

TECHNOLOGIJOS IR MENAS **TECHNOLOGY AND ART**

2025/16



TECHNOLOGIJOS IR MENAS

TECHNOLOGY AND ART

2025/16

TYRIMAI IR AKTUALIJOS
RESEARCH AND TOPICALITIES



VILNIAUS KOLEGIJA

VILNIAUS KOLEGIJA / HIGHER EDUCATION INSTITUTION

VILNIUS 2025

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

VYRIAUSIASIS REDAKTORIUS / EDITOR-IN-CHIEF

Doc. Dr. Vytenis Surbllys

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

LIETUVIŲ KALBOS REDAKTORĖ / LITHUANIAN LANGUAGE EDITOR

Jolita Grašienė

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

ANGLŲ KALBOS REDAKTORĖ / ENGLISH LANGUAGE EDITOR

Svetlana Toropovienė

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

TECHNINĖ REDAKTORĖ / TECHNICAL EDITOR

Brigita Šustickienė

Vilniaus kolegija / Higher Education Institution (LTU)
Informatikos mokslai / Computer 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. Slawomir Wierbicki

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

Prof. Habil. Dr. Vytautas Bučinskas

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

Dr. Donatas Rekus

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

Prof. Habil. Dr. Šarūnas Paulikas

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

Dr. Aušra Stankiuvienė

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

Prof. Dr. Alfredas Rimkus

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

Dr. Mindaugas Grigonis

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

Dr. Aurelijus Pitrėnas

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

Dr. Ela Jarmolajeva

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

Dr. Andrius Buska

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

Doc. Dr. Saugirdas Pukalskas

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

TURINYS

Zuzanna Dulska, Wiktoria Czyż, Yassine Amine El Jazar, Widad El Gazal, Warda Jama, Anna Broling Exploring user needs and expectations for the design of an AI-powered smart cane: a qualitative study	5
Jurijus Tretjakovas, Jolanta Pileckienė Lovinio profilio atsparumo momento kitimas dėl ilgalaikės korozijos	13
Donatas Kriaučiūnas, Ivan Makovec The influence of intake air temperature on the repeatability of maximum engine power measurements	17
Andrius Ušinskas, Antanas Staponas, Laimutis Krikštaponis, Bronė Mitkienė Kabelio ilgio nustatymas taikant elektrinių matavimų metodus	23
Angelika Petrėtienė, Jolita Grašienė Sudėtinių mechanikos terminų priesagos -inis, -ė būdvardžiai: vartosenos studentų darbuose variantiškumas	30
Sofiya Dmitriyeva, Ondřej Vaňásek, Sebastian Novak, Achraf Hedar, Gernot Tranninger Leaner, greener, faster: AI-driven internal logistics for a greener, more efficient future	35
Jūratė Liebuviienė, Vida Jokubynienė Tranzitinio sunkiojo transporto apribojimų poveikis taršai ir eismo pralaidumui Šilutės plente.....	44
Svetlana Toropovienė Enhancing technical English for ESP learners through artificial intelligence.....	50
Audrius Čereška, Andrius Terebas Atramų su lanksčiais elementais standumo modeliavimas taikant BEM.....	56
Danutė Sližytė, Kęstutis Urbonas, Rimantas Mackevičius Polio pagrindo laikomosios galios nustatymas pagal polio statinio bandymo rezultatus	60
Vytautas Ruzgaila, Jelena Mamčenko, Brigita Šustickienė Giluminio mokymosi modelių taikymas amžiaus ir lyties nustatymui pagal veido bruožus: metodų apžvalga ir iššūkiai.....	66
Vytenis Surblys, Deividas Navikas, Petras Kaikaris Stabdžių antiblokavimo sistemos įtaka transporto priemonės stabdymo charakteristikoms	71
Jurijus Tretjakovas Pilnavidurio ir tuščiaavidurio velenų tangentinių įtempių palyginimas	75
Aurelijus Pitrenas, Saulius Stravinskas, Tadas Vipartas Thermal analysis of plug-in hybrid vehicle charging process.....	79
Audrius Čereška Įvairių faktorių įtakos frezuojamo paviršiaus šiurkštumui tyrimai	85

EXPLORING USER NEEDS AND EXPECTATIONS FOR THE DESIGN OF AN AI-POWERED SMART CANE: A QUALITATIVE STUDY

Zuzanna Dulcka¹, Wiktorja Czyż¹, Yassine Amine El Jazar², Widad El Gazal², Warda Jama³, Anna Broling³

¹*University of Economics in Katowice, 1 Maja 50, 40-287 Katowice, Poland*

²*Institut supérieur industriel de Bruxelles, Rue Royale 150, 1000 Bruxelles, Belgium*

³*Mälardalen University, Universitetsplan 1, 722 20 Västerås, Sweden*

Abstract. This study explores the needs and expectations of individuals with mobility challenges to inform the design of an AI-powered smart cane. Based on 19 semi-structured interviews conducted in Poland, Belgium, and Sweden, the analysis identified four main themes: situational barriers, medical conditions, assistive strategies, and perceptions of technology. The findings highlight preferences for ergonomic design, simplicity, affordability, and discreet smart features such as obstacle detection and fall alerts. Rather than presenting a fully developed prototype, the study provides qualitative insights that guide the future design and development of inclusive, AI-based mobility aids.

Key words: Mobility challenges, accessibility, Artificial Intelligence (AI), smart cane, assistive technology, fall detection.

Introduction

The ability to move freely and independently is fundamental to maintaining one's autonomy and quality of life. For people experiencing mobility challenges - particularly older adults - this can become increasingly difficult due to age-related physical or cognitive changes. In the context of an ageing population, where nearly 30% of Europe's residents are projected to be aged 65 or older by 2050 (Eurostat, n.d.), ensuring safe and accessible mobility solutions is more important than ever.

Assistive devices such as canes, walkers, and wheelchairs have long provided essential support, yet traditional solutions often fall short in adapting to modern environments and evolving user expectations, leading to underutilization or abandonment when perceived as unintuitive, uncomfortable, or stigmatizing.

This research develops a prototype smart cane - an enhanced mobility aid with obstacle detection and fall alert - aligning features with user expectations through direct engagement with end users to increase safety and independence.

The study draws on semi-structured interviews and market analysis across Poland, Belgium, and Sweden to capture experiences, challenges, and preferences of people with mobility impairments; while focused on seniors, it also explores adaptations for visually impaired users to enhance inclusiveness and impact.

The aim of this study is to identify the challenges, needs, and expectations of individuals with mobility impairments in order to guide the future design of an AI-powered smart cane; by incorporating diverse user feedback early, the paper advances accessibility, inclusive design, and human-centered AI in assistive technologies.

1. Literature Review

As global life expectancy continues to rise, societies around the world are experiencing a significant demographic shift toward an aging population. According to WHO (2022), by

2050, the number of people aged 60 and over is projected to reach nearly 2.1 billion, making up for 26% of the global population. In the European Union, this trend is especially pronounced - by 2050, almost 30% of the EU population is expected to be over the age of 65 (Corselli-Nordblad & Strandell, 2020). This demographic shift leads to numerous social, economic, and healthcare challenges, especially concerning mobility and independence.

1.1. Justification for the study

Despite significant advancements in AI-powered assistive technologies, several critical gaps remain in the existing research, highlighting the necessity for further innovation. Firstly, affordability continues to be a significant barrier. Many of the current smart mobility aids on the market are prohibitively expensive, limiting their accessibility for a broad range of users, particularly in lower-income populations (WHO, 2024). Moreover, despite promising technological advances, there is a noticeable lack of comprehensive real-world testing across diverse environments. Most existing studies focus predominantly on controlled settings, which does not fully capture the complexity of daily life in urban, rural, or cross-cultural contexts (Morris et al., 2022). As user needs and environmental challenges can differ substantially between regions, this gap highlights the necessity for robust field testing in varied conditions to ensure the reliability and adaptability of smart mobility solutions. Additionally, current developments tend to target narrow user groups, often focusing exclusively on either visually impaired individuals or seniors. However, as research by Carroll et al. (2021) suggests, inclusive design that accommodates a wider range of users leads to higher satisfaction and usability outcomes. Therefore, there is a pressing need for adaptable solutions that cater to the mobility needs of both elderly individuals and those with visual impairments.

This study directly addresses these gaps by aiming to develop an affordable, user-friendly AI-powered smart cane that combines ergonomic design with advanced functionality. By

conducting user-centered research in diverse environments such as Poland, Belgium, and Sweden, the project incorporates varied cultural and infrastructural contexts to ensure broader applicability. Following the insights provided by Howard et al. (2024), actively engaging end-users throughout the development process enables the design to be continuously improved based on practical, real-world feedback, thereby strengthening both usability and user confidence. Through this approach, the study not only builds upon existing solutions but also advances them toward practical, inclusive, and scalable assistive technology, ensuring that benefits reach those who need them most.

2. Smart Cane Design and Features

Mobility loss and fall risk represent two of the most critical challenges encountered by elderly individuals and people with reduced mobility. Despite the increasing integration of smart technologies into daily life, traditional walking aids have undergone little innovation. The AI-powered Smart Cane seeks to address this gap. By embedding real-time motion analysis, obstacle detection, and intelligent alerting into a familiar object, the conventional cane is transformed into an innovative, life-enhancing device.

Equipped with embedded sensors, wireless connectivity, and artificial intelligence, the Smart Cane enhances safety, autonomy, and user comfort. It functions not only as a support tool, but also as an early-warning system and mobility assistant, capable of detecting falls, alerting caregivers, and analyzing gait patterns over time to anticipate potential health concerns.

This study demonstrates how embedding artificial intelligence into a simple everyday object can significantly improve quality of life and contribute to the development of preventive, connected healthcare.

2.1. Hardware Architecture and General Operation

To enrich a traditional cane with artificial intelligent features, a compact and energy-efficient embedded system was developed, built around the ESP32 microcontroller. This component was selected for its ability to provide Real-Time signal processing, Wifi and Bluetooth connectivity, Compatibility with TensorFlow Lite Micro for on-device AI inference.

The system is housed in a discreet module attached to the cane, allowing the user to maintain existing habits while benefiting from advanced functionality.

2.2. Obstacle Detection

A VL53L0X Time-of-Flight sensor is used to continuously scan the user's path. When an obstacle is detected within 70 cm, a vibration motor provides haptic feedback to discreetly alert the user. This system was chosen over an audible alert so as not to disturb the user or attract the attention of others.

The intensity and frequency of the vibrations are adjusted based on the data received from the sensors to transmit a clear alert in real-time.

2.3. Fall Detection

The MPU6050 inertial measurement unit monitors acceleration and angular velocity along three axes. Fall detection relies on identifying key patterns such as an acceleration spike ($> 2.5g$), a sharp impact, a following period of inactivity

These indicators are analyzed in real-time using a threshold-based algorithm, refined with digital filtering to reduce noise and limit false positives.

2.4. Signal Processing

Sensor data is subject to high-frequency noise (e.g., hand tremors). To improve the reliability of the fall detection algorithm, a digital low-pass filter was implemented. This filter smooths the signal prior to further analysis, allowing more precise pattern detection.

$$y[n] = a \cdot x[n] + (1 - a) \cdot y[n - 1] \quad (1)$$

Source: Smith, Steven W. (1997). The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. Chapter 15.

where:

- $y[n]$ is the filtered value (output)
- $x[n]$ is the raw sensor value at time n
- a is the smoothing factor, which depends on the cutoff frequency and the sampling frequency: $a = \frac{\Delta t}{\tau + \Delta t}$

where $\tau = \frac{1}{2\pi f_{cutoff}}$ is the time constant.

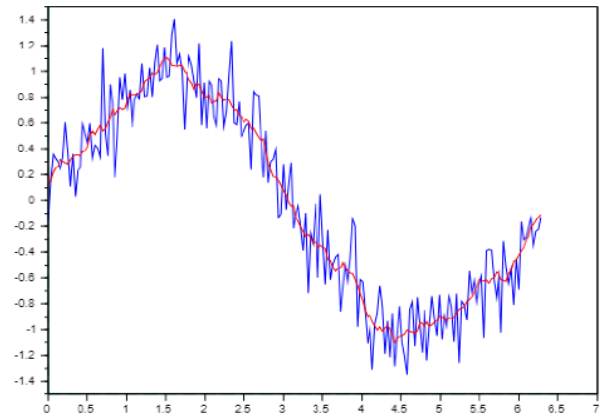


Fig 1. Example of signal from IMU without filter (red) and with filter (blue)

Source: Correia, S. D. *Inertial Measurement Units (IMUs): Data Acquisition and Filtering*

2.5. Communication and Alerting

Upon detecting a fall, the ESP32 initiates an alert via a Whattbot, sending a message to pre-defined emergency contacts. This communication is made possible through secure API calls to the Whattbot API.

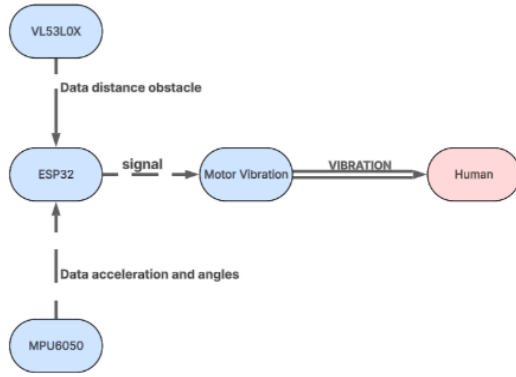


Fig 2. System workflow
Source: Authors

2.6. Artificial Intelligence: The Smart Core

What distinguishes the Smart Cane from conventional solutions is its ability to learn and adapt over time. By integrating embedded AI, the system evolves from reactive to predictive and context-aware.

2.7. Motion Classification with AI

The long-term objective is to replace basic threshold logic with a trained neural network capable of differentiating between walking, sitting down, tripping, and falling. A lightweight model architecture, such as a Dense Neural Network or LSTM (Long Short-Term Memory), is being considered, optimized for deployment with TensorFlow Lite Micro on the ESP32.

2.8. Training Workflow

As shown in Figure 2, the workflow begins with data acquisition from sensors and ends with real-time feedback provided to the user. This clarifies how the process is initiated and completed

1- Data Collection: Sensor signals are gathered in real-world scenarios (walking, stumbling, falling, etc.). Both controlled experiments and real-life situations are included to ensure representativeness.

2- Preprocessing: Raw accelerometer and gyroscope signals are normalized, segmented using sliding windows, and features (mean, variance, FFT components, etc.) are extracted.

After preprocessing, the labeled dataset is divided into three subsets:

- Training set ($\approx 70\%$) $\rightarrow$ used to adjust the model parameters (weights and biases).
- Validation set ($\approx 15\%$) $\rightarrow$ used during training to tune hyperparameters (e.g., learning rate, window size, number of layers) and avoid overfitting.
- Testing set ($\approx 15\%$) $\rightarrow$ used only at the end to provide an unbiased evaluation of model performance.

3- Training process

- The model receives input feature vectors extracted from the IMU signals.
- Each input passes through the neural network (Dense layers or LSTM).
- The output is a probability distribution over the motion classes (walk, sit, stumble, fall).
- The cross-entropy loss compares predicted probabilities with the ground truth labels.
- Using backpropagation, the gradient of the loss with respect to the model parameters is computed.
- The parameters are updated iteratively with an optimizer (commonly Adam or SGD) until the loss converges.
- a) Validation
 - After each training epoch, the model is evaluated on the validation set.
 - If validation accuracy stops improving, early stopping is applied to avoid overfitting.
 - Hyperparameters can be adjusted (e.g., dropout rate, number of hidden units) to improve generalization.
- b) Testing
 - Once the model is trained, it is frozen and tested on the independent test set.
 - Performance metrics include accuracy, precision, recall, F1-score, and confusion matrix to assess how well each motion type is classified.
 - Only after this step the model is considered ready for deployment.

$$L = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{c=1}^C y_{i,c} \cdot \log(\hat{y}_{i,c}) \quad (2)$$

Source: Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016) where:

- L : Loss, this is what the model tries to minimize
- N : Number of samples, The total number of examples in the batch or dataset
- C : Number of classes, number of possible output categories
- $\sum_{c=1}^C$: Summation over classes, Adds up the loss over all output classes for each sample
- $\sum_{i=1}^N$: Summation over samples, Adds up the loss contributions from each sample
- $y_{i,c}$: True label (ground truth indicator), A binary value (0 or 1) indicating if sample i belongs to class c
- $\hat{y}_{i,c}$: Predicted probability, The model's predicted probability that sample i belongs to class c

- $\log(\hat{y}_{i,c})$: Logarithm of predicted probability, Used to penalize wrong predictions, lower predicted probabilities yield higher loss
- $-\frac{1}{N}$: Negative average factor, Ensures the loss is positive and averaged over all samples

4- Deployment: Convert model to TFLite format (< 50 KB) and embed in firmware

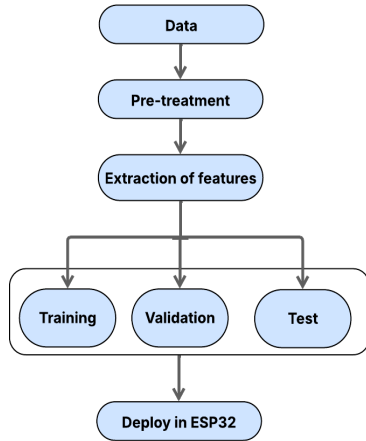


Fig 3. Training workflow
Source: Authors

2.9. Intelligent Alert System

Once operational, the AI model performs the following functions: Evaluates the real-time probability of fall, Triggers alerts only if the fall probability exceeds 90 percent, Learns from new data over time (thereby enhancing detection accuracy). This intelligent behavior helps reduce false alarms and increases the reliability of emergency notifications.

3. Methodology

3.1. Method

This study is qualitative and has been conducted using semi-structured interviews in order to investigate questions from the participants' individual perspectives. The study has an inductive approach, which means that it aims to freely explore data without starting from predetermined hypotheses. The analysis has been carried out according to Hsieh and Shannon's (2005) model for conventional content analysis.

3.2. Selection and Participants

The participants were recruited from Poland, Belgium, and Sweden. All respondents have some form of reduced mobility, either as a result of age or illness. The study also included 5 people with visual impairments and other functional variations. All participants were informed in writing of the purpose and implementation of the study and agreed in writing to participate.

A total of 20 people were contacted, of which 19 accepted and were included in the study.

3.3. Data Collection

The data collection was carried out through 19 semi-structured interviews, which allowed for in-depth follow-up questions if needed. The sample consisted of 9 women and 7 men aged 30-50, 50-65, 65-80 and 80 plus years. The interviews took place in neutral places where the interviewer and respondent met physically. Each interview lasted between 30 and 40 minutes. All interviews were recorded and transcribed verbatim to enable a thorough analysis.

3.4. Interviews

The interview questions consisted of both open and closed questions. The open-ended questions aimed to capture the participants' experiences and reflections, for example:

- "How do you currently manage mobility challenges in your daily life?"
- "If you could improve one thing about traditional canes, what would it be?"

Examples of follow-up questions that were used to deepen the answers were:– "Can you tell me more?" – "Can you give an example?"

Analysis.

The analysis was carried out with support from conventional content analysis according to Hsieh and Shannon (2005) and Graneheim and Lundman (2004). The results were interpreted through systematic coding of sentence units, which were then sorted into codes, subcategories, and main categories based on the content of the ten interviews.

The transcribed interviews formed the basis for the analysis. The coding categories were derived directly from the collected material without being guided by a predetermined theoretical framework. The analysis work began with all researchers reading through the material several times to gain an overall understanding and identify the central themes of the content. At this stage, the analysis focused on the manifest content, that is the clearly expressed. The participants' own formulations were used extensively and a common understanding was built up through discussion and consensus between the researchers.

In the next step, meaning units related to the purpose of the study were condensed and selected. These sentence units formed the basis for coding and sorting into subcategories. The coding focused on highlighting the latent content, i.e. the underlying meanings of the respondents' statements, rather than focusing on the opinions of individuals.

Finally, main categories were identified as merging subcategories with common meaning. Examples of how sentence units, codes, and subcategories resulted in main categories are presented in Table 1. The quotes used are taken directly from the participants' statements and serve as

illustrations for the identified themes. As a final step, the quotes were translated into English.

Table 1. Transcribed interviews

Quote	Code	Category	Theme
"Avoiding obstacles; Crossing streets safely; Navigating crowded areas"	Orientation	Environmental	Situational Barriers
"Using public transportation"	Public transport	Transportation	Situational Barriers
"Can't clearly see when the light is green to cross the road"	CrossingSignal	Transportation	Situational Barriers
"walking and challenge in terms of accessibility, especially in winter"	Accessibility	Environmental	Situational Barriers

Source: Authors

Table 1. demonstrates how the transcribed interviews have been systematically analyzed through thematic coding, highlighting recurring patterns, categories, and central themes that emerged.

3.5. Limitations

Although the interviews were conducted in three countries (Poland, Belgium, and Sweden), the number of participants is relatively small. This may affect the generalizability of the results, especially as mobility challenges and technology acceptance may vary depending on cultural, socio-economic, and technological context. Another limitation concerns the participants' variety of mobility challenges with different needs depending on whether they are due to age, visual impairment, or other functional variations. Since the study addresses these groups together, it may lead to a less nuanced understanding of more specific needs. Furthermore, although the study mentions possible skepticism from users regarding the reliability and user-friendliness of AI technology, it does not address in detail how such attitudes could affect.

4. Results

The analysis of 19 semi-structured interviews conducted across Sweden, Poland, and Belgium resulted in four overarching themes: Situational Difficulties, Medical Conditions, Assistive Strategies and Preferences, and Technology Perceptions and Feature Expectations. These themes emerged through conventional content analysis and reflect both the challenges participants face in their daily lives and the expectations they have for an AI-powered smart cane.

The table below presents a summary of these themes with example quotes and implications for product development.

4.1. Situational Difficulties

Participants frequently described everyday environments as hostile to individuals with reduced mobility. Challenges such as uneven pavements, slippery surfaces, lack of elevators, and poor lighting were recurrently mentioned. These difficulties were not only physically taxing but also emotionally exhausting, leading some participants to limit their outings or avoid certain places entirely.

"I avoid going for walks in the woods after heavy rain because the paths become too slippery." – Participant 7

Urban environments presented additional difficulties, especially during peak hours when public transport or city centers became crowded and chaotic.

"Navigating crowded sidewalks, especially with uneven pavement, and using public transport during rush hour is really difficult." – Participant 6

These situational barriers emphasize the need for a smart cane that can adapt to various environments by detecting obstacles, adjusting to lighting conditions, and offering discrete navigational feedback without requiring high levels of tech fluency from the user.

4.2. Medical Conditions

The participants represented a diverse range of medical backgrounds, including osteoarthritis, diabetes, Parkinson's disease, past injuries, and muscle weakness from surgeries or aging. These conditions directly affected the participants' mobility and often led to reduced grip strength, balance issues, and fatigue.

"I have muscle weakness and hip surgery. My balance is not what it used to be." – Participant 13

These insights highlight the importance of ergonomic design, including lightweight materials, comfortable handles, and features like shock absorption to minimize physical strain. For many, mobility challenges were compounded by the cumulative effect of age and chronic health issues, underlining the need for tailored solutions rather than one-size-fits-all tools.

4.3. Assistive Strategies and Preferences

While many participants already used some form of assistive device (traditional cane, walker, wheelchair), they expressed limited satisfaction with these tools. Several individuals also depended on family or vehicles for long-distance errands, but this dependence often conflicted with their desire for greater independence.

“I use a traditional cane and rely on family assistance when I need to go far.” – Participant 6

“I prefer to be independent, but there are days when I just avoid going out because it feels unsafe.” – Participant 18

There was strong support for tools that could offer both stability and reliable assistance without compromising autonomy. Preferences for modularity (e.g., switching between walking indoors and outdoors) and non-intrusiveness (e.g., no loud alarms or bulky design) were commonly mentioned.

4.4. Technology Perceptions and Feature Expectations

Attitudes toward technology varied, but the majority expressed interest and cautious optimism—with a consistent preference for simplicity, reliability, and practicality. Features like audio guidance, obstacle detection, fall detection, and health monitoring were well received, especially when described in user-friendly terms.

“I like the idea, if it’s easy to use. I get lost often, and it would be nice if it told me where to go.” – Participant 6

“If my cane could vibrate when something’s in the way, that would help, especially when it’s noisy.” – Participant 15

Concerns were raised around battery life, complexity of use, and learning curve, with one participant noting:

“I worry the battery might die while I’m walking. That would leave me stuck.” – Participant 7

Despite these concerns, many were willing to try the smart cane, provided it was intuitive and offered a tangible sense of security. Affordability also emerged as a deciding factor, with most participants comfortable paying 150–300 euros, but only if the product was well-supported and potentially subsidized.

4.5. Affordability and Funding Expectations

The importance of keeping the costs of the service down and thus maximizing availability was emphasized. From several quarters, it was emphasized that the service should be financed by public funds or by healthcare providers. One participant said:

“It should be covered by funding, at least partially. €150-300 is okay.” – Participant 5

Another participant expressed the following:

“Unfortunately, I have a low pension, so I can’t afford expensive aids. 150-300 euros is what I can see to be realistic. I know technology costs, but it’s important that it’s accessible to everyone.” – Participant 13

The answers form a pattern that makes it clear that price is a decisive factor when it comes to deciding on the use of the service and there was a very clearly observable limit to what was considered an acceptable user fee. This also applied to those who

were fundamentally positive about the position. The range of 150-300 euros was stated by several participants as a reasonable level, while 6 out of 19 participants were willing to pay more than that.

5. Discussion

The purpose of this study was to explore the needs and expectations of individuals facing mobility challenges in order to guide the design and development of a smart cane prototype. Through a series of semi-structured interviews conducted in Poland, Belgium, and Sweden, several important themes emerged concerning environmental barriers, medical conditions, attitudes toward assistive technology, and key design considerations.

5.1. Environmental Challenges

A recurring theme across all three countries was the difficulty of navigating poorly adapted public spaces. Participants commonly mentioned uneven sidewalks, poor lighting, snow, and heavy traffic as major obstacles. These factors significantly impacted their sense of safety and confidence while walking independently, particularly in outdoor environments. According to WHO (2021), such environmental risks are especially dangerous for older adults, whose mobility and reaction time may already be compromised by physical and cognitive changes associated with aging.

Participants’ experiences reinforce the need for real-time obstacle detection, one of the most critical features of the proposed smart cane. For instance, several interviewees suggested that an alert system that could notify them of steps, curbs, or potholes - especially in low-light conditions - would be immensely helpful. This confirms the value of integrating sensors and adaptive feedback systems (e.g., vibrations, audio cues), as outlined by de Freitas et al. (2022), to increase user awareness of environmental hazards.

The interviews also revealed that certain country-specific factors - such as snow in Sweden or urban congestion in Belgium - intensified mobility issues. This finding supports the argument made by Morris et al. (2022) that assistive technologies should be tested in a variety of real-world environments, as user experience can vary greatly depending on local infrastructure and climate.

5.2. Health-Related Needs and Physical Comfort

Many participants reported having health conditions that directly impacted their mobility, including arthritis, diabetes-related complications, and post-surgical muscle weakness. These conditions affected their ability to walk for long periods, maintain balance, and use traditional canes comfortably. Several respondents highlighted hand and wrist pain from gripping a cane for too long or using models that were too heavy or poorly balanced.

These findings highlight the importance of ergonomic design. Lightweight construction, a comfortable grip, and balanced weight distribution were mentioned as top priorities. This aligns with the recommendations from Syuleyman (2024) and Ahasan (2000), who emphasized that poorly adapted mobility aids can cause fatigue and increase the risk of strain or falls. Incorporating these ergonomic considerations into the smart cane is essential not only for comfort, but for sustained, safe use over time.

Interestingly, participants also voiced interest in health-related features such as fall detection and step tracking. These insights suggest that while physical support remains fundamental, users also seek features that provide a sense of control and monitoring, particularly in emergency situations. This corresponds with WHO's (2024) projection that demand for intelligent assistive technologies with integrated health functions will continue to grow globally.

5.3. Support, Independence, and Emotional Wellbeing

Another important finding was the delicate balance between independence and reliance on others. Although many participants currently depend on family members for certain tasks, they expressed a strong desire to remain independent as long as possible. This is especially true in the case of navigation in public spaces, where participants noted that being able to manage without assistance would improve their confidence and self-esteem.

This finding underscores the broader social value of assistive technologies. As de Freitas et al. (2022) argue, the integration of AI in assistive devices can significantly improve users' autonomy and reduce reliance on caregivers. When assistive tools are designed not only to compensate for limitations but also to empower users, they support emotional as well as functional needs. Involving users in the design process - as suggested by Howard et al. (2024) - was also shown to be beneficial, with many participants expressing appreciation at being consulted.

5.4. Technology Perception and Accessibility

Attitudes toward technology were mixed, but generally open-minded. Most participants showed interest in smart features such as obstacle detection, GPS navigation, and emergency alerts. However, they also raised concerns about device complexity, the need for frequent charging, and difficulties with setup and learning.

These concerns reflect the findings of Guffroy et al. (2017) and Edlin-White et al. (2011), which show that complex or non-intuitive devices are often abandoned - even if they offer helpful functions. Participants emphasized the importance of simplicity and reliability, particularly for older users or those unfamiliar with digital devices. For that reason, designing a smart cane with a minimal learning curve, vibration and audio feedback, and possibly a companion app with basic, easy-to-use features is

crucial. This also confirms the need for continuous user testing, as suggested by Carroll et al. (2021).

Notably, participants favored feedback through vibration or sound, but not both simultaneously. This insight is especially useful for preventing sensory overload and allows for customization based on user preference. It also shows a preference for discreet guidance, which may help reduce any stigma associated with assistive device use in public.

5.5. Affordability and Funding Expectations

Across all countries, affordability was a critical factor. Most participants indicated that €300 would be their maximum acceptable price for a smart cane. This aligns with WHO's (2024) statement that cost remains a major barrier to accessing assistive technology. Some participants also expressed hope that the device could be partially or fully subsidized through insurance or national healthcare systems.

This indicates a need for cost-conscious design and production strategies. Developers should consider modular product lines with optional premium features, enabling a basic, affordable version while offering upgrade possibilities. As with many assistive products, partnerships with public health institutions could be key to expanding access.

6. Conclusion

This study has highlighted several crucial factors that should be taken into account when designing and developing a smart cane for individuals who have mobility difficulties. The results from semi-structured interviews showed that environmental barriers, health-related needs, and users' attitudes towards assistive devices are central to ensuring the effectiveness of such a device. Some of the obstacles that emerged as significant were environmental obstacles, such as poorly adapted public spaces, uneven pavements, and poor lighting. This underlines the necessity of real-time obstacle identification features, such as sensors and adaptive feedback systems, to increase user awareness. The results also highlight the importance of testing assistive devices in different real-world environments.

Health-related needs were found to reinforce the importance of ergonomic design. Something that was requested from the participants was lightweight construction and comfortable handles to prevent discomfort. Furthermore, the desire for health-related features such as fall detection and step tracking indicates a growing demand for intelligent assistive devices that offer both physical support and health monitoring. Additionally, there was also a strong desire for independence, especially when it comes to navigating public spaces, and highlighted the social benefits of assistive devices that strengthen users' autonomy. Through the interaction of AI, there is an opportunity to improve users' independence and reduce dependence on additional support, which in itself increases users' emotional well-being.

However, despite the both open and positive attitudes towards technology that existed among the participants, it also emerged that there was also a concern about complexity, which emphasizes the need for simplicity, reliability, and user-friendliness. In addition, price sensitivity emerged as decisive, with the majority of the participants stating EUR 300 as the highest price they were willing to pay for this product. With this in mind, the importance of considering cost-effective design is emphasized, as well as exploring potential interventions through the healthcare system to improve accessibility. In conclusion, the design of the product needs to prioritize functionality, comfort, and user-friendliness. In addition, it would be beneficial if it also took into account environmental and health-related barriers. Potentially, collaboration with healthcare providers would be an important step in ensuring widespread use and improving the quality of life for users.

References

- Ahasan, R. (2000). *Ergonomics consequences of assistive technology for the disabled*. UNIT 45002 APO AP 96337-5002, 146.
- Carroll, S., Kobayashi, K., Cervantes, M. N., Freeman, S., Saini, M., & Tracey, S. (2021). Supporting healthy aging through the scale-up, spread, and sustainability of assistive technology implementation: A rapid realist review of participatory co-design for assistive technology with older adults. *Gerontology and Geriatric Medicine*, 7, 23337214211023269.
- Correia, S. D. (2025). *Inertial Measurement Units (IMUs): Data Acquisition and Filtering*. Presentation, International Week, Portalegre Polytechnic University.
- Corselli-Nordblad, L., & Strandell, H. (2020). *Ageing Europe: Looking at the Lives of Older People in the EU*: 2020 Edition.
- de Freitas, M. P., Piai, V. A., Farias, R. H., Fernandes, A. M. R., de Moraes Rossetto, A. G., & Leithardt, V. R. Q. (2022). Artificial Intelligence of Things applied to assistive technology: A systematic literature review. *Sensors*, 22(21), 8531.
- Edlin-White, R., Cobb, S., D'Cruz, M., Floyde, A., Lewthwaite, S., & Riedel, J. (2011). Accessibility for older users through adaptive interfaces: opportunities, challenges and achievements. In *Human-Computer Interaction. Towards Mobile and Intelligent Interaction Environments*: 14th International Conference, HCI International 2011, Orlando, FL, USA, July 9-14, 2011, Proceedings, Part III 14 (pp. 483-489). Springer.
- Eurostat. (n.d.). *Ageing Europe – introduction*. Statistics Explained. Retrieved from https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Ageing_Europe_-_introduction
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- Graneheim, U. H., & Lundman, B. (2004). Qualitative content analysis in nursing research: concepts, procedures and measures to achieve trustworthiness. *Nurse Educ Today*, 24(2), 105-112. doi:10.1016/j.nedt.2003.10.001
- Guffroy, M., Nadine, V., Kolski, C., Vella, F., & Teutsch, P. (2017). From human-centered design to disabled user & ecosystem centered design in case of assistive interactive systems. *International Journal of Sociotechnology and Knowledge Development*, 9(4), 28-42.
- Howard, J., Tasker, L. H., Fisher, Z., & Tree, J. (2024). Assessing the use of co-design to produce bespoke assistive technology solutions within a current healthcare service: a service evaluation. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 19(1), 42-51.
- Hsieh, H. F., & Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. *Qual Health Res*, 15(9), 1277-1288. doi:10.1177/1049732305276687
- Morris, L., Cramp, M., & Turton, A. (2022). User perspectives on the future of mobility assistive devices: Understanding users' assistive device experiences and needs. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, 9. <https://doi.org/10.1177/20556683221114790>
- Smith, Steven W. (1997). *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. Chapter 15.
- Syuleyman, S. (2024). *Ergonomic cane concept for the elderly*. World Health Organization, & United Nations Children's Fund. (2022). *Global report on assistive technology*. World Health Organization.
- World Health Organization: WHO. (2021). *Falls*. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>
- World Health Organization: WHO. (2024). *Assistive technology*. Retrieved from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/assistive-technology>

VARTOTOJŲ POREIKIŲ IR LŪKESČIŲ, SUSIJUSIŲ SU DIRBTINIO INTELEKTO VALDOMOS IŠMANIOSIOS LAZDELĖS KŪRIMU, ANALIZĖ: KOKYBINIS TYRIMAS

Zuzanna Dulcka¹, Wiktoria Czyż¹, Yassine
Amine El Jazar², Widad El Gazal², Warda Jama³,
Anna Broling³

¹Katovicių ekonomikos universitetas, Lenkija

²Briuselio aukštojo mokslo institutas, Belgija

³Malardalen Universitetas, Švedija

Santrauka. Šiame tyrime nagrinėjami judėjimo sunkumų turinčių asmenų poreikiai ir lūkesčiai, siekiant informuoti apie dirbtinio intelekto pagrindu veikiančios išmaniosios lazdos projektavimą. Remiantis 19 pusiau struktūrizuotų interviu, atliktų Lenkijoje, Belgijoje ir Švedijoje, analizė nustatė keturias pagrindines temas: situacines kliūtis, sveikatos būklę, pagalbos strategijas ir technologijų suvokimą. Tyrimo rezultatai rodo, kad žmonės teikia pirmenybę ergonomiškam dizainui, paprastumui, prieinamai kainai ir diskretiškoms išmaniosioms funkcijoms, pvz., kliūčių aptikimui ir kritimo įspėjimams. Tyrimas nepateikia visiškai išbaigto prototipo, bet pateikia kokybines įžvalgas, kurios padės ateityje kurti ir tobulinti įtraukias, dirbtiniu intelektu pagrįstas judėjimo pagalbos priemones.

Reikšminiai žodžiai: judėjimo sunkumai, prieinamumas, dirbtinis intelektas (AI), išmanioji lazda, pagalbinė technologija, kritimo aptikimas.

LOVINIO PROFILIO ATSPARUMO MOMENTO KITIMAS DĖL ILGALAIKĖS KOROZIJOS

Jurijus Tretjakovas, Jolanta Pileckienė

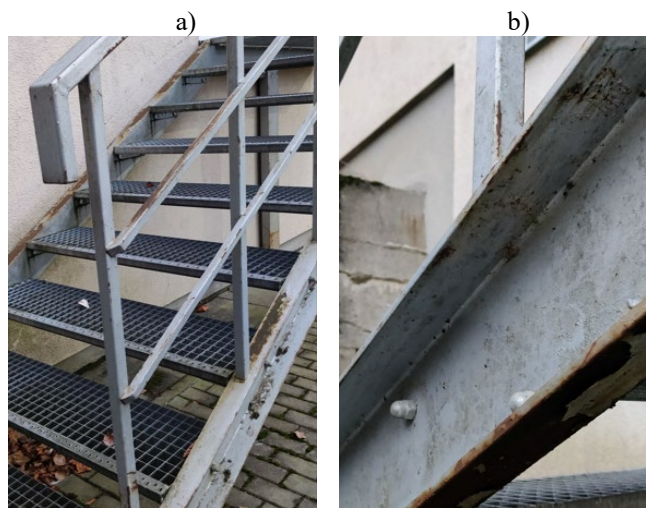
Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58-1, Vilnius

Anotacija. Ilgalaikė plieno konstrukcijų elementų korozija gali sukelti griūtį. Lenkiamų plieninių sijų skerspjūvio forma panaši į dvitėjo, todėl šiame straipsnyje nagrinėjama sudvibubinto lovinio profilio sija, veikiamą ilgalaikės korozijos. Racionalumo požiūriu tokie profiliai prilygsta dvitėjui, o pagal technologinius reikalavimus gali būti net tobulesnės konstrukcijos. Išrūdinantys plotai modeliuojami 30 metų ir nagrinėjama, kaip keičiasi lovinio skerspjūvio atsparumo momentas. Straipsnio tyrimo tikslas yra analitiniu metodu prognozuoti dvitėjinio profilio skerspjūvio atsparumo momento mažėjimą dėl ilgalaikės korozijos.

Reikšminiai žodžiai: sija, lovinis profilis, skerspjūvis, atsparumo momentas.

Įvadas

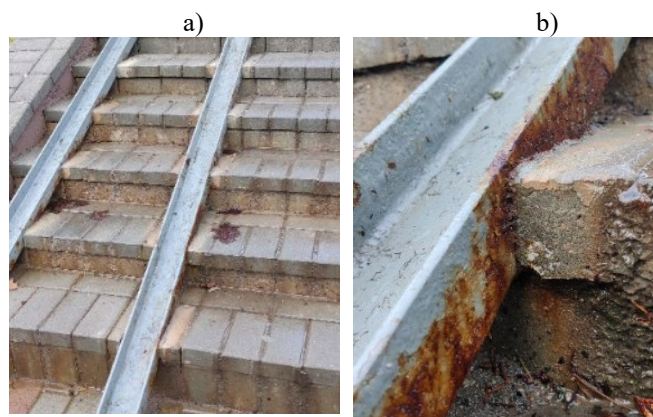
Lovinio profilio skerspjūviai populiarūs inžinerijoje dėl labai aukšto atsparumo lenkimo deformacijoms. Toks stiprumas pasiekiamas naudojant sudvigubintą lovinį profilį (1 pav.) (Barry, 2022).



1 pav. Laiptai iš lovinio profilio sijų (a) ir korozijos židiny (b)

Šaltinis: Sudaryta autorių

Tokie profiliai populiarūs gaminant laiptus pramonės pastatuose (gamyklose, servisuose ir pan.) bei kituose objektuose (aukštuminiuose bokšteluose, skysčių talpyklose ir pan.). Loviniai profiliai gali būti naudojami kaip transportavimo bėgiai (2 pav.), tačiau dėl skerspjūvio pasukimo stačiu kampu sumažėja sistemos lenkimo atsparumo momentas.



2 pav. Bėgiai neigaliojo vežimėliui iš lovinių profilių (a) ir korozijos židiniai (b)

Šaltinis: sudaryta autorių

Lenkimu deformuojamiems lovinio skerspjūvio strypams būdingas aukštas racionalumas (Barry, 2022; Hibbeler, 2023). Sijos skerspjūvio racionalumo koeficientas skaičiuojamas kaip skerspjūvio atsparumo momento (W) ir ploto (A) santykis.

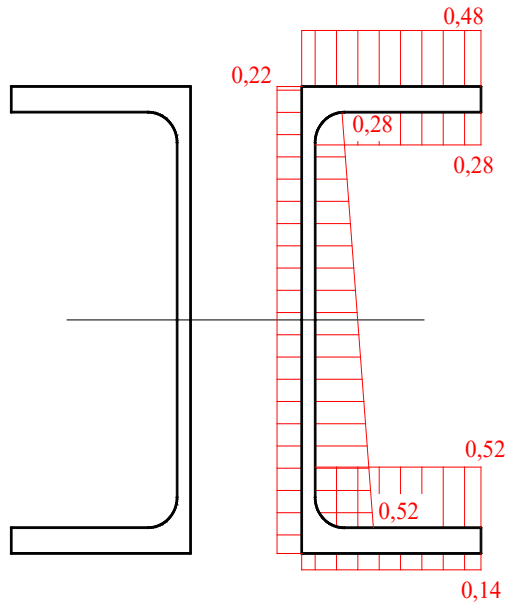
$$\xi = \frac{W}{A} \quad (1)$$

Lovinio skerspjūvio racionalumo koeficientas yra gana artimas dvitėjo racionalumo koeficientui. O dvitėjinis skerspjūvis yra artimiausias idealiam teorinio profilio realiai naudojamam sijų skerspjūviui.

Viena iš problemų naudojant lovinį skerspjūvį sijose yra tam tikrų vietų korozija (Crespi et al, 2022; Simoncelli et al, 2023). Korozija gali atsirasti bet kuriame konstrukcijos elemente (1 pav. ir 2 pav.), be to, ir vietose, kuriose patys didžiausi lenkimo momentai.

Korozijos greitis priklauso nuo daugybės veiksnių: lovinio profilio aptakumo, drėgmės susikaupimo tam tikrose vietose, korozijos produktų nuo konstrukcijos nuvalymo galimybių ir pakartotinio dažymo. Nuo konstrukcijos elementų aptakumo priklauso drėgmės nuo paviršiaus garavimas (korozijos proceso laikas). Nemažą reikšmę turi ir korozijos

plitimo pobūdis pjūvyje (3 pav.). Skaičiai 3 paveikslėlyje rodo korozijos greitį mm/metus.



3 pav. Dvigubo lovinio profilio skerspjūvis ir korozijos greičiai
Šaltinis: sudaryta autorių

Korozija yra viena iš pagrindinių problemų, lemiančių metalinių konstrukcijų ilgaamžiškumą ir saugumą. Loviniai tiltų profiliai, dažnai naudojami kaip pagrindiniai laikančiosios konstrukcijos elementai, ypač jautrūs korozijos poveikiui, nes jų geometrija sudaro sąlygas drėgmei, druskoms ir kitoms agresyvioms medžiagoms kauptis paviršiuose, ypač apatinėse dalyse. Korozijos procesas ilgainiui sukelia profilio sienelių plonėjimą, mažina konstrukcijos standumą ir atsparumą apkrovoms. Tai daro tiesioginę įtaką skerspjūvio atsparumo momentui, dėl ko mažėja profilio gebėjimas atlaikyti lenkimo jėgas. Tyrimai rodo, kad per pirmuosius 10 metų korozija gali sumažinti skerspjūvio atsparumo momentą iki 17 %, o po 30 metų nuostoliai gali siekti net 85 % (Gonzalez, & Lira, 2018). Toks konstrukcinės tvirtumo mažėjimas gali lemti tiltų eksploatacijos saugumo sumažėjimą ir net konstrukcinių gedimų riziką.

Konstrukcijose mikrobiologinė korozija gali turėti rimtų pasekmių:

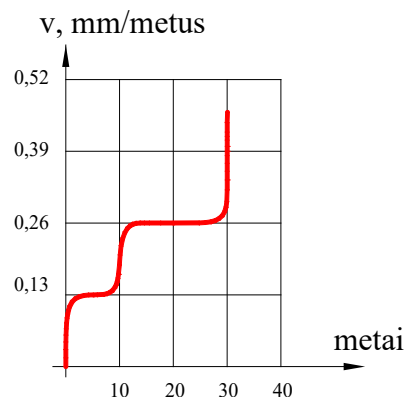
- metalų korozija: tiltų konstrukcijose naudojami metalai, ypač plienas, gali greitai būti paveikti mikrobiologinės korozijos. Ilgainiui mikroorganizmų veikla sukelia plieno paviršių pažeidimus, dėl kurių gali susidaryti įtrūkimų, įbrėžimų, korozijos skylių ir kitų struktūrinių defektų.
- patvarumo sumažėjimas: korozijos procesai gali sumažinti konstrukcijų patvarumą. Tai ypač aktualu inžinerijos objektams šalia vandens telkinių, drėgnų vietovių, kai jie yra nuolat užpilami vandens, kuriame gausu druskos ir smėlio mišinio priemaišų.

Siekiant sumažinti korozijos poveikį loviniams profiliams, būtina laiku naudoti apsaugos priemonės: antikorozinį dažymą, apsaugines dangas ir reguliariai atlikti techninę apžiūrą. Taip pat svarbi efektyvi drenažo sistema, kad būtų išvengta drėgmės kaupimosi, ypač tose vietose, kur susidaro vandens sąstoviai ir kaupiasi cheminės medžiagos (ypač tiltų konstrukcijose pavasarinių atlydžių metu), skatinančios koroziją. Tinkama priežiūra ir prevencinės priemonės gali pailginti lovinių tiltų profilių naudojimo laiką ir užtikrinti konstrukcijų saugumą.

1. Korozijos greičio modelis

Modeliuojant korozijos greitį atsižvelgiama į tai, kad konstrukcijos elemente jau net pirmaisiais metais atsiranda korozijos židinių ir greitis pirmus 10 metų yra lygus 1/4 nuo maksimalaus greičio, nuo 10 iki 30 metų pasirinkta reikšmė yra 1/2 nuo maksimalaus greičio, nuo 30 metų greitis gali sudaryti 3/4 nuo maksimalaus arba bus atitinkamai lygus 100% nuo literatūroje aprašomo (Šulčius, 2006) maksimalaus greičio. Dar kartą pabrėžiama, kad greičiai net viename paviršiuje gali būti skirtingi ir modeliuojant pasirenkamas visų greičių vidurkis. Be to, gali būti imituojama ir korozijos prevencija po tam tikro eksploatacijos laikotarpio, kuomet rūdijimo greitis minimizuojamas arba artimas nuliui. Tačiau šiame darbe korozijos stabdymo nemodeliuojame. Daroma prielaida, kad lovinio skerspjūvio sijoje korozija gali atsirasti nematomoje vietoje, todėl korozijos prevencija matematiškai neaprašoma. Visa tai iliustruoja 4 pav. greičio kitimo bėgant laikui grafikas, gautas remiantis (Šulčius, 2006) maksimalių greičių įvairiose skerspjūvio vietose reikšmėmis.

Ir vis dėlto reikia dar kartą pabrėžti, kad greičio kitimo bėgant laikui grafikas (4 pav.) yra daugiau teorinis ir tinka matematiniam modeliavimui.

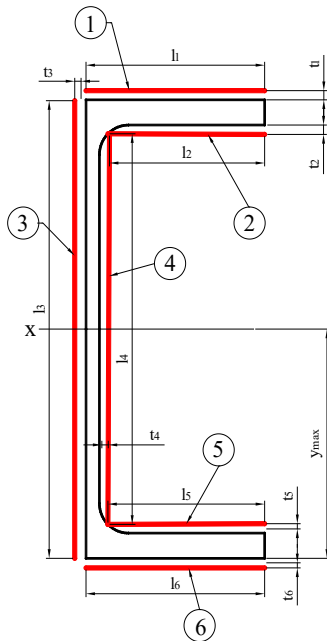


4 pav. Korozijos greičio kitimas per 40 metų
Šaltinis: sudaryta autorių

Profilio paviršių, kurių korozijos greitis yra mažesnis nei 0,52 mm/m, per visą eksploatacijos laikotarpį korozija taip pat bus lėtesnė.

2. Skerspjūvio atsparumo momento kitimo aprašas matematiname modelyje

Modeliuoti pasirenkamas lovinis profilis UPE 200 pagal EN 10365:2017. Šio profilio geometriniai rodikliai: skerspjūvio plotas $A=29 \text{ cm}^2$, skerspjūvio inercijos momentas x ašies atžvilgiu $I_x=1910 \text{ cm}^4$, skerspjūvio atsparumo momentas x ašies atžvilgiu $W_x=191 \text{ cm}^3$. Modeliuojami rūdijantys plotai, pavaizduoti kaip idealūs stačiakampiai, 5 pav. pažymėti raudonomis pastorintomis linijomis. Čia matome kiekvieno iš šešių korozijos plotų storį t ir plotį l .



5 pav. Koroziniai paviršiai 1–6 loviniam skerspjūvyje
Šaltinis: sudaryta autorių

Atsparumo momento kitimas vykstant ilgalaikiai korozijai modeliuojamas kaip išrūdijančių plotų eliminavimas iš atsparumo momento lygties (2) (Vislavičius et al, 2008)

$$W_x = \frac{I_x - \sum_{i=1}^6 I_{xi}(t)}{y_{max}} \quad (2)$$

čia I_x – pradinis lovinio skerspjūvio atsparumo momentas, I_{xi} – i -tojo ploto inercijos momentas centrinės ašies x atžvilgiu. Viso skerspjūvyje 6 išrūdijantys plotai, y_{max} – atokiausio taško y ordinatė, parodyta 5 pav.

Atimamas inercijos momentas bendroju atveju bus išreiškiamas kaip visų figūros plotų inercijos momentų suma skerspjūvio svorio centro atžvilgiu (2):

$$\sum_{i=1}^6 I_{xi}(t) = \sum_{i=1}^6 I_{xci} + A_i \cdot y_{ci}^2 \quad (3)$$

čia I_{xci} – išrūdijančio ploto inercijos momentas centrinės ašies atžvilgiu, A_i – išrūdijantis plotas, y_{ci} – ploto centro ordinatė iki visos figūros svorio centro.

Visi šeši išrūdijantys plotai laikomi idealiais stačiakampiais, todėl lygtis (2) gali būti supaprastinta ir naudojama matematiname modelyje (3)

$$\sum_{i=1}^6 I_{xi}(t) = \sum_{i=1}^6 \frac{l_i \cdot t_i^3}{12} + l_i \cdot t_i \cdot y_{ci}^2 \quad (4)$$

t. y. algoritme naudojami tik modeliuojamų stačiakampių parametrai ilgis l ir plotis t .

3. Modeliavimo rezultatai

Nors skerspjūvis simetriškas horizontalios ašies atžvilgiu, modeliuoti tenka visą skerspjūvį, nes korozijos greičiai viršuje ir apačioje yra skirtingi. Tačiau darome prielaidą, kad skerspjūvio svorio centro pokytis dėl nevienodai nykstančių plotų yra labai mažas ir įtakos atsparumo momento sprendiniui neturi.

Analizuojamo lovio UPE 200 rezultatai pateikiami 1-oje lentelėje: parodomi skerspjūvio ploto A ir atsparumo momento W kitimas laiko atžvilgiu.

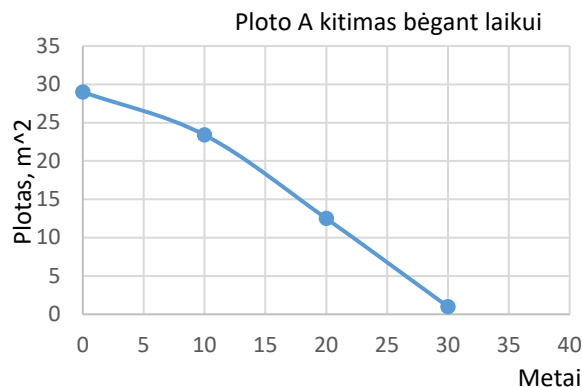
1 lentelė. Lovinio skerspjūvio geometrinių rodiklių kitimas

Metai	A, cm^2	W_x, cm^3
0	29	191
10	23,4	159
20	12,5	93,5
30	1	28,5
40	-	-

Šaltinis: sudaryta autorių

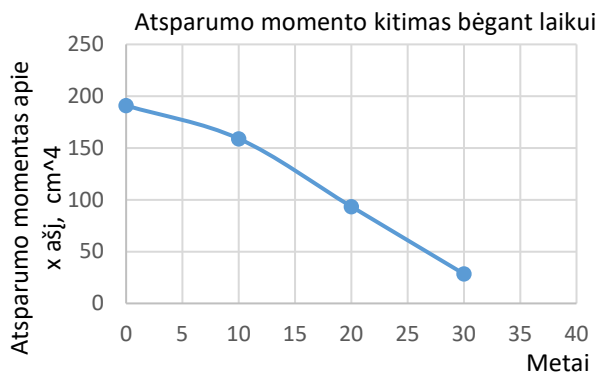
Modeliuoti korozijos procesą daugiau nei 30 metų nėra prasmės, nes praktiškai visas skerspjūvis iki šio momento yra surūdijęs.

Skaitinio modeliavimo tyrimas buvo atliktas remiantis aprašyta metodika, o rezultatai šiame skyriuje pateikti grafikuose. Ploto kitimas laikui bėgant pavaizduotas 6 pav.



6 pav. Skerspjūvio ploto kitimo grafikas
Šaltinis: sudaryta autorių

Skerspjūvio atsparumo momento kitimą bėgant laikui iliustruoja grafikas 7 pav.



7 pav. Atsparumo momento kitimas bėgant laikui
Šaltinis: sudaryta autorių

Iš grafiko matyti, kad nuo 30 m lovinis skerspjūvis praktiškai visiškai sunyksta dėl korozijos ir atsparumo momentas tesudaro 15 % nuo pradinės reikšmės.

Apibendrinimai ir išvados

1. Tiriant lovinį profilį, daroma prielaida, kad labiausiai koroduoja apatiniai skerspjūvio paviršiai, nes būtent ten gali kauptis koroziją skatinantys cheminiai elementai, tokie kaip druskos, druskos smėlio mišinys, bakterijos ir kitos medžiagos.
2. Koroduojantys paviršiai aprašomi kaip nuolat didėjantys išrūdyjantys plotai ir per pirmus 10 metų plotas sumažėja 19,3 %, nuo 20 iki 30 metų – 56,9 %, o nuo 30 metų lieka tik 3,4 % viso ploto.
3. Lenkimo geometrinis rodiklis – skerspjūvio atsparumo momentas – per pirmuosius 10 metų sumažėja 17 %, nuo

20 iki 30 metų sumažėjimas siekia 21 %, o po 30 metų – net 85 %.

4. Atliktas tyrimas parodė, kad loviniams profiliams ypatingą dėmesį būtina skirti jau nuo pirmųjų eksploataavimo metų, siekiant stabdyti korozijos židinių susidarymą zonose, kur korozijos greitis yra maksimalus.

Literatūra

- Barry, D. (2022). *Strength of Materials for Engineering Technology*, 23rd Edition, Independently published (Amazon KDP).
- Crespi, P., Zucca, M., Valente, M., & Longarini, N. (2022). *Influence of corrosion effects on the seismic capacity of existing RC bridges*. Engineering Failure Analysis, 140.
- Gonzalez, J. M., & Lira, J. M. (2018). *Corrosion Effects on Steel in Coastal Environments*. Materials and Corrosion, 71(8), 1042-1053.
- Hibbeler, R.C. (2023). *Mechanics of materials*. Prentice Hall.
- Melchers, R., Jeffrey, R., Chaves, I. A., & Petersen, R. B. (2024). *Predicting corrosion for life estimation of ocean and coastal steel infrastructure, Materials and Corrosion*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/maco.202314201>
- Nie, B., Xu, S., Chen, H., & Wang, Y. (2023). Effect of corrosion on the buckling behaviour of cold-formed steel channel section columns under axial compression., *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s43452-023-00615-9>
- Simoncelli, M. Aloisio, A., Zucca, M., Venturi, G., & Alaggio, R. (2023). Intensity and location of corrosion on the reliability of a steel bridge, *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 206.
- Šulčius, A. (2006). *Metallų korozija ir sauga* (p. 242.). Technologija.
- Vislavičius, K., et al. (2008). *Medžiagų atsparumo elektroninis vadovėlis*. Vilnius.

CHANGE OF THE SECTION MODULUS OF UPE DUE TO LONG-TERM CORROSION

Jurijus Tretjakovas, Jolanta Pileckienė

Vilniaus kolegija/Higher Education Institution

Summary. Long-term corrosion of steel elements gradually reduces their load-bearing capacity and may lead to structural failure. To maximize bending resistance, beams are often designed with I-shaped cross-sections. This study examines a double channel-section beam, structurally comparable to an I-beam and offering certain technological advantages in practice. The research models corrosion-induced surface loss over a 30-year period and evaluates its effect on the cross-sectional properties, particularly the section modulus. The primary objective is to analytically predict the reduction in bending resistance of such profiles under prolonged environmental exposure. The results provide a basis for assessing the residual strength and service life of corroded steel structures.

Key words: beam, UPE, cross-section, section modulus.

THE INFLUENCE OF INTAKE AIR TEMPERATURE ON THE REPEATABILITY OF MAXIMUM ENGINE POWER MEASUREMENTS

Donatas Kriaučiūnas¹, Ivan Makovec²

¹*Vilniaus Kolegija, Saltoniškių str. 58-1, LT-08105 Vilnius, Lithuania*

²*University of Ljubljana, Aškerčeva str. 6, 1000 Ljubljana, Slovenia*

Abstract. This study investigates the effect of intake air temperature (IAT) on internal combustion engine power measurement repeatability during dynamometer testing. Since IAT directly influences air density and combustion efficiency, increased temperature can cause measurable deviations in recorded engine output, even without mechanical changes. Experimental tests were conducted on four vehicles equipped with naturally aspirated and supercharged engines under controlled cold and hot conditions. The results revealed that increased IAT led to a consistent decrease in measured power and torque values, especially at higher engine speeds where airflow and thermal load are higher. Power losses of up to 3–4 % were observed under increased intake temperatures due to reduced air density and volumetric efficiency. The study highlights the importance of IAT stabilization and thermal management during repeated dynamometer tests to ensure accurate, repeatable, and comparable power measurement results across different engine configurations.

Keywords: power measurement, intake air temperature, dynamometer stand, volumetric efficiency

Introduction

In internal combustion engine power is determined by its construction, displacement, maximum engine speed, volumetric efficiency and other. Some of these parameters are set by manufacturer and some of them varies in dependence to environmental conditions. Trying to measure maximum engine power on dynamometric test bench – dyno sometimes is difficult, because of changing environmental conditions such as outside temperature and pressure, fresh air flow speed and debit. If vehicle is tested on dyno more than few times, temperature in engine bay and inside of testing area increase and it is difficult or impossible to correctly measure maximum power of the engine.

The intake air temperature directly influences to the maximum engine power. As air temperature rises, density of the air decreases and less air enters the cylinders. Furthermore, less fuel can be combusted and lower power reading measured on the dyno. Colder air is denser and contains more oxygen molecules per volume, allowing for more efficient combustion and higher power output.

The control and stabilization of IAT are especially important when measuring engine power during repeated power runs. The intake system, intercooler, and engine bay will heat up, causing the IAT to rise. As a result, following measurements may show reduced power output, even if no mechanical changes are made to the engine. This temperature sensitivity makes it essential to monitor and manage IAT when assessing performance modifications, tuning calibrations, or validating manufacturer specifications.

Vehicle manufacturer's uses different solution to reduce and stabilize IAT for naturally aspirated (NA) and turbocharged (TC) engines. For NA engines intake air comes from out of engine bay and is redirected in colder side of engine (further from exhaust and other hot surfaces) also aftermarket solution could be used as heat shields or thermal insulating materials to

protect intake manifold and intake system from hot surfaces. As for TC engines reducing IAT is also important because it could prevent engine failure from overheating. As basically all manufacturers use intercoolers, it reduces air temperature after the compression (exiting the turbocharger), but lower air temperature before turbocharger also will help to decrease maximum temperature after turbocharger. Furthermore, repeated measurement of maximum engine power for TC engines also builds a lot of heat in engine by so intercoolers also heats up more and it will effect maximum engine power.

In controlled testing environments, additional cooling fans and rest periods between runs can also be used to ensure consistent thermal conditions. Maintaining stable and representative IAT ensures that dyno results are both accurate and repeatable, eliminating errors caused by environmental or heat-related fluctuations.

The purpose of this study is to analyse the influence of intake air temperature on the change of maximum engine power during repeated measurements on dyno.

Objectives:

1. To evaluate the differences in the intake air temperature change between naturally aspirated and turbocharged engines;
2. To assess how changes in the intake air temperature impact the repeatability and reliability of engine power measurements on a dynamometer.

1. Previous Research Overview

A. Hasan et al. studied the effects of initial mixture temperature and composition within the closed cylinder of a valve–piston assembly. The results revealed significant variations in engine performance and emissions. Operating with an intake air heating system was found to be an effective method for achieving a more homogeneous air–fuel mixture, which in turn enhanced engine performance. The best overall performance—reflected in higher brake power, improved

thermal efficiency, and lower specific fuel consumption and exhaust emissions—was observed when the intake air temperature was maintained between 35 °C and 55 °C under lean mixture conditions. However, further increasing the intake air temperature to 75 °C led to a decline in performance (Fig. 1). (Hasan et al., 2024).

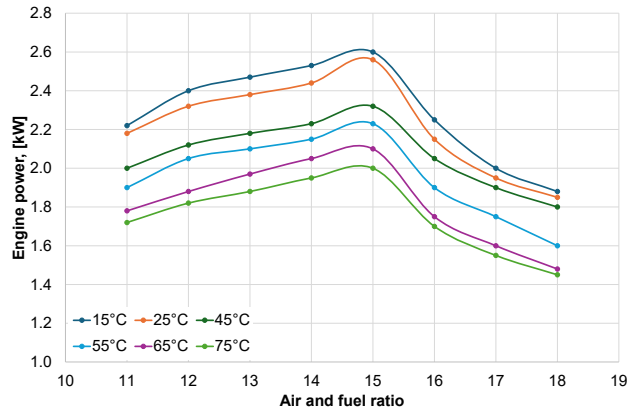


Fig. 1 The inlet consignment temperature effect on brake power of engine at 2000 RPM and variable mixing ratio (Hasan et al., 2024)

This reduction was attributed to incomplete combustion caused by the substantial decrease in intake air density and the relatively higher fuel proportion in the mixture. The control and stabilization of IAT are especially important (Chen et al., 2020).

R. R. Ibraheem and K. A. Abdullah performed experiments of ambient air temperature influence on engine performance parameters and exhaust gas temperature. Each test cycle was performed at different ambient air temperatures (10 °C, 20 °C, 30 °C, 40 °C, and 50 °C) under a constant throttle opening, allowing data collection under various climatic conditions Figure 2 (Ibraheem, 2019).

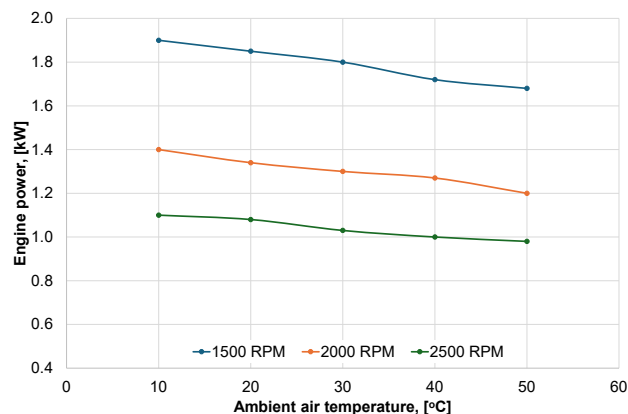


Fig. 2 The effect of ambient air temperature on the brake power, at different engine speeds (Ibraheem, 2019)

Figure 2 illustrates the relationship between ambient air temperature and brake power at engine speeds of 1500 RPM, 2000 RPM, and 2500 RPM. The results show that brake power

decreases as the ambient air temperature increases. This occurs because higher intake temperatures reduce the air charge density, resulting in a lower air mass flow rate into the cylinders (Park et al., 2021).

M. N. N. Khaifullizan et al. studied a spark-ignition engine at variations intake air temperature to examine fuel consumption and engine performance. The experiment was carried out under different intake air temperature adjusted to: 35 °C, 40 °C, 45 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C, 65 °C, and 70 °C Figure 3.

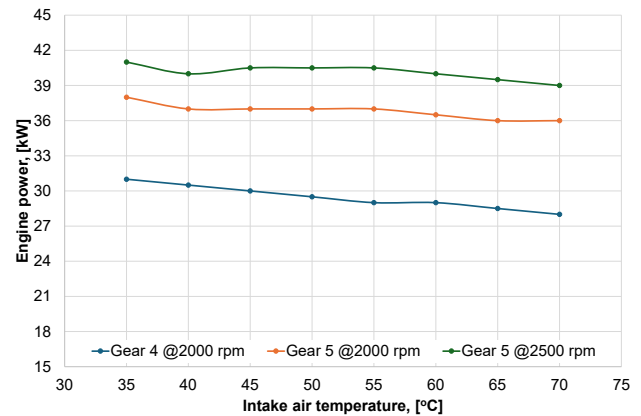


Fig. 3 Graph of Torque against Intake Air Temperature (Khaifullizan et al., 2021)

The results show that increasing the intake air temperature leads to a reduction in fuel consumption (Mohammed et al., 2022). As the air temperature rises, its density decreases, resulting in lower oxygen availability for combustion. Consequently, less fuel is required to maintain the proper air–fuel ratio. However, the reduced oxygen and fuel quantities produce weaker combustion, leading to lower torque and power output from the engine Figure 3 (Khaifullizan et al., 2021).

The reviewed studies consistently demonstrate that intake air temperature has a significant impact on internal combustion engine performance, however, researchers have not specifically addressed the effect of repeated engine performance measurements on IAT variation and its influence on engine performance. Therefore, additional experimental work is required to evaluate this relationship.

2. Equipment and methodology

Experimental studies were carried out at Vilniaus Kolegija, Automotive Diagnostic Laboratory. Four cars were used for the tests with NA and TC engines for better evaluation of IAT effect. TOYOTA YARIS T SPORT P1 with a 1.5-liter (1NZ-FE) NA engine developing 78 kW of power at 6000 RPM and maximum torque of 145 Nm at 4200 RPM. MAZDA MX-5 NB with a 1.8-liter (BP5A) NA engine developing 103 kW of power at 6500 RPM and maximum torque of 162 Nm at 4500 RPM. BMW 125i E82 with a 3.0-liter (N52B30) NA engine developing 160 kW of power at 6100 RPM and maximum torque of 270 Nm at the range from 2500 RPM till 4250 RPM. MINI COOPER R53 with

a 1.6-liter engine (W11 B16 A) with a Roots EATON M45 supercharger developing 120 kW of power at 6000 RPM and maximum torque of 210 Nm at 4000 RPM (Auto-Data.net, 2025; Zal et al., 2025).

During the tests, the diagnostic device LAUNCH X431 V was used to record the intake air temperature, crankshaft speed and intake system pressure, view live data, retrieve information recorded by the engine control unit (Launch, 2025).

For maximum engine power measurement, a computerized passenger car dynamometer stand CARTEC LPS 2510 (Fig. 4) was used. The main technical data of the traction stand are presented in Table 1 (Cartec, 2020)



Fig. 4 Tested vehicle – TOYOTA YARIS T SPORT P1 strapped to a CARTEC LPS 2510 dyno for maximum power measurement.

Source: compiled by the authors

Table 1. CARTEC LPS 2510 technical data

Parameter	Equipment	CARTEC LPS 2510
Load device	Electromagnetic Eddy current brake	
Maximum measurable load, t		3.5
Maximum measuring power of the stand, kW		400
Maximum braking power of the stand, kW		360
Measurement error		± 2

All maximum power measurements were performed firstly in well ventilated laboratory with open cars bonnet – cold condition and after 5th test with closed bonnet – hot condition. For all tests in front of the tested vehicle 3 kW fan was turned on to increase air flow.

3. Research Results

The first tested vehicle was a TOYOTA YARIS T SPORT P1. In both measurements, the maximum measured power did not reach the manufacturer's stated value of 78 kW, but the peak power under cold conditions was 72.9 kW, and under hot

conditions – 70.4 kW. The measured power loss was less than 10 %, therefore this measurement is considered valid and the engine is evaluated as being in good condition. The measurement results are shown in Figure 5.

At mid-range engine speeds ~3500 RPM, in the cold condition test, 46.3 kW was measured, while the hot condition result was 46.5 kW. This indicates that at lower loads, the thermal effect was minimal. However, at the peak power around ~5700 RPM, the difference was higher. Under cold conditions, the engine reached 72.9 kW at 5750 RPM, whereas under hot conditions, the maximum power decreased to 70.4 kW at approximately 5860 RPM. This represents a loss of 2.5 kW, or ~3.4%. The reduction is primarily due to increased intake air temperature, which decreases air density and reduces volumetric efficiency at high RPM, where airflow demand is the greatest.

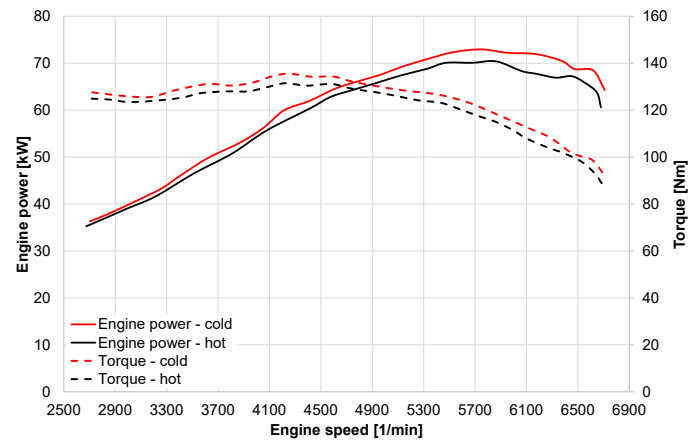


Fig. 5 Tested vehicle – TOYOTA YARIS T SPORT P1 engine power and torque results

Source: compiled by the authors

The torque comparison shows a similar trend. At ~4200 RPM, near the torque peak, the cold condition test showed a maximum of 135.5 Nm, while under hot conditions, the torque dropped to 131.5 Nm at ~4300 RPM. This corresponds to a 3% reduction. At a mid-range speed of 3000 RPM, torque values were 125.7 Nm (cold) and 124.6 Nm (hot), showing only a minor difference of less than 1%.

The second tested vehicle was MAZDA MX-5 NB. Maximum measured power in cold condition was 97.2 kW and in hot condition 94.8 kW as maximum decelerated power is 103 kW. The power loss is lower than 10 % therefore this measurement is considered valid and the engine is evaluated as being in good condition. The measurement results are shown in Figure 6.

At mid-range engine speeds ~3500 RPM, in the cold condition test, 49.6 kW was measured, while the hot condition result was 49.5 kW. This shows that at low RPM, the temperature influence was minimum. However, at the peak power ~6600 RPM, the difference became more apparent. Under cold conditions, the engine reached a maximum of 97.2 kW at 6625 RPM, where under hot conditions, the maximum power

decreased to 94.8 kW at approximately 6550 RPM. This represents a loss of about 2.4 kW, or roughly 2.5%. The reduction can be attributed to higher intake air temperature, which lowers air density and reduces combustion efficiency at high RPM.

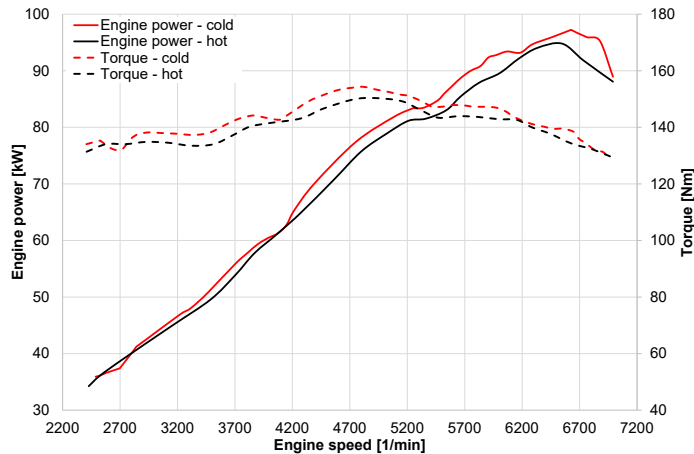


Fig. 6 Tested vehicle – MAZDA MX-5 NB engine power and torque results

Source: compiled by the authors

A similar trend was observed in the torque data. Near the torque peak at ~4800 RPM, the cold condition test recorded 154.3 Nm, while under hot conditions, the torque dropped to 150.3 Nm at ~4900 RPM. This corresponds to an approximate 2.6% reduction. At a mid-range speed of 3000 RPM, torque values were 138.0 Nm (cold) and 134.8 Nm (hot), indicating only a minor difference of about 2.3%, suggesting that the thermal effect mainly impacts the engine's upper RPM range.

The third tested vehicle was a BMW 125i E82. The measurement results are shown in Figure 7.

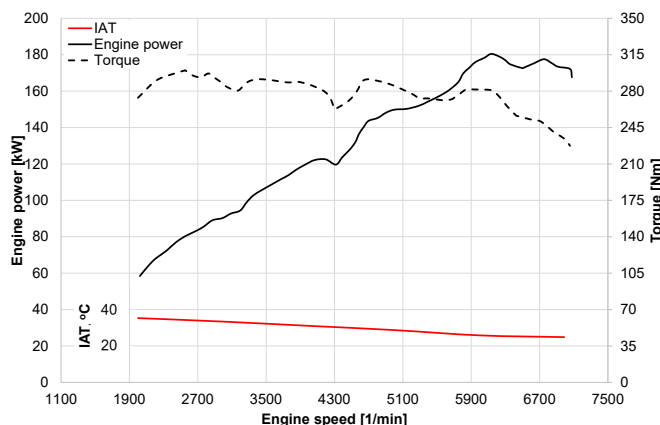


Fig. 7 Tested vehicle – BMW 125i E82 engine power, torque and IAT results

Source: compiled by the authors

The maximum measured power was 180.5 kW, while the maximum decelerated power was 160 kW. This vehicle has a

modified exhaust system and a remapped engine electronic control unit (ECU). Therefore, this vehicle's data is used to evaluate how intake air temperature changes across the entire RPM measurement range. This data is also from a naturally aspirated engine, as in the previous results.

From Figure 7, it is visible that the IAT at the start of the measurement was 37 °C, but even in the middle range of engine speed at 4800 RPM, the temperature decreased to 30 °C, and at the end of the test, the IAT was measured to be 27 °C. This indicates that increasing engine speed leads to increased airflow through the intake system, which cools down the intake components and lowers the IAT. However, this tendency was observed while measuring a naturally aspirated engine. When the engine has a forced induction system, the IAT increases with increased boost pressure. In Figure 8, the MINI COOPER R53 IAT and boost pressure change versus engine speed are presented.

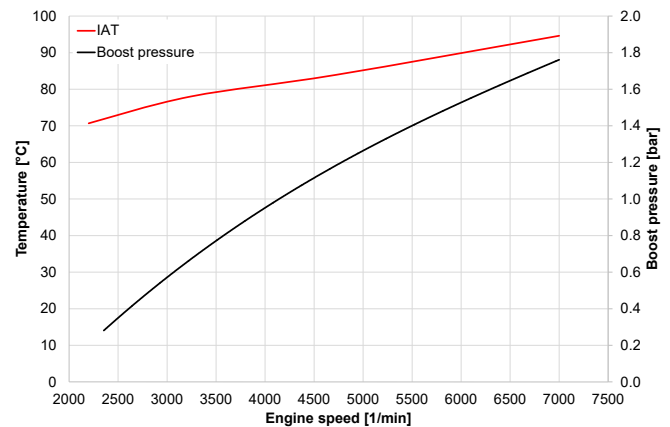


Fig. 8 Tested vehicle – MINI COOPER R53 IAT and boost pressure results

Source: compiled by the authors

From Figure 8, it can be observed that even at the start of the measurement, at 2500 RPM, the intake air temperature reached 73 °C at a boost pressure of 0.36 bar. The higher starting temperature is a result of air compression and heat transfer from hot engine components. In the mid-range, around 5000 RPM, the IAT increased to 85 °C at a boost pressure of 1.25 bar. At the maximum engine speed of 7000 RPM, the IAT rose further to 93 °C at a boost pressure of 1.77 bar. Since the MINI Cooper R53 is equipped with a forced induction system, it generates significantly higher IAT values, which must be taken into consideration when performing power measurements on vehicles with forced air induction.

The maximum measured power of MINI COOPER R53 in both measurements, was really close, for cold condition 117.7 kW and for hot condition 114.4 kW. The maximum measured power did not reach the manufacturer's stated value of 120 kW. The measured power loss was less than 10 %, therefore this measurement is considered valid and the engine is evaluated as being in good condition. The measurement results are shown in Figure 9.

At lower engine speeds ~ 3000 RPM, under cold conditions, the engine produced 49.2 kW, while the hot condition measurement showed a similar result of 47.9 kW (Fig. 9). This indicates that the intake air temperature had a minimal effect on power output at low engine loads, which is also evident from the close alignment of both power curves. However, at higher engine speeds, the effect became more pronounced. The power curve obtained under cold conditions remains approximately 3 kW higher across most measurement points, with the maximum difference reaching 3.9 kW, or about 3.4%. This deviation can be attributed primarily to increased intake air temperature due to compression and heat transfer from hot engine surfaces, leading to reduced air density and lower volumetric efficiency.

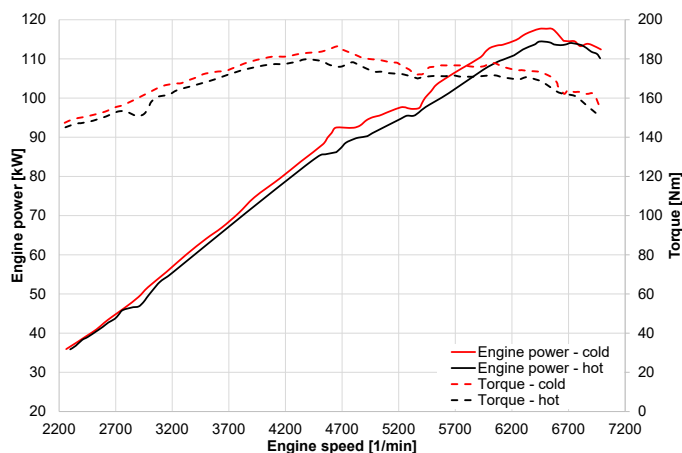


Fig. 9 Tested vehicle – MINI COOPER R53 engine power and torque results

Source: compiled by the authors

The torque comparison reveals a similar trend. Near the torque peak ~ 4000 RPM, the cold condition test achieved 185.2 Nm, while under hot conditions, torque decreased to 180.4 Nm, a difference of approximately 2.6 %. At lower engine speeds ~ 2500 RPM, torque values were nearly identical — 153.1 Nm (cold) and 150.6 Nm (hot) — confirming that temperature influence becomes most significant at higher airflow rates and engine speeds.

Conclusions

1. In comparison of TC and NA engine IAT, the results established a higher cooling need for the TC engine. In the NA engine, the IAT decreased as engine speed and load increased due to a higher airflow entering the cylinders. For the TC engine, however, with increasing load and engine speed, the air was more compressed by compressor, causing the temperature to rise further. Experimental data showed that the TC engine of the MINI COOPER R53 had a higher starting IAT than the maximum IAT recorded for the BMW 125i E82, confirming the greater heat load in forced-induction

engines.

2. In comparison of cold and hot condition measurements, it is visible that at low and medium engine speeds there is almost no difference, but when the engine speed exceeds ~ 4700 RPM, the difference in measured power is around 3%. The same tendency is visible for both NA and TC engines. Therefore, if the vehicle is tested more than 2–3 times on a dynamometer, it should be taken into consideration that TC vehicles are more likely to reach higher IAT values and experience power reduction due to increased engine bay temperatures, while NA vehicles may also show reduced power, but mainly due to a gradual rise in ambient temperature within the testing area.

Literature

- Auto-Data.net. (2025). Technical specs, data, fuel consumption of cars. <https://www.auto-data.net/en/>
- Cartec. (2020). Dynamometer for cars—Cartec LPS 2510. http://www.stein-werkstatt-technik.de/prod_psl_car_lps2510.htm
- Chen, B., Zhang, L., & Han, J. (2020). An investigation on the effect of intake air humidification on the thermal balance of a turbocharged gasoline direct injection engine. *Case Studies in Thermal Engineering*, 21, 100719. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100719>
- Hasan, A., Abdul Wahhab, H., Akroot, A., Alawee, W., & Mahdi, L. (2024). Analytical Study of Intake Air Temperature Effect on SI Engine Performance and Emissions (pp. 74–88). https://doi.org/10.1007/978-981-97-2015-6_7
- Ibraheem, R. (2019). Effect of Ambient Air Temperature on the Performance of Petrol Engine. *DJES*, 12, 7–11. <https://doi.org/10.24237/djes.2019.12102>
- Khaifullizan, M. N. B., Noh, M. N. M. J. @ M., & Abidin, S. F. Z. (2021). The Effect of Intake Air Temperature on Engine Performance and Fuel Consumption of Passenger Car. *Progress in Engineering Application and Technology*, 2(2), 854–865.
- Launch. (2025). Launch X431 V+ 5.0 PRO3S Bidirectional OBD2 Diagnostic Scanner Key Coding. <https://www.launchx431pro.com/products/launch-x431-v-5-0-pro3s-bidirectional-obd2-diagnostic-scanner-key-coding>
- Mohammed, H., Almayyahi, A., & Al-Obaidi, M. (2022). Sensitivity analysis of air-intake temperature on the performance of a gasoline engine of Daewoo prince (1800 cc). <https://doi.org/10.4108/eai.7-9-2021.2314435>
- Park, H., Lee, J., Jamsran, N., Oh, S., Kim, C., Lee, Y., & Kang, K. (2021). Comparative assessment of stoichiometric and lean combustion modes in boosted spark-ignition engine fueled with syngas. *Energy Conversion and Management*, 239, 114224. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114224>
- Zal, P., MEng, & MBA. (2025). Automobile-Catalog the Catalog of Cars, Car Specs Database. <https://www.automobile-catalog.com/>

ĮSIURBIAMO ORO TEMPERATŪROS ĮTAKA VARIKLIO MAKSIMALIOS GALIOS MATAVIMAMS

Donatas Kriaučiūnas¹, Ivan Makovec²

¹*Vilniaus kolegija*

²*Liubianos universitetas*

Straipsnio santrauka. Šiame straipsnyje nagrinėjama įsiurbiamo oro temperatūros (ĮOT) įtaka vidaus degimo variklio galios matavimams atliekant bandymus galios matavimo stende. Kadangi ĮOT tiesiogiai veikia oro tankį ir degimo efektyvumą, temperatūros padidėjimas gali sukelti pastebimų variklio galios pokyčių, net jei mechaninių pokyčių nėra. Eksperimentiniams

bandymams parinkti keturi automobiliai su atmosferiniais ir priverstinio pripūtimo sistemas turinčiais varikliais. Bandymai atlikti šaltoje ir karštoje temperatūroje. Rezultatai parodė, kad didėjant ĮOT matuojamos galios ir sukimo momento reikšmės nuosekliai mažėja, ypač esant didesniems variklio sūkiams, kai oro srautas ir variklio apkrova yra didesnė. Kai įsiurbiamo oro temperatūra aukštesnė, dėl sumažėjusio oro tankio ir cilindrų pripildymo koeficiento užfiksuotas iki 3–4 % galios sumažėjimas. Tyrimas atskleidžia ĮOT fiksavimo ir stabilizavimo svarbą atliekant pakartotinius variklio galios matavimus, siekiant užtikrinti tikslius skirtingų tipų variklių galios matavimo rezultatus.

Reikšminiai žodžiai: galios matavimas, įsiurbiamo oro temperatūra, variklio galios matavimo stendas, cilindrų pripildymo koeficientas.

KABELIO ILGIO NUSTATYMAS TAIKANT ELEKTRINIŲ MATAVIMŲ METODUS

Andrius Užinskas, Antanas Staponas, Laimutis Krikštaponis, Bronė Mitkienė

Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58-1, Vilnius

Anotacija. Straipsnyje nagrinėjama kabelio ilgio nustatymo problema, siekiant išvengti netikslumų, kurie gali lemti energijos nuostolius, įtampos kritimą ar pavojingas eksploatacijos situacijas. Tyrimo tikslas – sukurti metodiką kabelio ilgiui nustatyti taikant elektrinių parametrų matavimus. Darbe analizuota varžos, talpos ir induktyvumo priklausomybė nuo kabelio ilgio, pasitelkiant universalų induktyvumo, talpos ir varžos (LCR) matuoklį bei dirbtinio neuronų tinklo modeliavimą. Sukurtas metodas leidžia kabelio ilgį prognozuoti remiantis paprastai išmatuojamais elektriniais dydžiais, o tinklo mokymas užtrunka vos keletą sekundžių. Eksperimentiniai rezultatai parodė, kad prognozės tikslumas siekia iki 1,5 % santykinės paklaidos, kas leidžia atsisakyti sudėtingos ir brangios matavimo įrangos. Tyrimas atskleidžia praktinio taikymo potencialą elektros tinklų priežiūroje.

Reikšminiai žodžiai: elektriniai matavimai, varža, talpa, induktyvumas, kabelio ilgis, dirbtinis neuronų tinklas.

Įvadas

Elektros kabelių ilgis yra vienas svarbiausių parametrų atliekant elektros instaliacijos montavimo darbus, ypač įrengiant laikinus energijos tiekimo tinklus. Neteisingai įvertintas kabelio ilgis gali lemti ne tik ekonominius, bet ir energijos nuostolius, įtampos kritimą ar net pavojingas eksploatacijos situacijas. Šiuolaikinė statybvietės infrastruktūra reikalauja tikslų, greitų ir ekonomiškai pagrįstų kabelių ilgio nustatymo metodų.

Elektros instaliacijos montavimo metu dažnai nėra galimybės fiziškai pamatuoti viso kabelio ilgio dėl jo padėties (pvz., po žeme ar konstrukcijose). Taip pat paprastai ant kabelio pateikiamas metrus žymintis užrašas (1 pav.) gali būti nematomas arba nukirptas.



1 pav. Ant AB „Liekabelis“ kabelio BVV-P 3x1,5 mm² pateiktas metrus žymintis užrašas „060115“, naudojamas kabelio ilgiui apskaičiuoti
Šaltinis: sudaryta autorių

Netiesioginiams kabelio ilgio matavimo metodams yra būtina brangi specialia įranga ir kompetencijos dirbti. Dėl to kyla poreikis efektyviems ir patikimiems kabelio ilgio įvertinimo metodams, pagrįstiems lengvai išmatuojamomis tokiais elektriniais parametrais kaip varža, talpa ir induktyvumas.

Tikslas – sukurti kelių laidininkų kabelio ilgio matavimo metodiką ištiriant elektrinės varžos, induktyvumo ir talpos matavimų metodų galimybes.

Uždaviniai:

1. Nustatyti, kurie metodai yra tinkamiausi kabelio ilgiui nustatyti be tiesioginio matavimo.

2. Išsiaiškinti, kokia yra varžos, talpos ir induktyvumo priklausomybė nuo kabelio ilgio.

3. Rasti santykinę paklaidą, pasiekiamą nustatant kabelio ilgį elektriniais matavimais.

Nesudėtingas kabelių ilgio įvertinimas gali reikšmingai sumažinti montavimo klaidų riziką ir padidinti darbo efektyvumą bei užtikrinti elektros sistemos saugumą. Be to, šis tyrimas gali būti naudingas tiek projektavimo, tiek priežiūros srityse, prisidėti prie išmaniosios statybų logistikos ir automatizavimo sprendimų.

1. Literatūros apžvalga

Literatūroje aprašoma keletas netiesioginių matavimo metodų, pagrįstų kabelio elektrinių parametrų (varžos, talpos, induktyvumo ar signalo sklaidimo greičio) matavimais (Chen et al., 2018; Wang & Zhou, 2020). Kiekvienas šių metodų turi privalumų ir trūkumų, atsižvelgiant į kabelio tipą, ilgį ir matavimo aplinką.

Literatūroje nurodomi keturi pagrindiniai kabelio ilgiui M metrais apskaičiuoti naudojami netiesioginiai metodai, grįsti varžos matavimais (Hayt & Kemmerly, 2012):

$$M = \frac{R \cdot A}{\rho} = \frac{R}{R'} \quad (1)$$

čia R – išmatuota laidininko varža, Ω ; A – laidininko skerspjūvis, m²; ρ – laidininko laidumas, $\Omega \cdot \text{m}$; R' – laidininko varža ilgio vienetu, Ω / m :

$$R' = \frac{\rho}{A'} \quad (2)$$

Tačiau, kaip teigia Patel et al. (2019) ir Zhang et al. (2021), varžos metodas jautrus temperatūros pokyčiams ir kontaktinės varžos klaidoms, ypač ilgesniuose kabeliuose, todėl būtina atlikti temperatūros korekcijas pagal (10) formulę.

Talpos matavimas (Griffiths, 2017):

$$M = \frac{C}{C'} \quad (3)$$

čia C – išmatuota kabelio talpa, F; C' – kabelio talpa ilgio vienetu, F/m naudojant bendrašį kabelį:

$$C' = \frac{2\pi\epsilon}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}, \quad (4)$$

čia ϵ – absoliuti kabelio dielektrinė skvarba; a – vidinio laidininko skersmuo; b – išorinio laidininko vidinis skersmuo.

Talpos metodas ypač efektyvus koaksialiniams kabeliams, tačiau jo tikslumui įtaką daro dielektriko savybės, drėgmė ir izoliacijos senėjimas (Lin & Kuo, 2020). Todėl praktikoje rekomenduojama šį metodą taikyti kartu su papildomais korekciniais matavimais, ypač ilgų kabelių diagnostikoje.

Induktyvumo matavimas (Paul, 2008):

$$M = \frac{L}{L'}, \quad (5)$$

čia L – išmatuotas kabelio induktyvumas, H; L' – kabelio induktyvumas ilgio vienetu, H/m:

$$L' = \frac{\mu}{\pi} \ln\left(\frac{D}{r}\right), \quad (6)$$

čia D – atstumas tarp laidininkų centrų, m; r – laidininko spindulys, m; μ – kabelio magnetinė skvarba, H/m.

Induktyvumu grįsti metodai (Paul, 2008) nejautrūs triukšmui ir gali būti taikomi tiek žemiems, tiek aukštiems dažniams matuoti. Tačiau, kaip teigia Oliveira et al. (2017), šiems matavimams būtina tiksliai žinoti kabelio geometriją, o daugiagysliuose kabeliuose induktyvumo įtaka gali būti nevienoda tarp gyslų.

Signalų sklaidimo greičio matavimai (Lee et al, 2011):

$$M = \frac{v \cdot t}{2} \quad (7)$$

čia t – signalo sklaidimo laikas iki kabelio pabaigos ir atgal, s; v – signalo sklaidimo greitis laidininke, m/s:

$$v = c \cdot u, \quad (8)$$

čia c – šviesos greitis vakuume, m/s; u – signalo sklaidimo koeficientas laidininke.

Signalų sklaidimo greičio matavimu grįsti metodai (Lee et al., 2011) plačiai naudojami telekomunikacijose. Jų privalumas – mažesnė priklausomybė nuo temperatūros ir medžiagos laidumo, tačiau trūkumas – sudėtingesnė matavimo įranga. Zhao et al. (2022) pabrėžia, kad šie metodai leidžia pasiekti aukštą tikslumą, kai naudojami vektoriniai tinklo analizatoriai ar signalo laiko domeno reflektometrai (TDR).

Siekiant tiksliai nustatyti kelių kilometrų ilgio kabelio varžą, naudojant koregavimo veiksnus, kabelis turi būti laikomas bandymo aplinkoje pakankamą laiką, kad būtų užtikrinta laidininko kabelyje temperatūra (LST EN 60228+AC, 2005):

$$R_{20} = R_t \cdot k_t \cdot \frac{1000}{M}, \quad (9)$$

čia R_{20} – apvalaus atkaitinto vario laidininko varža 20°C temperatūroje, Ω/km ; R_t – išmatuota laidininko varža, Ω ; M – kabelio ilgis, m; k_t – atkaitinto vario laidininko temperatūros koregavimo veiksnys:

$$k_t = \frac{1}{1 + 0,00393(t - 20)}. \quad (10)$$

LCR matavimo prietaisu UT612 galima išmatuoti nuolatinės ir kintamosios srovės nuosekliają ir lygiagrečiąją varžas bei nuoseklųjį ir lygiagretųjį induktyvumą ir atitinkamą talpą 100 Hz – 100 kHz dažnių ruože. Tuomet kompleksinė varža nuosekliuoju matavimo režimu lygi (Callegro, 2013):

$$Z = R_s + j\omega L_s, \quad (11)$$

čia R_s – nuosekloji varža, Ω ; L_s – nuoseklusis induktyvumas, H;

ω – kampinis dažnis, rad/s:

$$\omega = 2\pi f, \quad (12)$$

čia f – bandomojo signalo dažnis arba

$$Z = R_s - j \frac{1}{\omega C_s}, \quad (13)$$

čia C_s – nuosekloji talpa, F.

Kompleksinis laidis lygiagrečiuoju matavimo režimu lygus (Callegro, 2013):

$$Y = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{j\omega L_p}, \quad (14)$$

čia R_p – lygiagrečioji varža, Ω ; L_p – lygiagretusis induktyvumas, H; arba

$$Y = \frac{1}{R_p} + j\omega C_p, \quad (15)$$

čia C_p – lygiagrečioji talpa, F.

LRC matavimo prietaise nuo dažnio priklausomi dydžiai yra apskaičiuojami iš kompleksinės varžos nuosekliuoju atveju (Alexander & Sadiku, 2017):

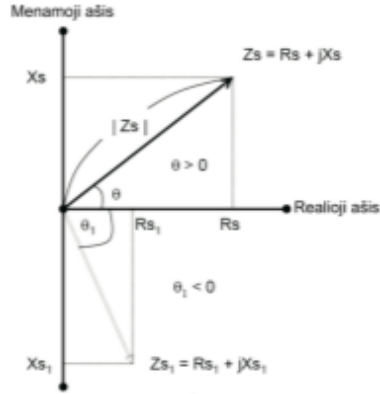
$$Z = R_s + jX_s \Rightarrow \begin{cases} R_s = \Re(Z), \\ L_s = \frac{X}{\omega}, \\ C_s = -\frac{1}{\omega X}, \end{cases} \quad (16)$$

ir lygiagrečiuoju atveju

$$Y = \frac{1}{Z} = G + jB \Rightarrow \begin{cases} R_p = \frac{1}{\Re(Y)} = \frac{1}{G}, \\ L_p = \frac{1}{\omega B}, \\ C_p = \frac{B}{\omega}. \end{cases} \quad (17)$$

Ryšys tarp nuoseklosios kompleksinės varžos dedamųjų parodytas tarp realiosios ir menamosios ašių 2

paveiksle (UNI-T, 2022). Iš jo matyti, kad kuo didesnis kampo θ modulis, tuo didesnė reaktyvioji dalis X_S yra. Taigi, siekdami gauti kabelio ilgį apibūdinančią reaktyviąją dalį (kai $\theta > 0$, vyrauja induktyvumas, kai $\theta < 0$ vyrauja talpa), turime minimizuoti nuosekliają realiąją varžą R_S .



2 pav. Ryšys tarp nuoseklosios kompleksinės varžos dedamųjų

Šaltinis: UNI-T, 2022

Tokios kompleksinės varžos realioji dalis:

$$R_S = |Z_S| \cos \theta, \quad (18)$$

ir menamoji dalis:

$$X_S = |Z_S| \sin \theta, \quad (19)$$

čia X_S :

$$X_S = 2\pi f L_S, \quad (20)$$

arba

$$X_S = -\frac{1}{2\pi f C_S}. \quad (21)$$

Induktoriaus arba kondensatoriaus idealumą (energijai kaupti) arba nuostolius (išsklaidyti energiją šilumos pavidalu) parodo kokybės faktorius Q ir sklaidos faktorius D . Nuosekliajam induktoriui (Agilent Technologies, 2006):

$$Q_S^L = \frac{\omega L_S}{R_S}, \quad (22)$$

$$D_S^L = \frac{1}{Q} = \frac{R_S}{\omega L_S}, \quad (23)$$

ir lygiagrečiam induktoriui:

$$Q_P^L = \omega L_P R_P, \quad (24)$$

$$D_P^L = \frac{1}{\omega L_P R_P}. \quad (25)$$

Atitinkamai nuosekliajam kondensatoriui:

$$Q_S^C = \frac{1}{\omega C_S R_S}, \quad (26)$$

$$D_S^C = \omega C_S R_S, \quad (27)$$

ir lygiagrečiam kondensatoriui:

$$Q_P^C = \omega C_P R_P, \quad (28)$$

$$D_P^C = \frac{1}{\omega C_P R_P}. \quad (29)$$

Atlikę literatūros analizę galime daryti išvadą, kad skaičiuodami laidininko ilgį susidursime su iššūkiais vertindami:

1. Laidininko temperatūrą kabelio varžai gauti, (10) formulė.

2. Magnetinę skvarbą ir atstumą tarp laidininkų kabelio induktyvumui gauti.

3. Kabelio talpą ilgio vienetu plokščiojo kabelio talpai gauti.

Laidininko temperatūrą galime išmatuoti termometru ir tada prognozuoti laidininko varžą, o kabelio induktyvumo ir talpos iš anksto neapskaičiuosime. Dėl šios priežasties paprasčiau išmatuoti žinomo ilgio kabelio varžą, induktyvumą ir talpą. Tuomet padalinę elektrinių matavimų vertes iš žinomo ilgio elektrinių matavimų verčių ilgio vienetu, gausime ieškomą kabelio ilgį pagal formules (1, 3, 5). Analizuodami kokybės ir sklaidos faktorius, įvertinsime induktyvumu ar talpumu grįsto matavimo kokybę. Kai $Q > 10$ (Electrical4U, 2024) ir $D < 0,01$ (Keithley Instruments, 2020), kabelis patiria mažai nuostolių dėl mažos laidininko varžos ir kokybiškos izoliacijos, todėl induktyvumo bei talpumo matavimai turėtų būti patikimi.

Iš formulių (7, 8) matyti, kad mažiausiai nuo įvairių parametų yra priklausomas kabelio ilgio matavimas, grįstas sklaidimo greičiu laidininke. Iš anksto nežinomas signalo sklaidimo greičio koeficientas laidininke gali būti gautas naudojant vektorinį tinklo analizatorių (JumaRadio, 2022):

$$u = \frac{M}{\lambda}, \quad (30)$$

čia λ – signalo bangos ilgis, m:

$$\lambda = \frac{c}{f_{2p}}. \quad (31)$$

čia f_{2p} – antrasis pikas matuojant kompleksinę varžą vektoriniu tinklo analizatoriumi.

Vadinasi, netiesiogiai kabelio ilgį išmatuotume naudodami:

1. Specializuotą ir sudėtingą įrangą, tokią kaip vektorinį tinklo analizatorių kartu su signalo sklaidimo greičio matuokliu.

2. Bendros paskirties įrangą, tokią kaip LCR matuoklis, taip pat apdorotume papildomų matavimų rezultatus.

Toliau metodikos skyriuje aptarsime literatūroje iki šiol nepaminėtą papildomą LCR matuoklio rezultatų apdorojimą kabelio ilgiui nustatyti.

2. Metodika kabelio ilgiui nustatyti

Elektriniai matavimai. Siekdami ištirti elektrinės varžos, induktyvumo ir talpos matavimų metodų galimybes įvairių žinomų ilgių ir temperatūrų kelių laidininkų kabelio ilgiui nustatyti naudojome LCR matavimo prietaisą (UNI-T, 2022).

Esant 21°C kabelio temperatūrai aštuoniais metodais išmatavome 1, 2, 5, 19 ir 49 m ilgio kelių laidininkų BVV-P 3×1,5 mm² kabelio varžą, induktyvumą ir talpą: nuolatinės srovės varžą R , nuosekliają varžą R_S esant 1 kHz bandomajam signalui, lygiagrečiąją varžą R_P esant 1 kHz bandomajam signalui, nuoseklųjį induktyvumą L_S esant 1 kHz bandomajam signalui, lygiagretųjį induktyvumą L_P esant 1 kHz bandomajam signalui, nuosekliają talpą C_S esant 1 kHz bandomajam signalui, lygiagrečiąją talpą C_P esant 1 kHz bandomajam signalui ir nuoseklųjį induktyvumą L_S esant 100 kHz bandomajam signalui.

Kiekvieno matavimo metu matuoklis parodė Q ir D faktorius, kampą θ ir nuosekliausias R_S bei lygiagrečiausias R_P varžas, matuojant induktyvumą ar talpą. Matuojant talpą kabelio galas buvo atviras, matuojant varžą ir induktyvumą – trumpai jungtas. Dėl to apskaičiuotas kabelis turėjo būti dvigubai ilgesnis už žinomą kabelio ilgį.

Elektrinių matavimo metodų rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Elektrinės varžos, induktyvumo ir talpos matavimai kabelyje BVV-P 3×1,5 mm² 21°C temperatūroje

Eil. Nr.	Kabelio ilgis, m	f, kHz	Dydis	Vertė	Dimensija	Q faktorius	R_s, Ω	$\theta, ^\circ$	D faktorius	R_p, Ω	Kabelio galas
1	0	0	R	0,01	Ω						Trumpai jungtas
2		1	R_s	0,064	Ω						Trumpai jungtas
3		1	R_p	0,065	Ω						Trumpai jungtas
4		1	L_s	0,7	μH	0,07	0,06	-3,8	14,3		Trumpai jungtas
5		1	L_p	148,6	μH	0,069		-3,9	14,3	0,06	Trumpai jungtas
6		1	C_s	0,9	pF	23,3	75000000	87,4	0,043		Atviras
7		1	C_p	0,9	pF	23		87,5	0,041		Atviras
8		100	L_s	0,67	μH	5,83	0,07	-90,2	0,171		Trumpai jungtas
9	1	0	R	0,04	Ω						Trumpai jungtas
10		1	R_s	0,025	Ω						Trumpai jungtas
11		1	R_p	0,026	Ω						Trumpai jungtas
12		1	L_s	0,5	μH	0,147	0,02	8,2	6,7		Trumpai jungtas
13		1	L_p	27,6	μH	0,147		8,2	6,7	0,03	Trumpai jungtas
14		1	C_s	90,4	pF	16,09	110000	-86,4	0,062		Atviras
15		1	C_p	90,4	pF	16,01		-86,4	0,062	28200000	Atviras
16		100	L_s	0,53	μH	6,63	0,05	81,3	0,151		Trumpai jungtas
17	2	0	R	0,04	Ω						Trumpai jungtas
18		1	R_s	0,049	Ω						Trumpai jungtas
19		1	R_p	0,05	Ω						Trumpai jungtas
20		1	L_s	1,2	μH	0,16	0,04	9	6,22		Trumpai jungtas
21		1	L_p	50	μH	0,16		9	6,24	0,05	Trumpai jungtas
22		1	C_s	191,5	pF	16,78	50000	-86,5	0,059		Atviras
23		1	C_p	190,5	pF	16,8		-86,5	0,059	14000000	Atviras
24		100	L_s	1,077	μH	6,35	0,01	81	0,157		Trumpai jungtas
25	5	0	R	0,13	Ω						Trumpai jungtas
26		1	R_s	0,057	Ω						Trumpai jungtas
27		1	R_p	0,06	Ω						Trumpai jungtas
28		1	L_s	2,3	μH	0,252	0,05	14,1	3,94		Trumpai jungtas
29		1	L_p	38,3	μH	0,253		14,1	3,93	0,06	Trumpai jungtas
30		1	C_s	482,3	pF	16,09	204000	-86,4	0,062		Atviras
31		1	C_p	480,9	pF	16,14		-86,4	0,062	5330000	Atviras
32		100	L_s	1,982	μH	6,79	0,18	81,6	0,147		Trumpai jungtas
33	19	0	R	0,46	Ω						Trumpai jungtas
34		1	R_s	0,39	Ω						Trumpai jungtas
35		1	R_p	0,402	Ω						Trumpai jungtas
36		1	L_s	10,6	μH	0,171	0,39	9,6	5,83		Trumpai jungtas
37		1	L_p	373,4	μH	0,171		9,7	5,82	0,4	Trumpai jungtas
38		1	C_s	1864,8	pF	15,96	5340	-86,4	0,062		Atviras
39		1	C_p	1859,1	pF	15,96		-86,4	0,062	1360000	Atviras
40		100	L_s	9,27	μH	6,43	0,9	81,1	0,155		Trumpai jungtas
41	49	0	R	1,18	Ω						Trumpai jungtas
42		1	R_s	1,05	Ω						Trumpai jungtas
43		1	R_p	1,078	Ω						Trumpai jungtas
44		1	L_s	27,1	μH	0,162	1,05	9,2	6,14		Trumpai jungtas
45		1	L_p	1055,6	μH	0,162		9,2	6,14	1,07	Trumpai jungtas
46		1	C_s	4,823	nF	16,12	2,04	-86,4	0,061		Atviras
47		1	C_p	4,81	nF	16,12		-86,4	0,062	533000	Atviras
48		100	L_s	25,65	μH	6,22	2,58	80,8	0,16		Trumpai jungtas

Šaltinis: sudaryta autorių

Tam, kad padidintume induktyvumo dedamąją kabelyje, bandomąjį signalą parinkome ne tik 1 kHz, bet ir 100 kHz dažnio. 2, 3, 4 paveiksluose parodytos elektrinės

varžos, induktyvumo ir talpos skirtingų matavimų metodų rezultatai, atsižvelgiant į kabelio ilgį.

Gautas elektrinių matavimų priklausomybės aprašėme tiesinės regresijos modeliu:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i, \quad (32)$$

čia x_i – žinomas kabelio ilgis (M); y_i – elektrinio matavimo vertė ($R, R_s, R_p, L_s, L_p, C_s, C_p$); β – regresijos koeficientai.

Siekdami įvertinti sudaryto regresinio modelio kokybę, apskaičiavome to modelio determinacijos koeficientą. Jis parodo, kokią procentinę priklausomo kintamojo kitimo dalį nulemia nepriklausomo kintamojo kitimas (Martišius, 1992):

$$R^2 = \frac{ESS}{TSS}, \quad (33)$$

čia ESS – regresijos kvadratų suma, kuri parodo, kiek regresijos tiesė skiriasi nuo vidurkio:

$$ESS = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (34)$$

TSS – bendra kvadratų suma, kuri nusako, kaip faktiškos stebėjimų reikšmės išsisklaidžiusios apie vidurkį:

$$TSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (35)$$

čia y_i – faktinė išmatuota vertė; $\hat{y}_i$ – prognozuojama vertė; $\bar{y}$ – vidutinė išmatuota vertė.

Pagal 1 lentelę sudarėme aštuonių matavimų regresijos modelius ir apskaičiavome jų determinacijos koeficientus:

1. Laidininko varžos R modelis, jo determinacijos koeficientas ir prognozuojama varža ilgio vienetu naudojant nuolatinės srovės bandomąjį signalą:

$$R = 0,023927 \times M + 0,006928 \Omega, \quad R_R^2 = 0,999689, \quad R' = 0,023927 \Omega/m. \quad (36)$$

2. Laidininko varžos R_s modelis, jo determinacijos koeficientas ir prognozuojama varža ilgio vienetu naudojant 1 kHz bandomąjį signalą:

$$R_s = 0,021078 \times M + 0,005517 \Omega, \quad R_{R_s}^2 = 0,999689, \quad R'_s = 0,021078 \Omega/m. \quad (37)$$

3. Laidininko varžos R_p modelis, jo determinacijos koeficientas ir prognozuojama varža ilgio vienetu naudojant 1 kHz bandomąjį signalą:

$$R_p = 0,021644 \times M + 0,006015 \Omega, \quad R_{R_p}^2 = 0,999689, \quad R'_p = 0,021644 \Omega/m. \quad (38)$$

4. Kabelio L_s induktyvumo modelis, jo determinacijos koeficientas ir prognozuojamas induktyvumas ilgio vienetu naudojant 1 kHz bandomąjį signalą:

$$L_s = 0,5471 \times M + 0,2128 \mu H, \quad R_{L_s}^2 = 0,998386, \quad L' = 0,5471 \mu H/m. \quad (39)$$

5. Kabelio L_s induktyvumo modelis, jo determinacijos koeficientas ir prognozuojamas induktyvumas ilgio vienetu naudojant 100 kHz bandomąjį signalą:

$$L_s = 0,5256 \times M - 0,2867 \mu H, \quad R_{L_s}^2 = 0,998830, \quad L' = 0,5256 \mu H/m. \quad (40)$$

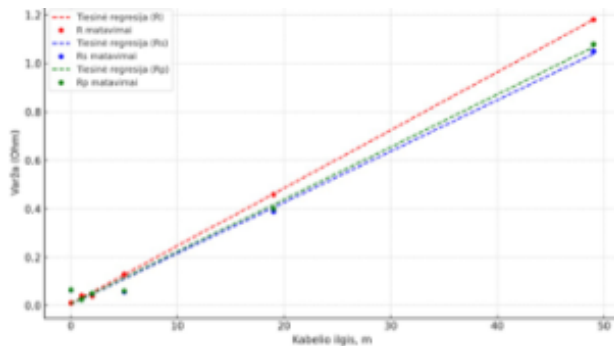
5. Kabelio L_S induktyvumo modelis, jo determinacijos koeficientas ir prognozuojamas induktyvumas ilgio vienetu naudojant 100 kHz bandomąjį signalą:

$$L_S = 0,5256 \times M - 0,2867 \mu H, \quad R_{L_S}^2 = 0,998830, \\ L' = 0,5256 \mu H/m. \quad (40)$$

6. Kabelio C_P talpos modelis jo determinacijos koeficientas ir prognozuojama talpa ilgio vienetu naudojant 1 kHz bandomąjį signalą:

$$C_P = 98,2613 \times M - 6,0098 pF, \quad R_{C_P}^2 = 0,999996, \\ C' = 98,26 pF/m. \quad (41)$$

Iš 2 ir 3 paveikslų matydami, kad varžų ir induktyvumų matavimai yra netikslūs pradiniuose taškuose, perskaiciavome determinacijos koeficientus.

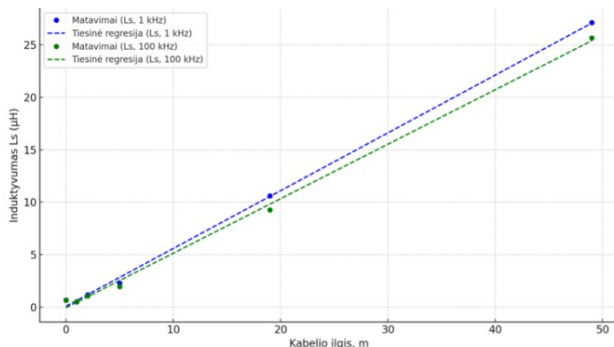


3 pav. Laidininko varžų R ($R_R^2 = 0,999981$), R_S (1 kHz, $R_{R_S}^2 = 0,999637$) ir R_P (1 kHz, $R_{R_P}^2 = 0,999611$) priklausomybės nuo kabelio ilgio su regresijos tiesėmis

Šaltinis: sudaryta autorių

Determinacijos koeficientai be matavimų 0, 1 ir 2 m ilgio kabeliuose:

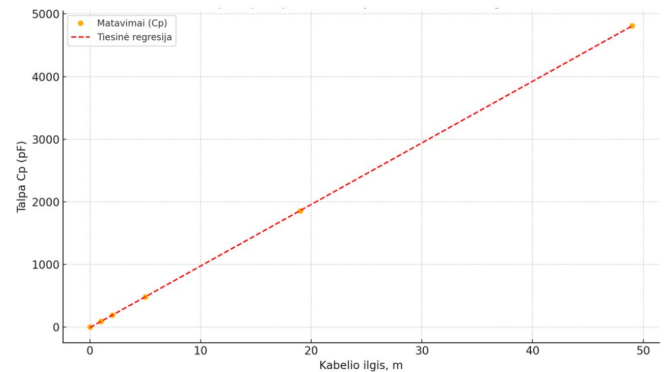
- Nuolatinės srovės R varžos modelio $R_R^2 = 0,999981$ be matavimų 0, 1 ir 2 m ilgio kabeliuose;
- 1 kHz R_S varžos modelio $R_{R_S}^2 = 0,999637$,
- 1 kHz R_P varžos modelio $R_{R_P}^2 = 0,999611$,
- 1 kHz L_S induktyvumo modelio $R_{L_S}^2 = 0,999665$,
- 100 kHz L_S induktyvumo modelio $R_{L_S}^2 = 0,999872$.



4 pav. Kabelio induktyvumų L_S (1 kHz, $R_{L_S}^2 = 0,999665$) ir L_P (100 kHz, $R_{L_S}^2 = 0,999872$) priklausomybės nuo kabelio ilgio su regresijos tiesėmis

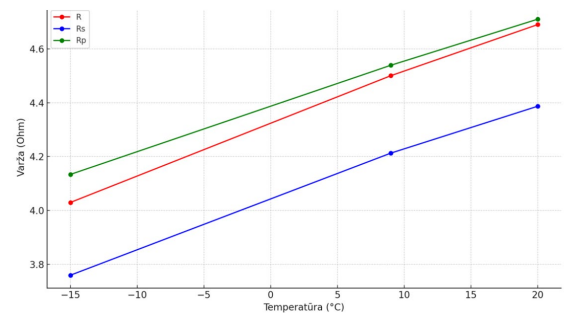
Šaltinis: sudaryta autorių

Palyginę aštuonis elektrinių matavimų metodus matome, kad tinkamiausias elektrinių matavimų metodas kabelio ilgiui nustatyti yra kabelio talpos C_P (1 kHz, $R_{C_P}^2 = 0,999996$) matavimas. Kitas metodas yra nuolatinės srovės R varžos ($R_R^2 = 0,999981$) matavimas ir kabelio induktyvumo L_S (100 kHz, $R_{L_S}^2 = 0,999872$) matavimas. Tačiau pastarieji R ir L_S metodai netinka iki 5 m ilgio kabeliams matuoti.



5 pav. Kabelio talpos C_P (1 kHz, $R_{C_P}^2 = 0,999996$) priklausomybės nuo kabelio ilgio su regresijos tiesėmis
Šaltinis: sudaryta autorių

Kaip laidininko varža priklauso nuo temperatūros, parodyta 5 paveiksle. Išmatavome R , R_S esant 1 kHz ir R_P esant 1 kHz 200 m ilgio kabelį 15°C, 9°C ir 20°C temperatūrose (5 pav.).



6 pav. 200 m ilgio kabelio laidininko varžų R , R_S (1 kHz) ir R_P (1 kHz) priklausomybės nuo temperatūros matuojant 15°C, 9°C ir 20°C temperatūrose
Šaltinis: sudaryta autorių

Matyti, kad varžų priklausomybė nuo temperatūros yra reikšminga ir artima tiesinei.

Elektrinių matavimų metodikos parinkimas. Pagal gautus rezultatus parinkome elektrinių matavimų metodiką kabelio ilgiui nustatyti iš kabelio lygiagrečios talpos naudodami 1 kHz bandomąjį signalą, laidininko varžos, pasirinkę nuolatinės srovės bandomąjį signalą ir kabelio nuoseklaus induktyvumo naudodami 100 kHz bandomąjį signalą. Laidininko varžą ilgio vienetu apskaičiuotume pagal kabelio gamybos standartą, o talpą ir induktyvumą kabelio ilgio vienetu tenka nustatyti eksperimentiniu būdu, į induktyvumo matavimą įtraukiant ne trumpesnę nei 5 m

ilgio kabelį. Varžos skaičiavimų pagal standartą alternatyva yra eksperimentas, tačiau ir šiuo atveju į matavimą įtraukiamas ne trumpesnis nei 5 m ilgio kabelis.

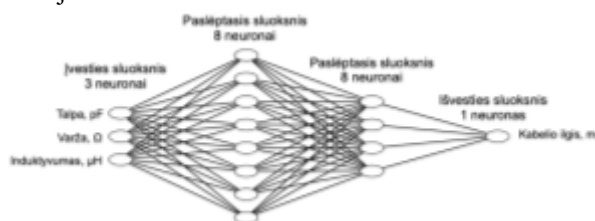
Metodikos sukūrimas ilgiui nustatyti. Siekiami iš trijų matavimo metodų įgyvendinti netiesioginę kelių laidininkų kabelio ilgio matavimo metodiką, sukūrėme neuronų tinklą. Šis tinklas mokomas matuoti talpą naudojant 1 kHz bandomąjį signalą 2 m bei 5 m žinomo ilgio kabelyje ir varžą bei induktyvumą pasirinkus nuolatinės srovės ir 100 kHz bandomąjį signalą 5 m žinomo ilgio kabelyje. Minimalią mokymo duomenų aibę sudarė 2 lentelėje pateikti duomenys.

2 lentelė. Minimali duomenų aibė neuronų tinklui mokyti

Eil. Nr.	Talpa C_p (1 kHz), pF	Varža, Ω	Induktyvumas L_S (100 kHz), μH	Kabelio ilgis, m
1	191,5	0	0	2
2	480,9	0,13	1,982	5

Šaltinis: sudaryta autorių

Kabelio ilgiui gauti iš parinktų elektrinių matavimų pasitelkėme dirbtinį intelektą, sudarytą iš 16-os neuronų, sugrupuotų į keturis sluoksnius, tinklo (6 pav.). Pirmame sluoksnyje iš 3 neuronų įkeliami pasirinkti žinomo ilgio kabelio elektriniai matavimai: kabelio talpa (1 kHz, pF), laidininkų varža (Ω) ir kabelio induktyvumas (100 kHz, μH). Toliau šie duomenys patenka į pirmojo paslėptojo sluoksnio 8 neuronus su dalimis tiesine (angl. *Rectified Linear Unit – ReLU*) aktyvavimo funkcija. Po to minėtų 8 neuronų duomenys perduodami į antrąjį paslėptąjį sluoksnį iš 4 neuronų su tokia pačia dalimi tiesine aktyvavimo funkcija. Galiausiai paslėptuose sluoksniuose apdoroti duomenys perduodami į išvestį iš 1 neurono su tiesine funkcija.



7 pav. Sukurtas dirbtinis neuronų tinklas kabelio ilgiui nustatyti

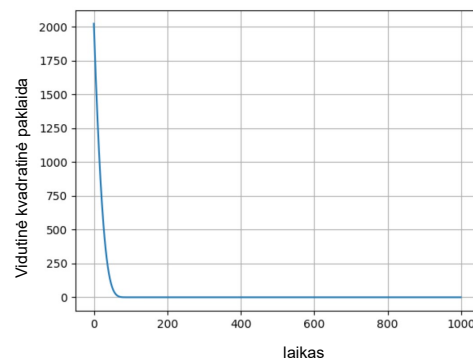
Šaltinis: sudaryta autorių

Pirminis programos kodas, įgyvendinantis neuronų tinklą, buvo parašytas *Python* programavimo kalba. Tam pasitelkta atvirojo kodo mašininio mokymosi platforma *TensorFlow* (Abadi et al, 2016) bei jos aukšto lygio neuroninių tinklų programavimo sąsaja *Keras* (Chollet, 2018). Neuronų tinklas buvo mokytas su dviem 2 m ir 5 m kabelio ilgio duomenų imtimis ir patikrintas taip pat su dviem 19 m ir 49 m kabelio ilgio duomenų imtimis.

3. Tyrimų rezultatai

Parinkę elektrinių matavimų metodiką ir pagal ją sukūrę dirbtinį neuronų tinklą (6 pav.) kabelio ilgiui nustatyti atlikome eksperimentą su montuojamuoju kelių

laidininkų kabeliu BVV-P 3×1,5 mm² (Lietkabelis, 2017). Minimalią duomenų aibę (2 lentelė) neuronų tinklui mokyti parengėme naudodami paprastą ir populiarią bendros paskirties LCR matuoklį *UT612* (UNI-T, 2022).



8 pav. Dirbtiniam intelektui mokyti skyrėme 1000 iteracijų, kurios užtruko iki 15 s

Šaltinis: sudaryta autorių

Dirbtiniam intelektui mokyti skyrėme 1000 iteracijų, kurios užtruko iki 15 s. Per tą laiką vidutinė kvadratinė tinklo mokymo paklaida (angl. *Mean Squared Error – MSE*) nukrito nuo 2022,4929 iki 0,0035 (7 pav.).

Vėliau tinklą patikrinome naudodami žinomų 19 m ir 49 m ilgio kabelio duomenis (3 lentelė). Rezultatai, kurie buvo gauti per mažiau nei 1 s, parodė santykinę paklaidą 1,32 % ir 1,31 % atitinkamai.

3 lentelė. Išmokyto neuronų tinklo patikros aibė

Eil. Nr.	Talpa C_p (1 kHz), pF	Varža, Ω	Induktyvumas L_S (100 kHz), μH	Faktinis kabelio ilgis, m	Apskaičiuotas kabelio ilgis, m	Santykinė paklaida, %
1	1859,1	0,46	9,27	19	19,25	1,32
2	4810	1,18	25,65	49	49,64	1,31

Šaltinis: sudaryta autorių

Taigi sukūrėme metodiką kabelio ilgiui nustatyti taikydami parinktus elektrinius matavimus: talpą, varžą ir induktyvumą. Universaliu matuokliu išmatavę keletą žinomų ilgių kabelių per 15 s galime išmokyti dirbtinį intelektą ir per 1 s gauti prognozuojamą kabelio ilgį pagal minėtus elektrinius matavimus, kurių santykinė paklaida iki 1,5 %.

Išvados

Šiame darbe sukūrėme kelių laidininkų kabelio ilgio matavimo metodiką ištyrę elektrinės varžos, induktyvumo, pasirinkę 1 kHz bandomąjį signalą, ir talpos, naudodami 100 kHz bandomąjį signalą, matavimo metodų galimybes. Gauti rezultatai parodė metodikos aktualumą ir praktinio taikymo galimybes (santykinė paklaida iki 1,5 %).

Dirbtinis intelektas, apdorojęs universaliu LCR matuokliu išmatuotą kabelio talpą, laidininkų varžą ir kabelio induktyvumą, sukuria prielaidas atsisakyti brangaus ir sudėtingo kabelio ilgio matavimo taikant tokią specialią ir sudėtingą įrangą kaip vektorinį tinklo

analizatorių kartu su signalo sklaidimo greičio matuokliu. Per 15 s išmokytas dirbtinis neuronų tinklas po 1 s skaičiavimų pateikia kabelio ilgio prognozę.

Pastabos:

1. Matuojant kabelio laidininkų varžą, labai svarbu užtikrinti vienodą viso kabelio temperatūrą.
2. Žinomo ilgio kabelio talpa matuojama nuo 2 m ilgio.
3. Matuojant kabelio talpą, nutolusio kabelio galo laidininkai yra paliekami nesujungti.
4. Žinomo ilgio kabelio varža ir induktyvumas matuojamas nuo 5 m ilgio.
5. Matuojant kabelio induktyvumą ir laidininkų varžą, nutolusio kabelio galo laidininkai yra sujungiami.
6. Kuo didesnė duomenų aibė neuronų tinklui mokytis, tuo tiksliau tinklas apskaičiuos kabelio ilgį.

Literatūra

Abadi, M., Agarwal, A., Barham, P., Brevdo, E., Chen, Z., Citro, et al. (2016). *TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous systems*. arXiv preprint arXiv:1603.04467. <https://arxiv.org/abs/1603.04467>

Agilent Technologies. (2006). *Impedance Measurement Handbook*. (Application Note 346-4, 4th ed.).

Alexander, C. K., & Sadiku, M. N. O. (2017). *Fundamentals of electric circuits* (6th ed.). McGraw-Hill Education.

Callegro, L. (2013). *Electrical impedance: Principles, measurement, and applications*. CRC Press.

Chen, X., et al. (2018). Cable fault location and length measurement using impedance methods. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 67(5), 1021–1028.

Chollet, F. (2018). *Deep Learning with Python*. Manning Publications.

Electrical4U. (2024). *Hay's bridge: A method for measuring self-inductance*. Prieiga per internetą: <https://www.electrical4u.com/hays-bridge>

Griffiths, D. J. (2017). *Introduction to electrodynamics* (4th ed.). Pearson Education.

Hayt, W. H., & Kemmerly, J. E. (2012). *Engineering circuit analysis* (8th ed.). McGraw-Hill Education.

JumaRadio. (2022). *How to find out transmission line velocity factor*. Prieiga per internetą: <https://www.jumaradio.com/How-to-find-out-Transmission-Line-velocity-factor/>

Keithley Instruments. (2020). *Making optimal capacitance and AC impedance measurements with the 4200A-SCS parameter analyzer* (Application Note). Tektronix.

Lee, D., et al. (2011). Signal Propagation-Based Cable Parameter Measurement. *IEEE Access*, 5(3), 315–322.

Lee, H. M., Lee, G. S., Kwon, G.-Y., Bang, S. S., & Shin, Y.-J. (2021). Industrial applications of cable diagnostics and monitoring cables via time–frequency domain reflectometry. *IEEE Sensors Journal*, 21(2), 1082–1091.

Lietkabelis. (2017). *Elektros instaliacijos kabelis, monolitas, plokščias BVV-P 3×1.5 mm²*. Prieiga per internetą: <https://www.elietkabelis.lt/bvv-p-3x15>

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2005). *LST EN 60228+AC: Izoliuotųjų kabelių laidininkai (IEC 60228:2004)*. Lietuvos standartizacijos departamentas.

Lin, Y., & Kuo, C. (2020). Capacitance-based diagnostic methods for power cables under aging conditions. *Electrical Power Systems Research*, 182, 106–112.

Martišius S. (1992). *Regresinės ir koreliacinės analizės metodai*. VU leidykla.

Oliveira, R., et al. (2017). Inductance measurement in complex cable structures. *Measurement*, 109, 77–85.

Paul, C. R. (2008). *Analysis of multiconductor transmission lines*. Wiley.

The Institution of Engineering and Technology (IET). (2018). *BS 7671:2018 – Requirements for electrical installations* (18th ed.). IET.

UNI-T. (2022). *UT612 LCR meter operating manual*. UNI-TREND Technology (China) Co., Ltd. Prieiga per internetą: <https://www.uni-trend.com/manual/UT612.html>

Van Rossum, G., & Drake, F. L., Jr. (2009). *Python 3 Reference Manual*. Scotts Valley, CA: CreateSpace.

Wang, H., & Zhou, Y. (2020). Improved cable length estimation techniques using TDR and impedance analysis. *Measurement*, 152, 107–115.

Zhao, L., et al. (2022). Signal propagation-based cable parameter estimation. *IEEE Access*, 10, 54121–54133.

CABLE LENGTH DETERMINATION USING ELECTRICAL MEASUREMENT METHODS

Andrius Užinskas, Antanas Staponas, Laimutis Krikštaponis, Bronė Mitkienė

Vilniaus kolegija/Higher Education Institution

Summary. This article addresses the problem of determining the length of multi-conductor cables in electrical installations. Inaccurate cable length estimation can lead to economic losses, voltage drops, energy inefficiency, and potential operational risks. The aim of this study is to develop a methodology for estimating cable length using electrical measurement methods. The research investigates the dependence of resistance, capacitance, and inductance on cable length by applying a universal LCR meter within the frequency range of 100 Hz to 100 kHz. Regression models were constructed based on measurements of cables of known lengths, and artificial neural networks were employed to enhance prediction accuracy. The proposed neural network, implemented in Python with the TensorFlow/Keras framework, was trained on datasets from 2 m and 5 m cable samples and validated using 19 m and 49 m cables. Results demonstrated that, after only 15 seconds of training, the network was able to predict cable length within one second with a relative error of up to 1.5%. These findings confirm the practical applicability of the proposed method and suggest that accurate cable length estimation can be achieved using simple electrical measurements instead of expensive and complex equipment such as vector network analyzers. The study highlights potential applications in electrical system maintenance, and smart automation solutions, while also identifying future directions for expanding the methodology to longer cables and diverse operational environments.

Key words: electrical measurements, resistance, capacitance, inductance, cable length, artificial neural network

SUDĖTINIŲ MECHANIKOS TERMINŲ PRIESAGOS *-inis*, *-ė* BŪDvardžiai: VARTOSENOS STUDENTŲ DARBUOSE VARIANTIŠKUMAS

Angelika Petrėtienė¹, Jolita Grašienė²

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

²Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58-1, Vilnius

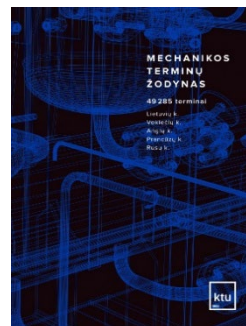
Anotacija. Straipsnyje aptariami sudėtinių mechanikos terminų šalutinių dėmenų (pažyminių) raiškos priešagos *-inis*, *-ė* būdvardžiu ir daiktavardžio kilmininku atvejai. Šio darybos tipo terminų vartosenos VILNIUS TECH ir Vilniaus kolegijos studentų moksliniuose darbuose pavyzdžiai pagrindžia aptariamąsios temos sudėtingumą: neretai suabejojama, kuri šalutinio sudėtinio termino dėmens forma yra teiktina – pasirenkama ne žodynuose fiksuota forma ar tame pačiame tekste vartojami tiek išreikšti priešagos *-inis*, *-ė* būdvardžiu, tiek daiktavardžio kilmininku to paties sudėtinio termino pažyminiai. Taip atsiranda terminų variantų. Tai neatitinka terminams būdingų požymių: pažeidžiami vienareikšmiškumo, tikslumo, sistemiškumo reikalavimai. Straipsnyje pateikiama šios temos terminų pavyzdžių iš knyginių ir internetinių žodynų, aptariamų mechanikos specialybių studentų moksliniuose darbuose pastebimi vartosenos variantai.

Reikšminiai žodžiai: daiktavardžio kilmininku išreikšti pažyminiai, priešagos *-inis*, *-ė* būdvardžiai, sudėtiniai mechanikos terminai, sudėtinių terminų šalutiniai dėmenys (pažyminiai), terminų variantiškumas.

Įvadas

Jau J. Jablonskio darbuose aptinkama tam tikrų būdvardžių, sudarytų su priešaga *-inis*, *-ė*, keitimo daiktavardžio kilmininku pavyzdžių (pvz., *pajaus* (ne *pajinis*) *kapitalas*, *namų* (ne *naminis*) *mokytojas* (Piročkinas, 1986). K. Gaivenis akcentavo, kad „sudarant sudėtinius technikos mokslų terminus iš dviejų žodžių, dažnai esti neaišku, ką geriau pasirinkti: būdvardį su priešaga *-inis*, *-ė* ar daiktavardžio kilmininką (Gaivenis, 1968, p. 31). Anot S. Keinio, „su priešaga *-inis*, *-ė* išvestų būdvardžių veržimasis į mūsų kalbą ir įvairiopa jų plitimas bei vartoseną yra vienas iš svarbiųjų dabartinės bendrinės kalbos teikybės klausimų. Tai labai platus, prieštaringas, keblus, matyt, dėl to neretai ir ginčijamas klausimas“ (Keinys, 1997, p. 16). P. Kniūkštos nuomone, „priesagos *-inis* vediniai – vienas iš dažniausių ir prieštaringiausių lietuvių kalbos reiškinių. Dėl jų praeityje buvo ir dabar atsiranda įvairių neaiškumų ir galvosūkių. Jų kelia pati tos priesagos vedinių gausa ir įvairovė“ (Kniūkšta, 2000, p. 35). R. Miliūnaitė teigia, kad „dažniausios yra pažyminio funkcijas atliekančių raiškos priemonių variacijos. Pavyzdžiui, priesagos *-inis*, *-ė* būdvardžiai paprastai reiškia daikto rūšį ar paskirtį ir eina derinamuoju pažyminiu“ (Miliūnaitė, 2022, p. 287). Siekiant, kad studentai vartotų taisyklingus terminus, išvengtų jų variantų, per specialybės kalbos paskaitas nemaža dėmesio skiriama terminų teikimo šaltiniams. Mechanikos terminų randama spausdintiniuose žodynuose, pvz.: Naruškevičius ir Kumpikas (1996) [SUTŽ], Geleževičius et al. (2009) [ETŽ], Kaulakienė et al. (2014) [AEEGTŽ], Lipskytė et al. (2018) [ARTŽ] ir kt. 2019 m. išleistas ir specialiai mechanikos srities specialistams skirtas žodynas. „Mechanikos terminų žodynas“ (2019) [MTŽ] – tai svari atspirtis šios srities atstovams, siekiantiems vartoti taisyklingus terminus, taip pat atrasti terminus kitomis kalbomis, nes žodyne teikiama beveik 50 000 lietuviškų terminų su jų atitikmenimis vokiečių, anglų, prancūzų ir rusų kalbomis (1 pav.). Patogu naudotis internetiniais terminų žodynais, pvz.:

VLKK Terminų banku, Daugiakalbe Europos Sąjungos terminų baze IATE, Europos žodynu EUROVOC, Europos terminų banku (EUROTERMBANK) ir kt.



1 pav. „Mechanikos terminų žodynas“ – puiki priemonė pasitikslinti taisyklingus mechanikos terminus

Terminų variantai nepainiotini su sinonimais. Lietuvių terminologijoje sinonimai ir variantai vieni nuo kitų skiriami: sinonimais laikomi skirtingi tos pačios sąvokos pavadinimai, taigi skirtingi terminai, o variantais – to paties termino skirtingi pavidalai, taigi skirtinga termino raiška (Vaskelaitė, 2022).

Straipsnio **tikslas** – apžvelgti sudėtinių mechanikos terminų šalutinių dėmenų (pažyminių) raiškos priešagos *-inis*, *-ė* būdvardžiu ir kilmininku išreikštus daiktavardžius atvejus, aptarti studentų darbuose pastebimus šios temos variantus.

Uždaviniai:

1. Aptarti būdingesnius sudėtinių terminų pažyminių raiškos priešagos *-inis*, *-ė* būdvardžiu atvejus, pagrįsti praktiniais mechanikos srities pavyzdžiais.
2. Išnagrinėti šalutinio dėmens (pažyminio) raiškos daiktavardžio kilmininku rekomendacijas, pateikti praktinių mechanikos srities pavyzdžių.
3. Išskirti mechanikos specialybių studentų moksliniuose darbuose pasitaikančius aptariamąsios temos sudėtinių terminų variantus.

1. Sudėtinių terminų pažymins – priesagos *-inis*, *-ė* būdvardis

Remiantis Kniūkšta (1976), Paulauskiene (2004), pateikiama būdingesnių atvejų, kai sudėtiniuose terminuose vartojami priesagos *-inis*, *-ė* būdvardžiai:

1) Medžiagai, iš kurios daiktas padarytas, pvz.: *aliumininis antgalis* (AETŽ, 2010), *deimantinis pjūklas* (MTŽ, 2019), *medinis statramstis* (MTŽ, 2019), *metalinė danga* (AETŽ, 2010), *plastikinis pagrindas* (MTŽ, 2019), *plieninis laidininkas* (MTŽ, 2019). 2) Panašumui į tą daiktą, kuris reiškiamas pamatiniu žodžiu, pvz.: *adatinis guolis* (MTŽ, 2019), *bokštinis kranas* (MTŽ, 2019), *grandininis konvejeris* (MTŽ, 2019), *kūginis gilintuvas* (MTŽ, 2019), *rutulinis guolis* (MTŽ, 2019). 3) Paskirčiai, pvz.: *apsauginė plėvelė* (MTŽ, 2019), *apsauginis gaubtas* (MTŽ, 2019), *buitinis robotas* (ATŽ, 2009), *kontrolinis egzempliorius* (BIK, 2021), *kontrolinė aparatūra* (MTŽ, 2019), *spaustuviniai dažai* (BIK, 2021). 4) Daikto ypatybei pagal vietą, pvz., *antžeminis transportas* (EUROVOC, n.d.). 5) Ypatybei pagal laiką, su kuriuo siejamas daiktas, pvz.: *dieninė pamaina*, *naktinė pamaina* (LKŽ, n.d.). 6) Ypatybei pagal veikimo priemonę, pvz.: *elektrinė krosnis* (MTŽ, 2019), *elektroninis termometras* (MTŽ, 2019), *dujinis pjoviklis* (MTŽ, 2019), *lazerinis pjovimas* (MTŽ, 2019), *plazminis pjovimas* (MTŽ, 2019), *rankinis reguliavimas* (MTŽ, 2019), *vakuuminis džiovimas* (AMTŽ, 2014).

Vienas iš dažniau studentų darbuose pastebimų sudėtinių terminų, kai vietoj pažyminio – priesagos *-inis*, *-ė* būdvardžio vartojamas ir daiktavardžio kilmininku išreikštas šalutinis dėmuo, yra (*dirbtiniai*) *neuroniniai tinklai*, pvz.:

Taip pat svarbu paminėti, jog *dirbtiniai neuroniniai tinklai* yra funkcijos aproksimacijos įrankis, kuris vertina ryšį tarp nepriklausomųjų ir priklausomųjų kintamųjų. Taigi principinis skirtumas tarp DNT ir kitų statistinių metodų yra tas, jog *dirbtiniai neuronų tinklai* nepateikia didelių prielaidų apie statistinių duomenų paskirstymą ar savybes, bet ieško funkcinės priklausomybės netiesiniu būdu.

„Visuotinėje lietuvių enciklopedijoje“ nurodoma: *neuroninis tinklas, dirbtinis neuroninis tinklas – informacijos apdorojimo struktūra, imituojanti kai kuriuos gyvųjų organizmų smegenyse vykstančius informacijos perdavimo procesus. Neuroninis tinklas sudaromas iš daugelio tarpusavyje sujungtų labai paprastų skaičiavimo elementų (dirbtinių neuronų)* (Verikas, n.d.). Terminų banke teikiamas terminas *neuroninis tinklas* (angl. *neural network*). IATE – *neuroninis tinklas*, *sqšūkinis neuroninis tinklas* (angl. *convolutional neural network*), *rekurentinis neuroninis tinklas* (angl. *recurrent neural network*).

Studentų darbuose pasitaiko sudėtinių terminų pažyminių – priešdėlio *be-* ir priesagos *-inis*, *-ė* būdvardžių vedinių, pvz.: *bedimensinis dydis*, *bekontaktinis jutiklis* ir kt. R. Miliūnaitės teigimu, „priesagos *-inis*, *-ė* būdvardžių daryba turi nemažai apribojimų. Vienas iš atvejų – vartosenoje ilgą laiką konkuruojantys norminiai iš prielinksnio *be-* konstrukcijų su daiktavardžiu ir galūne *-is*, *-ė* daromi būdvardžiai (*be vizos* → *bevizis*, *-ė*) ir tą patį priešdėlį turintys nenorminiai priesagos

-inis, *-ė* būdvardžiai (*bevizinis*, *-ė*)“ (Miliūnaitė, 2022, p. 274). Taisytiniai ir sudurtiniai būdvardžių ir priesagos *-inis*, *-ė* vediniai, pvz.: *daugiafunkcinis robotas*, *daugiatarifinis skaitiklis*. Tai taip pat lietuvių kalbos būdvardžių darybos taisyklių neatitiktis atvejais, todėl pateikti pavyzdžiai nelaikytini norminių sudėtinių terminų *daugiafunkcinis robotas*, *daugiatarifinis skaitiklis* variantais. Aptariamųjų darybos tipų pavyzdžių gausu mechanikos terminijoje, pvz.: *bedangė viela*, *bekontaktė spauda*, *belaipsnis reduktorius*, *belankstė arka*, *besiūlis vamzdis*, *bešabotis kūjis*, *bešviniai degalai*, *betriuškėmis kabinimas*; *aukštadažnis įkaitinimas*, *aukštatemperatūris valkšnumas*, *daugiadiskis pjūklas*, *daugiafazis variklis*, *daugiakamerė krosnis*, *daugiasluoksni danga*, *daugiasluoksni diskas*, *daugiasuklė galvutė*, *daugiasuklės staklės*, *didžiaslėgė turbina*, *dvikamerė krosnis*, *dvikampė freza*, *dvikryptė pavara*, *dvipakopis filtravimas*, *dvipakopis keltuvas*, *dvipusis oblius*, *kietamagnetis feritas*, *mažaslėgis švirkštas*, *plonalakštės žirklys*, *smulkiadantė freza*, *vienašmenis įrankis*, *vienpakopis filtravimas* (MTŽ, 2019) ir kt.

2. Šalutinio dėmens (pažyminio) raiška daiktavardžio kilmininku

Būdingesni sudėtinių terminų pažyminio raiškos kilmininku atvejai:

1. Jeigu sudėtinio termino pažymins nurodo visumą (atskirą mašiną arba prietaisą), o pažymimasis žodis jos dalį (detalę), tai šalutinis (pirmasis) tokio termino dėmuo paprastai yra reiškiamas vadinamuoju visumos ir dalies santykio kilmininku (Gaivenis, 1968), pvz.: *dalys*, *priklausančios automobilui*, – *automobilio* (ne *automobilinės*) *dalys* (dar plg. *laivo dalys*, *orlaivio dalys*, *traktoriaus dalys*, *traukinio dalys*); *dalys*, *priklausančios korpusui*, – *korpuso* (ne *korpusinės*) *dalys*; *dalys*, *priklausančios kompiuteriui*, – *kompiuterio* (ne *kompiuterinės*) *dalys*; *dalys*, *priklausančios varikliui*, – *variklio* (ne *variklinės*) *dalys* (pvz.: *variklio* (ne *variklinis*) *cilindras*, *variklio* (ne *variklinis*) *stūmoklis*, *variklio* (ne *variklinis*) *stabdys*); *įranga*, *priklausanti staklėms*, – *staklių* (ne *staklinė*) *įranga*.

Tačiau jeigu sudėtinio termino pažymins rodo ne visumos dalį, o labiau rūšinę, išskiriamąją ypatybę, vartojami priesagos *-inis*, *-ė* vediniai, pvz.: *kompiuterio įranga* (angl. *computer equipment*, EUROVOC) ir *kompiuterinė įranga* (kompiuterinė sistema, apimanti mechanines ir elektronines kompiuterių dalis (AIVTŽ, 2000); *aparatinė įranga* (angl. *hardware*, kompiuterių technikos fizinių priemonių visuma, t. y. mechaniniai, magnetiniai, elektriniai, elektroniniai įrenginiai ir įtaisai (AEETŽ, 2014), o kilmininku reiškiamas pažymins žymi konkretaus daikto įrangą, pvz.: *kasos aparato įranga*, *kvėpavimo aparato įranga*, *suvirinimo aparato įranga*.

Spartėjanti robotizacija lemia sudėtinių terminų, kurių šalutiniais dėmenimis eina kilmininku išreikštas daiktavardis *roboto* (*-ų*) ar priesagos *-inis*, *-ė* būdvardis *robotinis*, *-ė*, dažnesnį vartojimą. Žodynuose teikiama: *roboto sandara* (ATŽ, 2009), *robotų parkas* (MTŽ, 2019), *robotų technika* (MTŽ, 2019); *robotinis protezas* (IATE, n.d.); *robotinė techninė sistema*

(MTŽ, 2019), *robotinė tikrinimo sistema* (MTŽ, 2019), *tinklaveikė robotinė sistema* (IATE, n.d.) ir kt.

Studentų darbuose pastebimas sudėtinių terminų *roboto ranka* ir *robotinė ranka* vartosenos variantiškumas, pvz.:

Toliau paveiksle pavaizduota roboto ranka su sumontuota ant jos kamera. Kamera nustato, kur suvirinimo vonioje kyla problemų. Užfiksuotas įėjimo signalas įtraukiamas į sistemą, pagrįstą „Intel Edge AI“ procesoriais. Šis sprendimas, kuris yra sukurtas naudojant kompiuterinę viziją pagrįstą DI (dirbtinio intelekto) išvadų variklį, aptinka suvirinimo defektus ir siunčia nurodymus nedelsiant pristabdyti robotinę ranką, kad būtų galima laiku imtis problemos pašalinimo veiksmų.

Žodynuose teikiami sudėtiniai terminai, kurių pažyminiai išreikšti daiktavardžio kilmininku: *roboto ranka* (ATŽ, 2009); *roboto ranka*, *roboto manipulatoriaus ranka*, *prie neįgalųjų vežimėlio tvirtinama roboto ranka*, *roboto ranka neįgalųjų vežimėliui* (ETB, n.d.). Toliau pateikiama sudėtinio termino *roboto ranka* vartosenos mokslinėje literatūroje pavyzdžių:

Chirurginis robotas yra mechaninis įrenginys, atrodantis kaip roboto ranka, kurią kontroliuoja kompiuteris (Samalavičius, n.d.). Tokia sistema taip pat gali būti naudojama valdant roboto ranką. Šiuo atveju vartotojas roboto rankos valdikliui parodo, kokio objekto jis nori, ir roboto ranka šį objektą paima (Gelšvartas, 2019).

2. Nederinamojo pažyminio kilmininku pasakoma, iš kur yra kilęs ar koks yra pažymimasis daiktas. Terminologijoje jį būtų galima vadinti rūšinės priklausomybės kilmininku (Gaivenis, 1964). P. Kniūkšta pabrėžia, kad „kilmininkas pirmiausia reiškia tikrą tiesioginį priklausymą, priesagos -inis būdvardžiai netiesioginę priklausomybę – buvusį, bet nebeegzistuojantį ar nusilpusį priklausymą tam tikrai daiktų rūšiai, t. y. ne patį priklausymą, o iš jo kilusią ypatybę“ (Kniūkšta, 2000, p. 36), pvz.: *atmosferos sąlygos* (EUROVOC, n.d.); *diagnostikos priemonės* (STŽ, 2002), *diagnostikos technika* (STŽ, 2002); *elektros sistema* (AETŽ, 2010), *elektros lankas* (AETŽ, 2010), *elektros variklis* (MTŽ, 2019); *metalurgijos pramonė* (MTŽ, 2019) (dar plg. *aprangos pramonė*, *baldų pramonė*, *celiuliozės pramonė*, *elektrotechnikos pramonė* (TB, n.d.); *navigacijos sistema* (ATŽ, 2009) (dar plg. *navigacijos įrenginiai*, *navigacijos įtaisai* (TB, n.d.); *plazmos dujos* (LST, 2004) (dar plg. *plazmos slėgis*, *plazmos spinduliuotė* (TB, n.d.); *prekės ženklas* (MTŽ, 2019); *temperatūros jutiklis* (MTŽ, 2019) (dar plg. *temperatūros keitiklis*, *temperatūros matuoklis*, *temperatūros reguliatorius* (TB, n.d.)).

Iš studentų darbuose randamų variantų minėtini sudėtiniai terminai *elektros lankas* ir *elektrinis lankas*; *elektros variklis* ir *elektrinis variklis*:

Dujos turi būti tiekiamos palei elektrodo ašį dengdamos jį ir nukreiptos pro purkštuko vidinę angą, kuri sukuria elektros lanko kreipimą. Aukštas dujų slėgis irgi gali prisidėti prie elektrinio lanko kreipimo reikiama linkme.

Elektros varikliai – kintamosios srovės, trifaziai, asinchroniniai. Elektrinių variklių valdymas šiuolaikinėse konstrukcijose realizuojamas puslaidininkiniais dažnio ir įtampos keitikliais.

Vis labiau populiarėjant internetui ir plečiantis jo panaudojimo sferoms, daugėja sudėtinių terminų, sudarytų su daiktavardžio kilmininko *interneto* ar būdvardžio *internetinis*, -ė pažyminiais, pvz.: *interneto kavinė* (EKŽ, 2024), *interneto portalas* (BIK, 2021), *interneto robotas* (BIK, 2021), *interneto svetainė* (ARTŽ, 2018), *interneto tinklalapis* (KB, n.d.); *internetinis failas* (BIK, 2021), *internetinis seminaras* (BIK, 2021), *internetinis žinynas* (EKŽ, 2024), *internetinis žurnalas* (BIK, 2021); *internetinė apklausa* (BIK, 2021), *internetinė knyga* (BIK, 2021), *internetinė parduotuvė* (IATE, n.d.), *internetinė paslauga* (IATE, n.d.), *internetinė vaistinė* (IATE, n.d.).

Studentų darbuose pastebimi variantai: *interneto robotas* ir *internetinis robotas*, *interneto svetainė* ir *internetinė svetainė*, *interneto tinklalapis* ir *internetinis tinklalapis*. EKŽ (2024) nurodoma: *interneto robotas* – programa, imituojanti įprastine naršykle dirbantį žmogų ir kaupianti informaciją apie tinklalapius. Konsultacijų banke (n.d.) teikiama: *interneto puslapis* (jis priklauso internetui, yra interneto dalis), *interneto tinklalapis*.

3. Daiktavardžio kilmininku žymima tam tikro prietaiso, reiškinių, dėsnių ir pan. išradėjo ar atradėjo pavardė (Gaivenis, 1964), pvz.: *Džaulio dėsnis*, *Furjė eilutė*, *Gauso kreivė*, *Gauso skirstinys*, *Hamiltono funkcija*, *Huko dėsnis*, *Jungo modulis*, *Kelvino laipsnis*, *Koriolio jėga*, *Koriolio pagreitis*, *Niutono dėsnis*, *Niutono dinamika*, *Lagranžo funkcija*, *Lagranžo daugiklis*, *Laplaso formulė*, *Puasono koeficientas*, *Puasono lygtis*, *Rokvelio kietis*, *Vikerso kietis* (TB, n.d.).

Nagrinėjant sudėtinių terminų, kurių vienas dėmenų – tikrinis daiktavardis – vartoseną variantiškumo aspektu, atkreiptinas dėmesys, kad į sudėtinius terminus įeinantys asmenvardžiai rašomi iš didžiosios raidės, o kitų kalbų – paprastai transkribuojami (Vladarskienė ir Zemlevičiūtė, 2022). Studentų darbuose pasitaiko aptariamojo šalutinio dėmens raiškos originalia ir transkribuota forma atvejų, pvz., *Fourier analizė* ir *Furjė analizė*; *Rockwellio metodas* ir *Rokvelio metodas*. Remiantis prieš tai minėtu šaltiniu, pirmenybė teiktina antrajam variantui. Retesni atvejai, kai vietoj tikrinio daiktavardžio vartojami priesagos -inis, -ė būdvardžiai, pvz.: *gausinis* (=Gauso) skirstinys, *puasoninis* (=Puasono) procesas.

Išvados

1. Mechanikos terminijoje vartojama daug ir įvairios reikšmės sudėtinių terminų priesagos -inis, -ė būdvardžių pažyminių: medžiagai, iš kurios daiktas padarytas, pvz., *aliumininis antgalis*; panašumui į tą daiktą, kuris reiškiamas pamatinio žodžio, pvz., *grandininis konvejeris*; paskirčiai, pvz., *buitinis robotas*; daikto ypatybei pagal vietą, pvz., *antžeminis transportas*; ypatybei pagal laiką, su kuriuo siejamas daiktas, pvz., *dieninė pamaina*; ypatybei pagal veikimo priemonę, pvz., *lazerinis pjovimas*.
2. Būdingesni sudėtinių mechanikos terminų šalutinių dėmenų raiškos daiktavardžio kilmininku atvejai: jeigu sudėtinio termino pažymins nurodo atskirą mašiną arba

- prietaisą, o pažymimasis žodis jos dalį (detalę), tai šalutinis (pirmasis) tokio termino dėmuo paprastai yra reiškiamas kilmininko linksniu, pvz., *staklių* (ne *staklinė*) *įranga*. Nemažai raiškos vadinamojo rūšinės priklausomybės kilmininku atvejų, pvz., *diagnostikos* (ne *diagnostinė*) technika. Gausu sudėtinių terminų, kai kilmininku žymima tam tikro prietaiso, reiškinio, dėsno ir pan. išradėjo ar atradėjo pavardė, pvz., *Vikerso kietis*.
3. Moksliniuose studentų darbuose pastebimi variantai rodo, kad vietoj pažyminio, išreikšto priesagos *-inis*, *-ė* būdvardžiu, vartojamas ir daiktavardžio kilmininku išreikštas pažyminis, arba atvirkščiai, pvz., *neuroninis tinklas* ir *neuronų tinklas*; *elektros lankas* ir *elektrinis lankas*, *elektros variklis* ir *elektrinis variklis*, *interneto robotas* ir *internetinis robotas*, *interneto svetainė* ir *internetinė svetainė*, *interneto tinklalapis* ir *internetinis tinklalapis*, *roboto ranka* ir *robotinė ranka*. Pasitaiko šalutinio dėmens raiškos originalia ir transkribuota forma atvejų, pvz., *Rockwellio metodas* ir *Rokvelio metodas*. Retai vietoj tikrinio daiktavardžio vartojami priesagos *-inis*, *-ė* būdvardžiai, pvz., *gausinis skirstinys*. Tokie sudėtiniai terminai, kaip *bekontaktis jutiklis* ir *bekontaktinis jutiklis*, *daugiafunkcis robotas* ir *daugiafunkcinis robotas* nelaikytini variantais. Pažyminiai *bekontaktinis*, *daugiafunkcinis* sudaryti pažeidžiant lietuvių kalbos būdvardžių darybos taisykles.

Santrumpos

- AEEGTŽ – Kaulakienė, A., Matukas, J., Palenskis, V., Valiukėnas, V. J. ir Žilinskas, P. J. (2014). *Aiškinamasis elektrotechnikos ir elektronikos gaminių terminų žodynas*. Mokslo ir enciklopedijų leidybos centras.
- AETŽ – Žebrauskas, S., Januševičius, V., Marcinkevičius, S., Mukulyš, J. R., Navickas, A. S., Smilgevičius, A., Stonys, J. J. ir Virbalis, J. A. (2010). *Aiškinamasis elektrotechnikos terminų žodynas*. Technologija.
- AJVTŽ – Martinkus, B., Neverauskas, B., Sakalas, A., Venskus, R. ir Žilinskas, V. (2000). *Aiškinamasis įmonės vadybos terminų žodynas*. Technologija.
- AMTŽ – Papreckis, B. (2014). *Aiškinamasis medienos terminų žodynas*. Technologija.
- ARTŽ – Lipskytė, T., Matkevičienė, R., Barkauskaitė, O., Vaičiūnaitė, G. ir Norvaišienė, B. (2018). *Aiškinamasis ryšių su visuomene terminų žodynas*. Lietuvos komunikacijos asociacija.
- ATŽ – Geleževičius, V. A., Kaulakienė, A., Marcinkevičius, S., Pocius, R., Poška, A. J., Rinkevičienė, R., Savickienė, Z. ir Slivinskas, K. (2009). *Automatikos terminų žodynas*. Technika.
- BIK – Bliūdžiuvienė, N. ir Valiukėnas, V. J. (2021). *Bibliotekininkystės, informacijos ir knygotyros (BIK) lietuvių–anglų kalbų terminų žodynas*. Metodologijos paskyra.
- EKŽ – Dagienė, V., Grigas, G. ir Jevsikova, T. (2024). *Enciklopedinis kompiuterijos žodynas*. Matematikos ir informatikos institutas. <http://www.ims.mii.lt/EK%C5%BD/>
- EUROVOC – Lietuvos Respublikos Seimas. (n.d). *Europos žodynas*. <https://www3.lrs.lt/pls/ev/ev.main>
- IATE – Daugiakalbė Europos Sąjungos terminų bazė [Interactive Terminology for Europe]. <https://iate.europa.eu/home>

- KB – Valstybinė lietuvių kalbos komisija [VLKK] (n.d.). *Konsultacijų bankas* [KB]. <https://www.vlkk.lt/konsultacijos>
- LKŽ – *Lietuvių kalbos žodynas* (n.d.). <https://ekalba.lt>
- LST – LST EN 1792:2004 Suvirinimas. Daugiakalbis suvirinimo ir panašių procesų terminų sąrašas.
- MTŽ – Žiliukas, A., Bražiūnas, A. J., Kondratas, A., Kuliavas, L., Mockaitis, J., Markšaitis, D., Ostaševičius, V., Palionis, A., Toločka, R. T. ir Žiliukas, P. (2019). *Mechanikos terminų žodynas*. Technologija.
- STŽ – Stonkus, S. (2002). *Sporto terminų žodynas*. Lietuvos kūno kultūros akademija.
- SUTŽ – Naruškevičius, J. ir Kumpikas, L. (1996). *Mašinų gamybos technologijos ir suvirinimo terminų rusų–lietuvių kalbų žodynas*. Mokslo aidai.
- TB – Lietuvos Respublikos terminų bankas. (n.d.). <https://terminai.vlkk.lt/>

Literatūra

- Gaivenis, K. (1964). Būdingesnieji 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.
- Gelšvartas, J. (2019). *Daugiafunkcės vartotojo sąsajos paralyžuotiesiems kūrimas ir tyrimai* [Daktaro disertacija, Kauno technologijos universitetas]. Lietuvos akademinė elektroninė biblioteka. <https://epubl.ktu.edu/object/elaba:40494643/>
- Keinys, S. (1997). Skvarbioji būdvardžių priesaga *-inis*, *-ė*. *Terminologija*, 4, 11–14.
- Kniūkšta, P. (1976). *Priesagos -inis būdvardžiai*. Mokslas.
- Kniūkšta, P. (2000). Iš priesagos *-inis* būdvardžių praeities ir dabarties. *Kalbos kultūra*, 73, 35–47. <https://etalpykla.lituanistika.lt/object/LT-LDB-0001:J.04~2000>
- Miliūnaitė, R. (2022). *Įvairuojantys ir nauji lietuvių kalbos reiškiniai XXI a. pradžioje: sistematika ir pokyčių kryptys*. Lietuvių kalbos institutas.
- Paulauskienė, A. (2004). *Lietuvių kalbos kultūra*. Technologija.
- Petrėtienė, A. (2024). *Mechanikos inžinerijos specialybės kalba: vartoseną ir normų atitiktis*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. <https://ebooks.vilniustech.lt/product/mechanikos-in%C5%BEinerijos-specialyb%C4%97s-kalba-vartosena-ir-norm%C5%B3-atitiktis>
- Piročkinas, A. (1986). *Jono Jablonskio kalbos taisymsai*. Šviesa.
- Samalavičius, N. E. (n.d.). Visuotinė lietuvių enciklopedija. *Robotų chirurgija*. <https://www.vle.lt/straipsnis/robotu-chirurgija/>
- Vaskelaitė, R. (2022). *Makroekonomikos terminija: sinonimijos priežastys* [mokslo studija]. Lietuvių kalbos instituto leidykla. <https://doi.org/10.35321/e-pub.46.makroekonomikos-terminija>
- Verikas, A. (n.d.). Visuotinė lietuvių enciklopedija. *Neuroninis tinklas*. <https://www.vle.lt/straipsnis/neuroninis-tinklas/>
- Vladarskienė, R. ir Zemlevičiūtė, P. (2022). *Lietuvių kalbos rašyba. Taisyklės, komentarai, patarimai*. Lietuvių kalbos instituto leidykla.

**VARIATION IN THE USE OF ADJECTIVES
FORMED WITH SUFFIXES -INIS, -È IN
COMPOUND MECHANICAL ENGINEERING
TERMS: EVIDENCE FROM STUDENT
RESEARCH PAPERS**

**Angelika Petrétienė¹, Jolita
Grašienė²**

¹Vilnius Gediminas Technical University

²Vilniaus kolegija / Higher Education Institution

Summary. This article examines the expression of attributive components (modifiers) in compound mechanical engineering terms, focusing on the use of adjectives formed with suffixes *-inis* (masculine) and *-inė* (feminine) and nouns in the genitive case. Examples drawn from student research papers at Vilnius Gediminas Technical University and Vilniaus kolegija / Higher Education Institution illustrate the complexity of this issue. Questions frequently

arise as to which form of the attributive component is appropriate in a given compound term: sometimes forms not attested in dictionaries are used, and in some cases, both suffix-derived adjectives and genitive noun forms appear in the same text as attributes of the same compound term. This leads to terminological variants, which undermine key principles of terminology, such as unambiguity, precision and systematicity. The article presents examples from printed and online dictionaries and analyzes the usage patterns found in academic papers written by students in the field of mechanical engineering.

Keywords: attributive modifiers expressed in the genitive case nouns, adjectives formed with the suffixes *-inis* and *-inė*, compound mechanical engineering terms, attributive components of compound terms, terminological variation.

LEANER, GREENER, FASTER: AI-DRIVEN INTERNAL LOGISTICS FOR A GREENER, MORE EFFICIENT FUTURE

Sofiya, Dmitriyeva ¹, Ondřej, Vaňásek ¹, Sebastian Novak ², Achraf Hedar ², Gernot Tranninger ³

¹*Brno University of Technology, Antonínská 548/1, 601 90, Brno-střed Czech Republic*

²*University of Lille, Av. Paul Langevin, 59653, Villeneuve-d'Ascq France*

³*FH JOANNEUM, Werk-VI-Straße 46, 8605, Kapfenberg Austria*

Abstract. The purpose of this exploratory study is to investigate opportunities, concrete examples, and challenges of applying Artificial Intelligence (AI) to manufacturing. AI can help optimize sustainability, time, and financial efficiency using internal data from business operations. The case study uses language models—such as ChatGPT—applied to a digital factory model along with a list of potential process improvements. These AI-generated solutions are compared to traditional optimization methods. A SWOT analysis and literature review add a business-oriented perspective by evaluating strengths and weaknesses. AI's efficiency is expected to be at least comparable to conventional methods, considering its ease of use, speed, and potential for improving factory performance. However, it requires significant human supervision, as its recommendations can be unreliable and may not align with a factory's specific operational principles. Overall, the research assesses how AI and digital twins can improve production flows in simulated environments and provides valuable insights for future research.

Key words: artificial intelligence, manufacturing, process optimization, digital twin, predictive maintenance, sustainability, operational efficiency.

Introduction

With the rise of Artificial Intelligence, a great number of industries have been implementing AI in their systems in the pursuit of efficiency, quality and overall performance. For example, in the agriculture sector AI applications have boosted crop yields by 20-30%. In the education sector chatbots have been created for student support, offering guidance on multiple inquiries reported by multiple students (Adib Bin Rashid, 2024). Many industries require clean and efficient workflow for maximum productivity, as the demand for products (clothing and beverages to name a few) and services keep growing (Flora, 2025), and delays or problems in the workflow can produce disastrous results, hindering a company's growth and reputation. In Manufacturing AI is improving processes, optimizing workflow for maximum performance by practicing smart production planning, control and even maintenance optimization, creating a production chain that is sustainable and efficient (Powell, 2024). Traditionally, the manufacturing industry relied on conventional quality control mechanisms and static process optimization whose performance was suboptimal, leading to inefficiencies, disruptions and inadequate output. The rise of AI technology and its diverse tools such as machine learning present a golden opportunity to upgrade to a more efficient and reliable approach. (Li B, 2017). While AI seems like the perfect solution to the matter of efficiency in many fields, it does not come without its limitations, being a tool that is still in development, namely reliability and bias. Evaluating the reliability of AI is a challenging task, since the systems may display distinct behaviors based on input understanding. Also, since AI is created by humans, it comes with human prejudices, operating with bias, making decisions that might not be optimal for the problem at hand. (Mohammad Alawamleh, 2024)

The purpose of the study is to discover opportunities, concrete examples and possible problems of AI application to engineering, including decision-making. There is a possibility to optimize processes in the fields of sustainability, time and finances. All of the mentioned fields can be improved without the need for human input, providing solutions to problems and organizing processes faster and more efficiently than traditional methods. The aim is to optimize the workflow (economically, materially and human-wise) with less effort, creating an organization that maximizes results and is sustainable in the long term. In presenting this research, the authors present a global review of AI's advancements in the manufacturing sphere, literature review and experimental results. With the help of diverse sources, this paper seeks to provide a comprehensive understanding of the practical implications of AI in manufacturing and its benefits as well as its inconveniences. The case study involves using general AI models -such as ChatGPT- with data from a digital factory model and a list of possible modifications to optimize processes. The AI-driven solutions will be applied, and their effectiveness will be compared to the traditional methods of process optimization. To ensure a holistic evaluation, this technical analysis is completed by a SWOT analysis and literature review. With this instrument, the authors add a business-oriented perspective and examine the respective strengths and weaknesses.

1. Artificial intelligence

Artificial Intelligence is now a very well-known tool in today's technology. With AI chatbots such as ChatGPT with 400 million weekly active users worldwide (Backlinko, 2025) or "Le Chat" from Mistral that are easily accessible to the public, AI has become a very widely used tool for various operations such as easier Web search or even digital personal assistants (European Parliament, 2020). But one should wonder what is AI? Where

did AI come from, what are its origins, why is it important? “AI is the ability of a machine to display human-like capabilities such as reasoning, learning, planning and creativity.” (European Parliament, 2020). Applications and devices equipped with AI can behave similarly to how a human would do. They can see and identify objects, understand and respond to human language, learn new information and experience. They can make detailed recommendations to users and experts. (Cole Stryker, 2024) Its origins come from the 1950s, with the Turing test devised by Alan Turing that argued the plausibility of a “thinking machine”. Shortly after, the term “artificial intelligence” was introduced by the computer scientist John McCarthy at the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence (DSRPAI) in 1956. (Robert X. Gao, 2024).

1.2 Generative AI

Generative AI, sometimes called “gen AI”, it refers to deep learning models that are able to conceive complex original content such as text, high-quality images, realistic audio, video and many other things in response to a user’s request (more often called a prompt). It operates in three phases: Training, Tuning and Generation. (Cole Stryker, 2024). The training phase is the first step. “Gen AI begins with a foundation model, a deep learning model that serves as the basis for multiple different types of generative AI applications”. (Cole Stryker, 2024). To create one, practitioners train a deep learning algorithm on tremendous volumes of data, such as text, images or videos from the internet. The training results in “a neural network of billions of parameters, encoded representations of the entities, patterns, and relationships in the data, that can generate content autonomously in response to prompts.” (Cole Stryker, 2024). It is a very time-consuming and expensive training process. The next step is tuning. The model is being tuned to a specific task. It can be done in multiple ways such as fine-tuning, where the model is given “application-specific-labeled-data, questions or prompts the application is likely to receive, and corresponding correct answers in the wanted format”. (Cole Stryker, 2024). The last step of a gen AI is generation, where developers and users assess the outputs of their applications, and further tune the model. (Cole Stryker, 2024). By using the AI model, giving it prompts, it improves continuously.

All these technological advancements bring us to the AI’s that are very known today. ChatGPT itself is a generative AI. Its foundation model is the Large Language Model (LLM), a model trained on immense amounts of data making them capable of understanding and generating natural language and other types of content to perform a wide range of tasks. (IBM, 2023).

1.3 How can AI be of assistance

With such a diverse range of tools, AI can be of great assistance, automatizing tasks and assisting humans in their everyday work, making their workload much lighter. Moreover, with the help of gen AI, everyone could potentially devise solutions for their problems. For example, a company encounters different

problems very often. In order to resolve these problems, it makes use of a team and frequent meetings. This team can sometimes be inefficient and unreliable for diverse reasons such as disagreements and burnouts. AI, in its current form, can devise solutions with possibly much higher reliability, not retaining any problems that a person might have.

2. Lean management

Lean Management is a work organization method inspired by Toyota’s production system aimed at improving a company’s performance, and more specifically, the quality and profitability of its output. Formalized by American researchers at the Massachusetts Institute of Technology (MIT), Lean Management is an English expression with a significant key word. “Lean”, in effect, means “no frills”. This echoes the idea of reducing something to the essential, of removing the unnecessary, which forms the basis of this method. (Huser, 2024). “Lean Management optimizes processes by reducing time spent on non-value-added tasks (unnecessary operations or transport, waiting, overproduction, etc.), causes of poor quality and complications. Ultimately, there are two main objectives: Complete customer satisfaction and the success of each employee.” (Huser, 2024). It uses 5 main principles, accompanied by diverse tools allowing a rather large room for finding a company’s own way of Lean Management.

The principles are as follows (Huser, 2024):

- Identify value: Identifying what the client wants out of your product to add more value to it and know how to create it
- Map the value chain: Mapping your whole business workflow to know every step of your product creation from its conception to its delivery. Every person, every process documented to identify what is useful and adds value and what is not.
- Create a continuous workflow: Creating a workflow/environment that does not have unnecessary actions. Ensuring that the team works in harmony and adapting for the best team performance
- Create a traction system: Do only what is demanded. Not more, not less. Example: At a restaurant, when you order one serving of ramen the cook will not make 5 servings, only 1. He will do only what is asked of him
- Continuous improvement: Always improve, always get better. It will not be perfect from the start, but it can get better.

With the help of AI, the Lean methodology can be made easier, because it can gather data more quickly than a human being, and it can analyze it faster. An example of this would be the first two steps of Lean Management, where it is required to identify the value of a company’s product and map the value chain. AI can identify the value of the product by comparing the data of the company to other sources from its “library” and allow that company to have its whole value chain mapped faster than when made by a human. AI can also propose different solutions to improve a company’s workflow which can be helpful since conventionally, a company will make use of a process-improvement team to brainstorm for ways to improve its productivity, whereas AI systems are better at identifying the

best course of action based on the data it gets from that company, making the task much easier and less exhausting for the company (Mathias Holweg, 2023).

3. Possible AI Contribution for Greener Manufacturing

AI's biggest strength is its ability to analyze large amounts of data and make smart decisions based on that data. In a factory, for instance, AI can monitor how machines are working in real time and spot when something is off. Maybe a motor is using more energy than usual, or a process is taking longer than it should. AI can flag these problems and suggest adjustments, often before a human would notice. That kind of optimization helps save energy, reduce waste, and keep things running smoothly. Another powerful use of AI is predictive maintenance. Normally, machines are repaired when they break, or at regular intervals just in case. With AI, sensors can constantly track how machines are behaving and predict when something is about to go wrong. This means parts get replaced only when necessary so not too early, not too late; which avoids unnecessary waste and costly breakdowns. AI also helps with managing resources more efficiently, by optimizing energy consumption, material use, and production scheduling — as shown by companies like Siemens, which use AI to reduce material waste and energy use in real time (Siemens, 2020). For example, it can analyze supply chain data to make sure materials arrive just when they're needed (Just-In-Time which is typical for TOYOTA), without overstocking or running out.

It can help design products in a smarter way, using algorithms that suggest lighter, more efficient designs that use fewer materials. There's also the concept of digital twins, virtual versions of physical systems that AI can use to simulate changes and test new ideas before they're applied in real life. This allows engineers to try things out, spot risks, and improve processes without wasting time, materials, or energy in the real world. And when AI is combined with lean manufacturing methods, the impact can be even greater. While lean focuses on removing waste and improving flow, AI brings in speed, accuracy, and the ability to learn and adapt in real time. It's like giving superpowers to traditional improvement methods. So, while AI alone won't solve all sustainability challenges, it's a valuable tool. When it's used the right way, it can help factories become not just more efficient, but also more responsible toward the environment, their employees, and their customers. For instance, 'Unilever' has implemented AI systems to optimize production, anticipate customer demand, and improve working conditions through ergonomic design (PwC, 2020; Unilever, 2023).

4. Economic perspective and internal analysis

In this paper, two SWOT analyses and a technology portfolio matrix are created to examine the different aspects of AI in simulated and real production processes. The term SWOT is an acronym and stands for the four areas of analysis: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats. This analytical tool can

be used to systematically record and evaluate both internal factors and external influencing variables that influence a project, a business idea, a transformatory step in a company or an investment. Hence, the aim of a SWOT analysis is to make a well-founded strategic decision and derive recommendations for action. The SWOT analysis helps to visualize complex interrelationships and supports strategic planning. The weaknesses of the SWOT analysis itself must also be mentioned. It is only a snapshot and can take dynamic developments of new technologies or markets into account to a limited extent. There is also a risk that a SWOT analysis is not sufficiently linked to the overall strategy development of a company. A further disadvantage is described as follows: "SWOT Analysis is an analysis technique that has a problem in terms of quality and quantity. In applying SWOT Analysis, many factors can be identified. However, quantity does not mean quality. It is not possible to determine the priorities of the factors identified in SWOT Analysis, focus on them in detail, solve the developments and conflicts in different dimensions, and include views and suggestions based on different data and analyses." (Gürel, 2017). Despite these disadvantages, the SWOT Analysis is a proven and widely used tool for exploration not only in the economic environment. "SWOT analysis has become an important instrument for strategic planning and decision making, particularly in conditions of uncertainty and change." (Rozmi, 2018) As in (DreamHost, 2025) explained: "Having a clear objective for the analysis guides the process and helps you identify success metrics." This supports the structured evaluation of SWOT elements. Firstly, the object to be analyzed must be precisely defined, in our case this is a given process. It is essential to narrow it down as precisely as possible, as this determines the perspective of the analysis. In the second step, all relevant data must be collected. This involves collecting internal data such as the performance and weaknesses of the object being analyzed. At the same time, external data such as market analyses, trend observations or political and economic environment analyses are collected and processed. The collected data is then categorized into the four SWOT categories Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats and evaluated by an interdisciplinary team to integrate different perspectives and ensure the most objective assessment possible.

It should be noted that in the first SWOT analysis, in which the object of investigation is the internal process, only internal data was collected and there are no external factors taken into consideration. This is different in the second SWOT analysis as external factors are also considered here.

4.1 SWOT Analysis: Internal Process

The first SWOT analysis of the internal optimization process was carried out as part of this study. Both traditional and AI-based suggestions for improvement were tested within a simulated production process. The simulation environment is based on Lanner's Witness software, which enables a detailed simulation of the ACME Valve Manufacturing Company. The aim was to achieve targeted improvements in terms of

throughput, resource utilization and efficiency. The AI made optimization proposals based on the available simulation data and budgetary framework conditions. These were simulated and analyzed in direct comparison to human decision-making. The following SWOT analysis relates exclusively to the internal use and implementation in the simulation environment and provides initial insights about possible benefits and limitations of human and AI-supported decision-making processes

1 Table. SWOT Analysis of the Internal Process

Strengths	Weaknesses
Reproducible and objective testing environment	limited real-world fidelity
control over variables	high initial effort for accurate modelling
direct comparability of scenarios	risk of model overfitting to ideal conditions
Quick testing of scenarios	limited perspective by the investigation team
Opportunities	Threats
Discovery of innovative process ideas through AI	Dependence on model quality and accuracy
Foundation for implementing digital twins in real-world production settings	Risk of overestimating AI recommendations without human context
	Technological or regulatory obstacles in real-world deployment

Source: Authors' own work

The SWOT analysis carried out on the internal test and simulation process shows the reproducibility and rapid feasibility of new processes as a particular advantage. This allows comparisons of human and AI-generated suggestions for improvement to be carried out quickly and without risk. Clear weaknesses are also highlighted. The inadequate direct implementation under real operating conditions and the dependence on the model quality have a particular impact here. As (Mehrabi, 2021) note: "Bias can arise from various sources, including data collection, algorithm design, and human interpretation...". This highlights the need for a cautious and critical evaluation of AI outcomes even in controlled simulations. Therefore, the analysis must emphasise the importance of a considered approach to AI solutions, even in pure simulation environments, even if they represent a valuable tool for identifying efficiency potential. The interplay of data-based models and practice-oriented evaluation creates the basis for every optimisation process.

4.2 SWOT Analysis: Holistic View

The second SWOT analysis provides a holistic view of the implementation of AI in production processes. As (West, 2018) states, AI has the potential to increase productivity and promote economic growth. In a recent study, (Brynjolfsson, 2023) found that AI support increases productivity by 15 % on average. But there are also many challenges that need to be addressed. This SWOT analysis is therefore based on a holistic view that takes not only economic and technological aspects, but also ethical

aspects into account. "The use of AI must also be critically analyzed from an ethical perspective - particularly regarding transparency, data protection and autonomy. AI systems must be designed and deployed in ways that respect human dignity, autonomy, and rights" (Jobin, 2019). In addition, the ecological dimension cannot be ignored. On the one hand, AI consumes considerable amounts of energy. "Training a single model uses more electricity than 100 US homes consume in an entire year" (Agency, 2023). On the other hand, optimization through AI also offers opportunities to reduce energy consumption, e.g. through optimized production control, more precise demand forecasts and predictive maintenance. "At the same time, 'AI can potentially deliver energy savings of up to 20% in buildings and 15% in transportation systems.'" (Gexa, 2025). These arguments can only lead to the conclusion that an isolated technical assessment cannot be sufficient. Only a global approach can assess the potential and risks. From a business and economic point of view, the possible positive effects should not be disregarded, nor should their negative effects. For example, AI systems can be very expensive, which is a problem for small companies, while big companies can afford them more easily – this can make competition unfair. Also, AI could affect the job market by automating tasks, which might change how jobs are structured. "In this context, it is pointed out that the use of AI aims to avoid errors, increase efficiency, productivity and competitiveness and reduce labor costs." (Gexa, 2025). Ethical issues must also be analyzed in a comprehensive approach. "It is emphasized that ethical principles such as beneficence, transparency, non-malice, autonomy, justice and data protection should be observed in the development and application of AI." (Barton, 2022). The following SWOT analysis attempts to take all arguments into account.

2 Table. SWOT Analysis: holistic approach

Strengths	Weaknesses
Automation of complex processes increases productivity and reduces error rates	High implementation costs (difficult for small and medium-sized companies)
Improved product quality through precise manufacturing.	System complexity (Requires specialized knowledge)
Data-driven decision-making: Large datasets enable more informed and predictive decisions	Lack of transparency
Opportunities	Threats
Innovation catalyst (AI enables the development)	Job displacement (Automation could replace certain roles, leading to labor market disruptions and social inequality.)
Flexible production (Enhanced adaptability)	Ethical concerns (Issues related to data privacy, surveillance, and machine autonomy)
Competitive advantage (Early adopters may strengthen market position)	Security vulnerabilities: AI systems may become targets of cyberattacks or malicious manipulation.

Source: Authors' own work

The SWOT analysis shows that using artificial intelligence in production can bring clear benefits like higher efficiency, better

quality, and smarter decisions based on data. However, it also points out important risks and challenges. A study by the International Monetary Fund (IMF) shows, that regions in the USA with higher AI adoption recorded sharper declines in the employment rate between 2010 and 2021. (Yueling, 2024). In addition, clear ethical guidelines must counteract the risks to fairness, transparency and data protection. The results of the holistic SWOT analysis provide a basis for the creation of a technology portfolio matrix. In the second SWOT analysis, a holistic view is taken of the implementation of AI in production processes. The technology portfolio matrix serves to translate these considerations into a structured evaluation of specific technologies. While the SWOT analysis addressed the question of ‘why’, the technology portfolio matrix provides clarity on ‘what’ and ‘how’.

4.3 Technology Portfolio Matrix

The technology-portfolio-matrix enables a structured categorization of different AI technologies based on two central criteria: Technological attractiveness and realizability. The aim of the technology portfolio matrix is not only to classify potential applications according to their theoretical benefits, but also to prioritize them according to their feasibility. “This method is based on technological evaluation approaches used in strategic corporate planning.” (Pfeiffer, 2011) and is used to support investment decisions. “Technology portfolios help organizations identify, prioritize, and align innovation opportunities with strategic goals” (Phaal, 2004)

3 Table. Technology portfolio

	High Implementation Feasibility	Low Implementation Feasibility
High Technological Attractiveness	Predictive maintenance	Generative AI for production planning
	Computer vision for quality inspection	Autonomous robotics
Low Technological Attractiveness	Voice-based assist. systems	AI-based ethical decision Models
	Automated reporting tools	Fully autonomous factories

Source: Authors' own work

The matrix clearly shows that technologies such as predictive maintenance or AI-supported quality inspection are easy to implement and attractive investments. In contrast, the likelihood of implementing generative AI for adaptive production planning and fully automated factories is low due to the still too high requirements for expertise and infrastructure. To summarize, the use of AI-supported processes in production has great potential. Even in purely simulated processes, AI enables valuable experiments and the acquisition of data and insights. However, further investment in infrastructure and research is needed to realize the full potential. (Russell, 2019) comments on this: “The biggest short-term threat from AI is not malevolent superintelligence, but the unintended consequences of deploying flawed systems at scale.” A balanced and responsible approach

is the key to realizing all the benefits of artificial intelligence while mitigating the potential risks.

5. Methodology

In the experiment a digital twin program called Witness (version 26) was used, which represents manufacturing processes close to a physical factory. Inside the program, the ACME model was used, which represents a factory producing valves. There existed a ready assignment with detailed description of the processes and list of the changes that could be applied to the digital twin for immediate checking their effectiveness. There is also an experimenting tool inside the Witness program with improvements as defined variables and average valve production as an objective function. The tool can be used to find the best set of changes that will maximize the throughput and will not exceed the budget. In the experiment this tool was used as a traditional method for comparing it with AI-using method (in our case, Large Language Models).

Limitations for every improvement in the list were found inside the ACME model and manually added to the prompt. Every improvement has its own cost and limitations, which makes a huge number of combinations that could be made. The assignment is complex enough to reduce the probability of getting high output by accident. In the experiment three popular and free accessible LLMs were used as AI tools for solving the task. They were ChatGPT (model o3-mini), Gemini (2.0 Flash) and Deepseek (V3-0324). They played the role of consultants who analyzed the processes of the factory and possible changes and proposed the best combination of the improvements.

The same prompt with the assignment was sent to every LLM. Then the AI-recommended improvements were manually implemented in the ACME Witness program. After that the LLMs received feedback which contained actual factory statistics, e.g. how many valves the factory produces now and what percentage of the total time each machine was idle, busy, blocked, broken, etc. After the first feedback, the LLM made a different combination of improvements, the Witness ACME model was returned to its base state (before any improvement), and new recommendations were implemented. The new result was sent as second feedback and then the LLM made the final set of recommended improvements based on all previous feedback. There were 27 sessions with LLMs in total: 3 attempts with one AI model at once, doing the same with all our 3 models and repeating it in 3 replications (see Results, Table 5). Every time the same prompt was used as feedback. The only changing part was the actual number of produced valves and a table with statistics (see Table 4): “Now the factory produces 116 valves per week. Here are actual statistics after your improvements (% of the time when machines were working, idle, blocked, etc.). Please analyze it carefully, recalculate it from the beginning and find a different combination of improvements to achieve at least 200 valves per week”.

Each stage (1 attempt, 1st feedback, 2nd feedback was tested using 9 runs (3 models × 3 replications; n=9). To describe general tendency and variability the mean and standard deviation

(SD) were calculated for every stage. For results analysis there was used a non-parametric Friedman test (1). The $p < 0.05$ was considered as statistically significant.

$$\left[\frac{12}{nk(k+1)} \sum_{i=1}^k R_i^2 \right] - 3n(k+1) \quad (1)$$

4 Table. A part of statistics from Witness program

Name	% Idle	% Busy	% Blocked	% Cycle Wait Labor
saw(1)	0.000	3.158	94.703	2.139
saw(2)	0.000	3.158	94.473	2.369
coater	2.708	26.053	71.020	0.000

Source: Witness digital twin 26, ACME model, simulation results

6. Experiment

6.1 Prompt

The first part of assignment sounded like this: “At present, the total throughput of the factory is approximately 65 valves per week. You need to find the best combination of improvements to maximize the output. You have a budget of \$100,000, technology description (how the factory produces output) and a cost list of potential capital improvements. You can choose only between improvements in that list, use the same improvement names as in the list. Please count the total cost carefully and at the end make sure you won’t spend more than \$100,000.

1. Calculate number of machines, labors and buffers capacity to achieve the target 200 valves per week.
2. Design improvement in the framework costs of possible improvement options”.

The prompt was followed by a table with actual factory’s statistics before any improvement

6.2 Results

LLMs always recommended different combinations of improvements. None of the models reached the goal – average throughput 200 valves per week. The closest result was 181 valves per week from Deepseek after second feedback (see Table 5).

The factory’s output before any improvements was 65 valves per week. The stage “first attempt” achieved mean = 76.0 (standard deviation = 23.2), stage “after 1st feedback” mean = 93.8 (SD = 31.3) and stage “after 2nd feedback” mean = 117.4 (SD = 34.2). A Friedman test showed significant differences across stages, $\chi^2 = 7.3889$ (2, N=9), $p = 0.025$. The AI models produced preliminary improvements in factory simulation versus baseline.

In comparison with the traditional method (experimental tool) using AI tools was more convenient and faster because they didn’t require special skills as in the case of the experimenting tool in Witness, where a user had to use special programming language to define variables and had to interpret the results properly. But, as the experiment showed, AI tools were far less

reliable and less effective. Table with the experimental results is presented below. The results of AI-recommended improvements (average factory’s throughput) for each replication and attempt are presented in the column “output” and their total cost is presented in the column “cost”.

The goal in the task was to achieve a production level of 200 valves per week, i.e. to improve the result by 135 valves per week. In the first attempt (before any feedback) the improvement averaged 8.15% of the goal (+11 valves per week with the goal of +135), after the first feedback 21.32% (+28.78 valves), after the second feedback 38.84% (+52.44 valves).

At the same time, in 2 of the 27 sessions the factory’s output after AI-recommendations application was lower than before any improvement. (see Results, 3rd replication, Gemini - 1 and Deepseek - after first feedback)

5 Table. Factory’s performance after improvements and budget spent

1st Replication						
	GPT		Gemini		Deepseek	
Attempt	output	cost	output	cost	output	cost
1	99	99 000	67	96 200	73	99400
1st feedback	79	91 000	80	95 000	119	93900
2nd feedback	120	100000	121	83 500	89	82400
2nd Replication						
	GPT		Gemini		Deepseek	
Attempt	output	cost	output	cost	output	cost
1	78	100 000	77	87 000	74	100000
1st feedback	121	99 000	87	100000	100	98 300
2nd feedback	84	100 000	164	96500	181	96500
3rd Replication						
	GPT		Gemini		Deepseek	
Attempt	output	cost	output	cost	output	cost
1	80	90 000	26	98 000	110	100 000
1st feedback	118	92 000	116	74 000	24	97 500
2nd feedback	90	67 500	98	67 500	110	90 900

Source: Authors’ own work

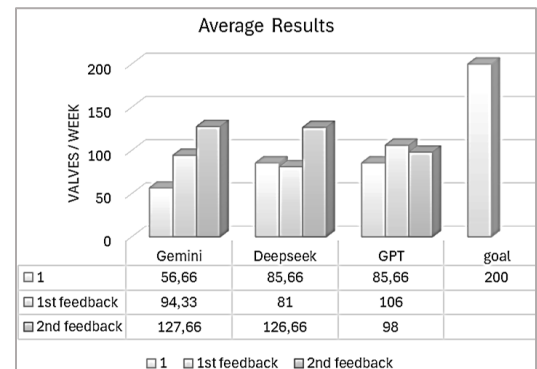


Fig 5. Average experiment’s results

Source: Author’s own work

A notable problem during the experiment was that all AI models made errors in basic addition 4 times out of 27 sessions – 1 from ChatGPT, 1 from Gemini and 2 from Deepseek. For example, ChatGPT assumed that $80,000 + 20,000 + 5,000 + 10,000 = 100,000$. In reality this could cause additional expenses of 15,000. In our case this kind of mistake was found immediately and with little effort and didn't cause any serious consequences, but the possibility that LLM can make these mistakes is a significant their disadvantage.

6.3 Experiment conclusion

Modern free accessible LLMs (at least GPT, Gemini and Deepseek) without fine-tuning are not reliable enough to be used as a single tool for solving complex problems in the manufacturing field. But they show a potential to be useful assistants for digital twin technology. It can reduce the time spent while finding the best combination of improvements for testing in digital twin programs. Every LLM seemed to get a basic understanding of statistics and technology description given to them. Although none of LLMs was fine-tuned for our task, they showed initial potential for improving after getting enough initial information and feedback after they answered.

6.4 Limitations and advice for further research

This study is exploratory and has its limitations.

- Only one digital twin model (Witness, ACME) and assignment was used.
- Only free, non-fine-tuned AI models were used.
- Small sample size ($n=9$) is limiting statistical reliability, output variability is significant.
- For result analysis only Friedman non-parametric test was used, without pairwise analysis, so the effect size is undetermined.

Overall, the result data are too limited to support strong general conclusions or to examine potential long-term labor market and ethical implications.

It would be much better to make this kind of experiment on a larger scale – it could be very useful to do an experiment where the prompting, implementing recommendations and giving feedback would be automated or accelerated some different way.

7. Real-life applications of AI in manufacturing

Artificial intelligence is a major change for manufacturing sector, which may improve competitiveness and effectivity. A significant majority, over 60%, of manufacturing companies are already integrating AI into their operations. (Holland, 2024). There is also company Siemens, which produces engines and uses AI and other modern technologies in their operations. This company is in Frenštát pod Radhoštěm in Czech Republic and from our point of view can be qualified as one of the most modern-technology company in Europe. Using AI in manufacturing is good to generate predictions, recommendations, or decisions that impact real or virtual

environments, all driven by data, which can be easily achieved just from the company's internal resources. These systems may lead to the copying of human behaviour such as learning, and problem-solving are. While generative AI like ChatGPT has received huge attention during last year's AI boom, the manufacturing industry has a long history of employing various AI forms, including for example machine learning (ML), deep learning (DL), natural language processing (NLP), machine vision, digital twins, and robotics. Most of current AI programs are designed for specific tasks, which is also called as Artificial Narrow Intelligence (ANI). (Plathottam, 2023). AI may be used across different corporate functions in manufacturing, with manufacturing and production leading the way at 39% adoption, followed by inventory management (33%), and Research & Development (24%) and quality operations (24%). (Brousell, 2023).

8. Benefits of AI in manufacturing

The first benefit of AI in manufacturing is boosting efficiency and productivity. In this case, especially machine learning, allows you to manage resource flow in a better way, optimize all the processes and apply more sustainable practices. Prescriptive AI plays a crucial role by analyzing historical and real-time data to determine the most efficient production methods. AI also enables rapid, data-driven decisions for calling repair part or to inform all the people about the problems. Second benefit of AI in manufacturing is related to the quality control. There is information, that significant 80% of MLC survey respondents had already invested or planned to invest in vision systems. Machine vision, often powered by deep learning, is extensively used for rapid and effective defect detection in parts and materials. This tool is the most used AI form of improvement and used in a wide range of companies. Another benefit is for predictive maintenance. When AI, through machine learning algorithms, analyzes sensor data, it can predict equipment failures much earlier—often long before people even begin to notice something. The case study of ZF Friedrichshafen demonstrates the power of this, achieving 99% accuracy in predicting using AI algorithms and vibration sensor data. Optimization of processes is also particularly useful benefit when AI techniques can supplement or even replace traditional optimization algorithms. Nowadays, some processes can completely be done automatically without people due to the AI application.

AI does not only help in the processes of production, but it also may help with enhancing safety. Manufacturers are keen on utilizing AI and machine vision to monitor production areas and alert workers to potential hazards. Using AI, there can be for example warnings when something happens to the machine which can cause an injure to the employee. Also from the production, another important part of company is supplying chain management, which can also be improved due to the AI. It works that AI analyzes data from production to delivery to optimize inventory management, logistic and production planning. It can increase effectivity of work significantly and is

extremely effective in companies which manage their storage just in time. Away from the production process, AI can be also useful in research and development areas of the company. These days, AI is generally used for generating designs and other stuff connected with art. It can help to design or prepare some visualizations of product. As a result of that, AI provides valuable insights for better product designs, and predictive modelling which can lead to the faster design and testing processes.

Main case study of this document works with digital twins, which is powerful tool to make production much more effective. Digital Twin creates virtual environments that are integrated with physical production and management systems. Digital Twins works with the random events which may occur during the processes of production. These constantly updated virtual, "Workplaces" allows you to simulate possibility, how your production will look like. (Technologies., 2025) (Brousell, 2023) (Holland, 2024) (Plathottam, 2023) (PwC., 2020) (Vianna, 2018)

AI has a wide range of usage and application for the businesses these days which will, from our point of view, change the market in the future a lot. All the applications are usually connected with high number of benefits, including increased efficiency and productivity, reduced operational costs, improved product quality, minimized repair time, better workers safety, better data-driven decision-making, optimized supply chain and logistics, increased competitiveness, and support for sustainability through efficient resource management. (Jha, 2021)

Conclusions

1. Nowadays different AI technologies, including Large Language Models, become more powerful and useful toward solving tasks with high complexity and responsibility. For example, for supporting decision and process optimization in the manufacturing field.
2. Even free accessible Large Language Models - such as ChatGPT- can process significant amount of data and give meaningful and potentially effective recommendations.
3. Free accessible Large Language Models are not yet reliable enough to be used as a single tool but in combination with digital twin technology, where their recommendation can be easily and safely tested and especially with automatized feedback loops they have a potential for more effective process optimizations toward leaner and more sustainable production.
4. Although AI technologies open prominent opportunities, complex SWOT analysis shows that its disadvantages and risks are still significant, therefore they must be used under professional and critical control.

References

Alawamleh, M., & S., N. (2024, July 12). *Examining the limitations of AI in business and the need for human insights using interpretive structural modelling*. Retrieved from

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S219985312400132X>

International Energy Agency. (2023). *AI and electricity use: Factsheet*. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/artificial-intelligence-and-energy>

Backlinko. (2025, March 31). *ChatGPT / OpenAI Statistics: How Many People Use ChatGPT?* Retrieved from <https://backlinko.com/chatgpt-stats>

Barton, T. (2022). Ethical implications of artificial intelligence in organizations: A framework for responsible AI. Proceedings of the 55th Hawaii International Conference on System Sciences.

Brousell, D. P. (2023). *The Future of Industrial AI in Manufacturing*. Manufacturing Leadership Council.

Brynjolfsson, E. L. (2023). *Generative AI at work*. National Bureau of Economic Research. Retrieved from <https://www.nber.org/papers/w31161>

Cole Stryker, E. K. (2024, August 9). *What is artificial intelligence (AI)?* Retrieved from <https://www.ibm.com/think/topics/artificial-intelligence>

DreamHost. (2025, April 2). *How to do a SWOT analysis*. Retrieved from <https://www.dreamhost.com/blog/swot-analysis/>

European Parliament. (2020, September 4). *What is artificial intelligence and how is it used?* Retrieved from <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20200827STO85804/what-is-artificial-intelligence-and-how-is-it-used>

Flora, M. (2025, January 28). *High-demand products for 2025 and beyond*. ShipBob. Retrieved from <https://www.shipbob.com/blog/high-demand-products/>

Gexa, E. (2025, April 2). *How AI saves energy*. Retrieved from <https://www.gexaenergy.com/blog/ai-energy-efficiency/>

Gürel, E. (2017). SWOT analysis: A theoretical review. *Journal of International Social Research*.

Holland, M. F. (2024). Working Smarter: How Manufacturers Are Using Artificial Intelligence. National Association of Manufacturers.

Huser, P. (2024, January 16). *Definition, tools and advantages of Lean Management*. Retrieved from <https://www.manutan.com/blog/en/glossary/lean-management-definition-and-tools>

IBM. (2023, November 2). *What are large language models (LLMs)?* Retrieved from <https://www.ibm.com/think/topics/large-language-models>

Jha, A. K. (2021). Artificial Intelligence (AI) in Manufacturing.

Jobin, A., Ienca, M., & Vayena, E. (2019). The global landscape of AI ethics guidelines. *Nature Machine Intelligence*, 1(9), 389–399. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0088-2>

Li, B., Hou, B., Yu, W., Lu, X., & Yang, C. (2017). Applications of artificial intelligence in intelligent manufacturing. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 18(1), 86–96. <https://doi.org/10.1631/FITEE.1601885>

Holweg, M., & H., T. (2023, November 9). *How AI Fits into Lean Six Sigma*. Retrieved from <https://hbr.org/2023/11/how-ai-fits-into-lean-six-sigma>

Mehrabi, N., Morstatter, F., Saxena, N., Lerman, K., & Galstyan, A. (2021). A survey on bias and fairness in machine learning. *ACM Computing Surveys*, 54(6), 1–35. <https://doi.org/10.1145/3457607>

Pfeiffer, T. W. (2011). *Technologie-Roadmapping: Zukunftspotenziale systematisch erkennen und nutzen*. Springer.

Phaal, R. F. (2004). Technology roadmapping—A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting*

and Social Change. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00072-6)

Plathottam, S. J. (2023). *A review of artificial intelligence applications in manufacturing operations*. Journal of Advanced Manufacturing and Processing.

Powell, D. J. (2024, April 8). *Artificial intelligence in lean manufacturing: digitalization with a human touch?* Retrieved from <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ijlss-05-2024-256/full/html>

PwC. (2020). *An introduction to implementing AI in manufacturing*. Pwc.

Rashid, A. B. (2024, August 27). *AI revolutionizing industries worldwide: A comprehensive overview of its diverse applications*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773207X24001386#bib62>

Robert X. Gao, J. K.-C. (2024, August 12). *Artificial Intelligence in manufacturing: State of the art, perspectives, and future directions*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000785062400115X#bib0175>

Rozmi, A. N. (2018). SWOT analysis applications: An integrative literature review. *Global Business and Management Research*.

Russell, S. (2019). *Human compatible: Artificial intelligence and the problem of control*. Viking.

Siemens AG. (2020). *Sustainability information 2020*. Retrieved from <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:13f56263-0d96-421c-a6a4-9c10bb9b9d28/sustainability2020-en.pdf>

Technologies., O. (2025). *The Beginner's Guide to AI in Manufacturing*. Oden Technologies.

Unilever. (2023, April 4). *How AI and digital help us innovate faster and smarter*. Retrieved from <https://www.unilever.com/news/news-search/2023/how-ai-and-digital-help-us-innovate-faster-and-smarter/>

Vianna, F. (2018). *AI in Manufacturing*. Felipe Vianna.

West, D. M. (2018). *The future of work: Robots, AI and automation*. Brookings Institution Press.

Yueling, H. (2024). *The Labor Market Impact of Artificial Intelligence: Evidence from US Regions*. Retrieved from <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2024/09/13/The->

Labor-Market-Impact-of-Artificial-Intelligence-Evidence-from-US-Regions-554845

ŠVARESNĖ, EKOLOGIŠKESNĖ IR GREITESNĖ: DIRBTINIŲ INTELEKTU PAGRĮSTA VIDINĖ LOGISTIKA TVARESNEI IR EFEKTYVESNEI ATEIČIAI

Sofiya, Dmitriyeva ¹, Ondřej, Vaňásek ¹, Sebastian
Novak ², Achraf Hedar ², Gernot Tranninger ³

¹Brno technologijos universitetas, Čekija

²Lilio universitetas, Prancūzija

³FH JOANNEUM, Austrija

Santrauka. Šio žvalgybinio tyrimo tikslas – išnagrinėti galimybes, konkrečius pavyzdžius ir iššūkius, susijusius su dirbtinio intelekto (DI) taikymu gamybai. DI gali padėti optimizuoti tvarumą, laiką ir finansinį efektyvumą, naudojant vidinius verslo operacijų duomenis. Atvejo analizėje naudojami kalbos modeliai – tokie kaip ChatGPT – pritaikyti skaitmeniniam gamyklos modeliui kartu su galimų procesų patobulinimų sąrašais. Šie DI sugeneruoti sprendimai lyginami su tradiciniais optimizavimo metodais. SSGG analizė ir literatūros apžvalga suteikia verslo perspektyvą, įvertinant stiprybes ir silpnybes. Tikimasi, kad DI efektyvumas bus bent jau panašus į tradicinių metodų, atsižvelgiant į jo naudojimo paprastumą, greitį ir potencialą gerinti gamyklos našumą. Tačiau DI reikalauja reikšmingos žmogaus priežiūros, nes jo rekomendacijos gali būti nepatikimos ir nebūtinai atitinka konkrečius gamyklos veikimo principus. Apibendrinant, tyrimas vertina, kaip DI ir skaitmeniniai dvyniai gali pagerinti gamybos srautus simuliacijų aplinkoje, ir pateikia vertingų įžvalgų būsimiesiems tyrimams.

Reikšminiai žodžiai: dirbtinis intelektas, gamyba, procesų optimizavimas, skaitmeninis dvynys, predikcinė priežiūra, tvarumas, operacinis efektyvumas.

TRANZITINIO SUNKIOJO TRANSPORTO APRIBOJIMŲ POVEIKIS TARŠAI IR EISMO PRAL AidUMUI ŠILUTĖS PLENTE

Jūratė Liebuviėnė, Vida Jokubynienė

Klaipėdos valstybinė kolegija, Bijūnų g. 10, Klaipėda

Anotacija. Straipsnyje nagrinėjama tranzitinio sunkiojo transporto problema Klaipėdoje, Šilutės prospekte, kuris yra viena pagrindinių miesto arterijų. Didelis vilkikų srautas, ypač piko valandomis, mažina eismo pralaidumą ir didina išmetamųjų dujų bei kietųjų dalelių taršą, darančią neigiamą poveikį oro kokybei ir gyventojų sveikatai. Tyrimo metu buvo stebėti transporto srautai. Rezultatai parodė, kad intensyviausias vilkikų eismas fiksuojamas vidurdienį piko metu – apie 215 vilkikų per valandą, o mažiausias – ryte. Apskaičiuota, kad 4 km atkarpoje per piką išmetama apie 68,8 g kietųjų dalelių. Išanalizavus gautus duomenis, pasiūlyti sprendimai – atskirti pirmąją eismo juostą viešajam ir sunkiajam transportui, taip pat riboti vilkikų patekimą į Šilutės plentą iš Jūrininkų prospekto. Šios priemonės padėtų sumažinti taršą ir pagerinti eismo pralaidumą.

Reikšminiai žodžiai: krovininis transportas, išmetamosios dujos, kietosios dalelės, oro tarša, eismo pralaidumas.

Įvadas

Oro tarša yra kenksmingų dujinių, skystųjų, kietųjų dalelių ar medžiagų patekimas į atmosferą, o tai daro žalą aplinkai, kenkia žmonių sveikatai ir gyvenimo kokybei, blogina matomumą, ore pasklidę teršalai gali skleisti nemalonų kvapą. Dėl šios priežasties viena didžiausių problemų, su kuria susiduria miestai visame pasaulyje, yra transporto priemonių gausa dėl disbalanso tarp viešojo transporto, verslo įmonių transporto ir didėjančio gyventojų judumo. Dėl gausaus transporto priemonių skaičiaus padidėjo spūstys ir aplinkos tarša miestuose (Harish, 2012).

Sunkiojo transporto tarša miestuose yra didelė problema. Tarša kelia pavojų tiek žmonių sveikatai, tiek aplinkai. Sunkvežimių ir autobusų dyzeliniai varikliai išskiria daug kenksmingų teršalų, tarp jų azoto oksidų, kietųjų dalelių ir anglies dioksido. Šie teršalai gali turėti neigiamą poveikį oro kokybei, sukeldami kvėpavimo takų ligas, alergijas ir padidėjusį mirtingumą. Be to, sunkusis transportas prisideda prie eismo spūsčių ir sumažina miestų judumą, tuo pačiu padidėja eismo nelaimių rizika. Tai taip pat gali turėti ekonominį poveikį, nes eismo spūstys gali sukelti didelius ekonominius nuostolius.

Sunkiasvoriai sunkvežimiai yra pagrindiniai miestų eismo taršos šaltiniai. Dyzeliniai vilkikai su puspriekabėmis mieste išmeta daugiausia azoto oksidų (NO_x). Prognozuojama, kad šis skaičius ir transporto priemonių nuvažiuotų kilometrų, o kartu ir išmetamųjų teršalų kiekis, vis didės (Wang et al., 2021).

Eismo spūstys miestuose lemia didelę oro taršos dalį ir įvairias su ja susijusias žmonių sveikatos problemas. Transporto priemonių išmetamas anglies monoksidas (CO) ir NO_x kiekis labai padidėja susidarius transporto spūstims, todėl daro neigiamą poveikį oro kokybei ir žmonių sveikatai, labai padidėja ir transporto priemonių išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų, tokių kaip anglies dioksidas (CO₂), kiekis, o tai daro įtaką pasaulinei klimato

kaitai. Dėl šios priežasties reikėtų atidžiai nagrinėti transporto priemonių išmetamų teršalų kiekį perpildytose miestų gatvėse ir jų poveikį aplinkai. Taip pat gerai žinoma, kad sunkvežimių transportas, kaip svarbiausia krovinių pristatymo mieste rūšis, yra ir pagrindinis oro teršalų ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltinis (Hwang & Ouyang, 2015).

Todėl patobulinus sunkvežimių parko veiklą, padidinus sunkvežimių paslaugų sektoriaus efektyvumą perpildytuose miestų kelių tinkluose ir sumažinus transporto priemonių išmetamų teršalų kiekį, būtų galima pagerinti miestų oro kokybę, daryti teigiamą poveikį žmonėms ir galiausiai pasaulinei klimato kaitai (Hwang & Ouyang, 2015).

Tyrimo tikslas – išanalizuoti sunkvežimių sukeltas taršos problemas ir pasiūlyti sprendimo būdus, kaip sumažinti taršą Klaipėdos mieste.

Tyrimo uždaviniai:

- Atlikti vilkikų srauto tyrimą Klaipėdos miesto Šilutės plente.
- Pateikti pasiūlymų, kaip sumažinti vidaus degimo variklių išmetamąją taršą Klaipėdos mieste.

Tyrimo problema: Šilutės plentas Klaipėdoje yra viena pagrindinių miesto arterijų, kuria nuolat intensyviai juda sunkiasvoris transportas. Šiame straipsnyje analizuojamos krovinės transporto priemonės (N1–N3), kurios bendrame kontekste bus vadinamos sunkiasvorėmis, nes visos jos prisideda prie kelių infrastruktūros apkrovos bei transporto sektoriaus taršos. Piko valandomis šių sunkiasvorių transporto priemonių srautas padidėja, todėl susidaro spūstys, mažėja transporto priemonių, pravažiuojančių per sankryžas, skaičius ir didėja kenksmingų išmetamųjų dujų emisijos (CO, CO₂, NO_x, kietosios dalelės). Atsižvelgiant į tai, kad vidutinis Lietuvoje eksploatuojamų sunkvežimių amžius yra apie 15,4 metų, dauguma jų atitinka tik Euro 5 standartą, todėl emisijos lieka gana didelės. Iki šiol nėra išsamiai ištirta, kiek ir kokia tarša susidaro Šilutės plente dėl sunkvežimių

srautų, kaip ji veikia miesto oro kokybę ir eismo pralaidumą ir kokios būtų veiksmingos priemonės šiai taršai mažinti bei eismui optimizuoti.

Taigi tyrimo problema – kaip Klaipėdoje, Šilutės plente, sumažinti sunkiųjų transporto priemonių sukeltą oro taršą ir pagerinti eismo pralaidumą. Tam būtina:

1. Empiriškai įvertinti vilkikų srautą ir jų išmetamųjų dujų (CO , CO_2 , kietųjų dalelių) kiekį piko valandomis.
2. Nustatyti svarbiausias problemas priežastis (sunkiojo transporto maršrutų planavimas, sustojimai, sankryžų reguliavimas) ir suformuluoti konkrečias priemones (juostų pertvarkymas, eismo reguliavimo optimizavimas, tranzitinio sunkiojo transporto ribojimas), kurios leistų sumažinti taršą ir pagerinti eismo pralaidumą.

1. Krovininių automobilių sukeliamą taršą ir jos poveikis aplinkai

Sparčiai didėjančio kelių transporto išmetamo anglies dioksido kiekio problemos sprendimas tapo neatidėliotinu iššūkiu siekiant visame pasaulyje neutralizuoti anglies dioksido kiekio ir anglies dioksido poveikį (Chen et al., 2023). Naujų strateginių pramonės šakų plėtra, ypač naujos energijos transporto priemonių skatinimas, yra svarbiausia priemonė siekiant veiksmingai mažinti energijos ir aplinkosauginį spaudimą. Naujos energijos transporto priemonės, t. y. automobiliai, kuriuose kaip energijos šaltinis naudojamas netradicinis kuras ir įdiegtos šiuolaikinės galios valdymo ir varomosios jėgos technologijos, yra perspektyvus sprendimas, kaip sumažinti automobilių pramonės priklausomybę nuo naftos ir išmetamų teršalų kiekį (Chen et al., 2023; Yuan et al., 2015).

Automobilių pramonės energijos suvartojimą lemia daug veiksnių, tokių kaip esamos automobilių technologijos; politika, pvz., degalų ir energijos taupymo politika; socialinė ir ekonominė plėtra; energijos vartojimo efektyvumo standartai; kelių būklė; automobilių sekimo modeliai ir bendros eksploatavimo išlaidos (Yuan et al., 2015).

Regioninės, nacionalinės ir tarptautinės ekonominės plėtos sąlygomis didėja transporto ir tiekimo grandinių poreikis. Šis augimas ypač akivaizdus miestuose, turinčiuose uostą ir jūrų transporto sektorių, kuris per pastaruosius du dešimtmečius labai išsiplėtė (Lagha et al., 2024).

Reikšminga dalis pasaulinio energijos suvartojimo, ypač transporto sektoriuje, priskiriama iškastiniam kurui dėl besiplečiančio transporto sektoriaus, kurio vidutinis metinis augimas yra 1,1 %. Tačiau naftos naudojimas transporto ir pramonės šakose lėmė kenksmingų teršalų išmetimą su maždaug 22 % transporto pramonės visame pasaulyje išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Šie transporto priemonių išmetamieji teršalai, tarp jų CO_2 , labai prisideda prie pasaulinio atšilimo. Besivystančios šalys dabar susiduria su iššūkiu sumažinti jų priklausomybę nuo iškastinio kuro importo (Vijayakumar et al., 2023).

Per pastaruosius du dešimtmečius ypač daug naudota dyzelinių variklių, todėl nepilnas degimas ir kenksmingos emisijos paveikė aplinką ir žmonių sveikatą. Pasaulio sveikatos organizacija apskaičiavo, kad dėl oro taršos kasmet pasaulyje miršta 7 mln. žmonių, o 90 proc. gyventojų patiria užteršto oro poveikį sveikatai (Yaacob et al., 2024). Emisijos, pvz., sieros dioksidas (SO_2), CO ir NO_x prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų susidarymo poveikio ir visuotinio atšilimo, keliančio rimtą grėsmę aplinkai ir visuomenės sveikatai. Taip yra todėl, kad dažnai susidaro kenksmingi papildomi teršalai, tokie kaip kietosios dalelės ($\text{KD}_{2.5}$), azoto dioksidai (NO_2) ir ozonas (O_3), kuriuos sukelia tie patys degimo šaltiniai, tarp jų ir transporto priemonės, pramonės įrenginiai ir elektrinės (Nakhawa & Thipse, 2015).

Siekiant išspręsti šias problemas, alternatyvūs degalai, pavyzdžiui, biodyzelinas, sulaukė dėmesio kaip priemonė, mažinanti kenksmingų teršalų išmetimą. Automobilių pramonė aktyviai tyrinėja išmetamųjų dujų mažinimo būdus ir išmetamųjų teršalų kiekį, ieško alternatyvų naftos produktams, tai galėtų būti, pavyzdžiui, suslėgtos gamtinės dujos (SGD), biodujos, biodyzelinas ir etanolis (Vijayakumar et al., 2023).

Siekiant tvarumo pagrindinis tikslas yra sumažinti miesto taršą, kurią sukelia dyzelinių variklių išmetamieji teršalai, tarp jų SO_x , NO_x , KD , CO_2 , juodi dūmai ir CO . Dyzeliniai varikliai svarbūs transporto ir žemės ūkio sektoriuje. Tobulėjant technologijoms, kartu didėjo ir benzino bei dyzelino naudojimas. Dėl didelių kainų, aplinkos taršos ir nuolatinio neatsinaujinančių iškastinio kuro išeikvojimo atsirado alternatyvus kuro šaltinio poreikis, todėl dedamos pastangos ieškoti šiuolaikinio ir alternatyvus energijos šaltinio, kuris galėtų sumažinti visuotinį atšilimą ir išspręsti taršos problemas (Vijayakumar et al., 2023). Daugiau kaip 80 proc. miestų gyventojų patiria oro kokybės taršą, kuri viršija WHO rekomenduojamas ribines vertes (Rajput et al., 2022; Yaacob et al., 2024). Oro tarša neigiamai veikia žmonių sveikatą, ypač kvėpavimo sistemą, nes CO trikdo kraujo gebėjimą pernešti deguonį (Yaacob et al., 2024). Miesto oro tarša, kurią sukelia intensyvus transporto priemonių srautas, yra viena didžiausių problemų, su kuria šiuo metu susiduria pasaulio gyventojai. Taigi, svarbūs oro taršos tyrimai norint suprasti galimą poveikį žmonėms ir poveikį sveikatai. Daugelis tyrimų yra orientuoti į trumpalaikių ir ilgalaikių kietųjų dalelių NO_2 viršijimą. Miestų oro tarša lemia sergamumą ir priešlaikinį mirtingumą nuo širdies ir kraujagyslių bei kvėpavimo sistemos ligų, plaučių vėžio (Burns, 2016). Žmonėms, gyvenantiems netoli taršių zonų, kyla neproporcingai didelė rizika, ypač pažeidžiamoms grupėms, pavyzdžiui vaikams, pagyvenusiems žmonėms ir asmenims, turintiems sveikatos problemų (Olaniyan et al., 2020).

Transporto priemonių eismo intensyvumas yra nūdienos pasaulio fenomenas, su kuriuo susijusios tokios problemos kaip eismo įvykiai, tarša (oras ir triukšmas), ilgas kelionės laikas ir pan. (Díaz et al., 2020). Taip pat didelę reikšmę turi transporto priemonės tipas, nes didesnės ar senesnės transporto priemonės dažnai išmeta daugiau CO_2

nei mažesnės, taupiau naudojančios degalus (Yaacob et al., 2024).

Variklinių transporto priemonių išmetami teršalai miestuose užtikrinant tinkamą oro kokybę yra didelė problema. Pagrindinė oro taršos priežastis (60–90 % visų išmetamų teršalų) – motorinių transporto priemonių eismo intensyvumas.

Padidėjusią taršą identifikuojantys reiškiniai dažnai pastebimi sankryžose, ypač žiedinėse sankryžose, reguliuojamose šviesoforais. Taigi, didžiausia dėl transporto susidarančių teršalų koncentracija būna prie reguliuojamų sankryžų ir aikštėse. Šiose vietose oro kokybė taip pat yra prastesnės būklės, palyginti su kitomis vietomis. Tą lemia artėjančios ir tolyn nuo sankryžos važiuojančios transporto priemonės greičio pokyčiai (Shafabakhsh et al., 2018).

Todėl siekiant klimato požiūriu neutralios ekonomikos reikia ne tik skatinti elektromobilumą, bet ir naudoti biodegalus (Stryhunivska et al., 2024). Biodegalų naudojimas turėtų skatinti atnaujinti transporto priemones ir užtikrinti, kad jie atitiktų naujausius Europos išmetamųjų teršalų standartus (Zimakowska-Laskowska et al., 2022). Dyzelinu varomoms transporto priemonėms, kaip pagrindinėms krovinėms transporto priemonėms, tenka didelė dalis visų sunaudojamų degalų ir transporto išmetamųjų teršalų kiekio, todėl moksliniuose tyrimuose joms skiriama daug dėmesio (Stryhunivska et al., 2024).

Siekiant ES klimato neutralumo, sunkiosioms transporto priemonėms reikia skirti daugiau dėmesio. Pirmia, reikia gerinti efektyvumą visose srityse, o tai apima maršrutų optimizavimą, prastovų laiko mažinimą ir tinkamos transporto priemonių priežiūros užtikrinimą. Kitas svarbus aspektas yra degalų sąnaudų mažinimas, kurį galima pasiekti diegiant ekonomišką vairavimo praktiką, investuojant į ekonomiškąsias transporto priemones ir ieškant alternatyvių degalų (Rodriguez et al., 2023).

Sunkiasvorių HDV (Heavy-Duty Transport) transporto priemones galima pakeisti ekologišką vairavimą atitinkančiomis transporto priemonėmis. Ekologiškas vairavimas apima vairavimo būdus, kuriais pirmenybė teikiama degalų naudojimo efektyvumui, pavyzdžiui, tolygus greitėjimas ir lėtėjimas, pastovaus greičio palaikymas ir tuščiosios eigos vengimas (Stryhunivska et al., 2024; Yang et al., 2020). Investicijos į transporto priemones taip pat labai svarbios siekiant pagerinti standartus. Tai apima sunkvežimių su naujausiomis degalus taupančiomis technologijomis įsigijimą, kartu atsisakant senų, daug teršalų išmetančių ir daug degalų sunaudojančių transporto priemonių. Be to, sumažinus transporto priemonių svorį, galima sumažinti energijos suvartojimą ir išmetamųjų teršalų kiekį. Tai galima pasiekti naudojant lengvas medžiagas ir optimizuojant transporto priemonės konstrukciją (Camilleri et al., 2022). Be to, sumažinus variklio darbinį tūrį, galima optimizuoti išmetamųjų teršalų kiekį, išlaikant pakankamą galią. Pagerinus variklio darbo sąlygas naudojant papildomą įrangą, pavyzdžiui, kietųjų dalelių filtrus ir išmetamųjų dujų recirkuliacijos sistemas, galima dar labiau pagerinti išmetamųjų teršalų kontrolę (Yang et al., 2020). Įgyvendinus šias rekomendacijas, transporto įmonių aplinkosauginis veiksmingumas gali gerokai pagerėti. Tarptautinės

energetikos agentūros (TEA) Energetikos technologijų perspektyvose numatyta, kaip iki 2030 m. pasiekti 50 proc. geresnį degalų ekonomiškumą, o tai atitinka perpus mažesnės naujų transporto priemonių degalų sąnaudas vienam kilometrui (International Energy Agency).

2. Tyrimo metodika

Reguliuojamų sankryžų pralaidumo skaičiavimas grindžiamas eismo srauto intensyvumu. Prisotinto srauto reikšmė apibrėžiama kaip didžiausias transporto priemonių srautas, galintis pravažiuoti sankryžą palankiomis eismo ir kelio sąlygomis, darant prielaidą, kad visas efektyvus šviesoforo ciklo žalio signalo laikas skiriamas būtent šiam srautui (Paliulis, 2007).

Bendrosios transporto priemonių judėjimo sąlygos kelių eismo srautuose gali būti suskirstytos į keturias kategorijas: laisvo srauto, normalaus srauto, prisotinto srauto ir priverstinio srauto sąlygas.

Laisvo srauto sąlygos apibūdinamos tuo, kad transporto priemonės juda nepriklausomai viena nuo kitos – kiekvieno automobilio greitis nėra ribojamas kitų eismo dalyvių. Transporto srauto pasiskirstymas yra iš esmės netolygus. Normalaus srauto sąlygomis transporto priemonių judėjimas iš dalies priklauso nuo kitų kelyje esančių transporto priemonių. Aplenkti kitą automobilį galima ne visada, todėl matematinis tokio judėjimo aprašymas yra sudėtingesnis nei laisvo srauto atveju. Normalus srautas vienoje eismo juostoje paprastai būna nuo 450 iki 2100 automobilių per valandą.

Prisotinto srauto sąlygomis visos transporto priemonės juda viena paskui kitą toje pačioje eismo juostoje. Eilės judėjimo greitį lemia priekyje važiuojanti transporto priemonė. Įvertinus vidutinę reikšmę, neatsižvelgiant į laikinus srauto pokyčius, prisotinto srauto intensyvumas siekia nuo 2100 iki 2200 automobilių per valandą vienoje juostoje (Horvat, 2015).

Tyrimas atliktas Šilutės plente, siekiant įvertinti sunkiojo transporto srautų intensyvumą bei jų sukeltą taršos mastą.

Pirmojoje tyrimo dalyje trijose pasirinktose gatvės zonose vizualiai stebint ir skaičiuojant fiksuojamas sunkiasvorių transporto priemonių eismas. Stebėta balandžio–gegužės mėn. piko valandomis: rytinio (07:00–08:00), dienos (12:00–13:00) ir vakarinio (17:00–18:00). Duomenys apibendrinti, apskaičiuojant vidutinį srautą šiais laikotarpiais.

Vidutinis transporto srauto nustatymas. Vidutinis pravažiuojančių transporto priemonių skaičius per valandą apskaičiuojamas pagal formulę (Traffic Engineering, 2022):

$$Q_{vid} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \quad (1)$$

čia: Q_{vid} – vidutinis srautas per valandą; Q_i – srautas i -oje zonoje; n – zonų skaičius.

Antrojoje tyrimo dalyje dvejose pagrindinėse Šilutės plento sankryžose nustatytas lengvųjų automobilių pralaidumas piko metu, kai registruojamas didžiausias

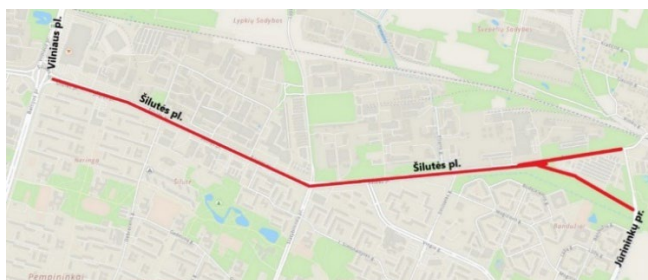
sunkiojo transporto intensyvumas. Tai sudarė galimybę apskaičiuoti bendrą abiejų transporto rūšių taršos kiekį.

Sunkiojo transporto emisijos (CO, CO₂ ir KD) vertintos atsižvelgiant į vidutinį Lietuvoje eksploatuojamų vilkikų amžių – 15,4 metų (VĮ „Regitros“ duomenimis). Skaiciavimuose taikytas Euro 5 emisijų standartas. Lengvųjų automobilių taršai vertinti naudoti M1 kategorijos transporto priemonių vidutinio amžiaus (16,5 metų) rodikliai, dauguma jų atitinka Euro 4 standartą. Šioje grupėje vertinta KD emisija.

Apibendrinus gautus rezultatus, nustatytas bendras vilkikų ir lengvųjų automobilių sukeliamas oro teršalų kiekis piko valandomis.

3. Tyrimo rezultatai ir aptarimas

Klaipėda yra pagrindinis Lietuvos uostamiestis, kuris išsiskiria intensyviu sunkiojo transporto (N1, N2 ir N3 kategorijų) eismu. Šių transporto priemonių tarša yra didelė, todėl jų srautų analizė itin svarbi vertinant miesto oro kokybę. Viena iš pagrindinių miesto arterijų yra Šilutės plentas, kuriuo ypač intensyviai juda sunkusis transportas. Tai lemia tiek šiame ruože veikiančios įmonės, tiek tranzitinis eismas, kai sunkiasvorės transporto priemonės vyksta Vilniaus plento ar Jūrininkų prospekto link (1 pav.).



1 pav. Šilutės plento maketas, kuriame pateikti sunkiojo transporto skaičiavimo rezultatai
Šaltinis: sudaryta autorių

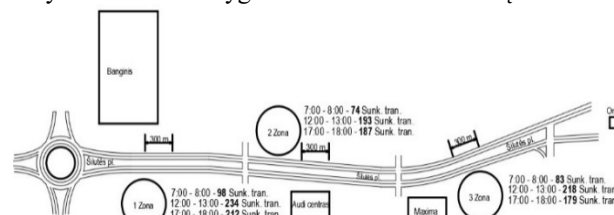
Siekiant nustatyti sunkiojo transporto intensyvumą piko valandomis ir įvertinti jo potencialų poveikį aplinkos taršai, buvo atlikti srautų skaičiavimai trijose pasirinktose Šilutės plento zonose. Kiekviena zona apėmė 300 metrų gatvės ruožą. Skaiciavimai atlikti trijų pagrindinių eismo pikų metu: rytinio (07:00–08:00), dienos (12:00–13:00) ir vakarinio (17:00–18:00) (2 pav.).

Rezultatai parodė, kad 1-ojoje zonoje (prie PC „Banginis“) buvo suskaičiuoti 98 vilkikai ryte, 234 – dieną ir 212 – vakare; 2-ojoje zonoje (prie „Audi“ centro) – atitinkamai 74, 193 ir 187; 3-iojoje zonoje (tarp „Maximos“ ir „Orlen“ degalinės) – 83 ryte, 218 per pietus ir 179 vakare.

Apibendrinus visų trijų zonų rezultatus, apskaičiuoti vidutiniai sunkiojo transporto srautai pagal laikotarpius. Nustatyta, kad rytinio piko metu (07:00–08:00) vidutiniškai pravažiuoja 85 vilkikai, dieną (12:00–13:00) – 215, o vakare (17:00–18:00) – 193 vilkikai.

Tyrimo duomenys rodo, kad didžiausias sunkiojo transporto judėjimas fiksuojamas dienos piko valandomis, o rytinio piko metu srautas gerokai mažesnis. Šie rezultatai

leidžia daryti prielaidą, kad sunkiojo transporto poveikis oro kokybei ir triukšmo lygiui didžiausias vidurdienį.



2 pav. Šilutės plento maketas, kuriame pateikti sunkiojo transporto skaičiavimo rezultatai
Šaltinis: sudaryta autorių

Žinant vidutinį sunkiojo transporto srautą Šilutės plente, galima įvertinti šių transporto priemonių sukuriamą oro taršą. VĮ „Regitra“ duomenimis, vidutinis sunkiojo transporto priemonių vidurkis yra 15,4 metų, todėl vertinimams taikytinas Euro 5 emisijų standartas.

Euro 5 standartas nustato griežtesnes ribines taršos normas nei ankstesni, tačiau, palyginti su naujausiais (pvz., Euro 6 ar artėjančiu Euro 7), reikalavimai yra pasenę, o eksploatuojami automobiliai išlieka taršūs. Realią sunkvežimių taršą lemia ne tik emisijų standartas, bet ir tokie veiksniai, kaip transporto priemonės techninė būklė, vairuotojo vairavimo įpročiai bei kelio sąlygos.

CO taršos skaičiavimas. Didžiausias sunkiojo transporto intensyvumas Šilutės plente fiksuotas dienos piko metu (12:00–13:00), kai vidutiniškai pravažiuoja 215 vilkikų. Apskaičiuojant jų sukuriamą taršą taikyta Euro 5 standarto CO emisijų riba – 1,5 g/kWh.

Bendra tarša (g/kWh) skaičiuojama pagal formulę (Enerdata, 2024):

$$t_s = n \cdot E_s \quad (2)$$

čia: t_s – bendra vilkikų sukeliama tarša CO g/kWh; n – vilkikų skaičius; E_s – Euro standarto reikšmė.

Šį leidžiamą kiekį padauginus iš vilkikų skaičiaus, gauname 322,5 g/kWh

Norint įvertinti taršą kilometro mastu, įskaičiuotas vidutinis vilkiko energijos poreikis – apie 4 kWh/km (Enerdata, 2024) (pilnai pakrautas vilkikas).

$$T_s = t_s \times V_{kwh} \quad (3)$$

čia: T_s – bendra vilkikų sukeliama tarša CO g/km; V_{kwh} – vilkikų sunaudojama kilovatvalandė per 1 kilometrą.

Taigi, per vieną kilometrą dienos piko metu, kai pravažiuoja 215 vilkikų, Šilutės plente išmetama apie 1290 g CO. Suprantama, reali tarša gali būti didesnė dėl stovėjimo sankryžose, dažno stabdymo ir pajudėjimo iš vietos bei transporto priemonių techninės būklės.

CO₂ taršos skaičiavimas. CO₂ yra vienas pagrindinių šiltnamio efektą sukeliančių teršalų, todėl svarbu įvertinti sunkiojo transporto emisijas. CO₂ kiekis apskaičiuojamas gramais vienai tonai nuvažiuoto kilometro (g/tkm). „Transport & Environment“ duomenimis, sunkiasvorės transporto priemonės vidutiniškai išmeta apie 58 g/tkm CO₂. Vidutinis pakrauto vilkiko svoris siekia apie 36 t.

Askaičiuojama pagal formulę (Enerdata, n.d.):

$$T_{co2} = M \times EF \times n \quad (4)$$

čia: T_{CO_2} – bendras vilkikų CO_2 išmetimo kiekis g/km;
 M – vidutinis pakrauto sunkiojo transporto svoris tonomis;
 EF – vidutinis sunkiojo transporto CO_2 kiekis g/tkm.

Taigi, dienos piko metu (12:00–13:00) 215 vilkikų išmeta apie 448,92 kg CO_2 vienam kilometrui. Atsižvelgiant į tai, kad atstumas nuo „Banginio“ žiedo iki Jūrininkų prospekto yra ~4 km, bendras emisijų kiekis siekia apie 1 794,68 kg ($\approx 1,8$ t) CO_2 .

KD taršos skaičiavimas. Kietųjų dalelių (KD) emisijos skaičiavimas. Miestuose KD tarša yra ypač didelė, nes kiekvienas vidaus degimo variklis išskiria dalelių, kurios gali reikšmingai pakenkti žmonių sveikatai ir pabloginti oro kokybę. Dėl šios priežasties mūsų tyrimo ruože, Šilutės plente, būtina įvertinti ir apskaičiuoti šią taršą. Žinodami, kad Lietuvos keliuose važinėjančių sunkiasvorių transporto priemonių vidutinis amžius siekia apie 15,4 metų, emisijas vertinsime pagal Euro 5 standartą, kuris numato 0,02 g KD vienai kilovatvalandei. Pasak Enerdatos (Enerdata, 2024), vilkikai vienam nuvažiuotam kilometrui sunaudoja maždaug 2–6 kWh energijos. Norėdami gauti KD kiekį gramais vienam kilometrui, skaičiuojame taikydami 4 kWh koeficientą, kadangi nemaža dalis (apie 50%) vilkikų važiuoja pilnai pakrauti ir sunaudoja daugiau energijos.

$$t_{kd} = n \times E_s \quad (5)$$

čia: t_{kd} – bendra vilkikų sukeliamą taršą KD g/kwh; n – vilkikų skaičius; E_s – Euro standartas

Vadovaudamiesi šiuo skaičiavimu, matome, kad pietų piko metu 215 sunkvežimių, važiuojančių Šilutės plentu, viename kilometre kelio išmeta apie 17,2 g. kietųjų dalelių. Kadangi tirama atkarpa yra beveik 4 km ilgio, per visą ruožą išmetama maždaug 68,8 g. kietųjų dalelių. Nors šie skaičiai atrodo nedideli, reikia prisiminti ir kitus kietųjų dalelių šaltinius, tokius kaip padangų ir stabdžių nusidėvėjimas, dėl kurių reali tarša yra gerokai didesnė. Be to, šios kietosios dalelės, priešingai nei CO ar CO_2 dujos, nesuyra ore, o lieka aplinkoje.

Pirmas pasiūlymas. Siūloma Šilutės plento pirmąją juostą skirti tik autobusų ir sunkiasvorių transporto priemonių eismui. Sunkiasvorės transporto priemonės šioje atkarpoje gali judėti tik tiesiai, į kairę pasukti draudžia kelio ženklai. Kadangi sunkiasvorės transporto priemonės piko metu lėtina eismą, toks sprendimas gerokai sumažintų jų daromą poveikį lengvųjų automobilių srautui. Šilutės plente yra trys eismo juostos: viena būtų skirta viešajam ir sunkiajam transportui, o kitos dvi – lengviesiems automobiliams. Juostos išdėstymą galima matyti 3 pav. Analizuojant Klaipėdos autobusų maršrutų grafiką nustatyta, kad per valandą viena kryptimi prospektu pravažiuoja apie 15 autobusų, t. y. maždaug vienas kas keturias minutes, o pietų piko metu – apie 215 vilkikų. Vadinas, per minutę pravažiuoja 3–4 sunkvežimiai. Šie skaičiai leidžia daryti išvadą, kad autobusai ir vilkikai galėtų efektyviai dalintis viena juosta, taip būtų padidinantis lengvųjų automobilių ir vilkikų judėjimo pralaidumas.



3 pav. Šilutės plento maketas, kuriame pateikti sunkiojo transporto skaičiavimo rezultatai
Šaltinis: sudaryta autorių

Antras pasiūlymas. Siūloma apriboti sunkiojo transporto eismą: buvo pastebėta, kad daug vilkikų, grįžtančių iš Jūrininkų prospekto, nuolat suka į Šilutės plentą, nes tai trumpiausias kelias link Vilniaus plento. Toks transporto kiekis piko metu intensyvina eismą ir mažina pralaidumą. Siekiant sumažinti taršą Šilutės plente, rekomenduojama riboti vilkikų įvažiavimą iš Jūrininkų prospekto ir leisti važiuoti tik tiems sunkvežimiams, kurie turi leidimus patekti į įmones. Draudžiamasis ženklas būtų pastatytas „T“ formos Jūrininkų prospekto ir Šilutės plento sankryžoje, o kiti vilkikų vairuotojai būtų nukreipiami aplink miestą per Rimkus. Tokia priemonė padėtų sumažinti sunkiojo transporto srautą ir jų išmetamų teršalų kiekį Šilutės plente.

Išvados ir pasiūlymai

1. Atlikus tyrimą Klaipėdoje, Šilutės plente, kuriame analizuotas vilkikų srautas, nustatyta, kiek vilkikų pravažiuoja piko valandomis. Didžiausias sunkvežimių skaičius užfiksuotas per pietų piką – 215 vienetų, o vakarinio piko metu jų buvo gerokai mažiau. Mažiausias vilkikų judėjimas stebėtas rytinio piko metu.
2. Išanalizavus tyrimo duomenis Šilutės plente, buvo pateiktos rekomendacijos, skirtos didinti eismo laidumą ir mažinti išmetamąsias dujas. *Pirmoji rekomendacija:* siūloma pirmąją juostą skirti bendram vilkikų ir autobusų eismui, kad sumažėtų stabdymas dėl lengvųjų automobilių. Taip pat siūloma sumontuoti išmaniuosius šviesoforus, kurie optimizuotų visų transporto priemonių judėjimą. *Antroji rekomendacija:* drausti vilkikams įvažiuoti į Šilutės plentą iš Jūrininkų prospekto ir nukreipti juos aplink miestą per Rimkus. Rimkų miesteliui tai nebūtų papildoma apkrova, nes Jūrininkų prospektas yra kaip aplinkelis į jūrų uostą sunkiasvorės transporto priemonėms. Atsižvelgus nors į vieną rekomendaciją, manoma, pagerėtų eismo pralaidumas Šilutės plente ir būtų mažinama tarša.

Literatūra

Burns, G. L. (2016). *Air pollution: management strategies, environmental impact and health risks*. Nova Science Publishers,

Inc.

Camilleri, S. F., Montgomery, A., Visa, M., Schnell, J. L., & Horton, D. E. (2022). Air quality and health implications of transitioning 30% of the US Midwest heavy-duty transport fleet from diesel to electric power. *The Lancet Planetary Health*, 6, S21. [https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(22\)00283-2](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(22)00283-2)

Chen, W., Wu, X., & Xiao, Z. (2023). Impact of Built Environment on Carbon Emissions from Cross-District Mobility: A Social Network Analysis Based on Private Vehicle Trajectory Big Data. *Sustainability*, 15(14), 10930. <https://doi.org/10.3390/su151410930>

Díaz, G., Macià, H., Valero, V., Boubeta-Puig, J., & Cuartero, F. (2020). An Intelligent Transportation System to control air pollution and road traffic in cities integrating CEP and colored Petri nets. *Neural Computing and Applications*, 32(2), 405–426. <https://doi.org/10.1007/s00521-018-3850-1>

Enerdata. (2022). *Medium and Heavy-Duty Vehicles Medium and Heavy-Duty Vehicles the New Frontier of Road Transport Electrification*.

Harish, M. (2012). A study on air pollution by automobiles in Bangalore city. *Management Research and Practice*, 4(3), 36–36.

Horvat, R. (2015). Traffic flow modelling on the road network in the cities. *Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette*, 22(2), 475–486. <https://doi.org/10.17559/TV-20150127093334>

Hwang, T., & Ouyang, Y. (2015). Urban Freight Truck Routing under Stochastic Congestion and Emission Considerations. *Sustainability*, 7(6), 6610–6625. <https://doi.org/10.3390/su7066610>

Lagha, A., Ben Daya, B., & Audy, J.-F. (2024). Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Heavy-Duty Trucking in a Non-Containerized Port through Simulation-Based Methods. *Sustainability*, 16(5), 1904. <https://doi.org/10.3390/su16051904>

Nakhawa, H. A., & Thipse, S. S. (2015). Characterization of the ultrafine and nano particle emissions on modified Indian driving cycle for passenger cars operating on CNG phase wise analysis. *Advanced Engineering Forum*, 14, 86–96. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AEF.14.86>

Olaniyan, T., Jeebhay, M., Rössli, M., Naidoo, R. N., Künzli, N., de Hoogh, K., Saucy, A., Badpa, M., Baatjies, R., Parker, B., Leaner, J., & Dalvie, M. A. (2020). The association between ambient NO₂ and PM_{2.5} with the respiratory health of school children residing in informal settlements: A prospective cohort study. *Environmental Research*, 186, 109606. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109606>

Paliulis, G. M. (2007). *Eismo inžinerija*. Vilnius Gediminas Technical University. <https://doi.org/10.3846/955-S>

Rajput, P., Prakash, J., & Sharma, D. (2022). High-Resolution Ambient Record of Aerosols over Delhi and Associated Typical Health Effects. In *Airborne Particulate Matter* (pp. 75–101). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-16-5387-2_5

Rodriguez, S. S., Dabadie, J.-C., Nguyen, M. Q., Cornet, C., Cheimariotis, I., & Chasse, A. (2023). Connected services for heavy-duty transport: mission profile optimization and impact assessment. *Transportation Research Procedia*, 72, 2816–2823. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.825>

Shafabakhsh, G. A., Taghizadeh, S. A., & Mehrabi Kooshki, S. (2018). Investigation and sensitivity analysis of air pollution caused by road transportation at signalized intersections using IVE model in Iran. *European Transport Research Review*, 10(1). <https://doi.org/10.1007/s12544-017-0275-3>

Stryhunivska, O., Zwolińska, B., & Giel, R. (2024). The Management of Harmful Emissions from Heavy-Duty Transport

Towards Sustainable Development. *Sustainability*, 16(24), 10988. <https://doi.org/10.3390/su162410988>

Traffic Engineering. (2022). *Traffic engineering- traffic studies and analysis- traffic volume study & traffic speed studies*. <https://esenotes.com/traffic-engineering-traffic-studies-and-analysis-traffic-volume-study-traffic-speed-studies/>

Vijayakumar, T., Reddy, K. N., Raghuvver, K., Karthik, P., & Sukumar, K. (2023). Impact of Juliflora Biodiesel on Diesel Engine Performance, Emissions and Combustion Characteristics. *International Journal of Vehicle Structures and Systems*, 15(6). <https://doi.org/10.4273/ijvss.15.6.26>

Wang, X., Song, G., Zhai, Z., Wu, Y., Yin, H., & Yu, L. (2021). Effects of Vehicle Load on Emissions of Heavy-Duty Diesel Trucks: A Study Based on Real-World Data. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8), 3877. <https://doi.org/10.3390/ijerph18083877>

Yaacob, N. F. F., Yazid, M. R. M., Abdul Maulud, K. N., Khahro, S. H., & Javed, Y. (2024). Spatio-Temporal Analysis of CO₂ Emissions from Vehicles in Urban Areas: A Satellite Imagery Approach. *Sustainability*, 16(23), 10765. <https://doi.org/10.3390/su162310765>

Yang, Z., Peng, J., Wu, L., Ma, C., Zou, C., Wei, N., Zhang, Y., Liu, Y., Andre, M., Li, D., & Mao, H. (2020). Speed-guided intelligent transportation system helps achieve low-carbon and green traffic: Evidence from real-world measurements. *Journal of Cleaner Production*, 268, 122230. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122230>

Yuan, X., Liu, X., & Zuo, J. (2015). The development of new energy vehicles for a sustainable future: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.016>

Zimakowska-Laskowska, M., Laskowski, P., Wojs, M. K., & Orliński, P. (2022). Prediction of Pollutant Emissions in Various Cases in Road Transport. *Applied Sciences*, 12(23), 11975. <https://doi.org/10.3390/app122311975>

EFFECTS OF HEAVY TRANSIT TRAFFIC RESTRICTIONS ON POLLUTION AND TRAFFIC CAPACITY ON ŠILUTĖ HIGHWAY

Jūratė Liebuviienė, Vida Jokunynienė

Klaipėdos valstybinė kolegija / Higher education institution

Summary. The study addresses the issue of heavy-duty transit traffic on Šilutė Avenue in Klaipėda, one of the city's principal arterial roads. The research aim was to evaluate the impact of truck flows on air pollution and traffic capacity, and to propose measures for mitigating these effects. A traffic survey was conducted to determine vehicle intensity during different peak periods. The findings showed that truck traffic was most intensive at midday, with approximately 215 vehicles per hour, while the lowest flow occurred in the morning. Calculations indicated that in a 4 km section of the road, around 68.8 g of particulate matter is emitted during peak hours. Based on these results, two solutions were proposed: 1. to allocate the first traffic lane to public and heavy vehicles, and 2. to restrict truck entry from Jūrininkai Avenue. These measures are expected to reduce emissions and enhance traffic flow efficiency.

Keywords: Heavy-duty transport, exhaust emissions, particulate matter, air pollution, traffic capacity.

ENHANCING TECHNICAL ENGLISH FOR ESP LEARNERS THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Svetlana Toropoviene

Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58-1

Abstract This article explores the application of Artificial Intelligence (AI) in the field of English for Specific Purposes (ESP), with a focus on Technical English instruction for learners specializing in Automotive Technical Maintenance, Automobile Electronics, Electrical Automation, and Energy Engineering. Grounded in educational theory and informed by case-based analysis as well as survey, the article evaluates how AI tools such as ChatGPT, Grammarly, LingQ, and AI-driven Learning Management Systems (LMS) contribute to domain-specific vocabulary acquisition, communication skills, and applied learning. The study aims to offer educators insights into the integration of AI into curriculum design, fostering learner autonomy and bridging the gap between technical training and language proficiency.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), English for Specific Purposes (ESP), technical English, language learning tools, curriculum integration.

Introduction

English for Specific Purposes (ESP) is a branch of English language education that focuses on developing learners' language skills in specific professional or academic fields. Within ESP, Tec

hnical English plays a crucial role for students preparing for careers in technical domains such as automotive maintenance, automobile electronics, electrical automation, and energy engineering (Dudley-Evans & St John, 1998). These fields require proficiency not only in general communication but also in understanding and producing domain-specific language, technical documentation, operating procedures, and safety communications.

Traditional methods of teaching Technical English often struggle to address the full spectrum of learners' needs. Printed textbooks, standardized listening exercises, and non-interactive grammar drills rarely reflect the dynamic, context-rich environments that technical students will encounter in their future workplaces (Hutchinson & Waters, 1987). Moreover, teachers frequently face challenges such as a lack of authentic materials, limited time for personalized feedback, and difficulty simulating realistic technical tasks in classroom settings.

Artificial Intelligence (AI) has emerged as a transformative force in education, offering solutions that can help overcome these challenges. By integrating AI technologies into ESP instruction, educators can create personalized learning experiences that mirror real-world professional demands. These tools provide opportunities for simulating interactive workplace communication, analyzing authentic texts, and receiving instant feedback on technical writing—all of which are vital for building communicative competence in a specific field (Warschauer & Healey, 1998).

The relevance of AI tools in ESP is particularly significant for technical students. For instance, those studying automotive technical maintenance benefit from practicing customer service dialogues and interpreting diagnostic reports, while students of electrical automation need to master descriptions of circuit operations and safety regulations. Energy engineering students, on the other hand, must become familiar with compliance documentation and

sustainability discourse. AI technologies can support all of these needs by providing contextualized and adaptive content aligned with each specialty.

AI applications such as ChatGPT (a conversational AI model), Grammarly (a grammar and style correction tool), LingQ (an extensive reading platform), and intelligent LMS platforms (such as Canvas or Knewton) are increasingly used in vocational settings. These tools facilitate not only language acquisition but also engagement with technical subject matter in English (Godwin-Jones, 2011). Through AI-powered environments, students can simulate on-the-job scenarios, receive immediate error corrections, and engage in task-based learning activities tailored to their field.

The role of AI in enhancing Technical English instruction for ESP learners has gained traction in recent scholarly research. Ngo and Hastie (2024), in their study at a Scottish university, introduced an AI-integrated module in English for Academic Purposes and observed improved student outcomes in AI literacy, critical evaluation, and confidence in using AI tools. Similarly, Koç and Savaş (2024) conducted a meta-synthesis of 57 articles that analyzed AI chatbot usage in English language learning. Their findings confirmed that chatbots increased learner motivation and engagement while offering instant feedback—a factor crucial for students in technical specialties where real-time task correction is vital. Furthermore, Mamirova (2024) emphasized the importance of AI in personalized ESP education, concluding that AI tools helped align instruction with each learner's cognitive style and professional needs. These findings illustrate that incorporating AI into ESP classrooms can address the specific learning styles and objectives of students in automotive, electronics, and energy disciplines, thus supporting more adaptive and effective instruction.

Aim and Goals of the Study The primary aim of this study is to examine the integration of Artificial Intelligence (AI) tools in the teaching and learning of Technical English for students in specialized ESP programs—specifically in the fields of Automotive Technical Maintenance, Automobile Electronics, Electrical Automation, and Energy Engineering.

The specific goals of this research are to:

1. Identify how AI tools support the development of language skills necessary for domain-specific technical communication.

2. Analyze the suitability and impact of specific AI technologies such as ChatGPT, Grammarly, LingQ, and AI-driven LMS platforms for ESP contexts.

3. Assess the benefits and limitations of AI-supported learning for both students and instructors in vocational technical education.

4. Propose practical strategies for effectively integrating AI into ESP curriculum and instructional design based on students' survey conducted.

Research Methods This study employs a qualitative theoretical-analytical approach supported by a review of recent literature, case-based educational practices, and tool-based performance evaluation. Data and insights were drawn from the following methods:

Literature Review: Analysis of key theories (Constructivism, Connectivism, Cognitive Load) and applied research on AI integration in ESP.

Case Studies and Practical Scenarios: Examination of field-specific student activities involving AI tools in technical subjects such as automobile diagnostics, circuit interpretation, and energy compliance documentation.

Tool-Based Comparison: Evaluation of AI platforms based on usability, learning outcomes, and appropriateness for vocational English contexts.

Survey: Questionnaire to the 1st year students of Technical Faculty at the Vilnius College.

1. Theoretical Framework

From a theoretical perspective, the use of AI in ESP instruction aligns with constructivist, connectivist, and cognitive load theories. Constructivist theory emphasizes learning through active engagement in meaningful tasks, which AI can support by simulating real-world problems (Vygotsky, 1978). Connectivism highlights the importance of accessing and synthesizing knowledge from a variety of sources, a process enhanced by AI's capacity to deliver curated and context-specific content (Siemens, 2005). Meanwhile, cognitive load theory underlines the necessity of minimizing extraneous information, something that AI tools achieve through simplification, chunking, and visualization (Sweller, 1994).

To support this growing interest in AI integration, recent empirical studies have provided valuable statistical insights. A 2024 survey by the Digital Education Council involving 3,839 students from 16 countries revealed that 86% already use AI tools in their studies. Among them, 69% used AI for information searches, 42% for grammar checking, and 33% for summarizing documents. However, 58% felt unprepared for AI-integrated work environments, and 80% believed their institutions lacked adequate AI integration.

Similarly, a German university study (Garrel, Mayer, 2023) found that although only 17.2% of students had experienced AI in formal teaching, many used it independently to improve writing, generate ideas, and translate texts. Particularly, foreign students viewed AI as a

means to bridge language gaps. In Bangladesh, over 80% of EFL learners identified AI tools like Grammarly as effective in improving grammar and vocabulary, while 65.4% found that AI saved time in completing assignments.

In Latvia, engineering students reported using ChatGPT, Grammarly, and DeepL for paraphrasing and creating technical presentations. About 66% believed AI enhanced their learning outcomes, though some warned against overreliance. A Ukrainian study found ChatGPT widely used for language support and research among students in business, IT, and engineering fields, reinforcing the need for tailored integration strategies.

Moreover, a 2024 meta-analysis of 40 empirical studies with over 3,000 participants showed AI has a strong positive effect ($g = 0.812$) on English learning achievement. This confirms the high potential of AI tools in ESP learning environments, especially for technical disciplines where language and content are deeply intertwined.

The integration of AI into ESP instruction is not without challenges. Questions remain about the accuracy of AI-generated content, particularly in highly technical contexts. There is also concern about learners becoming overly reliant on AI, potentially undermining critical thinking and independent language production. Additionally, disparities in access to digital tools may widen existing educational inequalities (Selwyn, 2019).

2. AI Tools Used in Technical English Teaching and Learning

Despite these limitations, the potential of AI to enhance the teaching and learning of Technical English is substantial. By offering real-time interaction, immediate feedback, and authentic content tailored to technical domains, AI can transform how students engage with language learning. As technical industries continue to globalize, proficiency in English is not just an academic requirement but a professional necessity. AI stands as a valuable ally in helping ESP learners meet this demand.

ChatGPT (OpenAI) generates realistic dialogue and technical scenarios using natural language generation. Students in automobile maintenance programs can interact with ChatGPT to simulate repair dialogues, diagnostic interviews, or safety briefings. In energy engineering, learners can query ChatGPT for explanations of technical standards or protocols.

Advantages:

- Creates realistic technical dialogues in English.
- Supports content explanation and interactive vocabulary learning.
- Available 24/7 for individual practice and clarification.

Disadvantages:

- May misinterpret complex or context-specific technical queries.
- Requires supervision to ensure content validity and safety standards alignment.

Grammarly offers grammatical, stylistic, and clarity suggestions based on context. Learners can draft technical reports, lab summaries, or service documentation and receive

real-time correction and tone adjustment. For example, energy engineering students writing project briefs benefit from feedback on technical expression and formality.

Advantages:

- Enhances technical writing accuracy.
- Encourages professional tone adherence.

Disadvantages:

- Does not recognize highly specialized terminology.
- May oversimplify technical phrasing.

LingQ offers authentic content and tracks reading and listening progress. Students can access articles, podcasts, and manuals related to automotive electronics or electrical engineering. Custom word lists help reinforce field-specific vocabulary.

Advantages:

- Encourages extensive reading on technical subjects.
- Builds listening fluency through context.

Disadvantages:

- Lacks speaking and writing practice features.
- Relies on learner discipline.

AI-driven LMS (e.g., Knewton, Canvas) adapts learning paths and provides performance-based content sequencing. Electrical automation learners can follow personalized modules on safety terminology, machine operations, or blueprint interpretation. The LMS adjusts pacing and content based on assessment outcomes.

Advantages:

- Personalizes instruction for technical learning levels.
- Automates formative feedback.

Disadvantages:

- May require complex setup and institutional support.
- Needs careful design to integrate both language and technical training.

AI tools enable technical students to engage with realistic content, simulate workplace interactions, and receive feedback tailored to their professional context. However, these benefits are contingent on appropriate task design and instructor guidance. For example, AI-generated dialogues must be critically evaluated to ensure accuracy and relevance. Furthermore, balancing automation with critical thinking and collaborative problem-solving remains essential. The combination of technical expertise and communicative competence should be the goal, with AI serving as a bridge—not a replacement—for teacher-mediated learning.

2.1. Practical Applications and Case Studies

Automobile Electronics: Learners used ChatGPT to role-play customer-service interactions and troubleshoot dashboard diagnostics. By generating various failure scenarios, they expanded their procedural vocabulary and practiced explanation skills.

Electrical Automation: Students practiced explaining circuit functionality to AI chatbots. They used Grammarly to refine maintenance log entries and operational reports, improving clarity and consistency.

Energy Engineering: Learners used LingQ to explore texts on sustainable energy technologies, building field-specific reading fluency. LMS modules were aligned with

IEC and OSHA standards to provide targeted language practice for safety and compliance communication.

3. Impact Analysis of AI Use in Technical ESP Education

AI technologies profoundly affect the teaching and learning of Technical English for students in automotive technical maintenance, automobile electronics, electrical automation, and energy engineering. The following analysis outlines the core advantages and disadvantages, supported by observations and practical implications.

Advantages

1. **Personalized Learning** – AI systems such as adaptive LMSs and chatbots tailor content to student proficiency and interests, which increases motivation, promotes autonomy, and suits vocational learners' practical orientation.

2. **24/7 Access to Practice** – Tools like ChatGPT provide support outside class hours, allowing reinforcement during internships or work placements.

3. **Contextualized Technical Communication** – AI simulates job-relevant tasks like safety briefings or equipment operation dialogue, supporting authentic ESP development.

4. **Enhanced Feedback and Error Correction** – Tools such as Grammarly improve writing quality for lab reports and service documentation.

5. **Vocabulary Acquisition** – Platforms like LingQ expose learners to domain-specific terms in authentic use, reinforcing language retention.

6. **Integration with Multimodal Learning** – AI supports learners who benefit from visual, auditory, or interactive media, aiding retention.

7. **Workplace Readiness** – AI tools familiarize students with digital technologies found in industry environments.

Disadvantages

1. **Inaccuracy in Technical Contexts** – Chatbots may occasionally generate incorrect technical responses, which can be problematic without educator oversight.

2. **Over-Reliance on Technology** – Students may become too dependent on AI tools, impeding independent communication skills.

3. **Limited Speaking Practice** – Most tools are text-based, offering minimal practice for oral communication skills.

4. **Low Interpretive Skills** – AI may bypass deep engagement with text, leading to weaker critical reading and evaluation.

5. **Digital Divide** – Inconsistent access to devices or internet can create inequalities in AI-assisted learning opportunities.

6. **Reduced Human Interaction** – AI-based learning may reduce collaborative and interpersonal communication opportunities.

7. **Language Bias and Simplification** – AI-generated language may lack the complexity or precision required in technical documentation.

4. Survey

This study investigates the impact of AI tools on the development of Technical English skills among English for Specific Purposes (ESP) learners. A survey of 75 technical students revealed 100% usage of AI tools, with ChatGPT being the most frequently used. Key uses included grammar correction, idea generation, and technical translation. While 94.6% of respondents reported improved performance, challenges such as translation inaccuracies and passive learning were noted. Results support integrating AI-based activities into ESP classrooms with appropriate pedagogical support to enhance engagement and language competence.

Methods: A structured questionnaire was administered to 75 technical students of the first year enrolled in ESP courses. Items focused on tool usage frequency, learning purposes, perceived benefits, challenges, and desired classroom activities. Data were analyzed using descriptive statistics to identify trends and inform instructional design.

Results: All 75 participants (100%) reported using AI tools. ChatGPT was used by all, followed by Grammarly (8 users), and DeepL (8 users), LingQ (4), QuillBot (1). The most frequently used AI tools are shown in Fig 1.

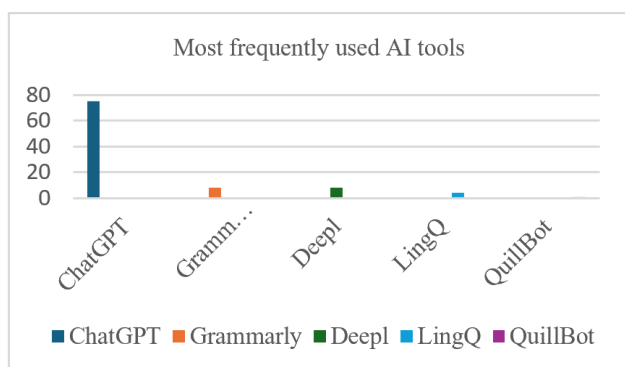


Fig 1. AI Tool Use

Learning Purposes: Most common AI uses such as grammar correction (36), idea generation (34), and translation (28) are demonstrated in the following Fig 2.

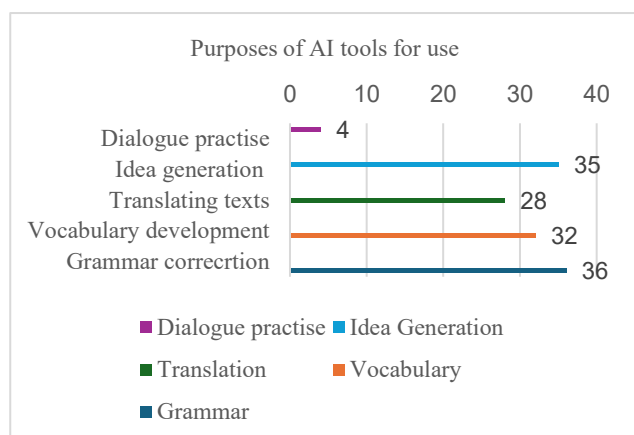


Fig 2. Learning Purposes of AI tools for use

Perceived Helpfulness: 73 students (97.3%) found AI tools helpful for understanding technical terminology.

Performance Impact: 16 students (21.3%) reported significant improvement, and 55 (73.3%) slight improvement while using AI.

Challenges: the following issues while applying AI such as Inaccurate translations (30), overreliance (13), and unclear feedback (13) were noted by respondents.

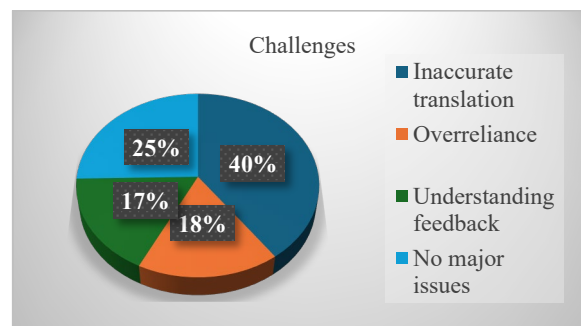


Fig 3. Challenges of AI use for learning purposes

Preferred Activities: Students favored vocabulary games (33) and AI-assisted writing tasks (27).

Discussion: Findings indicate high engagement with AI tools, especially ChatGPT, for tasks aligned with ESP needs—grammar, technical comprehension, and writing. Positive learner attitudes suggest strong potential for classroom integration. However, risks such as inaccurate translations and passive learning signal a need for guided, critical use. Vocabulary games and writing activities present entry points for curriculum design.

The integration of AI tools into English for Specific Purposes (ESP) instruction is increasingly influencing students' technical language acquisition. Survey data from 75 students revealed that ChatGPT was overwhelmingly the most used tool, with all participants reporting some level of engagement, while others such as Grammarly and DeepL saw comparatively marginal use. This finding aligns with Hockly's (2018) observation that conversational AI technologies are becoming central to autonomous language learning environments. Students predominantly employed AI for grammar correction (48%), idea generation (43%), and translation (37%), indicating that these tools effectively support both micro- and macro-level writing tasks. Notably, 97% of respondents reported that AI tools were helpful or very helpful in mastering technical terminology, echoing Peters and Jandrić's (2019) findings on AI's role in enhancing discipline-specific vocabulary acquisition.

However, despite the broadly positive impact, some students expressed concerns about translation accuracy and the risk of overreliance on AI assistance. These challenges underscore the need to incorporate AI literacy and critical evaluation into the learning process, as Zawacki-Richter et al. (2019) emphasized the importance of shifting from passive learning behaviors to exploratory, tool-assisted engagement.

Overall, the results demonstrate that AI tools—particularly ChatGPT—have become integral to technical English learning among ESP students. Most learners experienced noticeable improvement in language performance through AI-supported study, especially in grammar correction, translation of specialized texts, and

generating ideas. To enhance learning outcomes further, it is recommended that educators integrate AI strategically into ESP curricula. Classroom activities should emphasize active engagement, including vocabulary games, writing challenges, and contextualized chatbot interactions, which students rated highly. Instructors should also provide guidance on the critical use of AI, helping students assess and validate AI-generated content. By addressing the risks of overreliance and promoting digital literacy, educators can ensure that AI tools function as a support mechanism rather than a crutch, ultimately fostering independent language development and confidence in technical communication.

Conclusion and recommendations

This research demonstrates that AI technologies offer transformative potential for teaching Technical English in ESP contexts such as automotive maintenance, electrical automation, and energy systems. AI enhances learner engagement, scaffolds complex terminology, and provides realistic communication scenarios that reflect workplace demands.

Survey data from 75 students revealed that ChatGPT was overwhelmingly the most used tool, with all participants reporting some level of engagement. The analysis highlights that tools like ChatGPT, Grammarly, LingQ, and adaptive LMSs are particularly effective in supporting vocabulary development, technical documentation, and contextualized communication. These platforms empower students with 24/7 personalized access, enabling independent and blended learning approaches that align well with hands-on vocational training.

Nevertheless, despite the broadly positive impact, several students articulated reservations concerning the reliability of AI support, particularly with respect to translation accuracy and the potential for overdependence on such tools. The survey data further revealed specific challenges reported by respondents, including inaccurate translations ($n = 30$), tendencies toward overreliance on AI assistance ($n = 13$), and instances of unclear or ambiguous feedback ($n = 13$). Additionally, disparities in digital access and the reduction of collaborative learning opportunities may affect student outcomes.

In conclusion, while AI is not a replacement for skilled instruction, it represents a powerful supplementary tool. When implemented thoughtfully—with tasks designed around real-world technical applications and supported by educator oversight—AI can bridge linguistic gaps, foster autonomy, and prepare ESP learners for successful communication in global technical professions.

References

- Dudley-Evans, T., & St John, M. J. (1998). *Developments in English for Specific Purposes: A multi-disciplinary approach*. Cambridge University Press.
- Digital Education Council. (2024). *Key results from DEC Global AI Student Survey 2024*. Retrieved from: <https://www.digitaleducationcouncil.com/post/what-students-want-key-results-from-dec-global-ai-student-survey-2024>
- Godwin-Jones, R. (2011). Emerging technologies: Autonomous language learning. *Language Learning & Technology*, 15(3), 4–11.
- Hockly, N. (2018). Artificial intelligence in language teaching. *ELT Journal*, 72(4), 322–331. <https://doi.org/10.1093/elt/ccy034>
- Hutchinson, T., & Waters, A. (1987). *English for specific purposes: a learning-centred approach*. Cambridge University Press.
- Koç, F. Ş., & Savaş, P. (2024). The use of artificially intelligent chatbots in English language learning: A systematic meta-synthesis study of articles published between 2010 and 2024. *ReCALL*, 36(2), 123–145.
- Mamirova, M. R. (2024). The impact of artificial intelligence on teaching English for specialized purposes (ESP) in the educational field. *Journal of Academic Research and Trends in Educational Sciences*, 2024(1), 314–316. Retrieved from <https://ijournal.uz/index.php/jartes/article/view/1640>
- Ngo, T. N., & Hastie, D. (2024). Artificial Intelligence for Academic Purposes (AIAP): Integrating AI literacy into an EAP module. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 5, 100050. <https://doi.org/10.1017/S0958344024000123> Cambridge University Press & Assessment
- Peters, M. A., & Jandrić, P. (2019). The Digital University: A dialogue and manifesto. *Educational Philosophy and Theory*, 51(11), 1110–1123. <https://doi.org/10.1080/00131857.2019.1629610>
- Selwyn, N. (2019). *Should robots replace teachers? AI and the future of education*. Polity Press.
- Siemens, G. (2005). Connectivism: A learning theory for the digital age. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, 2(1), 3–10.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), 295–312.
- Von Garrel, J., & Mayer, J. (2023). Artificial Intelligence in studies—use of ChatGPT and AI-based tools among students in Germany. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), Article 23. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/s41599-023-02304-7>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Warschauer, M., & Healey, D. (1998). Computers and language learning: An overview. *Language Teaching*, 31(2), 57–71.
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 1–27. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>

STUDENTŲ TECHNINĖS ANGLŲ KALBOS TOBULINIMAS ESP PASITELKIANT DIRBTINĮ INTELEKTĄ

Svetlana Toropovienė

Vilniaus kolegija

Santrauka. Šiame straipsnyje nagrinėjamas dirbtinio intelekto (DI) taikymas mokant anglų kalbos specialiesiems tikslams (ESP), daugiausia dėmesio skiriant techninės anglų kalbos dėstymui *Automobilių techninio eksploatavimo, Automobilių elektronikos sistemų, Atsinaujinančios energijos inžinerijos, Elektros ir automatikos inžinerijos* studijų programų studentams. Vadovaujantis švietimo teorija, atvejų analize ir apklausos rezultatais, straipsnyje vertinama, kaip DI įrankiai (*ChatGPT*,

Grammarly, LingQ) ir dirbtiniu intelektu grįstos mokymosi valdymo sistemos (LMS) prisideda prie techninio žodyno įsiminimo, komunikacinių gebėjimų ugdymo ir praktinio mokymosi. Šio straipsnio tikslas – suteikti pedagogams įžvalgų apie DI integraciją į mokymo programas, skatinti studentų

savarankiškumą ir mažinti atotrūkį tarp techninio rengimo ir kalbinės kompetencijos.

Reikšminiai žodžiai: dirbtinis intelektas (DI), anglų kalba specialiesiems tikslams (ESP), techninė anglų kalba, kalbos mokymosi įrankiai, mokymo programų integracija.

ATRAMŲ SU LANKSČIAIS ELEMENTAIS MODELIAVIMAS TAIKANT BEM

Audrius Čereška^{1,2}, Andrius Terebas¹

¹*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Plytinės g. 25, Vilnius*

²*Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58-1, Vilnius*

Anotacija. Atrama – mašinos elementas, perduodantis apkrovas pagrindui arba kitoms konstrukcijoms. Paprasta atrama skirta atlaikyti išilgine kryptimi veikiančias jėgas, o lanksti atrama – išilgine ir skersine kryptimis veikiančias jėgas. Lanksčių atramų naudojimo galimybės yra labai plačios. Tiksliojoje mechanikoje lanksčios atramos naudojamos pozicionavimo, mikro pozicionavimo, vibraciją slopinančiose sistemose, taip pat kai reikia tvirtinti su reguliavimu ir kitais konstrukciniais atvejais. Pagrindinė lanksčių atramų problema – stabilumo užtikrinimas. Šiame darbe tiriamos atramų su skirtingų storių ir medžiagų lanksčiais elementais stabilumo priklausomybė nuo lankstaus elemento medžiagos ir gabaritų. Atliktas lanksčių atramų standumo modeliavimas taikant baigtinių elementų metodą (BEM). Atlikus BEM rezultatai analizuoti ir suformuluotos išvados. Gauti duomenys gali būti praktiškai naudojami tiriant ir projektuojant naujas pageidaujamą stabilumą užtikrinančias lanksčias atramas bei tobulinant esamas atramų konstrukcijas.

Reikšminiai žodžiai: atrama su lanksčiais elementais, standumas, poslinkis, baigtinių elementų metodas (BEM).

Įvadas

Gamtoje galima rasti labai daug lanksčių mechanizmų analogijų. Šios analogijos atkartojamos įvairiuose mechanizmuose. Prietaisų gamyboje lanksčios atramos naudojamos patikimam tvirtinimui prie pagrindo su reguliavimo ir vibracijų slopinimo galimybėmis.

Optinių prietaisų gamyboje lankstūs mechanizmai integruojami veidrodžiams ir lęšiams tvirtinti, kai reikia tiksliai juos suderinti. Tokio tipo konstrukcija dažnai naudojama optinio spindulio kreipimo sistemose. Užtikrinant optinių mazgų ir prietaisų tvirtinimo stabilumą ir kompensuojant deformacijas, kurių gali atsirasti dėl šiluminio plėtimosi ar tvirtinimo prie pagrindo metu. Lanksčių atramų naudojimas yra efektyvus ir ekonomiškai techninis sprendimas.

Kosmoso pramonėje lankstūs mechanizmai naudojami labai plačiai. Jais tvirtinami ypač jautrūs ir tikslūs prietaisai ir jų komponentai. Komunikacijos antenų konstrukcijose lankstūs mechanizmai atlieka tikslų judesių valdymo funkcijas. Tvirtinimo konstrukcija priklauso nuo techninių reikalavimų (Slocum, 2010).

Mokslinėje literatūroje pateikta daug lanksčių atramų su lakštinėmis spyruoklėmis tyrimų. 1956 metais publikuotame straipsnyje (Jones, 1956) nagrinėtas optinių prietaisų gamyboje naudojamas mechanizmas su lygiagrečiai išdėstytomis lakštinėmis spyruoklėmis. Šių mechanizmų populiarumą patvirtina nauji moksliniai straipsniai. Straipsnyje (Brouwer, Meijaard, Jonker, 2013) pateiktas atnaujintas tokio mechanizmo matematinis modelis. Šių atramų standumas ir stabilumas tirtas darbuose (Leach, Smith 2020; Smith, Chetwynd, 2005), atlikta daug mokslinių tyrimų (Awtar, Slocum, Sevincer 2007; Brouwer, Meijaard Jonker, 2011; Aktas, Howe, 2019).

Publikuotame straipsnyje (Brouwer, Meijaard, Jonker, 2011) pateiktas lanksčios atramos standumo skaičiavimo formulų išvedimas, kai poslinkiai dideli. Idealiu atveju atramos su lygiagrečiomis lakštinėmis spyruoklėmis standumas turėtų būti didelis, tačiau didėjant poslinkiui jis mažėja. Atlikta konstrukcijos baigtinių elementų analizė. Pateiktos aproksimuotos lygtys, skirtos tiksliai nustatyti deformacijos jėgai. Net kai įlinkiai santykinai dideli, išvestų

formulių skaičiavimo rezultatai tiksliai sutampa su baigtinių elementų analizės rezultatais.

Moksliniame straipsnyje (Aktas, Howe, 2019) tirtas reguliuojamo standumo mechanizmas. Šio mechanizmo veikimo principas yra toks pat kaip ir lanksčios atramos su lakštinėmis spyruoklėmis. Tačiau šio mechanizmo spyruoklės sudarytos iš kelių lakštų. Eksperimento rezultatai parodė, kad naudojant žemo lygio vakuumą standumas padidėja apie 12 kartų.

Darbų (Meijaard, Brouwer, Jonker 2010; Nijenhuis, Meijaard, Brouwer, 2020) tikslas – nustatyti atramos tvirtinimo prie pagrindo ar surinkimo paklaidų įtaką atramos parametrams. Straipsnyje (Meijaard, Brouwer, Jonker, 2010) pristatytas analitinis, skaitinis ir eksperimentinis lanksčios atramos tyrimas. Šio tyrimo esmė yra nustatyti svirties pasukimo kampo įtaką lanksčios atramos saviems dažniams. Pagal šiuos pokyčius galima daryti išvadas apie tyrimo objekto standumo parametrų pokyčius. Eksperimentams buvo naudojamos dviejų tipų lakštinės 0,2 ir 0,37 mm storio spyruoklės. Tyrimo rezultatai parodė, kad nedideli kampo pokyčiai gali sukelti didelius lanksčios atramos statinių ir dinaminių parametrų pokyčius. Standumo sumažėjimas x ašies kryptimi praktinės reikšmės neturi. Tačiau mažas standumas ašį z ir y kryptimis gali sukelti iššūkių projektuojant mechanines sistemas su lanksčiomis atramomis. Šis neigiamas efektas akivaizdus, kai naudojamos plonos ir plokščios lakštinės spyruoklės. Darbe (Nijenhuis, Meijaard, Brouwer, 2020) tirta lanksti atrama su sukryžiuotomis lakštinėmis spyruoklėmis. Tyrimais nustatyta, kad ir labai nedidelis spyruoklių nesutapimas labai sumažina atramos standumą. Kai spyruoklių nesutapimas viršija 0,1 mm, standumas sumažėja kritiškai.

Darbe (Pan, Wu, Zhang, Wang, Tan, 2021) tirtos lakštinės spyruoklės pagamintos taikant 3D spausdinimo technologiją. Pasirinkta periodinė minimalaus paviršiaus grotelių struktūra. Šio tipo struktūros spyruoklės būdingos geros savybės.

Moksliniuose darbuose (Wei, Wang, Niu, Deng, Zhang, Cheng, 2018), (Hao, He, Awtar, 2019) pateikti lanksčios atramos tyrimai, kituose tyrimuose (Wei, Wang, Niu, Deng, Zhang, Cheng, 2018) lanksčios atramos

poslinkiams fiksuoti naudotas lazerinis jutiklis, o (Hao, He, Awtar, 2019) – skaitmeninis indikatorius, kuris mechaniškai kontaktuoja su tiriamu objektu.

Darbe (Wei, Yang, Wu, Niu, Shirinzadeh, 2022) tirta lanksti atrama su lanksčiu elementu, kurio skerspjūvis apskritimo formos. Sukurta lenkimo momentų pora, veikianti lanksčią atramą, kurios momentų dydžiai priklauso nuo svarelį masės. Standžios plokštelės galų poslinkiai matuoti nekontaktiniu būdu lazeriniais poslinkio matavimo jutikliais. Panašiu principu sukonstruotas ir sukimo tyrimo stendas. Šiuo tyrimu buvo nustatyta, kad atramos konstrukciją stipriau veikia sukimo deformacijos negu lenkimo deformacijos.

Straipsnyje (Zhou, Yu, Han, Wang, Guo, Qi, Zhang, 2023) tirta beveik nulinio šiluminio plėtimosi koeficiento struktūra, kuriai būdingas didelis rezonansinis dažnis. Eksperimento metu abi struktūros buvo kaitinamos (iki 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C, 45 °C, 50 °C temperatūrų) ir matuojamos jų deformacijos. Rezultatai parodė, kad struktūra su lanksčiais elementais deformavosi 92.4 % mažiau negu struktūra su varžtais.

Straipsnyje (Pham, Chen, 2005) pateiktas atramos standumo modeliavimas, taikant atramos elementų nuoseklųjį ar lygiagretųjį jungimo būdą. Modeliuojant nustatytas funkcinis ryšys tarp atramos elementų standumo ir matmenų. Atrama tirta taikant BEM ir eksperimentiškai.

Darbe (Zhang, Wang, Tang, Jiang, Chen, Ge, 2023) tirta lanksti atrama, kuriai būdingas mažas standumas, didelis sukimosi kampas, stiprumas ir funkcionalumas.

Straipsnyje (Friswell, Wang, 2007) tirtas lanksčios taškinės atramos standumas. Atrama modeliuota naudojant BEM ir taikant platų ribinių sąlygų spektrą. Skaitiniai rezultatai rodo, kad sistemos su lanksčiomis atramomis dažnis gali būti toks pats kaip ir sistemos su standžiomis atramomis.

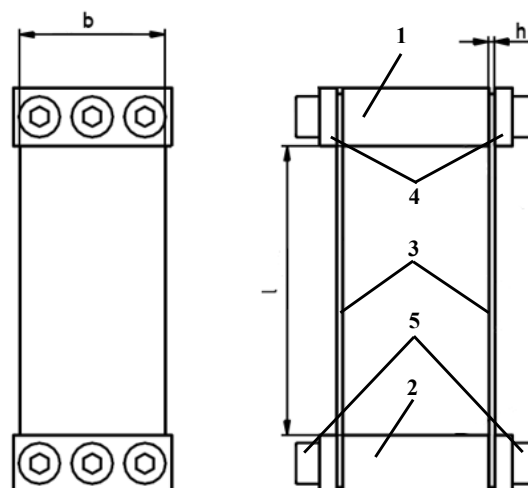
Moksliniame darbe (Conde, Simões da Silva, Santos, Lemma, Tankova, 2023) lanksčios jungties analizei taikytas komponentų metodas remiasi atskirų dalių standumo ir stiprumo analize, o tada įvardytos bendros jungties savybės. Siūlomas naujas mechaninis modelis, skirtas įvertinti priekinės plokštės komponento pradinį standumą esant neplokštuminei apkrovai. Modelis tirtas taikant eksperimentinį ir skaitmeninį parametrinį metodą. Gautas mažas rezultatų skirtumas.

Lanksčių atramų tyrimai plačiai aprašyti mokslinėje literatūroje, tarp teorinių ir eksperimentinių rezultatų akivaizdūs skirtumai. Mažai lanksčių atramų palyginamųjų tyrimų su skirtingų medžiagų, storių lanksčiais elementais.

Tyrimų tikslas – atlikti lanksčių atramų modeliavimą taikant BEM ir nustatyti skirtingų medžiagų ir plokštelių storio įtaką atramų standumui.

Tyrimų objektas

Šiame darbe tiriama lanksti atrama su lanksčiais elementais. Tiriamos atramos schema pateikta 1 pav. Tiriamą atramą sudaryta iš: viršutinio pagrindo, apatinio pagrindo, lanksčių elementų, poveržlių, varžtų.



1 pav. Tiriamos atramos principinė schema (1 – viršutinis pagrindas, 2 – apatinis pagrindas, 3 – lanksčius elementai, 4 – poveržlės, 5 – varžtai), b – plotis, h – storis, l – ilgis
Šaltinis: sudaryta autorių

Siekiant užtikrinti pakankamą lanksčios atramos standumą literatūroje (Eijk, 1985) rekomenduojama, kad ilgio ir pločio santykis būtų nuo 0,25 iki 0,5. Vadovaujantis rekomendacija lanksčių elementų matmenys parinkti tokie: ilgis $l = 50$ mm, plotis $b = 25$ mm ir atstumas tarp lanksčių atramų – 25 mm. Lanksčių atramų elementai pagaminti iš skirtingų medžiagų, kurių matmenys ilgis ir plotis l ir b vienodi, išskyrus storį h . Lanksčių elementų plokštelėms naudotos trys skirtingos medžiagos: aliuminis, titanas ir spyruoklinis plienas. Lanksčių atramų elementų techniniai parametrai pateikti 1 lentelėje.

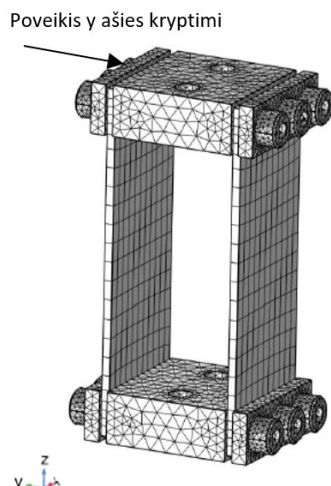
1 lentelė. Lanksčių elementų techniniai parametrai

Nr.	Medžiaga	Tankis, ρ kg/m ³	Tamprumo modulis, E GPa	Puasono koeficientas	Takumo riba, σ_{max} MPa	Stiprumo riba, MPa
1.	Aliuminis AlMg3	2660	70,5	0,33	80	215
2.	Titanas 3.7035	4510	105	0,32	270	390
3.	Spyruoklinis plienas 1.4310	7900	195	0,29	415	815

Lanksčios atramos modeliutos taikant BEM.

Lanksčios atramos modeliavimas taikant BEM

Tiriamos atramos BEM analizė atlikta naudojant „COMSOL Multiphysics“ programinę įrangą. Lanksčios atramos skaitinis modelis, padalintas į baigtinius elementus, pateiktas 4 pav. Lanksčios atramos apatinis pagrindas buvo fiksuojamas, o viršutinė dalis veikiamą jėgos y ašies kryptimi (2 pav.). Atramos BEM analizė atlikta keičiant pridėtinę jėgą, lanksčių elementų medžiagą ir plokštelių storį. Keičiant šiuos parametrus kito pagrindo poslinkis Δ_y , jėgos pridėjimo kryptimi. Nustatytas poslinkis Δ_y pridėjus jėgą F_y .

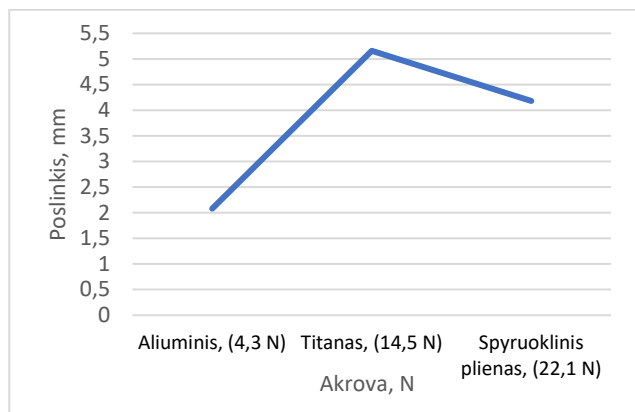


2 pav. Lanksčios atramos modelis, padalintas į baigtinius elementus
Šaltinis: sudaryta autorių

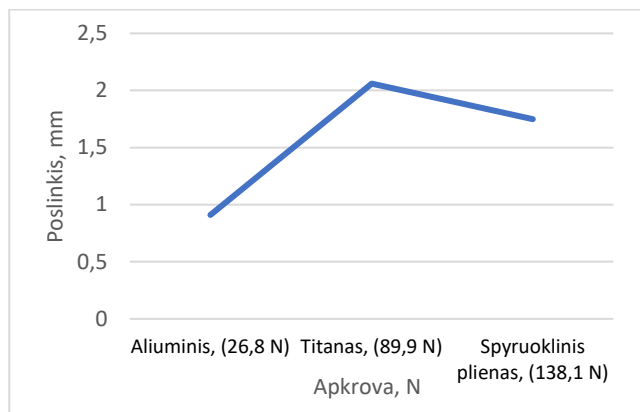
Atlikus BEM modeliavimą gauti poslinkių Δ_y pokyčių grafikai pateikti 3, 4, 5 pav.

Rezultatai ir apibendrinimas

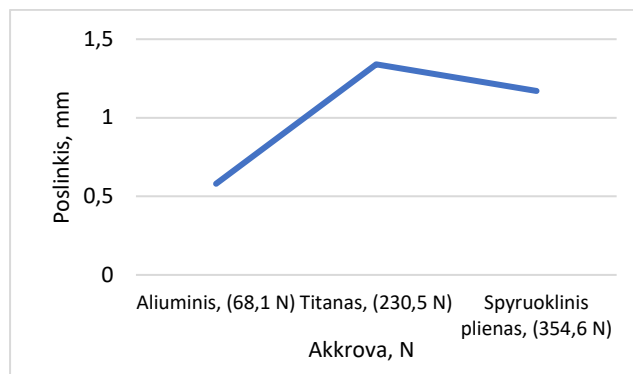
BEM analizės-rezultatai pateikti grafiškai 3, 4, 5 pav.



3 pav. Lanksčios atramos poslinkis, atsižvelgiant į pridėtą jėgą, kai plokštelės storis 0,4 mm
Šaltinis: sudaryta autorių



4 pav. Lanksčios atramos poslinkis, atsižvelgiant į pridėtą jėgą, kai plokštelės storis 1,0 mm
Šaltinis: sudaryta autorių



5 pav. Lanksčios atramos poslinkis, atsižvelgiant į pridėtą jėgą, kai plokštelės storis 1,6 mm
Šaltinis: sudaryta autorių

Pagal BEM modeliavimo rezultatus, pateiktus grafikuose, matoma, kad didžiausi poslinkiai gauti taikant spyruoklinį plieną, pridėjus 5,2 kartus didesnę jėgą negu taikant lanksčius elementus iš aliuminio ir 1,5 karto didesnę jėgą už atramą su lanksčiais elementais iš titano, kai plokštelės storis 0,4 mm. Panaši situacija su kitų storių plokštelių lanksčiais elementais. Taikant atramose 1,0 ir 1,6 mm aliuminio ir spyruoklinio plieno plokšteles, pridėtų jėgų skirtumas yra apie 5 kartus, o poslinkio skirtumas tik apie 2 kartus. Vadinasi, atrama su spyruoklinio plieno elementais standesnė už atramas iš titano ir ypač už atramas su aliuminio plokštelėmis.

Apibendrinus tyrimų rezultatus galima teigti, kad veikiant didelėms apkrovoms spyruoklinis plienas labiausiai tinkamas naudoti lanksčiose atramose. Atramos su 0,4 mm storio spyruoklinio plieno lanksčiais elementais esant tik 22,1 N apkrovai poslinkis 4,2 mm. Atrama su 0,4 mm storio aliuminio lanksčiais elementais praktiškai netinkama naudoti, nes esant tik 4,3 N apkrovai gautas net 2,1 mm poslinkis.

Išvados

1. Pateiktą atramą rekomenduojama naudoti, nes jos labai paprasta konstrukcija, todėl lengva ir pigu pagaminti, diagnozuoti gedimus. Kuo konstrukcija paprastesnė, tuo ji patikimesnė. Keičiant atramos lanksčių elementų medžiagą ir storį galima gauti pageidaujamus konstrukcijos parametrus.
2. Lyginant tris medžiagas geriausias jėgos ir poslinkio santykis gautas naudojant spyruoklinį plieną. Aliuminio ir spyruoklinio plieno jėgų santykis (19–81 %), o poslinkio santykis (50–50 %) lyginant atramas su 0,4 mm storio plokštelėmis.
3. Apibendrinus rezultatus galima teigti, kad veikiant didelėms apkrovoms lanksčiose atramose geriausia naudoti spyruoklinį plieną. Atrama su 0,4 mm storio aliuminio lanksčiais elementais praktiškai netinkama naudoti, nes esant 4,3 N apkrovai gautas net 2,1 mm poslinkis.

Literatūra

- Aktas, B., Howe, R.D. (2019). Flexure Mechanisms with Variable Stiffness and Damping Using Layer Jamming. *In Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, (pp. 4-8). <https://doi.org/10.1109/IROS40897.2019.8967759>
- Awtar, S., Slocum, A.H., Sevincer, E. (2007). Characteristics of Beam-Based Flexure Modules. *Journal of Mechanical Design*, 129(6), 625-639. <https://doi.org/10.1115/1.2717231>
- Brouwer, D.M., Meijaard, J.P., Jonker, J.B. (2013). Large deflection stiffness analysis of parallel prismatic leaf-spring flexures. *Precision Engineering*, 37(3), 505-521. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2012.11.008>
- Brouwer, D.M., Meijaard, J.P., Jonker, J.B. (2011). Stiffness analysis of parallel leaf-spring flexures. *In Proceedings of the 25th annual meeting of the American Society of Precision Engineering*, Atlanta, GA.
- Conde, J., Simões da Silva, L., Santos, A.F., Lemma, M.S., Tankova, T. (2023). A model for the initial stiffness of the face plate component. *Engineering Structures*, 295(15), 116836. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116836>
- Eijk, J.V. (1985). *On the design of plate-spring mechanisms* (Doctoral thesis). Delft University of Technology, Netherlands.
- Friswell, M.I., Wang, D. (2007). The minimum support stiffness required to raise the fundamental natural frequency of plate structures. *Journal of Sound and Vibration*, 301(3-5), 665-677. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2006.10.016>
- Hao, G., He, X., Awtar, S. (2019). Design and analytical model of a compact flexure mechanism for translational motion. *Mechanism and Machine Theory*, 142, 103593. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2019.103593>
- Jones, R.V. (1956). A parallel-spring cross-movement for an optical bench. *Journal of Scientific Instruments*, 33(7), 279. <https://doi.org/10.1088/0950-7671/33/7/411>
- Leach, R., Smith, S.T. (2020). *Basics of Precision Engineering* (1st ed.). Boca Raton, FL: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351204118>
- Meijaard, J.P., Brouwer, D.M., Jonker, J.B. (2010). Analytical and experimental investigation of a parallel leaf spring guidance. *Multibody System Dynamics*, 23(1), 77-97. <https://doi.org/10.1007/S11044-009-9172-4/METRICS>
- Nijenhuis, M., Meijaard, J.P., Brouwer, D.M. (2020). Misalignments in an over constrained flexure mechanism: A cross-hinge stiffness investigation. *Precision Engineering*, 62, 181-195. <https://doi.org/10.1016/J.PRECISIONENG.2019.11.011>
- Pan, A.J., Wu, B.J., Zhang, C.Y., Wang, D.H., Tan, E.J. (2021). Design and analyze of flexure hinges based on triply periodic minimal surface lattice. *Precision Engineering*, 68, 338-350. <https://doi.org/10.1016/J.PRECISIONENG.2020.12.019>
- Pham, H.H., Chen, I.M. (2005). Stiffness modeling of flexure parallel mechanism. *Precision Engineering*, 29(4), 467-478. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2004.12.006>
- Slocum, A. (2010). Kinematic couplings: A review of design principles and applications. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50(4), 310-327. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2009.10.006>
- Smith, S.T., Chetwynd, D.G. (2005). *Foundations of Ultraprecision Mechanism Design* (1st ed.). London, UK: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315272603>
- Wei, H., Wang, L., Niu, X., Deng, Y., Zhang, Y., Cheng, J. (2018). Stiffness characteristics of a laser beam melted (LBM) additive-manufactured flexure mechanism. *Procedia CIRP*, 78, 144-148. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.09.051>
- Wei, H., Yang, J., Wu, F., Niu, X., Shirinzadeh, B. (2022). Analytical modelling and experiments for hybrid multi-axis flexure hinges. *Precision Engineering*, 76, 294-304. <https://doi.org/10.1016/J.PRECISIONENG.2022.04.004>
- Zhang, Y.; Wang, Ch.; Tang, Sh.; Jiang, Y.; Chen, H.; Ge, W. (2023). Theoretical stiffness modeling and application research of a novel stacked flexure hinge. *Aerospace*, 10(7), 636. <https://doi.org/10.3390/aerospace10070636>
- Zhou, H., Yu, H., Han, X., Wang, Z., Guo, X., Qi, J., Zhang, X., Chai, H. (2023). Near-zero thermal mismatch flexure metastructure with high-resonant frequency. *Composite Structures*, 311, 116839. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2023.116839>

MODELING OF SUPPORTS WITH FLEXIBLE ELEMENTS USING FEM

Audrius Čereška^{1,2}, Andrius Terebas¹

¹Vilnius Gediminas Technical University

²Vilniaus kolegija/Higher Education Institution

Summary. A support is a machine element that transfers loads to the base or other structures. A simple support is designed to withstand forces acting in the longitudinal direction, while a flexible support is designed to withstand forces acting in the longitudinal and transverse directions. The possibilities of using flexible supports are very wide. In precision mechanics, flexible supports are used in positioning systems, micro-positioning systems, vibration-damping systems, as well as when fastening with adjustment and other structural cases are required. The main problem of flexible supports is ensuring stability. This work studies the dependence of the stability of supports with flexible elements of different thicknesses and materials on the material and dimensions of the flexible element. The stiffness modeling of flexible supports was performed using the finite element method (FEM). After performing FEM, the results were analyzed and conclusions were formulated. The obtained data can be practically used in the study and design of new flexible supports that ensure the desired stability, as well as in the improvement of existing support structures.

Keywords: support with flexible elements, stiffness, displacement, finite element method (FEM).

POLIO PAGRINDO LAIKOMOSIOS GALIOS NUSTATYMAS PAGAL POLIO STATINIO BANDYMO REZULTATUS

Danutė Sližytė, Kęstutis Urbonas, Rimantas Mackevičius

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, Vilnius

Anotacija. Šiuolaikinėje statyboje poliai dažnai naudojami dėl patikimumo ir gebėjimo atlaikyti dideles apkrovas. Projektuojant polius naudojami skirtingi skaičiavimo metodai, kurie tinka konkrečioms geotechninėms sąlygoms. Vienas iš pagrindinių polių laikomosios galios užtikrinimo metodų yra statinis polių bandymas. Tačiau interpretuojant rezultatus bei apkrovos ir nuosėdžio kreivę iškyla problema, kaip pasirinkti metodą ribinei laikomajai galiai nustatyti. Šiame straipsnyje apžvelgiami šeši grafiniai metodai, pritaikyti devyniems skirtingo ilgio ir skersmens CFA poliams, sumontuotiems skirtingose statybos aikštelėse Lietuvoje. Išanalizavus rezultatus, nustatyta, kad didžiausias ribinės laikomosios galios verčių pokytis užfiksuotas naudojant Decourt, Chin-Kondner ir Brinch Hansen 80 % metodus, o mažiausias – naudojant JAV armijos inžinerinį metodą. Taip pat pastebėta, kad esant skirtingoms apkrovos nusėdimo kreivėms, Decourt, Chin-Kondner ir Brinch Hansen 80 % metodais gautos keletą kartų didesnės ribinės laikomosios galios nei naudojant kitus metodus.

Reikšminiai žodžiai: apkrovos ir nuosėdžio kreivė, ribinė laikomoji galia, polių statiniai bandymai, pastovaus sraigtinio gręžimo poliai

Įvadas

Šiuolaikinė statybų pramonė daug dėmesio skiria patikimam saugių pastatų projektavimui. Naujausi plėtros iššūkiai reikalauja ne tik tikslų projektavimo procedūrų, bet ir pasirinktų projektavimo prielaidų patikros. Pagal Euronormų projektavimo principus turi būti atliekami ir polių bandymai. Polių bandymai yra labai svarbus etapas vertinant polių patikimumą. Šių bandymų rezultatai suteikia svarbios informacijos apie polių laikomąją galią.

Bandymų rezultatai labai priklauso nuo bandymų programos ir bandymų sąlygų. Labai svarbu pasirinkti tinkamą vietą bandymams statybvietėje. Polių bandymų sąlygos turi atitikti realias polių eksploatacijos sąlygas. Bandymų rezultatų vertinimo metodai gali skirtis ir būti nestandartizuoti, todėl galima daryti skirtingas išvadas (Jalali, U.H. ir kt., 2025). Taikant tam tikrus vertinimo metodus, polių bandymai gali atskleisti, kad poliai yra pakankamai tvirti, o kitais metodais gauti rezultatai gali kelti abejonių dėl polių laikomosios galios.

Tyrime pateikiama polių bandymų rezultatų interpretacija naudojant įvairius metodus. Pateiktas palyginimas rodo, kad vertinimo rezultatai gali labai skirtis (Cruz Junior, A.J. ir kt., 2025).

Projektuojant CFA polius yra daug neapibrėžtumų, tokių kaip grunto savybių įvairovė, grunto bandymo metodai, bandymų rezultatų skirtumai, montavimo metodų gausa ir kt. Patikimiausias būdas patikrinti polius yra statiniai apkrovos bandymai. Bandymai rekomenduojami arba privalomi pagal projektavimo normas daugelyje šalių.

Atliekant polių bandymą statinė apkrova gaunama apkrovos ir nuosėdžio kreivė. Kreivė naudojama polio ribinei laikomajai galiai nustatyti. Vienas iš paprasčiausių metodų pateiktas ISO 22477-1 standarte, kur polio pagrindo ribinė laikomoji galia prilyginama polio nuosėdžiui, sudarančiam 10 % polio skersmens. Tačiau dažnai, kai poliai tinkamai suprojektuoti ir veikiami didelėmis apkrovomis, toks nuosėdis

bandymo metu nepasiekiamas. Todėl reikia taikyti kitus apkrovos ir nusėdimo kreivės interpretavimo metodus.

Polio ribinę laikomąją galią galima nustatyti pagal polio statinio bandymo duomenis, naudojant daugiau nei dešimt skirtingų metodų (Adel ir Shakir, 2022): Davisson (1972), Hansen (1963), De-court (1999), Chin-Kondner (1971), Mazurkiewicz (1973), De Beer (1968), Brazilian Standard, Van der Veen (1953), Fuller ir Hoy (1970), Buttler ir Hoy (1977), Tangent, Corps of Engineers (1991), Hinary ir Kulhawy (1989), Slope tangent ir kt. Tačiau ne visi metodai yra universalūs, kai kurie turi apribojimų, susijusių su apkrovos ir nuosėdžio kreivės forma (Sližytė D. ir kt. (2023). Pagal šiuos metodus nustatytos ribinės polių laikomosios galios gali labai skirtis.

Šio tyrimo tikslas buvo nustatyti polio pagrindo laikomąsias galias pagal skirtingus apkrovos ir nuosėdžio priklausomybės interpretavimo metodus ir išanalizavus gautus polių pagrindo laikomosios galios tyrimų rezultatus įvertinti jų patikimumą.

1. Tyrimo objektas

Buvo tirti devynių polių, įrengtų įvairiose Lietuvos statybvietėse, statinių bandymų rezultatai. Visi poliai buvo pastovaus sraigtinio gręžimo (CFA – *constant flight auger*) tipo, tačiau skyrėsi jų matmenys: skersmuo ir ilgis (1 lentelė). Taip pat šie poliai buvo įrengti skirtingomis geologinėmis sąlygomis, tačiau šiame straipsnyje geologinių sąlygų įtaka polių pagrindo laikomajai galiai nebuvo vertinama.

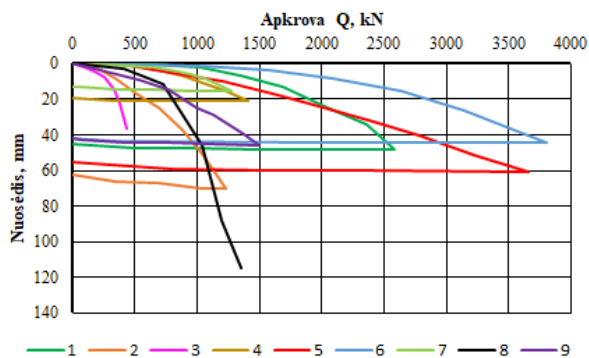
Bandomieji poliai buvo apkrauti nuo 435 kN iki 3807 kN ašinėmis gniuždymo jėgomis, o santykinis nuosėdis s/D (%), kuris yra polio nuosėdis; D – polio skersmuo) svyravo nuo 1,92 % iki 19,09 %. Didžiausios pasiektos apkrovos bei santykiniai nuosėdžiai pateikti 1 lentelėje ir 1 paveiksle.

Kadangi tik dviejų polių santykinis nuosėdis buvo didesnis nei 10 %, vertinant polių pagrindo laikomąsias galias nėra galimybės naudoti ISO 22477-1 siūlomo metodo.

1 lentelė. Polių bei statinių bandymų rodikliai

Nr.	Geometrija	$Q_{\max}$, kN	$(s/D)_{\max}$, %
1	D=0,77 m, L=8,0 m	2582	6,23
2	D=0,45 m, L=3,0 m	1226	15,53
3	D=0,40 m, L=4,0 m	435	9,20
4	D=0,45 m, L=4,0 m	1410	4,57
5	D=0,77 m, L=4,0 m	3661	7,85
6	D=0,77 m, L=4,5 m	3807	5,74
7	D=0,80 m, L=5,0 m	1270	1,92
8	D=0,60 m, L=5,0 m	1350	19,09
9	D=0,60 m, L=5,0 m	1500	7,69

Šaltinis: sudaryta autorių

**1 pav.** Tirtų polių statinių bandymų apkrovos ir nuosėdžio priklausomybė

Šaltinis: sudaryta autorių

2 Naudoti polių pagrindo laikomosios galios nustatymo metodai

Polių didžiausiai laikomajai galiai nustatyti buvo pasirinkti šeši grafiniai metodai, pagrįsti apkrovos ir nusėdimo kreive. Vienas iš pagrindinių metodų atrankos kriterijų buvo tas, kad juos būtų patogu taikyti naudojant *Excel* programos skaičiuoklę.

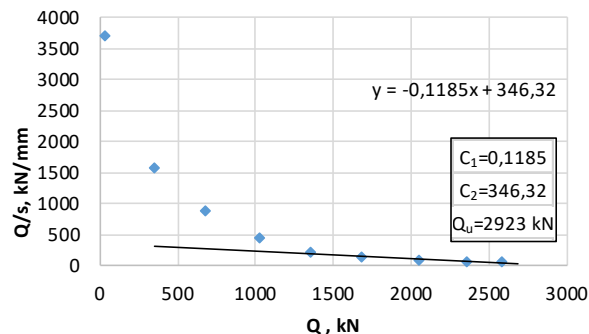
Žemiau pateikiami trumpi pasirinktų metodų aprašymai bei pirmojo polio statinio bandymo rezultatų interpretacija pagal kiekvieną iš pasirinktų metodų.

2.1 Decourto metodas

Decourt (Decourt, 1999) metodu bandymų duomenys pateikiami Q/s (kur Q – apkrova kN, s – nuosėdis mm) ir Q ašyse (2 pav.) Tokioje koordinatinių sistemoje bandymo pabaigoje kreivė išsitiesina. Per paskutinius taškus brėžiama tiesė. Taške, kur gauta tiesė kerta abscisę, gaunamas koeficientas C_2 , o koeficientas C_1 atitinka tiesės nuolydį. Galutinė polio laikomoji galia apskaičiuojama taip:

$$Q_u = \frac{C_2}{C_1} \quad (1)$$

čia: C_1 yra regresijos linijos nuolydis; C_2 – reikšmė vertikaliai ašies ir regresijos linijos sankirtoje (2 pav.).

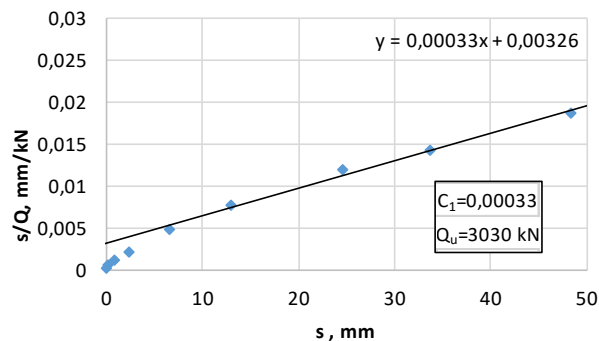
**2 pav.** Decourt metodas

Šaltinis: sudaryta autorių

2.2 Chin-Kondner metodas

Šį metodą 1970 m. pasiūlė Chin. Taikant šį metodą, statinio bandymo rezultatai pateikiami koordinatinių sistemoje, kur vertikali ašis rodo nuosėdžio ir apkrovos santykį (Q/s), o horizontali ašis – nuosėdį. Dėl tokio ašių pakeitimo modifikuota kreivė gale išsitiesina. Šios kreivės dalies nuolydis apibūdinamas C_1 koeficientu (3 pav.), o ribinė laikomoji galia apskaičiuojama taip:

$$Q_u = \frac{1}{C_1} \quad (2)$$

**3 pav.** Chin-Kondner metodas

Šaltinis: sudaryta autorių

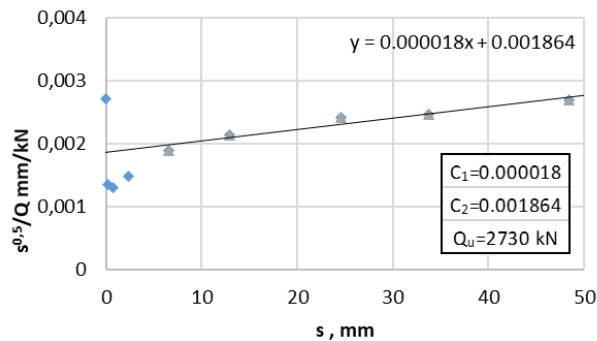
2.3 Brinch Hansen 80% metodas

Hansenas 1963 metais pateikė polio ribinės laikomosios galios apibrėžimą, kuris reiškia apkrovą, sukeliančią keturis kartus didesnį polio nuosėdį, palyginti su tuo, kuris gaunamas esant 80 % apkrovai.

Taikant šį metodą, brėžiama $s^{0.5}/Q$ priklausomybės nuo nuosėdžio kreivė. Dėl to modifikuota kreivė gale išsitiesina. Ištiesintai daliai brėžiama linija, kuri kerta vertikalią $s^{0.5}/Q$ ašį. Šios ašies ir linijos susikirtimo taškas žymi C_2 koeficientą, o C_1 koeficientas – linijos nuolydį (4 pav.).

Ribinė polio laikomoji galia apskaičiuojama taip:

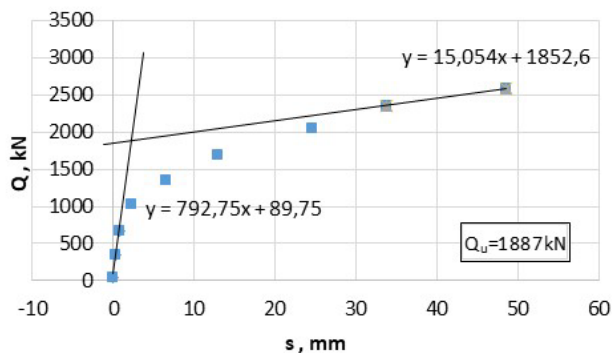
$$Q_u = \frac{1}{\sqrt{C_1 \cdot C_2}} \quad (3)$$



4 pav. Brinch Hansen 80% metodas
Šaltinis: sudaryta autorių

2.4 Dvigubos liestinės metodas

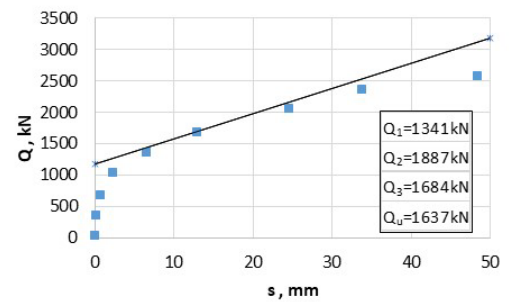
Polių ribinei laikomajai galiai nustatyti naudojamas ir dvigubos liestinės (Mishra ir kiti, 2019) metodas. Šis metodas susideda iš polių apkrovos ir nuosėdžio priklausomybės aprašymo dviem liestinėmis: viena brėžiama iš pradinio apkrovos taško, kita – iš galo. Dvi liestinės susikerta taške, kuris naudojamas polių ribinei laikomajai galiai nustatyti (5 pav.).



5 pav. Dvigubos liestinės metodas
Šaltinis: sudaryta autorių

2.5 JAV armijos inžinerinis metodas

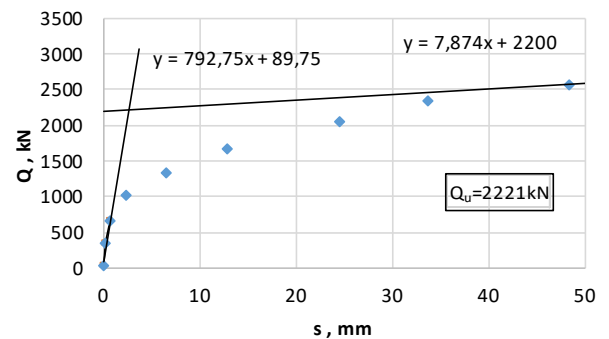
Šį metodą naudoja JAV armijos inžinierių korpusas (U.S. Army Corps of Engineers, 1999). Taikant šį metodą, iš apkrovos ir nuosėdžio kreivės nustatomos trys apkrovos vertės. Pirmoji, Q_1 , yra apkrova, dėl kurios polis nusėda 6,4 mm. Antroji, Q_2 , yra didžiausia laikomoji galia, gauta dvigubos liestinės metodu. Trečioji, Q_3 , yra apkrova, dėl kurios 0,025 mm/kN nuolydžio linija tampa liestine apkrovos ir nusėdžio kreivei (6 pav.). Ribinė laikomoji galia prilyginama šių trijų verčių vidurkiui.



6 pav. JAV armijos inžinerinis metodas
Šaltinis: sudaryta autorių

2.6 Butler ir Hoy metodas

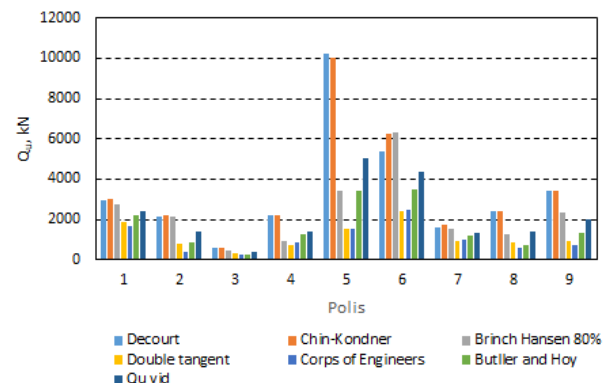
Šiuo metodu (Butler ir Hoy, 1977) prie apkrovos ir nuosėdžio kreivės brėžiama liestinė su 0,127 mm/kN nuolydžiu. Antra liestinė brėžiama prie apkrovos ir nuosėdžio kreivės pradžios. Šių liestinių susikirtimo taškas parodo polio ribinę laikomąją galią (7 pav.).



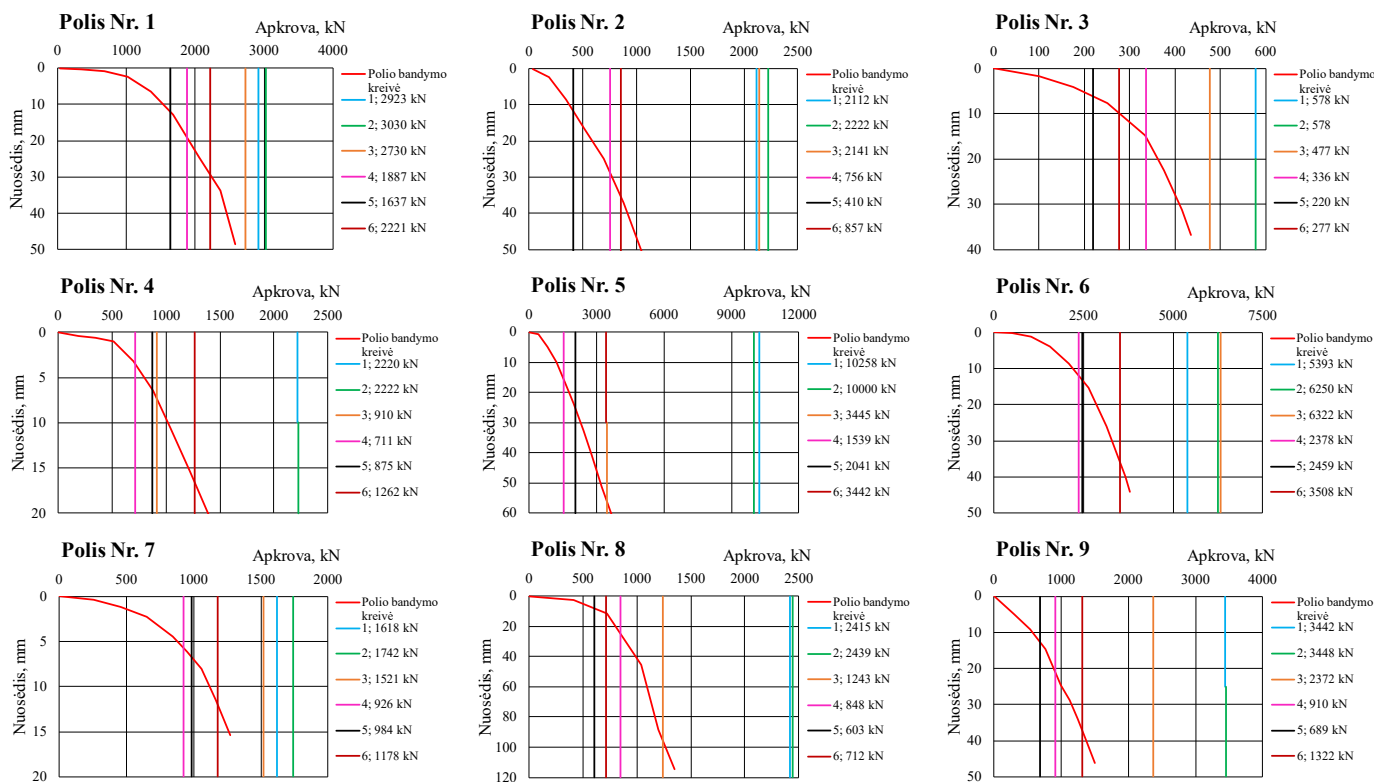
7 pav. Butler and Hoy metodas
Šaltinis: sudaryta autorių

3. Rezultatų apibendrinimas

Kadangi polių skersmenys, ilgiai ir geotechninės sąlygos skyrėsi, ašinė polių gniuždymo apkrova lėmė skirtingas apkrovos ir nuosėdžio kreivių formas (1 pav.) ir skirtingas polių pagrindo laikomąsias galias (8 ir 9 pav.).



8 pav. Skirtingais metodais gautos polių pagrindo laikomosios galios
Šaltinis: sudaryta autorių



9 pav. Polių apkrovos nuosėdžių diagramos su apskaičiuotomis polio pagrindo laikomosiomis galiomis pagal metodus: 1 – Decourto, 2 – Chin-Kondner, 3 – Brinch Hansen 80%, 4 – dvigubos liestinės, 5 – JAV armijos inžinerinis, 6 – Butler ir Hoy; prie metodų pateikta apskaičiuotoji reikšmė
Šaltinis: sudaryta autorių

Šiame grafike pateikta ir vidutinė gautųjų polio laikomųjų galių reikšmė. Kiekvieno polio pagrindo laikomoji galia kito dideliuose intervaluose (2 lentelė ir 8 pav.) Labiausiai išsiskyrė antrasis polis, kurio mažiausia gautoji polio pagrindo laikomoji galia sudarė tik 14% nuo vidurkio, o didžiausia buvo 2,05 kartus didesnė už vidurkį.

2 lentelė. Bandyti poliai

Nr.	$Q_u / Q_{u, vid}$
1	0,68-1,26
2	0,14-2,05
3	0,54-1,41
4	0,52-1,63
5	0,31-2,04
6	0,54-1,44
7	0,70-1,31
8	0,43-1,77
9	0,34-1,70

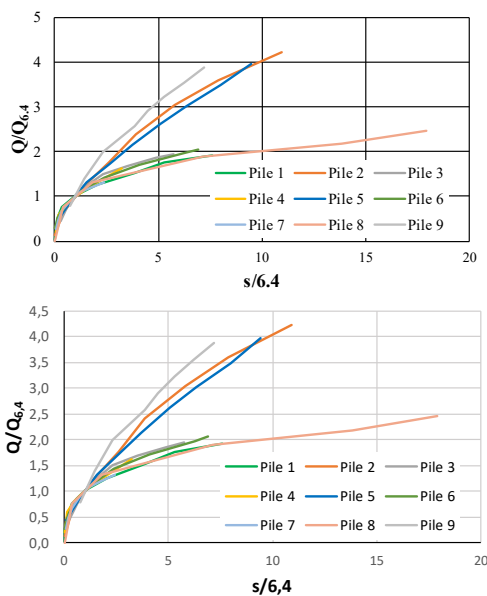
Šaltinis: sudaryta autorių

Vertinant rezultatus (9 pav.), visais atvejais Decourto bei Chin-Kondner metodais gautos polio pagrindo laikomosios galios yra ribinės, kai pagrindas suirs. Tą patį atskleidė Brinch Hansen 80% metodas, išskyrus ketvirtojo polio rezultatus. Butler ir Hoy metodu taip pat gauta ribinė 5, 6 ir 9 polių pagrindo laikomoji galia. Dažnu atveju reikšmės yra hipotetinės, tai yra polio bandymo metu jų nebuvo pasiekta.

3.1 Normalizuotos apkrovos ir nuosėdžio kreivės

Norint atlikti lyginamąją analizę kreivių formos buvo normalizuotos naudojant 6,4 mm nusėdimą ir šį nuosėdį lemiančią apkrovą $Q_{6,4}$.

Normalizuotos apkrovos ir nuosėdžio kreivės pateiktos 10 paveiksle.

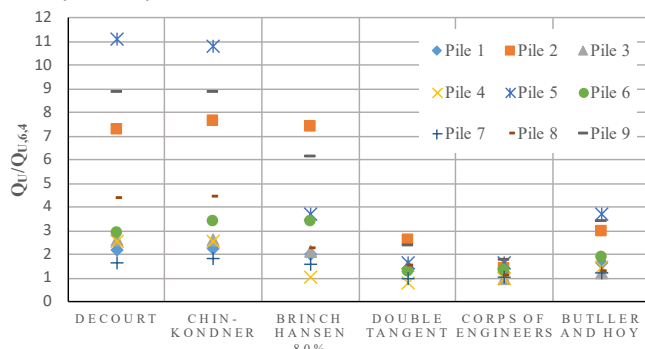


10 pav. Normalizuotos apkrovos ir nuosėdžio kreivės. $Q_{6.4}$ – apkrova pagal apkrovos ir nuosėdžio kreivę, atitinkanti 6,4 mm nuosėdį

Šaltinis: sudaryta autorių

3.2 Normalizuota didžiausia laikomoji galia

Lyginant gautas normalizuotas ribinės laikomosios galios ($Q_u/Q_{u6.4}$) vertes tarpusavyje (11 pav.), galima išskirti tris metodus: Decourt, Chin-Kondner ir Brinch Hansen 80 %. Šiais metodais gautos ribinės laikomosios galios vertės labai skiriasi. Tokius skirtumus galima paaiškinti skirtingais polių pokyčiais: šiais metodais gautos pirmosios polių grupės ribinės laikomosios galios vertės yra keletą kartų didesnės nei gautos kitais metodais. Inžinierių korpuso metodas rodo mažiausią verčių sklaidą.



11 pav. Devynių polių normalizuotos ribinės laikomosios galios pagal šešis analizuotus metodus

Šaltinis: sudaryta autorių

Šiuos stebėjimus patvirtina apskaičiuoti $Q_u/Q_{u6.4}$ statistikos duomenys. 2 lentelėje pateikiama kiekvieno metodo statistikos duomenų santrauka.

2 lentelė. $Q_u/Q_{u6.4}$ statistikos duomenys

	Decourt	Chin-Kondner	Brinch Hansen 80%	Dvigubos liestinės	JAV armijos inžinieris	Butler ir Hoy
Vidurkis	4,8403	4,9328	3,3001	1,5707	1,2789	2,0938
Standartinė paklaida	1,1351	1,1091	0,7161	0,1954	0,0975	0,3314
Mediana	2,9141	3,3772	2,2647	1,5084	1,2206	1,6561
Standartinis nuokrypis	3,4052	3,3273	2,1484	0,5862	0,2924	0,9943
Imties dispersija	11,5955	11,0709	4,6154	0,3437	0,0855	0,9886
Kurtosis	-0,4846	-0,8199	0,2310	-0,0433	-0,7985	-1,1903
Asimetrijos koeficientas	0,9929	0,8993	1,1225	0,7118	0,7307	0,8320
Duomenų aibės plotis	9,4262	9,0191	6,3418	1,7927	0,7895	2,5073
Mažiausia reikšmė	1,6701	1,7981	1,0430	0,8149	0,9877	1,2160
Didžiausia reikšmė	11,0963	10,8172	7,3848	2,6076	1,7772	3,7233

Šaltinis: sudaryta autorių

Rezultatai ir išvados

1. Buvo peržiūrėti šeši grafiniai polių bandymų vertinimo metodai ir pritaikyti devyniems skirtingo ilgio (3,0...8,0 m) ir skersmens (0,40...0,80 m) CFA poliams, sumontuotiems įvairiose statybvietėse Lietuvoje. Tyrimas rodo, kad polių bandymų rezultatų vertinimo rezultatai labai priklauso nuo interpretavimo metodo. Skirtingi metodai gali lemti labai skirtingas išvadas.
2. Nustatyta, kad didžiausia ribinės laikomosios galios verčių sklaida gauta taikant Decourt, Chin-Kondner ir Brinch Hansen 80 % metodus, o mažiausia – taikant JAV armijos inžinerinį metodą (standartinis nuokrypis atitinkamai: 2,1484...3,4052 ir 0,2924).
3. Pastebėta, kad esant skirtingoms apkrovos ir nusėdimo kreivių formoms, Decourt, Chin-Kondner ir Brinch Hansen 80 % metodai suteikia keletą kartų didesnę laikomąją galią nei gauta naudojant kitus metodus. Vertinant rezultatus (9 pav.), visais atvejais Decourto bei Chin-Kondner metodais gautos polio pagrindo laikomosios galios yra ribinės, kurioms esant pagrindas suirs. Tą patį galima pastebėti naudojant Brinch Hansen 80% metodą, išskyrus ketvirtojo polio rezultatus. Pagal Butler ir Hoy metodą taip pat gaunama ribinė 5, 6 ir 9 polių pagrindo laikomoji galia. Dažnu atveju reikšmės yra hipotetinės, tai yra polio bandymo metu jų nebuvo pasiekta.
4. Apibendrinant galima daryti išvadą, kad vertinant polių laikomąją galią reikėtų naudoti konservatyvesnius vertinimo metodus arba atlikti išsamesnę analizę.

Ypatinga padėka UAB „Geotechnikos grupė II“ už

pateiktą informaciją apie statinių polių bandymų rezultatus.

Literatūra

Adel, R., & Shakir, R. (2022). Evaluation of static pile load test results of ultimate bearing capacity by interpreting methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 961(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/961/1/012013>

Brinch Hansen, J. (1963). Discussion, hyperbolic stress-strain response of cohesive soils. *Journal of Soil Mechanics, Foundation Division*, 89(SM4), 241–242.

Butler, H.D., & Hoy, H.E. (1977). *User's manual for the texas quick load method for foundation load testing*. FHWA, Office of Development, Washington, D.C., FHWAIP-77-8.

Chin, F.K. (1970). Estimation of pile not carried to failure. In *Proceedings of the 2nd Southeast Asian Conference on Soil Engineering* (pp. 81–90). Singapore. <http://www.springer.com/lncs>

Cruz Junior, A.J. da, Rebollo, J.F.R., Bernardes, H.C., Cruz, D.M. da & Sales, M.M. (2025). Analysis of a database of instrumented static load tests on continuous flight auger piles in tropical soils. *REM -International Engineering Journal*, 78(2), 1–5. <https://doi.org/10.1590/0370-44672023780128>

Décourt, L. (1999). Behavior of Foundations under Working Load Conditions. In *Proceedings of the 11th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* (pp. 453–488). International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.

Jalali, U.H., Alshameri, B., Khalid, M.H., et al. (2025). Data-driven approach to enhance deep foundation safety: reliable methods for predicting bored pile capacity. *Geo-Engineering* 16(16). <https://doi.org/10.1186/s40703-025-00247-3>.

Mishra, A., Sawant, V.A. & Deshmukh, V.B. (2019). Prediction of pile capacity of socketed piles using different approaches. *Geotech Geol Eng* 37, 5219–5230.

Sližytė, D., Urbonas K., Mackevičius R. (2023). Prediction of

ultimate bearing capacities of test piles according to different methods. *Modern Building Materials, Structures and Techniques (MBMST 2023)*, October 5-6, Vilnius, Lithuania.

U.S. Army Corps of Engineers. (1991). *Design of pile foundations* (Engineering Manual 1110-2-2906). Washington, DC 20314-1000.

PREDICTION OF ULTIMATE LOAD-BEARING CAPACITIES ACCORDING TO DATA OF PILES STATIC TEST

Danutė Sližytė, Kęstutis Urbonas, Rimantas Mackevičius

Vilnius Gediminas Technical University

Summary. In modern construction, piles are often used due to their ability to withstand large loads. However, different calculation methods are used in their design, which are suitable for specific geotechnical conditions. One of the main methods of ensuring the load-bearing capacity of piles is the static test of piles. However, when interpreting the results and the load-settlement curve, the problem arises of how to choose a method for determining the ultimate bearing capacity. This article reviews six graphical methods, applied to nine different length and diameter CFA piles installed in different construction sites in Lithuania. After analyzing the results, it was found that the largest variation of ultimate bearing capacity values was observed using the Decourt, Chin-Kondner, and Brinch Hansen 80% methods, while the smallest was observed using the Corps of Engineers method. It was also noted that when different load settlement curves were present, the Decourt, Chin-Kondner, and Brinch Hansen 80% methods yielded several times higher ultimate bearing capacities than those obtained using other methods.

Key words: load-settlement curves, ultimate bearing capacity, pile static tests.

GILUMINIO MOKYMOSI MODELIŲ TAIKYMAS AMŽIAUS IR LYTIES NUSTATYMAI PAGAL VEIDO BRUOŽUS: METODŲ APŽVALGA IR IŠŠŪKIAI

Vytautas Ruzgaila¹, Jelena Mamčenko², Brigita Šustickienė²

¹Projektas „Duomenų valdymo sistemos kūrimas“

² Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58-1, Vilnius

Anotacija. Straipsnyje nagrinėjamas giluminio mokymosi modelių taikymas amžiaus ir lyties nustatymui pagal veido bruožus, išryškinant jų privalumus, trūkumus ir keliamus etinius iššūkius. Aptariama veidų atpažinimo sistemos struktūra, pagrindiniai metodai (konvoliuciniai neuroniniai tinklai (angl. *Convolutional Neural Networks*, *CNN*), liekamasis (rezidualinis) tinklas (angl. *Residual Network*, *ResNet*), vizualinės geometrijos grupė (tinklas) (angl. *Visual Geometry Group*, *VGG*), efektyvusis tinklas (angl. *Efficient Network*, *EfficientNet*), jų pritaikymas amžiaus regresijai bei klasifikacijai, taip pat daugiafunkcio mokymosi (angl. *Multi-task Learning*, *MTL*) sprendimai. Pateikiama tyrimų apžvalga, pabrėžiant subalansuotų duomenų rinkinių, tokių kaip *FairFace*, svarbą šališkumui mažinti. Analizuojami etiniai aspektai – privatumo grėsmės, diskriminacijos rizika bei būtinybė derinti saugumą su žmogaus teisėmis. Tyrimas parodo, kad nors giluminio mokymosi metodai užtikrina tikslumą, būtina siekti didesnio algoritmo skaidrumo, etiško taikymo ir duomenų įvairovės, kad būtų išvengta šališkumo bei diskriminacijos.

Reikšminiai žodžiai: giluminis mokymasis, veidų atpažinimas, *CNN*, amžiaus nustatymas, lyties nustatymas, etiniai iššūkiai.

Įvadas

Veidų atpažinimo technologija pastaraisiais metais sparčiai išpopuliarėjo ir tapo neatsiejama įvairių sričių dalimi – nuo kasdienio vartojimo įrenginių iki sudėtingų saugumo sistemų. Pagrindinis jos tikslas yra tapatybės nustatymas pasitelkiant biometrinę autentifikaciją, kuri leidžia greitai ir patikimai atskirti asmenis. Ši technologija plačiai naudojama tiek privačiame, tiek viešajame sektoriuje: išmanieji telefonai ja užtikrina patogų atrakinimą, o oro uostų kontrolės punktuose minėta technologija tampa alternatyva įprastiems dokumentams ar slaptažodžiams. Be to, teisėsaugos institucijos veidų atpažinimo sistemas pasitelkia ieškomų asmenų identifikacijai viešosiose erdvėse, taip stiprinamas visuomenės saugumas.

Vis dėlto saugumo aspektas nėra vienintelis – ši technologija vis dažniau taikoma ir kitose srityse. Pavyzdžiui, prekybos įmonės analizuoja klientų srautus, demografinę sudėtį ar net pirkėjų emocijas, siekdamos tiksliau pritaikyti rinkodaros strategijas bei kurti personalizuotas paslaugas. Viešajame sektoriuje veidų atpažinimo sprendimai prisideda prie išmaniųjų miestų kūrimo: padeda vertinti žmonių judėjimo srautus, optimizuoti transporto sistemas ar greičiau surasti dingusius asmenis. Šiame kontekste ypač svarbus automatinis amžiaus ir lyties nustatymas pagal veido bruožus, kuris leidžia susiaurinti paieškos lauką ar tiksliau segmentuoti vartotojus.

Tačiau ši technologija susiduria ir su reikšmingais iššūkiais. Pirmiausia, veido bruožų analizę gali iškreipti įvairūs veiksniai – apšvietimas, išraiškos, poza ar dalinis veido uždengimas. Tai apsunkina tikslų ir patikimą atpažinimą. Kitas svarbus aspektas – nepakankamai subalansuoti duomenų rinkiniai. Kai tam tikros amžiaus ar lyties grupės dominuoja, modeliai tampa šališki, o jų rezultatai gali būti klaidinantys ar net diskriminuojantys. Techniniu požiūriu kyla ir efektyvumo problema: nors giluminio mokymosi algoritmai užtikrina

aukštą tikslumą, jų pritaikymas realaus laiko sistemose reikalauja optimizacijos bei specialios infrastruktūros. Be to, trūksta sistemingos apžvalgos, kuri palygintų šių modelių našumą ir aiškiai apibrėžtų kylančias etines dilemas.

Atsižvelgiant į tai, šio straipsnio tikslas yra atlikti mokslinių tyrimų, skirtų amžiaus ir lyties nustatymui pagal veido bruožus, apžvalgą, analizuojant pagrindinius giluminio mokymosi metodus ir modelius, įvertinant šios srities iššūkius bei apžvelgiant kylančius etinius aspektus.

Siekiami uždaviniai:

1. Išanalizuoti ir apibendrinti pagrindinius giluminio mokymosi metodus ir neuroninius tinklus, naudojamus automatizuotam amžiaus ir lyties nustatymui iš veido atvaizdų.
2. Apžvelgti naujausius mokslinių tyrimų rezultatus (metrikas, duomenų rinkinius ir modelių našumą) amžiaus bei lyties nustatymo užduotyse.
3. Identifikuoti ir aptarti pagrindinius techninius ir metodologinius iššūkius, su kuriais susiduriama taikant giluminio mokymosi modelius veidų analizėje.
4. Įvertinti ir pristatyti etinius bei privatumo aspektus, kylančius veidų atpažinimo ir automatinio atributų nustatymo procese, atsižvelgiant į duomenų saugumą ir atsakomybę.

1. Metodų ir modelių taikymo veidų analizėje apžvalga

Veidų atpažinimas šiandien laikomas viena pažangiausių ir sparčiausiai tobulėjančių kompiuterinio matymo sričių. Ši technologija suteikia galimybę ne tik nustatyti žmogaus tapatybę pagal veidą, bet ir gauti papildomą informaciją – pavyzdžiui, apie emocinę būseną, amžių, lytį ar nuotaiką. Pritaikymo sritys yra itin plačios: nuo biometrinių autentifikacijos sistemų, užtikrinančių saugumą, iki įvairių rinkodaros sprendimų, kuriuose svarbi demografinių duomenų

analizė. Tipinė veidų atpažinimo sistema dažniausiai susideda iš keturių etapų: veido aptikimo, jo sulgiavimo, požymių išskyrimo ir galutinio atpažinimo.

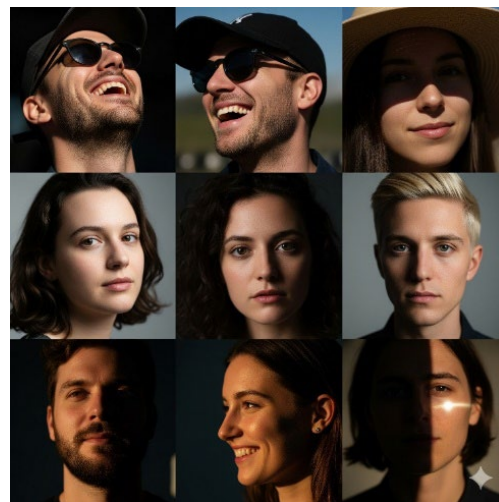
Veido sulgiavimas (angl. *Face Alignment*) yra etapas, kurio metu nuotraukoje esantis veidas pritaikomas prie duomenų rinkinio bendrų parametrų. Tai dažniausiai apima vaizdo pasukimą bei mastelio keitimą, kad pagrindiniai veido orientyrai (angl. *Face Landmarks*) būtų pateikti nuosekliai ir palyginamai visoje duomenų bazėje. Toks veiksmas yra esminis, nes užtikrina geresnę treniravimo modelių kokybę ir prisideda prie sistemos tikslumo.

Kitas svarbus žingsnis – požymių išskyrimas (angl. *Feature Extraction*). Šiame procese giluminiai neuroniniai tinklai sukuria veido reprezentacijas, atspindinčias jo struktūrą, unikalius bruožus bei kitus išskirtinius požymius. Dažnai tam naudojami jau parengti modeliai, tokie kaip *VGGFace*, *ResNet50*, *MobileFaceNet* ar *ElasticFace*, kurių architektūros sprendimais galima išskirti universalius bruožus ir užtikrinti stabilų veikimą įvairiomis sąlygomis (Boutros et al., 2021).

Atpažinimo arba klasifikavimo stadijoje išskirtos savybės perduodamos klasifikatoriams, kurie priima sprendimą dėl atitikties konkrečiam asmeniui ar kategorijai. Siekiant pagerinti rezultatų patikimumą, kai kurios sistemos tobulinamos naudojant specializuotas nuostolių funkcijas, tokias kaip *triplet loss*, *center loss* ar *ArcFace loss*, kurios padeda padidinti klasifikavimo tikslumą (Deng et al., 2020).

Be identifikavimo, veidų analizės sistemos neretai taikomos ir papildomiems uždaviniams – pavyzdžiui, amžiaus ar lyties nustatymui. Tokiais atvejais plačiai naudojami giluminio mokymosi metodai, ypač konvoliuciniai neuroniniai tinklai, kurie itin tinka vaizdų analizei (Gao et al., 2024). Jie veikia tarsi skaitmeniniai filtrai, automatiškai gebantys atrinkti ir apdoroti svarbiausią vizualinę informaciją. Tokiu būdu tinklai imituoja žmogaus smegenų darbą, o tai leidžia patikimai atpažinti veidus net ir realiomis, sudėtingomis sąlygomis (Krizhevsky et al., 2012).

Pirmasis etapas – veido aptikimas – yra kritinis, nes jis leidžia tiksliai nustatyti, kurioje vaizdo srityje yra veidas. Ankstesniais metais plačiai naudoti tradiciniai metodai, tokie kaip *Viola–Jones* algoritmas ar orientuotų gradientų histograma (angl. *Histogram of Oriented Gradients, HOG*), tačiau jų tikslumas ir pritaikomumas buvo riboti. Didėjant skaičiavimo galimybėms, imta kurti sudėtingesnius bei patikimesnius modelius. Pasitelkus giluminio mokymosi metodus atrasti pažangūs sprendimai, tokie kaip daugiatisksliai kaskadiniai konvoliuciniai tinklai (angl. *Multi-task Cascaded Convolutional Networks, MTCNN*), *RetinaFace*, *YOLO-face* ar *BlazeFace*, kurie geba atpažinti kelis veidus net sudėtingomis sąlygomis: esant prastam apšvietimui, stipriai kintančioms mimikoms, pasukus galvą profiliu ar esant įvairiems trukdžiams fone (1 pav.).



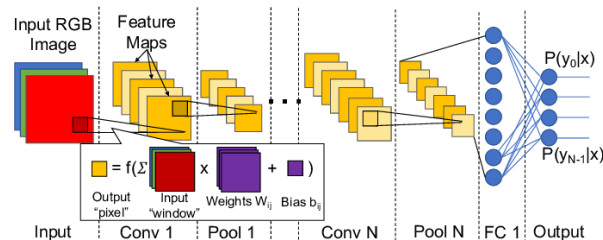
1 pav. Sudėtingos veido atpažinimo sąlygos
Šaltinis: sugeneruota DI

Aukšto lygmens konvoliucinio neuroninio tinklo (*CNN*) diagrama paprastai iliustruoja tris pagrindinius etapus, kuriuose vaizdinė informacija apdorojama, kol galiausiai yra suklasifikuojama. (Chollet, 2017) (2 pav.).

Pirmasis etapas – konvoliuciniai sluoksniai (angl. *Convolutional Layers*). Tai pagrindinė *CNN* struktūros dalis, kurioje atliekamos konvoliucinės operacijos. Jos veikia tarsi filtrai, gebantys automatiškai aptikti įvairaus sudėtingumo vaizdo bruožus. Ankstyvieji sluoksniai dažniausiai fiksuoja paprastas formas, tokias kaip linijos ar kampai, o gilesni sluoksniai atpažįsta sudėtingesnius elementus – akis, nosį ar net visą veido kontūrą.

Antroasis etapas – sujungimo sluoksniai (angl. *Pooling Layers*). Jie įterpiami tarp konvoliucinių sluoksnių ir atlieka duomenų sumažinimo funkciją. Šie sluoksniai veikia kaip savotiški „suspaudikliai“ – jie sumažina vaizdo matmenis, bet palieka tik reikšmingiausią informaciją. Tokiu būdu sumažėja skaičiavimo sąnaudos, o modelis tampa atsparesnis objekto padėties ar mastelio pokyčiams.

Trečiasis etapas – visiškai sujungti sluoksniai (angl. *Fully Connected Layers*). Čia sujungiama visa ankstesnių etapų informacija ir tinklas priima galutinį sprendimą. Šioje dalyje *CNN* klasifikuoja objektą pagal išmoktas reprezentacijas – pavyzdžiui, nustato žmogaus lytį ar priskiria jį tam tikrai amžiaus grupei.

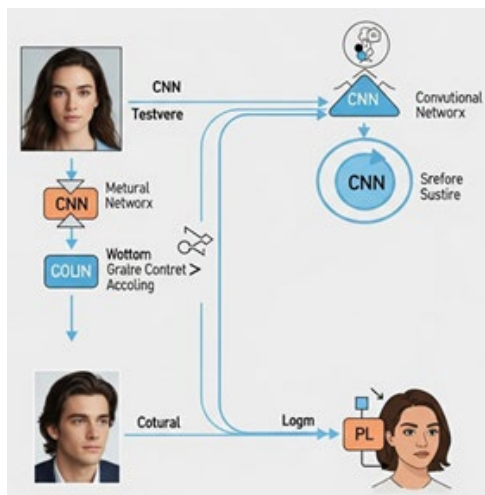


2 pav. Aukšto lygmens CNN diagrama
Šaltinis: Pagliari et al., 2018

3 pav. pateikiama CNN architektūros, naudojamos veido atpažinimo užduotyse, versija. Procesas pradedamas nuo įvesties sluoksnio, kuriame pateikiamas pradinės veido nuotraukos vaizdas (dažnai kvadratinio formato, pvz., 256×256 pikselių). Toliau informacija apdorojama per kelis konvoliucinių ir sujungimo sluoksnių rinkinius. Pirmieji sluoksniai aptinka paprasčiausius bruožus, o vėlesni – sudėtingesnes struktūras, tokias kaip akys, nosis ar visas veidas. Sujungimo sluoksniai, pavaizduoti kaip mažesni stačiakampiai, padeda sumažinti duomenų kiekį, išlaikant svarbiausius požymius.

Vėlesniame etape visos išskirtos savybės suplokštinamos į vieną skaitmenų vektorių, kuris perduodamas visiškai sujungtiems sluoksniams. Ši tinklo dalis susieja visą informaciją ir parengia sprendimą. Galiausiai, išvesties sluoksnyje gaunamas konkretus rezultatas: sistema gali priskirti atvaizdą vienai iš kategorijų, pavyzdžiui, nustatyti lytį (moteris / vyras) arba prognozuoti amžių (tikslų skaičių ar tam tikrą amžiaus grupę).

Šių uždavinių modeliai gali būti formuojami įvairiais būdais, atsižvelgiant į pasirinktos problemos interpretaciją. Lyties nustatymas paprastai suprantamas kaip dvejetainė klasifikacijos užduotis, kurioje sistema turi atskirti dvi kategorijas. Amžiaus nustatymas yra sudėtingesnis ir gali būti sprendžiamas dviem kryptimis (Rothe et al., 2016b). Vienu atveju jis traktuojamas kaip regresinė užduotis, kai modelis prognozuoja tikslų asmens amžių kaip skaitinę reikšmę. Kitu atveju amžius skirstomas į intervalus, o modelis klasifikuoja asmenį į vieną iš amžiaus grupių, pavyzdžiui, 0–10 metų, 11–20 metų ir t. t.



3 pav. Konvoliucinio neuroninio tinklo (CNN) architektūra, naudojama veidų atpažinimo užduočiai
Šaltinis: sudaryta autorių

Šiems tikslams pasiekti dažniausiai taikomi konvoliuciniai neuroniniai tinklai (CNN), paremti populiariomis architektūromis, tokiomis kaip *ResNet*, *VGGNet* ar *EfficientNet* (Tan & Le, 2021). Šios architektūros ypatingos tuo, kad geba automatiškai išmokti tinkamus bruožus iš vaizdų, todėl nereikia

rankiniu būdu kurti požymių rinkinių. Vienas žinomesnių pavyzdžių yra giliojo lūkestinės vertės (angl. *Deep Expectation, DEX*) modelis, kuriame naudojamas patobulintas *VGG-16* tinklas amžiaus prognozei iš veido atvaizdų. Vis dėlto naujesni *EffNet* ar *ResNet* variantai pastaruoju metu atskleidžia dar tikslesnius rezultatus (Tan & Le, 2021).

2. Tyrimų apžvalga

Pastarąjį dešimtmetį veidų atpažinimo srityje stebimas spartus progresas, o kartu daugėja ir susidomėjimo papildomais veido analizės aspektais, tokiais kaip amžiaus bei lyties nustatymas. Šie požymiai svarbūs ne tik tobulinant biometrines atpažinimo sistemas, bet ir plačiau pritaikomi dirbtinio intelekto – nuo personalizavimo ar prieigos kontrolės iki socialinės sąveikos ir reklamos sprendimų.

Mokslinėje literatūroje dažnai pabrėžiama, kad tradiciniai metodai, pagrįsti rankiniu bruožų išskyrimu, nebegali konkuruoti su giluminio mokymosi (angl. *Deep Learning*) pagrindu veikiančiais modeliais. Pastarieji geba patys perimti vizualinius bruožus tiesiai iš duomenų, dažnai užtikrindami geresnius rezultatus tiek tikslumo, tiek gebėjimo generalizuoti skirtingoms situacijoms požiūriu.

Vienas iš įdomesnių sprendimų pristatytas Ranjan, Patel ir Chellappa (2020) darbe, kuriame sukurta *HyperFace* sistema. Ji paremta daugiafunkcio mokymosi (angl. *Multi-task Learning*) principu, leidžiančiu vienu metu atlikti kelias tarpusavyje susijusias užduotis: veido aptikimą, padėties nustatymą, bruožų taškų lokalizavimą ir lyties klasifikavimą. Autoriai parodė, kad dalijimasis tinklo gilesniais sluoksniais tarp šių uždavinių ne tik padidina bendrą tikslumą, bet ir sumažina modelio sudėtingumą bei riziką persimokyti (angl. *Overfitting*).

Svarbią pažangą padarė ir Karkkainen bei Joo (2021), kurie pasiūlė *FairFace* duomenų rinkinį. Jo esmė – subalansuoti duomenis pagal rasę, lytį ir amžių, taip išvengiant dažnos problemos, kai modeliai išmoksta tik dominuojančias demografines grupes, o retesnius atvejus klasifikuoja netiksliai. Tyrimas įrodė, kad dirbant su subalansuotais duomenimis galima pagerinti tikslumą visose grupėse bei sumažinti algoritmų šališkumą.

Dar vienas reikšmingas indėlis buvo Tan ir Le (2021) pasiūlyta *EfficientNet* architektūra. Ji užtikrina pusiausvyrą tarp tikslumo ir skaičiavimo efektyvumo, naudodama *compound scaling* metodą, leidžiantį modelį pritaikyti prie turimų išteklių. Dėl šių savybių *EfficientNet B0* ir jo variacijos plačiai taikomos amžiaus bei lyties klasifikavimo užduotyse, ypač mobiliuosiose ar debesijos sistemose, kur svarbu pasiekti gerą našumą išlaikant mažą modelio dydį.

Boutros, Damer, Kirchbuchner ir Kuijper (2021) tyrime pristatė *ElasticFace* metodą, paremtą *ArcFace* praradimo funkcija. Ji užtikrina aiškesnį panašių veido bruožų atskyrimą, todėl ypač naudinga klasifikuojant gretimas amžiaus grupes ar labai panašius veidus. Tokie metodai didina modelių patikimumą ir sumažina klaidingų klasifikacijų tikimybę, o tai itin svarbu realybėje.

3. Etiniai aspektai veidų atpažinimo procese

Svarstant veidų atpažinimo technologijų etinius aspektus, galima išskirti tris glaudžiai tarpusavyje susijusias sritis: privatumą ir žmogaus teises, algoritminį šališkumą bei diskriminaciją ir balansą tarp saugumo bei priežiūros.

Privatumas ir žmogaus teisės. Veidų atpažinimo technologijos kelia itin daug diskusijų dėl privatumo, nes jos leidžia be asmens žinios masiškai sekti bei fiksuoti žmonių buvimo vietas viešosiose erdvėse. Skirtingai nei kiti biometriniai požymiai, veidas yra viešai matomas, todėl informacija apie žmogaus judėjimą, elgesį ar net emocijas gali būti renkama ir saugoma be jo sutikimo. Tai kelia grėsmę asmens laisvei ir teisėms, nes technologija gali tapti priemone kurti nuolatinės stebėsenos visuomenę (Fussey & Murray, 2020).

Algoritminis šališkumas ir diskriminacija. Vienas opiausių klausimų – algoritmų šališkumas. Tyrimas „Gender Shades“ parodė, kad daugelis komercinių modelių ne taip tiksliai atpažįsta moterų ir tamsesnės odos asmenų veidus nei šviesios odos vyrų. Toks netolygumas kyla dėl to, jog treniravimo duomenų rinkiniai dažnai nėra subalansuoti – juose dominuoja tam tikros demografinės grupės. Pasekmės gali būti itin rimtos: nuo nepagrįstų klaidų iki diskriminacijos, ypač jei technologija naudojama teisės saugoje ar darbo atrankose, kur netikslūs sprendimai gali turėti socialinių ir teisinių padarinių (Buolamwini & Gebru, 2018).

Saugumo ir priežiūros balansas. Veidų atpažinimas naudingas užtikrinant saugumą, ypač kovoje su nusikalstamumu, tačiau būtina rasti pusiausvyrą tarp visuomenės apsaugos ir asmens teisių. Tai reiškia, kad turi vykti vieša diskusija, kokiais atvejais tokias technologijas leistina naudoti, o kur būtini griežti ribojimai. Tik tokiu būdu galima užtikrinti, jog veidų atpažinimas prisidės prie visuomenės gerovės, o ne taps priemone žmogaus teisėms riboti (Dennett, 2017).

Etiniai klausimai neatsiejami nuo veidų atpažinimo tyrimų. Buolamwini ir Gebru (2020) dar kartą pabrėžė šališkumo problemą, parodydami, kad daugelis modelių ypač netiksliai atpažįsta tamsesnės odos moteris. Jų tyrimas ne tik atkreipė dėmesį į šį reiškinį, bet ir paskatino bendruomenę kurti skaidresnius bei įvairesnius duomenų rinkinius. „Gender Shades“ tyrimas tapo vienu svarbiausių atspirties taškų diskusijose apie atsakingą dirbtinio intelekto taikymą.

Išvados

Atlikta giluminio mokymosi metodų, skirtų amžiaus ir lyties nustatymui pagal veido atvaizdus, apžvalga leidžia apibendrinti naujausias technologines tendencijas, įvertinti techninius ir metodologinius iššūkius bei išryškinti etinius aspektus. Giluminio mokymosi metodai šiuo metu yra pagrindinė technologinė kryptis automatizuotam amžiaus ir lyties nustatymui, nes jie leidžia modeliams savarankiškai išmokti reikšmingų bruožų ir pasiekti aukštą atpažinimo tikslumą. Analizuojant naujausius tyrimus nustatyta, kad

modernios konvoliucinės neuroninių tinklų architektūros, tokios kaip *ResNet*, *VGG* ir *EfficientNet*, užtikrina aukštą tikslumą amžiaus regresijos ir lyties klasifikavimo užduotyse, o pažangūs metodai padidina prognozių patikimumą ir sumažina persimokymo riziką. Pagrindiniai techniniai ir metodologiniai iššūkiai išlieka susiję su duomenų disbalansu, etinės įvairovės trūkumu ir algoritminiu šališkumu, todėl siekiant modelių tikslumo skirtingoms demografinėms grupėms būtina naudoti reprezentatyvius ir subalansuotus duomenų rinkinius. Etiniu ir socialiniu požiūriu svarbu užtikrinti duomenų privatumo apsaugą, skaidrumą ir atsakomybę, o subalansuotų rinkinių, tokių kaip *FairFace*, naudojimas padeda sumažinti diskriminacijos riziką ir didinti visuomenės pasitikėjimą dirbtinio intelekto sprendimais. Ateities tyrimai turėtų būti orientuoti tiek į techninius patobulinimus, tiek į socialinio ir etinio poveikio vertinimą, siekiant užtikrinti, kad veido analizės sistemos būtų patikimos ir atsakingai taikomos įvairiose srityse, tarp jų saugumo, sveikatos priežiūros ir švietimo.

Apibendrinant galima teigti, kad giluminio mokymosi metodai suteikia šiuolaikinių techninių galimybių, tačiau jų efektyvi ir etiška taikymo praktika reikalauja subalansuotų duomenų, skaidrumo ir atsakingo požiūrio, o tik integruojant technologinę naują su etine atsakomybe galima užtikrinti, kad veido atpažinimo technologijos prisidėtų prie visuomenės gerovės, nepažeistų žmogaus teisių ir lygybės principų.

Literatūra

- Boutros, F., Damer, N., Kirchbuchner, F., Kuijper, A. (2021). ElasticFace: elastic margin loss for deep face recognition. *ArXiv*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2109.09416>
- Buolamwini, J., Gebru, T. (2018). Gender Shades: intersectional accuracy disparities in commercial gender classification. In *Proceedings of the Conference on Fairness, Accountability, and Transparency* (pp. 77–91). <http://proceedings.mlr.press/v81/buolamwini18a/buolamwini18a.pdf>
- Chollet, F. (2017). Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 1800–1808). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.140>
- Deng, J., Guo, J., Zhou, Y., Yu, J., Kotsia, I., & Zafeiriou, S. (2019). RetinaFace: single-stage dense face localisation in the wild. *ArXiv*. <https://arxiv.org/abs/1905.00641>
- Dennett, D.C. (2017). Can AI be a moral compass? In *Moral Machines: Teaching Robots Right from Wrong*. Oxford University Press.
- Fussey, P., Murray, W. (2020). *The case for a total ban on facial recognition technology*. Big Brother Watch.
- Gao, J., Li, X., Wang, Y. (2024). Multi-task learning for age and gender estimation from facial images. *IEEE Access*. <https://journal.uob.edu.bh/items/7ab83933-7a63-4c01-8656-d90971cb6d14>
- Karkkainen, K., Joo, J. (2021). FairFace: face attribute dataset for balanced race, gender, and age for bias measurement and mitigation. In *Proceedings of the IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)* (pp. 1547–1557). <https://doi.org/10.1109/WACV48630.2021.00159>

Krizhevsky, A., Sutskever, A. I., Hinton, G. E. (2012). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS)*. (pp. 1097–1105).

Pagliari D. J, Macii E., Poncino M. (2018). Dynamic bit-width reconfiguration for energy-efficient deep learning hardware. In *Proceedings of the International Symposium* (pp. 1–6). [https://DOI:10.1145/3218603.3218611](https://doi.org/10.1145/3218603.3218611)

Rothe, R., Timofte, R., Van Gool, L. (2016). Deep expectation of real and apparent age from a single image without facial landmarks. *International Journal of Computer Vision*, 126(2–4), 144–157. <https://doi.org/10.1007/s11263-016-0940-3>

Tan, M., Le, Q. V. (2019). *EfficientNet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks*. *arXiv* (Cornell University). <https://doi.org/10.48550/arxiv.1905.11946>

APPLICATION OF DEEP LEARNING MODELS FOR AGE AND GENDER RECOGNITION BASED ON FACIAL FEATURES: A REVIEW OF METHODS AND CHALLENGES

Vytautas Ruzgaila¹, Jelena Mamčenko², Brigita Šustickienė²

¹*Project „Duomenų valdymo sistemos kūrimas“*

²*Vilniaus kolegija/Higher Education Institution*

Summary. The article examines the application of deep learning models for age and gender recognition based on facial features, highlighting their advantages, limitations, and ethical challenges. It discusses the structure of facial recognition systems, key methods (*CNN*, *ResNet*, *VGG*, *EfficientNet*), their application to age regression and classification, as well as multi-task learning solutions. A review of studies is presented, emphasizing the importance of balanced datasets, such as *FairFace*, in reducing bias. Ethical aspects are analysed, including privacy concerns, the risk of discrimination, and the need to balance security with human rights.

The performance of different network architectures is compared in terms of accuracy, computational efficiency, and robustness to variations in lighting, pose, and ethnicity. Special attention is paid to data augmentation techniques, which allow for improved model generalization when training data are limited.

Furthermore, the study examines ongoing research directions aimed at improving fairness and interpretability of facial recognition algorithms. The findings suggest that while deep learning approaches achieve state-of-the-art accuracy in age and gender recognition, their deployment must be guided by strong ethical frameworks, transparent data practices, and clear accountability mechanisms.

Ultimately, the article concludes that the integration of technical innovation with ethical responsibility is crucial for ensuring that facial recognition technologies serve social good without compromising individual rights or reinforcing societal inequalities.

Key words: deep learning, face recognition, *CNN*, age estimation, gender classification, ethical challenges.

STABDŽIŲ ANTIBLOKAVIMO SISTEMOS ĮTAKA TRANSPORTO PRIEMONĖS STABDYMO RODIKLIAMS

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

¹Vilniaus kolegija, Olandų g. 16, Vilnius

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

Anotacija. Straipsnyje pateiktas lengvojo automobilio stabdymo rodiklių skaitinis skirtumas, kada automobilyje įjungta stabdžių antiblokavimo sistema (ABS) ir kada ji išjungta. Bandymai atlikti vadovaujantis „ISO 21994:2022 Passenger cars — Stopping distance at straight-line braking with ABS — Open-loop test method“ standarte pateikta metodika, siekiant išsiaiškinti ir pagrįsti skaitinėmis reikšmėmis stabdžių antiblokavimo sistemos efektyvumą ir įtaką pagrindiniams automobilio stabdymo rodikliams. Automobilio stabdymo rodikliai (automobilio greitis, pagreitis, stabdymo jėga, stabdymo kelias) fiksuoti „Dewesoft“ inercine navigacijos sistema (INS), skirta tiksliai padėties, objekto pozicijos, greičio ir pagreičio matavimams. Sistema turi naują „Kalmano“ filtravimo algoritmą, kuris integruoja GNSS (globaliosios navigacijos palydovų sistemos) duomenis su MEMS (angl. *Micro-Electromechanical Systems*) pagrįsto inercinio matavimo bloko informacija ir užtikrina stabdymo rodiklių matavimų tikslumą ir stabilumą. Tyrimo rezultatai rodo, kad intensyvaus stabdymo metu automobilis buvo veikiamas $\sim 8,5 \text{ m/s}^2$ išilginio pagreičio, o stabdymo procesas su įjungta ABS yra 0,6 s trumpesnis nei be ABS. Gautas stabdymo kelias 1,04 m yra ilgesnis, kai nenaudojama ABS. ABS užtikrina stabdymo proceso stabilumą: paminos spaudimo jėga yra tolygesnė, pagreitis mažiau kinta, o stabdymo kelias trumpesnis.

Reikšminiai žodžiai: stabdžių sistema, stabdžių antiblokavimo sistema, stabdymo kelias, pagreitis, greitis, stabdymo jėga

Įvadas

Siekiant išsiaiškinti ir pagrįsti skaitinėmis reikšmėmis stabdžių antiblokavimo sistemos (ABS) efektyvumą ir įtaką pagrindiniams automobilio stabdymo rodikliams (automobilio greičiui, pagreičiui, stabdymo jėgai, stabdymo keliui) buvo atliktas bandymas vadovaujantis „ISO 21994:2022 Passenger cars — Stopping distance at straight-line braking with ABS — Open-loop test method“ standartu. Bandymams pasirinkta uždara kelio atkarpa, kurioje buvo atlikti automobilio stabdymo bandymai, atsižvelgus į anksčiau minėtą standartą, naudojant „Dewesoft“ inercinę navigacijos sistemą (INS), skirtą tiksliai išmatuoti padėtį, objekto poziciją, greitį ir pagreitį.

1. Literatūros apžvalga

Didėjant transporto priemonių greičiui, eismo intensyvumui ir žmonių lūkesčiams dėl transporto priemonių saugumo, stabdžių antiblokavimo sistema (ABS) tapo svarbiu transporto priemonių saugos įrenginiu. Stabdžių antiblokavimo sistema serijiniuose automobiliuose pradėta naudoti 1978 m. Stabdžių antiblokavimo sistemos reikia, kad stabdymo metu ratai nebūtų blokuojami, tai yra stabdymo jėgos pasiskirstytų tarp ratų pagal jų sukibimo sąlygas su atraminiu paviršiumi.

Pagrindinis stabdžių antiblokavimo sistemos uždavinys – palaikyti ratų slydimą stabdymo metu artimą kritiniam slydimui. Tuomet pasiekiami geriausių stabdymo rodikliai. Ji ne tik atlieka įprastos stabdžių sistemos funkciją, bet ir apsaugo ratus nuo užblokavimo (Liu et al., 2021).

ABS yra automobilių hidraulinių stabdžių sistemos papildinys, turintis reikšmingą įtaką stabdymo efektyvumui ir vairavimo saugumui. ABS gali sutrumpinti stabdymo kelią ir pagerinti automobilių valdomumą stabdant (Liqun & Qingsong, 2018). ABS yra elektrohidraulinė stabdžių valdymo sistema,

pagrįsta šiuolaikiška stabdžių valdymo technologija, integruota į automobilių darbinių-hidraulinių stabdžių sistemą.

Automobilių elektrohidraulinis stabdymas turi neprilygstamų privalumų, palyginti su tradiciniu hidrauliniu stabdymu, pvz. greitas sistemos reakcijos laikas, grįžtamojo ryšio užtikrinimas, didelis stabdymo efektyvumas (Shengli, 2019).

Kaip efektyvią saugos priemonę ABS naudoja elektroninį valdymo režimą, kad automatiškai reguliuotų rato stabdymo sukimo momentą pagal „transporto priemonės kelio“ sąlygas, kad stabdant nebūtų užblokuotas besisukantis ratas (Tao, 2020).

ABS padidina transporto priemonės saugumą, neleidžia užblokuoti ratų, tačiau veiksmingumas priklauso ne tik nuo sistemos konstrukcijos ir veikimo algoritmo, bet ir nuo padangų ir kelio dangos sąveikos rodiklių. Tradicinės stabdžių sistemos nėra efektyvios dėl ratų blokavimo pavojaus, kai kelio dangos paviršiai skirtingi, o tai turi įtakos transporto priemonės stabilumui ir valdomumui. Abdullah et al. 2025 tyrime sėkmingai pristatytas metodas, leidžiantis pagerinti ABS veikimą esant įvairiems trinties koeficientams.

Nors gamintojai vis daugiau dėmesio skiria automobilio vairavimo saugumui užtikrinti ABS turi tobulintinių efektyvumo aspektų, kurie daugiausiai priklauso nuo sistemos ir vairuotojo elgsenos, esant skirtingiems scenarijams (Zhiqiang & Xi, 2018; Haihong, 2020).

Pasaulio tyrėjai nagrinėja įvairių stabdžių sistemų efektyvumą su ir be ABS, jų įtaką stabdymo kelio ilgiui, analizuojami automobilio dinaminiai rodikliai stabdymo metu. Kita atliekamų tyrimų kryptis yra stabdymo sistemos su ir be ABS efektyvaus poveikio analizė keičiant ABS atskirus ir jungtinius rodiklius.

Allam et al. 2021 atlikti eksperimentiniai tyrimai, siekiant iširti ABS poveikį stabdžių efektyvumui, kai veikimo parametrai, pvz., stabdžių skysčio slėgis ir slydimo greitis, skirtingi. Obagbuwa et al. 2023 tyrimais siekė nustatyti, kaip užtikrinti efektyvų ABS modulatoriaus (bloko) elementų

veikimą, nepriklausomą nuo išorinių rodiklių faktinių (matuojamų realiu laiku) reikšmių.

Ulum ir Patriawan (Ulum ir Patriawan, 2022) sukūrė ir įdiegė ABS, naudodami „Simulink“ programinę įrangą, ir įrodė ABS sistemų pranašumą stabdymo kelio atžvilgiu. Tiek drėgnos, tiek sausos kelio dangos sąlygomis ABS padidintas ratų trinties koeficientas sutrumpina stabdymo kelią (Uzunov, 2022). Be to, ABS pagerina darbinių stabdžių sistemos valdymą, nes leidžia dinamiškai reguliuoti transporto priemonės ratų stabdymo jėgas (Lorenčič, 2023).

Krastev, Karapetkov (Krastev, Karapetkov, 2025) pateikti eksperimentinio tyrimo, skirto motorinių transporto priemonių vairuotojų reakcijos laikui realioje miesto aplinkoje, rezultatai, kai imituojamas pavojingas scenarijus: vairuotojo akiratyje esančioje aklojoje zonoje staiga pasirodo kliūtis. Remiantis surinktais duomenimis, buvo sukurtas matematinis modelis, leidžiantis įvertinti transporto priemonės kinematinis rodiklius stabdymo fazėje ir jį taikyti ABS efektyvumui didinti.

2. Tyrimui naudota įranga

Stabdžių sistemos bandymai fiksuojami „Dewesoft“ sukurta inercine navigacijos sistema (INS), skirta matuoti tikslią padėtį, orientaciją, greitį ir pagreitį. Ši sistema naudoja *Kalmano* filtravimo algoritmą, kuris integruoja GNSS (globaliosios navigacijos palydovų sistemos) duomenis su MEMS (angl. *Micro-Electromechanical Systems*) pagrįsto inercinio matavimo bloko informacija, užtikrindama matavimų tikslumą ir stabilumą. „Dewesoft Navion i2“ (1 lentelė) yra šios sistemos kompaktiškas, patikimas ir tvirtas modelis (1 pav.). Jis turi dvi antenas ir palaiko RTK (angl. *Real-Time Kinematics*) technologiją, leidžiančią pasiekti padėties nustatymo tikslumą iki 1 centimetro. Suderinamas su įvairiomis palydovinėmis sistemomis, tokiomis kaip GPS (L1, L2, L5), GLONASS (L1, L2, L3), BeiDou (B1, B2), Galileo (E1) ir kitomis. Sistema užtikrina tikslus matavimus net kai GNSS signalas ribotas.

1 lentelė. „Navion i2“ prietaiso techninė specifikacija (Dewesoft, 2023)

Sąsaja	Ethernet (10/100), CAN, 2x RS232 (RTK, NMEA)
Darbinė įtampa	9 iki 36 V
Energijos sąnaudos	3,5 W
Darbinė temperatūra	-40 °C iki +71 °C (0,8 °C/min Maks.)
Matmenys	102 mm x 81 mm x 48 mm
Svoris	310 g
Aplinkos apsauga	IEC 60529, IP68

Šaltinis: sudaryta autorių

Pagrindiniai „Navion i2“ matavimo parametrai:

- geografinė platumą, ilgumą ir aukštis;
- orientacija (posvyris ir kryptis);
- greičiai ir kampiniai greičiai;
- automobilio pagreičiai;
- šoninio slydimo kampai.



1 pav. „Navion i2“ matavimo prietaisas ant tiriamo automobilio
Šaltinis: sudaryta autorių

Stabdžių paminos nuspaudimo jėgai matuoti naudojamas jutiklis (2 pav.), jungiamas prie „Dewesoft“ įrangos. Jutiklis matuoja jėgą nuo 0 iki 1 kN, matavimo tikslumas – 1 % (MAHA, 2025).



2 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos jutiklis
Šaltinis: sudaryta autorių

3. Tyrimo metodika

Tyrimui pasirinktas techniškai tvarkingas automobilis. Pagrindiniai automobilio parametrai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Tyrimams naudoto automobilio techniniai parametrai

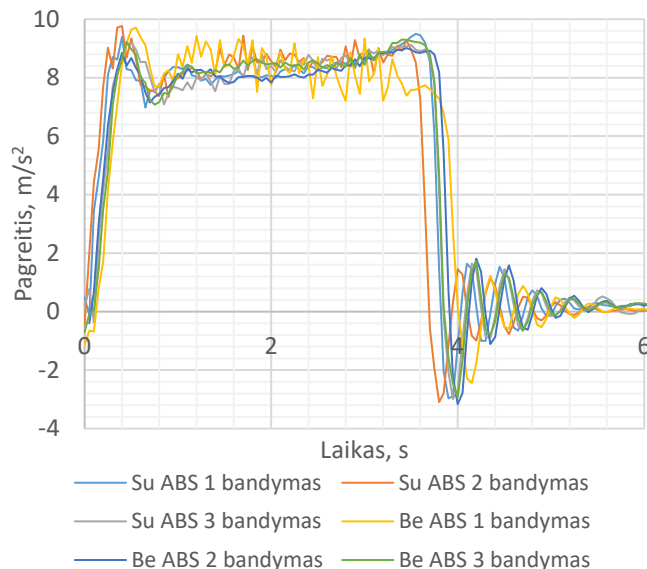
Variklio darbinis tūris	1,9 l
Galia (AG / kW)	130 AG (96 kW)
Pavarų dėžė	5 pavaros, mechaninė
Ilgis x plotis x aukštis	4705 mm x 1745 mm x 1463 mm
Ratų bazė	2702 mm
Priekinių stabdžių diskų diametras	288 mm
Galinių stabdžių diskų diametras	245 mm
Padangų matmenys, tipas	195/65 R15, vasarinės

Šaltinis: sudaryta autorių

Bandymų metu automobilis pasiekia 100 km/h greitį. Automobilis stabdomas maksimaliai nuspaudžiant stabdžių paminą. Bandymai atliekami po 3 kartus – stabdoma su įjungta ir išjungta ABS. Fiksuojama stabdžių paminos nuspaudimo jėga, išilginiai ir skersiniai pagreičiai, tiksli automobilio padėtis ir greitis. Rezultatai pateikti ir išanalizuoti kitame skyriuje.

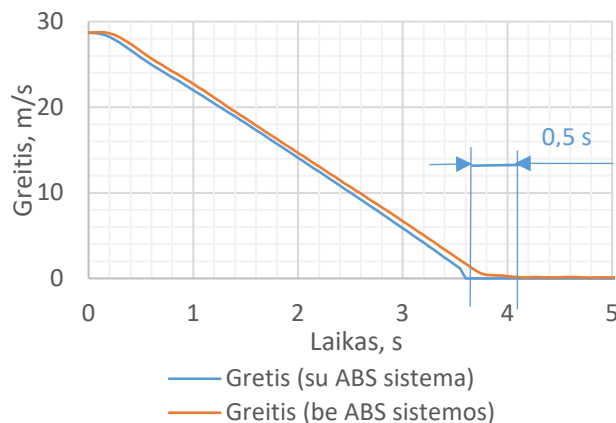
4. Rezultatai

Šiame skyriuje pateikti bandymų rezultatai. Stabdymo metu automobilį veikiantis išilginis pagreitis pavaizduotas 2 pav. Visų bandymų metu pagreičio vertės yra panašios – intensyvaus stabdymo metu automobilis veikiamas $\sim 8,5 \text{ m/s}^2$ pagreičio. Išsiskiria tik 1 bandymo su išjungta ABS rezultatai. Šio bandymo metu intensyviai stabdant pagreitis svyruoja $7,2\text{--}9,3 \text{ m/s}^2$, bet stabdymo trukmė yra panaši kaip ir kitų bandymų su išjungta ABS sistema.



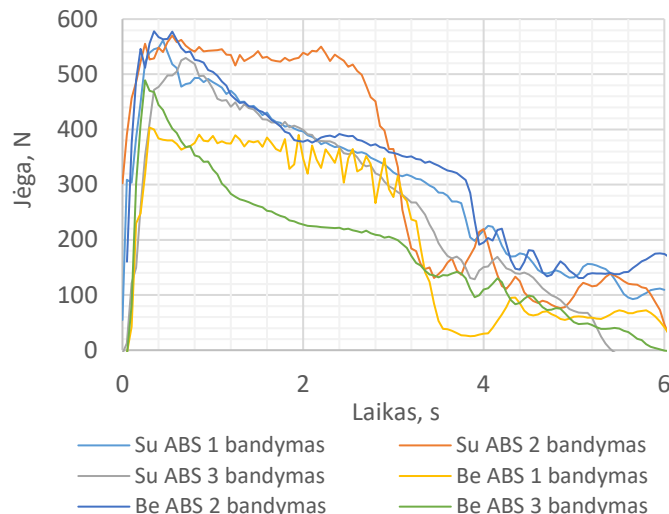
2 pav. Stabdymo metu užfiksuotų pagreičių kreivės
Šaltinis: sudaryta autorių

3 paveiksle pateiktos stabdymo metu užfiksuotų greičių kreivės. Rezultatai pateikti apskaičiuojant vidutines visų bandymų reikšmes su įjungta ir išjungta ABS. Stabdymas su įjungta ABS truko 3,5 s, su išjungta sistema – 4,1 s. Stabdymo trukmė su išjungta sistema yra 0,6 sekundės ilgesnė. Stabdymo kelias su įjungta ABS sistema yra $\sim 28,35 \text{ m}$, su išjungta sistema $\sim 29,39 \text{ m}$. Automobilis be ABS sustojo 1,04 m toliau.



3 pav. Stabdymo metu užfiksuotų greičių kreivės
Šaltinis: sudaryta autorių

Grafike (4 pav.) pavaizduota stabdžio paminos nuspaudimo jėgos (N) priklausomybė nuo laiko šešių bandymų metu: trijų su įjungta ABS ir trijų – su išjungta. Bandymai su įjungta ABS pasižymi paminos nuspaudimo jėga $\sim 500\text{--}600 \text{ N}$, kreivės stabilios, svyravimai nedideli. Su išjungta ABS pasiekama mažesnė paminos nuspaudimo jėga $\sim 350\text{--}450 \text{ N}$, pastebimi akivaizdūs jėgos svyravimai ypač pirmame bandyme, bendras paminos nuspaudimas ne toks pastovus.



4 pav. Stabdymo metu užfiksuota stabdžio paminos nuspaudimo jėga

Šaltinis: sudaryta autorių

Išvados

Atlikus tyrimą galima daryti šias išvadas:

1. Intensyvaus stabdymo metu automobilis buvo veikiamas $\sim 8,5 \text{ m/s}^2$ išilginio pagreičio. Pastebėta, kad be ABS pagreičio kreivė būdingi didesni svyravimai ($7,2\text{--}9,3 \text{ m/s}^2$), nors stabdymo trukmė išliko panaši į kitų bandymų be ABS.
2. Nustatyta, kad stabdymo procesas su įjungta ABS yra trumpesnis – automobilis sustojo per 3,5 s, o be ABS – per 4,1 s. Stabdymo kelio skirtumas yra 1,04 m ($28,35 \text{ m}$ su ABS ir $29,39 \text{ m}$ be ABS).
3. Stabdžio paminos nuspaudimo jėga bandymų su ABS metu buvo didesnė ir pastovesnė ($\sim 500\text{--}600 \text{ N}$), palyginti su bandymais be ABS, kur jėga siekė $\sim 350\text{--}450 \text{ N}$ bei išsiskyrė svyravimais.
4. ABS užtikrina stabdymo proceso stabilumą: paminos spaudimo jėga yra tolygesnė, pagreitis kinta mažiau, o stabdymo kelias trumpesnis. Tai rodo, kad ABS padidina automobilio stabdymo efektyvumą ir saugumą.
5. Stabdant be ABS paliekamos stabdymo žymės ant kelio dangos. Tai rodo, kad šio stabdymo metu lokaliai dyla padangos protektorius ir dėl to padangos greičiau gali tapti netinkamos naudoti. Stabdant su ABS padangų dilimas nepastebėtas.

Literatūra

- Abdullah, M. F., Qasem, G. A. A., Farid, M., Lim, H. S., Lee, C. P., Alsakkaf, N. (2025). Adaptive control techniques for improving anti-lock braking system performance in diverse friction scenarios. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 15(1), 260-279. doi:10.11591/ijece.v15i1
- Allam, S., Nader, F., El daheb, H. A., Abdelwahed, K. (2021). Assessment and Comparison Performance of the Conventional and an Anti-Lock Braking System. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 8(9).
- Haihong, W. (2020). Research on the control technology of automobile anti-lock braking system. *Time Auto*, 327(3), 92–93.
- International Organization for Standardization. (2022). *ISO 21994:2022 – Passenger cars – Stopping distance at straight-line braking with ABS – Open-loop test method*.
- Krastev, A., Karapetkov, S. (2025). Experimental determination of driver reaction time and analysis of its influence on the full braking distance of the vehicle. *Journal of Physics: Conference Series*, 3099. doi:10.1088/1742-6596/3099/1/012003
- Liqun, Z., Qingsong, L. (2018). Development prospects of ABS braking under the trend of high-end motorcycle manufacturing. *Motorcycle Technology*, 316(6), 40–46.
- Liu, X., Ma, C., Jiang, Y., Zhang, L., Xue, Y. (2021). Research on anti-lock braking system of electro-mechanical braking vehicle based on feature extraction. *Journal of Physics: Conference Series*, 1982(1). doi:10.1088/1742-6596/1982/1/012001
- Lorenčič, V. (2023). The effect of tire age and anti-lock braking system on the coefficient of friction and braking distance. *Sustainability*, 15(8). doi:10.3390/su15086945
- Obagbuwa, I.C., Zibi, V.M., Makade, M. (2023). Anti-lock braking system using Monte Carlo simulations. In: Das, A.K., Nayak, J., Naik, B., Vimal, S., Pelusi, D. (Eds), *Computational Intelligence in Pattern Recognition (CIPR 2022, vol. 725)*. Springer, Singapore. doi:10.1007/978-981-99-3734-9_53.
- Shengli, Z. (2019). Design and Analysis of Automobile Electromechanical Brake Actuator, *Mechanical Research and Application*, 32(5), 66–69.
- Tao, L. (2020). Design and research of automotive electronic mechanical braking system, *Internal combustion engine and accessories*, 323(23), 32–33.
- Ulum, M., Patriawan, D. A. (2022). Modeling and performance testing of anti-lock braking system (ABS) with variation of road friction coefficient to braking distance, *Rekayasa*, 15(3). 340–345. doi:10.21107/rekayasa.v15i3.16561.
- Uzunov, H., Dimitrov, K. and Dechkova, S. (2022). Experimental determination of the tire-road friction coefficient for a vehicle with anti-lock braking system. *AIP Conference Proceedings*. doi:10.1063/5.0103769.
- Zhiqiang, L., Xi, P. (2018). Research on anti-lock braking test of continuous regenerative braking system for electric vehicles. *Automotive Engineering*, 40(7), 59–66.
- Zongrong, C., Qingzhang, C., Zhengyi, W. (2018). Research on the anti-lock braking system of electric vehicles. *Mechanical Science and Technology*, 281(7), 111–117.
- MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG. (2025) *Technical datasheet: VZM 300 (VP 185016)*. Prieiga per internetą: https://www.maha.de/restriction/check-asset/support_documents/dokumente/Brosch%C3%BCren/MAHA/01_Bremspr%C3%BCftechnik/VZM/TD_MAHA_VZM_300_VP185016_en.pdf?_locale=en.
- DEWESOFT. (2023). *Software user manual, NAVION i2 V23-2* (p. 48).

INFLUENCE OF ANTI-LOCK BRAKE SYSTEM ON VEHICLE BRAKING CHARACTERISTICS

Vytenis Surblis^{1,2}, Deividas Navikas^{1,2}, Petras Kaikaris¹

¹ Vilniaus kolegija/Higher Education Institution

² Vilnius Gediminas Technical University

Summary. The article presents the numerical difference in the braking characteristics of a light vehicle when the anti-lock braking system is engaged and when it is disengaged. The test is performed based on the methodology presented in the standard "ISO 21994:2022 Passenger cars — Stopping distance at straight-line braking with ABS — Open-loop test method" using In order to clarify and substantiate with numerical values the effectiveness of the anti-lock braking system (ABS) and its impact on the main braking indicators of a car, a test was performed based on the standard "ISO 21994:2022 Passenger cars — Stopping distance at straight-line braking with ABS — Open-loop test method". The Dewesoft inertial navigation system (INS) is used to record car braking indicators (car speed, acceleration, braking force, braking distance) for accurate measurements of position, object position, speed, and acceleration. The system uses a new Kalman filtering algorithm that integrates GNSS (Global Navigation Satellite System) data with information from a MEMS (Micro-Electromechanical Systems) based inertial measurement unit to ensure the accuracy and stability of braking performance measurements. The test results show that during intense braking, the car was subjected to a longitudinal acceleration of ~8.5 m/s², and the braking process with ABS engaged is 0.6 s shorter than the braking result obtained without ABS. The braking distance of 1.04 m is longer when ABS is not used. ABS ensures the stability of the braking process: the pedal pressure is more even, the acceleration fluctuates less, and the braking distance is shorter.

Key words: Brake system, anti-lock braking system, braking distance, acceleration, speed, braking force.

PILNAVIDURIO IR TUŠČIAVIDURIO VELENŲ TANGENTINIŲ ĮTEMPIŲ PALYGINIMAS

Jurijus Tretjakovas

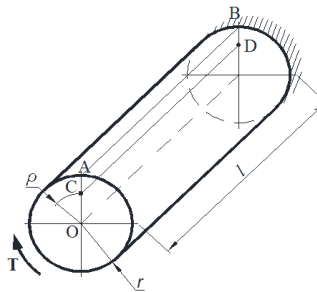
Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58-1, Vilnius

Anotacija. Straipsnyje nagrinėjamas to paties skerspjūvio pilnavidurio ir tuščiaavidurio velenų stiprumas grynojo sukimo atveju. Tokių velenų stiprumo sąlygomis tenka apriboti didžiausią tangentinį įtempį velene. Šio įtempio analitinė formulė yra išvedama pilnaviduriui velenui naudojant mažų deformacijų hipotezę ir taikant proporcingumo dėsnį. Išvesta formulė vėliau pritaikoma tuščiaaviduriui velenui ir analitiškai parodoma žiedinio veleno sienelės storio įtaka tangentinio įtempio kaitai lyginant žiedinio veleno stiprumą su pilnavidurio veleno stiprumu.

Reikšminiai žodžiai: velenas, tangentiniai įtempiai, šlyties deformacija, veleno stiprumas, tuščiaaviduris velenas.

Įvadas

Straipsnyje nagrinėjamas skritulinio skerspjūvio velenas, kurį veikia tik viena vienintelė įrąža, sukimo momentas T (1 pav.). Veleno ilgis l , skritulinio skerspjūvio spindulys r , o taškas C nutolęs atstumu r . Plokštumos $ABDC$ taškai A ir C 1 paveiksle yra parodyti prieš deformaciją.



1 pav. Veleno geometrija ir padėtis prieš deformaciją
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Po susisukimo deformacijos pilnavidurio veleno skerspjūvio kontūras nepakinta ir visi skerspjūviai išlieka plokšti (Bhardwaj, 2021, Gupta, 2020, Hibbeler, 2023). Skerspjūvyje atsiranda grynosios šlyties deformacija.

1. Deformacijų analitinis aprašas

Po susisukimo deformacijos labai mažu kampu ϕ (2 pav.) taškai A ir C pasislenka labai nedideliais apskritimų lankais ir užima poziciją A_1 ir C_1 . Šlyties elemento deformacija ties tašku C , nutolusiu atstumu r nuo centro, aprašoma kaip arktangento funkcija santykiu (nepamirštama, kad labai mažų kampų tangentai lygūs jiems patiems)

$$\gamma = \frac{CC_1}{CD} = \frac{CC_1}{l} \quad (1)$$

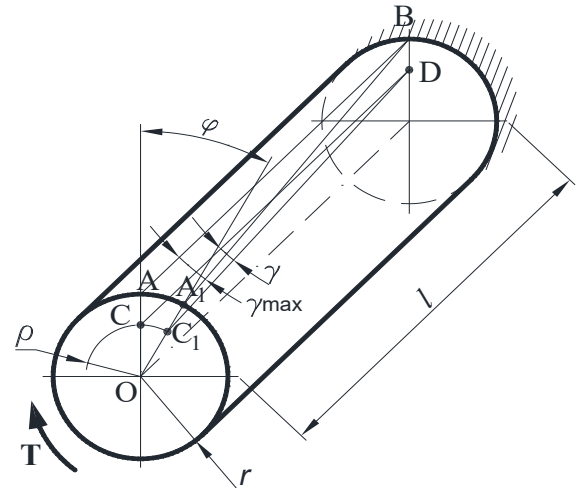
Kampas $COC_1 = \phi$, todėl atstumas CC_1 :

$$CC_1 = \rho \cdot \phi \quad (2)$$

Vadinasi, šlyties deformaciją ties tašku C galima išreikšti:

$$\gamma = \frac{\rho \cdot \phi}{l} \quad (3)$$

Analogiškai aprašoma ir maksimali šlyties (Han, 2023) deformacija γ_{max} ties tašku A (2 pav.).



2 pav. Veleno skerspjūvio padėtis po šlyties deformacijos
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Gaunamos išraiškos

$$\gamma_{max} = \frac{AA_1}{AB} = \frac{AA_1}{l}; \quad (4)$$

$$AA_1 = r \cdot \phi; \quad (5)$$

$$\gamma_{max} = \frac{r \cdot \phi}{l}. \quad (6)$$

parodo, kad šlyties deformacija proporcinga atstumui nuo centro.

Šio tyrimo tikslas yra palyginti pilnavidurio ir tuščiaavidurio vienodos masės velenų maksimalias deformacijas ir įtempius. Šiam tikslui pasiekti reikia išvesti tangentinį įtempį formulę, aprašyti vienodos masės velenų skersmenų skaičiavimo metodiką ir atlikti standumo ir stiprumo lyginamąją analizę.

2. Tangentinių įtempių formulės išvedimas

Naudodami proporcingumo dėsnį galime aprašyti įtempius ties tašku C (Gupta, 2021)

$$\tau = G \cdot \gamma = G \cdot \frac{\rho \cdot \varphi}{l} \quad (7)$$

ir tašku A

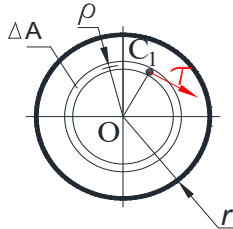
$$\tau_{max} = G \cdot \gamma_{max} = G \cdot \frac{r \cdot \varphi}{l}. \quad (8).$$

Padalinę lygtį (8) iš lygties (7) gauname:

$$\frac{\tau_{max}}{\tau} = \frac{r}{\rho} \quad (9)$$

Lygtis (9) parodo, kad šlyties įtempiai sukimo metu kinta pagal tiesinį dėsnį nuo nulio (kai $\rho = 0$) iki τ_{max} (kai $\rho = r = \rho_{max}$).

Panagrinėkime siaurą žiedą aplink tašką C, kurio skerspjūvio plotas ΔA (3 pav.) yra nykstamai mažas.



3 pav. Nykstamai mažas skerspjūvio žiedas
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Kiekvieną žiedo tašką veikia tangentinis įtempis τ (3 pav.) kryptimi, statmena linijai, kuri jungia įtempio pridėties tašką su skerspjūvio centru O. Taigi nykstamai mažas momentas apie tašką O bus išreiškiamas lygtimi:

$$\Delta T = (\tau \cdot \Delta A) \cdot \rho \quad (10).$$

Formulėje (10) narį $\tau \cdot \Delta A$ reikia suprasti kaip nykstančiai mažą jėgą.

Sudėję nykstamai mažus plotus į vientisą sritį gauname:

$$T = \int_A \tau \cdot \rho \, dA \quad (11).$$

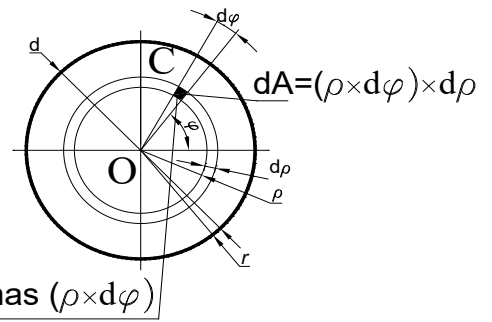
Irašome lygtį (7) į formulę (11)

$$T = \int_A G \cdot \frac{\rho \cdot \varphi}{l} \cdot \rho \, dA \quad (12)$$

ir gauname sukimo momento išraišką

$$T = \frac{G \cdot \varphi}{l} \cdot \int_A \rho^2 \, dA \quad (13).$$

Čia formulėje (13) gautas integralas reikalauja detalesnio paaiškinimo. Išskirkime ties tašku C (4 pav.) nykstamai mažą plotelį dA dviem spinduliais su nykstamai mažu kampu $d\phi$ ir dviem apskritimais su atstumu tarp jų $d\rho$.



Atstumas ($\rho \times d\phi$)

4 pav. Nykstamai mažas plotas ties tašku C
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Formulėje (13) integralą galime keisti dvigubu integralu:

$$\iint_A \rho^2 \cdot \rho \, d\phi \, d\rho = \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^r \rho^3 \, d\rho = \frac{\pi \cdot r^4}{2} \quad (14).$$

Formulė (14) tampa labiau patraukli praktinėje inžinerijoje naudojant skersmenį d ir gauta išraiška (15) vadinama skritulio poliniu inercijos momentu (Vislavičius, 2008):

$$I_p = \frac{\pi \cdot (d/2)^4}{2} = \frac{\pi \cdot d^4}{32} \quad (15).$$

Irašę formulę (15) į (13) ir ją pertvarkę gauname posūkio kampo išraišką (Han, 2023):

$$\varphi = \frac{T \cdot l}{G \cdot I_p} \quad (16).$$

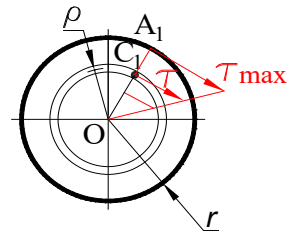
Gautą išraišką (16) pritaikę formulėse (7) ir (8)

$$\tau = G \cdot \frac{\rho \cdot \varphi}{l} = G \cdot \frac{\rho \cdot T \cdot l}{l \cdot G \cdot I_p} = \frac{T \cdot \rho}{I_p} \quad (17)$$

$$\tau_{max} = G \cdot \frac{r \cdot \varphi}{l} = G \cdot \frac{r \cdot T \cdot l}{l \cdot G \cdot I_p} = \frac{T \cdot r}{I_p} \quad (18)$$

gausime įtempių išraiškas:

- formulėje (17) ties tašku C (5 pav.) įtempį τ ;



5 pav. Tangentiniai įtempiai vėlene
Šaltinis: sudaryta autoriaus

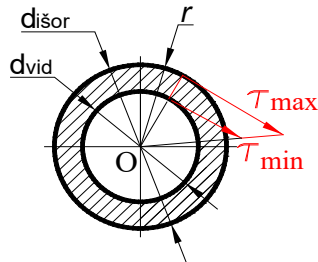
- formulėje (18) maksimalius įtempius τ_{max} ties tašku A.

3. Žiedinio skerspjūvio veleno įtempiai

Tuščiavidurių velenų maksimalūs tangentiniai įtempiai išreiškiami formule:

$$\tau_{max} = \frac{T \cdot r}{I_{p,isor} - I_{p,vid}} \quad (19)$$

Narį vardiklyje patogiau išreikšti naudojant išorinį ir vidinį skersmenis (6 pav.)



6 pav. Tangentiniai įtempiai tuščiaviduriame veleno
Šaltinis: sudaryta autoriaus

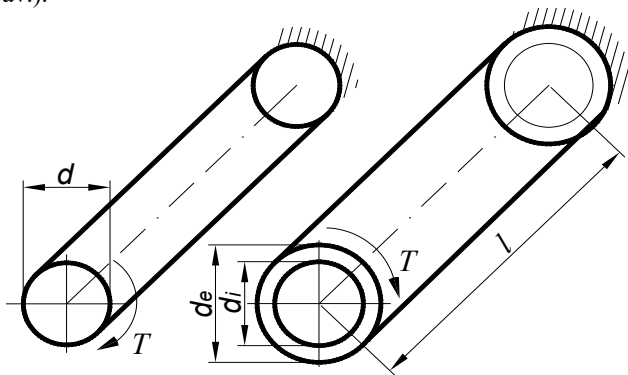
Tuomet tuščiavidurio veleno maksimalūs įtempiai skaičiuojami:

$$\tau_{max} = \frac{T \cdot r}{\frac{\pi}{32} (d_{isor}^4 - d_{vid}^4)} \quad (20)$$

Palyginus formules (18) ir (20) darytina išvada, kad tokio pat skerspjūvio ploto tuščiaviduris velenas bus racionalesnis už pilnavidurį, nes tokio pat ploto tuščiavidurio veleno inercijos momentas bus didesnis. Norint žinoti, kiek padidėja stiprumas, reikia atlikti lyginamąją analizę.

4. Veleno įtempių lyginamoji analizė

Palyginkime vienodos masės, t. y. vienodo ilgio ir vienodo skerspjūvio ploto, dviejų velenų stiprumą. Pirmo pilnavidurio veleno skersmuo d , o antro tuščiavidurio skersmenys d_e ir d_i (7 pav.).



7 pav. Pilnaviduris ir tuščiaviduris vienodos masės velenai
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Tuščiavidurio veleno išorinio ir vidinio skersmenų santykis aprašomas parametru k :

$$k = \frac{d_e}{d_i} \quad (21)$$

Jei velenų masės lygios, tai jų skerspjūvių plotai A_1 ir A_2 privalo būti lygūs. Todėl

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_e^2 - d_i^2) \quad (22)$$

Vadinasi,

$$d^2 = d_e^2 - d_i^2 \quad (23)$$

Naudodamiesi (21) formule galime teigti, kad $d_e = k \cdot d_i$ ir pertvarkyti formulę (23) išreikšdami skersmenį tik vidiniu skersmeniu

$$d^2 = (k \cdot d_i)^2 - d_i^2 \quad (24)$$

ir iš formulės (24) gauti vidinį skersmenį

$$d_i^2 = \frac{d^2}{k^2 - 1} \quad (25)$$

Taip pat galima pasirinkti, kad $d_i = \frac{d_e}{k}$ ir skersmenį d išreikšti tik išoriniu skersmeniu

$$d^2 = d_e^2 - \left(\frac{d_e}{k}\right)^2 \quad (26)$$

bei iš formulės (26) gauti išorinį skersmenį

$$d_e^2 = \frac{d^2}{1 - \left(\frac{1}{k^2}\right)} \quad (27)$$

Abiejų velenų inercijos momentų santykis, aprašytas naudojant formules (25) ir (27), parodo velenų standumo santykį:

$$\frac{I_{p2}}{I_{p1}} = \frac{\frac{\pi}{32} \left[\left(\frac{d^2}{1 - \left(\frac{1}{k^2}\right)} \right)^2 - \left(\frac{d^2}{k^2 - 1} \right)^2 \right]}{\frac{\pi \cdot d^4}{32}} \quad (28)$$

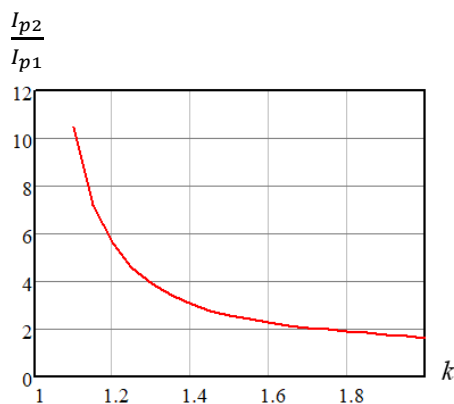
Velenų tangentiniai įtempiai lyginami tariant, kad juos veikia vienodas sukimo momentas T ir dalinat pilnavidurio veleno įtempius iš tuščiavidurio veleno maksimalių įtempių:

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{\frac{\pi \cdot d^4}{32} \cdot \frac{1}{(d/2)}}{\frac{\pi}{32} \left[\left(\frac{d^2}{1 - \left(\frac{1}{k^2}\right)} \right)^2 - \left(\frac{d^2}{k^2 - 1} \right)^2 \right] \cdot \frac{1}{(d_e/2)}} \quad (29)$$

Formulėje (29) sukimo momentai T susiprastina ir įtakos tangentinių įtempių teoriniam palyginimui neturi.

Panagrinėkime konkretų atvejį imdami pilnavidurio veleno skersmenį 20 mm ir santykį $k=1,5$. Tuomet tuščiavidurio veleno vidinis skersmuo bus 16 mm, o išorinis skersmuo – 25,6 mm, inercijos momentų santykis – 2,28 karto, o tangentinių įtempių santykis – 1,78. Vadinasi, tokios pačios masės tuščiaviduris velenas bus 2,28 karto standesnis ir 1,78 karto stipresnis.

Pasirinkus išorinio ir vidinio skersmenų santykio k ribas nuo 1,1 iki 2, velenų standumo santykį puikiai iliustruoja 8 pav. pateiktas grafikas.

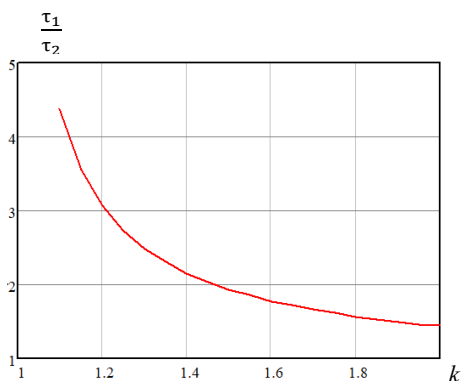


8 pav. Pilnavidurio ir tuščiaavidurio velenų inercijos momentų santykio kreivė

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Standumų santykio ribinės reikšmės grafike yra nuo 10,5 iki 1,667.

Velenų maksimalių tangentinį įtempių santykio kreivė parodyta 9 pav.



9 pav. Pilnavidurio ir tuščiaavidurio velenų stiprumo santykio funkcija

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Stiprumo santykio ribinės reikšmės funkcijoje yra nuo 4,38 iki 1,443.

Tačiau čia reikia paminėti vieną labai svarbią prielaidą – šiame analitiniame modelyje nenagrinėjamas veleno stabilumo praradimas ir tuščiaavidurio veleno suklupimo pavojus, kai sienelė plona.

Apibendrinimai ir išvados

1. Remiantis atliktu tyrimu galima teigti, kad tos pačios masės tuščiaavidurio veleno inercijos momentas lyginat su pilnaviduriu velenu priklauso nuo išorinio ir vidinio skersmenų santykio.
2. Nagrinėjant 20 mm skersmens pilnavidurį veleną ir

tuščiaavidurius velenus su išorinio ir vidinio skersmenų santykiais nuo 1.1 iki 2 gauta, kad realiai standumą galima padidinti 5,54 karto ir atitinkamai 1,667 karto.

3. Atliekant stiprumo santykinę analizę nustatyta, kad pilnavidurio veleno tangentiniai įtempiai bus 3,07 karto didesni.
4. Išorinio ir vidinio skersmenų santykiui viršijus 1.6, standumo kreivės krypties koeficientas sudarė 96,7 %, o stiprumo kreivės – 51 %.
5. Kai santykis k ribose nuo 1,1 iki 1,2 teorinių įtempių, lyginimo rezultatais praktikoje pasikliauti nedera, nes modeliuojant nevertinta tuščiaavidurio veleno plonos sienelės stabilumo praradimo tikimybė.

Literatūra

Bhardwaj A. (2021) Design and Analysis of a Solid and Hollow Unibody Driveshaft of an ATV. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 8, 1256-1261.

Gupta A, Yadav V.S., & Chauhan S. (2021) Investigation of dynamic behavior of Hollow Rotor Shaft System through FEM. *Journal of Physics: Conference Series*.

Gupta M.K., & Sharma P.K., (2020) Comparative analysis of solid and hollow shafts under torsion and bending, *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 10(6), 317–328.

Han S.R., M. Tuckmantel M., & Chen X., (2023) Analysis and modelling of the rotor dynamics of a composite hollow shaft. *Proceedings of the International Conference on Advanced Technologies in Engineering and Education (ICATEE)*, pp. 112–118.

Hibbeler, R.C. (2023). *Mechanics of materials*. Pearson Education limited.

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

COMPARISON OF SHEAR STRESSES BETWEEN SOLID AND HOLLOW SHAFTS

Jurijus Tretjakovas

Vilniaus kolegija/Higher Education Institution

Summary. The paper presents the strength of hollow and solid shafts with the same shear zone area in pure torsion. In the strength conditions of such shafts, it is necessary to limit the maximum shearing stress in the shaft. The analytical formula for this stress is derived for the case of a solid shaft using the hypothesis of small deformations and the law of proportionality. The derived formula is later applied to a hollow shaft and the influence of the wall thickness of the hollow shaft on the variation of the tangential stress is analytically shown by comparing the strength of the hollow shaft with the strength of the solid shaft.

Key words: shaft, shear stresses, shear deformation, shaft strength, hollow shaft.

THERMAL ANALYSIS OF PLUG-IN HYBRID VEHICLE CHARGING PROCESS

Aurelijus Pitrenas, Saulius Stravinskas, Tadas Vipartas

Vilniaus kolegija | Higher education institution, Olandų str. 16, Vilnius

Abstract. This study examines thermal safety issues in PHEV charging infrastructure using experimental analysis of a Chevrolet Volt generation 2 charging process. During the research temperature variations across five system components during 120 min. charging cycles at 3.6 kW in controlled 23°C laboratory conditions using a Fluke Ti480 Pro infrared camera, was monitored.

Results revealed critical safety concerns: wall socket 2 reached temperatures exceeding 150°C – far above the 60°C safe limit for standard outlets – due to contact resistance 4.3 times higher than normal, creating an immediate fire hazard. The extension cord reached 50°C, suggesting under sizing for continuous EV charging, while the car connector and on-board charger remained below 45°C.

Thermal resistance calculations validated experimental measurements with less than 3% deviation. Temperature progression showed three phases: rapid initial heating (0-30 minutes), steady increase (30-90 minutes), and thermal equilibrium approach (90-120 minutes).

The findings demonstrate that aging residential infrastructure poses significant risks when used for EV charging. Key recommendations include: discontinuing faulty outlets, upgrading infrastructure with minimum 2,5 mm² wire gauge, installing commercial grade outlets, and implementing periodic thermal monitoring for early fault detection. The research strongly supports dedicated EVSE installations rather than relying on standard household outlets due to higher loads.

Keywords: Plug-in hybrid electric vehicle (PHEV), electric vehicle charging, thermal analysis, charging infrastructure safety, infrared thermography.

Introduction

The ongoing worldwide transition to electric mobility is among the most massive technological and infrastructural overhauls in recent transportation innovations. Plug-in Hybrid Electric Vehicles and Battery Electric Vehicles are critical considerations in initiatives to reduce carbon emissions and diversification away from crude oil. Nevertheless, this shift is introducing massive technical problems that span the entire charging ecosystem and extend beyond simple vehicle construction.

As plug-in Hybrid Electric Vehicles adoption increases across the world, the enabling electrical system is being pushed to extremes that have never been seen before. Unlike other domestic appliances, which are used for brief moments of the day, linking an electric automobile to the power grid applies a constant high current load that may persist for hours. This basic change in usage is opposed to the design profile of the electrical systems within homes around the world, which were developed decades ago for this predetermined grid, resulting in thermal stress on the entire electric system. This causes the early aging of electrical equipment from powering sockets to extension cords, shortening operation, and other safety, including catastrophic safety hazards.

Specifically, the global thermal management hot topic influences many elements within the general EV ecosystem. All in all, effective temperature control is required for the battery efficiency and lifetime because excess temperature may trigger an irreversible reaction that affects energy capacity and might result in a fast increase of symptoms. Special circumstances and various external climate conditions exacerbate the situation: “In the cold weather, the powertrain efficiency of EVs falls

considerably, necessitating ITMS that can extricate the electrical power plant from the passenger region.”

Apart from vehicle centric considerations, the introduction of large scale EV fleets also poses new thermal and operational challenges to electrical grids. The load of EV charging can become concentrated within specific neighbourhoods during the evening hours, resulting in substantial thermal stresses on distribution transformers and transmission lines. It can place them far outside of their thermal rating with severe consequences for power infrastructure reliability and emergency response.

In such circumstances, the installation of charging infrastructure, alongside the implementation of dynamic thermal ratings on power lines, becomes vital for securing the energy grid and self-sustainment in systems with extensive renewable energy integration. At the hardware level of charging infrastructure, the thermal characteristics of components during high power charging play a significant role in determining the device’s capabilities. Stations operating at power outputs exceeding 50 kW generate enormous amounts of wasted heat, which needs to be released in a controlled fashion to prevent components from overheating.

The main literature provides extensive research on thermal management systems in the context of commercial charging stations, including phase change materials, uses, and high capacity heat sinks. However, little research was conducted on the topic of thermal characteristics of residential Level 2 charging infrastructures operating at substantially lower power outputs of 3.6 kW and 7.2 kW. This literature gap is especially critical given that most of the PHEV and BEV charging occurs within residential homes using suitable home connections. On average, homeowners will use standard 120 V or 230 V connections or light duty extension cords for daily BEV charging without understanding the thermal limitations of the

solutions utilized. Such assumptions that the same systems, which are used for occasional home tool use and room space heater use, will operate without issues for years or decades when used to fully replenish the daily range required, can cause significant infrastructure stress.

The results of the present study will directly address this critical gap in knowledge through a comprehensive and systematic thermal analysis of residential PHEV charging infrastructure. This analysis will leverage recent advances in thermal imaging technology to characterize the temperature profiles of various PHEV charging system components subjected to extended charging durations. For this study, a second generation Chevrolet Volt with a 3.6 kW on-board charger was utilized as a testbed, as it exemplifies one of the millions of PHEVs in operation.

1. Thermal analysis of charging infrastructure

PHEVs are spreading steady, and they offer promise for cleaning up transport emissions, but there are technical issues on the vehicle and grid side.

One additional aspect is the thermal management itself that plays a role not only for vehicle overall performance and endurance but also regarding charge installation robustness. For example, thermal management plays a critical role in enhancing the operation of a PHEV, especially during harsh climatic conditions.

Cold is a foe of the powertrain, the HVAC system, and vehicle energy demand themselves because it leads to an increase in energy demand and lowering of efficiency. To mitigate these impacts, the second generation Thermal Management Systems (TMS) is required to enhance energy efficiency, which is significantly worse than that of the battery, as well as cabin heating (Ghobadpour et al., 2019; Zhang et al, 2025).

In order to address these problems, as an alternative approach, Integrated Thermal Management Systems (ITMS) have been considered, which would optimize the thermal conditioning in a vehicle. Efforts on applying only the waste energy from the engine to heat the cabin and battery, compared with water cooled PTC (Passive Temperature Coefficient) heating, show potential to significantly decrease energy consumption. Even though ITMS was able to demonstrate a remarkable increment in a vehicle's total energy utilization efficiency, major improvements could still be anticipated (Wei et al., 2024).

At grid scale, penetration of large numbers of PHEVs adds thermal and operational stress to a power system. Simultaneous charging of all the vehicles can also lead to challenges in system operation, including power systems with significant penetration levels of exogenously driven variable renewable resources such as wind. The deployment strategy for charging stations and the adoption of dynamic thermal limits (DTL) to transmit lines serve as a countermeasure in order to reduce these effects and improve energy supply security and unavailability cost (Alharbi & Jayaweera, 2022).

Furthermore, the PHEVs' charging strategy makes a greater impact on the grid. Displacement of charging to off peak times could serve to mitigate the effects on peaks but also result in creating demand during off peak, which could stress infrastructure systems (Blumsack et al., 2008; Wei, 2021).

At the hardware level, high powered and fast charging stations generate a lot of heat that they need to dissipate. Some studies have also studied passive thermal management systems using PCMs, which can be applied to the temperature regulation and maintaining component temperature at a desirable state (Ghorbani et al., 2024).

The thermal management of power electronics devices themselves (such as IGBTs) is also essential to stabilize the devices under their operational temperature, and necessary thermal control should be established for maintaining the stability as well as efficiency of overall EV charging from the AC source (Haque et al., 2021; Chi et al., 2020).

Given such restrictions and realistic considerations, it is required to create new types of tools on computation that appropriately place the PHEV/EV charging infrastructure as well as identify its size for passing vehicle activities. In the future, researchers should focus on innovative thermal management systems and smart charging strategies. These approaches are required to address the PHEV/EV operational and high power charging challenges in extreme temperatures, performance improvement, reliability enhancement, and efficiency, as well as scalability for the emerging fleet of PHEVs and EVs (Ali, 2023).

2. Methodology

This study employed an experimental research design to investigate the thermal characteristics of the Chevrolet Volt generation 2, with on-board 3.6 kW electric vehicle charger, charging process. The research utilized quantitative thermal imaging analysis combined with controlled laboratory testing to assess heat generation patterns, thermal distribution, and temperature profiles during charging cycles in wall socket, car socket, charger cable and cord extension.

The test subject consisted of a Chevrolet Volt generation 2 with on board charger rated at 3.6 kW maximum power output.

Charging process was carried out using TAYSLA Type 1 charger with a 3.6 kW power output, operating at 16 A. This provides a standard Level 2 charging speed that is ideal for overnight charging at home or for adding significant range over a few hours.

TAYSLA Type 1 charger was connected to the Jung AS1520 wall sockets. These wall sockets have a typical nominal voltage of 240 V AC, and nominal current of 16 A.

Thermal measurements were conducted using a Fluke Ti480 Pro infrared camera with the following specifications:

- Temperature range: -20 °C to +800 °C;
- Thermal sensitivity: ≤ 0.05 °C at 30 °C target temp.;
- Accuracy: ± 2 °C or ± 2 % of reading;
- Resolution: 640×480 pixels;
- Spectral range: $7.5 \mu\text{m}$ to $14 \mu\text{m}$;

- Frame rate: 60 Hz;
- Field of view: $24^\circ \times 17^\circ$.

The camera was calibrated according to manufacturer specifications prior to each testing session and equipped with standard lens optics for optimal measurement accuracy at the predetermined standoff distances.

All experiments were conducted in a controlled laboratory environment maintained at $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ambient temperature with relative humidity of $45\% \pm 5\%$. The test chamber provided electromagnetic compatibility shielding and minimized external thermal interference. Adequate ventilation was maintained to prevent heat accumulation while avoiding forced convection that could affect natural thermal patterns.

Each thermal image was captured with embedded temperature data, timestamp, and test condition metadata. Simultaneous electrical parameter logging ensured correlation between thermal behaviour and operational characteristics.

Thermal imaging measurements were performed on different parts of charging system in two different configurations. First configuration included car charging port, car charging cable and electric wall socket. Second configuration includes additional cord extension connected to car charging cable and different wall socket.

The infrared camera was positioned at standardized distances of 1,0 m to optimize measurement accuracy while maintaining safety clearances. All thermal data was collected at standard 10 min. time intervals.

Thermal images were processed using Fluke SmartView software.

3. Test results and data analysis

All obtained thermal test results are given in Table 1, and summary of the obtained data and calculation results are shown in Table 2.

The temperature characteristics of charging infrastructure components are shown in figure 1.

Experimental data analysis was carried out using given parameters:

- Charging Power: $P_{\text{charger}} = 3,6 \text{ kW}$;
- Measurement Duration: $t = 120 \text{ min.}$;
- Ambient Temperature: $T_{\text{ambient}} = 22^\circ\text{C}$;
- Current: $I = 16 \text{ A}$.

Using the obtained data, heat dissipation power and contact resistance (or resistance for the cable) for each individual component can be calculated.

At thermal equilibrium temperature of the component, the generated heat is equal to dissipated heat:

$$P_{\text{dissipated}} = h \cdot A \cdot \Delta T, \quad (1)$$

Where:

h , is heat transfer coefficient ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$), for natural convection typical range is $5\text{-}25 \text{ W}/\text{m}^2$;

A , is surface area (m^2);

ΔT , is difference from components surface temperature to ambient temperature.

Resistive power losses can be calculated as:

$$P_{\text{resistive}} = I^2 \cdot R_{\text{contact}}, \quad (2)$$

The contact resistance can be estimated as:

$$R_{\text{contact}} = \frac{P_{\text{dissipated}}}{I^2}, \quad (3)$$

The thermal resistance from junction to ambient can be estimated by:

$$R_{\text{thermal}} = (T_{\text{steady-state}} - T_{\text{ambient}}) \cdot P_{\text{dissipated}}. \quad (4)$$

Component temperature could be predicted using:

$$T_{\text{component}} = T_{\text{ambient}} + I^2 \cdot R_{\text{contact}} \cdot R_{\text{thermal}}. \quad (5)$$

Thermal images show large temperature gradients between charging system components.

At the same time, the car connector exhibits moderate controlled heating up to a maximum of 32.8°C after 120 min. periods (d). This modest increase in temperature is a symptom of good electrical contact and resistive heating within the connector assembly.

Table 1. Experimental results of thermal analysis of plug-in vehicle battery charging process

Time, min	Hottest point, $^\circ\text{C}$				
	Car connector	Car charger	Cord extension	Wall socket 1	Wall socket 2
0	10,8	10,2	21,1	22,3	24,3
10	19,5	16,7	34,8	38	67,8
20	25,7	22,9	37,2	48,6	96,8
30	28,9	30,7	48,6	50,4	108,1
40	29,3	33,4	47,4	52,8	118,3
50	28,4	36,1	48,5	56,4	124,4
60	29,6	37,6	49,6	56,9	134,3
70	30,1	38,8	48,3	57	139,3
80	30,2	39,7	48,9	57,9	143,1
90	30,5	40,4	48,9	57,9	151,2
100	29,5	40,6	49,3	60	154
110	32,4	42,7	50,3	59,9	152,3
120	32,8	43,4	49,1	60,1	153,6

Source: compiled by the authors

The charger has a greater thermal response compared to the connector where temperatures increase uniformly over time. A 43.4°C final temperature is acceptable for power electronics operation, indicating a good thermal management design.

The extension cord is showing a fairly high temperature of around 50°C . This level of temperature should be taken into account as it's nearly reaching the thermal limits for typical electrical cabling and may suggest that you are using the cable

with an undersized conductor cross section to carry the 3.6 kW load.

Socket 1 is seen to undergo significant heating with its temperature reaching over 60 °C within the time frame of observation. This is a real temperature issue so running at this temperature can degrade the socket material and cause an increased chance of fire as well.

The second wall socket is a critical fire hazard with charging temperatures rising over 150 °C. This serious overheating is evidence of serious electrical trouble, such as bad electrical contact or a loose connection, oxidized or corroded terminals, wires that are too small in size, broken, afflicted with corrosion, or poor inter terminal resistance.

Table 2. Summary of experimental results and calculations

Parameter	Component				
	Car connector	Car charger	Cord extension	Wall socket 1	Wall socket 2
Initial temperature, °C	10,8	10,2	21,1	22,3	24,3
Final temperature	32,8	43,3	49,1	60,1	153,6
ΔT , °C	22,0	33,2	28,0	37,8	129,3
Steady state temperature, °C	30	43	40	60	150
Time to steady temperature, min	60	80	60	70	90
Surface area of component, m ²	0,01	0,05	0,09	0,008	0,008
Heat transfer coefficient	10	8	8	12	15
Dissipated power, W	1,0	9,2	21,9	3,65	15,6
Contact resistance, m Ω	3,9	X	85,5	14,2	48,7
Thermal resistance, K/W	10	2,5	1,3	10,4	8,33
Calculated component temperature, °C	31,9	X	-50,5	59,8	151,6
Difference between measured and calculated temperature, %	2,5	X	-2,75	0,5	1,26

Source: compiled by the authors

The temporal analysis reveals distinct heating patterns.

Phase 1 (0-30 min): Rapid initial heating across all components, with wall socket 2 showing abnormally aggressive temperature rise.

Phase 2 (30-90 min): Continued heating with steady temperature increase.

Phase 3 (90-120 min): All components approaching thermal equilibrium, with exceptional temperature of 154 °C for wall socket 2.

From obtained data we can conclude some key findings.

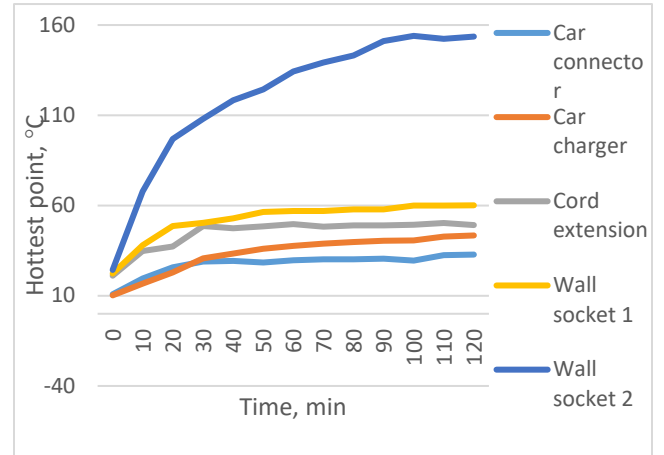


Fig. 1. Charging infrastructure component temperatures over time during charging process at 3,6 kW power.

Source: compiled by the authors

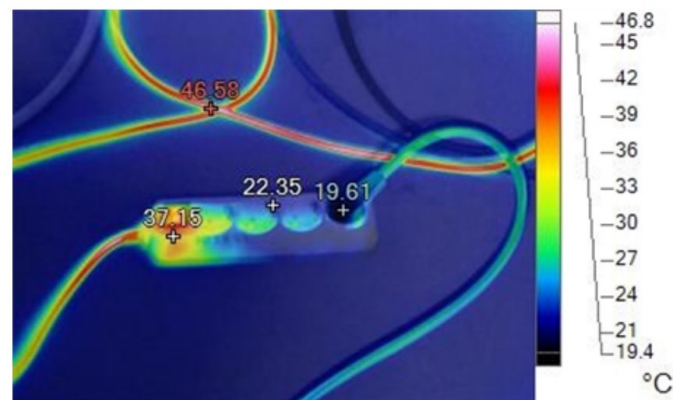


Fig. 2. Highest temperature of extension cord during charging process.

Source: compiled by the authors

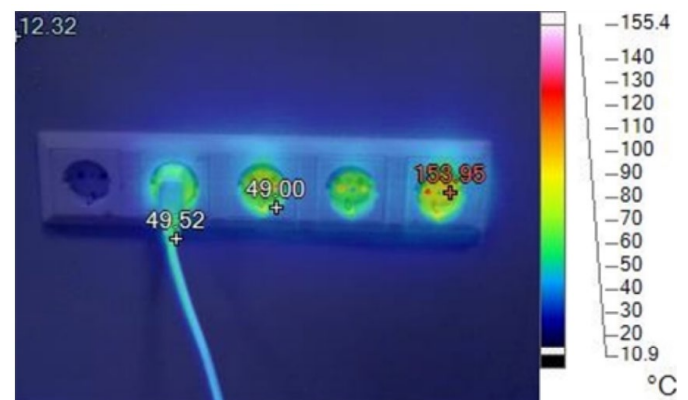


Fig. 3. Highest temperature of wall socket 2 during charging process.

Source: compiled by the authors

Critical Safety Hazards

Wall outlet 2 is of extremely high temperature ($>150^{\circ}\text{C}$), far beyond the allowable design working temperatures for standard wall socket outlets (typically $<60^{\circ}\text{C}$ continuous duty rated). This is a fire waiting to happen and needs someone in there immediately.

Wall socket 2 has a contact resistance of 3,4 times higher than that of wall socket 1 and leads to a corresponding power dissipation 3,4 times higher with increased high temperatures. This supports quantitatively the intense electrical failure diagnosed on thermal analysis.



Fig. 4. Highest temperature of car charging socket during charging process.

Source: compiled by the authors

Infrastructural Issues

The fact that at wall socket 1 and wall socket 2, which should be on the same network line with a different route to the meter closet, has such a dramatic difference in temperature despite assumed equal load conditions, shows that electrical infrastructure quality is crucial for charging safety.

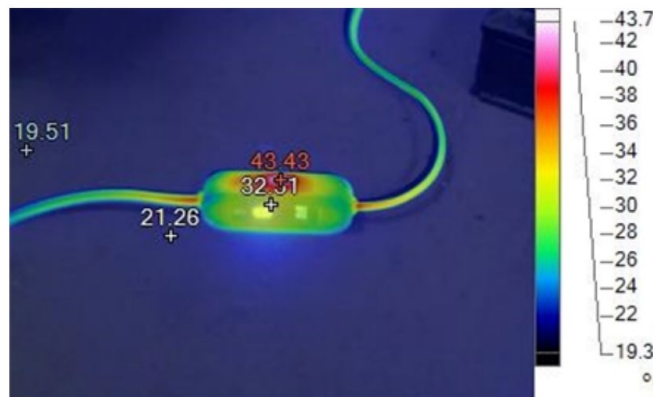


Fig. 5. Highest temperature of car charger during charging process.

Source: compiled by the authors

Outlet 2 probably has an aged out connection, not enough wiring in the wall, or manufacturer malfunction.

Extension Cord Temperature

The extension cord that is heating up to 50°C indicates that it may be undersized for sustained 3.6 kW loads.

Operating in continuous EV charging conditions, heavy duty extension cords (with min. 2.5 mm^2 metal section or better 4 mm^2 for 16-20 A charges) need to be used.

Acceptable Vehicle Components

The temperature of both the car connector and on-board charger are managed properly with temperature maintained in normal operating range ($<45^{\circ}\text{C}$).

Time to Risk

The fast overheating of wall socket 2 that becomes unsafe to touch in less than 40 minutes shows how heat issues can escalate very rapidly during EV plugging, highlighting the necessity for appropriate electrical infrastructure prior to installing any charging relay.

Conclusions

This experimental data demonstrates that domestic electrical infrastructure, originally designed for intermittent appliance use, may be inadequate for the sustained high current demands of electric vehicle charging. The observed thermal behaviour, particularly in wall socket 2, illustrates how aging electrical infrastructure poses significant safety risks when repurposed for modern EV charging applications. These findings support the recommendation for dedicated Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE) installations rather than relying on standard household outlets for regular plug-in vehicle charging.

Temperature difference between measured and calculated thermal data does not exceed $\pm 3\%$, this validates the experimental data.

Based on conducted thermal data research we can elaborate on main recommendations.

Some immediate actions should be carried out:

1. Discontinue use of wall socket 2 until inspected and repaired by a qualified electrician.
2. Investigate and replace any corroded, loose, or damaged electrical connections.
3. Verify proper wire gauge and circuit breaker sizing for the charging load.

Some infrastructure improvements should be carried out:

1. Install dedicated charging circuits with appropriate wire sizing (minimum 4 mm^2 for 20 A, 240 V circuits).
2. Use commercial grade outlets rated for continuous high current applications.
3. Consider installing outlet temperature monitoring systems for early fault detection.

Recommended operational practices for safe EV charging:

1. Avoid using extension cords for EV charging unless rated for heavy duty continuous use.
2. Perform periodic thermal imaging inspections of charging infrastructure.

3. Educate users on warning signs of electrical problems (discoloured outlets, burning smells, warm plugs).

Reference list

- Alharbi, B., & Jayaweera, D. (2022). Impact assessment of plug-in electric vehicle charging locations on power systems with integrated wind farms incorporating dynamic thermal limits. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 10(3), 710–718. <https://doi.org/10.35833/MPCE.2020.000445>
- Ali, H. M. (2023). Thermal management systems for batteries in electric vehicles: A recent review. *Energy Reports*, 9, 5545–5564. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.04.359>
- Blumsack, S., Samaras, C., & Hines, P. (2008). Long term electric system investments to support plug-in hybrid electric vehicles. In *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PES.2008.4596906>
- Chi, L., Yuan, Y., & Xu, T. (2020). Research on site selection and capacity determination of charging facilities based on thermal analysis diagram of EV and charging pile. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Information Technologies and Electrical Engineering* (pp. 303–307). ACM. <https://doi.org/10.1145/3452940.3452998>
- Ghobadpour, A., Kelouwani, S., Amamou, A., Agbossou, K., & Zioui, N. (2019). A brief review of plug-in hybrid electric vehicles operation in cold climates. In *2019 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)* (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VPPC46532.2019.8952348>
- Ghorbani, M., Wang, H., & Roberts, N. (2024). Analytical and numerical modeling of phase change material and hybrid PCM heat sinks for high power wireless EV charging. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 154, Article 107460. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2024.107460>
- Haque, Md. R., Eka, S. Z., Ferdous, S., & Razzak, Md. A. (2021). Analysis of loss profile and thermal distribution of heat sink of IGBT based asynchronous and synchronous buck converters for EV charging system. In *2021 5th International Conference on Electronics, Materials Engineering & Nano Technology (IEMENTech)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEMENTech53263.2021.9614827>
- Wei, M. (2021). Impact of plug-in hybrid electric vehicles on thermal generation expansion with high wind penetration. *Energy Reports*, 7, 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.06.046>
- Wei, X., et al. (2024). Experimental and numerical study on energy flow characteristics of a plug-in hybrid electric vehicle with integrated thermal management system. *Energy*, 312, Article 133605. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133605>

Zhang, Y., Huang, J., He, L., Zhao, D., & Zhao, Y. (2025). Recovery of engine waste heat in low temperature environment of plug-in hybrid electric vehicle. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 239(7), 2797–2808. <https://doi.org/10.1177/09544070241238297>

ĮKRAUNAMŲ HIBRIDINIŲ TRANSPORTO PRIEMONIŲ ĮKROVIMO PROCESO TERMINĖ ANALIZĖ

Aurelijus Pitrėnas, Saulius Stravinskas, Tadas Vipartas

Vilniaus kolegija

Santrauka. Šiame tyrime nagrinėjami PHEV įkrovimo infrastruktūros terminio saugumo klausimai, remiantis eksperimentine „Chevrolet Volt“ 2 kartos kroviklio analize. Tyrimo metu „Fluke Ti480 Pro“ infraraudonųjų spindulių kamera buvo stebimi penkių sistemos komponentų temperatūros pokyčiai 120 minučių įkrovimo ciklų metu esant 3,6 kW galiai kontroliuojamomis 23 °C laboratorijos sąlygomis.

Rezultatai atskleidė kritinę saugos būklę: sieninis lizdas 2 pasiekė temperatūrą, didesnę nei 150 °C, tai gerokai viršija standartinių lizdų saugią ribą (60 °C). Dėl 3,4 karto didesnės nei įprastai kontakto varžos kyla gaisro pavojus. Ilginamasis laidas pasiekė 50 °C, o tai rodo, kad jis yra per mažas nuolatiniam EV įkrovimui, o automobilio jungtis ir įmontuotas įkroviklis išliko žemesnės nei 45 °C.

Šiluminių varžų skaičiavimai patvirtino eksperimentinius matavimus, kurių nuokrypis mažesnis nei 3 %. Temperatūros kitimas užfiksuotas trimis etapais: greitas pradinis įšilimas (0–30 minučių), pastovus šilimas (30–90 minučių) ir šiluminė pusiausvyra (90–120 minučių).

Rezultatai rodo, kad senstanti gyvenamųjų namų elektros infrastruktūra, naudojama EV įkrauti, kelia didelę riziką. Pagrindinės rekomendacijos: nesinaudoti sugedusiais kištukiniais lizdais, atnaujinti infrastruktūrą renkant ne mažesnę kaip 2,5 mm² laidų skersmenį, įrengti komercinės klasės kištukinius lizdus ir periodiškai stebėti temperatūrą, kad būtų galima anksti aptikti gedimus. Remiantis tyrimo rezultatais rekomenduojama naudoti specialius elektromobilių įkrovimo įrenginius, nes standartinė buitinė elektros instaliacija gali būti netinkama reikalaujamos apkrovoms.

Reikšminiai žodžiai: įkraunamas hibridinis elektrinis automobilis (PHEV), elektrinio automobilio įkrovimas, terminė analizė, įkrovimo infrastruktūros sauga, infraraudonųjų spindulių termografija.

ĮVAIRIŲ VEIKSNIŲ ĮTAKOS FREZUOJAMO PAVIRŠIAUS ŠIURKŠTUMUI TYRIMAI

Audrius Čereška

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Plytinės g. 25, Vilnius
Vilniaus kolegija, Saltoniškių g. 58-1, Vilnius*

Anotacija. Frezavimas – vienas dažniausiai šiuolaikinėje pramonėje taikomų mechaninio apdirbimo būdų. Frezavimas, kaip ir kiti mechaninio apdirbimo būdai, sudėtingas procesas, kurio rezultatas priklauso nuo įvairių veiksnių. Kiekvienas veiksnys daro skirtingą poveikį apdirbimo kokybei. Straipsnyje pateikti frezuojamų paviršių šiurkštumo priklausomybės nuo įvairių veiksnių (frezos sukimosi dažnio, pastūmos, frezavimo gylio, tepimo ir aušinimo būdo ir priemonių) įtakos tyrimai. Tyrimų tikslas – nustatyti, kaip šie veiksniai veikia frezuojamo paviršiaus šiurkštumą. Eksperimentiniams tyrimams atlikti sudaryta metodika, naudota profesionali įranga. Straipsnio struktūra: įvadas su literatūros apžvalga, eksperimentinio tyrimo metodika, tyrimams naudota įranga, gauti rezultatai, apibendrinimas bei išvados.

Reikšminiai žodžiai: frezavimas, šiurkštumas, tepimas ir aušinimas, tepimo ir aušinimo skystis (TAS), sintetinis tepalas.

Įvadas

Mechaninio apdirbimo metu nuo ruošinio paviršiaus nupjaunamas medžiagos sluoksnis ir ruošiniui suteikiama pageidaujama forma bei matmenys. Apdirbimo metu tarp detalės ir įrankio susidaro trintis, dėl kurios pakyla temperatūra. Įrankis dyla, kinta jo paviršius ir tai daro įtaką detalės apdirbimo kokybei. Detalių apdirbimo procesas valdomas keičiant apdirbimo režimus ir aušinant darbo zoną. Tinkamai parinkus apdirbimo stakles, įrankį, pagalbines priemones, apdirbimo režimus bei tepimo ir aušinimo sąlygas gali būti užtikrinta pageidaujama detalės kokybė.

Mechaninio apdirbimo proceso kokybiško rezultato garantas – tinkamų parametrų parinkimas. Paviršiaus šiurkštumas – vienas rodiklių gaminių paviršiaus kokybei įvertinti. Mechaninio apdirbimo procesuose apdirbamo paviršiaus šiurkštumas priklauso nuo daugelio veiksnių (Do & Hsu, 2016).

Mokslinio darbo autoriai (Ribeiro et al., 2017) atliko eksperimentinį tyrimą, kurio metu daugiausia dėmesio skyrė parametrų, turintiems įtakos apdirbamo paviršiaus kokybei. Rezultatai parodė, kad svarbiausi veiksniai yra radialinis pjovimo gylis ir radialinio pjovimo gylio bei ašinio pjovimo gylio sąveika.

Mokslininkų (Alagarsamy et al., 2020; Sathish et al., 2020; Selvan et al., 2017) atliktų tyrimų tikslas – optimizuoti apdirbimo parametrus (pjovimo greitį, pastūmą ir pjovimo gylį), užtikrinančius mažą paviršiaus šiurkštumą ir minimalų įrankio dėvėjimąsi. Nustatyta, kad pasirinkus vidutinį pjovimo greitį, mažą pastūmą ir vidutinį pjovimo gylį, paviršiaus šiurkštumas sumažėja. Remiantis tyrimo rezultatais, padaryta išvada, kad pjovimo greitis yra vienas iš svarbių veiksnių, turinčių įtakos paviršiaus šiurkštumui.

Darbe (Danyan et al., 2019) pateikti pjovimo jėgos įtakos apdirbimo metu tyrimai. Nustatyta, kad tai parametras, darantis įtaką efektyviam apdirbimo procesui, nes nuo pjovimo jėgos priklauso pjovimo temperatūra, įrankio susidėvėjimas, energijos suvartojimas ir detalių paviršiaus kokybė.

Mokslininkai (Gajrani & Sankar, 2017) atliko tyrimą, kuriame pasirinktas kokosų aliejus, o ne aušinimo skystis. Tyrimais nustatyta, kad, naudojant kokosų aliejų kaip pjovimo skystį, mažiau susidėvėjo įrankis ir pagerėjo paviršiaus kokybė. Mokslininkų (Naresh Babu et al., 2019)

darbo tikslas – nustatyti alyvuogių aliejaus įtaką apdirbamam paviršiui. Tyrimo metu pasirinkti šie kintamieji: pjovimo greitis, pastūma ir aušinimas. Aušinimui taikyti 3 veiksniai: apdirbimas be tepimo ir aušinimo, minimalus tepimo metodas (MTM) ir naudojamas TAS. Eksperimento rezultatai parodė, kad naudojant alyvuogių aliejų mažiau susidėvi įrankis ir gerai tepama darbo zona. Pasirinkus alyvuogių aliejų ir taikant MTM metodą, įrankio dėvėjimasis, palyginti su įprastu tepimo metodu, sumažėjo 70 %, o apdirbamo paviršiaus šiurkštumas – 66 %.

Mokslininko (Kadargama, 2020) atlikti tyrimai įrodo, kad naudojant nano skysčius kaip įprastą TAS pakaitalą galima sumažinti paviršiaus šiurkštumą. Mokslininkai darbe (Chockalingam et al., 2012) pateikė šiurkštumo priklausomybės nuo aušinimo būdo (sintetinio tepalo, TAS ir suspausto šalto oro) tyrimo rezultatus. Eksperimento rezultatai atskleidė, kad pasirinkus TAS nustatyta mažiausia pjovimo jėga. Suspausto šalto oro taikymas nepasiteisino. Siekdami pagerinti paviršiaus šiurkštumą mokslininkai (Giri Prasad et al., 2016) atliko tyrimą su į TAS įpytais įvairiais papildais. Mokslininkai straipsnyje (Dubey et al. 2020) išskyrė šešis aušinimo ir tepimo būdus, taikomus pramonėje. Darbe (Nizam Uddin et al., 2015) pateikti skysčio kiekio įtakos paviršiaus šiurkštumui tyrimai. Tirtos trys skirtingos medžiagos – plienas, aliuminis ir ketus. Apibendrinus rezultatus padaryta išvada, kad tepimo ir aušinimo būdas daro akivaizdžią įtaką apdirbamų paviršių šiurkštumui. Darbe (Kedare et al., 2014) pateiktas tyrimas, kuriuo siekta nustatyti pjovimo greičio, pastūmos ir apdirbimo gylio poveikį paviršiaus šiurkštumui taikant minimalų tepimą.

Apibendrinant literatūros apžvalgą galima teigti, kad atlikta daug tyrimų, kuriais nustatyta, kad pjovimo greitis, gylis ir pastūma bei tepimas ir aušinimas turi įtakos apdirbamo paviršiaus kokybei, tačiau iki šiol nėra aiškaus atsakymo.

Darbo tikslas – atlikti eksperimentinius tyrimus siekiant nustatyti frezuojamo paviršiaus šiurkštumo priklausomybę nuo įvairių frezavimo procesui įtaką darančių veiksnių.

Tyrimų objektas, įranga ir metodika

Eksperimentiniams tyrimams atlikti naudotas apvalus 14 mm skersmens strypas, pagamintas iš plieno. Plieno

techniniai parametrai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Plieno techniniai parametrai

Eil. Nr.	Savybės	Parametrai
1.	Takumo riba	185–235, MPa
2.	Tempimo riba	340–510, MPa
3.	Kietumas	120, HB
4.	Elastingumo modulis	210, GPa

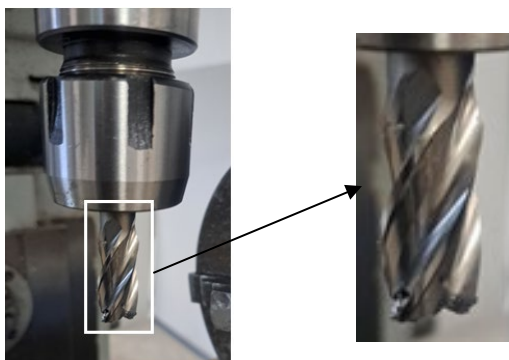
Eksperimentai atlikti QX6226W horizontalaus ir vertikalus frezavimo staklėmis (1 pav.).



1 pav. Horizontalaus ir vertikalus frezavimo staklės QX6226W
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Šiose staklėse sumontuoti horizontalūs ir vertikalūs sukliai. Atliekant eksperimentinį tyrimą, pjovimo parametrai (pjovimo greitis, pastūmos dydis ir pjovimo gylis) parinkti, atsižvelgiant į staklių galimybes.

Frezuota greitapjūvio plieno freza. Eksperimentinio tyrimo metu naudota 4 dantukų, 16 mm skersmens pirštinė freza (2. pav.).



2 pav. Pirštinė freza
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Paviršių šiurkštumas po kiekvienos apdirbimo operacijos matuotas šiurkščiačiu *Mitutoyo SJ-210* (3 pav.). Šiuo prietaisu galima matuoti įvairius šiurkštumo formatus: R_z (μm), R_a (μm) ir kt. Eksperimentų metu matuotas R_a (μm) rodiklis. Kiekvienas paviršiaus šiurkštumo matavimas buvo kartojamas tris kartus ir iš trijų reikšmių skaičiuota vidutinė reikšmė. Gauta reikšmė buvo taikyta kaip galutinis šiurkštumo matavimo rezultatas.



3 pav. Šiurkščiamatis *Mitutoyo SJ-210*, vaizdas iš viršaus
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Prieš matuojant paviršiaus šiurkštumą šiurkščiamatis buvo kalibruotas. Kalibruojant naudota speciali etaloninė plokštelė prietaisui kalibruoti, pasirinktas 10 mm deimantinio antgalio judėjimo atstumas, tai reiškia, kad prietaiso matavimo antgalis su deimantine adatėle pirmyn ir atgal judėjo 10 mm atstumu (4 pav.).



4 pav. Šiurkščiamatės *Mitutoyo SJ-210* kalibravimas, vaizdas iš šono
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Frezuojant darbo zona buvo tepama ir aušinama tepimo ir aušinimo skysčiu TAS arba sintetiniu tepalu 5W30. TAS techniniai parametrai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. TAS techniniai parametrai

Eil. Nr.	Apibūdinimas	Savybės ir parametrai
1.	Pavidalas	Skystas
2.	Spalva	Šviesiai ruda
3.	Tirpumas vandenyje	Tirpus
4.	Vandens potencialas, pH	9,3 (25 g/l)
5.	Tankis	0,89 g/cm ³ (15 °C) (DIN EN ISO 12185)
6.	Kinematinis klampis	52,5 mm ² /s (40 °C, DIN EN ISO 3104)

Eksperimentiniai tyrimai atlikti pagal parengtą metodiką tokia tvarka:

1. Staklių spaustuose įtvirtintas tyrimų objektas.
2. Nustatyti staklių apdirbimo režimai (pjovimo greitis, pastūma ir gylis).
3. Frezuota trimis būdais:
 - 3.1. Be tepimo ir aušinimo.
 - 3.2. Naudojant TAS.
 - 3.3. Aušinama ir tepama tepalu (sintetiniu tepalu).
4. Po frezavimo tyrimo objektas išimtas ir atliktas paviršiaus šiurkštumo matavimas.
5. Prieš šiurkštumo matavimus šiurkščiamatis buvo

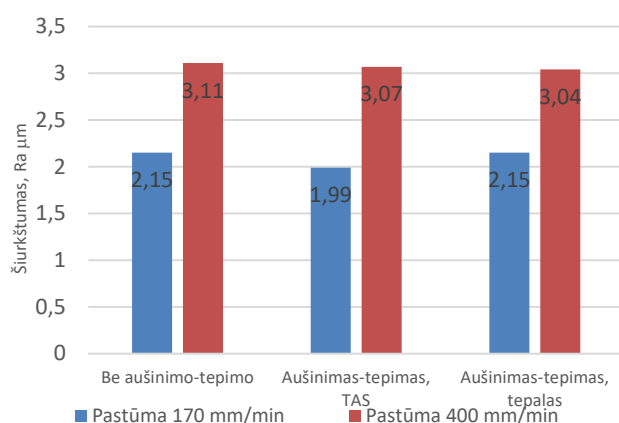
kalibruojamas. Po to atlikti paviršiaus šiurkštumo matavimai. Matuotas R_a (μm) parametras.

6. Kiekvienas eksperimentas kartotas po tris kartus ir kaip galutinis rezultatas pasirinktas trijų rezultatų vidurkis.

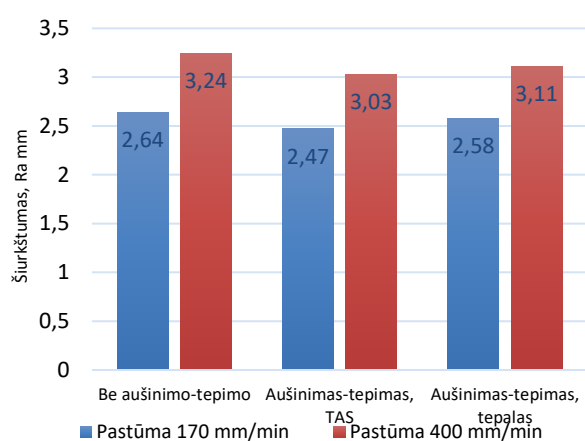
Tyrimų rezultatai ir apibendrinimas

Atlikus eksperimentinius tyrimus gauti kiekybiniai rezultatai pateikti grafiškai (5–10 pav.). Eksperimentų metu pasirinkta keletas kintamųjų: apdirbimo gylis, pastūma ir tepimas. Labiausiai paviršiaus šiurkštumą veikė pastūmos pokytis. Apibendrinus tyrimo rezultatus, matyti, kad kuo mažesnė pastūma, tuo mažesnis paviršiaus šiurkštumas. Mažiau informacijos, kaip paviršiaus šiurkštumą veikia tepimas ir aušinimas.

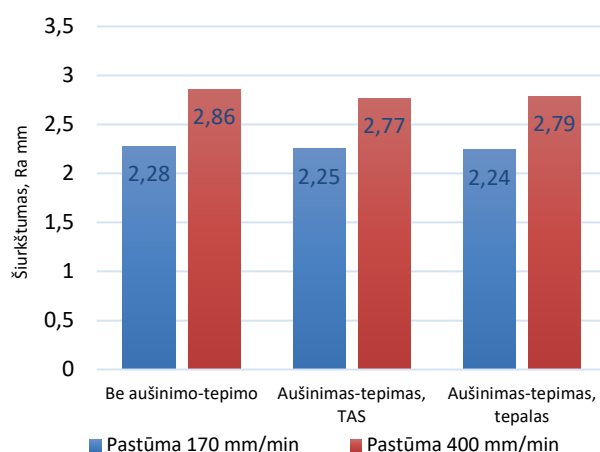
Grafikuose 5, 6 ir 7 pateikti rezultatai, kaip kinta paviršiaus šiurkštumas, atsižvelgiant į tepimą ir aušinimą, kai pastūma 170 ir 400 mm/min, o frezos sukimosi dažnis – 680 suk/min.



5 pav. Paviršiaus šiurkštumo rezultatai, kai sukimosi dažnis 680 suk/min, apdirbimo gylis – 1 mm
Šaltinis: sudaryta autoriaus

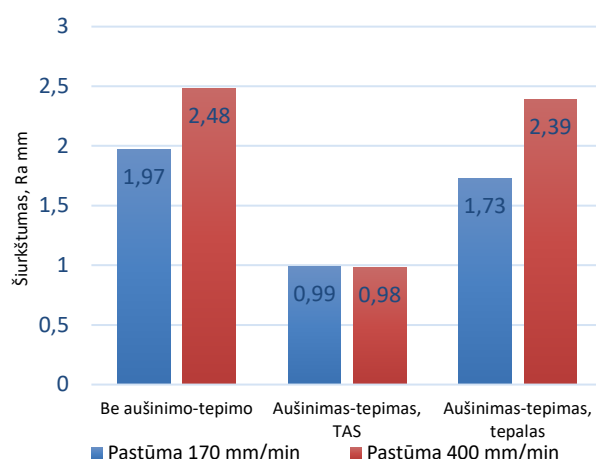


6 pav. Paviršiaus šiurkštumo rezultatai, kai sukimosi dažnis 680 suk/min, apdirbimo gylis – 1,5 mm
Šaltinis: sudaryta autoriaus

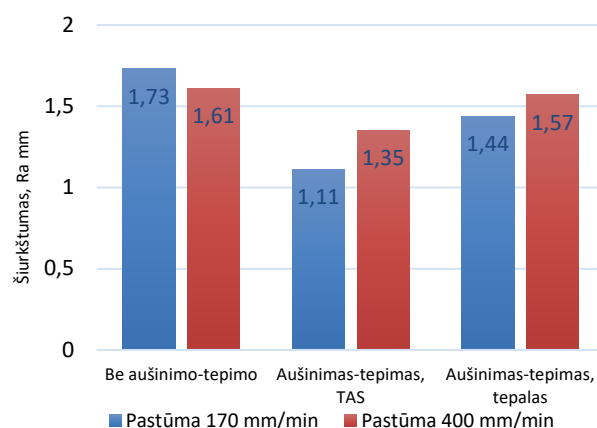


7 pav. Paviršiaus šiurkštumo rezultatai, kai sukimosi dažnis 680 suk/min, apdirbimo gylis – 2 mm
Šaltinis: sudaryta autoriaus

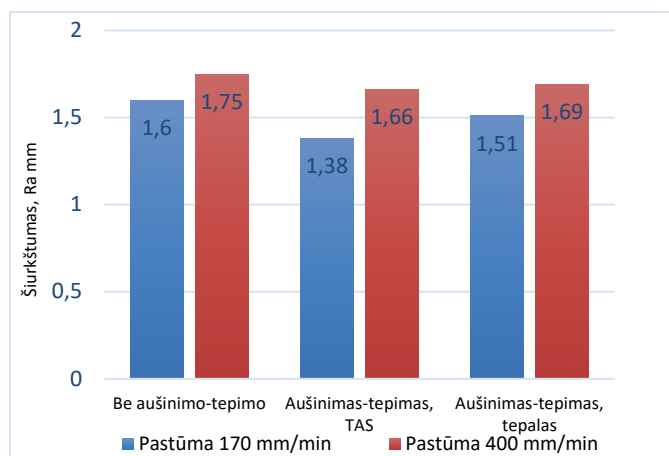
Grafikuose 8, 9 ir 10 pateikti rezultatai, kaip kinta paviršiaus šiurkštumas, atsižvelgiant į tepimą ir aušinimą, kai pastūma 170 ir 400 mm/min, o frezos sukimosi dažnis – 1300 suk/min.



8 pav. Paviršiaus šiurkštumo rezultatai, kai sukimosi dažnis 1300 suk/min, apdirbimo gylis – 1 mm
Šaltinis: sudaryta autoriaus



9 pav. Paviršiaus šiurkštumo rezultatai, kai sukimosi dažnis 1300 suk/min, apdirbimo gylis – 1,5 mm
Šaltinis: sudaryta autoriaus



10 pav. Paviršiaus šiurkštumo rezultatai, kai sukimosi dažnis 1300 suk/min, apdirbimo gylis – 2 mm
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Paviršiaus šiurkštumas labai priklauso nuo frezos pastūmos ir ypač nuo frezavimo gylio bei frezos sukimosi dažnio. Tai patvirtina tyrimų rezultatai. Kai pastūma 400 mm/min ir frezavimo gylis 1.5 mm, frezai sukantis 680 suk/min dažniu ir taikant TAS, šiurkštumas Ra 3,03 μm. Padidinus frezos sukimosi dažnį iki 1300 suk/min šiurkštumas Ra sumažėjo iki 1.35 μm, paviršiaus šiurkštumas – net 56 %. Padidėjus frezavimo gyliui rezultatai pablogėjo, bet tendencija išliko.

Skirtingų tepimo ir aušinimo priemonių taikymas paviršiaus šiurkštumą veikia mažai. Sintetinis tepalas ne toks efektyvus negu TAS, o kaina didesnė. Vadinasi, sintetinis tepalas gali būti naudojamas apdirbamų paviršių tepimui ir aušinimui tik išskirtiniais atvejais.

Taigi, atlikus eksperimentinius tyrimus galima daryti išvadą, kad didžiausią poveikį frezuojamo paviršiaus šiurkštumui turi frezos sukimosi dažnis, pastūma, frezavimo gylis, o mažiausią – tepimas ir aušinimas.

Išvados

Apibendrinus tyrimų rezultatus matoma, kad didžiausią įtaką frezuojamo paviršiaus šiurkštumui turi frezos sukimosi dažnis, pastūma, frezavimo gylis, o mažiausią – tepimas ir aušinimas.

Tepimas ir aušinimas taikant TAS ir sintetinį tepalą didelio efekto nedavė ir rezultatas nedaug skyrėsi nuo frezavimo be tepimo ir aušinimo.

Norint pasiekti gerų paviršiaus šiurkštumo rezultatų reikia, atsižvelgiant į aplinkybes, parinkti kuo didesnę frezos sukimosi dažnį, kuo mažesnę pastūmą, kuo mažesnę frezavimo gylį bei tepimą ir aušinimą naudojant TAS.

Literatūra

- Alagarsamy, S. V., Ravndran, M., Meignanamoorthy, M., Sakthivelu, S., & Dineshkumar, S. (2020). Prediction of surface roughness and tool wear in milling process on brass (C26130) alloy by Taguchi technique. *Materials Today: Proceedings*, 21, 189–193. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.04.219>
- Chockalingam, P., & Hong Wee, L. (2012). Surface roughness and tool wear study on milling of AISI 304 stainless

steel using different cooling conditions. *International Journal of Engineering and Technology*, 2(8).

Daniyan, I. A., Tlhabadira, I., Daramola, O. O., & Mpofu, K. (2019). Design and optimization of machining parameters for effective AISI P20 removal rate during milling operation. *Procedia CIRP*, 84, 861–867. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.192>

Do, T. V., & Hsu, Q. C. (2016). Optimization of minimum quantity lubricant conditions and cutting parameters in hard milling of AISI H13 steel. *Applied Sciences*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/app6030083>

Dubey, V., Kumar Sharma, A., & Kumar Singh, R. (2020). Study of various cooling methodology used in machining processes. *Materials Today: Proceedings*, 21, 1572–1576. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.092>

Gajrani, K. K., & Sankar, M. R. (2017). Past and current status of eco-friendly vegetable oil based metal cutting fluids. *Materials Today: Proceedings*, 4.

Giri Prasad, M. J., Abhishek Raaj, A. S., Rishi Kumar, R. (2016). Parameters of milling operation by application of semi-synthetic oil based nano cutting fluids. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 149(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/149/1/012123>

Kadrigama, K. (2020). Nanofluid as an alternative coolant in machining: A review. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 69(1), 163–173. <https://doi.org/10.37934/ARFMTS.69.1.163173>

Kedare, S. B., Borse, D. R., & Shahane, P. T. (2014). Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on surface roughness of mild steel of 15HRC on universal milling machine. *Procedia Materials Science*, 6, 150–153. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.018>

Naresh Babu, M., Anandan, V., Muthukrishnan, N., & Santhanakumar, M. (2019). End milling of AISI 304 steel using minimum quantity lubrication. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 138, 681–689. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.064>

Nizam Uddin, M., Kumar Saha, S., & Sulaiman Hossain, M. (2015). Effect of lubrication condition on surface roughness in facing operation. *IJARIE* 1(2).

Ribeiro, J. E., César, M. B., & Lopes, H. (2017). Optimization of machining parameters to improve the surface quality. *Procedia Structural Integrity*, 5, 355–362. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2017.07.182>

Sathish, T., Sabarirajan, N., & Karthick, S. (2020). Machining parameters optimization of aluminium alloy 6063 with reinforcement of SiC composites. *Materials Today: Proceedings*, 33, 2559–2563. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.085>

Selvan, D., Prasanth, S., Loganathan, P., Sathyamoorthy, V., Deepan, S., Prasanth, S. P. S., & Prabhu, L. (2017). Optimization of machining parameters for surface roughness in end milling of magnesium AM60 alloy. *Indian Journal of Science and Technology*, 10(32). <https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i32/104651>

STUDY ON THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON MILLED SURFACE ROUGHNESS

Audrius Čereška

*Vilnius Gediminas Technical University
Vilniaus kolegija/Higher Education Institution*

Summary. Milling is one of the most commonly used mechanical processing methods in modern industry. Milling, like other mechanical processing methods, is a complex process, the

result of which depends on various factors. Each factor has a different effect on the quality of processing. The article presents studies of the dependence of the roughness of milled surfaces on various factors (milling speed, feed, milling depth, lubrication-cooling method and means). The aim of the research is to determine how these factors influence the roughness of the milled surface. A methodology has been developed for conducting

experimental research. Professional equipment was used to conduct these studies. The structure of the article consists of the following sections: introduction with a literature review, experimental research methodology, equipment used for research, results obtained, summary and conclusions.

Keywords: milling, roughness, lubrication-cooling, lubrication-cooling fluid (LCF), synthetic lubricant.

**TECHNOLOGIJOS IR MENAS
TECHNOLOGY AND ART**

2025/16

Lietuvių kalbos redaktorė / Lithuanian language Editor

Jolita GRAŠIENĖ

Anglų kalbos redaktorė / English Editor

Svetlana TOROPOVIENĖ

Techninė redaktorė / Technical Editor

Brigita ŠUSTICKIENĖ

ISSN 2783-8064

2025-12-04

Redakcijos adresas

Vilniaus kolegija

Saltoniškių g. 58-1, 08105, Vilnius, Lietuva

Tel +370 521 91600; el.p. journal@viko.lt

Address of the publisher

Vilniaus kolegija/Higher Education Institution

Saltoniškių st. 58-1, 08105, Vilnius, Lithuania

Phone: +370 521 91600; e-mail journal@viko.lt