

Kauno technologijos universitetas

Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

**Studentų mokslinės konferencijos
„MATEMATIKA IR GAMTOS MOKSLAI:
TEORIJA IR TAIKYMAS“
pranešimų medžiaga**

MATEMATIKA IR GAMTOS MOKSLAI: TEORIJA IR TAIKYMAS, 2026

Programinis komitetas

Dr. Kęstutis Lukšys (Komiteto pirmininkas)
Dr. Kristina Bočkutė (Komiteto pirmininko pavaduotoja)
Dr. Kristina Šutienė (Komiteto pirmininko pavaduotoja)
Dr. Brigita Abakevičienė
Dr. Diana Adlienė
Dr. Rita Baublienė
Dr. Bikulčienė Liepa
Dr. Aleksandras Iljinas
Dr. Arvydas Jokimaitis
Dr. Mantas Landauskas
Dr. Paulius Palevičius
Dr. Tomas Ruzgas
Dr. Darius Virbukas

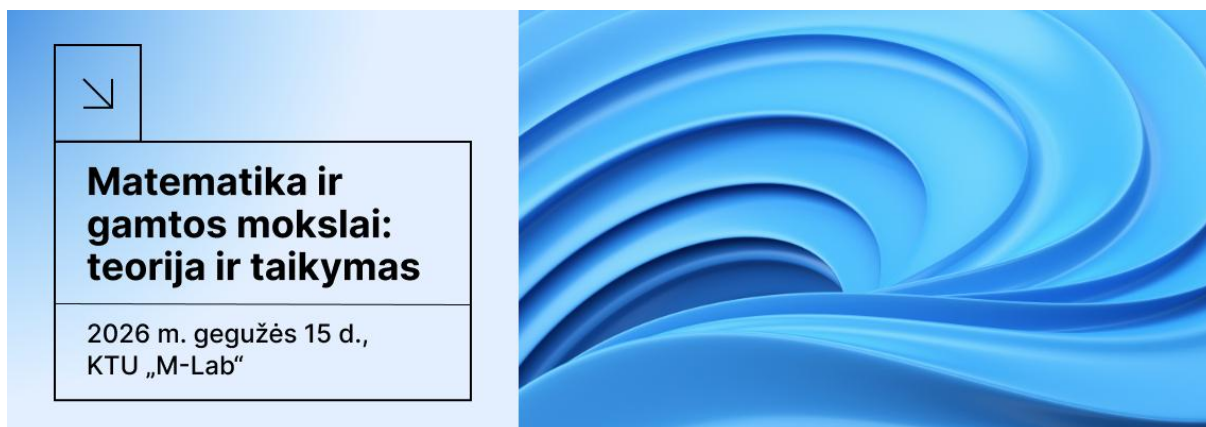
Organizacinis komitetas

Dr. Jurgita Dabulytė-Bagdonavičienė (Komiteto vadovė)
Simona Rimkevičiūtė (Komiteto vadovės pavaduotoja)
Emilijus Kaušpėdas
Aistė Valodkaitė

Autorių kalba netaisyta

© Kauno technologijos universitetas, 2026. Bibliografinė informacija pateikiama Lietuvos integralios bibliotekų informacinės sistemos (LIBIS) portale ibiblioteka.lt

MATEMATIKA IR GAMTOS MOKSLAI: TEORIJA IR TAIKYMAS, 2026



KTU M-Lab, Studentų g. 63A, 111-1

PROGRAMA

- 08:30** Dalyvių registracija
- 09:00** Konferencijos atidarymas
- 09:15** Plenariniai pranešimai
- 09:15** Prof. dr. Audrius Kabašinskas –
„ECMI tinklas ir jo suteikiamos karjeros plėtros galimybės“
- 09:45** Prof. dr. Giedrius Laukaitis –
„Žaliojo amoniako ir vandenilio perspektyvos tvarios energetikos vystyme“
- 10:35** Kavos pertrauka
- 11:00** Darbas sekcijose
- 12:45** Kavos pertrauka
- 13:15** Darbas sekcijose
- 15:15** Pertrauka
- 15:45** Konferencijos uždarymas



KTU MGF Taikomosios matematikos
studijų programos absolventai
Aušra ir Aurimas Drūčiai

MATEMATIKA IR GAMTOS MOKSLAI: TEORIJA IR TAIKYMAS, 2026

PRANEŠIMAI SEKCIJOSE

I sekcija

- 10:40** Illia Filipas*, Hasan Sarigul, Tomas Tamulevičius – MACHINE LEARNING MODELS FOR THE INVERSE DESIGN OF GOLD BOWTIE NANOARRAY
- 10:55** Augustė Čičinskaitė – DARBUOTOJŲ PRODUKTYVUMO ANALIZĖ IR DARBUOTOJŲ KAITOS PROGNOZAVIMAS TAIKANT STATISTINIUS IR MAŠININIO MOKYMOSI METODUS
- 11:10** Gintaras Stankevičius*, Liepa Bikulčienė – NUGAROS RAUMENŲ ELEKTROMIOGRAMŲ IR VAIZDO DUOMENŲ ANALIZĖ FIZINIŲ PRATIMŲ KOKYBĖS VERTINIMUI
- 11:25** Vaiva Unčiūraitė*, Goda Bagdonavičiūtė*, Birutė Narijauskaitė, Tomas Ruzgas – MAŠININIO MOKYMOSI METODŲ TAIKYMAS SUKČIAVIMUI TARPUSAVIO SKOLINIMO SRITYJE APTIKTI: ĮŽVALGOS IŠ LIETUVOS FINANSINIŲ TECHNOLOGIJŲ PLATFORMOS
- 11:40** Justas Janickas, Paulius Palevičius – OPTIMISATION OF REINFORCEMENT LEARNING MODEL FOR CARGO TRAIN POWER CONTROL
- 11:55** Kamilis Jonkus – GILIŲJŲ NEURONINIŲ TINKLŲ SVORIŲ DISKRETIZAVIMO STATISTINĖ ANALIZĖ
- 12:10** Zahi El Helou*, Varun Josh Vimalraj* – ML-BASED TECHNOLOGICAL PREDICTIONS: INFORMATICS AND ANALYTICS PERSPECTIVES
- 12:25** Srihari Jothimani*, Janarthan Jayakumar* – ML-BASED EXPERT SYSTEM FOR MULTI-PHASE PRODUCTION FORECASTING
- 12:40** Tomas Sargautis*, Robertas Alzbutas – GAMYBOS KIEKIŲ IR SEKŲ OPTIMIZAVIMAS KOMBINATORINIAIS IR SKATINAMOJO MOKYMOSI METODAIS
- 12:55** Kavos pertrauka
- 13:20** Anil Tunç – FROM A 3-4-5 TRIANGLE TO AN ELLIPSOID: A GEOMETRIC MODEL FOR INTUITIVE AREA AND VOLUME RELATIONSHIPS
- 13:35** Agnė Vitkauskaitė*, Irma Jankauskienė, Aušra Žvironienė, Irena Tiškevičienė – PIENO KAINOS DINAMIKOS ANALIZĖ IR PROGNOZAVIMAS
- 13:50** Nojus Matevičius*, Irma Jankauskienė, Aušra Žvironienė, Audrius Zajančkauskas – ŽEMĖS ŪKIO PRODUKTŲ KAINOS DINAMIKOS ANALIZĖ IR PROGNOZAVIMAS
- 14:05** Lukas Malakauskas*, Kristina Šutienė – TS-COLIME: ENHANCING TIME-SERIES EXPLAINABILITY VIA COPULA-BASED PERTURBATIONS
- 14:20** Simona Ragalinskaitė*, Karolina Armonaitė, Kristina Magylaitė – KLASTERIZAVIMO METODAI EEG LAIKO EILUČIŲ DINAMIKAI VERTINTI LAIKO IR DAŽNIO SRITYSE
- 14:35** Goda Jančiūnaitė*, Paulius Palevičius – LAŠTELIŲ BRANDUOLIŲ SEGMENTAVIMAS IR PASISKIRSTYMO VERTINIMAS MIKROSKOPINIUOSE VAIZDUOSE
- 14:50** Feona Šneider*, Inga Telksnienė – NEURONINIŲ KALBOS MODELIŲ TAIKYMAS TEKSTO APIBENDRINIMO IR ANONIMIZACIJOS UŽDAVINIAMS SPRĘSTI
- 15:05** Gabija Jocytė*, Irma Jankauskienė, Aušra Žvironienė, Lina Čeponienė – DARŽOVIŲ SEKTORIAUS RINKOS KAINŲ TYRIMAS, PAREMTAS MAŠININIO MOKYMOSI ALGORITMAIS
- 15:20** Aistė Bubelytė*, Irma Jankauskienė – ANOMALIJŲ APTIKIMAS ŪKIŲ VEIKLOS DUOMENYSE

MATEMATIKA IR GAMTOS MOKSLAI: TEORIJA IR TAIKYMAS, 2026

PRANEŠIMAI SEKCIJOSE

II sekcija

- 10:40** **Austėja Burmonaitė** – RIZIKOS VERTĖS IR TIKĖTINO NUOSTOLIO ISTORINIO TESTAVIMO SCHEMOS KŪRIMAS
- 10:55** **Ugnė Orinaitė***, **Minvydas Kazys Ragulskis** – ARNOLDO LIEŽUVIAI IR JŲ SLUOKSNAI TRUPMENINĖS EILĖS DISKRETINĖSE SISTEMOSE: TEORIJA IR TAIKYMAI
- 11:10** **Danielis Voronovas***, **Jurgita Dabulytė-Bagdonavičienė** – LIČIO JONŲ BATERIJOS ELEKTROCHEMINIS MODELIAVIMAS IR BŪSENŲ NUSTATYMAS
- 11:25** **Erikas Sabaitis***, **Aleksejus Michalkovič** – SAUGAUS BLOKNOTO SIMETRINIO ŠIFRAVIMO REŽIMO SAUGUMO TYRIMAS
- 11:40** **Gustė Vilinauskaitė***, **Inga Telksnienė** – STRESO DINAMIKOS MODELIAVIMAS
- 11:55** **Ieva Norkutė***, **Inga Telksnienė** – KRŪTIES VĖŽIO DINAMIKOS MODELIAVIMAS
- 12:10** **Matas Baltrušaitis ***, **Kristina Pupalaigė** – VIENAMAČIO PARABOLINIO UŽDAVINIO SU NELOKALIAJA SĄLYGA SPRENDIMAS TAIKANT SKIRTUMINIUS METODUS
- 12:25** **Žaneta Letukaitė***, **Rasa Šmidkaitė** – ERDVINĖS DISKRETIZACIJOS ĮTAKA SPIRALINIŲ BANGŲ DIVERGAVIMUI NULPOTENTINIŲ MATRICŲ BARKLEY MODELyje
- 12:40** **Ahmad Adel Younus Ahmouda***, **Saulius Japertas** – MULTI-SCALE MATHEMATICAL MODELLING OF ELECTROMAGNETIC INTERACTION WITH DISTRIBUTED ELECTRONIC SYSTEMS
- 12:55** **Kavos pertrauka**
- 13:20** **Augustinas Zinkus***, **Mantas Sriubas**, **Tomas Šalkus**, **Brigita Abakevičienė** – CHEMINIŲ SINTEZIŲ METODŲ ĮTAKA SAMARIŲ IR GADOLINIŲ LEGIRUOTOS CERIO OKSIDO KERAMIKOS FIZIKINĖMS IR ELEKTRINĖMS SAVYBĖMS
- 13:35** **Erikas Žukauskas***, **Darius Germanas**, **Artūras Plukis**, **Rita Plukienė** – GAMA SPEKTRO MODELIAVIMAS SKIRTINGAIS INTERPOLIACIJOS METODAIS
- 13:50** **Justina Kuprijanovaitė***, **Diana Adlienė** – INVESTIGATION OF POLYMER-BASED DOSIMETERS WITH ENHANCED SENSITIVITY
- 14:05** **Markas Siju Gu***, **Ieva Barauskienė**, **Kristina Bočkutė**, **Giedrius Laukaitis** – CIRKONIO NITRIDO PLONŲ SLUOKSNIŲ FORMAVIMO IR PAVIRŠIAUS MORFOLOGIJOS TYRIMAS
- 14:20** **Rugilė Jonuškaitė***, **Inga Telksnienė**, **Tadas Telksnys**, **Minvydas Ragulskis** – STABILIZATION OF UNSTABLE ORBITS IN THE FRACTIONAL RÖSSLER SYSTEM
- 14:35** **Titas Chimičius***, **Ieva Barauskienė**, **Kristina Bočkutė**, **Giedrius Laukaitis** – KOBALTO KONCENTRACIJOS ĮTAKA GELEŽIES OKSIDŲ PLONŲJŲ DANGŲ STRUKTŪRAI IR ELEKTROCHEMINIAM AKTYVUMUI
- 14:50** **Umme Aimon***, **Saulius Gudžius** – SUSTAINABLE POWER GENERATION: COST AND EMISSION OPTIMIZATION APPROACH
- 15:05** **Vidmantas Kumža** – LAUKO TRANZISTORIŲ SU DVIMAČIU GRAFENO KANALU KŪRIMAS, GAMYBA IR TYRIMAS

KVIESTINIAI PRANEŠĖJAI



Prof. dr. Audrius Kabašinskas

Pranešimo tema:

„ECMI tinklas ir jo suteikiamos karjeros plėtros galimybės“

Matematinio modeliavimo katedros profesorius, Europos industrinės matematikos konsorciumo (ECMI) tarybos ir edukacinio komiteto narys, EURO žaliavų ir finansinio modeliavimo tyrimų grupės narys, Lietuvos Operacijų Tyrimų draugijos audito komiteto vadovas, turintis 24 metų mokslinę ir pedagoginę patirtį dirbant su Kauno ir Vilniaus studentais.

Audrius Kabašinskas 2008 m. įgijo informatikos krypties daktaro laipsnį Matematikos ir informatikos institute (šiuo metu – Vilniaus universiteto Duomenų mokslo ir skaitmeninių technologijų institutas).

Jo moksliniai interesai apima taikomąją matematiką finansuose, sprendimų priėmimą, operacijų tyrimus, dirbtinį intelektą, finansinės rizikos vertinimą, sukčiavimo ir anomalijų aptikimą dideliuose duomenų rinkiniuose, stochastinį optimizavimą, pensijų sistemų modeliavimą, streso testavimą bei kriptovaliutų rinkų analizę.

Per beveik 20 metų mokslinės veiklos jis dalyvavo ir vadovavo daugeliui tarptautinių ir nacionalinių projektų (H2020, COST, MSCA, ESFA, LMT). Jis yra 40 mokslinių straipsnių ir konferencijų publikacijų bendraautorius, o jo darbai cituoti daugiau kaip 300 kartų.



Prof. dr. Giedrius Laukaitis

Pranešimo tema:

„Žaliojo amoniako ir vandenilio perspektyvos tvarios energetikos vystyme“

Prof. dr. Giedrius Laukaitis yra Kauno technologijos universiteto Matematikos ir gamtos mokslų fakulteto Mokslo prodekanas ir Fizikos katedros profesorius. Jis taip pat vadovauja mokslinių tyrimų grupei „Daugiafunkcinių plonų struktūrų ir nanokompozitų formavimas, tyrimai ir taikymas“ bei turintis daugiau nei 25 metų patirtį funkcinių plonų dangų ir nanostruktūrų fizikos ir technologijų tyrimų bei studijų srityje, daugiausia dėmesio skirdamas vandenilio kuro elementams, vandenilio kuro elementų komponentams, plonasluoksnių dangų nusodinimo technologijoms, elektrokatalizei, paviršiaus, mikrostruktūros ir plonasluoksnių struktūrų analizei. Pastaruoju metu jis vadovauja moksliniams projektams, kuriuose tiriama kataliziniai procesai kietųjų oksidų vandenilio kuro elementuose, geležies oksido dangų kaip elektrokatalizatorių vandens skilimo ir deguonies išsiskyrimo reakcijų tyrimuose, taip pat protonų laidžių struktūrų formavime ir tyrimuose.

TURINYS

I sekcija

MACHINE LEARNING MODELS FOR THE INVERSE DESIGN OF GOLD BOWTIE NANOARRAY, Illia Filipas, Hasan Sarigul, Tomas Tamulevičius.....	11
DARBUOTOJŲ PRODUKTYVUMO ANALIZĖ IR DARBUOTOJŲ KAITOS PROGNOZAVIMAS TAIKANT STATISTINIUS IR MAŠININIO MOKYMOSI METODUS, Augustė Čičinskaitė	13
NUGAROS RAUMENŲ ELEKTROMIOGRAMŲ IR VAIZDO DUOMENŲ ANALIZĖ FIZINIŲ PRATIMŲ KOKYBĖS VERTINIMUI, Gintaras Stankevičius, Liepa Bikulčienė.....	14
MAŠININIO MOKYMOSI METODŲ TAIKYMAS SUKČIAVIMUI TARPUSAVIO SKOLINIMO SRITYJE APTIKTI: ĮŽVALGOS IŠ LIETUVOS FINANSINIŲ TECHNOLOGIJŲ PLATFORMOS, Vaiva Unčiūraitė, Goda Bagdonavičiūtė, Birutė Narijauskaitė, Tomas Ruzgas	16
OPTIMISATION OF REINFORCEMENT LEARNING MODEL FOR CARGO TRAIN POWER CONTROL, Justas Janickas, Paulius Palevičius.....	17
GILIŲJŲ NEURONINIŲ TINKLŲ SVORIŲ DISKRETIZAVIMO STATISTINĖ ANALIZĖ, Kamilis Jonkus	19
ML-BASED TECHNOLOGICAL PREDICTIONS: INFORMATICS AND ANALYTICS PERSPECTIVES, Zahi El Helou, Varun Josh Vimalraj	20
ML-BASED EXPERT SYSTEM FOR MULTI-PHASE PRODUCTION FORECASTING, Srihari Jothimani, Janarthan Jayakumar.....	22
GAMYBOS KIEKIŲ IR SEKŲ OPTIMIZAVIMAS KOMBINATORINIAIS IR SKATINAMOJO MOKYMOSI METODAIS, Tomas Sargautis, Robertas Alzbutas	23
FROM A 3-4-5 TRIANGLE TO AN ELLIPSOID: A GEOMETRIC MODEL FOR INTUITIVE AREA AND VOLUME RELATIONSHIPS, Anil Tunç.....	24
PIENO KAINOS DINAMIKOS ANALIZĖ IR PROGNOZAVIMAS, Agnė Vitkauskaitė, Irma Jankauskienė, Aušra Žvironienė, Irena Tiškevičienė	26
ŽEMĖS ŪKIO PRODUKTŲ KAINOS DINAMIKOS ANALIZĖ IR PROGNOZAVIMAS, Nojus Matevičius, Irma Jankauskienė, Aušra Žvironienė, Audrius Zajančkauskas.....	27
TS-COLIME: ENHANCING TIME-SERIES EXPLAINABILITY VIA COPULA-BASED PERTURBATIONS, Lukas Malakauskas, Kristina Šutienė.....	28
KLASTERIZAVIMO METODAI EEG LAIKO EILUČIŲ DINAMIKAI VERTINTI LAIKO IR DAŽNIO SRITYSE, Simona Ragalinskaitė, Karolina Armonaitė, Kristina Magylaitė	30
LAŠTELIŲ BRANDUOLIŲ SEGMENTAVIMAS IR PASISKIRSTYMO VERTINIMAS MIKROSKOPINIJOSE VAIZDUOSE, Goda Jančiūnaitė, Paulius Palevičius	31

MATEMATIKA IR GAMTOS MOKSLAI: TEORIJA IR TAIKYMAS, 2026

NEURONINIŲ KALBOS MODELIŲ TAIKYMAS TEKSTO APIBENDRINIMO IR ANONIMIZACIJOS UŽDAVINIAMS SPREŠTI, Feona Šneider, Inga Telksnienė 33

DARŽOVIŲ SEKTORIAUS RINKOS KAINŲ TYRIMAS, PAREMTAS MAŠININIO MOKYMOSI ALGORITMAIS, Gabija Jocytė, Irma Jankauskienė, Aušra Žvironienė, Lina Čeponienė .. 35

ANOMALIJŲ APTIKIMAS ŪKIŲ VEIKLOS DUOMENYSE, Aistė Bubelytė, Irma Jankauskienė..... 36

II sekcija

RIZIKOS VERTĖS IR TIKĖTINO NUOSTOLIO ISTORINIO TESTAVIMO SCHEMOS KŪRIMAS, Austėja Burmonaitė 38

ARNOLDO LIEŽUVIAI IR JŲ SLUOKSNIAI TRUPMENINĖS EILĖS DISKRETINĖSE SISTEMOSE: TEORIJA IR TAIKYMAI, Ugnė Orinaitė, Minvydas Kazys Ragulskis 40

LIČIO JONŲ BATERIJOS ELEKTROCHEMINIS MODELIAVIMAS IR BŪSENŲ NUSTATYMAS, Danielis Voronovas, Jurgita Dabulytė-Bagdonavičienė 41

SAUGAUS BLOKNOTO SIMETRINIO ŠIFRAVIMO REŽIMO SAUGUMO TYRIMAS, Erikas Sabaitis, Aleksejus Michalkovič 42

STRESO DINAMIKOS MODELIAVIMAS, Gustė Vilinauskaitė, Inga Telksnienė 43

KRŪTIES VĖŽIO DINAMIKOS MODELIAVIMAS, Ieva Norkutė, Inga Telksnienė 45

VIENAMAČIO PARABOLINIO UŽDAVINIO SU NELOKALIAJA SĄLYGA SPRENDIMAS TAIKANT SKIRTUMINIUS METODUS, Matas Baltrušaitis, Kristina Pupalaigė 47

ERDVINĖS DISKRETIZACIJOS ĮTAKA SPIRALINIŲ BANGŲ DIVERGAVIMUI NULPOTENTINIŲ MATRICŲ BARKLEY MODELyje, Žaneta Letukaitė, Rasa Šmidkaitė ... 48

MULTI-SCALE MATHEMATICAL MODELLING OF ELECTROMAGNETIC INTERACTION WITH DISTRIBUTED ELECTRONIC SYSTEMS, Ahmad Adel Younus Ahmouda, Saulius Japertas 49

CHEMINIŲ SINTEZIŲ METODŲ ĮTAKA SAMARIU IR GADOLINIŲ LEGIRUOTOS CERIO OKSIDO KERAMIKOS FIZIKINĖMS IR ELEKTRINĖMS SAVYBĖMS, Augustinas Zinkus, Mantas Sriubas, Tomas Šalkus, Brigita Abakevičienė 51

GAMA SPEKTRO MODELIAVIMAS SKIRTINGAIS INTERPOLIACIJOS METODAIS, Erikas Žukauskas, Darius Germanas, Artūras Plukis, Rita Plukienė 52

INVESTIGATION OF POLYMER-BASED DOSIMETERS WITH ENHANCED SENSITIVITY, Justina Kuprijanovaitė, Diana Adlienė 54

CIRKONIO NITRIDO PLONŲ SLUOKSNIŲ FORMAVIMO IR PAVIRŠIAUS MORFOLOGIJOS TYRIMAS, Markas Siju Gu, Ieva Barauskienė, Kristina Bočkutė, Giedrius Laukaitis..... 56

MATEMATIKA IR GAMTOS MOKSLAI: TEORIJA IR TAIKYMAS, 2026

STABILIZATION OF UNSTABLE ORBITS IN THE FRACTIONAL RÖSSLER SYSTEM, Rugilė Jonuškaitė, Inga Telksnienė, Tadas Telksnys, Minvydas Ragulskis	58
KOBALTO KONCENTRACIJOS ĮTAKA GELEŽIES OKSIDŲ PLONŪJŲ DANGŲ STRUKTŪRAI IR ELEKTROCHEMINIAM AKTYVUMUI, Titas Chimičius, Ieva Barauskienė, Kristina Bočkutė, Giedrius Laukaitis	60
SUSTAINABLE POWER GENERATION: COST AND EMISSION OPTIMIZATION APPROACH, Umme Aimon, Saulius Gudžius	62
LAUKO TRANZISTORIŲ SU DVIMAČIU GRAFENO KANALU KŪRIMAS, GAMYBA IR TYRIMAS, Vidmantas Kumža	64

Žodinių pranešimų santaukos
I sekcija

MACHINE LEARNING MODELS FOR THE INVERSE DESIGN OF GOLD BOWTIE NANOARRAY

Illia Filipas^{1*}, Hasan Sarigul¹, Tomas Tamulevičius^{1,2}

¹ Department of Physics, Kaunas University of Technology, Lithuania

² Institute of Materials Science of Kaunas University of Technology, Lithuania

* illia.filipas@gmail.com

Plasmonic gold bowtie nanoarrays are promising platforms for SERS and sensing because their sharp tips and nanogaps support strong local electromagnetic field enhancement [1,2]. In this work, the array periodicity was selected to place the surface lattice resonance (SLR) close to the 784.849 nm Raman excitation wavelength. However, inverse-design screening is challenging because slight changes in bowtie geometry strongly alter the reflectance spectrum, while high-fidelity FDTD simulations are computationally expensive.

To address this limitation, we developed a machine-learning (ML) workflow for rapid spectrum prediction and inverse-design screening of gold bowtie nanoarrays. A dataset of 7890 FDTD-generated reflectance spectra over 300-1100 nm was constructed using four design parameters: gold thickness, triangle side length, corner radius, and nanogap width. Three models were compared: LightGBM, implicit neural representation (INR) with Fourier features [5], and a custom Transformer model for spectrum prediction, following recent interest in neural architectures for photonic inverse design [3,4].

Model performance was evaluated on the standard 5 nm FDTD dataset using a gap-wise validation split. In this setup, the same geometry configurations were represented in both training and validation, while 30% of the nanogap-dependent spectra from each configuration were held out for validation. This produced 2187 validation spectra and allowed the models to be evaluated on unseen gap samples within the same physically defined geometry space.

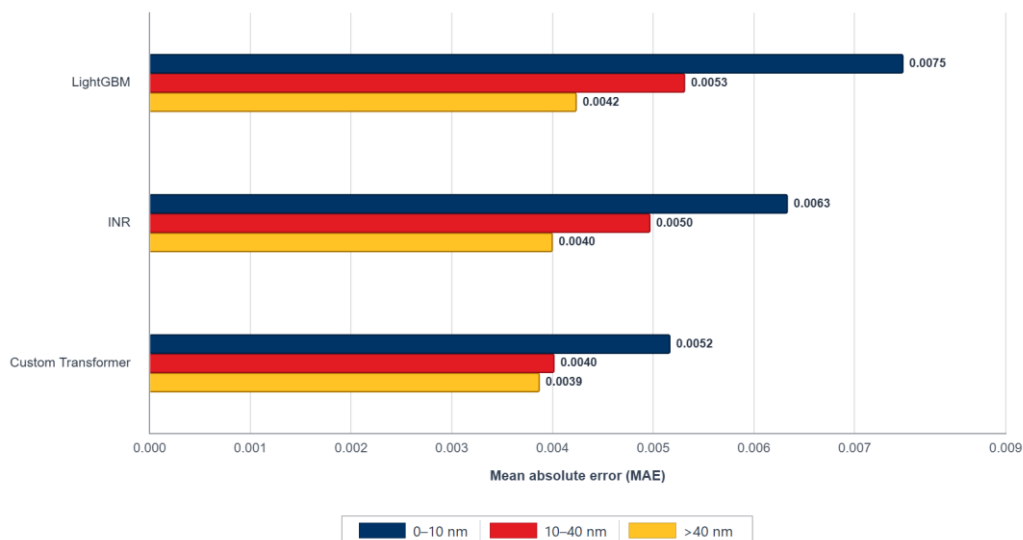


Fig. 1. Mean absolute error (MAE) on the validation set for LightGBM, INR, and the custom Transformer across three nanogap regimes: 0-10 nm, 10-40 nm, and >40 nm. Lower MAE indicates better predictive accuracy.

Fig. 1. compares model performance across physically different gap regimes. The 0-10 nm region corresponds to ultra-narrow gaps with strong near-field coupling, the 10-40 nm interval represents the most nonlinear transition region, and the >40 nm regime is more strongly

influenced by lattice-assisted behavior. This separation is important because good average accuracy over the full dataset does not guarantee reliable prediction in the most difficult physical regimes.

The custom Transformer achieved the most consistent performance across all gap regimes. On the full validation set, it reached $MAE = 0.00399$ and $R^2 = 0.991$, outperforming INR ($MAE = 0.00434$, $R^2 = 0.989$) and LightGBM ($MAE = 0.00467$, $R^2 = 0.988$). Its advantage was strongest in the nonlinear 10-40 nm regime, where the Transformer reduced the prediction error by approximately 32% compared to LightGBM. This indicates that treating the reflectance spectrum as a connected wavelength sequence helps preserve spectral structure, not only average spectral error.

Beyond aggregate metrics, the predicted spectra were also evaluated using resonance-aware criteria, including dip position and linewidth near the target wavelength. This is important for inverse design because the selected geometry must preserve the physical resonance feature relevant to SERS excitation, not only reproduce the broad reflectance trend. In addition, the broader workflow supports coarse-to-fine learning, where computationally efficient 5 nm mesh simulations guide model training and higher-fidelity 2 nm simulations can be reserved for targeted validation.

Overall, these results show that neural spectral models can support ML-assisted inverse design of gold bowtie nanoarrays. The custom Transformer provides the strongest model for rapid candidate screening, while INR remains a reliable alternative and LightGBM provides an efficient reference point. This workflow offers a practical route to reduce computational cost by using ML to rank candidate geometries before final high-fidelity FDTD verification, thereby limiting expensive simulations to the most promising designs.

Acknowledgements. This research was funded by the Research Council of Lithuania (LMTLT), grant agreement No. S-PD-24-115.

References

1. N. S. Arshad et al. // Highly Sensitive Plasmonic Au Bowtie Sensors with Extraordinary Optical Absorbance for SERS Applications. *Plasmonics*, 2025, 20(3), 1427-1442.
2. N. Khinevich et al. // Wavelength-tailored enhancement of Raman scattering on a resonant plasmonic lattice. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2023, 394, 134418.
3. I. Tanriover, W. Hadibrata, J. Scheuer, and K. Aydin // Neural networks enabled forward and inverse design of reconfigurable metasurfaces. *Optics Express*, 2021, 29(17), 27219-27227.
4. Q. Wu et al. // Comparison of Different Neural Network Architectures for Plasmonic Inverse Design. *ACS Omega*, 2021, 6(36), 23076-23082.
5. M. Tancik et al. // Fourier Features Let Networks Learn High Frequency Functions in Low Dimensional Domains. *NeurIPS*, 2020, 33, 7537-7547.

DARBUOTOJŲ PRODUKTYVUMO ANALIZĖ IR DARBUOTOJŲ KAITOS PROGNOZAVIMAS TAIKANT STATISTINIUS IR MAŠININIO MOKYMOSI METODUS

Augustė Čičinskaitė

*Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva
auguste.cicinskaite@ktu.edu*

Šiame darbe nagrinėjami darbuotojų produktyvumo ir darbuotojų išėjimo iš organizacijos procesai taikant statistinius ir mašininio mokymosi metodus. Tyrimų objektas – gamybinės organizacijos darbuotojų produktyvumas, matuojamas darbo centro operatorių efektyvumo rodikliu, ir darbuotojų išėjimo rizika, vertinama remiantis administraciniais personalo duomenimis.

Tyrimo aktualumas grindžiamas didėjančia darbuotojų kaita ir augančiu organizacijų poreikiu priimti duomenimis grįstus personalo valdymo sprendimus. Didelė darbuotojų kaita prisideda prie žmogiškojo kapitalo praradimo, didėjančios darbuotojų paieškos, mokymų sąnaudų bei neigiamo poveikio produktyvumui, todėl efektyvios darbuotojų išlaikymo ir produktyvumo valdymo priemonės tampa strateginiu prioritetu [1][2]. Spartus didžiųjų duomenų analitikos ir mašininio mokymosi metodų vystymasis suteikia galimybes šiuos procesus analizuoti kompleksiskai, tačiau jų praktinis pritaikymas vis dar kelia interpretacijos ir patikimumo iššūkių.

Darbo tikslas – įvertinti darbuotojų stažo ir jo struktūros ryšį su gamybos produktyvumu ir sukurti darbuotojų išėjimo rizikos prognozavimo modelius, kurie galėtų būti taikomi praktiniams personalo valdymo sprendimams. Analizei taikyti aprašomieji, ekonometriniai, mašininio mokymosi klasifikavimo ir išgyvenamumo analizės metodai.

Tyrimo rezultatai parodė, kad darbuotojų stažo ir produktyvumo ryšys yra netiesinis. Didžiausias operatorių efektyvumas fiksuotas vidutinio stažo (5–10 metų) darbuotojų komandose, o tiek trumpo, tiek ilgo stažo darbuotojų dalies didėjimas siejosi su mažesniu efektyvumu. Vidutinis operatorių efektyvumo rodiklis siekė 0,59. Ekonometriniai modeliai patvirtino apverstos U formos priklausomybę tarp stažo struktūros ir produktyvumo, o ilgo stažo darbuotojų poveikis skirtinguose darbo centruose pasirodė nevienodas. Išėjimo prognozavimo srityje geriausią prognozinį tikslumą pasiekė ansambliniai mašininio mokymosi metodai – atsitiktinių miškų modelio ROC AUC siekė apie 0,89. Išgyvenamumo analizė atskleidė, kad medianinis darbuotojų išlikimo laikas organizacijoje sudaro apie 5,8 metų. Didelės 12 mėnesių išėjimo rizikos segmentas apėmė apie 9,5 % darbuotojų, tačiau sudarė apie 33 % prognozuojamų išėjimų.

Darbo išvados rodo, kad didžiausias produktyvumas pasiekiamas formuojant subalansuotas komandas, kuriose dominuoja vidutinio stažo darbuotojai, o duomenimis grįsti darbuotojų išėjimo rizikos modeliai leidžia tikslingai planuoti personalo išlaikymo priemones ir didinti organizacijos veiklos efektyvumą.

Literatūros sąrašas

1. HAMILTON, R. H.; SODEMAN, William A. The questions we ask: Opportunities and challenges for using big data analytics to strategically manage human capital resources. *Business Horizons*, 2020, 63.1: 85-95. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2019.10.001>.
2. MANROOP, Laxmikant; MALIK, Amina; MILNER, Morgan. The ethical implications of big data in human resource management. *Human Resource Management Review*, 2024, 34.2: 101012. <https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2024.101012>.

NUGAROS RAUMENŲ ELEKTROMIOGRAMŲ IR VAIZDO DUOMENŲ ANALIZĖ FIZINIŲ PRATIMŲ KOKYBĖS VERTINIMUI

Gintaras Stankevičius^{1*}, Liepa Bikulčienė¹

¹ *Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

**gintaras.stankevicius@ktu.edu*

Sveikatos priežiūros sistemos Europoje susiduria su augančiu medicinos specialistų trūkumu, senėjančia visuomene ir didėjančiu lėtinių ligų paplitimu, kas didina nuotolinės pacientų stebėsenos sprendimų poreikį. Tarptautinis REMO projektas (<https://itea4.org/project/remo.html>) siekia spręsti šias problemas, kuriant dirbtiniu intelektu paremtas nuotolinės sveikatos stebėsenos sistemas, leidžiančias perkelti dalį priežiūros iš gydymo įstaigų į paciento namų aplinką.

Šiame tyrime nagrinėjamas Lietuvos REMO naudojimo atvejis, orientuotas į nespacificinio apatinės nugaros dalies skausmo valdymą. Remiantis naujausiais tyrimais, tokio pobūdžio skausmas yra viena pagrindinių negalios priežasčių pasaulyje, o efektyvi rehabilitacija reikalauja nuolatinės judesio ir raumenų aktyvumo stebėsenos [1]. Tyrimai rodo, kad lėtinis nespacificinis apatinės nugaros dalies skausmas yra susijęs su pakitusiu judesio valdymu ir kompensacinėmis strategijomis, todėl jo vertinimas turėtų būti grindžiamas tiek raumenų aktyvumo, tiek judesio analize [2]. Be to, nustatyta, kad pacientų judesio ir raumenų aktyvacijos modeliai skiriasi, todėl šių rodiklių derinimas yra svarbus individualizuojant reabilitaciją [3].

Tyrimo tikslas – sukurti matematiniais metodais pagrįstą modelį, skirtą fizinių pratimų atlikimo kokybei įvertinti, taikant nugaros raumenų elektromiografijos signalų ir vaizdo duomenų analizę.

EMG signalai buvo apdoroti taikant filtravimo ir glodinimo metodus, po kurių signalai transformuoti į laiko-dažnių sritį naudojant tolydžiąją bangelių transformaciją. Išskirti pagrindiniai rodikliai: vidutinis dažnis (MNF) ir medianinis dažnis (MDF) raumenų nuovargiui vertinti, tarpraumeninis koherentiškumas ir fazės sinchronizacijos indeksas raumenų signalų tarpusavio sąveikai įvertinti. Vaizdo duomenų analizėje taikyti žmogaus pozos nustatymo modeliai, leidžiantys išgauti skeleto taškų koordinates ir apskaičiuoti pagrindinius biomechaninius rodiklius – pasirinktų sąnarių kampus ir pečių bei klubų linijų posvyrių kampus.

Tyrimo rezultatai parodė stiprią MNF ir MDF tarpusavio priklausomybę, leidžiančią patikimai vertinti raumenų aktyvumo pokyčius. Nustatyta, kad fazės sinchronizacijos rodikliai yra mažiau jautrūs amplitudės pokyčiams ir gali būti naudojami raumenų koordinacijos analizei. Vaizdo analizės rezultatai leido identifikuoti judesio fazes bei įvertinti biomechaninius pokyčius. Taip pat nustatyta, kad skirtingi pozos nustatymo modeliai pasižymi skirtingu skaičiavimo efektyvumu, išlaikant panašų geometrinių rodiklių tikslumą.

Pirminiai rezultatai parodė stiprią MNF ir MDF tarpusavio koreliaciją, leidžiančią patikimai vertinti raumenų aktyvumo pokyčius. Nustatyta, kad skirtingų pratimų metu reikšmingai kinta tarpraumeninis koherentiškumas, atspindintis koordinacijos pokyčius. Taip pat pastebėta, kad fazės sinchronizacijos rodikliai yra mažiau jautrūs amplitudės svyravimams, todėl gali būti naudojami kaip stabilus raumenų tarpusavio sąveikos matas. Vaizdo analizės rezultatai leido identifikuoti judesio fazes ir įvertinti biomechaninius skirtumus tarp skirtingų pratimų atlikimo scenarijų. Integruojant EMG ir vaizdo duomenis nustatyta galimybė segmentuoti judesį pagal

MATEMATIKA IR GAMTOS MOKSLAI: TEORIJA IR TAIKYMAS, 2026

biomechaninius rodiklius ir taikyti EMG analizę atskiroms judesio fazėms, taip padidinant pratimo vertinimo tikslumą.

Apibendrinant, multimodalinė EMG ir vaizdo analizė sudaro pagrindą automatizuotam fizinių pratimų kokybės vertinimui, kuris gali būti taikomas nuotolinėse reabilitacijos sistemose. Šis metodas turi potencialą pagerinti pacientų stebėseną, padidinti gydymo prieinamumą ir sumažinti sveikatos priežiūros sistemos apkrovą.

Literatūros sąrašas

1. J. Hartvigsen, M. J. Hancock, A. Kongsted, Q. Louw, M. L. Ferreira, S. Genevay, D. Hoy, J. Karppinen, G. Pransky, J. Sieper, R. J. Smeets, M. Underwood, R. Buchbinder, D. Cherkin, N. E. Foster, C. G. Maher, M. van Tulder ir A. Woolf // *What low back pain is and why we need to pay attention*, *The Lancet*, 2018, 391(10137), 2356–2367.
2. J. H. van Dieën, N. P. Reeves, G. Kawchuk, L. R. van Dillen, P. W. Hodges // Motor control changes in low back pain: Divergence in presentations and mechanisms, *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 2019, 49(6), 370–379.
3. W. Dankaerts, P. B. O'Sullivan, A. F. Burnett, L. M. Straker, P. Davey, R. Gupta // Discriminating healthy controls and two clinical subgroups of nonspecific chronic low back pain patients using trunk muscle activation and lumbopelvic kinematics of postures and movements: A statistical classification model, *Spine*, 2006, 31(6), 623–631.

MAŠININIO MOKYMO METODŲ TAIKYMAS SUKČIAVIMUI TARPUSAVIO SKOLINIMO SRITYJE APTIKTI: ĮŽVALGOS IŠ LIETUVOS FINANSINIŲ TECHNOLOGIJŲ PLATFORMOS

Vaiva Unciūraitė^{1*}, Goda Bagdonavičiūtė¹, Birutė Narijauskaitė^{2,3}, Tomas Ruzgas⁴

¹ *Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

² *Mechanikos inžinerijos katedra, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

³ *Matematikos ir gamtos mokslų fakulteto laboratorijų centras, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

⁴ *Taikomosios matematikos katedra, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

* *vaiva.unciuraite@ktu.edu*

Finansinių technologijų sektorius (FinTech) per pastarąjį dešimtmetį tapo vienu sparčiausiai augančių pasaulio ekonomikos segmentų, iš esmės keičiančiu tradicinių finansinių paslaugų teikimą [1]. Vienas iš šios transformacijos pavyzdžių yra SAVY tarpusavio skolinimo platforma (P2P), leidžianti fiziniams asmenims skolinti ir skolintis tiesiogiai, apeinant bankus. Vis dėlto šios inovacijos kartu sukuria ir naujų rizikų, kurių viena svarbiausių yra sukčiavimas. Dėl nuotolinio veikimo pobūdžio, ribotos informacijos ir dalyvių anonimiškumo P2P platformose susidaro palankios sąlygos nesąžiningiems veiksams, tokiems kaip klaidingų finansinių duomenų pateikimas, tapatybės vagystės ar sąmoningas paskolų negrąžinimas [2]. Kai kuriose platformose blogų paskolų lygis gali siekti net apie 50 %, todėl efektyvi sukčiavimo prevencija tampa kritiškai svarbi [3].

Augant P2P skolinimo populiarumui ir sandorių apimtims, didėja ir potencialūs investuotojų nuostoliai, jei rizikos nėra tinkamai valdomos. Siekdami didesnės grąžos, investuotojai dažnai prisiima aukštesnę riziką, o nepakankamai tikslūs sukčiavimo aptikimo metodai gali mažinti pasitikėjimą visa sistema.

Pagrindinis tyrimo tikslas yra sukurti ir įvertinti sukčiavimo rizikos nustatymo modelį, remiantis realiais P2P platformos duomenimis. Tyrime buvo taikyti keli metodai: atsitiktinių miškų algoritmas, dirbtiniai neuroniniai tinklai, analizuojant tris duomenų rinkinius: originalų, sumažintą principinių komponentų analizės pagrindu ir išplėstą kokybiniais kintamaisiais. Analizei naudoti Lietuvos P2P platformos „SAVY“ antrinės rinkos duomenys (865 paskolos, iš jų 26 sukčiavimo atvejai). Rezultatai parodė, kad atsitiktinių miškų modelis pasižymėjo didžiausiu išsamumu (80-92 %), tačiau labai žemu preciziškumu (4–5 %), todėl F1 rodiklis siekė tik 0,08–0,09. Neuroniniai tinklai, nors ir pasižymėjo aukštu bendru tikslumu bei AUC, identifikavo tik nedidelę dalį sukčiavimo atvejų (11-19%). Kintamųjų svarbos analizė atskleidė, kad pagrindiniai rizikos veiksniai yra bloga kredito istorija, aukštas įsipareigojimų ir pajamų santykis, paskolos suma, žemas kredito reitingas ir jaunesnis skolininko amžius. Tai rodo, kad finansiniai ir demografiniai rodikliai yra esminiai sukčiavimo indikatoriai, o papildomi elgsenos bei socialiniai duomenys gali dar pagerinti modelių tikslumą.

Literatūros sąrašas

1. L. Subačiūtė, K. Taujanskaitė // Tarpusavio skolinimo platformų ir komercinių bankų teikiamų vartojimo kreditų analizė, 2019, vvf.2019.031, 1-13.
2. S. Graužinienė // Sukčiavimo rizikos aptikimas tarpusavio skolinimosi platformose, Kauno technologijos universitetas, Kaunas, 2023.
3. H. Wang // Detection of fraudulent users in P2P financial market, 2019, 06004, 1-6.

OPTIMISATION OF REINFORCEMENT LEARNING MODEL FOR CARGO TRAIN
POWER CONTROL

Justas Janickas¹, Paulius Palevičius¹

¹ Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Kaunas University of Technology

Energy-efficient operation of cargo trains has direct economic and environmental impact, yet selecting engine power levels along a route is a non-trivial optimisation problem because it must balance schedule adherence against the cumulative work done to overcome gravity, rolling friction, and aerodynamic drag. Reinforcement learning offers an alternative to analytical optimisation: an agent learns a power control policy by interacting with a physically grounded simulator and progressively refines the policy from observed trajectories, as in the recent DRL approaches to energy-efficient train control by Wang et al. [1] and Shang et al. [2].

The Kybartai–Paneriai railway route in Lithuania (~180 km) is modelled by a step-wise simulator that solves the law of conservation of energy at each route step:

$$W_{\text{eng}} = \Delta E_{\text{pot}} + \Delta E_{\text{kin}} + W_{\text{fric}} + W_{\text{air}} \quad (1)$$

Here the work delivered by the engine balances the changes in potential and kinetic energy together with the work lost to rolling friction and aerodynamic drag. After substituting standard expressions for each term, the equation is solved numerically for the terminal velocity at each step, with the friction coefficient μ and the drag coefficient C_d calibrated against operational GPS data (per-step RMSE 0.244 m/s).

The route is divided into decision segments aligned with slope and speed limit changes, following Cheng et al. [3]. At each boundary the agent observes the state $s = [S, v, t]$ (distance, current speed, elapsed time, all regularised), augmented with four slope lookahead samples summarising the upcoming terrain. This echoes the broader theme of incorporating future route information into train control RL, which Zhang et al. [4] explore in a different setting. The state is further augmented with the train's normalised mass, perturbed each training episode by a Gaussian factor so that the policy generalises across cargo loads. The agent then selects a discrete engine power level from nine values between 0.0 MW and 1.6 MW. The policy is a deep Q-network with two 128-unit hidden layers, ReLU activations, and a periodically synchronised target network. Each gradient step minimises the Huber regression of the action-value estimate to the Bellman target:

$$\delta = Q^\pi(s, a) - \left(r + \gamma \max_{a'} Q^\pi(s', a') \right) \quad (2)$$

$$\mathcal{L} = \frac{1}{|B|} \sum_{(s, a, s', r) \in B} \mathcal{L}(\delta) \quad (3)$$

In effect, the network learns to predict the cumulative discounted reward for every action, and the loss penalises predictions that disagree with the observed reward plus the network's own best-case estimate for the next state.

The reward steers the agent toward energy-efficient operation that still respects the schedule. As a baseline for wasteful behaviour we use the theoretical maximum energy that would be consumed at full power for the entire allotted trip duration:

$$E_{\text{max}} = P_{\text{max}} \cdot t_{\text{max}}, \quad E_{\text{max, segment}} = E_{\text{max}} \cdot \frac{S_{\text{segment}}}{S_{\text{total}}} \quad (4)$$

The per-segment reward then combines a base term that rewards saving energy relative to the segment's share of E_{\max} , penalty terms that discourage off-schedule operation and speed limit violations, and a goal bonus for arriving inside the 90–100 % time target window:

$$r = c_{\text{frac}} \cdot r_{\text{base}} + c_{\text{frac}} \cdot r_{\text{punish}} + r_{\text{goal}}, \quad c_{\text{frac}} = \frac{S_{\text{segment}}}{S_{\text{total}}} \quad (5)$$

With the configuration tuned, the model converges to a stable energy-efficient policy. The training loss curve (Fig. 1(a)) settles into a low-noise plateau after about 3 000 episodes, while the validation reward (Fig. 1(b)) rises to a stable value of about 1.5. The optimal trip profile (Fig. 2) arrives 3.3 % under the 15 000 s time target while delivering a 4.7 % reduction in energy consumption relative to a constant power baseline that itself fails to satisfy the schedule.

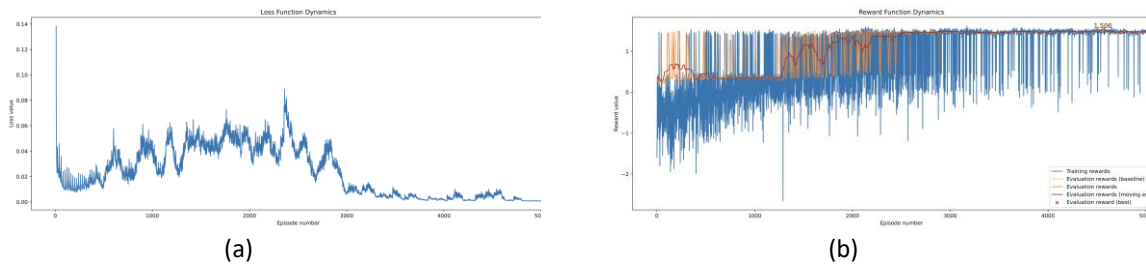


Fig. 1. (a) Training loss dynamics and (b) validation reward dynamics of the final tuned model over 5 000 episodes.

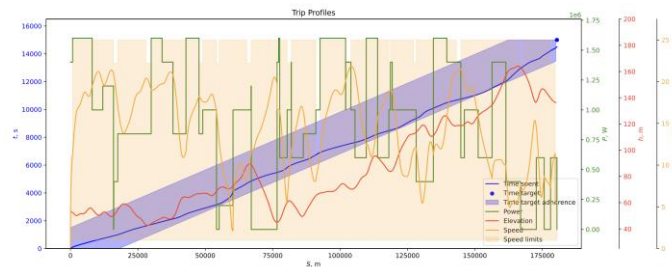


Fig. 2. Optimal trip profile produced by the tuned model: time spent (blue), engine power level (green), elevation (red), and speed (orange) along the route.

The result shows that a carefully tuned reinforcement learning agent operating over a calibrated physical simulator yields a deployable cargo train control strategy, with multi-route generalisation as a promising next step.

References

1. D. Wang, J. Wu, Y. Wei, X. Chang, H. Yin // Energy-saving operation in urban rail transit: A deep reinforcement learning approach with speed optimization, *Travel Behaviour and Society*, 2024, 36, 100796.
2. M. Shang, Y. Zhou, H. Fujita // Deep reinforcement learning with reference system to handle constraints for energy-efficient train control, *Information Sciences*, 2021, 570, 708–721.
3. L. Cheng, J. Cao, X. Yang, W. Wang, Z. Zhou // A train trajectory optimization method based on the safety reinforcement learning with a relaxed dynamic reward, *Discover Applied Sciences*, 2024, 6(9), 469.
4. Y. Zhang, S. Li, Y. Yuan, L. Yang // Multi-step look ahead deep reinforcement learning approach for automatic train regulation of urban rail transit lines with energy-saving, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2025, 145, 110181.

GILIŲJŲ NEURONINIŲ TINKLŲ SVORIŲ DISKRETIZAVIMO STATISTINĖ ANALIZĖ

Kamilis Jonkus

*Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva
kamilis.jonkus@ktu.edu*

Giliųjų neuroninių tinklų panaudojimas praktikoje reikalauja didelės apimties skaičiavimo išteklių. Šias sąnaudas galima mažinti parametrus ir tinklo sluoksnių aktyvacijas aproksimuojant mažesnio skaitinio tikslumo formatu. Vistik naudojant pernelyg mažą bitų skaičių tokiai aproksimacijai tikslumas reikšmingai mažėja. Tai sietina su dviem priežastimis: nukirpimo (angl. clipping) iškraipymu svorių intervalo kraštuose ir apvalinimo iškraipymu kvantavimo tinklėlyje.

Neuroninių tinklų svorių kvantavimas nagrinėtas sistemingai taikant statistinius metodus. Keturi parametriniai skirstiniai (Gauso, Laplaso, Stjudento t ir apibendrintasis Gauso) buvo taikyti apmokytų ResNet tipo tinklų svoriams sluoksnių ir kanalų lygmeniu: kiekvienu atveju parinktas geriausiai tinkantis skirstinys. Buvo išvesta optimali simetrinė svorių nukirpimo riba, priklausanti nuo parinkto skirstinio funkcijos, minimizuojant vidutinę absoliutinę kvantavimo paklaidą.

Gautos analitinės nukirpimo ribos panaudojimas leido sumažinti vidutinę absoliutinę paklaidą daugumoje sluoksnių, lyginant su klasikiniu praktikoje dažnai naudojamu MinMax metodu. Tačiau ImageNet duomenų klasifikavimo užduotyje analitinė riba lėmė mažesnę klasifikavimo tikslumą nei MinMax riba. Tai indikuoja, jog optimalus kvantavimo paklaidos prasme slenkstis nebūtinai yra optimalus užduoties, sprendžiamos tuo konkrečiu tinklu, atžvilgiu: klasifikavimo rezultatai neperanoko paprastesnės euristinės kvantavimo taisyklės.

Siekiant paaiškinti šį skirtumą, buvo tiriamas ryšys tarp sluoksnių išvesčių skirstinių poslinkio ir klasifikavimo tikslumo degradacijos. Ankstesni tyrimai parodė, kad pritaikius svorių kvantavimą atsiranda sluoksnių išvesčių skirstinių vidurkių poslinkiai, kurie lemia modelio tikslumo kritimą [1]. Hipotezė buvo tikrinama apmokant šimtą mažų konvoliucinių tinklų su MNIST duomenų rinkiniu. Nustatyta statistiškai reikšminga koreliacija tarp sluoksnių išvesčių skirstinių vidurkių poslinkių ir tikslumo degradacijos abiem nukirpimo metodams - 0,684 analitiniam ir 0,616 MinMax metodui. Tuomet buvo pritaikyta sluoksnių išvesčių skirstinių vidurkių ir dispersijų korekcija.

Slankiojo kablelio ResNet-18 modelio ImageNet duomenų rinkinio klasifikavimo tikslumas yra 69,86 %. Pritaikius korekciją, MinMax metodu kvantuoto modelio tikslumas padidėjo nuo 69,71 % iki 69,77 %, o analitiniu metodu kvantuoto modelio — nuo 67,56 % iki 69,08 %. Taigi, korekcija pašalino didesnę analitinio metodo tikslumo trūkumą, išlaikant nedidelį MinMax metodo pranašumą.

Literatūros sąrašas

1. M. Nagel, M. van Baalen, T. Blankevoort, M. Welling // Data-Free Quantization Through Weight Equalization and Bias Correction, The IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2019, 1325–1334.

ML-BASED TECHNOLOGICAL PREDICTIONS: INFORMATICS AND ANALYTICS PERSPECTIVES

Zahi El Helou¹, Varun Josh Vimalraj¹

¹ Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Kaunas University of Technology, Lithuania

The rapid acceleration of technological evolution has made manual tracking of emerging technologies practically impossible. Scientific publications in AI and machine learning are growing exponentially and businesses risk investing in overhyped or depreciating technologies. This work presents a joint review of ML-based technological prediction from two complementary perspectives: informatics, covering data engineering, system design and computational infrastructure and analytics, focusing on statistical modelling, machine learning algorithms and quantitative evaluation. The study was conducted as part of the Artificial Intelligence Application Project course at Kaunas University of Technology.

Technological prediction can be classified into several distinct problem types: classification of the growth of a particular technological area, regression over impact or intensity metrics, link prediction capturing similarity between technologies, time-series modelling of trend evolution over time, and text or topic mining for the detection of emerging themes. Each task demands a different combination of data sources, feature engineering strategies and model architectures, motivating the dual-track structure of this presentation.

From the view of informatic, the focus lies on computational pipeline and data engineering that allows model development easier. Key data sources that will be used include patent databases (USPTO PatentsView), scientific publication repositories (Scopus, arXiv, IEEE Xplore), market and investment signals (Crunchbase) and web trend data (Google Trends). The informatics contribution consists of data acquisition, preprocessing, graph construction for patent citation networks and bibliometric feature extraction, tracking publication volumes, citation patterns and keyword co-occurrence and re-occurrence to surface trends in the scientific literature.

From the analytics perspective, basically the focus is on the statistical and machine learning models applied once the data pipeline is in place. A meta-analysis of over 150 studies found that deep learning approaches improve forecasting accuracy by up almost 14% over the classical methods such as ARIMA, and with the hybrid CNN-LSTM architectures dominating recent literature, it did appear in 34.1% of 3,500 reviewed papers [3]. On the other hand, for patent-based technology detection, BERT fine-tuning on patent text corpora achieved 81.75% precision, so this is more than 7% above traditional machine learning baselines [4]. A deep learning framework combining text content and citation network embeddings, and it was trained on the USPTO dataset, and reached an F1 score of 75.01% in predicting patent application outcomes, which is significantly outperforming SciBERT and PatentBERT [5]. Meanwhile, tree-based methods such as XGBoost and LightGBM remain highly competitive for structured tabular prediction tasks especially under limited labelled data conditions.

Literature analysis was done on three case studies to understand data modelling and engineering. Zhou (2020) applied deep learning on augmented patent data and correctly predicted 4 out of 6 technologies on the 2017 Gartner Hype Cycle using only pre 2016 training data, showing that data augmentation resolves the limited labelled sample problem [1]. Lee (2018) used neural networks with 18 USPTO patent indicators to identify emerging

pharmaceutical technologies immediately after patent issuance, which prevented in years-long citation accumulation delays [2]. Krenn et al. (2023) further showed that informatics-level feature design remains essential even in the deep learning era [2]. Crucially, domain-informed feature engineering was found to outperform end-to-end deep learning on semantic network tasks: Krenn predicted future AI research directions from 143,000 arXiv papers using link prediction in a semantic network, where hand-crafted network features outperformed pure deep learning approaches [3].

The combined analysis reveals that the best predictive outcomes arise when hybrid machine learning models are modelled on well engineered features of the source data. But there are key limitations to modelling as well. They include degrading prediction accuracy when data of more than five year horizons are used, inconsistent data availability across different industries and geographies, model bias toward historically successful technologies and the risk that widely shared predictions may shape the very outcomes they aim to forecast. We can say that interpretability remains the primary gap that's blocking industrial deployment, this is due to tools such as SHAP (SHapley Additive exPlanations) and attention visualization are necessary for decision-makers to act on model outputs with confidence in very high-stakes contexts such as R&D investment allocation. All future directions include federated learning across industry data consortia to overcome data scarcity, and the use of large language models for automated literature comprehension, as well as real-time trend synthesis.

In conclusion, ML-based technological prediction is both feasible and improving, but its effectiveness depends mainly on the quality of the underlying data infrastructure and the quality of the feature engineering done. The analytics track provides the modelling and evaluation framework to translate that infrastructure into actionable forecasts. Neither perspective is sufficient in isolation; their integration defines the current state of the art.

References

1. M. Zhou // Forecasting technologies on the Gartner Hype Cycle using deep learning on augmented patent data. IEEE Transactions on Engineering Management, 2020. <https://ideas.repec.org/a/eee/tefoso/v127y2018icp291-303.html>
2. Changyong Lee, Ohjin Kwon, Myeongjung Kim, Daeil Kwon. // Early identification of emerging technologies: A machine learning approach using multiple patent indicators, Technological Forecasting and Social Change, 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162517304778>
3. M. Krenn, L. Buffoni, B. Covic et al. // Predicting the future of AI with AI: High-quality link prediction in an exponentially growing knowledge network. Nature Machine Intelligence, 2023. <https://www.nature.com/articles/s42256-023-00735-0>
4. Y. Zhang et al. // Artificial intelligence and classical statistical models for time series forecasting: a comprehensive review. Journal of Big Data, Springer, 2025. <https://link.springer.com/article/10.1186/s40537-025-01318-z>
5. J. Lee, J. Hsiang // Patent classification by fine-tuning BERT language model. World Patent Information, 2020. Surveyed in: Natural language processing in the patent domain, AI Review, Springer, 2025. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-025-11168-z>
6. C. Huang, X. Ma, Y. Liu et al. // Deep learning for predicting patent application outcome: the fusion of text and network embeddings. Journal of Informetrics, 2023. <https://sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1751157723000275>
7. McKinsey & Company // The State of AI: How organizations are rewiring to capture value, 2025. <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-how-organizations-are-rewiring-to-capture-value>

ML-BASED EXPERT SYSTEM FOR MULTI-PHASE PRODUCTION FORECASTING

Srihari Jothimani^{1*}, Janarthan Jayakumar^{1**}

¹ Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Kaunas University of Technology, Lithuania

*srihari.j20@gmail.com, **janarthan643@gmail.com

In this paper, we present a novel approach for predicting petroleum reservoir production using time-series sequences of historical and real-time data. The deep learning-based expert system integrates a suite of neural networks including Recurrent Neural Networks (RNN), Long Short-Term Memory (LSTM), Gated Recurrent Units (GRU) and Convolutional Neural Networks (CNN) hybrid with LSTM (CNN-LSTM) [1], [3]. An in-depth comparative analysis is performed to validate the accuracy and robustness of the proposed approach using two datasets. The dataset is a 94-month normalized historical production record from a single subsea well resulting in high-dimensional time-series sequences that are used as input to the deep learning-based expert system. The second dataset consists of high-dimensional daily field data including parameters such as pressure, temperature, choke settings, and injection rates [5]. The proposed methodology consists of data preprocessing (cleaning and removing outliers), windowing for time-series sequence construction, baseline benchmarking, and hyperparameter optimization using advanced techniques [4]. Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and the coefficient of determination (R^2) are employed as performance metrics [1], [5]. We applied optimized Long Short-Term Memory (LSTM) networks to forecast, in real time, three production streams and achieved improved accuracy compared to baseline models [1], [4]. Furthermore, hybrid architectures such as CNN-LSTM demonstrate superior performance by capturing both spatial and temporal dependencies in the data [3]. This work provides a scalable and efficient decision-support tool that reservoir engineers can utilize for forecasting and optimization of oil and gas production [5]. Production forecasting is critical to intelligent reservoir and well management [2]. A model is typically developed using historical and existing well data to predict future production behavior. For such models, Recurrent Neural Networks (RNNs) are particularly well suited due to their ability to model sequential dependencies in time-series data [1].

References

1. A. Sagheer, M. Kotb // *Neurocomputing*, 2019, vol. 323, pp. 203–213.
2. D. Fan, H. Sun, J. Yao, K. Zhang, X. Yan, Z. Sun // *Energy*, 2021, vol. 220, pp. 119708–119708.
3. F. Abdullayeva, Y. Imamverdiyev // *Statistics, Optimization and Information Computing*, 2019, vol. 7, issue 4, pp. 826–839.
4. D. He, Y. Qu, G. Sheng, B. Wang, X. Yan, Z. Tao, M. Lei // *Lithosphere*, 2024, article ID, pp. 1–15.
5. N. M. Ibrahim, A. A. Alharbi, T. A. Alzahrani, et al. // *Sensors*, 2022, vol. 22, issue 14, pp. 5326–5326.

GAMYBOS KIEKIŲ IR SEKŲ OPTIMIZAVIMAS KOMBINATORINIAIS IR SKATINAMOJO MOKYMOSI METODAIS

Tomas Sargautis^{1*}, Robertas Alzbutas¹

¹ *Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, KTU, Lietuva*

**sargautis.tomas@gmail.com*

Šiame konferencijos pristatymo darbe nagrinėjamas gamybos kiekių ir gamybos sekų optimizavimo uždavinys realioje gamybos aplinkoje, pasižyminčia ribotais pajėgumais ir sudėtingais technologiniais apribojimais. Darbo aktualumą lemia tai, kad efektyvus gamybos planavimas yra vienas pagrindinių veiksnių, darančių įtaką įmonių konkurencingumui, gamybos sąnaudų mažinimui ir klientų užsakymų įvykdymui laiku, ypač Pramonė 4.0 kontekste.

Tyrime gamybos planavimo problema sprendžiama dviem lygmenimis: optimizuojant gamybos kiekius ir sudarant gamybos sekas. Gamybos kiekių optimizavimui taikomi klasikiniai kombinatorinio optimizavimo metodai – mišrus sveikaskaitinis tiesinis programavimas bei simuliuojamo atkaitinimo metaeuristika. Gamybos sekų sudarymo uždaviniui spręsti naudojami skatinamojo mokymosi metodai, dalelių spiečiaus optimizavimo algoritmas ir euristinis konstravimo metodas. Metodų veiksmingumas vertinamas naudojant Lietuvos gamybos įmonės duomenis, nagrinėjant du praktinius scenarijus: su egzistuojančiais užsakymo įvykdymo vėlavimais planavimo pradžioje ir be jų.

Tyrimo rezultatai rodo, kad gamybos kiekių planavimo uždaviniui tinkamiausias sprendimas yra mišrus sveikaskaitinis programavimas, kuris užtikrina tikslų apribojimų laikymąsi, stabilų gamybos planą ir ekonomiškai pagrįstus sprendinius, nepaisant didesnių skaičiavimo sąnaudų. Gamybos sekų optimizavimo atveju nustatyta, kad metaeuristiniai metodai daugeliu atvejų pasiekia lygiaverčius arba geresnius rezultatus nei skatinamasis mokymasis, ypač vertinant perstatymų skaičių, ECO režimo stabilumą, ciklų išnaudojimą ir skaičiavimo laiką.

Gamybos sekų optimizavimo tyrimas atskleidė, kad skatinamasis mokymasis, dalelių spiečiaus optimizavimo ir euristiniai metodai geba pasiekti panašaus lygio rezultatus pagal perstatymų skaičių, ECO gamybos proporciją ir ciklų išnaudojimą. Nors skatinamasis mokymasis kai kuriais atvejais leido pasiekti mažiausią perstatymų skaičių, jo taikymas pareikalavo didelių skaičiavimo sąnaudų. Tuo tarpu dalelių spiečiaus ir euristiniai metodai pasižymėjo geru sprendinių kokybės ir skaičiavimo laiko balansu, todėl yra ypač tinkami praktiniam taikymui.

Darbo sprendiniai buvo testuojami naudojant realius gamybos įmonės duomenis, atspindinčius faktinius verslo ir technologinius apribojimus, todėl gauti rezultatai turi tiesioginę praktinę vertę.

FROM A 3-4-5 TRIANGLE TO AN ELLIPSOID: A GEOMETRIC MODEL FOR INTUITIVE AREA AND VOLUME RELATIONSHIPS

Anil Tunc

Department of Mathematics, Dokuz Eylul University, Turkiye
 anil.tunc@ogr.deu.edu.tr

Introduction: Understanding geometric shapes solely through algebraic formulas often limits intuitive spatial reasoning. This limitation is particularly evident in the study of ellipsoidal forms. While these shapes frequently appear in real-world systems—such as airships, submarines, and pharmaceutical capsules—due to their efficient geometric properties, their optimization is typically treated as a complex calculus problem, obscuring the underlying geometric simplicity. As Liao and Pasternak emphasize, *"The hull is the most significant component of an airship as it determines the aerodynamic characteristics"* [2]. Motivated by this gap between abstract mathematical representation and practical geometric intuition, this study proposes a visual and constructive approach. It employs dynamic visualization as an *"epistemological learning tool"* [1] to construct complex 3D conceptual forms from foundational 2D geometric units.

From 2D Triangle to 3D Spheroid The Geometric Rationale: The construction begins by examining the 3-4-5 right triangle, the most fundamental special integer-based right triangle. By mirroring this unit, a basic rhombus is formed. Geometrically, if an ellipse is constructed to simply circumscribe this standard rhombus (passing through all four vertices), the area ratio between the ellipse and the rhombus remains a static constant of $\pi/2$. However, to capture the dynamic nature of spatial forms, this study introduces a crucial geometric shift: the "focal rhombus" design. Rather than a standard bounding ellipse, the ellipse is constructed such that the inner rhombus connects the foci and the co-vertices. This focal alignment fundamentally transforms the area ratio from a static $\pi/2$ to a dynamic $\pi/2e$. Consequently, the geometric areas and their corresponding 3D volumes are directly evaluated based on this focal rhombus and its 3D counterpart, the focal bicone. To transition into the third dimension, the entire 2D system undergoes a 360° revolution around the x-axis (the major axis connecting the foci).

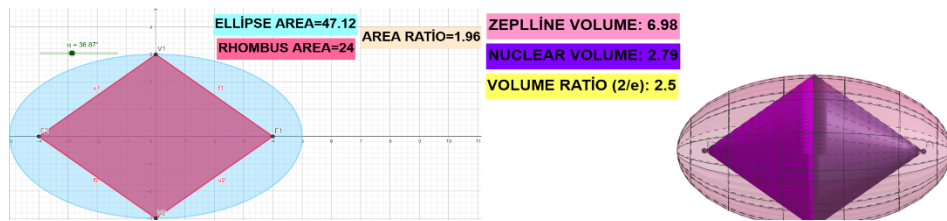


Fig. 1. 2D Focal Rhombus inside an Ellipse transitioning to 3D Focal Bicone within an Ellipsoid.

This specific rotational symmetry transforms the ellipse into a prolate spheroid and the focal rhombus into a focal bicone. As Arcavi defines it, visualization is the *"ability, the process and the product of creation, interpretation and use of images to depict and communicate information and ideas"* [3]. *This transition bypasses complex multi-variable calculus, offering a direct geometric model for volumetric estimation.*

Mathematical Proofs: Area and Volume Ratios: Let a and b represent the semi-major and semi-minor axes of the ellipse, respectively, and c denote the focal distance. The eccentricity

is defined as $e = \frac{c}{a}$, which implies $c = ae$. To substantiate this geometric model, the following derivations are established

2D Case (Area Ratio): The area of the ellipse is defined by its semi-axes as πab . The inscribed focal rhombus has diagonals of length $2c$ (between foci) and $2b$ (between co-vertices). Its area is $\frac{2c \cdot 2b}{2} = 2bc$. Substituting $c = ae$, the area ratio (R) becomes:

$$R = \frac{\text{Area of Ellipse}}{\text{Area of rhombus}} = \frac{\pi ab}{2bc} = \frac{\pi ab}{2(ae)b} = \frac{\pi}{2e}$$

3D Case (Volume Ratio): The 360° revolution of the ellipse generates a prolate spheroid with $V_{\text{spheroid}} = \frac{4}{3}\pi ab^2$. The rotation of the focal rhombus generates a focal bicone consisting of two symmetric cones with base radius b and height c , yielding a total volume of $V_{\text{bicone}} = 2\left(\frac{1}{3}\pi b^2 c\right) = \frac{2}{3}\pi b^2 c$. The volumetric efficiency ratio (T_V) is derived as:

$$T_V = \frac{V_{\text{spheroid}}}{V_{\text{bicone}}} = \frac{\frac{4}{3}\pi ab^2}{\frac{2}{3}\pi b^2 c} = \frac{2a}{c} = \frac{2a}{ae} = \frac{2}{e}$$

Limiting Cases and The Golden Reference: Limit analysis reveals structural behaviors: as $e \rightarrow 0$, volume is maximized but geometric elongation is lost; as $e \rightarrow 1$ (Needle Limit), the structure minimizes drag but reduces volumetric capacity to zero. A notable configuration emerges when examining the behavior of the volumetric ratio T_V in relation to the Golden Ratio ($\phi \approx 1.618$). By setting the eccentricity to $e \approx 0.786$, the volumetric efficiency ratio reaches $T_V \approx 2.544$. Rather than suggesting an exact optimal configuration, the proximity between the 3-4-5 triangle-derived eccentricity ($e = 0.8$) and the so-called “golden reference” ($e \approx 0.786$) highlights an important geometric insight. This result demonstrates that simple integer-based constructions can naturally approximate structurally efficient configurations with minimal error ($\sim 1.73\%$), without requiring complex optimization methods. Thus, the significance of this comparison lies not in optimality itself, but in revealing how elementary geometric forms can serve as powerful intuitive approximations to more refined spatial structures.

Conclusion: By identifying the $2/e$ ratio and exploring its limiting cases, this model provides an intuitive, purely geometric framework for understanding complex volume relationships. It allows practitioners to rapidly estimate hull shapes for buoyancy vehicles using proportional reasoning. This model suggests that simple integer-based geometries may naturally approximate efficient spatial configurations.

Interactive GeoGebra models supporting the 2D and 3D constructions are available at:

<https://www.geogebra.org/m/ww5dtp6b> , <https://www.geogebra.org/calculator/wrc4ctpa>

References

1. N. Presmeg // ZDM Mathematics Education, 2014, 46, 151-157.
2. L. Liao, I. Pasternak // Progress in Aerospace Sciences, 2009, 45, 83-96A.
3. Arcavi // Educational Studies in Mathematics, 2003, 52(3), 215-241.

PIENO KAINOS DINAMIKOS ANALIZĖ IR PROGNOZAVIMAS

Agnė Vitkauskaitė^{1*}, Irma Jankauskienė¹, Aušra Žvironienė¹, Irena Tiškevičienė²

¹ *Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

² *Rinkos informacijos ir ekonominės analizės skyrius, Valstybės įmonė Žemės ūkio duomenų centras*
**agne.vitkauskaite@ktu.edu*

Lietuvoje pieno ūkis – viena svarbiausių ir giliausias tradicijas turinti žemės ūkio šakų. Pieno gamyba sudaro apie 20 % visos žemės ūkio produkcijos ir išlieka prioritetine žemės ūkio šaka bei vienas iš svarbiausių šalies eksporto šaltinių [1]. Pastaruoju metu išaugęs žaliavos kiekis pasaulinėje rinkoje lemia didžiulį pasiūlos perteklių bei spartų pieno produktų kainų mažėjimą. Nepaisant to, jog didėja ūkininkavimo išlaidos ir galvijų ligos drastiškai šienauja ištisas bandas, prognozuojama, jog pieno gamyba toliau augs [2]. Šis sektorius yra nestabilus ir nuolat veikiamas daugybės išorinių makroekonominių, politinių, tarptautinės prekybos, kitų žemės ūkio rinkų veiksnių. Valstybės įmonė Žemės ūkio duomenų centras (toliau – ŽŪDC) siekia užtikrinti operatyvų ir sklandų informacijos surinkimą bei perdavimą suinteresuotoms institucijoms, prisidėti formuojant kainų politiką Lietuvoje. Visas šis procesas neatsiejamas nuo matematikos teorijų ir inovatyvių metodų taikymo priimant sprendimus, vertinant galimus žemės ūkio rinkų ateities scenarijus.

Šiame darbe, remiantis naujausiomis ekonometrijos mokslininkų įžvalgomis ir šiuolaikiniais duomenų analizės metodais, siekiama išanalizuoti pieno rinkos dinamiką lemiančius veiksniai, įvertinti jų įtaką bei sukurti matematinį modelį esamos ir ateities kainos prognozei. Vadovaujantis atlikta literatūros analize bei ekspertiniu ŽŪDC pieno sektoriaus specialistų vertinimu iš patikimų statistikos šaltinių atrinkta virš 20 skirtingų pieno kainai galimą įtaką darančių veiksnių, kurie tyrimo eigoje suskirstomi į keturias skirtingas grupes. Modeliui kurti naudojama ŽŪDC Lietuvos žemės ūkio ir rinkos informacinėje sistemoje (LŽŪMPRI) pateikiama žalio pieno mėnesio kaina Lietuvoje 2015-2025 metų laikotarpiu.

Taikant LASSO bei kitus panašius metodus atrenkami reikšmingiausi kintamieji ir sukonstruojamas ARIMAX modelis, kuris išplečia ekonometrijoje plačiai taikomo ARIMA modelio galimybes ne tik vertindamas ryšį tarp praeities ir ateities stebėjimų, bet ir įtraukdamas išorinių veiksnių įtaką [3]. Taip pat sudaromas ekstremalių įvykių indeksas, skirtas įvertinti geopolitinių įvykių – COVID-19 pandemijos, postpandeminės infliacijos, Rusijos invazijos į Ukrainą – įtaką pieno kainai ir naudojamas prognozuojant dabartinę padėtį tęsiantis JAV kariniams veiksams Irane. Tyrimo pabaigoje, naudojant skirtingas metrikas, įvertinamas modelio ir prognozės tikslumas, atliekama palyginamoji skirtingų modelių scenarijų analizė.

Literatūros sąrašas

1. Žemės ūkio duomenų centras // Lietuvos žemės ūkis. Faktai ir skaičiai [interaktyvus], Vilnius, 2025 [žiūrėta 2026-04-27]. Prieiga internete: <https://zudc.lt/leidiniai/faktai-ir-skaiciai-2025-m-nr-2-36/>
2. Rabobank // Global dairy quarterly Q1 2026 | A delicate dairy balance: Cautious price recovery amid heavy supply [interaktyvus], Utrechtas, Nyderlandai, 2026-03-05 [žiūrėta 2026-04-16]. Prieiga internete: <https://www.rabobank.com/knowledge/q011332988-global-dairy-quarterly-q1-2026-a-delicate-dairy-balance-cautious-price-recovery-amid-heavy-supply>
3. William H. Greene // Econometric Analysis, 8th edition, Niujorkas, 2020

ŽEMĖS ŪKIO PRODUKTŲ KAINOS DINAMIKOS ANALIZĖ IR PROGNOZAVIMAS

Nojus Matevičius^{1*}, Irma Jankauskienė¹, Aušra Žvironienė¹, Audrius Zajančkauskas²

¹ *Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

² *Informatikos fakultetas, Vytauto didžiojo universitetas, Lietuva.*

**nojus.matevicius@ktu.edu*

Pasaulinė žemės ūkio žaliavų rinka pasižymi dideliu nepastovumu ir jautrumu įvairiems veiksniams. Šie veiksniai gali būti ekonominiai, klimato ar geopolitiniai. Žemės ūkio produktų kainos yra svarbus rodiklis, turintis reikšmingą įtaką tiek tarptautinei prekybai, tiek bendram kainų lygiui, todėl svarbu suprasti ir prognozuoti kainų dinamiką. Kava ir kakava yra vienos svarbiausių tropinių žemės ūkio kultūrų, turinčių didelę reikšmę maisto pramonei ir tarptautinei prekybai. Taip pat svarbią vietą rinkoje užima grūdai ir kiti grūdiniai produktai, kurie yra esminė pasaulinės maisto sistemos dalis. Moksliniuose tyrimuose pabrėžiama, kad žaliavų kainos pasižymi dideliu kintamumu bei yra stipriai veikiamos tiek pasaulinių ekonominių procesų, tiek išorinių veiksnių [1]. Be to, žaliavų kainų pokyčiai daro reikšmingą įtaką bendram kainų lygiui ir ekonominiams procesams [2].

Šiame darbe siekiama išanalizuoti kavos, kakavos ir grūdų kainų dinamiką bei nustatyti pagrindinius veiksnius, darančius įtaką šių kainų pokyčiams, taip pat sukurti jų prognozavimo modelį. Tyrimui naudojami mėnesiniai kavos, kakavos ir grūdų kainų bei pasirinktų išorinių veiksnių duomenys. Duomenys apdorojami ir agreguojami siekiant užtikrinti jų tinkamumą ekonometrinei analizei.

Kintamųjų tarpusavio sąryšiams analizuoti ir prognozėms sudaryti taikomas vektorinis autoregresinis (VAR) modelis ir jo modifikacijos, leidžiantys įvertinti kelių tarpusavyje susijusių laiko eilučių dinamiką bei jų tarpusavio poveikį. Tokie modeliai plačiai taikomi žemės ūkio žaliavų kainų prognozavime ir leidžia analizuoti sudėtingus tarpusavio ryšius tarp skirtingų ekonominių kintamųjų [3].

Tyrimo metu įvertinamas modelio tinkamumas, analizuojami kintamųjų ryšiai bei jų įtaka kainų svyravimams. Taip pat atliekamas prognozių tikslumo vertinimas, naudojant statistines paklaidos matavimo metrikas, ir palyginami skirtingi modelio scenarijai. Gauti rezultatai leidžia geriau suprasti grūdų, kavos ir kakavos kainų formavimosi mechanizmus bei įvertinti galimus jų pokyčius ateityje.

Literatūros sąrašas

1. UNCTAD. Price Formation in Financialized Commodity Markets: The Role of Information. Geneva: United Nations, 2011. Prieiga per internetą: https://unctad.org/system/files/official-document/suc-miscDP01_en.pdf
2. MIEČINSKIENNĖ, Algita; LAPINSKAITĖ, Indrė. The Research on the Impact of the Changes of Commodity Price Level in the World Commodity Exchanges on Variation of General Price Level. *Economics and Sociology*, 2014, 7(4), p. 71–88. DOI: 10.14254/2071-789X.2014/7-4/5
3. CELIK, Busra Agan; CELIK, Serdar. Hybrid forecasting of agricultural commodity prices: Integrating machine learning, time series, and stochastic simulation models. *Borsa Istanbul Review*, 2025. DOI: 10.1016/j.bir.2025.10.004

TS-COLIME: ENHANCING TIME-SERIES EXPLAINABILITY VIA COPULA-BASED PERTURBATIONS

Lukas Malakauskas^{1*}, Kristina Šutienė²

¹ Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Kaunas University of Technology, Kaunas

² Department of Mathematical Modeling, Kaunas University of Technology, Kaunas

*lukas.malakauskas@ktu.edu

In high-stakes domains such as healthcare, finance and industrial process control [1, 2], multivariate time-series forecasting underpins critical operational and strategic decisions. While modern deep learning architectures deliver superior predictive capacity by learning complex temporal and cross-variable patterns, their inherent opacity prevents stakeholders from verifying the reasoning behind a specific output. This opacity constitutes not only a practical barrier to trust but an increasingly explicit legal obligation: regulations such as the EU AI Act and GDPR mandate the ability to justify automated decisions affecting individuals and organisations.

To address these transparency requirements while preserving predictive performance, post-hoc, model-agnostic explanation methods have emerged as the dominant approach for interrogating black-box models without constraining their architecture. Among these, Local Interpretable Model-Agnostic Explanations (LIME) has seen widespread adoption due to its flexibility and intuitive surrogate-based framework.

In its original, tabular implementation, the method establishes local interpretability through a three-stage procedure. First, it generates a set of perturbed samples in the neighbourhood of the original instance by modifying feature values using Gaussian noise. Second, each perturbed sample is weighted by its proximity to the original instance using an exponential kernel so that perturbations similar to selected instance get more importance. Third, a simple, interpretable surrogate model, typically a linear regression (e.g. Ridge Regression), is fitted to the black-box predictions on these weighted perturbed samples. The coefficients of this surrogate then serve as the local explanation, indicating which features most strongly influenced the prediction for that particular instance [3].

However, LIME's core perturbation mechanism, which generates synthetic neighbours by sampling features independently, fundamentally fails to account for the structural characteristics of multivariate time-series. In real-world systems, variables are deeply interconnected through serial and cross-dependencies. Independent perturbation inevitably produces out-of-distribution synthetic samples that are statistically or physically implausible, causing the black-box model to respond erratically and yielding surrogate explanations that are both unstable and unfaithful to the model's true local behaviour [4].

To resolve this specific distributional misalignment, this work introduces TS-CoLIME, a novel, manifold-aware adaptation of LIME for multivariate time-series forecasting. By integrating vine copula models into the perturbation mechanism, TS-CoLIME generates synthetic neighbours that respect the true joint distribution of the data – preserving both marginal characteristics and complex inter-feature dependencies. The result is a post-hoc explanation framework that is simultaneously model-agnostic, distribution-faithful, and designed for the structural realities of multivariate time-series data.

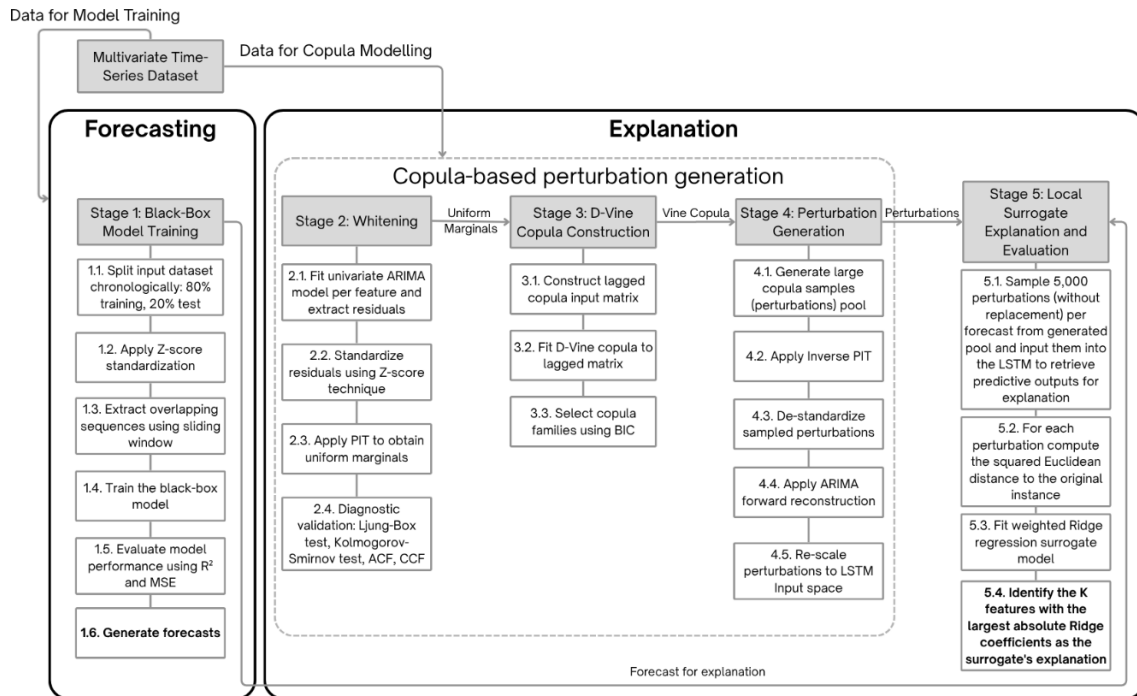


Fig. 1. Structure of TS-CoLIME time-series forecasting framework

The framework operates across five sequential stages. The multivariate time-series dataset serves dual purpose: the full series feeds the forecasting pipeline, while the residual dependence structure feeds the explanation pipeline.

Stage 1: (Forecasting) – A black-box LSTM model is trained on chronologically split, standardized multivariate time-series data to generate high-accuracy forecasts.

Stage 2: (Whitening) – Autoregressive models decouple the univariate temporal structure from the cross-feature dependencies, isolating the core innovations shocks of the system.

Stage 3: (D-Vine Copula Construction) – A D-Vine copula is fitted to the isolated shocks to capture non-linear and tail dependencies.

Stage 4: (Perturbation Generation) – The framework draws joint samples from the copula and applies a forward autoregressive reconstruction to create synthetic sequences that are both temporally coherent and jointly plausible.

Stage 5: (Local Surrogate Explanation and Evaluation) – A weighted Ridge regression surrogate is fitted to these realistic perturbations, allowing the framework to identify and rank the most influential features and lags.

References

- MORID, M. A.; O. R. L. SHENG & J. DUNBAR. Time series prediction using deep learning methods in healthcare. *ACM Transactions on Management Information Systems*, 14, 2023, 1, p. 1–29.
- ARSENAULT, P.-D.; S. WANG & J.-M. PATENAUDE. A Survey of Explainable Artificial Intelligence (XAI) in Financial Time Series Forecasting. *ACM Computing Surveys*, 57, 2025, 10, art. no. 265. Available from: <https://doi.org/10.1145/3729531>
- RIBEIRO, M. T.; S. SINGH & C. GUESTRIN. "Why should I trust you?": Explaining the predictions of any classifier. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining*. San Francisco: ACM, 2016, p. 1135–1144. Available from: <https://doi.org/10.1145/2939672.2939778>
- KNAB, P.; S. MARTON; U. SCHLEGEL & C. BARTELT. Which LIME should I trust? Concepts, challenges, and solutions. *World Conference on Explainable Artificial Intelligence*. Cham: Springer, 2025, p. 28–52. Available from: https://doi.org/10.1007/978-3-032-08324-1_2

KLASTERIZAVIMO METODAI EEG LAIKO EILUČIŲ DINAMIKAI VERTINTI LAIKO IR DAŽNIO SRITYSE

Simona Ragalinskaitė^{1*}, Karolina Armonaitė¹, Kristina Magylaitė²

¹ *Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

² *Informatikos fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

**simona.ragalinskaite@ktu.edu*

Tiriant pacientų miego dinamiką, atsiranda iššūkis išanalizuoti ilgas EEG laiko eilutes dėl didelės duomenų apimties ir signalo triukšmo. Šiame darbe kuriamas programinis paketas, tiriantis, ar klasterizavimo metodai gali atskleisti prasmingas smegenų veiklos požymius laiko ir dažnio srityse, analizuojant ilgalaikius EEG įrašus.

Tyrimo duomenis sudaro vieno paciento įrašyti trys EEG įrašai, apie 12 valandų trukmės, skirtingais laiko momentais. Signalų apdorojimui buvo panaudoti įvairūs metodai, įtraukiant ir nepriklausomųjų komponentų metodą artefaktams šalinti.

Analizė atlikta dviejose srityse. Dažnių srityje buvo vertinamos dažnių juostos, pasitelkiant galios spektrinį tankį ir spektrogramas, kurios leido pastebėti smegenų aktyvumo kaitą per visą įrašo trukmę.

Laiko srityje atlikta mikrobūsenų segmentacija, naudojantis modifikuotu K-means klasterizavimo algoritmu. Kiekviena identifikuota mikrobūsena buvo vertinama pagal vidutinę trukmę, pasikartojimo dažnį ir padengimą, t. y. laiko dalis, kurią konkreti mikrobūsena užima viso įrašo atžvilgiu.

Abejoms sritims, tiek laiko, tiek dažnio srityse, pirmiausiai pritaikomas dimensijų mažinimo metodas UMAP, kuris daugiamatius EEG požymius perprojektuoja į mažesnę erdvę taip išlaikydamas originalią duomenų struktūrą. Gautoms projekcijoms pritaikomas tankiu grįstas klasterizavimo metodas HDBSCAN atskleisti latentinę duomenų struktūrą be išankstinių prielaidų apie klasterių skaičių.

Apibendrinant, gauti rezultatai atskleidžia preliminarius smegenų aktyvumo pokyčių požymius miego metu tarp trijų paciento EEG įrašų tiek laiko, tiek dažnio srityse, patvirtinant klasterizavimo metodų taikymą ilgalaikių EEG įrašų analizei. Kadangi tyrimas apima tik vieną pacientą, statistinė analizė nėra galima. Tad darbas skirtas metodologijai pagrįsti ir hipotezėms išskelti prieš plečiant tyrimą į didesnę pacientų imtį.

Literatūros sąrašas

1. P. Tarailis, T. Koenig, C. M. Michel, I. Griškova-Bulanova // The Functional Aspects of Resting EEG Microstates: A Systematic Review, *Brain Topography*, 2024, 37(2), 181–217.
2. F. Artoni, C. M. Michel // How does Independent Component Analysis Preprocessing Affect EEG Microstates?, *Brain Topography*, 2025, 38(2), 26.
3. Y. Deng, H. Albidah, H. Cheng, A. Dallal, J. Yin, Z.-H. Mao // UMAP for Dimensionality Reduction in Sleep Stage Classification Using EEG Data, 2024 46th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2024, 1–4.

LĄSTELIŲ BRANDUOLIŲ SEGMENTAVIMAS IR PASISKIRSTYMO VERTINIMAS MIKROSKOPINIUOSE VAIZDUOSE

Goda Jančiūnaitė^{1*}, Paulius Palevičius¹

¹ *Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

**goda.janciunaite@ktu.edu*

Histopatologinių vaizdų analizė yra esminė priemonė įvairių ligų, įskaitant didžiąją dalį onkologinių, diagnozavimui. Histopatologai nagrinėja audinyje dažais išryškintų ląstelių branduolių dydį, formą, tekstūrą, pasiskirstymą ir daro išvadas apie ligos poveikį [1, 2]. Šiame procese pasitelkiama kompiuterizuota mikroskopinių vaizdų analizė gali paremti medicinos specialistų nuomonę, pagerinti analizės tikslumą, padėti sekti ligos progresą [1, 3]. Ląstelių branduolių atpažinimas ir segmentavimas histopatologiniuose vaizduose kelia iššūkių dėl mėginių paruošimo skirtumų, vaizdų fiksavimo mikroskopu metu atsiradusių artefaktų, branduolių persidengimo tarpusavyje, branduolių nevienodumo [4]. Giliojo mokymosi metodai geba prisitaikyti prie biologinių audinių įvairovės ir pasiekti aukštą segmentavimo tikslumą. Atlikus branduolių segmentavimą, tolesnėmis analizėmis galima išgauti svarbią audinio biologinę informaciją. Branduolių pasiskirstymo analizė suteikia informacijos apie ląstelių sąveiką tarpusavyje ir su aplinka [5], padeda identifikuoti audinio tipą ir galimus pakitimus dėl ligos [6]. Svarbu pasiūlyti branduolių pasiskirstymo vertinimo metodiką, kurios rezultatai būtų lengvai interpretuojami ir padėtų daryti išvadas apie branduolių pasiskirstymą mikroskopiniuose vaizduose.

Tyrimo tikslas – pasiūlyti ląstelių branduolių mikroskopiniuose vaizduose segmentavimo ir jų pasiskirstymo vertinimo metodiką. Turimi 4 juodai balti mikroskopiniai vaizdai, kuriuose branduoliai išsiskiria audinio fone tamsesniu atspalviu, ir jų tikrosios segmentavimo kaukės. Segmentavimui vaizdai padalinti į mažesnius, taip gaunant 2800 vaizdų, o po segmentavimo sujungti į pradinio dydžio vaizdą. Branduolių segmentavimas atliktas naudojant konvoliucinį neuroninį tinklą U-Net. Gautas segmentavimo kaukės pavyzdys pateiktas 1 paveiksle.



1 pav. Segmentavimo rezultatų pavyzdys: vaizdas (kairėje), tikroji kaukė (viduryje) ir gauta kaukė (dešinėje)

Atlikus segmentavimą tyrime analizuotas branduolių pasiskirstymas vaizduose. „K“ funkcija, paremta atstumų tarp taškų matrica, kiekybiškai apibūdina objektų pasiskirstymą plokštumoje skirtingais atstumo masteliais. Keičiant apskritimo srities spindulį r , skaičiuojamas objektų, esančių vienas nuo kito mažesniu nei r atstumu, kiekis vaizde [5]:

$$K(r, n) = \frac{|\Omega|}{n(n-1)} \sum_{x \neq y} 1_{\{|x-y| \leq r\}} f(x, y);$$

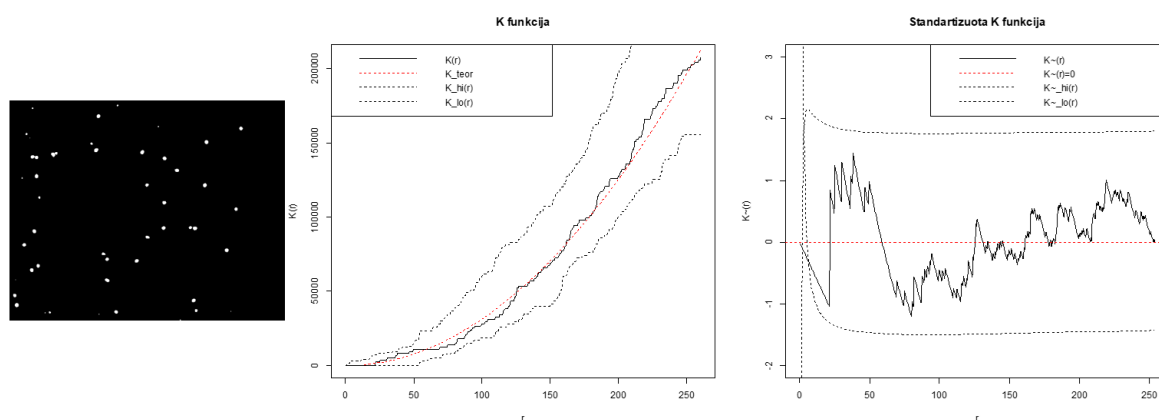
čia r – apskritimo srities spindulys; n – objektų kiekis vaizde; $|\Omega|$ – vaizdo plotas; x – esama padėtis (objektas, iš kurio pozicijos vertinama); y – kitas objektas; $f(x, y)$ – krašto pataisa

(kuria atsižvelgiama į baigtinį vaizdo dydį). „K“ funkcijos priklausomybės nuo spindulio r grafikas parodo objektų pasiskirstymo nuokrypius nuo atsitiktinio taškų proceso. Jei empirinės „K“ funkcijos reikšmės patenka į atsitiktinio proceso simuliacijomis gautą „K“ funkcijos pasikliautinąjį intervalą, teigiama, jog branduoliai vaizde pasiskirstę atsitiktinai. Jei „K“ funkcijos reikšmės yra didesnės už viršutinę intervalo ribą, branduoliai išsidėstę klasteriais, jei mažesnės už apatinę ribą – branduoliai nutolę vienas nuo kito.

Taip pat branduolių pasiskirstymo analizė tyrime atlikta su standartizuota K funkcija, kurios kiekybinis interpretavimas yra lengvesnis dėl standartizuotų reikšmių [5]:

$$\tilde{K}(r, n) = \frac{K(r, n) - \pi r^2}{\sqrt{\text{Var}\{K(r, n)\}}}$$

čia πr^2 – atsitiktinio taškų proceso „K“ funkcija; $\text{Var}\{K(r, n)\}$ – „K“ funkcijos dispersija. Segmentavimo kaukės pavyzdys bei gauti „K“ ir standartizuotos „K“ funkcijų grafikai pateikti 2 paveiksle.



2 pav. Branduolių pasiskirstymo vertinimo pavyzdys: kaukė (kairėje), K funkcijos grafikas (viduryje), standartizuotos K funkcijos grafikas (dešinėje)

Atliktas tyrimas parodė, jog branduoliai šiame vaizde yra pasiskirstę atsitiktinai. Tyrime funkcijos taip pat išbandytos su ribiniais atvejais, pavyzdžiui, reguliaria taškų gardele. Interpretacijai palengvinti pasiūlyta atlikti funkcijų glodinimą Gauso branduoliu, jog būtų išvengta staigių funkcijų šuolių ir stipraus išvadų priklausomumo nuo spindulio r .

Literatūros sąrašas

1. P. Shi; J. Zhong; R. Huang ir J. Lin. // Automated Quantitative Image Analysis of Hematoxylin-Eosin Staining Slides in Lymphoma Based on Hierarchical Kmeans Clustering. 8th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME), Fuzhou, China, 2016, 99–104.
2. P. Faridi; H. Danyali; M. S. Helfroush ir M. A. Jahromi. // An Automatic System for Cell Nuclei Pleomorphism Segmentation in Histopathological Images of Breast Cancer. IEEE Signal Processing in Medicine and Biology Symposium (SPMB), Philadelphia, PA, USA, 2016, 1–5.
3. J. C. Caicedo; A. Goodman; K. W. Karhohs; B. A. Cimini; J. Ackerman ir kt. // Nucleus segmentation across imaging experiments: the 2018 Data Science Bowl. Nature Methods, 2019, 16, 12, 1247–1253.
4. H. Irshad; A. Veillard; L. Roux ir D. Racoceanu. // Methods for Nuclei Detection, Segmentation, and Classification in Digital Histopathology: A Review—Current Status and Future Potential. IEEE Reviews in Biomedical Engineering, 2014, 7, 97–114.
5. T. Lagache; G. Lang; N. Sauvonnnet ir J. Olivo-Marin. // Analysis of the spatial organization of molecules with robust statistics. PloS one, 2013, 8, 12, e80914.
6. F. Mahmood; D. Borders; R. J. Chen; G. N. McKay; K. J. Salimian ir kt. // Deep Adversarial Training for Multi-Organ Nuclei Segmentation in Histopathology Images. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2020, 39, 11, 3257–3267.

NEURONINIŲ KALBOS MODELIŲ TAIKYMAS TEKSTO APIBENDRINIMO IR ANONIMIZACIJOS UŽDAVINIAMS SPRĘSTI

Feona Šneider¹, Inga Telksnienė¹

¹Matematikos ir Gamtos mokslų fakultetas, Kauno Technologijos Universitetas, Lietuva
feosne@ktu.lt

Teksto santraukų generavimas yra svarbi natūralios kalbos apdorojimo sritis, kurios reikšmė auga didėjant skaitmeninės informacijos kiekiui. Ypač aktualus dialogų santraukų generavimas, leidžiantis efektyviai apdoroti pokalbių duomenis. Tačiau kartu iškyla privatumo problema – modeliai gali atkurti jautrią informaciją iš mokymo duomenų [1], todėl svarbu kurti metodus, užtikrinančius tiek semantinę tikslumą, tiek anonimiškumą.

Šio darbo tikslas – ištirti, kaip duomenų nuasmeninimas veikia neuroninių modelių gebėjimą generuoti anonimizuotas dialogų santraukas, išlaikant jų semantinę prasmę.

Darbo metu buvo nagrinėjami trys skirtingi teksto santraukų generavimo metodai: ekstraktyvinis Lead-3, sekos į seką modelis, paremtas LSTM neuroniniais tinklais, ir Transformer architektūra. Lead-3 metodas naudotas kaip bazinis modelis, sudarant santraukas iš pirmųjų teksto sakinių [2]. LSTM modelis paremtas rekurentiniais neuroniniais tinklais ir nuosekliu sekų apdorojimu [3]. Tuo tarpu Transformer architektūra atsisako rekurentinių struktūrų ir remiasi dėmesio mechanizmu, leidžiančiu vienu metu įvertinti viso teksto kontekstą bei generuoti nuoseklias ir semantiškai tikslas santraukas [4].

Tyrime naudotas „SAMSum Dataset“ duomenų rinkinys [5], sudarytas iš mokymo, validacijos ir testavimo aibių. Kiekvieną įrašą sudaro dialogas ir abstrakti santrauka. Duomenys pasižymi realistiška, neformalia kalba, todėl yra tinkami praktiniams dialogų apdorojimo uždaviniams. Toks duomenų rinkinys leidžia modeliams mokytis generuoti semantiškai tikslas ir kontekstą atitinkančias santraukas.

Santraukų kokybę vertinta naudojant ROUGE [6] ir BERTScore [7] metrikas. ROUGE matuoja žodžių sutapimą su etalonine santrauka, o BERTScore vertina semantinę panašumą. Pagrindiniu rodikliu pasirinktas BERTScore F1.

1 lentelė. Modelių rezultatų palyginimas

	Lead-3	LSTM	Transformer
ROUGE-1 F1 vidurkis	0,3075	0,1692	0,2376
ROUGE-2 F1 vidurkis	0,0892	0,0213	0,0567
ROUGE-L F1 vidurkis	0,2354	0,1500	0,2009
BERTScore F1 vidurkis	0,4914	0,4001	0,5126

Pradiniai eksperimentai, atlikti su 5 000 įrašų mokymo aibe (žr. 1 lentelę) parodė, kad Lead-3 pasiekia aukščiausius ROUGE rodiklius, tačiau dėl ekstraktyvinės prigimties nesugeba generuoti abstrakčių santraukų. LSTM modelis pasižymėjo prasčiausiais rezultatais ir didžiausiomis sąnaudomis, o Transformer modelis pasiekė geriausią semantinę tikslumą (BERTScore F1 – 0,5126), išlaikydamas gerą efektyvumo ir kokybės balansą, todėl pasirinktas tolimesniam tyrimui.

Papildomai atlikta kokybinė analizė, pateikiant pavyzdžius pagal BERTScore reikšmes.

MATEMATIKA IR GAMTOS MOKSLAI: TEORIJA IR TAIKYMAS, 2026

2 lentelė. Transformer modelio santraukų pavyzdžiai pagal BERTScore

	Blogiausia	Vidutinė	Geriausia
BERTScore F1 dydis	0,3472	0,5950	0,8622
Sugeneruota santrauka	person1 , person2 , person3 , person4 , person5 and person4 are going on a trip .	person1 and person2 are going to meet in the evening. they will call her.	person1 is waiting for person2. person2 will be home in 20 minutes.
Etaloninė santrauka	There was a meet-and-greet with James Charles in Birmingham which gathered 8000 people	Person1 and Person2 are worried that May suffers from depression. Person2 will call her friend who is a psychologist and ask for advice.	Person1 will be home in 40 minutes.

Rezultatai rodo (žr. 2 lentelę), kad aukščiausią BERTScore įvertį turinčios santraukos tiksliai perteikia pagrindinę dialogo prasmę, nors gali šiek tiek skirtis detalės. Vidutinės kokybės santraukose išlaikoma tik dalis svarbios informacijos, tačiau prarandami esminiai konteksto aspektai. Tuo tarpu blogiausiu atveju modelis nesugeba atkurti dialogo temos, generuodamas semantiškai netikslią ir su įvestimi nesusijusią santrauką. Tai patvirtina, kad modelio veikimas išlieka nevienodas ir priklauso nuo dialogo sudėtingumo bei struktūros.

Tyrimas parodė, kad Transformer modelis generuoja semantiškai tiksliausias ir rišliausias santraukas, lyginant su Lead-3 ir LSTM. Nustatyta, kad anonimizavimas nepablogina modelio veikimo ir gali pagerinti rezultatų stabilumą, tačiau modelis ne visada tiksliai perteikia faktines detales. Taip pat nustatyta, kad automatinės vertinimo metrikos turėtų būti derinamos su kokybine analize.

Literatūros sąrašas

1. N. Carlini, F. Tramer, E. Wallace, M. Jagielski, A. Herbert-Voss ir kt. // Extracting Training Data from Large Language Models, 30th USENIX Security Symposium, 2021, p. 2633–2650.
2. A. See, P. J. Liu, C. D. Manning // Get to the Point: Summarization with Pointer-Generator Networks, Proceedings of the 55th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 2017, p. 1073–1083.
3. I. Sutskever, O. Vinyals, Q. V. Le // Sequence to Sequence Learning with Neural Networks, Advances in Neural Information Processing Systems, 2014, t. 27.
4. A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones ir kt. // Attention Is All You Need, Advances in Neural Information Processing Systems, 2017, t. 30.
5. B. Gliwa, I. Mochol, M. Biesek, A. Wawer // SAMSum Corpus: A Human-Annotated Dialogue Dataset for Abstractive Summarization, 2019, prieiga per internetą: <https://www.kaggle.com/datasets/nileshmalode1/samsum-dataset-text-summarization>
6. C. Lin // ROUGE: A Package for Automatic Evaluation of Summaries, Text Summarization Branches Out, 2004, p. 74–81.
7. T. Zhang, V. Kishore, F. Wu, K. Q. Weinberger, Y. Artzi // BERTScore: Evaluating Text Generation with BERT, arXiv preprint, 2019.

DARŽOVIŲ SEKTORIAUS RINKOS KAINŲ TYRIMAS, PAREMTAS MAŠININIO MOKYMOSI ALGORITMAIS

Gabija Jocyte^{1*}, Irma Jankauskienė², Aušra Žvironienė³, Lina Čeponienė

^{1,2,3} *Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva.*

⁴ *Informatikos fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva.*

*gabija.jocyte@ktu.edu

Daržovių kainų nestabilumas yra viena pagrindinių žemės ūkio sektoriaus problemų, kuri apsunkina ūkininkų agrotechnologinių sprendimų priėmimą. Tai lemia ne tik sezoniškumas, bet ir besikeičiančios klimato sąlygos. Be to, susiduriama su duomenų trūkumo ir nepilnumo iššūkiais. Tyrimo tikslas – ištirti daržovių sektoriaus rinkos kainų dinamiką ir pritaikyti mašininio mokymosi algoritmus tiksliai kainų prognozavimui, atsižvelgiant į sezoniškumo ir klimato sąlygų įtaką bei duomenų nepilnumo problemą.

Tyrimo metu daržovių kainų duomenų nepilnumo problema sprendžiama atsižvelgiant į trūkstamų reikšmių kiekį, vietą laiko eilutėje bei dalykinę sritį. Stacionarumo užtikrinimui naudojamas ADF testas [1]. Tuomet atliekama endogeninių kintamųjų atranka daržovių kainų duomenims, kuriems šį metodą galima pritaikyti, remiantis dalinės autokoreliacijos funkcija bei įvertinant sezoniškumą. Šiais duomenimis atliekamas pirminis prognozavimas, naudojant atsitiktinio miško, tiesinės regresijos, XGBoost bei kitus mašininio mokymosi modelius [2-5]. Siekiant pagerinti modelių tikslumą, taikomas duomenų klasterizavimas, naudojant požymiais grįstą klasterizavimą bei dinaminį laiko iškraipymo algoritmą, išskiriant panašios kainodaros daržovių grupes.

Tuomet, remiantis dalykine sritimi, atrenkami galimi egzogeniniai kintamieji. Išorinių veiksnių įtaka vertinama tiriant ne tik koreliaciją, bet ir priežastingumą tarp kintamųjų, naudojant kryžminę koreliaciją ir Grangerio priežastingumo testą [1, 6]. Įtraukus statistiškai reikšmingus išorinius veiksnius, mašininio mokymosi modeliai yra permokomi. Modelių tikslumas bei efektyvumas lyginami naudojant RMSE, MAE ir MAPE paklaidos metrikas.

Apibendrinant, tyrimo rezultatai kiekybiškai įvertina išorinių bei vidinių veiksnių įtaką skirtingų daržovių kainų dinamikai. Tyrimas apima kelis prognozavimo bei duomenų pildymo metodus, taip suteikdamas vertingą analitinį įrankį, galintį padėti ūkininkams priimti duomenimis grįstus sprendimus.

Literatūros sąrašas

1. H. Yang, Y. Cao, Y. Shi, Y. Wu, W. Guo ir kt. // The Dynamic Impacts of Weather Changes on Vegetable Price Fluctuations in Shandong Province, China: An Analysis Based on VAR and TVP-VAR Models. *Agronomy*, t. 12 (2022), nr. 11, p. 2680.
2. K. Y. Choong, R. A. A., Raof, S. Sudin ir R. J. Ong // Time Series Analysis for Vegetable Price Forecasting in E-Commerce Platform: A Review. *Journal of Physics: Conference Series*, t. 1878 (2021), nr. 1, p. 012071.
3. F. Sun, X. Meng, Y. Zhang, Y. Wang, H. Jiang, ir kt. // Agricultural Product Price Forecasting Methods: A Review. *Agriculture*, t. 13 (2023), nr. 9, p. 1671.
4. L. Wang, J. Feng, X. Sui, X. Chu ir W. Mu // Agricultural product price forecasting methods: research advances and trend. *British Food Journal*, t. 122 (2020), nr. 7, p. 2121–2138.
5. S. Bayona-oré, R. Cerna, Rino ir E. Hinojoza // Machine Learning for Price Prediction for Agricultural Products. *WSEAS TRANSACTIONS ON BUSINESS AND ECONOMICS*, t. 18 (2021), p. 969–977.
6. Y. Qiao, M. Kang ir B. Ahn // Analysis of Factors Affecting Vegetable Price Fluctuation: A Case Study of South Korea. *Agriculture*, t. 13 (2023), nr. 3, p. 577.

ANOMALIJŲ APTIKIMAS ŪKIŲ VEIKLOS DUOMENYSE

Aistė Bubelytė^{1*}, Irma Jankauskienė¹

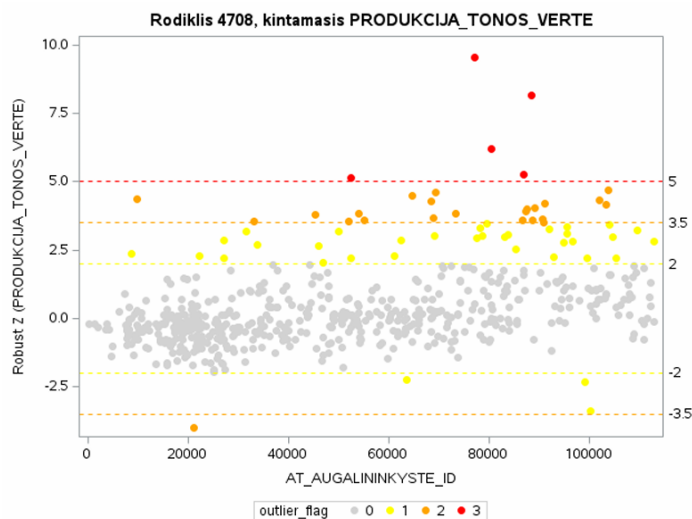
¹ *Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

**aiste.bubelyte@ktu.edu*

Anomalių aptikimas, dar kitaip vadinamas išskirčių radimas, yra duomenų, kurie reikšmingai skiriasi nuo daugumos duomenų egzempliorių, aptikimo procesas. Anomalių radimas išlieka aktyvi tyrimų sritis jau kelis dešimtmečius, o ankstyvieji tyrimai prasidėjo dar septintajame dešimtmetyje. Sukurta ir naudojama daugybė skirtingų metodų anomalijoms aptikti įvairiose srityse. Vienas iš dažniausiai naudojamų metodų yra mašininis mokymasis. Jis taikomas sukčiavimo atvejams aptikti, paskolų paraiškoms tvarkyti, medicininėms būklėms stebėti [1][2].

Atlikto tyrimo tikslas – sukurti dirbtinio intelekto įrankį, skirtą anomalijoms aptikti ūkių veiklos ataskaitų skaitiniuose duomenyse.

Nagrinėtos 103 000 augalininkystės produkcijos duomenų eilutės, kurios buvo suklasifikuotos pagal augalų tipą. Duomenys buvo suklasterizuoti k-vidurkių metodu į 3 grupes pagal ūkių dydį ir produkcijos kiekį, vertę. Kiekvienas klasteris buvo nagrinėjamas atskirai ir modifikuotų Z įverčių metodu buvo rastos duomenų išskirtys. Išskirčių radimo pavyzdys pateiktas 1 paveikslėlyje.



3 pav. Išskirčių radimas 4708 rodiklio produkcijos tonos vertės duomenyse

Pagal gautas išskirčių etiketes buvo apmokytas Catboost mašininio mokymosi modelis. Ištobulinus modelio architektūrą pasiektas 93 % bendras tikslumas. Sukurtas įrankis, aptinkantis skirtingo lygio išskirtis augalininkystės produkcijos duomenyse.

Literatūros sąrašas

1. G. Pang, C. Shen, L. Cao, A. Van Den Hengel // Deep Learning for Anomaly Detection: A Review. ACM Computing Surveys, 2021, 54, 2, 38 straipsnis.
2. A. Bou Nassif, M. Abu Talib, Q. Nasir, F. Mohamad Dakalbab // Machine Learning for Anomaly Detection: A Systematic Review. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2023, 9, 78658–78700.

Žodinių pranešimų santraukos
II sekcija

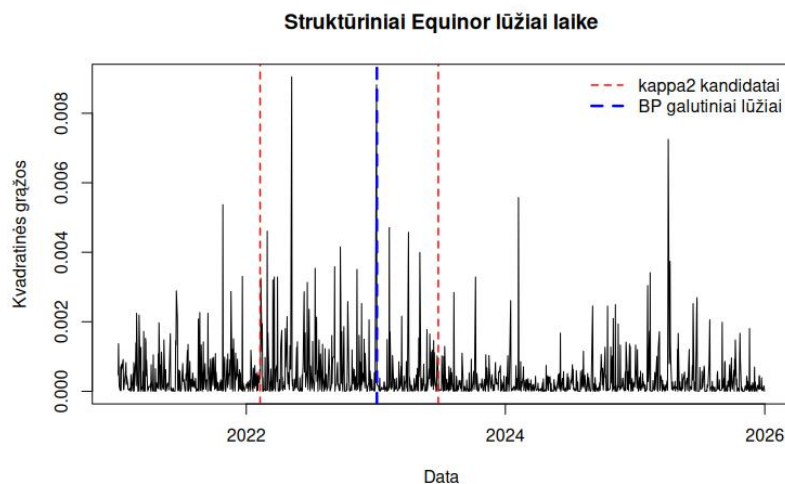
RIZIKOS VERTĖS IR TIKĖTINO NUOSTOLIO ISTORINIO TESTAVIMO SCHEMAS KŪRIMAS

Austėja Burmonaitė

Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva

Magistriniame darbe nagrinėjama finansinių rizikos modelių adekvatumo problema, atsižvelgiant į struktūrinių pokyčių poveikį finansinių laiko eilučių dinamikai. Tradiciniai kintamumo modeliai dažniausiai remiasi parametru stabilumo prielaida visoje imtyje, tačiau empiriniai tyrimai rodo, kad finansų rinkos pasižymi reikšmingais režimų pokyčiais, susijusiais su ekonominiais ar geopolitiniais šokais [1–3]. Šio darbo tikslas – įvertinti, ar struktūrinių lūžių pagrindu segmentuotas kintamumo modeliavimas leidžia pagerinti rizikos prognozių tikslumą, lyginant su vieno režimo GARCH ir Markovo režimų persijungimo (MRS) modeliais.

Tyrime analizuojamos trijų akcijų – Equinor, Apple ir Lufthansa – dieninės logaritminės grąžos 2021–2026 m. laikotarpiu. Struktūrinių lūžių identifikavimui taikoma dviejų etapų procedūra: modifikuotas ICSS metodas (κ_2 statistika) ir Bai–Perron segmentavimas. Pirmajame etape identifikuojami kandidatinių lūžių taškai, o antrajame etape statistiškai patvirtinamas galutinis lūžių skaičius. Equinor akcijos atveju κ_2 procedūra identifikavo du kandidatinius lūžius – 2022-02-09 ir 2023-06-26, o visos imties statistika siekė 2.008, viršydama kritinę 1.224 ribą. Tačiau Bai–Perron etapas parodė, kad optimalus lūžių skaičius yra vienas ($supF = 19.975$, $p = 0.000$), todėl galutinis lūžis nustatytas 2023-01-04 (žr. 1 pav.). Tai rodo, kad dalis kandidatinių taškų atspindi lokalius svyravimus, tačiau tik vienas jų yra statistiškai pagrįstas kaip struktūrinis pokytis.



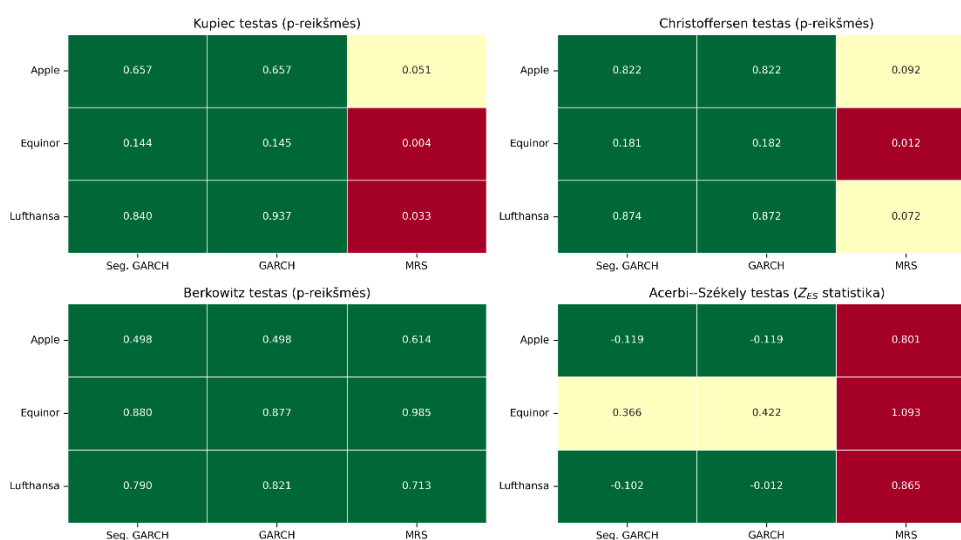
1 pav. Struktūrinių lūžių nustatymas Equinor akcijos kvadratinių grąžų eilutėje

Nustatytas lūžis padalijo imtį į du režimus, kuriuose kintamumo lygis reikšmingai skiriasi: standartinis nuokrypis sumažėjo nuo 0.023 iki 0.019, o kvadratinių grąžų vidurkis – nuo 0.001 iki 0.000. Panaši struktūra nustatyta ir Lufthansa akcijai, tuo tarpu Apple atveju nei κ_2 , nei Bai–Perron testai nepatvirtino struktūrinių lūžių egzistavimo, todėl ši akcija gali būti laikoma stabiliu kontroliniu atveju.

Remiantis nustatytais režimais, kiekviename segmente įvertinti GARCH modeliai ir generuotos vienos dienos į priekį rizikos vertės (angl. *Value at Risk* – *VaR*) bei tikėtino nuostolio (angl.

MATEMATIKA IR GAMTOS MOKSLAI: TEORIJA IR TAIKYMAS, 2026

Expected Shortfall – ES) prognozės. Modelių adekvatumas vertinamas taikant Kupiec, Christoffersen, Berkowitz ir Acerbi–Székely testus. Testų rezultatai rodo, kad segmentinis ir vieno režimo GARCH modeliai daugeliu atvejų pasižymi tinkama VaR aprėptimi. VaR viršijimai šiame darbe apibrėžiami kaip atvejai, kai faktinis nuostolis viršija prognozuotą rizikos vertę. Esant $\alpha = 0.01$, teoriškai tikimasi, kad tokie viršijimai sudarys apie 1% visų stebėjimų, t. y. maždaug 12–13 atvejų nagrinėjamoje imtyje. Pavyzdžiui, Apple akcijai gauta 11 viršijimų, o Kupiec testo p-reikšmė siekia 0.657, kas rodo, kad faktinis viršijimų dažnis neprieštarauja teoriniam. Lufthansa atveju segmentinis modelis pateikia 12 viršijimų ir aukštas p-reikšmes, rodančias gerą modelio adekvatumą. Tuo tarpu MRS modelio rezultatai yra nevienareikšmiai. Nors Berkowitz testas dažnai rodo aukštas p-reikšmes, VaR aprėptis kai kuriais atvejais yra netinkama – Equinor akcijai nustatyti 24 viršijimai, o $p_{uc} = 0.004$. Be to, Acerbi–Székely statistika ($Z_{ES} = 1.093$) rodo reikšmingą uodegos rizikos nuvertinimą. Šie rezultatai apibendrinti 2 paveiksle.



2 pav. VaR ir ES prognozių validavimo rezultatų palyginimas

Iš 2 paveikslo matyti, kad segmentinis modelis daugeliu atvejų užtikrina stabilų ir subalansuotą veikimą, tuo tarpu MRS modelis dažniau pasižymi rizikos nuvertinimu, ypač ekstremalių nuostolių srityje. Tai rodo, kad deterministinis struktūrinių lūžių identifikavimas leidžia efektyviai prisitaikyti prie staigių kintamumo pokyčių. Apibendrinant galima teigti, kad struktūrinių lūžių pagrindu sudarytas segmentinis GARCH modelis yra konkurencingas alternatyva sudėtingesniems režimų modeliams. Jo efektyvumas ypač išryškėja esant aiškiems kintamumo pokyčiams, tačiau sumažėja, kai rinka pasižymi stabilia dinamika. Gauti rezultatai patvirtina, kad deterministinis režimų identifikavimas gali būti veiksminga priemonė finansinės rizikos prognozavime.

Literatūros sąrašas

1. R. Cont // Empirical properties of asset returns: stylized facts and statistical issues, 2001, 1 t., 2 nr., p. 223–236.
2. T. Mikosch, C. Starica // Nonstationarities in Financial Time Series, the Long-Range Dependence, and the IGARCH Effects, 2004, 86 t., 1 nr., p. 378–390.
3. J. D. Hamilton // A new approach to the economic analysis of nonstationary time series and the business cycle, 1989, 57 t., 2 nr., p. 357–384.

ARNOLDO LIEŽUVIAI IR JŲ SLUOKSNIAI TRUPMENINĖS EILĖS DISKRETINĖSE SISTEMOSE: TEORIJA IR TAIKYMAI

Ugnė Orinaite^{1*}, Minvydas Kazys Ragulskis¹

¹ *Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

**ugne.orinaite@ktu.edu*

Arnoldo liežuviai yra fundamentalios struktūros netiesinių dinaminių sistemų parametrų erdvėje, aprašančios fazės užrakinimo ir sinchronizacijos reiškinius. Klasikiniai tyrimai, paremti apskritiminiu modeliu, parodė šių struktūrų universalumą įvairiose fizikinėse ir biologinėse sistemose [1], [2]. Pastaraisiais metais didelis dėmesys skiriamas trupmeninės eilės modeliams, kurie leidžia įtraukti atminties efektus ir nelokalumą, iš esmės keičiančius sistemų dinamiką [3].

Šio tyrimo tikslas – ištirti, kaip trupmeninės eilės atmintis ir matricinė struktūra veikia Arnoldo liežuvių formavimąsi bei jų hierarchinę struktūrą diskretinėse sistemose. Tyrime nagrinėjamas Caputo trupmeninis standartinis modelis, išplėstas į matricinę formą, ypatingą dėmesį skiriant idempotentinėms ir nulpotentinėms matricoms, kurios leidžia modeliuoti hierarchinę dinamiką ir sluoksniuotą struktūrą.

Analizė grindžiama trupmeninės dinamikos teorija ir matricinių iteracinių modelių algebra. Trupmeninės eilės modeliai leidžia aprašyti sistemas su atmintimi, kuriose dabartinė būsena priklauso nuo visos ankstesnės evoliucijos [3]. Tuo tarpu matriciniai modeliai, ypač naudojant nulpotentines matricas, sukuria papildomą struktūrinį sudėtingumą ir leidžia nagrinėti daugiasluoksnes dinamines sąveikas [4].

Skaitiniams tyrimams taikytas H–rangų algoritmas, leidžiantis įvertinti generuojamų sekų algebrinį sudėtingumą. Gauti rezultatai parodė, kad trupmeninės atminties ir nulpotentinės algebros sąveika lemia daugiasluoksnių Arnoldo liežuvių atsiradimą ir jų divergavimo hierarchijas. Nustatyta, kad skirtingi hierarchiniai sluoksniai pasižymi skirtingu dinamiu sudėtingumu, o tas pats parametrų plokštumos taškas gali priklausyti skirtingiems sinchronizacijos režimams priklausomai nuo sluoksnio.

Šie rezultatai praplečia klasikinę sinchronizacijos teoriją ir rodo, kad trupmeninės eilės matriciniai modeliai gali būti naudojami analizuojant sudėtingas sistemas su atmintimi bei hierarchine struktūra. Tokios sistemos gali būti aktualios modeliuojant biologinius ritmus, neuroninius tinklus ar signalų apdorojimo procesus.

Literatūros sąrašas

1. M. H. Jensen, P. Bak, T. Bohr // Complete Devil's Staircase and Mode-Locking Structure in the Circle Map. *Phys. Rev. Lett.*, 1983.
2. A. Pikovsky, M. Rosenblum, J. Kurths // Synchronization: A Universal Concept in Nonlinear Sciences. Cambridge Univ. Press, 2001.
3. V. E. Tarasov // Fractional Dynamics. Springer, 2011.
4. K. Kaneko // Overview of Coupled Map Lattices. *Chaos*, 1992.

LIČIO JONŲ BATERIJOS ELEKTROCHEMINIS MODELIAVIMAS IR BŪSENŲ NUSTATYMAS

Danielis Voronovas^{1*}, Jurgita Dabulytė-Bagdonavičienė²

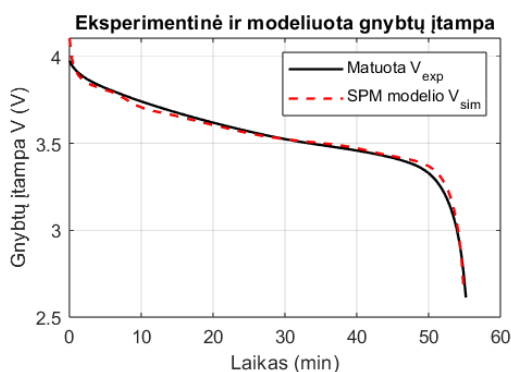
¹ Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva

² Taikomosios matematikos katedra, Kauno technologijos universitetas, Lietuva

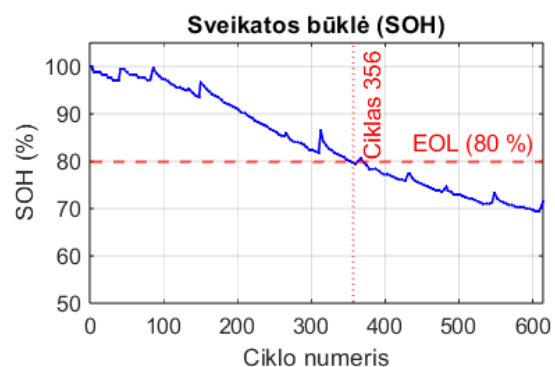
* danielis.voronovas@ktu.edu

Ličio jonų baterijos yra pagrindinis elektrinių transporto priemonių, nešiojamų prietaisų ir energetikos kaupimo sistemų komponentas, todėl tikslus jų vidinių būsenų: įkrovos būsenos (SOC), sveikatos būklės (SOH), bei gnybtų įtampos (V) vertinimas yra esminis baterijų valdymo sistemų (BMS) uždavinys [1].

Tyrime realizuotas Vienos dalelės modelis (SPM), kuris fizikiniu pagrindu aprašo ličio difuziją aktyviosiose elektrodų dalelėse ir leidžia įvertinti baterijos būsenas. Jo validacija atlikta naudojant realius NASA Prognostics Data Repository B0005 celės eksperimentinius matavimus [2]. Modelis įgyvendintas MATLAB R2023b aplinkoje, taikant baigtinių tūrių metodą. Pradinės SPM reikalingų parametrų reikšmės, paimtos iš literatūros [3], buvo optimizuotos siekiant geresnio modelio ir eksperimentinių rezultatų atitikimo. Modelio validacija prieš pirmąjį NASA B0005 iškrovos ciklą parodė, kad originalūs Guo ir kt. [3] parametrai lemia apie 209 mV vidutinę kvadratinę paklaidą (RMSE). Atlikus parametrų identifikavimą, paklaida sumažėjo iki 33,6 mV (RMSE) (1 pav., a). Toks tikslumo lygis patenka į literatūroje nurodomą SPM modeliams būdingą ~20–50 mV RMSE intervalą [1]. Empirinė analizė atskleidė, kad celės talpa per 168 iškrovos ciklus sumažėjo nuo 1,856 Ah iki 1,325 Ah, o baterijos eksploatacijos pabaiga (EOL) (SOH lygi 80%) buvo pasiekta 356-ajame cikle (1 pav., b). Realizuotas modelis sudaro pagrindą tolesniam parametrų jautrumo tyrimui, mišrios degradacijos scenarijų analizei bei parametrų identifikavimo algoritmo, kuris leistų realiu laiku įvertinti baterijos būklę BMS, kūrimui.



a)



b)

1 pav. SPM modelio rezultatai: (a) eksperimentinės ir modeliuotos gnybtų įtampos validacija; (b) SOH kitimas

Literatūros sąrašas

1. Plett, G. L. // Battery Management Systems, Volume I: Battery Modeling. Artech House, 2015.
2. Saha, B., Goebel, K. // Battery Data Set. NASA Ames Prognostics Data Repository, 2007.
3. Guo, M., Sikha, G., White, R. E. // Single-Particle Model for a Lithium-Ion Cell: Thermal Behavior. J. Electrochem. Soc., 158(2), A122–A132, 2011.

SAUGAUS BLOKNOTO SIMETRINIO ŠIFRAVIMO REŽIMO SAUGUMO TYRIMAS

Erikas Sabaitis^{1*}, Aleksejus Michalkovič¹

¹ *Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

Šiame darbe nagrinėjamas saugaus bloknoto simetrinio šifravimo režimas ir jo taikymas skaitmeninių vaizdų apsaugai. Pagrindinis dėmesys skiriamas AES-128 simetriniam šifrui ir keturių blokinių šifravimo režimų – elektroninio bloknoto (ECB), šifro blokų grandinės (CBC), skaitiklio režimo (Counter, CTR) ir saugaus bloknoto (SCB) – saugumo bei efektyvumo palyginimui. Elektroninio bloknoto režimas yra paprastas ir greitas, tačiau turi reikšmingų saugumo trūkumų: vienodi atvirojo teksto blokai užšifruojami vienodais šifroteksto blokais, todėl šifruotuose vaizduose gali išlikti vizualiai atpažįstamos pradinio vaizdo struktūros [1]. CBC režimas šią problemą mažina naudodamas inicializacijos vektorių ir kiekvieną atvirojo teksto bloką susiedamas su ankstesniu šifroteksto bloku [1]. CTR režimas blokinių šifrą paverčia srautiniu šifru: kiekvienam blokui generuojama unikali rakto srauto reikšmė, paremta skaitikliu, kuri sujungiama su atviruoju tekstu. Dėl to vienodi pradinio vaizdo blokai užšifruojami skirtingai, o pats režimas yra tinkamas lygiagrečiam apdorojimui [2]. Tuo tarpu saugaus bloknoto režimas (SCB) tiriamas kaip alternatyva, galinti užtikrinti geresnę pradinės informacijos paslėpimą šifrotekste [3].

Tyrimo metu šifravimo kokybė vertinama vizualiai ir statistiniais metodais. Analizuojama, kaip efektyviai kiekvienas režimas paslepia pradinio vaizdo struktūrą, pikselių intensyvumo pasiskirstymą ir pasikartojančius duomenų blokus. SCB režimui papildomai tiriama šifravimo efektyvumo priklausomybė nuo skirtingų parametrų: santraukos funkcijos ilgio, skaitiklio ilgio, vaizdo dydžio ir vaizdo struktūros. Šie veiksniai leidžia įvertinti, kokiomis sąlygomis saugaus bloknoto režimas veikia patikimiausiai ir kokie parametrai turi didžiausią įtaką šifruoto vaizdo statistinėms savybėms.

Statistiniam įvertinimui taikomas chi kvadrato homogeniškumo testas, leidžiantis nustatyti, ar šifruoto vaizdo pikselių pasiskirstymas reikšmingai skiriasi nuo pradinio vaizdo pasiskirstymo. Taip pat tiriama režimų greیتaveika, vertinant empirinius šifravimo bei iššifravimo laikus. Greitaveikos analizė leidžia palyginti, kiek papildomų skaičiavimo sąnaudų reikalauja saugesni šifravimo režimai ir ar SCB režimo taikymas yra praktiškai pagrįstas.

Gauti rezultatai leidžia įvertinti saugaus bloknoto režimo tinkamumą vaizdų šifravimui, lyginant jį su ECB, CBC ir CTR režimais. SCB režimas, tinkamai parinkus santraukos funkcijos ilgio ir skaitiklio ilgio parametrus, gali užtikrinti aukštesnę šifravimo kokybę, tačiau jo efektyvumas taip pat priklauso nuo vaizdo dydžio ir struktūros. Atliktas tyrimas padeda nustatyti, kokiomis sąlygomis SCB režimas yra pranašesnis už ECB, CBC ir CTR bei kokią įtaką jo saugumui ir greیتaveikai turi pasirinktų parametrų reikšmės.

Literatūros sąrašas

1. D. Blazhevski, A. Bozhinovski, B. Stojchevska, V. Pachovski // MODES OF OPERATION OF THE AES ALGORITHM, CIIT 2013, 2013, 212–216.
2. Jin Hyung Park, Dong Hoon Lee // FACE: Fast AES CTR mode Encryption Techniques based on the Reuse of Repetitive Data, IACR transactions on cryptographic hardware and embedded systems, 2018, 469–499.
3. F. Banfi // SCB Mode: Semantically Secure Length-Preserving Encryption, IACR Transactions on Symmetric Cryptology, 2022, 1–23.

STRESO DINAMIKOS MODELIAVIMAS

Gustė Vilinauskaitė^{1*}, Inga Telksnienė²

¹ *Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

² *Matematinio modeliavimo katedra, Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

**guste.vilinauskaite@ktu.edu*

Stresas yra vienas iš labiausiai paplitusių šiuolaikinio žmogaus gyvenimo iššūkių, turintis neigiamą poveikį tiek fizinei, tiek psichologinei sveikatai. Jį gali sukelti įvairūs veiksniai – nuo fiziologinių, pavyzdžiui, hormoniniai pokyčiai ar nervų sistemos reakcijos, iki psichologinių, tokių kaip perdideli reikalavimai sau, nuovargis ar sudėtingi gyvenimo potyriai.

Matematinis modeliavimas leidžia tirti streso dinamiką kiekybiškai ir sistemingai. Diferencialinių lygčių pagalba užrašyti biologiniai ar psichologiniai procesai suteikia galimybę analizuoti, nuo ko priklauso stipri žmogaus reakcija į stresą, kaip greitai galima grįžti į homeostazę ir kas lemia lėtinio streso atsiradimą.

Šiame tyrime nagrinėjami du streso dinamikos modeliai: HPA ašies modelis ir Neufeld daugiamatis streso ir įveikos modelis. Pirmasis modelis aprašo hipotalamo-hipofizės-antinksčių (HPA) ašies hormonų dinamiką trimis diferencialinėmis lygtimis:

$$\begin{aligned} \frac{dCRH}{dt} &= k_c \left(1 - \eta \frac{CORT}{K_d + CORT} \right) - k_1 \cdot CRH \\ \frac{dACTH}{dt} &= k_1 \cdot CRH - k_2 \cdot ACTH \\ \frac{dCORT}{dt} &= k_2 \cdot ACTH - k_3 \cdot CORT \end{aligned}$$

čia CRH – kortikotropiną atpalaiduojančiojo hormono koncentracija, ACTH – adrenokortikotropinio hormono koncentracija, CORT – kortizolio koncentracija, k_1, k_2, k_3 – reakcijos greičio konstantos, k_c – CRH gamybos greitis, η – neigiamo grįžtamojo ryšio per kortizolį stiprumas, K_d – kortizolio-receptoriaus komplekso disociacijos konstanta. Streso poveikis sistemai modeliuojamas papildomais parametrais: S_e – išorinio stresoriaus intensyvumas, σ – individo streso slenkstis, τ – atsigavimo laiko konstanta.

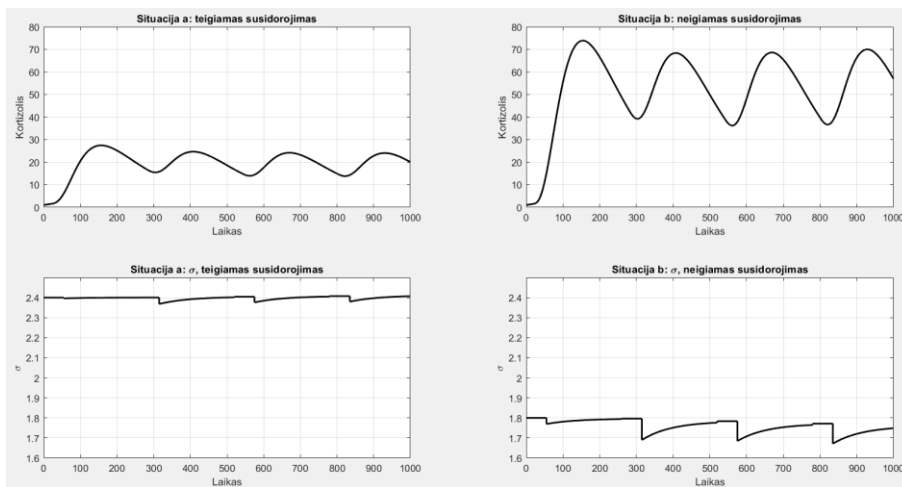
Antrasis – Neufeld šešiamatis modelis – aprašo streso ir psichologinės įveikos (angl. „Coping“) sąveiką diferencialinių lygčių sistema šešiams kintamiesiems. Pagrindinės sistemos lygtys:

$$\begin{aligned} Y_1'(t) &= a - bY_3(t)Y_4(t) - cY_1(t) \\ Y_2'(t) &= Y_5(t)\{[a - bY_3(t)Y_4(t) - cY_1(t)][1.0 + Y_6(t)]\} - eY_2(t) - [fY_3(t)Y_4(t)Y_1(t) - g] \\ Y_3'(t) &= h - iY_2(t) \end{aligned}$$

$Y_4'(t) = Y_6(t)[a - bY_3(t)Y_4(t) - cY_1(t)] - jY_4(t) + \{k[fY_3(t)Y_4(t)Y_1(t) - g]\} + d$
 čia $Y_1'(t)$ – egzogeninio stresoriaus lygis, $Y_2(t)$ – streso sužadėjimas (stress arousal), $Y_3(t)$ – kognityvinis efektyvumas, $Y_4(t)$ – įveikos (coping) veikla, $Y_5(t)$ – streso sužadėjimo mechanizmo jautrumas, $Y_6(t)$ – įveikos veiklos reagavimo laipsnis; a – aplinkos generuojamo stresoriaus intensyvumas, b – įveikos veiklos efektyvumas stresoriaus atžvilgiu, c – stresoriaus savireguliacija, e – streso sužadėjimo savireguliacija, f – įveikos grąžos koeficientas, g – subjektyvus vertinimo standartas (perfekcionizmo slenkstis), h – kognityvinio efektyvumo bazinis lygis, i – streso poveikis kognityviniam efektyvumui, j – įveikos veiklos irimo konstanta, k – įveikos grįžtamojo ryšio koeficientas, d – bazinis įveikos palaikymas

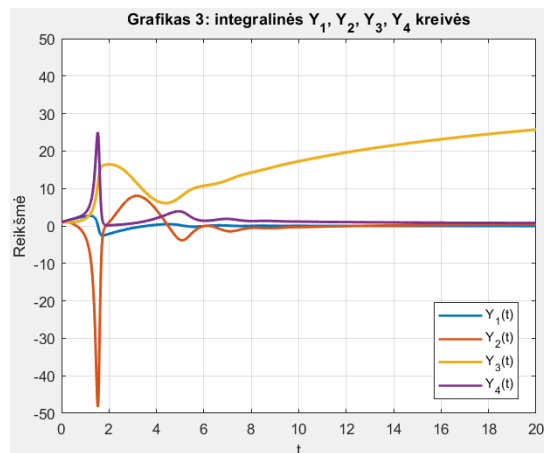
MATEMATIKA IR GAMTOS MOKSLAI: TEORIJA IR TAIKYMAS, 2026

Šiame tyrime tikrinamas modelių jautrumas pagrindinių parametru pokyčiams. HPA modelyje nustatyta, kad kuo žmogus atsparesnis stresui, tuo silpnesnė jo hormoninė reakcija ir greičiau jis atsigauna. Tačiau, jei stresas kartojasi ir atsigavimui skiriama per mažai laiko, organizmas gali nebegebėti sugrįžti į pusiausvyrą – taip susidaro sąlygos vystytis lėtiniam stresui.



1 pav. Tiriama kaip išsivysto lėtinis stresas

Neufeld modelis išryškina įdomias sąsajas tarp vidinių lūkesčių, streso ir gebėjimo su juo susidoroti. Paaiškėjo, kad perdidelis reiklumas sau gali veikti panašiai kaip stiprus išorinis stresorius – abu gali išbalansuoti sistemą taip, kad sutrinka kognityvinių funkcijų veikla, o pastangos kovoti su stresu tampa nepakankamos.



2 pav. Neufeld modelio simuliacija

Literatūros sąrašas

1. Savić, D., Knežević, G., Opačić, G. // A mathematical model of stress reaction: Individual differences in threshold and duration, 2000, Psychobiology, 28, 4, 581–592.
2. Neufeld, R. W. J. // Dynamic Differentials of Stress and Coping, 1999, Psychological Review, 106, 2, 385–397.

KRŪTIES VĖŽIO DINAMIKOS MODELIAVIMAS

Ieva Norkutė^{1*}, Inga Telksnienė^{1*}

¹ Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva

² Matematinio modeliavimo katedra, Kauno technologijos universitetas, Lietuva

*ievnor3@ktu.lt

Krūties vėžys yra viena dažniausiai diagnozuojamų onkologinių ligų tarp moterų pasaulyje. 2022 metais pasaulyje buvo diagnozuota daugiau nei 2,3 milijono naujų krūties vėžio atvejų, o ši liga išlieka viena pagrindinių mirtingumo nuo vėžio priežasčių - tais pačiais metais mirė apie 670 tūkstančių moterų. Nepaisant pažangios diagnostikos ir gydymo, krūties vėžio eiga išlieka sudėtinga ir sunkiai prognozuojama, nes naviko augimą lemia daugybė tarpusavyje susijusių biologinių procesų, tokių kaip ląstelių proliferacija, angiogenezė, imuninės sistemos atsakas ir hormoniniai veiksniai.

Projekto tikslas - išnagrinėti krūties vėžio augimo dinamiką taikant skirtingo sudėtingumo matematinius modelius ir įvertinti biologinių veiksnių įtaką naviko augimui.

Šiame darbe krūties vėžio dinamika analizuojama taikant skirtingo sudėtingumo matematinius modelius. Pirmiausiai nagrinėjamas modelis, kuris aprašo naviko augimą esant ribotai aplinkos talpai [1].

$$\frac{dC_p(t)}{dt} = r C_p(t) \log\left(\frac{k}{C_p(t)}\right)$$

$$\frac{dk(t)}{dt} = d (C_p(t))^{2/3}$$

$C_p(t)$ – naviko ląstelių populiacija, $k(t)$ – aplinkos talpa

Toliau modelis išplečiamas įtraukiant imuninės sistemos poveikį [2].

$$\frac{dE}{dt} = cT - \mu_2 E + \frac{p_1 E I_L}{g_1 + I_L} + s_1$$

$$\frac{dT}{dt} = r_2(T)T - \frac{aET}{g_2 + T}$$

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{p_2 ET}{g_3 + T} - \mu_3 I_L + s_2$$

$E(t)$ – imuninės sistemos ląstelės, $T(t)$ – naviko ląstelės, $I_L(t)$ – interliukino-2 koncentracija.

Galiausiai analizuojamas modelis, kuris papildytas hormoniniu veiksnium – estrogenu [3].

$$\frac{dH}{dt} = H(\alpha_1 - \beta_1 H - \delta_1 T) - \sigma_1 H E$$

$$\frac{dT}{dt} = T(\alpha_3 - \beta_2 T) - \gamma_2 I T + \sigma_2 H E$$

$$\frac{dI}{dt} = s + \frac{\rho I T}{\omega + T} - \gamma_3 I T - \mu I - \frac{\sigma_3 I E}{\nu + E}$$

$$\frac{dE}{dt} = \pi - \theta E$$

$H(t)$ – sveikos ląstelės, $T(t)$ – naviko ląstelės, $I(t)$ – imuninės ląstelės, $E(t)$ – estrogeno koncentracija.

Tokia modelių seka leidžia nuosekliai įvertinti, kaip papildomi biologiniai veiksniai keičia naviko augimo eigą.

Gauti rezultatai rodo, kad papildomų biologinių veiksnių įtraukimas reikšmingai keičia naviko augimo dinamiką: imuninės sistemos poveikis lėtina augimą, o hormoniniai veiksniai gali jį spartinti. Modeliavimas leidžia geriau suprasti sudėtingas naviko vystymosi sąveikas ir gali būti taikomas tolimesniems onkologinių procesų tyrimams.

Literatūros sąrašas

1. R. Padmanabhan, N. Meskin, A. Moustafa // *Mathematical Models Of Cancer and Different Therapies*, Singapore 2021.
2. D. Kirschner, J. C. Panetta // *Modeling immunotherapy of the tumor – immune interaction*, 1998, 37, 235–252.
3. C. Mufudza, W. Sorofa, E. T. Chiyaka // *Assessing the Effects of Estrogen on the Dynamics of Breast Cancer*, 2012, 2012, Article ID 473572.

VIENAMAČIO PARABOLINIO UŽDAVINIO SU NELOKALIAJA SĄLYGA
SPRENDIMAS TAIKANT SKIRTUMINIUS METODUS

Matas Baltrušaitis^{*}, Kristina Pupalaigė²

¹ *Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

² *Taikomosios matematikos katedra, Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

**m.baltrusaitis@ktu.edu*

Šiame darbe sprendžiamas neklasikinis parabolinis uždavinys

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f(x), x \in [0, 1], t \in [0, 1]$$

su klasikine ir nelokaliaja kraštinėmis sąlygomis

$$u(0, t) = \mu_1(t), t \in [0, 1]$$

$$u(1, t) = \int_0^1 \gamma(x)u(x, t)dx + \mu_2(t), t \in [0, 1]$$

ir su duota pradine sąlyga

$$u(x, 0) = \varphi(x), x \in [0, 1]$$

Šis uždavinys yra neklasikinis ir jam spręsti nėra universalus sprendimo metodo. Šiame darbe diferencialiniam uždaviniui sudaromas skirtuminis uždavinys, kur integralinė sąlyga keičiama skirtumine taikant trapecijų formulę. Tuomet sprendžiamas neklasikinis skirtuminis uždavinys taikant iteracinį metodą.

Literatūros sąrašas

1. R. Čiegis, // Diferencialinių lygčių skaitiniai sprendimo metodai, Vilnius „Technika“ 2003.
2. A. Friedman//Partial Differential Equations of Parabolic Type, Dover Publications, 2008.
3. R. Čiupaila, M. Sapagovas, K. Pupalaigė, G.K. Šaltenienė // On error estimation and convergence of the difference scheme for a nonlinear elliptic equation with an integral boundary condition // Mathematics. Basel : MDPI. ISSN 2227-7390. 2025, vol. 13, iss. 5, art. no. 873, p. 1-20. DOI: 10.3390/math13050873.

ERDVINĖS DISKRETIZACIJOS ĮTAKA SPIRALINIŲ BANGŲ DIVERGAVIMUI NULPOTENTINIŲ MATRICŲ BARKLEY MODELyje

Žaneta Letukaitė^{1*}, Rasa Šmidtaitė¹

¹ *Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva*

**zaneta.letukaite@ktu.edu*

Reakcijos–difuzijos modeliai yra plačiai naudojami sudėtingų dinaminių reiškinių, tokių kaip bangų sklidimas, cheminės reakcijos ar biologiniai procesai, analizei [1]. Šie modeliai leidžia aprašyti netiesines sistemas, kuriose lokalsios sąveikos tarp komponentų lemia sudėtingas erdvėlaikes struktūras. Vienas iš klasikinių tokių modelių yra Barkley modelis, leidžiantis efektyviai tirti spiralinių bangų susidarymą ir jų dinamiką [2]. Spiralinių bangų reiškiniai yra svarbūs įvairiose fizikinėse ir biologinėse sistemose, pavyzdžiui, širdies audiniuose ar cheminėse reakcijose [3, 4].

Pastaruoju metu nagrinėjami šio modelio plėtiniai, kai kintamieji aprašomi matricine forma. Ypač aktualūs yra modeliai su nulpotentinėmis matricomis, leidžiantys tirti sudėtingesnius dinaminius reiškinius, susijusius su divergavimu ir nestabilumu [5]. Tokia modelio formulė suteikia galimybę išskaidyti sistemą į kelis tarpusavyje susijusius skaliarinius laukus, kas leidžia detaliau analizuoti sistemos elgseną.

Šio darbo tikslas – ištirti erdvinės diskretizacijos įtaką spiralinių bangų divergavimui Barkley modelyje su nulpotentinių matricų kintamaisiais. Matricinis modelis išskaidomas į skaliarinius matricos tikrinių reikšmių ir papildomų komponentų modelius, kurių dinamika nagrinėjama erdvėje ir laike. Ypatingas dėmesys skiriamas matricinio Barkley modelio papildomai komponentei, kuri naudojama modelio divergavimo pobūdžiui vertinti.

Skaitiniam modeliavimui taikomas išreikštinis Eulerio metodas ir dvimatis erdvės diskretizavimas su skirtingais erdvinio žingsnio dydžiais. Siekiant užtikrinti skaitinio metodo stabilumą ir rezultatų palyginamumą, laiko žingsnis parenkamas proporcingai erdvinio žingsnio kvadratui. Tokiu būdu sudaromos sąlygos nuosekliai analizuoti diskretizacijos įtaką modelio dinamikai.

Atliekamo tyrimo rezultatai sudarys pagrindą įvertinti, kaip erdvinė diskretizacija veikia spiralinių bangų struktūrą, jų stabilumą ir divergavimo pobūdį, bei leis formuluoti rekomendacijas skaitiniam tokių sistemų modeliavimui.

Literatūros sąrašas

1. E. Meron // Pattern formation in excitable media, *Physics reports*, 1992, 218, 1, 1–66.
2. D. Barkley // A model for fast computer simulation of waves in excitable media, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 1991, 49, 1-2, 61–70.
3. E. M. Cherry, F. H. Fenton // Visualization of spiral and scroll waves in simulated and experimental cardiac tissue, *New Journal of Physics*, 2008, 10, 12, 125016.
4. V. K. Vanag, I. R. Epstein // Inwardly rotating spiral waves in a reaction-diffusion system, *Science*, 2001, 294, 5543, 835–837.
5. R. Smidtaite, M. Ragulskis // Spiral waves of divergence in the Barkley model of nilpotent matrices, *Chaos, Solitons & Fractals*, 2022, 159, 112158.

MULTI-SCALE MATHEMATICAL MODELLING OF ELECTROMAGNETIC INTERACTION WITH DISTRIBUTED ELECTRONIC SYSTEMS

Ahmad Adel Younus Ahmouda^{1*}, Saulius Japertas¹

¹ Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology, Studentu str. 56, Kaunas, Lithuania

* ahmahm1@ktu.lt

The increasing use of unmanned aerial vehicles (UAV) in complex electromagnetic environments raises important questions regarding the robustness of embedded electronic systems. In particular, understanding how high-intensity electromagnetic fields interact with distributed electronics is essential for predicting system-level response and ensuring operational reliability [1, 2]. This work presents a mathematical and computational framework for analysing electromagnetic interaction with a representative unmanned aerial platform. The modelling approach is based on the time-dependent Maxwell equations in heterogeneous media,

$$\partial_t \mathbf{E} = \varepsilon^{-1}(\nabla \times \mathbf{H} - \sigma \mathbf{E}), \partial_t \mathbf{H} = -\mu^{-1}(\nabla \times \mathbf{E}).$$

which are solved numerically using the finite-difference time-domain (FDTD) method and finite element techniques for frequency-domain analysis. To ensure numerical reliability, convergence and stability of the discretisation schemes were verified through mesh refinement and time-step sensitivity analysis. The numerical error was observed to decrease consistently with increasing spatial resolution, confirming the expected second-order accuracy of the FDTD scheme. Additionally, absorbing boundary conditions based on perfectly matched layers were validated by negligible reflection levels at domain boundaries.

Numerical simulations were performed in the L-, S-, and C-band frequency ranges. The results show that electromagnetic field distribution strongly depends on system geometry, with pronounced field localization near conductive components. In particular, at 1.5 GHz, the electric field magnitude is concentrated along structural arms and motor regions, where local amplitudes exceed the background field by more than one order of magnitude [3] (Fig. 1).

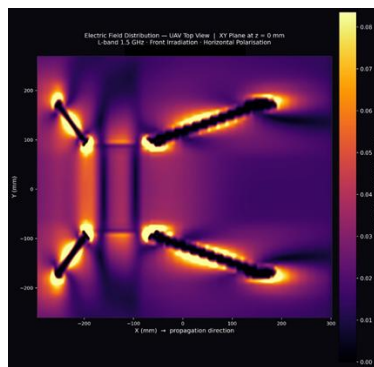


Fig. 1. UAV level electromagnetic field distribution at L-band (1.5 GHz)

Further analysis of internal coupling mechanisms shows that conductive paths act as resonant structures. When the characteristic length approaches half the wavelength ($l \approx \lambda/2$), significant amplification occurs, leading to field enhancement factors on the order of $10^2 - 10^3$. This behaviour is obtained through the induced voltage model

$$V_{ind}(t) = \int_0^l \mathbf{E}(x, t) \cdot d\mathbf{l},$$

and approximated at the component level by a forced RLC system,

$$L\ddot{q} + R\dot{q} + \frac{1}{C}q = V_{ind}(t).$$

Time-domain simulations of subsystem response under pulsed excitation show cumulative effects, where repeated exposure leads to rapid deviation from nominal operation. As shown in Fig. 2, key subsystem variables exhibit strong transient amplification followed by degradation, with the response depending on pulse duration and repetition frequency.

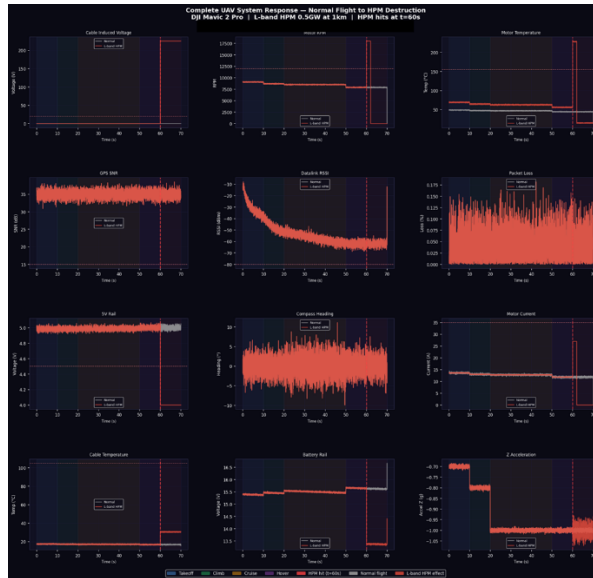


Fig. 2. Subsystem response under electromagnetic exposure (Time-Domain simulation)

At the system level, the response is described using a probabilistic accumulation model, where the probability of failure increases with both field intensity and number of excitation events. Numerical evaluation indicates that, for typical parameter values, cumulative failure probability can exceed 99% within sub-second exposure times, while moderate increases in threshold levels significantly reduce this probability.

The obtained results demonstrate a strong coupling between electromagnetic wave propagation, geometric resonance, and system-level response. The proposed framework provides a mathematical approach for linking field-based models with observable system behaviour and can be applied to a wide range of problems in electromagnetic compatibility and system resilience.

References

1. Xu, L., Luo, Z. // Physical Communication, 2025, 71, p.102676.
2. Chaari, M. Z. // Security and Defence Quarterly, 2021, 34(2), p.68-84.
3. G. Lubkowski, M. Lanzrath, L. C. Lavau, M. Suhrke // International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC EUROPE, Rome, Italy, 2020, p. 1-6.

CHEMINIŲ SINTEZIŲ METODŲ ĮTAKA SAMARIU IR GADOLINIŲ LEGIRUOTOS CERIO OKSIDO KERAMIKOS FIZIKINĖMS IR ELEKTRINĖMS SAVYBĖMS

Augustinas Zinkus^{1,2*}, Mantas Sriubas^{1,2}, Tomas Šalkus³, Brigita Abakevičienė^{1,2}

¹ Fizikos katedra, Kauno technologijos universitetas, Kaunas, Lietuva

² Medžiagų mokslo institutas, Kauno technologijos universitetas, Kaunas, Lietuva

³ Taikomosios elektrodinamikos ir telekomunikacijų institutas, Vilniaus universitetas, Vilnius, Lietuva

*augustinas.zinkus@ktu.lt

Kietojo oksido kuro elementų (KOKE) technologija patraukė nemažą mokslininkų dėmesį kaip alternatyva kovojant su aplinkosaugos problemomis. Vandenilio kuro elementai leidžia saugoti ir pagal poreikį pagaminti elektros energiją neišskiriant į aplinką žalingų produktų [1]. Tačiau šio tvaraus energijos perdavimo metodo platų pritaikymą ir plėtrą riboja aukštos darbinės temperatūros poreikis. Aukšta temperatūra (800–1000 °C) pagerina elektrolito joninį laidumą, kuris reikalingas norint pasiekti didelį kuro elemento efektyvumą, tačiau mažina medžiagų ilgaamžiškumą ir didina eksploatacines sąnaudas [2]. Siekiant sumažinti neigiamą temperatūros poveikį, buvo atrasta, kad cerio oksido, legiruoto retaisiais žemės elementais, keramika pasižymi aukštu joniniu laidumu ir vidutinėse temperatūrose (500–700 °C). Ištirta, kad didžiausia nauda pasiekama įterpiant samario ir gadolinio elementus [3]. Šia tema atlikta nemažai tyrimų, tačiau dauguma mokslininkų orientuojasi į optimalios priemonių koncentracijos radimą ir mažai dėmesio skiriama kitiems veiksniams, kurie taip pat daro įtaką keramikos savybėms. Vienas iš tokių veiksnių yra tinkamo sintezės metodo pasirinkimas, kuris lemia medžiagos mikrostruktūrinės savybės ir legiruojančių elementų pasiskirstymo vienalytiškumą [4].

Todėl šiame darbe nuspręsta ištirti, kokią įtaką skirtingi sintezės būdai turi samariu ir gadoliniu legiruoto cerio oksido (SGDC) fizikinėms ir elektrinėms savybėms. Keramikos miltelių sintezei pasirinkti du metodai: išdeginimo (angl. *Combustion*), pasižymintis greitumu ir pigumu, bei nusodinimo iš tirpalų (angl. *Co-precipitation*), kuriuo galima geriau kontroliuoti cheminę sudėtį ir dalelių vienodumą. Gautų nanomiltelių terminio stabilumo ir struktūrinės savybės buvo ištirtos terminės gravimetrinės (TGA), rentgeno spindulių difrakcijos (XRD), skenuojančios elektroninės mikroskopijos (SEM) ir peršviečiamosios elektroninės mikroskopijos (TEM) analizės metodais. Po to, milteliai buvo supresuoti į tabletes ir sukepinti aukštatemperatūrinėje krosnyje. Gautos keramikos morfologija pakartotinai ištirta skenuojančiu elektroniniu mikroskopu, o elektrinės savybės nustatytos impedanso spektroskopijos (IS) matavimais. Gauti rezultatai atskleidė, kad sintezės metodo pasirinkimas turi įtakos pagamintos keramikos terminiam stabilumui, dalelių dydžių pasiskirstymui ir joniniam laidumui grūdelių ribomis.

Padėka. Tyrimai finansuoti Lietuvos mokslo tarybos (LMT) projekto Nr. S-MIP-24-8/2025 lėšomis.

Literatūros sąrašas

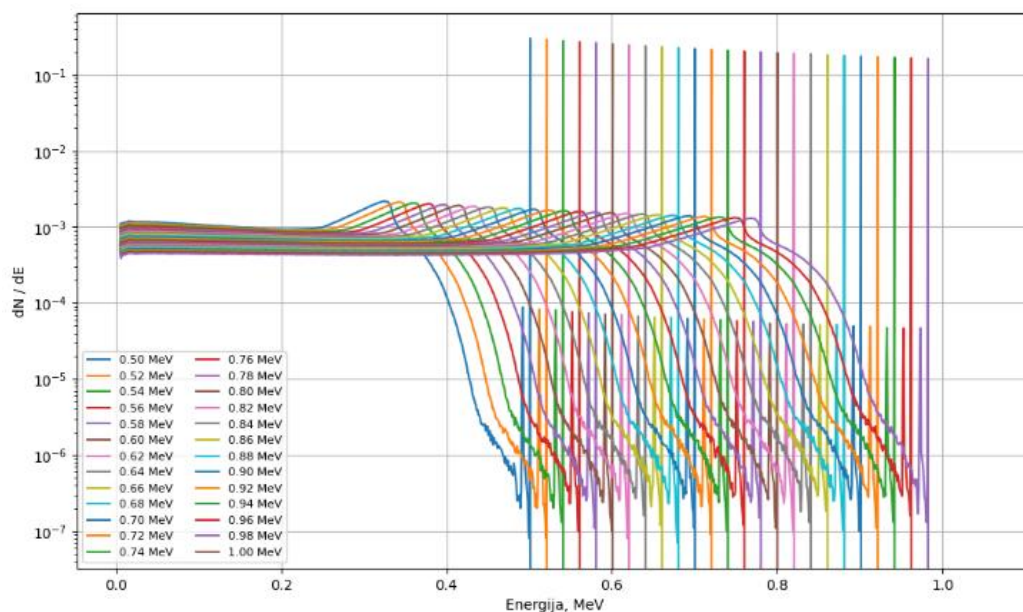
1. M. K. Singla, P. Nijhawan, A. S. Oberoi // Hydrogen fuel and fuel cell technology for cleaner future: a review, 2021, 28, 13, 15607-15626.
2. N. Q. Minh // Solid oxide fuel cell technology – features and applications, 2004, 174, 1, 271-277.
3. S. A. Kumar, P. Kuppusami, S. Amirthapandian, Y.-P. Fu // Effect of Sm co-doping on structural, mechanical and electrical properties of Gd doped ceria solid electrolytes for intermediate temperature solid oxide fuel cells, 2020, 45, 54, 29690-29704.
4. C. Sun, H. Li, L. Chen // Nanostructured ceria-based materials: synthesis, properties, and applications, 2012, 5, 9, 8475-8505.

GAMA SPEKTRO MODELIAVIMAS SKIRTINGAIS INTERPOLIACIJOS METODAIS

Erikas Žukauskas, Darius Germanas, Artūras Plukis, Rita Plukienė

*Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, 02300 Vilnius
erikas.zukauskas@ftmc.lt*

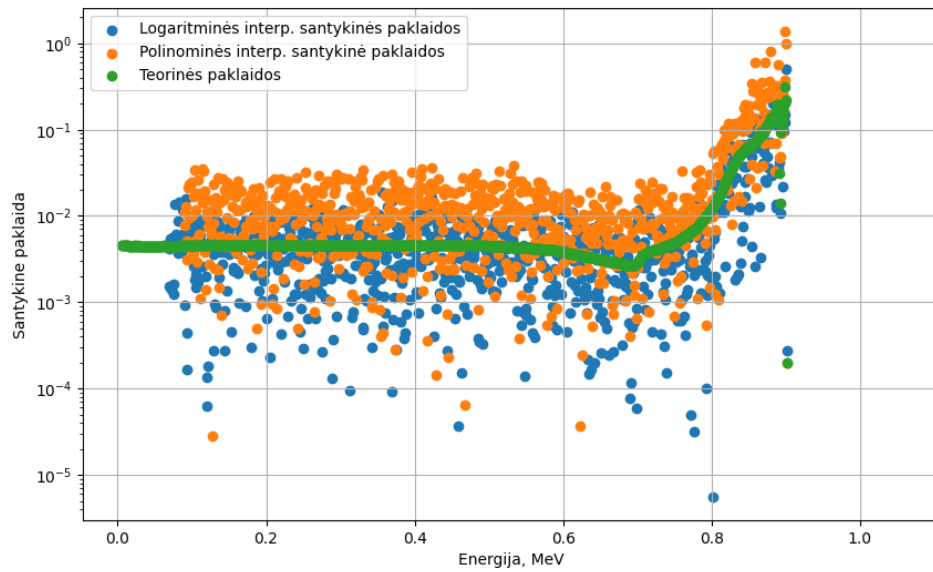
Skaitinis modeliavimas – labai svarbus įrankis taikomojoje branduolio fizikoje padedantis analizuoti eksperimentinius dalelių sąveikos su medžiaga rezultatus. Gama spindulių sąveikos su HPGe detektoriaus medžiaga modeliavimui pasitelkta MCNP programa, kuri naudoja Monte Karlo metodą ir gama spindulių sąveikos skerspūvių bibliotekas realistiškam detektoriaus atsakui – gama spektrui gauti. Monte Karlo metodus apriboja skaičiavimo laikas, nes statistiškai sekamų dalelių įvykiai parenkami atsitiktinai pagal sąveikos tikimybes, atžvelgiant į fizikinius bei tikimybinus procesus vykstančius medžiagoje. Gama spektrą nulemia nuklido charakteringos gama spinduliuotės pilnos sugerties smailė (pikas), Komptono sklaida – detektoriaus medžiagoje išsklaidytos gama spinduliuotės spektras, kuriam, priklausomai nuo sklaidančios aplinkos, būdingi atgalinės sklaidos, Komptono kontinuumo regionai ir Komptono kraštas, o taip pat jeigu gama energijos virš 1,02 MeV – anihiliacinių porų susidarymas [1],[2]. Šio darbo tikslas buvo sukurti įrankį, kuris, remiantis keletu Monte Karlo metodu suskaičiuotų spektrų, galėtų interpoliacijos būdu greičiau suskaičiuoti bet kurių tarpinių gama spinduliuotės energijų gama spektrus.



1 pav. Sumodeliuoti detektoriaus atsako gama spektrai [0,5 – 0,98] MeV intervale, kas 0,02 MeV.

Tam pasitelkta interpoliacija - matematinis metodas, naudojamas norint aproksimuoti taškus tarp dviejų žinomų. Šis metodas pritaikytas gauti tarpines energijos spektrų vertes. Svarbu ne tik pasirinkti tinkamą interpoliacijos metodą, bet ir teisingai suderinti atraminius taškus, ypač ties spektro pikų ir Komptono kraštu. Duomenys kinta netiesiškai, turime pasitelkti tokius metodus, kaip logaritminė ir polinominė interpoliacija.

Šiam procesui buvo svarbu gauti kaip įmanoma artimesnę vertę turimai, palyginti paklaidas ir pagal tai atrinkti taškus. Lygindami logaritminės, bei polinominės interpoliacijos rezultatus su turimais, galime įvertinti kuris metodas tikslesnis konkrečiam taške ir jį pasirinkti. Gautas santykinės paklaidas galime lyginti su modeliavimo.



2 pav. Interpoliacijos metodų santykinų paklaidų lyginimas su modeliavimo paklaidomis 0.9 MeV energijos gama kvantų spektrui.

Literatūros sąrašas

1. A. Poškus // Atomo fizika ir branduolio fizikos eksperimentiniai metodai, Vilnius 2008.
2. K. Krane // Introductory nuclear physics, Willey, 1987.

INVESTIGATION OF POLYMER-BASED DOSIMETERS WITH ENHANCED SENSITIVITY

Justina Kuprijanovaitė^{1*}, Diana Adlienė¹

¹ Department of Physics, Kaunas University of Technology, Lithuania

*justina.kuprijanovaite@ktu.edu

Polymer gel dosimeters represent a promising approach to three-dimensional dose verification in radiation therapy, as they undergo radiation-induced free-radical polymerisation proportional to absorbed dose, enabling spatially resolved dose mapping that conventional point detectors cannot provide [1]. This work investigates two NIBMAGAT-based formulations — standard and AgNO₃-doped — to assess whether silver nanoparticle formation introduces an additional optical mechanism capable of enhancing dosimetric sensitivity under photon irradiation [2].

Materials and Methods. Both gel formulations were prepared under controlled conditions using NIBMA as the radiation-sensitive monomer, BIS as the crosslinker, gelatin Type A as the matrix, glycerol and acetone as co-solvents, and THPC as an oxygen scavenger (Table 1). For the AgNO₃-doped variant, silver nitrate was added after BIS dissolution and before THPC, under light exclusion. Gel solutions were cast into sealed spectrophotometric cuvettes (~2 mL), stored for 48 h, then irradiated at Kauno Klinikos using a Varian LINAC at doses of 0–10 Gy. UV–Vis absorption spectra (200–800 nm) were acquired with an Ocean Optics USB4000 spectrometer referenced against deionized water [3].

Table 1. Gel composition (wt.%)

Formulation	H ₂ O	Acetone	Glycerol	Gelatin	NIBMA	BIS	THPC	AgNO ₃
NIBMAGAT	47.82	19.93	19.93	3.99	4.04	4.07	0.19	–
AgNO ₃ -NIBMAGAT	46.65	19.44	19.44	3.89	3.94	3.97	0.10	0.065

Results and Discussion. UV–Vis absorption spectra of the NIBMAGAT gel (Figure 1) show a dose-dependent decrease in absorbance across the 280–800 nm range, attributed to radiation-induced consumption of vinyl (C=C) chromophores through free-radical polymerisation initiated by water radiolysis products (•OH, e⁻_{aq}, •H). The dose–response curve at 334.64 nm (Figure 2, left) exhibits two regimes: a high-sensitivity region at 0–1 Gy (slope = -0.5045, R² = 0.7651) and a less sensitive, near-linear region at 2–10 Gy (slope = -0.0129, R² = 0.9747), reflecting progressive monomer depletion. A non-monotonic increase at 2 Gy is attributed to enhanced light scattering by the developing polymer network [4].

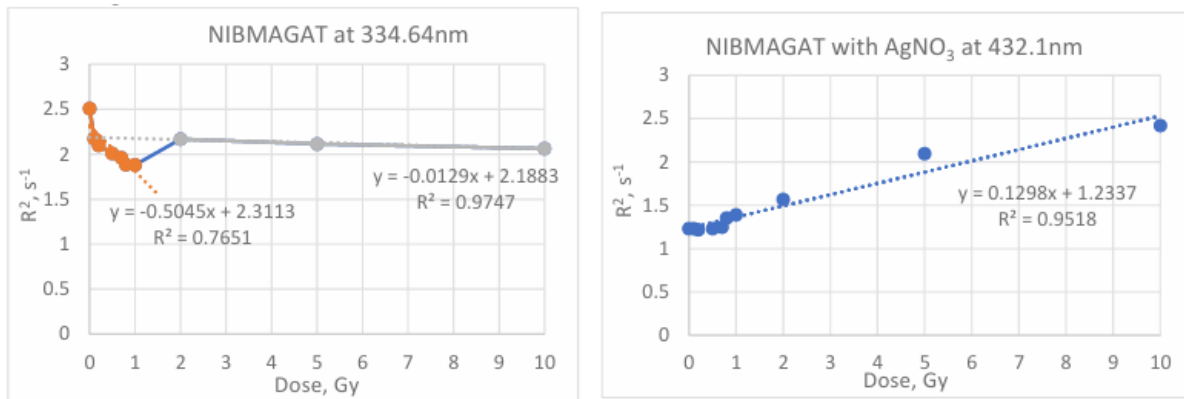


Fig. 1. UV-Vis absorption spectra of the NIBMAGAT gel at absorbed doses of 0–10 Gy.

The AgNO₃-modified gel shows a monotonically increasing absorbance at 432.10 nm (Figure 2, right), attributed to the localized surface plasmon resonance (LSPR) of silver nanoparticles formed by radiation-induced reduction of Ag⁺ ions by solvated electrons [4]. Absorbance rises from ~1.23 (0 Gy) to 2.42 (10 Gy) following a nucleation–growth–aggregation sequence, yielding a substantially larger cumulative optical change than the unmodified gel over the full dose range [5].

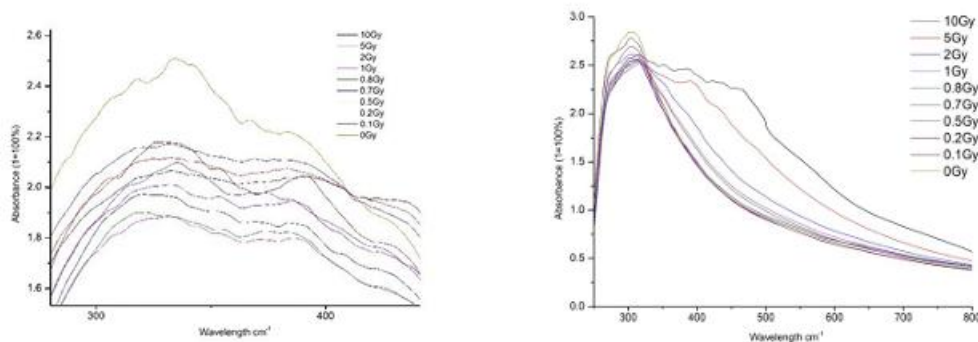


Fig. 1. Dose–response curves of NIBMAGAT at 334.64 nm (left) and AgNO₃-NIBMAGAT at 432.10 nm (right).

Conclusions. Both formulations exhibit clear dose-dependent optical responses under photon irradiation. The standard NIBMAGAT gel provides a reproducible UV-region signal governed by monomer depletion, with highest sensitivity below 1 Gy, while the AgNO₃-doped system introduces a visible-range LSPR mechanism that produces a stronger overall absorbance change across 0–10 Gy. No spectral peak shifts were observed in either system, confirming intensity-based dosimetric readout. The dual-mechanism response of the AgNO₃-modified gel supports its applicability as an optically readable dosimeter for radiation therapy quality assurance.

References

1. Baldock C., De Deene Y., Doran S., et al. Polymer gel dosimetry. *Physics in Medicine & Biology*, 2010, 55(5), R1–R63.
2. Watanabe Y., Nakaguchi Y. Three-dimensional radiation dosimetry using polymer gel and solid radiochromic polymer. *World Journal of Radiology*, 2017, 9(3), 112–125.
3. Lotfy M., Rabaeh K., et al. High dose sensitivity of NIBMAGAT polymer gel dosimeters using acetone co-solvent. *Radiation Physics and Chemistry*, 2018, 144, 337–343.
4. De Deene Y. Essential characteristics of polymer gel dosimeters. *Journal of Physics: Conference Series*, 2004, 3, 34–57.
5. Alqathami M., et al. New application of polymer gels in medical radiation dosimetry: plasmonic sensors. *Radiation Physics and Chemistry*, 2020, 168, 108–116.

CIRKONIO NITRIDO PLONŲ SLUOKSNIŲ FORMAVIMO IR PAVIRŠIAUS MORFOLOGIJOS TYRIMAS

Markas Siju Gu^{1*}, Ieva Barauskienė^{1, 2}, Kristina Bočkutė¹, Giedrius Laukaitis¹

¹ Fizikos katedra, Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva

² Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra, Cheminės technologijos fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva

*markas.gu@ktu.edu

Cirkonio nitridas (ZrN) priskiriamas pereinamųjų metalų nitridų grupei ir pasižymi savybių visuma, palankia inžinerinėms bei funkcinėms dangoms. Šiai medžiagai būdingas geras elektrinis laidumas, cheminis stabilumas, didelis kietumas ir stabilios optinės charakteristikos. Todėl ji laikoma perspektyvia alternatyva tauriesiems metalams pažangiose technologijose, tokiose kaip katalizinės sistemos, plazmoninės sistemos, biomedicininės dangos ir tribologinės apsaugos sprendimuose [1-5]. Praktiniu požiūriu ypatingą reikšmę turi ploni (<1 μm) sluoksniai, nes jų formavimo metu galima tiksliai kontroliuoti paviršiaus morfologiją ir funkcines savybes. ZrN plonų sluoksnių taikymas apima tiek pramonines, tiek biomedicines sritis, kur keliami aukšti mechaninio patvarumo ir cheminio atsparumo reikalavimai [1]. Dėl didelio mikrokietumo ir atsparumo dilimui šios dangos plačiai naudojamos kaip apsauginiai sluoksniai, nors didėjant kietumui gali mažėti hidrofobiškumas, ribojantis kai kuriuos biofunkcinius pritaikymus [4]. Lyginant su kitomis dangomis, pavyzdžiui, tetraedrinio amorfinio anglies sluoksniais, ZrN pasižymi gera adhezija, atsparumu korozijai, dideliu mikrokietumu ir tinkamomis drėkinimo savybėmis, o dangos gali reikšmingai padidinti pagrindo kietumą (iki 91% lyginant su α-titanu) [5]. ZrN dangų savybės glaudžiai susijusios su jų nusodinimo technologija. Reaktyvinio magnetroninio dulkinimo būdu suformuoti sluoksniai pasižymi geru atsparumu korozijai ir aplinkos poveikiui, todėl tinka biomedicininiam taikymui [2]. Paviršiaus šiurkštumo įtaka priklauso nuo taikymo: katalizėje didesnis šiurkštumas didina aktyvų plotą, o tribologijoje ir optikoje siekiama mažesnių nelygumų. SERS sistemose būtinas tiksliai kontroliuojamas nanometriniu šiurkštumas, leidžiantis išnaudoti plazmoninius efektus [4]. Elektrocheminėje katalizėje, pavyzdžiui, ORR (deguonies redukcijos reakcijos) metu, ZrN pasižymi aukštu aktyvumu, susijusiu su paviršiaus chemija- hidroksilinių grupių sluoksnis sudaro palankias sąlygas adsorbacijai ir reakcijos kinetikai, o vidutinio šiurkštumo paviršiai didina efektyvumą. Panašūs principai galioja NRR (azoto redukcijos) ir HER (vandenilio išsiskyrimo) reakcijose [6-7].

ZrN plonų sluoksnių savybės tiesiogiai priklauso nuo paviršiaus morfologijos, todėl skirtingoms taikymo sritims būtina valdyti šiurkštumo lygį. Šiurkštumo formavimasis yra sudėtingas procesas, apimantis pirminių darinių susidarymą, salelių augimą ir koalescenciją [7]. Padėklo savybės yra svarbios nes poliruoti paviršiai leidžia gauti lygesnes dangas, o šiurkštesni pagerina dangų adheziją. Dažniausiai naudojami PVD (fizikinio vakuuminio nusodinimo iš garų fazės) metodai, ypač reaktyvinis magnetroninis dulkinimas, leidžia tiksliai kontroliuoti sluoksnio sudėtį ir struktūrą keičiant dujų santykį, galią ir padėklo temperatūrą. Papildomas padėklo kaitinimas dangos užnešimo metu gerina dangos tankį ir mažina paviršiaus nelygumus. Šiame darbe ZrN plonosios dangos buvo nusodinamos reaktyviu magnetroniniu būdu naudojant Ar ir N₂ mišinio darbinės dujas ant AISI304 plieno. Magnetrono galia nusodinimo metu buvo keičiama 250-350W intervale keičiant nusodinimo trukmę, kad formuojamų ZrN sluoksnių storis būtų kuo vienodesnis. Atominių jėgų mikroskopijos (AFM) tyrimų rezultatai rodo, kad suformuotų ZrN plonų sluoksnių, nusodintų ant AISI304 plieno padėklo, paviršiaus

šiuurkštumas ženkliai priklauso tiek nuo reaktyvių dujų (N_2) kiekio, tiek nuo magnetroninio dulkinimo galios. Esant 250 W galiai, didžiausias šiuurkštumo padidėjimas stebimas naudojant 10 % N_2 koncentraciją, kur S_a (paviršiaus vidutinė šiuurkštumas) $3 \times 3 \mu m$ srityje siekia 25,74 nm, o didesniuose skenavimo plotuose (iki $48 \times 48 \mu m$) šiuurkštumas išauga iki 145,40 nm, kas rodo ryškų paviršiaus šiuurkščio kitimą. Tuo tarpu mažesnės (5 %) arba didesnės (15%) azoto koncentracijos lemia tolygesnę morfologiją ir mažesnes šiuurkštumo vertes. Didinant galią iki 300 W, šiuurkštumo pokyčiai tampa mažiau monotoniški. Tam tikrais atvejais (pvz., 10% N_2) stebimas šiuurkštumo sumažėjimas didesniuose plotuose, kas gali būti siejama su tankesnės struktūros formavimusi. Esant 350 W galiai, paviršiaus šiuurkštumas vėl didėja, ypač esant 5–15% N_2 koncentracijai, kur fiksuojamos didesnės S_q (paviršiaus aukščio kvadratinio vidurkio šiuurkštumo) ir R_q (profilo kvadratinio vidurkio šiuurkštumo) vertės, rodančios intensyvesnius paviršiaus nelygumus. Bendruoju atveju matyti, kad mažesniuose skenavimo plotuose ($3 \times 3 \mu m$) šiuurkštumo reikšmės yra žymiai mažesnės nei didesniuose plotuose, kas patvirtina, jog paviršiaus morfologija yra hierarchinė ir priklauso nuo matavimo mastelio. Apibendrinant galima teigti, kad optimalus paviršiaus glotnumas pasiekiamas esant mažesnei arba vidutinei azoto koncentracijai ir vidutinei dulkinimo galiai, tuo tarpu tam tikri procesiniai parametrai (ypač $\sim 10\%$ N_2 ir didesnė galia) skatina paviršiaus šiuurkštumo didėjimą, kas gali būti naudinga taikymuose, kur reikalingas padidintas aktyvus paviršiaus plotas.

Padėka. Šis darbas buvo finansuotas Nordic Energy Research (NER) pagal 2024–2026 m. Baltijos ir Šiaurės šalių energetikos mokslinių tyrimų programą, įgyvendinant projektą „Žaliojo amoniako perspektyvos tvarios energetikos plėtroje (AMPROSE)“. Projekto numeris 189698.

Literatūros sąrašas:

1. J. Glauber *et al.*, “MOCVD of ZrN: Tuning thin film properties towards catalytic applications,” *ECS Meeting Abstracts*, 2023, t. MA2023-02, nr. 47, p. 2352.
2. N. Aslan, B. Aksakal, S. Cihangir, F. Cetin, and Y. Yilmazer, “ZrN and ta-c coatings on titanium for biomedical applications: Improved adhesion, corrosion, antibacterial activity, and cytotoxicity properties,” *Journal of Materials Research*, 2023.
3. H. Liu, D. Zhang, S. Holmes, C. D’agostino, and H. Li, “Origin of the superior oxygen reduction activity of zirconium nitride in alkaline media,” *Chemical Science*, 2023, t. 14, nr. 34, p. 9000–9009.
4. N. Sucheewa *et al.*, “Reusability, long-life storage and highly sensitive zirconium nitride (ZrN) surface-enhanced raman spectroscopy (SERS) substrate fabricated by reactive gas-timing rf magnetron sputtering,” *Advanced Materials Interfaces*, 2023.
5. S. Rabadzhiyska *et al.*, “Wear and Corrosion Resistance of ZrN Coatings Deposited on Ti6Al4V Alloy for Biomedical Applications,” *Coatings*, 2024.
6. D. Zhang *et al.*, “Intrinsic properties affecting the catalytic activity toward oxygen reduction reaction of nanostructured transition metal nitrides as catalysts for hybrid na-air batteries,” *Materials*, 2023, t. 16, nr. 23, p. 7469.
7. Y. Zhang *et al.*, “Co-optimization of hardness–hydrophobicity: Comparison of homogeneous versus n-gradient ZrN films prepared by HiPIMS,” *Journal of The American Ceramic Society*, 2026.
8. S. Tang, Z. Zhang, J. Xiang, X. Yang, X. Shen, and F. Song, “Recent advances in transition metal nitrides for hydrogen electrocatalysis in alkaline media: From catalyst design to application,” *Frontiers in Chemistry*, 2022, t. 10.

STABILIZATION OF UNSTABLE ORBITS IN THE FRACTIONAL RÖSSLER SYSTEM

Rugilė Jonuškaitė^{1*}, Inga Telksnienė², Tadas Telksnys², Minvydas Kazys Ragulskis²

¹ Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Kaunas University of Technology, Lithuania

² Department of Mathematical Modelling, Kaunas University of Technology, Lithuania

*rugile.jonuskaite@ktu.edu

The abstract can be up to 1-2 pages, including tables and figures. The second page (if any) must be at least 60% full. The text font - Calibri, the text font size - 12 pt, alignment - justified. Citation in the text: [1-5].

Fractional-order dynamical systems [3,4] have gained significant attention due to their ability to model processes with memory effects. However, these features pose unique challenges for the stabilization of unstable periodic orbits (UPOs). Unlike integer-order systems, where stabilization can theoretically be maintained indefinitely from precise initial conditions, fractional-order systems exhibit a "memory tail" that acts as a persistent internal disturbance, causing the trajectory to eventually drift away from the desired orbit.

This work proposes an adaptive impulse-based stabilization technique for the fractional-order Rössler system (order $\alpha = 0.9$). The system is described by the following set of differential equations:

$$\begin{cases} {}^c D_t^\alpha x(t) = -y(t) - z(t) \\ {}^c D_t^\alpha y(t) = x(t) + ay(t) \\ {}^c D_t^\alpha z(t) = b + z(t)(x(t) - c). \end{cases}$$

The stabilization strategy utilizes the H-rank (Hankel matrix rank) [1] algorithm to assess the algebraic complexity of the system's trajectory. By monitoring the local maxima of the $z(t)$ variable, the control loop identifies divergence from the target period-1 orbit. When the peak-to-peak difference exceeds a predefined threshold δ , the algorithm triggers an impulse optimization process.

A critical component of this study is the use of a history-preserving numerical integration scheme. Since the state of a fractional system depends on its entire history, applying an impulse requires a modified product-integration (PI) rule [2]. Specifically, let $T_{imp} = t_k$ be the moment an impulse is applied. For any subsequent time step t_n (where $n > k$), the discrete convolution sum is split into a fixed history term and an active integration term:

$$y_n = y_0 + \underbrace{h^\alpha \sum_{j=0}^k w_{n,j} f(t_j, y_j)}_{\text{fixed history term}} + \underbrace{h^\alpha \sum_{j=k+1}^n w_{n,j} f(t_j, y_j)}_{\text{active integration}}$$

The modified integrator accepts the trajectory history up to the impulse moment T_{imp} as an input to pre-calculate the fixed history term. It then resumes the computation for $t > T_{imp}$ by solving for the active integration part. This ensures that the memory of the system is correctly maintained after the control intervention by incorporating the stored history as a source term, rather than simply restarting the simulation from new initial conditions.

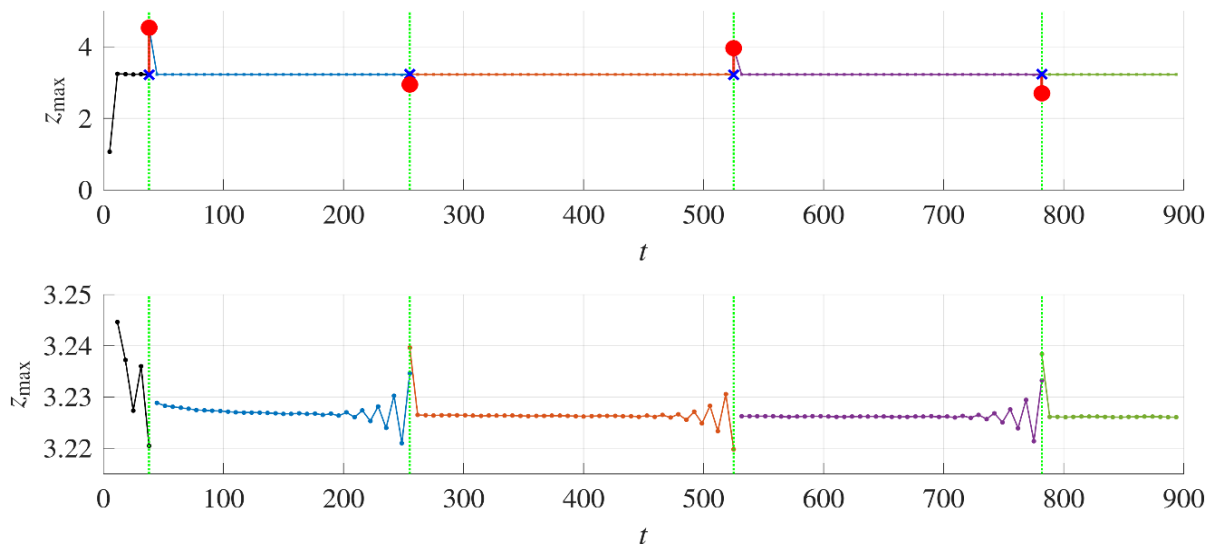


Fig 1. Successful stabilization of the unstable period-1 orbit through repeated adaptive impulses.

Numerical experiments demonstrate that the proposed technique can effectively stabilize the fractional Rössler system. The results highlight the necessity of accounting for the system's history during control optimization, as neglecting the memory tail leads to immediate divergence.

References

1. E. Uzdila, I. Telksniene, T. Telksnys, M. Ragulskis // Finite-time stabilization of unstable orbits in the fractional difference logistic map, *Fractal and Fractional* 7 (8), 2023, 570.
2. R. Garrappa // Numerical solution of fractional differential equations: A survey and a software tutorial, *Mathematics* 6 (2), 2018, 16.
3. J. Čermák, L. Nechvátal // Local bifurcations and chaos in the fractional Rössler system, *International Journal of Bifurcation and Chaos* 28 (08), 2018, 1850098.
4. O. E. Rossler, An equation for continuous chaos, *Physics Letters A* 57 (5) (1976) 397–398.

KOBALTO KONCENTRACIJOS ĮTAKA GELEŽIES OKSIDŲ PLONŲJŲ DANGŲ STRUKTŪRAI IR ELEKTROCHEMINIAM AKTYVUMUI

Titas Chimičius^{1*}, Ieva Barauskienė^{1,2}, Kristina Bočkutė¹, Giedrius Laukaitis¹

¹ Fizikos katedra, Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva

² Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra, Cheminės technologijos fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva

*titas.chimicius@ktu.lt

Žalioji vandenilis laikomas vienu perspektyviausių energijos nešiklių, galinčių reikšmingai sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas ateities energetikos sektoriuje. Vienas pagrindinių jo gamybos būdų yra vandens elektrolizė, naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius. Priklausomai nuo taikomos technologijos, išskiriami šie pagrindiniai elektrolizės metodai: šarminė elektrolizė (AE), protonų mainų membranos elektrolizė (PEM), kietojo oksido elektrolizė (SOEC) bei anijonų mainų membranos elektrolizė (AEM) [1].

AEM elektrolizeriai pasižymi kompaktiškumu ir veikimu santykinai žemose temperatūrose. Jie veikia šarminėje terpėje ir leidžia naudoti netauriųjų metalų katalizatorius. Nepaisant to, šiai technologijai vis dar būdingi reikšmingi trūkumai, tokie kaip ribotas ilgaamžiškumas bei spartus katalizatorių degradavimas, todėl AEM sistemos dar nėra pilnai pritaikytos pramoniniam mastui. Vienas esminių iššūkių yra deguonies evoliucijos reakcijos (OER) kinetika. Ši reakcija pasižymi didesniais energiniais barjeriais nei vandenilio evoliucijos reakcija (HER), todėl OER katalizatoriai tampa bendrą proceso efektyvumą ribojančiu veiksniu [2].

Šiame darbe kobaltu legiruotos geležies oksidų plonosios dangos buvo formuojamos reaktyviojo magnetroninio nusodinimo būdu ant mechaniškai paruošto AISI 302 plieno paviršiaus. Buvo ištirtos šių dangų fizikinės ir cheminės savybės bei įvertintas jų elektrocheminis aktyvumas AEM elektrolizės sąlygomis. Bandiniai buvo suformuoti, keičiant kobalto magnetrono galią ir taip reguliuojant Co koncentraciją dangose. Kobalto atominė koncentracija nustatyta energijos dispersinės rentgeno spektroskopijos (EDS) metodu (žr. 1 lentelę).

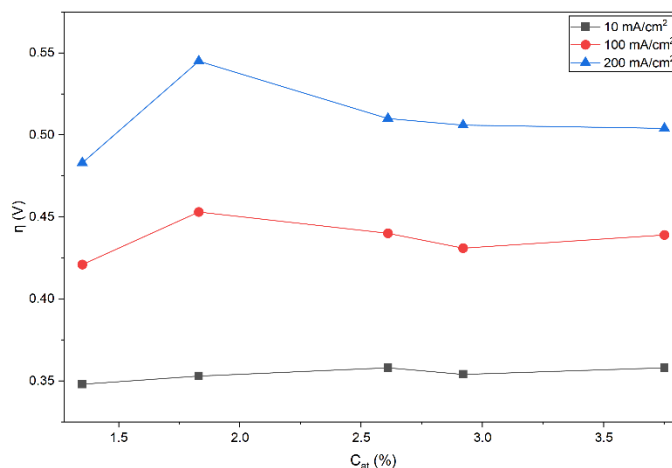
1 lentelė. Suformuotų FeO-Co plonų dangų Co atominė koncentracija esant skirtingai magnetrono galiai.

Bandinio pavadinimas	Co magnetrono galia, W	Co at. %
Co1.35	60	1.35
Co1.83	100	1.83
Co2.61	140	2.61
Co2.92	180	2.92
Co3.75	220	3.75

Bandinių kristalinė struktūra ir fazinė sudėtis tirta rentgeno difrakcijos (XRD) metodu. Nustatyta, kad didėjant Co koncentracijai mažėja dangų kristališkumas. Ramano spektroskopijos analizė parodė fazinės sudėties kitimą: Co1.35 bandinyje dominavo α -Fe₂O₃ fazei būdingos smailės, kurios silpnėjo didėjant kobalto kiekiui (Co1.83 ir Co2.61). Visuose bandiniuose stebėtos plačios smailės ties 650-700 cm⁻¹, kurios didesnės koncentracijos bandiniuose (Co2.92 ir Co3.75) pasislinko didesnių bangos skaičių link, kas gali būti siejama su α -Fe₂O₃ transformacija į Fe₃O₄ fazę. Kiekybinė fazinė analizė atlikta remiantis smailių plotų įvertinimu [3].

Paviršiaus morfologija analizuota skenuojančiosios elektroninės mikroskopijos (SEM) metodu. Nustatyta, kad paviršiaus struktūra stipriai priklauso nuo pagrindo paruošimo. Siekiant tiksliau įvertinti paviršiaus šiurkštumą, atlikti atominės jėgos mikroskopijos (AFM) matavimai $9,9 \times 9,9 \mu\text{m}$ ir $3 \times 3 \mu\text{m}$ plotuose, leidžiantys diferencijuoti bendrą ir lokalių šiurkštumą.

Elektrocheminės savybės tirtos naudojant potenciostatą–galvanostatą trijų elektrodų sistemoje šarminėje terpėje. Nustatyta, kad geriausiu elektrocheminiu aktyvumu, vertinant pagal viršįtampį ir Tafelio nuolydį, pasižymi mažiausios kobalto koncentracijos bandinys Co1.35 (žr. 1 pav.).



1 pav. Viršįtampio priklausomybė nuo Co koncentracijos dangoje

Padėka. Šie tyrimai buvo finansuoti Lietuvos mokslo tarybos (LMT), [Sutarties Nr. P-MIP-24-237].

Literatūros sąrašas

1. B. Amini Horri, H. Ozcan // Green hydrogen production by water electrolysis: Current status and challenges, 2024, t. 47, p. 100932.
2. M. Ranz, G. Gruber, K. Mayer ir kt. // Dynamics of anion exchange membrane electrolysis: Unravelling loss mechanisms with electrochemical impedance spectroscopy, reference electrodes and distribution of relaxation times, 2024, t. 606, p. 234455.
3. A. R. Zanatta // A fast-reliable methodology to estimate the concentration of rutile or anatase phases of TiO₂, 2017, t. 7, nr. 7, p. 075201.

SUSTAINABLE POWER GENERATION: COST AND EMISSION OPTIMIZATION
 APPROACH

Umme Aimon^{1*}, Saulius Gudžius²

¹ Electrical and Electronic Engineering, Kaunas University of Technology, Lithuania

² Electrical and Electronic Engineering, Kaunas University of Technology, Lithuania

* umme.aimon@ktu.edu

This research paper illustrates the economic load dispatch (ELD) problem and the optimization of electricity generation through the Pyomo library in Python. The aim is straightforward: to keep generation costs low and emissions under control, while still ensuring that electricity demand is reliably met within each generator’s safe operating range. The research uses computer coding, mathematical representation and visualization to investigate the tradeoffs between economic and environmental goals in a power system.

The main data source, Test_Data_Gen_Opt_EM.csv, provides the basic information about each power generator, including its cost coefficients (a, b, c), and power output limits (Pmin, Pmax). Additional hourly data, such as load demand and wind generation, were imported from D_Load_Wind1.csv. Several models were then developed, each one testing a different scenario—some focusing on cost reduction alone, others examining the balance between cost and emissions, or the influence of renewable input.

The optimization model is essentially a minimization model of the generation cost. The cost is represented by a quadratic function of the generators' power and cost coefficients. To ensure the system is going to operate correctly, several simple constraints are used: the total generation has to be sufficient to cover the load, and generation cannot be lower than the minimum or higher than the maximum production [1], [2].

$$\text{Minimize } F = \sum (a_g + b_g P_g + c_g P_g^2)$$

Subject to:

$$\sum P_g = P_{load}$$

$$P_{gmin} \leq P_g \leq P_{gmax}$$

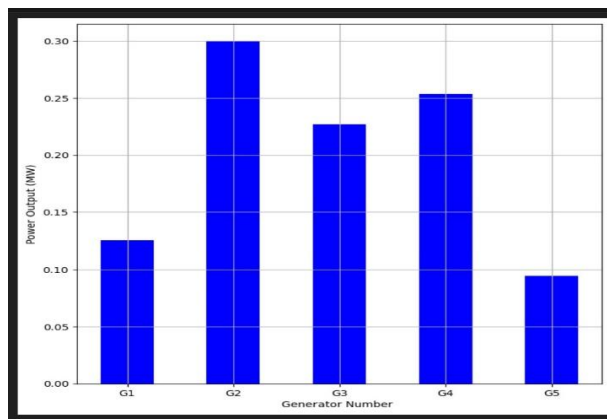


Fig. 1. Distribution of Power Output among Generators

Figure 1 shows the optimal generation dispatch for five generators. The larger proportion of generation comes from generators with lower cost coefficient (e.g. G2, G4) since they are more efficient and have lower operating costs. Generators with higher marginal cost (G1 and G5) are dispatched with lower generation. This dispatch is in line with conventional ELD theory

where the marginal cost of all units at the optimal point is almost identical [1]. This ensures the overall cost is minimized while the supply is adequate.

Table 1. Generator Output and Their Contributions

Generator	Output (MW)	Contribution (%)
G1	28	9.33
G2	90	30.00
G3	68	22.67
G4	76	25.33
G5	38	12.67

From these results, it becomes clear that the cheaper generators handle most of the demand, while those with higher operating costs are engaged mainly during peak periods. Experiments introduced a multi-objective approach, where emissions were added as a secondary objective. The inclusion of emission coefficients turned the model into a more realistic environmental assessment. The two criteria (cost and emission) were simultaneously optimized to generate a Pareto front that shows how the cost rises when emission is reduced [3], [4]. This curve illustrates the trade-off between cost and emission reduction. The system operator can select a suitable operating point along the curve depending on the priority of cost or emission reduction for the system [4].

The last stage of the work expanded the model to consider changes over time. Hourly demand values across 24 periods were used to simulate the scheduling of generators and integration of wind power. Additional conditions, such as ramp-up and ramp-down limits, were introduced to model realistic operational restrictions. The time-series graphs showed how generation remained largely stable but adjusted whenever wind output varied. This made the analysis closer to real-world operation, where renewable sources are increasingly integrated with traditional generation [3], [4].

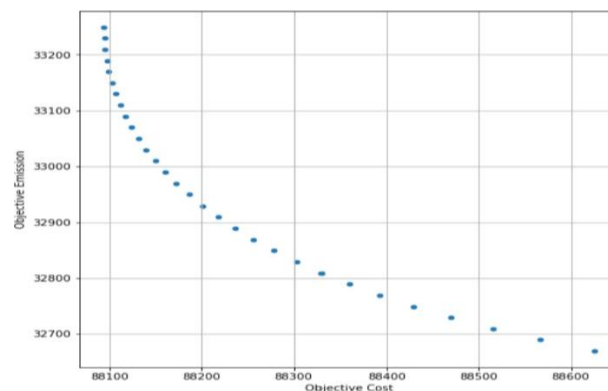


Fig. 2. Pareto Front: Trade-off between Generation Cost and Emission Cost

In conclusion, this report demonstrates how numerical modeling can support everyday engineering decisions—balancing cost, reliability, and sustainability [3], [4]. The same method could be extended to larger, more complex networks to test policy changes, enhance system planning, or guide future energy design.

References

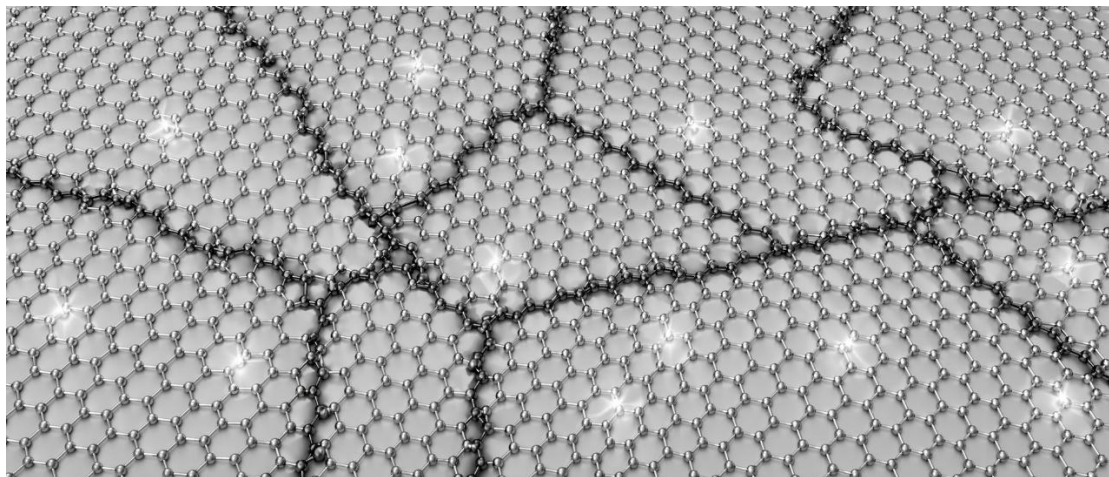
1. Wood, A.J., Wollenberg, B.F. Power Generation, Operation, and Control. John Wiley & Sons, New York, 1996.
2. Zimmerman, R.D., Murillo-Sánchez, C.E., Thomas, R.J. MATPOWER: Steady-State Operations, Planning and Analysis Tools for Power Systems Research and Education. IEEE Transactions on Power Systems, 2011.
3. Biskas, P.N., Bakirtzis, A.G. Decentralized Control and Optimization in Electric Power Systems. Springer, 2004.
4. Deb, K. Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms. John Wiley & Sons, London, 2001.

LAUKO TRANZISTORIŲ SU DVIMAČIU GRAFENO KANALU KŪRIMAS, GAMYBA IR TYRIMAS

Vidmantas Kumža

*Elektros ir elektronikos fakultetas, Kauno technologijos universitetas, Lietuva
vidmantas.kumza@ktu.lt*

Viena iš svarbių problemų, taikant grafeną lauko tranzistoriuose, yra grafeno sluoksnio kokybės ir sąveikos su pagrindu įtaka įtaiso elektrinėms charakteristikoms. Dėl didelio krūvininkų judrio ir palankių elektrinių savybių grafenas laikomas viena iš perspektyvių medžiagų naujos kartos elektronikos įtaisams. Šiame darbe kuriamas, gaminamas ir tiriamas lauko tranzistorius su dvimačio grafeno kanalu. Darbo tikslas – pagaminti ir ištirti lauko tranzistorių su grafeno kanalu bei įvertinti nusodinto grafeno tinkamumą tokioms struktūroms. Grafeno sluoksnis nusodinamas taikant plazma aktyvuotą cheminį nusodinimą iš garų fazės (PECVD), o tranzistorius formuojamas su apatine užtūra. Grafeno kokybei ir struktūrinėms savybėms įvertinti taikoma Ramano spektroskopija, leidžianti nustatyti sluoksnio kokybę, defektų lygį ir sluoksnių sandarą. Toliau tiriamos pagaminto tranzistoriaus elektrinės charakteristikos ir nustatomi pagrindiniai elektriniai parametrai. Papildomai atliekamas modeliavimas COMSOL aplinkoje, siekiant įvertinti kontaktų įtaką apskaičiuotam krūvininkų judriui. Gauti rezultatai rodo, kad susiformavo keletas sluoksnių grafenas, kuriam būdingas struktūrinis netvarkingumas ir grafeno bei pagrindo sąveikos sukelti efektai. Nustatyta, kad pagrindinis elektronų judrį ribojantis veiksnys yra pagrindo sukeltas savaiminis legiravimas, o defektų įtaka yra antraeilė. Atliktas modeliavimas parodė, kad mažesnės judrio vertės gali būti iš dalies paaiškintos kontaktinės varžos įtaka.



1 pav. Grafeno gardelės vaizdas su grūdelių ribomis ir legiravimu

Padėka. Nuoširdžiai dėkoju baigiamojo darbo vadovui dr. Šarūnui Meškiniui ir mokslo darbuotojui dr. Rimantui Gudaičiui už konsultacijas, vertingus patarimus ir pagalbą rengiant šį darbą.

Studentų mokslinės konferencijos
MATEMATIKA IR GAMTOS MOKSLAI:
TEORIJA IR TAIKYMAS
pranešimų medžiaga

Išleido Kauno technologijos universitetas, K. Donelaičio g. 73, LT44029 Kaunas