įrankio sukimosi dažniui, dalelės įgauna didesnę pagreitį, todėl toliau ir aukščiau skrieja.

2. Įvertinus visų medžiagų taršą pagal dalelių dydį, galima daryti išvadą, kad daugiausia į aplinką pasklido 1 µm dydžio kietųjų dalelių ir mažiausia 10 µm dydžio kietųjų dalelių. Vidutinis pasklidusių į orą 1 ir 10 µm dydžio dalelių kiekių skirtumas – 97,5 proc. Vadinasi, 1 µm dydžio dalelės lengviau pasklinda ir ilgiau išsilaiško ore, o didesnės greičiau nusėda dėl gravitacijos.

3. Darbuotojui darbo vietoje ypač svarbi apsauga nuo 1–5 µm dydžio dalelių dėl didesnės tikimybės tokioms dalelėms patekti į žmogaus organizmą.

4. Taršiausia iš trijų tirtų medžiagų yra fanera.

Literatūra

- Aplinkos ministerijos ir Sveikatos apsaugos ministerijos 2001 m. įsakymas Nr. 591/640 „Dėl aplinkos oro užterštumo normų nustatymo“.
- Chen, Z. C., Vickers, G. W. & Dong, Z. (2004). A new principle of CNC tool path planning for three-axis sculptured part machining – a steepest-ascending tool path. *Journal of manufacturing science and engineering*.
- Davidson, C. I., Phalen, R. F., & Solomon, P. A. (2005). Airborne particulate matter and human health: a review. *Aerosol Science and Technology*, 39(8), 737–749.
- Direktyva 96/62/EC, 1996.
- Fujimoto, K., Takano, T. & Okumura, S. (2011). Difference in mass concentration of airborne dust during circular sawing of five wood-based materials. *J. Wood Sci.*
- Greenwood, J. (1997). *The third industrial revolution: Technology, productivity, and income inequality* (No. 435). Washington: American Enterprise Institute.
- Heng, I., Liu, Li, Wang, H., Wu, M., & Liu, Y. (2014). *Investigation on the dust distribution characteristics of fry milling using inserts with various groove profiles*. Springer, Berlag, London.
- Kic, P. & Müller, M. (2018). Dust concentration in air during the MDF boards and polystyrene milling operations on CNC milling machine. *Manufacturing Technology*, 18(6), 923–927. <https://doi.org/10.21062/ujep/202.2018/a/1213-2489/mt/18/6/923>.
- Lietuvos Respublikos 1999 m. įstatymas Nr. VIII-1392 „Dėl aplinkos oro apsaugos“.
- Lietuvos aplinkos monitoringo 2006 m. įstatymas Nr. X-595.
- Očkajová, A., Kučerka, M., Kminiak, R., Krišťák, L., Igaz, R., & Réh, R. (2020). Occupational exposure to dust produced when milling thermally modified wood. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph17051478>.

- Peukert, W. & Wadenpohl, C. (2001). Industrial separation of fine particles with difficult dust properties. *Powder Technology*, 118(1–2), 136–148. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(01\)00304-7](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(01)00304-7).
- Piernik, M., Rogoziński, T., Krauss, A. & Pinkowski, G. (2019). The influence of the thermal modification of pine (*Pinus sylvestris* L.) wood on the creation of fine dust particles in plane milling: Fine dust creation in the plane milling of thermally modified pine wood. *Journal of Occupational Health*, 61(6), 481–488. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12075>.
- Rogoziński, T., Wilkowski, J., Górski, J., Czarniak, P., Podziwiski, P. & Szymanowski, K. (2015). Dust creation in CNC drilling of wood composites. *BioResources*, 10(2), 3657–3665. <https://doi.org/10.15376/biores.10.2.36573-665>.
- Rogoziński, T. (2015). *Dust creation in CNC Woodworking*. University of Life Sciences, Wojska Polskiego, 28, 60–637. Poznań, Poland.
- Sazonova, A., Kopytenkova, O. & Staseva, E. (2018). Risk of pathologies when exposed to fine dust in the construction industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 365(3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/3/032039>.
- Smith, G. T. (2016). Machine Tool Metrology. *Machine Tool Metrology*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25109-7>.
- Sari Rautio Pasi Hynynen Irma Welling Pasi Hemmila Arto Uusiniemi Pertti Narhi. (2007). Modelling of airborne dust emissions. *CNC MDF milling Holz Roh Werkst* 65: 335–341. <https://doi.org/10.1007/s00107-007-0179-3>.
- Seinfeld, J. & Pandis, S. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change* (2nd ed.). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, p. 97.

RESEARCH ON AIR POLLUTION BY SOLID PARTICLES CAUSED BY DIFFERENT MATERIALS PROCESSED BY MILLING METHOD

Audrius Čereška^{1,2}

¹*Vilnius Gediminas Technical University*

²*Vilnius College of Technologies and Design*

Summary. Air pollution is one of the most important modern problems. A lot of air pollution is generated in industrial production, during mechanical processing. In industrial production, work pieces are processed by various methods of mechanical processing: turning, drilling, milling, grinding and other methods. During such processes, solid particles of various sizes are spread into the environment, of which the most dangerous for human health are from 1 to 10 µm in size. The amount of pollution and the size of the particles depend on the processed material, processing method, modes and other factors. Since there are a lot of processed materials and processing methods, the research must be divided into separate stages. This paper presents the experimental studies of the pollution of the milling process of several different materials and the obtained results.

Key words: air pollution, solid particles, milling, aluminum, plywood, plexiglass.

VARŽTO IR VERŽLĖS SRIEGINIO SUJUNGIMO SRIEGIO VIJOS KIRPIMO STIPRUMO LYGINAMOJI ANALIZĖ

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

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

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

Anotacija. Srieginiuose sujungimuose irimas dažnai įvyksta dėl vijose atsirandančių didelių deformacijų ir įtempių. Vienas jų – sriegio nukirpimas varžte arba veržlėje. Darbe siekiama įrodyti, kad varžto ir veržlės vijų plotai yra skirtingi ir tai turi įtakos kerpamo ploto skaičiavimui. Atlikus skaičiavimus paaiškėjo, kad veržlės kerpamas plotas yra apie 18–20 proc. didesnis. Taigi, veržlę galima gaminti iš medžiagos, turinčios prastesnius mechaninius rodiklius nei varžto medžiaga.

Reikšminiai žodžiai: sriegis, varžtas, veržlė, srieginis sujungimas, kerpamas plotas.

Įvadas

Srieginiai sujungimai plačiai naudojami įvairiose technikos srityse (mašinų gamybos ir automobilių pramonėje, statyboje, medicinoje, biomechanikoje ir t. t.). Nuo jų priklauso konstrukcijos patvarumas ir patikimumas.

Mašinos ir pastatuose srieginiai sujungimai gali suirti nusitempus varžtui, nusikirpus sriegiui arba susidarius dideliems glemžimo įtempiams sriegio aplinkoje (Mudrov, 2016; Биргер и Иосилевич, 1990).

Srieginėmis detalėmis dažnai būna sutvirtintos medinės konstrukcijos. Srieginis strypas pritaikytas klijuotoms laminuotoms bambuko jungtims. Li ir kitų mokslininkų darbe (2020) pasiūlytas įklijuoto sriegio stiprumo modelis.

Daug srieginių detalių tyrimų atlikta biomedicinos srityje, ortopedijoje. Sraigtai plačiai naudojami kaip fiksavimo priemonės chirurginiams lūžiams gydyti, kai būtina chirurginė fiksacija, siekiant sumažinti negalios po traumos dažnį; tokiais atvejais populiarūs metaliniai varžtai (Yu et al., 2022). Skeletinis galūnių protezų tvirtinimas užtikrina apkrovos perdavimą tarp protezuojamos galūnės ir skeleto. Mokslininkai (Thesleff et al., 2022) ištyrė ir protezų srieginių tvirtinimo elementų geometrinius parametrus.

Ekspimentiniais tyrimais ir teoriniais skaičiavimais nustatyta, kad sukibusios varžto ir veržlės vijos apkrova nevienoda. Didžiausia vijų apkrova, kai sujungimas standartinis, tenka pirmosioms vijoms (Биргер и Иосилевич, 1990).

Daugelį srieginių detalių veikia statinių jėgų apkrova, todėl reikia atsižvelgti į sujungiamų detalių stiprumą, projektuojant lengvas, patikimas konstrukcijas. Stiprumo riba, nuo kurios priklauso srieginės jungties laikomoji galia, laikoma jos vienu iš patikimumo kriterijų. Srieginių jungčių statinis stiprumas priklauso nuo varžto stiebo ir sriegio vijų stiprumo. Statinio srieginių jungčių stiprumo įvertinimo (bandymo) metodai priklauso nuo jų apkrovos ypatumų realiose konstrukcijose. Dažniausiai srieginę jungtį veikia tempimo ir lenkimo jėgos. Lenkimo jėgos atsiranda dėl atraminių plokštumų detalių persikreipimo. Srieginį sujungimą

veikia ir sukimo bei kirpimo jėgos. Jos visos gali tapti vijos kirpimo priežastimi.

Jei susukimo aukštis nepakankamas, matomas aki-vaizdas varžto ir veržlės medžiagos mechaninių savybių skirtumas, įvyksta sriegio suirimas, paprastai vadinamas kirpimu. Atsižvelgiant į medžiagos mechanines charakteristikas, gali būti nukirptos varžto ar veržlės vijos. Jei sujungta sraigtu, gali kartu būti nukirptos varžto ir sujungiamos detalės sriegio vijos. Sriegio vijos nukerpamos tam tikru diametru, didesniu už vidinį ir priklausančiu nuo veržlės sienelių storio, varžto ir veržlės medžiagos savybių, pradinio vijų persidengimo. Jei vijos persidengia minimaliai ir varžto bei veržlės medžiagų mechaninės charakteristikos panašios, galima plastinė vijų deformacija – sriegio glemžimas. Tuomet srieginės jungties stiprumas gerokai mažesnis nei vijų kirpimo atveju.

Sriegio vijų irimas – pakankamai paplitusi srieginių elementų (varžto, veržlės, sraigto, smeigės) gedimo rūšis. Pagrindinis parametras, nustatantis vijų stiprumą, yra diametras d ir sriegio žingsnis P , sriegio įdubos spindulys R , veržlės aukštis H (susukimo aukštis), varžto ir veržlės medžiagų mechaninių charakteristikų santykis. Mažiausiai įtakos turi skersiniai varžto matmenys. Varžto ir veržlės medžiagos mechaninių charakteristikų santykis veikia deformavimo procesą ir sriegio vijų suirimo pobūdį, todėl sujungimo laikomoji geba, esant skirtingiems santykiams, $\sigma_{\text{varžto}}/\sigma_{\text{veržlės}}$, žymiai skiriasi, net ir varžto bei veržlės medžiagų su vienodais tamprumo moduliais.

Standartinis dviejų detalių sujungimas varžtu susideda iš varžto, veržlės ir poveržlės. Varžto galvutė yra tam tikros prizmės formos: šešiakampė prizmė, cilindras su vidiniu šešiakampiu, paslėpta piramidė su vidiniu įvairiu kryžminiu profiliu (PZ, PH). Vidinis profilis gali būti ir trikampis, ir šešiakampis (TRC). Netgi gamintojai kartais kuria tokius profilius, kad vartotojas varžtus galėtų sunkiai atsukti.

Neretai detalės sujungiamos sraigtu, kai varžtas įsukamas į detalėje pagamintą sriegį.

Detalės gali būti sujungtos ir smeige. Smeigė – tai cilindrinis strypelis, įsriegtas iš abiejų galų. Sujungiant smeige, vienas galas įsukamas į detalę, o ant kito užsukama veržlė.

Visuose sujungimuose išilginių apkrovų atveju nukerpamos sriegio vijos.

Temos aktualumas. Srieginio sujungimo stiprumas dažniausiai vertinamas, kai varžtas ir veržlė pagaminti iš tos pačios medžiagos. Šiame darbe įrodyta, kad veržlė gali būti pagaminta iš prastesnių mechaninių savybių plieno.

Tyrimo objektas – idealios geometrijos varžto veržlės srieginio sujungimo vijų šlytis.

Darbo tikslas – nustatyti varžto ir veržlės šlytimi deformuojamų vijų plotus ir juos palyginti.

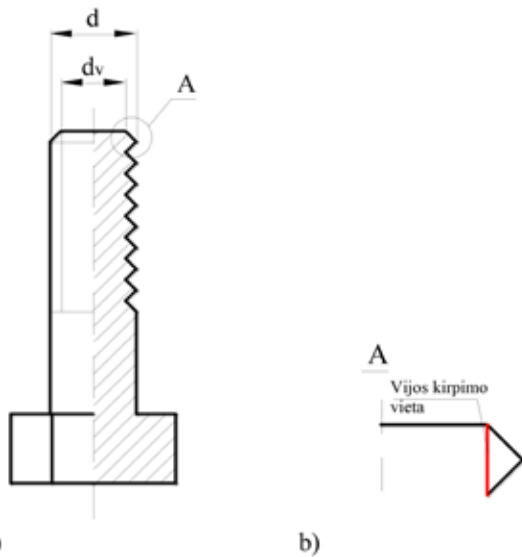
Šiam tikslui pasiekti buvo iškelti tokie uždaviniai:

- sukurti varžto vijos geometrijos modelį;
- sukurti veržlės vijos geometrijos modelį;
- palyginti varžto ir veržlės kerpamus plotus;
- nustatyti galimą veržlės medžiagos mechaninių savybių optimalų sumažėjimą.

Tyrimo metodika. Varžto ir veržlės (taip pat varžto ir detalės su sriegiu) srieginio sujungimo šlyties deformacija aprašoma analitiniu metodu (Li et al., 2020).

1. Varžto vijų kirpimas

Analizuojamas klasikinis stambaus žingsnio metrinis sriegis, žymimas M (pvz., M6, M14 ir pan.). Varžto su tokiu sriegiu (1a pav.) išorinis skersmuo d vadinamas nominaliniu sriegio skersmeniu. Varžto vidinis sriegio skersmuo bus žymimas d_v .



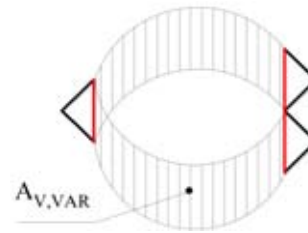
1 pav. Varžtas (a) ir vijos kirpimo vieta (b)
Šaltinis: sudaryta autorių.

Literatūroje (Биргер и Иосилевич, 1990) aprašyta, kad didžiausia apkrova visuomet tenka pirmajai vijai. Šios vijos aplinkoje dėl išilginės apkrovos kyla kontaktinių glemžimo įtempimų. Net kai sujungimas idealus, vija yra deformuojama šlytimi stengiantis ją nukirpti (1b pav.).

Šis vijos kerpamas plotas priklauso nuo sriegio žingsnio p , varžto vidinio skersmens d_v ir gali būti skaičiuojamas kaip cilindro šoninio paviršiaus plotas:

$$A_{V,VAR} = \pi \cdot d_v \cdot p. \quad (1)$$

Grafiškai aksonometrijoje šis plotas pavaizduotas 2 pav.

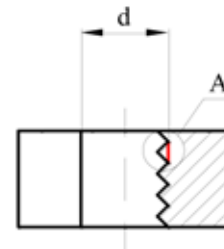


2 pav. Varžto vijos kerpamas plotas
Šaltinis: sudaryta autorių.

Visas suminis varžto vijų kerpamas plotas priklauso nuo vijų skaičiaus.

2. Veržlės vijų kirpimas

Nagrinėjama to paties nominalaus srieginio sujungimo skersmens veržlė (3 pav.).



3 pav. Veržlė ir vijos kirpimo vieta
Šaltinis: sudaryta autorių.

Veržlės vijos kerpamas plotas taip pat priklauso nuo sriegio žingsnio p , varžto nominalaus skersmens d (jis yra ir veržlės vijų pašaknų skersmuo) ir skaičiuojamas kaip cilindro šoninio paviršiaus plotas.

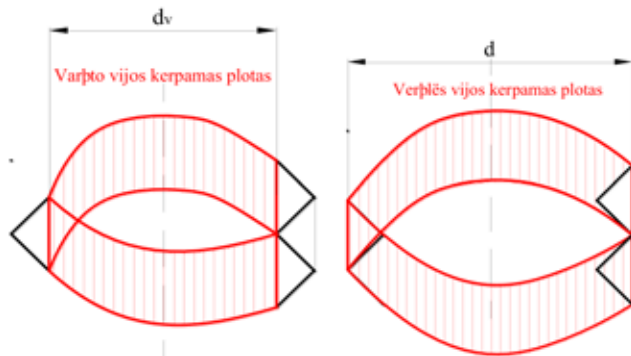
$$A_{V,VER} = \pi \cdot d \cdot p. \quad (2)$$

Jei veržlė turi n vijų, tuomet šis kerpamas plotas skaičiuojamas kaip visų plotų suma ir reiškiamas sandauga:

$$A_{VER} = \pi \cdot d \cdot p \cdot n. \quad (3)$$

Reikėtų atkreipti dėmesį į tai, kad nominalus skersmuo d visuomet bus didesnis už vidinį sriegio skersmenį d_v , todėl ir cilindro šoninio paviršiaus skaičiuojamas plotas taip pat bus didesnis. Šis padidėjimas iliustruojamas grafiškai pavaizduojant skirtingus plotus 4 paveiksle.

Reikia atkreipti dėmesį į tai, kad čia pavaizduotas idealaus sujungimo kerpamas plotas. Labai dažnai srieginiuose sujungimuose veržlės ir varžto vijos nesiliečia visu paviršiumi. Tokiu atveju sumažėja veržlės kerpamo šoninio cilindrinio paviršiaus skersmuo, kerpamo paviršiaus aukštis, padidėja varžto šoninio paviršiaus skersmuo. Be to, gerokai mažiau lieka kontaktinio plo-



4 pav. Varžto ir veržlės vijų kerpamas plotas
Šaltinis: sudaryta autorių.

to ir padidėja glemžimo įtempiai. Toks atvejis pavojingas ir jo nagrinėjimas yra ateities tyrimų objektas.

Naudodami formules, atliekame vijų plotų lyginamąją analizę.

3. Lyginamoji plotų analizė

Tvirtinimo sriegiai inžinerijoje gali būti tvirtinimo ir specialieji. Tvirtinimo sriegiai skirstomi į metrinčius ir colinius. Plačiausiai paplitę trikampio profilio metriniai sriegiai. Metrinio sriegio profilis – lygiašonis trikampis. Pagal žingsnį p metriniai sriegiai būna normalaus žingsnio ir smulkiažingsniai (Movninas, 1997).

Plotus lyginame naudodami populiariausius srieginius sujungimus M6, M8, M10, M12, M14 ir 1 ir 2 formules.

Bus išnagrinėtas vieno metrinio sriegio M6 pavyzdys. Pagal DIN ISO 965-2 standartą 13–20 nominalus skersmuo – $d = 6$ mm, minimalus sriegio išorinis skersmuo – 5,79 mm, minimalus vidinis skersmuo – $d_v = 4,596$ mm. Kitų sriegių matmenys nedetalizuojami.

Sriegio M6 varžto vijos kerpamas plotas:

$$A_{M6,VAR} = \pi \cdot 4,596 \cdot 1,0 = 14,44 \text{ mm}^2.$$

Sriegio M6 veržlės vijos kerpamas plotas:

$$A_{M6,VER} = \pi \cdot 5,79 \cdot 1,0 = 18,19 \text{ mm}^2.$$

1 lentelė. Sriegiai ir jų matmenys

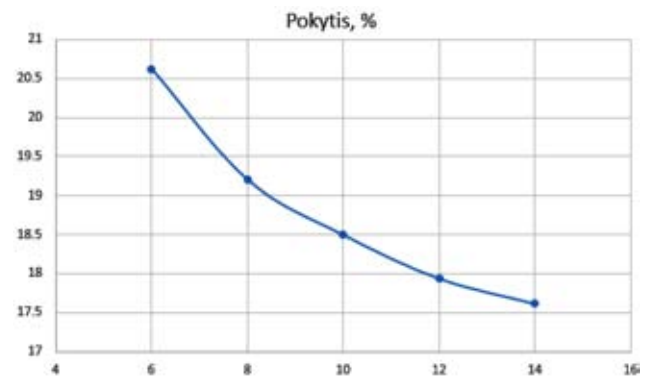
Sriegis	d , mm	d_v , mm	Žingsnis p , mm
M6	5,79	4,596	1
M8	7,76	6,27	1,25
M10	9,73	7,93	1,5
M12	11,701	9,602	1,75
M14	13,68	11,27	2

2 lentelė. Sriegiai ir vijų kerpami plotai

Sriegis	Vijos plotas, mm ²		Skirtumas, %
	Varžto	Veržlės	
M6	14,44	18,19	20,62
M8	24,62	30,479	19,20
M10	37,3787	45,859	18,45
M12	52,79	64,33	17,94
M14	70,81	85,95	17,62

Visi kiti srieginiai sujungimai išsamiai nebus aprašyti, 2 lentelėje pateikiami tik rezultatai.

Procentinis veržlės kerpamo ploto padidėjimas, atsižvelgiant į sriegio nominalų skersmenį, vaizduojamas 5 paveiksle.



5 pav. Vijų kerpamo ploto santykinis skirtumas
Šaltinis: sudaryta autorių.

Galima matyti, kad veržlės vijos didžiausias pokytis yra M6, mažiausiais – M14 sriegio. Kadangi skirtumas tarp M6 ir M14 kinta 17,62–20,62 proc., darome išvadą, kad veržlės stiprumas gali būti mažesnis apie 18–20 proc. Šių plotų analizės pagrindu ir atsižvelgiant į gautus skirtumus bus optimizuojami veržlės plieno mechaniniai rodikliai.

4. Veržlės mechaninių savybių optimizavimas

Tarkime, srieginė varžtinė jungtis turi būti pagaminta naudojant 10.9 klasės varžtus. Vadinasi, gamintojas garantuoja plieno stiprumo ribą tempimo atveju 1 000 MPa.

Mūsų nagrinėjamos vijos yra veikiamos šlyties, todėl reikia aprašyti medžiagos elgseną. Nors ir kirpimo atveju plastinės deformacijos nėra plačiai išnagrinėtos, žinoma, kad daugelio medžiagų šlyties takumo riba yra susijusi su tempimo tankumo riba tokiu santykiu.

$$\tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

Vadinasi, kirpimo, irimo įtempiai medžiagoje koreliuoja per koeficientą 0,577 su tempimo bandymu gautais rezultatais ir tempimo bei kirpimo procentiniai skirtumai bus tie patys.

Viso sujungimo stiprumas priklauso nuo varžto stiprumo. Taigi, varžto, silpnesnio nei numatyta instrukcijoje, naudoti negalima, nes, atsižvelgus į darbe gautus rezultatus, galima teigti, kad veržlės mechaniniai rodikliai gali būti apie 20 proc. prastesni. Vadinasi, tokioje jungtyje pasirinkę 8 klasės veržlę ir padidinę statinių apkrovą stiprumo nesumažinsime, atvirkščiai – dinaminių apkrovų atveju padidinsime, nes standus sujungimas greitai padidins dinامينius įtempius. Prastesnė veržlė sujungimui suteiks elastingumo, o dinaminių įtempių padidėjimas nebus toks akivaizdus.

Kadangi 8.8 klasės varžtiniai sujungimai yra populiariūs, vadinasi, gamintojai garantuoja 800 MPa stiprumo ribą tempiant varžtų ir veržlių plieną. Tokiame sujungime naudodami 5.8 klasės veržlę prarandame apie 37,5 proc. veržlės stiprumo. 17–20 proc. praradimas sujungimo nenusilpnintų, tačiau dar 18–20 proc. tenka 5.8 klasės veržlei, vadinasi, nusikirps veržlės vijos.

Taigi, taip konstruoti srieginius sujungimus visiškai neleistina. Tačiau inžinerijoje yra srieginių sujungimų, kur nerekomenduojama sugadinti varžto sriegio (pvz., smeiginiuose sujungimuose, diržinių ar grandinių pavaru įtempimo mechanizmuose ir kt.). Dažnu atveju veržlę galima pakeisti lengvai, o varžtą sunkiai. Taigi, 5 klasės veržlė dinaminių ir statinių perkrovų atveju garantuotų veržlės vijų nukirpimą, o varžto sriegis liktų nepažeistas dėl šlyties deformacijos.

Išvados

1. Varžto ir veržlės sujungimo stiprumui vijų šlyties deformacija yra tiek pat svarbi kaip ir varžto tempimo ar kirpimo deformacijos.

2. Varžto vijos kerpamas plotas priklauso nuo varžto vidinio skersmens, o veržlės plotas – nuo sujungimo nominalaus skersmens.

3. Didžiausias veržlės vijos kerpamo ploto pokytis, palyginti su varžto vijos kerpamu plotu, yra M6, mažiausias – M14 sriegyje.

4. Atlikus tyrimus, galima teigti, kad srieginiame sujungime visuomet galime naudoti viena klase mažesnę veržlę ir statinis sujungimo stiprumas nepasikeis.

5. Mažesnės klasės veržlė, o ne varžtas srieginį sujungimą sustiprina dinaminių apkrovų atveju, nes sumažėja sistemos standumas ir padidėja sujungimo elastingumas.

Literatūra

- Čižas, A. (1993). *Medžiagų atsparumas. Konstrukcijų elementų mechanika*. Vilnius: Technika.
- Hibbeler, R. C. (2011). *Mechanics of materials*. Prentice Hall.
- Yu, A., Imade, S. ir Furuya, S. et al. (2022). Relationship between thread depth and fixation strength in

cancellous bone screw. *Journal of Orthopaedic Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2022.07.003>.

Li, T. Y., Shan, B., Xiao, Y., Guo, Y. R. ir Zhang, M. P. (2020). Axially loaded single threaded rod glued in glubam joint. *Construction and Building Materials*, 244, 118302. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118302>.

Movnin, M. S. (1997). *Techninės mechanikos pagrindai*. Vilnius: Mokslo.

Mudrov, A. (2016). *Tempiamųjų flanšinių jungčių ir tempiamųjų varžtų elgsenos analizė*. Baigiamasis magistro darbas.

Pocius, A. ir Ulickas, E. (2008). Research of Sealed Threaded Joint Stretches and Deformations of Elements. *Mechanika*, 418–421.

Thesleff, A., Ortiz-Catalan, M., ir Brånemark, R. (2022). The effect of cortical thickness and thread profile dimensions on stress and strain in bone-anchored implants for amputation prostheses. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 129, 105148. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2022.105148>.

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

Биргер, И. А. ir Иосилевич, Г. Б. (1990). *Резьбовые и фланцевые соединения*. Москва: Машиностроение.

Смирнов, А. Ф. (1975). *Сопротивление материалов*. Москва: Высшая школа.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SHEAR STRENGTH OF THREAD OF BOLT AND NUT CONNECTION

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

¹Vilnius Gediminas Technical University

²Vilnius College of Technologies and Design

Summary: In threaded connections, fracture often occurs due to the large deformations and stresses that occur in the turns. One of the characteristics of fracture is thread shearing in a bolt or nut. The aim of work is to show that the screw and nut thread areas are different and this affects the calculation of the shear area. Calculations showed that the sheared area of the nut is up to 18...20% larger. Therefore, the nut can be made of a material with the weakest mechanical properties than the bolt material.

Key words: thread, screw, nut, threaded connection, sheared area.

TECHNOLOGIJOS IR MENAS TECHNOLOGY AND ART

2022/13

Lietuvių kalbos redaktorės / Lithuanian language editors

Jolita GRAŠIENĖ, Zita MARKŪNAITĖ

Anglų kalbos redaktorė / English Editor Svetlana TOROPOVIENĖ

ISSN 2029-400X

2022-12-22. 60×90/8. 10,5 sąlyg. sp. I. Tiražas 70 egz.
Spausdino UAB „Baltijos kopija“ Kareivių g. 13B, Vilnius

Redakcijos adresas

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

Antakalnio g. 54; LT-10303 Vilnius, Lietuva

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

Address of the publisher

Vilnius College of Technologies and Design

Antakalnio g. 54; LT-10303 Vilnius, Lithuania

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

E-mail journal@vtdko.lt