

# Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

## Instituudi 2025. aasta teadus- ja arendustegevuse ülevaade

### **Instituudi 2025. aasta kuni 3 kõige olulisemat edulugu**

Stanford/Elsevier maailma tipp 2% teadlased: elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudist 10 maailma tippu;

Jõuelektronika uurimiserühma eestvedamisel toimus juunis Tallinn DC Week – üritusterohke alalisvoolu nädal on ainulaadne üritus EL-is ja maailmas ning tõi kokku üle 300 oma ala tipptegija 30 erinevast riigist.

Doktoritöö kaitses 13 värsket doktorit

### **TA valdkonna väljakutsed 2026. aastaks**

Seoses hea tööga 2024 ja 2025 aasta tudengite värbamisel on meil suurenenud tudengite arv ja juurde on vaja täiendavat õpet toetavat personali ja õppejõudusid. Teadurilt oodatakse lisaks teadus- ja arendustööle veel tudengite juhendamist ja panustamist õppetöö taseme parandamisse.

Laborite taristu on vananenud - koos õppelaboritega peame vaatama üle oma teaduslaborid– milliseid laboreid eelisarendada ja milliste arendamisest sootuks loobuda.

### **TA valdkonna 2025. aasta väljakutsed ja nende tulemused**

#### *Väljakutse*

Seoses hea tööga 2024 ja 2025 aasta tudengite värbamisel on meil suurenenud tudengite arv ja juurde on vaja täiendavat õpet toetavat personali ja õppejõudusid. Teadurilt oodatakse lisaks teadus- ja arendustööle veel tudengite juhendamist ja panustamist õppetöö taseme parandamisse.

Laborite taristu on vananenud - koos õppelaboritega peame vaatama üle oma teaduslaborid– milliseid laboreid eelisarendada ja milliste arendamisest sootuks loobuda.

*Täitmine/tulemused*

-

**Olulisemad soetatud seadmed**

NRG-211

Kartesian tüüpi tööstusrobot, FESTO Didactic TP1421 ja TP1422

NRG-431

Täppismõõte- ja visualiseerimise süsteem Obsidian-R8, Dewesoft

NRG-126

100kV AC sidestuskondensaator Haefely 9230/100/1

Akustiline osalahenduste mõõtja EA Technology UltraTEV® Plus2 Kit 3 with UTP2-WPR

Kaabli "kuumutamise" trafo Himalayal HCTS-6000A/8.33V/50kVA

NRG-322B

Häiringute analüsaator, FPH Spectrum Rider

NRG-527

Ruggedcom switch RST2228

**Koondhinnang instituudis kasutusel oleva taristu seisundi kohta**

amortiseerunud

**Selgitus instituudis kasutusel oleva taristu seisundi kohta**

Taristu on soetatud põhiosas 20 aastat tagasi ning vahepealsel ajal suuremaid uuendusi ei ole tehtud

# 1 Mehhatroonika ja autonoomsete süsteemide uurimisrühm

## Uurimisrühma juht

Anton Rassõlkin, kaasprofessor tenuuris, [anton.rassolkin@taltech.ee](mailto:anton.rassolkin@taltech.ee)

## Uurimisrühma liikmed

Anton Rassõlkin, Doktor, kaasprofessor tenuuris

Mahmoud Ibrahim Hassanin Mohamed, Doktor, teadur

Even Sekhri, Doktor, lektor

Tiia Tammaru, Teadusmagister, lektor

Leo Teder, Teadusmagister, lektor

Daniil Valme, Magister, doktorant-nooremteadur

Rolando Antonio Gilbert Zequera, Doktor, doktorant-nooremteadur

Diana Belolipetskaja, Kõrgharidus, doktorant-nooremteadur

Johannes Muru, Magister, doktorant-nooremteadur

Andres Aleksander Kase, Muu, laborant

Kenari Koonik, Rakenduskõrgharidus, haridus- ja turundustegevuste spetsialist

Martin Võip, Kesk, laboriinsener

Karl Aleksander Leoste, Kõrgharidus, õppeassistent

Kevin Lindlaan, , õppeassistent

Assem Reda Abdelhafez Fahim Meghawer, , doktorant-nooremteadur

Sven Rosenberg, , õppeassistent

Margus Tõnissaar, Doktor, õppekvaliteedi ja -arendustegevuse ekspert

Martin Võip, Kesk, laboriinsener

Aure Vainu-Konnapere, , õppeassistent

## Võtmesõnad

### Eesti keeles

mehhatroonikasüsteemide kavandamine ja juhtimine; veoajam; digitaalsed kaksikud; mehitamata õhu- ja maismaasõidukite simulatsioonid; masinnägemise rakendused

### Inglise keeles

design and control of mechatronic systems; propulsion drive; Digital Twins; UGV and UAV simulations; machine vision applications

## Uurimisrühma kompetentside tutvustus

### Rühma ülevaade eesti keeles

Mehhatroonika on üks dünaamilisemaid tehnikasuundi maailmas ja kujutab endast sünergiat infotehnoloogiast, elektroonikast, optikast ja mehhaanikasüsteemidest.

Mehhatroonika ja autonoomsete süsteemide uurimisrühma teadustegevused on

suunatud valdkonna edasiarengule. Tänapäevased sõidukid (sh erinevad

elektritranspordivahendid, nn elektriautod, mehitamata maismaa- ja õhusõidukid)

nõuavad ka energiatõhususe optimeerimist. Selle eesmärgi saavutamiseks tegutseb uurimisrühm mitmete katseplatvormide ja digitaalsete kaksikute arendamisega.

Sõidukite tööelu pikendamiseks ja tõrkeriskide vähendamiseks uuritakse võimalusi reaal- ja virtuaalsensorite kombineerimiseks tehisintellektiga.

Lisaks sellele on teadus- ja arendustegevuse põhifookuses robotika ja

automaatika juhtsüsteemide tehisintelligentsil põhineva riist- ja vastava tarkvara väljatöötamine ning kasutajaliideste loomine süsteemide, sensorika ja eriti uute masinnägemise rakenduste väljatöötamiseks. Rõhk on tööstusrobotika ning mehitamata maismaasõiduki (UGV) ja mehitamata õhusõiduki (UAV) süsteemidel ning samuti hardware-in-the-loop simulatsiooni- ja testsüsteemide loomisel.

Mehhatroonika ja autonoomsete süsteemide uurimisrühm pakub ekspertiise, konsultatsioone, koolitusi ja teaduspartnerlusi.

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

Mechatronics is one of the most dynamic technical trends in the world and represents the synergy of IT, electronics, optics, and mechanical systems. The research activities of the Mechatronics and Autonomous Systems Research Group are directed at the further development of the field.

The Mechatronics and Autonomous Systems Group's research activities focus on further development of mechatronics and autonomous systems. Modern vehicles (including various electric vehicles, e.g., electric cars, unmanned land, and aircraft) also require energy efficiency optimization. The research team is developing several test platforms and digital twins to achieve this goal. The possibilities of combining real and virtual sensors with artificial intelligence are being explored to prolong the working life of vehicles and reduce the risk of failure.

Additionally, the main focus of R&D is the development of hardware and related software based on artificial intelligence for robotics and automation control systems and developing user interfaces for systems, sensing, and especially new machine vision applications. The emphasis is on industrial robotics and the development of unmanned aerial vehicle (UGV) and unmanned aerial vehicle (UAV) systems, as well as hardware-in-the-loop simulation and test systems.

The mechatronics and autonomous systems research group offer expertise, consultations, training, and research partnerships.

### **Viimaste aastate olulisemad projektid:**

PRG2532 Täiustatud digitaalsed arendusvahendid tarkvarapõhiste elektrisõidukite väljatöötamise kiirendamiseks 2025 - 2029 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/3dddf67a-04b1-4b1d-87ca-237d145e1613>

TFA25099 Tehisintellektipõhine adaptiivne veoajami juhtimissüsteem 2025 - 2026 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/6993f0d1-35bd-4b3c-9ac0-da8ec85728ac>

### **Viimaste aastate olulisemad artiklid:**

Gilbert Zequera, Rolando Antonio; Rjabtšikov, Viktor; Rassõlkin, Anton; Vaimann, Toomas; Kallaste, Ants (2024). Deep Learning methodology for charging management applications in battery cells based on Neural Networks. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, 1–15. DOI: 10.1109/TIV.2024.3417216. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/119c9e4d-4cfe-44bc-a16d-fd87de4911aa>

Ibrahim, Mahmoud; Järg, Oskar; Seppago, Raigo; Rassõlkin, Anton (2025). Performance Optimization of a High-Speed Permanent Magnet Synchronous Motor Drive System for Formula Electric Vehicle Application. Sensors, 25, 10, #3156. DOI: 10.3390/s25103156. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/89fe4bd2-b885-4778-bfc6-2833a0ab9c49>

Ibrahim, Mahmoud; Rassõlkin, Anton (2025). Hybrid-Driven Digital Twin Modelling Framework for an EV Propulsion Drive System. IET Intelligent Transport Systems, 19, 1, #e70099. DOI: 10.1049/itr2.70099. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/87d635a6-35d4-4f1a-9074-29ec10d5c0f4>

Gilbert Zequera, R. A.; Rassõlkin, A.; Vaimann, T.; Kallaste, A. (2025). Kolmogorov-Arnold Networks for algorithm design in Battery Energy Storage System applications. Energy Reports [ilmumas]. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/a5f1bf66-5e02-4065-adeb-8897589568e4>

Olmos Medina, Javier Santiago; Maradey Lázaro, Jessica Gissella; Rassõlkin, Anton; Ibrahim, Mahmoud (2025). The Road Ahead: A Comprehensive Review of Recent Advances in Traffic Sign and Lane Line Recognition for Autonomous Systems. IEEE Open Journal of Vehicular Technology, 1–20. DOI: 10.1109/OJVT.2025.3635022. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/4d2067de-7601-44fc-bbb6-59ad12697984>

## **Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused**

### **Eesti keeles**

Alustati uut teadusprojekti PRG2532 „Täiustatud digitaalsed arendusvahendid tarkvarapõhiste elektrisõidukite väljatöötamise kiirendamiseks“ (01.01.2025–31.12.2029), mille eesmärk on edendada elektrilise jõuseadme digikaksiku (DT) tehnoloogiat tarkvara poolt juhitud elektrisõidukite (SDEV-de) arenduses. Projekt keskendub digikaksikute arendamisele adaptiivsuse ja intelligentsuse tasandil ning vastab vajadusele pakkuda tõhusaid katsetamis- ja hindamismeetodeid elektriliste tõukejõuseadmete jaoks kooskõlas Euroopa Liidu puhtale energiale ülemineku eesmärkidega. Tuginedes digikaksikute tehnoloogia kiirele arengule, panustab projekt tarkvarapõhiste sõidukite (SDV) tehnoloogiasse täiustatud modelleerimise, ulatusliku andmete kogumise, asjade interneti (IoT) integreerimise ning süsteemide optimeerimise kaudu. Peamised uurimisväljakutsed hõlmavad digikaksikute elutsükli haldamist, andmete töötlemist ning usaldusväärse reaajas suhtluse tagamist füüsiliste ja virtuaalsete süsteemide vahel. Projekt hõlmab täiustatud modelleerimist, andmete kogumist, IoT- ja sideinfrastruktuuri arendamist, süsteemide integreerimist, optimeerimist ning tehnoloogia tutvustamist.

Käivitati ka projekt TFA25099 (2021–2027.1.01.25–1075) „Tehisintellektipõhine adaptiivne veoajami juhtimissüsteem“ (01.09.2025–31.08.2026), mille vastutav

täitja on Anton Rassõlkin Tallinna Tehnikaülikooli Inseneriteaduskonna Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudist. Projekti finantseerib Riigi Tugiteenuste Keskus kogumahus 75 000 eurot. Projekti eesmärk on arendada nutikas ja adaptiivne elektriveoajam, mis suurendab elektrisõidukite energiatõhusust ja töökindlust. Uuenduslik lahendus ühendab tehisintellektil põhineva juhtimise ja täiustatud sensoritehnoloogia, võimaldades ajamil kohanduda reaajas liiklus- ja teeolude muutustega. Projekti tulemusena valmib laboriprototüüp, kasutajasõbralik tarkvaralahendus andmete kogumiseks ja töötlemiseks ning põhjalik tehniline dokumentatsioon, mis lihtsustab süsteemi praktilist rakendamist ja edasist kasutuselevõttu.

Kolme doktoritöö edukas kaitsmine:

1. Siarhei Autsou, doktorikraad, 2025, (juh) Toomas Vaimann; Anton Rassõlkin, Fault Tolerant Control and Diagnosis Strategies for Cartesian Industrial Robot Motion Control Planning System (Tõrketaluvusega juhtimis- ja diagnostikastrateegiad tööstusliku karteesianroboti liikumise planeerimise juhtimissüsteemi jaoks), Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut.

2. Mahmoud Ibrahim Hassanin Mohamed, doktorikraad, 2025, (juh) Anton Rassõlkin, Advanced Modelling Frameworks for the Digital Twin of an Autonomous Electric Vehicle Propulsion Drive System (Autonoomse elektrisõiduki veoelektrijami digitaalse kaksiku täiustatud modelleerimise raamistikud), Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut.

3. Rolando Antonio Gilbert Zequera, doktorikraad, 2025, (juh) Anton Rassõlkin; Toomas Vaimann, Artificial Intelligence-Based Predictive Analytics for Battery Energy Storage Systems in Electric Vehicle Applications (Tehisintellektil põhinev ennustav andmeanalüüs akupõhiste energiasalvestussüsteemide jaoks elektrisõidukites), Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut.

### **Inglise keeles**

\* A new research project, PRG2532 “Advanced Digital Tools to Accelerate the Development of Software-Defined Electric Vehicles” (01.01.2025–31.12.2029), was launched to further advance Electric Propulsion Drive System (EPDS) Digital Twin (DT) technologies for Software-Defined Electric Vehicles (SDEVs). The project targets the evolution of DTs toward adaptive and

intelligent levels, addressing the growing demand for efficient testing, validation, and optimization of electric propulsion systems in alignment with the EU clean energy transition objectives. Building on rapid developments in digital twin technologies, the project focuses on advanced modeling approaches, comprehensive data gathering, IoT integration, and robust communication infrastructures to enable real-time interaction between physical and virtual systems. Key research challenges include lifecycle management of digital twins, large-scale data processing, and reliable real-time communication. Through system integration, optimization, and technology demonstration, the project aims to make a significant contribution to the development of next-generation software-defined electric vehicle platforms.

\* Another project, TFA25099 (2021–2027.1.01.25–1075) “Artificial Intelligence–Based Adaptive Drive Control System” (01.09.2025–31.08.2026), was initiated under the leadership of Principal Investigator Anton Rassõlkin at Tallinn University of Technology, School of Engineering, Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics. Financed by the State Shared Service Center with a total budget of 75,000 EUR, the project focuses on the development of a smart and adaptive electric drive system aimed at improving the energy efficiency and reliability of electric vehicles. The proposed solution integrates artificial intelligence–based control algorithms with advanced sensor technologies, enabling real-time adaptation to varying traffic and road conditions. The project outcomes include the development of a laboratory-scale prototype, a user-friendly software solution for data acquisition and processing, and comprehensive technical documentation to facilitate practical implementation and future technology transfer.

\* Successful defence of three doctoral theses:

1. Siarhei Autso, Doctor's Degree, 2025, (sup) Toomas Vaimann; Anton Rassõlkin, Fault Tolerant Control and Diagnosis Strategies for Cartesian Industrial Robot Motion Control Planning System, Tallinn University of Technology, School of Engineering, Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics.

2. Mahmoud Ibrahim Hassanin Mohamed, Doctor's Degree, 2025, (sup) Anton Rassõlkin, Advanced Modelling Frameworks for the Digital Twin of an Autonomous Electric Vehicle Propulsion Drive System, Tallinn University of Technology, School of Engineering, Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics.

3. Rolando Antonio Gilbert Zequera, Doctor's Degree, 2025, (sup) Anton Rassõlkin; Toomas Vaimann, Artificial Intelligence-Based Predictive Analytics for Battery Energy Storage Systems in Electric Vehicle

Applications, Tallinn University of Technology, School of Engineering,  
Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics.

## Rühma TA seotus ühiskonnas aktuaalsete probleemidega ning neile lahenduste pakkumisega

### Eesti keeles

Mehhatroonika süsteemide kasutamine tööstuses võimaldab automatiseerimist ja efektiivsuse suurenemist. See võib viia tootmise suurenemiseni, kulude vähenemiseni ja toodete parema kvaliteedini. Samuti muudab mehhatroonika koduautomaatikat ning pakub nutikamaid, energiatõhusamaid, turvalisemaid ja mugavamaid lahendusi.

Mehhatroonika ja autonoomsete süsteemide uurimisrühma tegevused mõjutavad transpordivahendeid, näiteks autonoomsete sõidukite arendamisel. See võib suurendada liiklusohutust, vähendada ummikuid ning mõjutada üldist transpordi ökonoomilisust ja keskkonnasäästlikkust.

Mehhatroonika valdkond mõjutab ka haridust ja teadusarendust, pakkudes uusi võimalusi inseneriteaduste õpetamiseks ja uurimiseks.

### Inglise keeles

The use of mechatronic systems in industry enables automation and increased efficiency. This can increase production, lower costs, and better product quality. Mechatronics is also changing home automation and offers smarter, more energy-efficient, safer, and more convenient solutions.

The activities of the Mechatronics and Autonomous Systems research group affect means of transport, for example, in the development of autonomous vehicles. This can increase road safety, reduce congestion, and affect the overall economy and environmental sustainability of transport.

The field of mechatronics also influences education and research development, providing new opportunities for engineering teaching and research.

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

### Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas

Patentne leiutis: Meetod, seade, arvutiloetav andmekandja juhiste salvestamiseks ja tarkvaratoode akude energiasalvestussüsteemi (BESS) haldamiseks, kasutades

Kolmogorov-Arnoldi võrke (KAN-e); Omanikud: Tallinna Tehnikaülikool, Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut; Autorid: Rolando Antonio Gilbert Zequera; Prioriteedi number: P202500008; Prioriteedi kuupäev: 06.02.2025.

### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöök**

Mehhatroonika ja autonoomsete süsteemide uurimisrühm pakub ekspertiise, konsultatsioone, koolitusi, teaduspartnerlust.

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Mehhatroonika ja autonoomsete süsteemide uurimisrühm pakub laialdast ekspertiisi, konsultatsioone, koolitusi ja teaduspartnerlust, toetades nii tööstust kui ka akadeemilist kogukonda. Rühm keskendub valdkondadele, mis on seotud mehhatroonika, autonoomsete süsteemide ning e-transporti arendamise ja rakendamisega.

Aastal 2025 on uurimisrühma peamiseks tegevusteks ekspertiiside pakkumine mehhatroonika ja e-transporti valdkonnas, sealhulgas praktilised lahendused ja tehnoloogiate rakendamine teaduslaborites. Lisaks osaleb rühm aktiivselt rahvusvahelistes koostööprojektides, sealhulgas Horizon Europe ja Eesti Teadusagentuuri (ETAG) personaalsete uurimisgrantide taotlemisel. Need algatused toetavad uute teadusuuringute läbiviimist ja teadmussiiret, edendades innovatsiooni ja tehnoloogia arengut nii Eesti kui ka rahvusvahelisel tasandil.

### **Täiendav info:**

**Uurimisrühma seotus TalTech TA prioriteetse suunaga (kuni kaks olulisemat suunda):**

- 2. Usaldusväärsed IT lahendused
- 1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad

**Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond – kuni 2 alamvaldkonda Frascati Manuaali klassifikaatori alusel ja kuni 3 teaduseriala CERCS klasifikaatori alusel.**

Frascati Manuaali teadusvaldkonnad:

- 2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

CERCSi teaduserialad:

T455 Mootorid ja ajamid

T190 Elektrotehnika

T121 Signaalitöötlus

**Hinnang rühma kasutuses olevale TA taristule (sh kollektioonid ja andmekogud), piisavus ja seisund**

Hinnang seisundile:

Seisundi selgitus:

**Uurimisrühma liikmete osalus oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös lõppenud aastal**

\* Anton Rassõlkin, PhD

\* IEEE Vehicular Technology Society (VTS) Chapter, IEEE Estonia Section - sektsiooni esimees;

\* Läti Teadusnõukogu (LCS) - ekspert/hindaja

\* IEEE Vehicular Technology Society/Communications Based Train Control and Signals (VT/CBTC&SIG) standardi nõukoogu liige;

\* IEEE vanemliige;

\* EAI liige;

\* CUCEE võrgustiku koordinaator Tallinna Tehnikaülikoolis (<http://e-cucee.eu/>);

\* COST Action CA22151 - Cyber-Physical systems and digital twins for the decarbonisation of energy-intensive industries (CYPHER) 3. ja 4. töögrupide liige;

\* Mahmoud Ibrahim Hassanin Mohamed, PhD

\* IEEE Liige;

\* IEEE VTS liige;

\* IEEE Vehicular Technology Society (VTS) Chapter, IEEE Estonia Section - sektsiooni aseesimees;

\* Margus Tõnissaar, PhD:

\* Eesti Psühholoogide Liidu president;

\* Daniil Valme, doktorant-nooremteadur

\* IEEE Üliõpilasliige;

\* IEEE VTS liige;

\* Johannes Muru, doktorant-nooremteadur

\* IEEE Üliõpilasliige;

\* IEEE VTS liige;

\* EAI liige;

\* Diana Belolipetskaja, doktorant-nooremteadur

\* IEEE Üliõpilasliige;

\* IEEE VTS liige;

\* EAI liige;

\* Assem Reda Abdelhafez Fahim Meghawer, doktorant-nooremteadur

\* IEEE Üliõpilasliige;

\* Martin Võip, magistrant

\* IEEE Üliõpilasliige;

\* IEEE VTS liige;

### **Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit**

#### **Välispartnerid:**

- Aalto university, School of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Mechatronics, Soome (projektitaotluste ettevalmistamine, jms.)
- Lund University, Department of Physics, Rootsli (projektitaotluste ettevalmistamine jms.)
- DeweSoft, andmehõivesüsteemid (õppeprojektid, koostööprojektid)

#### **Eesti partnerid:**

- Wisebalt OÜ, eMobility (õppeprojektid, koostööprojektid)
- Phoenix Contact UAB, Eesti (õppeprojektid, koostööprojektid)
- Formula Student Team Tallinn (õppeprojektid)

### **Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

\* Anton Rassõlkin

\* 2025.05.08 - Konverentsi peatekannet "Digital Twin Technology for Electric Propulsion in Software-Defined Electric Vehicles" Biosystems Engineering 2025, 7.-9. mai 2025, Eesti Maaülikool, Tartu, Eesti

\* 2025.11.14 - Külalisloeng "Digital Twin Technology for Electric Propulsion in Software-Defined Electric Vehicles" - Kaunas University of Technology, Lithuania, Kaunas;

\* Mahmoud Ibrahim

\* Töötuba "Hands on Introduction to Digital Twins" Energycom Network, Nordplus project, Kaunas, Lithuania [14.11.2025];

\* Seminar Lundi Ülikoolis (Lund University, Sweden ) "Advancing Swedish-Estonian Collaboration in Electrical Engineering Education Through Digital Tools"

[8-10.09.2025];

\* Külalisloeng "Advances in Electric Vehicle Powertrains: From Battery to Wheels"

University of Applied Sciences Mittelhessen, Germany, [11.11.2025]

\* Uurimisrühma liige Kenari Koonik osales aktiivselt valdkonna populariseerimisele suunatud üritustel, sealhulgas Robotexil, Positronil, TalTechi avatud uste päeval, Rööpameistri võistlusel ning teistel sarnastel üritustel. Nende tegevuste eesmärgiks oli tutvustada laiemale avalikkusele teadus- ja arendustegevust ning inspireerida noori inseneeria, robotika ja tehnoloogiaga seotud erialasid õppima.

### **Rühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused lõppenud aastal** **Riiklikud:**

\* Daniil Valme on Elektrotehnika ja mehhatroonika õppekava 2025. aasta õppejõud (Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut).

\* Diana Belolipetskaja sai Mati Jostovi nimelise doktoriõppe stipendiumi 2025. aastal.

\* Kevin Lindlaan sai Harju Elekteri bakalaureuseõppe stipendiumi 2025. aastal.

### **Rahvusvahelised:**

\* Anton Rassõlkin on kaasatud Stanfordini Ülikooli ja Elsevieri koostatud maailma 2% kõige mõjukamate teadlaste nimekirja (ühe aasta lõikes), mis põhineb tsiteerimisandmetel (2024. aasta väljaanne).

\* Mahmoud Ibrahim jõudis projektiga Smart Adaptive Propulsion Drive System for Urban E-Mobility finaali üritusel VTS Global Challenge Initiative 2024.

\* Bosch Future Mobility Challenge'i meeskond (MechaTech), kelle tuutor on Diana Belolipetskaja ja aktiivne osaleja Martin Võip, saavutas 2024/25. aasta võistlusel 2. koha.

### **Rühma liikmete osalemine TA tegevusega seonduvalt ettevõtete nõustamistes**

\* Anton Rassõlkin, PhD:

\* Eesti Teaduse Agentuur (ETAG) - ekspert/hindaja;

\* Kutsekoda SA - Mehhatroonikainseneri töörühma liige;

\* Ettevõtlike Arendamise Sihtasutus (EAS) - ekspert/hindaja;

\* Eesti Keele Instituut - retsensent;

\* Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi nõukogu liige;

\* Diana Belolipetskaja:

\* Elektroenergeetika ja mehhatroonika bakalauruse õppekava kaitsmiskomisjoni liige;

Uurimisrühma veebilehe aadress

**Eesti keeles**

<https://taltech.ee/mehhatroonika-ja-autonoomsed-susteemid>

**Inglise keeles**

<https://taltech.ee/en/mechatronics-and-autonomous-systems>

## 2 Jõuelektroonika uurimisrühm

### Uurimisrühma juht

Dmitri Vinnikov, juhtivteadur, [dmitri.vinnikov@taltech.ee](mailto:dmitri.vinnikov@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Dmitri Vinnikov, Doktor, juhtivteadur  
Hossein Afshari, Magister, doktorant  
Abualkasim Ahmed Ali Bakeer, Doktor, insener  
Andrii Blinov, Doktor, vanemteadur  
Edivan Laercio Carvalho, Doktor, järeldoktor-teadur  
Andrii Chub, Doktor, vanemteadur  
Tanel Jalakas, Doktor, vanemteadur  
Oleksandr Matiushkin, Doktor, teadur  
Parham Mohseni, Magister, doktorant  
Indrek Roasto, Doktor, vanemlektor  
Salman Khan, Magister, doktorant-nooremteadur  
Sayeed Hasan, Magister, doktorant-nooremteadur  
Ievgen Verbytskyi, Doktor, järeldoktor-teadur  
Neelesh Yadav, Doktor, järeldoktor-teadur  
Sachin Chauhan, Doktor, järeldoktor-teadur  
Artem Fesenko, , tööstusdisainer  
Artur Lavrov, Kõrgharidus, laborant  
Hossein Nourollahi Hokmabad, Magister, doktorant  
Tofopofun Nifise Olayiwola, Magister, doktorant-nooremteadur  
Salamat Ali, Magister, doktorant-nooremteadur  
Hetal Sharma, Magister, doktorant-nooremteadur  
Tuhin Mitra, Magister, doktorant-nooremteadur  
Siim-Erik Viiding, , insener  
Vinod Kumar Yadav, Doktor, järeldoktor-teadur  
Zeeshan Haider, Magister, doktorant-nooremteadur  
Niwton Gabriel Feliciani Dos Santos, Doktor, järeldoktor-teadur  
Abdul Majid Bhat, Magister, doktorant-nooremteadur  
Hans Anniste, Magister, doktorant-nooremteadur  
Saqib Ali, Magister, doktorant-nooremteadur  
Alexander Rink, , õppeassistent  
Kristjan Uus, , insener

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

jõuelektroonika muundurid; liginullenergiamajade energiasüsteemid; energiatõhusus;  
jõuelektroonikasüsteemide töökindlus

#### Inglise keeles

power converters for renewables; energy systems for near-zero energy buildings; power converters  
for energy storages; reliability of power electronic systems

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Uurimisrühma teadustöö on fokuseeritud taastuenergeetikas, raudteel, elektersõidukites ja telekommunikatsioonis kasutatavate jõuelektroniliste süsteemide arendamisele ja katsetamisele. Põhilisteks uurimissuundadeks on muunduritele uute skeemilahenduste loomine, spetsiaalsete juhtimis- ja kaitsealgoritmide arendamine, uudsete komponentide ja materjalide juurutamine ning jõuelektroniliste süsteemide kasutegurit, võimsustihedust ja töökindlust parandavate juhiste koostamine. Aastast 2010 on Jõuelektronika uurimisrühm ECPE (European Center for Power Electronics) liige. ECPE on tööstusettevõtete poolt loodud organisatsioon, mis edendab Euroopas jõuelektronika alast haridust, arendustööd, teadusuuringuid ja arendatud tehnoloogiate ülekannet. Uurimisrühm on osa Eesti energiatõhususe tippkeskusest ENER. Üks ENER'i põhitegevustest on kodumajapidamiste alalisvoolu mikrovõrkude arendamine ning energiatõhusate ja süsinikuneutraalsete hoonete kasutuselevõtu kiirendamine.

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

Research in the group is focused on the development and experimental validation of advanced power electronic converters for such demanding applications as renewable energy systems, rolling stock, automotive and telecom. The key research directions include synthesis of new converter topologies, development of special control and protection algorithms, implementation of advanced components and materials, and elaboration of design guidelines for enhancing the efficiency, power density and reliability of the on-market power electronic systems. Since 2010 the Power Electronic Group is a member of ECPE - European Center for Power Electronics e.V., which is an industry-driven research network promoting education, innovation, science, research and technology transfer in the area of Power Electronics in Europe. Moreover, the group is a part of ENER – Estonian Centre of Excellence in Energy Efficiency. The core activities in ENER are related to the advancing of the residential DC microgrid technology and acceleration of the transition towards highly energy-efficient and decarbonized buildings

### **Viimaste aastate olulisemad projektid:**

PRG1086 Tulevikukindlad jõuelektronikasüsteemid kodumajapidamiste mikrovõrkudele 2021 - 2025 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/9c9cda20-2179-4a46-902c-93510b213888>

TF24019EE Energiatõhususe tippkeskus 2024 - 2030  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/37a7d1ee-53cb-4233-b765-082fc3feb0fe>

TTK12 Energiatõhususe ja taastuenergeetika tuumiktaristu 2025 - 2029  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/7a36863d-126c-4279-89d5-20857baff9c0>

VFP21053 Nutikate roheenergia süsteemide ja ärimudelite uurimis- ja koolitusvõrgustik 2021 - 2025 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/f96490d9-c0d0-4c66-9110-7be62dfb5ef4>

ETAG24044 Adaptiivne infrastruktuuri taastamine korduvatest vapustustest vastupidavuse stressitestide abil Ukrainas 2024 - 2026 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/8aec2f8e-9842-46c7-8155-50f6a858d4ea>

LEEEE23028 Koormust järgiva tahkeksiidi kütuseelementide jõuelektroonilise sidumismuunduri põhimõttelise lahenduse väljatöötamine 2023 - 2023  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/42b9335d-552a-469d-a1db-c723c2c77d94>

PRG2055 Tõhusad, töökindlad ja turvalised osavõimsusega elektroonilised süsteemid 2024 - 2028  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/db8275c1-c87e-4d18-a3de-b77b8d3ffd0e>

TEM-TA23 Energiatootmine sfaleronreaktoris 2025 - 2028  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/fa4ca140-6bf5-4e9c-8b41-53c9a4c0427f>

TTK10EE Euroopa Tuumauuringute Keskus (CERN) 2025 - 2029  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/b0a1bedb-e1d3-46d5-9324-3adc6c721d5d>

VHE23052 Suund alalisvoolu kasutamisele 2023 - 2027  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/63f86d46-9c64-438b-b7b1-49f35fe93374>

LEEEE25102 Mobiilse taastuvenerial toimiva veepuhastussüsteemi väljatöötamise rakendusuuring 2025 - 2027 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/86da77f3-4786-4a4d-a6b3-a032b38869e0>

TFA25098 UbiCharge: linna elektrisõidukite laadimise ümbermõtestamine 2025 - 2026  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/39a41f99-d653-4788-9145-38eafce902a9>

TF24032EE FinEst Targa Linna tippkeskuse tegevuste elluviimine: LightLine: nutikam valgustus alalisvoolutoitel 2025 - 2028 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/f4ea35b2-9d20-47d9-9980-c62928a9c4ee>

GFAEEAB24 UbiCharge: linna elektrisõidukite laadimise ümbermõtestamine 2024 - 2024  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/147839dd-dd9f-45a3-89ee-9e6271e3d460>

GFAEEHA25 SecondSpark: Elektrisõidukite akude korduskasutus energiasalvestussüsteemides 2025 - 2026 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/c5d6585a-70e4-49d4-9e23-4882d6f828ed>

#### **Viimaste aastate olulisemad artiklid:**

Yadav, Neelesh; Chub, Andrii; Hassanpour, Naser; Blinov, Andrei; Vinnikov, Dmitri (2025). Protection and Control Implementation for Bidirectional Step-Up/Down Partial Power Converter for Droop-Controlled DC Microgrids. IEEE Transactions on Industry Applications, 61 (5), 7470–7480. DOI: 10.1109/TIA.2025.3561767. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/4e7d3c30-0db8-4d78-adab-82fa61671d7c>

Carvalho, Edivan Laercio; Mandrioli, Riccardo; Vinnikov, Dmitri (2025). Universal Interlinking Converter for DC-Powered Prosumer Buildings. IEEE Open Journal of Power Electronics, 6, 1967–1979. DOI: 10.1109/OJPEL.2025.3629539. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/2668a734-b28e-44b4-a526-5b52b4a22040>

Yadav, Neelesh; Chub, Andrii; Hassanpour, Naser; Blinov, Andrei; Vinnikov, Dmitri; Galkin, Ilya (2025). A Hybrid Modulation Approach for Step-Up/ Down Partial Power Converter with Improved MPPT Efficiency Around Zero Partiality. IEEE Transactions on Industry Applications, 1–10. DOI: 10.1109/TIA.2025.3525607. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/9f0a585e-094a-4763-a79b-0d82d9ce8a53>

Mohseni, Parham; Pourjafar, Saeed; Matiushkin, Oleksandr; Husev, Oleksandr; Vinnikov, Dmitri (2025). Isolated High Step-Up Current-Fed DC-DC Converter With Low Input Current Ripple and Wide Full-Soft-Switching Capability. IEEE Transactions on Industry Applications, 1–11. DOI: 10.1109/TIA.2025.3544985. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/dbdb4929-3a64-454e-aa1c-f4b58ec15d02>

Pithanisetty, Prasanth; Dsa, Daniel; Banavath, Satish Naik; Carvalho, Edivan Laercio; De Carne, Giovanni; Vinnikov, Dmitri (2025). A Coupled Inductor-Based SSCB With Reduced Components for DC Microgrid Protection. IEEE Transactions on Power Electronics, 40 (8), 11428–11441. DOI: 10.1109/TPEL.2025.3551740. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/eac00f55-0cbf-4e60-a586-fd883ffc6779>

Hasan, Sayeed; Blinov, Andrei; Chub, Andrii; Vinnikov, Dmitri (2025). Solar PV Generation and Consumption Dataset of an Estonian Residential Dwelling. Scientific Data, 12, #481. DOI: 10.1038/s41597-025-04747-w. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/e7f7111b-78e4-4dd1-abd1-560cbf9614de>

Elkayam, M.S.; Vinnikov, D. (2026). Improved Triple-Loop Control for Grid-Connected Inverters with Multi-Resonant Compensation and Experimental Verification. IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society, 7, 72–85. DOI: 10.1109/OJIES.2025.3645487. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/3f7c59ac-5836-4fb6-894c-9765745ad91d>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### Eesti keeles

Viimaste aastate jooksul on TTÜ jõuelektroonika uurimisrühm olnud üks kodumajapidamiste energiatõhusate alalisvoolu (AV) jaotussüsteemide uurimise ja rakendamise eestvedajatest ning innovaatoritest maailmas. Kuna uue põlvkonna jõuelektroonikal baseeruva kodumajapidamiste AV jaotussüsteemide laialdasemat kasutuselevõttu piiravad hetkel mitmed tegurid, nt praktiliste teadmiste puudumine, osalt ebaküps tehnoloogia, turuvalmis lahenduste vähesus, on ka jõuelektroonika uurimisrühm keskendunud sobivate jõuelektrooniliste süsteemide praktilisele arendamisele. Muu hulgas on patenteeritud mitmeid uudseid tehnoloogiaid („OptiVerter DC“, „FlexiVerter“, „FORCE“, universaalse väljundiga kahesuunalised jõupooljuhtmuundurid, veatolerantsed alalisvoolumuundurid, kondensaatorivabad isoleeritud muundurid jt), mis aitavad täita tehnoloogilist tühikut, anda hoogu innovatsioonile ja kiirendada AV jaotussüsteemide integratsiooni hoonetes. Viimane asjaolu on oluliseks sammuks energiatõhusamate ja madala süsinikuemissiooniga hoonete suunas.

Aastal 2025 on uurimisrühma liikmed osalenud rohkem kui kümnes erinevas kohalikus ja rahvusvahelises teadus- ja arendusprojektis, milledest võib välja tuua järgmiseid:

\* "Tulevikukindlad jõuelektroonikasüsteemid kodumajapidamiste

mikrovõrkudele" (PRG1086, vastutav täitja Dmitri Vinnikov, projekti rahastaja SA Eesti Teadusagentuur). Tänapäevane tehnika areng ning seadusandlikud piirangud sunnivad oluliselt vähendada nii ehitiste energiatarvet kui ka süsiniku jalajälge. Seda eesmärki võimaldavad saavutada energiatootmise ja –salvestamise võimekusega kodumajapidamiste alalispinge-mikrovõrgud (ESVKA mikrovõrgud). Antud mikrovõrkude laialdasemat kasutuselevõttu hetkel piiravad teadmiste, küpsete tehnoloogiliste lahenduste ja turuvalmis jõuelektrooniliste süsteemide vähesus. Käesoleva projekti ülesanneteks on nende süsteemide uurimises läbimurde saavutamine, arendades uusi skeemilahendusi, juhtimismeetodeid, mitme parameetriga optimeerimisalgoritme ning süsteemide töökindlust ja kasutusiga tõstvad meetodeid. Eeldame, et uued teadmised aitavad kaasa innovaatiliste kuluefektiivsete jõuelektroonika süsteemide väljatöötamisele, kommertsialiseerimisele ning ESVKA mikrovõrkude laialdasemale levikule. Kõik see aitab omakorda kiirendada üleminekut kõrge energiatarvitususe ning madala süsinikuemissiooniga hoonete kasutamisele.

\* "Energiatarvitususe tippkeskus" (TK230U2, vastutav täitja Dmitri Vinnikov, projekti rahastaja Haridus- ja Teadusministeerium). Energiatarvitususe tippkeskus ENER esindab 53% energia lõpptarbimisest Eestis ja samuti põhilisi, kõige mahukamate investeeringutega energiasäästumeetmeid. ENER panustab Eesti ühiskondlikku ja majanduslikku väljakutsesse rohepöörata 75% olemasolevast nõrga energiatarvitususega hoonefondist heitevabaks aastaks 2050 maksimeerides kaasnevaid kasusid ja elukvaliteedi paranemist. Teaduslik eesmärk on laiendada nullenergiahoonete tehnoloogiate ekstsellentsusest juhtivaks tippkeskuseks sotsiaalselt siduvas ja laiapõhjalises täisrenoveerimises, tõukamaks murrangulisi uuendusi ja süsteemseid reforme, kaasates innovaatilisi tehnoloogiaid, teadmussiiret, juhtimismudeleid ja elanikkonda. Interdistsiplinaarne tippkeskus põimib tehnika- ja andmeteadust sotsiaal- ja majandusteadusega keskse fookusega hoonete ja piirkondade energiatarvitususel, elektrifitseerimisel, taastuenergia ja salvestusel, energiasäästumeetmetel, äri- ja finantsmudelitel ning nende sotsiaalmajanduslikul ja regionaalsel mõjul.

\* „Nutikate roheenergia süsteemide ja ärimudelite uurimis- ja koolitusvõrgustik“ (VFP21053, vastutav täitja Dmitri Vinnikov, rahastaja - Euroopa Komisjoni Horisont 2020 programm). "Koostöölised nutikad energiavõrgud" on paljutöötav kontseptsioon, mis põhineb digitehnoloogial ning majanduslikel ja organisatsioonilistel struktuuridel, mis on otseselt seotud energiatarbijate mõjuvõimu suurendamise, käitumismuutuste edendamise ja kõigi osaliste vahelise koostöö suurendamisega. Uuendatud energiavõrgud nõuavad uut visiooni, aga ka uuenduslikke ärimudeleid ja tehnoloogia arengut energia tootmise, jaotamise ja tarbimise vallas, et olla edukad ja jätkusuutlikud. Nutikatesse energiavõrkudesse sisseehitatud multidistsiplinaarne ja mitmekihiline kontseptsioon on oluline, aitamaks kaasa keskkonnasõbralikumate ja nutikamate energiasüsteemide levikule meie ühiskonnas „SMARTGYsum“ – (SMART Green Energy Systems and Business Models) – koolitab 15 noorteadlast 36 kuu jooksul, et võimaldada tarkvõrkude alase visiooni elluviimist, keskendudes erinevatele tehnilistele ja sotsiaalmajanduslikele aspektidele, mis toetuvad nutikatele koostöölistele energiasüsteemidele, pakkudes suurepäraselt võimalust arendada oma tulevast karjääri jõuelektroonikas, elektrotehnikas, materjaliteadustes, IKT-s, andmeteadustes, aga ka rahanduses, energeetika alastes investeeringutes, energiaturgude ning majanduslik- ja poliitiliste instrumentide juhtimises

jne. Selle tulemusel luuakse akadeemiliste ja tööstuslike partnerite võrgustik, kes teevad tihedat koostööd, järgides ülekantavat, inter- ja multidistsiplinaarset lähenemisviisi, mille eesmärk on tõsta nooremteadurite tööalast konkurentsivõimet ja karjäärivõimalusi avalikus ning erasektoris, samuti nende innovatsiooni- ja ettevõtluspotentsiaali Euroopa ühiskonna pikaajaseks mõjutamiseks

\* „Suund alalisvoolu kasutamisele - Shift2DC“ (HVE23052, vastutav täitja Andrii Chub, rahastaja - Euroopa Komisjon). SHIFT2DC projekti eesmärk on pakkuda välja ja rakendada läbivalt rakenduspõhist lähenemisviisi nii kesk- kui ka madalpinge alalisvoolu energiasüsteemide projekteerimiseks, simuleerimiseks, testimiseks ja rakendamiseks. Projekti eestvedajateks on kolmkümmend kaks partnerit ning nendele lisaks ka osaliselt seotud ettevõtted kaheteistkümnest riigist, keda ühendavad teadmised ja kogemused, et arendada, katsetada ja demonstreerida pakutavate alalisvoolulahenduste tehnilist teostatavust, tasuvust, elutsükli ja keskkonnamõju andmekeskustes, eluhoonetes, tööstusasutustes ja sadamates üle kogu Euroopa (Saksamaa, Prantsusmaa ja Portugal). Välikatsed ja näidisinstallatsioonid võimaldavad hinnata täiustatud juhtimismetoodikaid ja projekteerimisviise, määratleda sobivaid rakendustingimusi ning leida kõige lootustandvamaid lahendusi ja nendele vastavaid ärimudeleid kesk- ja madalpinge alalisvoolusüsteemide jaoks. Lisaks testitavatele ja demonstreeritavatele alalisvoolulahendustele hindab SHIFT2DC ka tarbijate vaatenurka alalisvoolulahenduste osas ja pakub neile välja uusi tööriistu, mis soodustavad alalisvoolulahenduste kiiremat kasutuselevõttu. Kõik SHIFT2DC projektis väljatöötatud lahendused ja tööriistad on juhtumiülesed, võimaldades selle tulemusi kasutada enamikus rakendustes. Arendustöö teises etapis pakutakse välja konkreetseid simulatsiooniprogrammide teegid hoonete, andmekeskuste, tööstusasutuste ja sadamate jaoks, mis võimaldavad nimetatud keskkondi paremini ja üksikasjalikumalt simuleerida. SHIFT2DC projektis välja pakutud ja arendatud alalisvoolu lahendused kavandatakse koostalitlusvõime nõudeid, skaleeritavust ning turva- ja privaatsusvajadusi arvesse võttes. Lisaks kõigele muule aitavad projekti tulemused kaasa ka alalisvoolulahenduste vajadustele vastavate erialaste standardite väljatöötamisele. Lõpuks antakse nõu ka seadusandlik/regulatiivse raamistiku loomiseks ja kohaldamiseks, mis omakorda edendaks kesk- ja madalpinge alalisvoolu energiasüsteemide kasutuselevõttu ning tagaks turvalise ja ökonoomse toitesüsteemide haldamise vahelduv- ja alalisvoolu hübriidvõrkudes.

### **Inglise keeles**

In the last years the main research efforts of the group were focused on making a breakthrough in the applied design of high-performance cost-effective power electronic systems for residential DC microgrids by the acquisition of cutting-edge knowledge in topologies, control, optimization, reliability and lifetime extension methods. A special emphasis was done on the application versatility and availability after critical faults as the important metrics of any mission-critical power electronic system. A number of innovative technologies have been developed, experimentally validated and patented ("OptiVerter DC", "FlexiVerter", bidirectional converters with universal output,

fault-tolerant DC converters, capacitorless galvanically isolated converters, etc.), which help to push innovation forward and accelerate the industrial uptake of the highly promising residential DC microgrid technology.

In 2025 the research group members have participated in more than 10 different national and international R&D projects, from which the following can be highlighted:

\* "Future-Proof Power Electronic Systems for Residential Microgrids" (PRG1086, principal investigator Dmitri Vinnikov, project funded by the Estonian Research Council). Current trends and regulatory directives stipulate significant decrease in the energy consumption and carbon footprint of buildings. The residential DC microgrids (RDC $\mu$ G) with on-site renewable energy generation and storage were proven as a promising technology needed to meet these targets. However, the lack of awareness, mature technologies, and market-ready power electronic systems still limit the wide adoption of RDC $\mu$ Gs. The main objective of this project is to make a breakthrough in the applied design of power electronic systems for RDC $\mu$ G by the acquisition of cutting-edge knowledge in topologies, control, optimization, reliability and lifetime extension methods. It is highly expected that key competences obtained during the project will help to advance the emerging RDC $\mu$ G technology by enabling novel versatile cost-effective power electronic systems, which will push forward the innovation and accelerate the transition towards highly energy-efficient and decarbonized buildings.

\* „Centre of Excellence in Energy Efficiency“ (TK230U2, principal investigator Dmitri Vinnikov, project funded by the Ministry of Education and Research). Centre of Excellence in Energy Efficiency (CoE ENER) covers 53% of final energy use in Estonia as well as major energy saving measures with highest investment volumes. CoE aims to contribute to Estonian societal and economic challenge to transform 75% of existing building stock with poor energy performance to zero emission buildings (ZEB) with maximized co-benefits and improved life quality by 2050. The scientific aim is to extend the excellence in ZEB technologies to become the top research centre in equity-enhancing deep renovation, driving disruptive changes and initiating systemic reforms encompassing innovative technologies, novel governance models, novel participatory and collaborative approaches to engage citizens.

Interdisciplinary CoE combines engineering, social, data sciences and economics with central focus on energy performance of buildings and districts, electrification and flexibility, renewable energy generation and storage, energy saving measures and business models with their socioeconomic and regional impacts.

\* „Research and Training Network for Smart and Green Energy Systems and Business Models“ (VFP21053, principal investigator Dmitri Vinnikov, project funded by the European Commission, Horizon 2020 Programme). “Collaborative Smart Grids” (CSGs) are a promising concept built on digital technologies and economic and organizational structures, directly linked to the empowerment of consumers, the promotion of behavioural change and increased collaboration among all stakeholders. CSGs require a new vision but also innovative business models and technology developments around energy production, distribution and consumption to be successful and sustainable. The multidisciplinary and multilayer concept embedded in CSGs is essential to contribute to greener and smarter energy systems in our societies. SMARTGYsum - SMART Green energy Systems and bUsiness Models - will train 15 ESR for 36 months to enable the implementation of the Smart Energy vision, focusing on different technical and socioeconomic aspects that conform Electric Energy Systems (EESs) and CSGs, providing an excellent basis to develop their future careers in Power Electronics, Electric Engineering, Material Sciences, ICT, Data Sciences but also energy capturing of value, value chains, finance & investments, management of energy markets, economical and policy instruments, etc. As a result, there will be a network of academic and industrial partners closely collaborating following a transferable, inter and multidisciplinary approach, aimed at raising the employability and career opportunities of ESRs within the public and the private sectors, as well as their potential for conducting innovation, entrepreneurship and for impacting in the European society at medium and long-term.

\* "SHIFT to Direct Current" (VHE23052, principal investigator Andrii Chub, project funded by the European Commission). SHIFT2DC project aims to propose and implement a top-down application-agnostic approach for the design, simulation, test, validation, and application of both medium (MV) and low voltage (LV) direct current (DC) solutions. Thirty-two partners, including affiliated and associated partners, from twelve countries, will join expertise to develop, test and demonstrate the technical feasibility, cost-benefit, life cycle and environmental impact of the proposed DC solutions in Data centres, Buildings, Industry and Ports across Europe (Germany, France, and Portugal). The field-tests and demonstrators will allow an evaluation of the advanced control methodologies and tools, the definition of the appropriate implementation conditions, and a consolidation of the most promising solutions and corresponding business models for MV and LV DC systems. Beyond the DC solutions that will be tested and demonstrated, SHIFT2DC will also evaluate the consumers' perspective regarding DC solutions and propose new tools that promote the faster adoption of DC solutions. All the solutions and tools that will be developed in the SHIFT2DC project will be case-agnostic allowing the use of its results in most applications. In a second stage of the development, specific libraries for buildings, datacentres, industry and ports will be proposed allowing a better and more detailed simulation of the mentioned environments. The DC solutions proposed

and developed in the SHIFT2DC project will be designed taking into consideration the interoperability requirements, the scalability opportunities and the security and privacy needs. In addition, the project results will contribute to the development of standards in compliance with the needs of DC solutions. Finally, a regulatory framework that promotes the adoption of MVDC and LVDC solutions and assures secure and economic power systems management under hybrid AC/DC grids will be proposed.

## Rühma TA seotus ühiskonnas aktuaalsete probleemidega ning neile lahenduste pakkumisega

### Eesti keeles

Eesti majandus on mitmes ühiskonna jätkusuutliku arengu seisukohalt olulises näitajas eeldatavast kehvem. Eurostati andmetel oli Eesti süsinikdioksiidi emissioon elaniku kohta ning selle kasvumäär teisel kohal Euroopa Liidus. Lisaks kannatab Eesti majandus EL-i kõrgeima elamute energiatarbimise all põrandapinna kohta (üle 1,5 korra kõrgem kui EL-i keskmine). Ilmselgelt on energiasäästlikud hooned kriitiliselt vajalik arendus, mis on määratletud ka Eesti riikliku energia- ja kliimakava (NECP2030) strateegiliste eesmärkide hulgas. Kuigi olemasoleva hoonefondi renoveerimisel saaks kasutada standardseid tehnoloogiaid, vajab Eesti eesseisvaid väljakutseid ja valitsuse eesmärke, arvestades hoonete süsinikujalajälje korvamiseks enamat. Taltechi jõuelektroonika uurimisgrupi välja töötatud elamute alalisvoolul põhineva elektrijaotuse uudne tehnoloogia võib olla kauaoodatud lahendus antud probleemile, mis tõstab oluliselt Eesti teaduse ja innovatsiooni rahvusvahelist nähtavust ning toob kaasa senisest intensiivsema siseriikliku ja rahvusvahelise koostöö akadeemilisteringkondade ja tööstuse vahel.

Jõuelektroonika uurimisrühma teadustöö eeldatav kasu Eesti majandusele, ühiskonnale, avalikule sektorile ja teenustele:

- \* tiptasemel oskusteave Eestis jõuelektroonikal põhinevatest energiasäästutehnoloogiast;
- \* äriiline tulu elamu- ja väike-äriakenduste alalisvoolusüsteemide alles arenevale turule sisenemisest;
- \* uute roheenergia tehnoloogial põhinevate ettevõtete ning töökohtade loomine;
- \* riigi süsinikdioksiidi heitkoguste vähendamine elaniku kohta;
- \* juhtroll ELis alalisvoolul põhinevate hoonete kasutust ja ehitust reguleerivate standardite väljatöötamisel;
- \* siseriikliku energia varustusekindluse parandamine energia hajatootmise ja salvestamise tulemusena;
- \* elektrisõidukite laadimistaristu arendamise soodustamine tänu selle lihtsamale ja tõhusamale integreerimisele alalisvoolu mikrovõrkudega;
- \* elatustaseme ja üldise elukvaliteedi paranemine tänu energiatõhusate

hoonete kasutuselevõtt

### **Inglise keeles**

The Estonian economy is underperforming in several indices crucial for sustainable society development. According to Eurostat, Estonia showed the second-largest carbon emission per capita as well as its second-highest growth rate in EU. Moreover, the Estonian economy suffers from the highest residential energy consumption per floor area in EU (more than 1.5 times higher than EU average). Clearly, the energy-efficient buildings are the much-needed development that is also defined among strategic goals of the Estonian national energy and climate plan (NECP2030). Although the renovation of existing building stock could be done using standard technologies, Estonia needs more than that considering challenges ahead and targets of the government to offset the carbon footprint of the buildings. The disruptive technology of DC power distribution in residential buildings developed by the Power Electronics Group could be a long-awaited solution to the problem, which will significantly enhance the visibility of Estonian research and innovation, and lead to more intensive national and international cooperation between academia and industry.

Expected benefits for Estonian economy, society, public policy, and/or services:

- \* cutting-edge Estonian know-how on power electronics based energy-saving technologies;
- \* revenue from entering the emerging market of DC power systems for residential and small-commercial applications;
- \* creation of new cleantech ventures with new jobs at the labour market;
- \* reduction of the national carbon emission per capita;
- \* leading role in EU in the development of public policies and standards for DC-based buildings;
- \* improvement of domestic energy supply security as an outcome of more distributed energy generation and storage;
- \* fostering the development of charging infrastructures for electric vehicles due to more simple and efficient integration with DC microgrids;
- \* improvement of the standards of living and quality of life due to commissioning of energy efficient buildings.

### **Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta**

#### **Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas**

Uurimisrühma teadustöö üheks oluliseks verstapostiks on topoloogiat muutva juhtimise (TMJ) tehnoloogia erinevate praktiliste kasutusjuhtude põhjalik

uurimine koos oskuste arendamise ja projekteerimisjuhiste koostamisega, mis lihtsustavad tehnoloogia tööstuslikku kasutuselevõttu. TMJ eeliseid demonstreeriti erinevates rakendustes, aidates seega kaasa uue suuna "tarkvarapõhine jõuelektronika" tekkele. Jõuelektronika uurimisrühma poolt välja töötatud TMJ tehnikate tulemusel loodi uudsete omadustega paindlikud jõuelektronilised süsteemid, mis võimaldavad üleminekut jätkusuutlikule ringmajandusele.

Näiteks oli TMJ alaldi üheks silmapaistvamaks praktiliseks väljundiks maksimaalse võimsuspunkti jälgimise (MPPT) töövahemiku laiendamine odavates päikesemikromuundurites. Hiljem kasvas sellest välja esimene kaubanduslik päikesemikromuundur globaalse MPPT-ga nn „OptiVerter DC“. Muunduri töötas välja Eesti idufirma Ubik Solutions OÜ päikesepaneelide integreerimiseks elamute AV mikrovõrkudesse. Kombineerides 2021. aastal TMJ alaldi kombineeritud energiaülekande põhimõtetega, pakuti välja uudne odavate päikesemikromuundurite perekond. Lisaks töötati välja ja demonstreeriti maailma kõige laiem sisendpingeulatusega (rohkem kui 1:20 suhtega) päikesemikromuundurit, mis on mõeldud räni ja amorfse kilega fotogalvaaniliste päikesepaneelide integreerimiseks alalisvoolu mikrovõrkudesse.

Aastal 2020 pakuti koostöös Ubik Solutions OÜ-ga välja veel üks TMJ võimalik rakendus sildvaheldites, millele on väljastatud ka Euroopa Liidu kaubamärk „FlexiVerter“ (#018202165). Tegu on esimese TMJ tööstusliku näitega, mis on heaks näiteks uudsest kuuerežiimsest (ingl. Hexamode) tarkvarapõhisest jõuelektronikast, mis sarnaneb ka jõuelektronika „LEGO“ kontseptsiooniga. Lisaks võimaldas TMJ vähendada veatolerantsete tööstuslike muundurite juurutuskulusid. Uurimisrühma poolt välja töötatud uudne null-liiasusmuundurite tehnoloogia koos TMJ-ga suudab taluda pooljuhtide rikkeid ilma komponente lisamata. Hea näide selle eelistest on maailmas esimese veatolerantse päikesemikromuunduri väljatöötamine. Selle tulemusel vähenesid oluliselt veatolerantsete muundurite juurutamise kulud ja suurenes kulutundlike rakenduste kättesaadavus ning töökindlus. TMJ võimaldas kasutusele võtta ka uudsed ümberkonfigureeritava sillaga pehmelülitusega vaheldi, mida rakendati edukalt elektrisõidukite laadimisel kasuteguri tõstmiseks. See oli Euroopa Jõuelektronika Keskuse (ECPE) uurimis- ja innovatsiooniprojekt, mida toetasid Daimler-Benz AG ja Volkswagen AG. Katari Riikliku Teadusfondi rahastatud uurimisprojekti rakendati sama tehnoloogiat ka elektrisõidukite kiirlaadijates, mis mõeldud karmides keskkonnatingimustes töötamiseks. Viimase projekti tulemuste avalik esmaesitlus toimus 2022. a. märtsis Kataris rahvusvahelise konverentsi ja messi IEEE SGRE-2022 raames. Täisfunktsionaalse tehnoloogia (TRL5) esitlus toimus Tallinnas 2023. a. juunis IEEE CPE-POWERENG'2023 konverentsil. TMJ sillutab teed järgmise põlvkonna elektrisõidukite laadijatele võimaldades paremat kasutegurit ja töökindlust ning sellel on tugev potentsiaal

kommertsialiseerimiseks.

Lisaks on TMJ pannud aluse ka täiesti uuele jõuelektroonika universaalmuundurite perekonnale, mis ühilduvad erinevate vahelduv- ja alalisvoolu mikrovõrgu standarditega. Tehniliselt on need klassikalised võrguvaheldid PV-paneelide ja/või akude liidestamiseks, kuid lisaks vaheldit ümberkonfigureerides saavad töötada ka alalisvoolu mikrovõrgus. See tehnoloogia lihtsustab hoonete edaspidist üleviimist alalispinge peale. Lähiajal on uurimisrühmal plaanis luua uus TTÜ spin-off ettevõtte, kes seda tehnoloogiat turustama hakkab.

2025. a. olulisemad arendusprojektid

\* "UbiCharge: linna elektrisõidukite laadimise ümbermõtestamine" (GFAEEAB24, vastutav täitja: Andrei Blinov; Tallinna Tehnikaülikool). Projekti raames töötatakse välja laialdaselt kasutatava laadimistaristu kontseptsioon. Riistvara saab integreerida olemasolevasse infrastruktuuri ja pakkuda alalisvoolu laadimist paljudele elektrisõidukitele. Arendustöö eesmärk on tõsta tehnoloogilise valmisoleku taset (TRL) ning näidata tehnoloogia teostatavust ja omadusi elektrisõidukite laadimisel laboritingimustes. Prototüübi arendamisel järgitakse praktilise tööstusdisaini tavaid, et hinnata tervikliku süsteemi jõudlusnäitajaid.

\* "Conducting an applied study on a Mobile Water Purification Plant Powered by Renewable Energy" (LEEEE25102, vastutav täitja: Andrei Blinov; projekti rahastas Schöttli Keskkonnatehnika Aktsiaselts). Projekt keskendub autonoomse energiavarustusega teiseldatava veepuhastusjaama platvormi loomisele. Eesmärk on arendada lahendus, mis suudab pakkuda puhast joogivett olukordades, kus tavaline veevarustus pole kättesaadav või on katkenud. Platvorm hõlmab lisaks veepuhastusseadmetele taastuvenergia allikaid (peamiselt päikesepaneelid), energia salvestussüsteeme (akud, soojussalvestid, vesisalvestid) ja intelligentseid juhtimisalgoritme, mis prognoosivad ja optimeerivad energia kasutust ja vee tootmist. Platvormi abil on võimalik pakkuda puhast joogivett kiiresti ja efektiivselt olukordades, kus tavaline veevarustus ei ole piisav, kättesaadav või on ajutiselt katkenud.

\* "TalTech Residential DC Innovation Hub" (vastutav täitja Dmitri Vinnikov) – TalTechi alalisvoolu innovatsioonikeskus on ainulaadne uurimis- ja näidisasutus, mille arendab jõuelektroonika uurimisrühm, et tõsta üldsuse teadlikkust alalisvoolutehnoloogiast ja hõlbustada ehitussektoris üleminekut alalisvoolule. Arvestades ülikoolilinnaku eesmärki saavutada 2035. aastaks kliimaneutraalsus, tuleb rõhutada, et TalTech Residential DC Innovation Hub on esimene alalisvoolu kogemuskeskus Põhja-Euroopas. Keskuses rakendatakse ja testitakse erinevaid alalisvoolutehnoloogiaid, et neid saaks kasutada ka elamutes. Alalisvoolutehnoloogia muudab elamute energiavarustuse põhimõtteid, optimeerib energiavoogusid ja suurendab tulevaste hoonete

energiatõhusust.

**Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöök**  
**ENERGIATÕHUSATE JÕUELEKTROONIKASÜSTEEMIDE ÄLJATÖÖTAMINE**

- \* Muundurite väljatöötamine energiasüsteemide, taastuenergia, elektertranspordi, lennunduse, autotööstuse ja telekommunikatsiooni vallas
- \* Pinget tõstvad isoleeritud alalis- ja vahelduvpingemuundurid taastuenergeetika rakendustele

**SKEEMILAHENDUSTE SÜNTEES JÕUPOOLJUHTMUUNDURITELE**

- \* Spetsiaalsete juhtimis- ja kaitsealgoritmide väljatöötamine
- \* Uute komponentide juurutamine ja disainijuhendite väljatöötamine turuvõimsate elektrooniliste muundurite tõhususe, võimsustiheduse, töökindluse ja paindlikkuse edasiseks parandamiseks

**ARVUTI SIMULATSIOONIMODELITE LOOMINE**

- \* Jõupooljuhtmuundurite simulatsioonimudelite loomine tarkvaras PSIM
- \* Juhtimis- ja elektroonikasüsteemide modelleerimine MATLAB Simulink tarkvarapaketi

**SEADMEPROTOTÜÜPIDE LOOMINE JA KATSETAMINE**

- \* Jõuelektrooniliste alalis- ja vahelduvvooluseadmete prototüüpide projekteerimine (toiteplokid, võrguvaheldid, sagedusmuundurid)
- \* Prototüüpseadmete ehitamine
- \* Jõuelektrooniliste seadmete katsetamine

**MIKRO- JA TARKVÕRGUD**

- \* Juhtimis, kontrolli, energiavoogude suunamise ja sidealgoritmide arendamine

**LABORITEENUSED**

- \* jõupooljuhtmuundurite katsetamine
- \* päikesepaneelide simuleerimine
- \* elektrikvaliteedi mõõtmised

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Jõuelektronika uurimisrühm teeb tihedat koostööd tööstuspartneritega võimaldamaks teadussaavutuste kiiret ülekannet tööstusesse.

### **Täiendav info:**

**Uurimisrühma seotus TalTech TA prioriteetse suunaga (kuni kaks olulisemat suunda):**

- 1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad
- 3. Keskkonnaressursside vääristamine

**Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond – kuni 2 alamvaldkonda Frascati Manuaali klassifikaatori alusel ja kuni 3 teaduseriala CERCSi klassifikaatori alusel.**

Frascati Manuaali teadusvaldkonnad:

2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

CERCSi teaduserialad:

T140 Energeetika

T170 Elektroonika

T190 Elektrotehnika

**Hinnang rühma kasutuses olevale TA taristule (sh kollektioonid ja andmekogud), piisavus ja seisund**

Hinnang seisundile:

väga hea

Seisundi selgitus:

\* TTÜ jõuelektronika laboris (NRG-101) on võimalik luua ning katsetada jõupooljuhtmuundureid ning nende kaitse ja juhtahelaid. Seadmete katsetamiseks on olemas koormusseadmed kuni 10 kW (alalis- ja vahelduvvool). Reguleeritavad vahelduvpinge allikad ning vahelduvvoolukoormused võimsusega 5 kuni 12 kW, 230 V ühe- või kolmefaasilise 400 V elektrivõrgu simuleerimiseks.

\* Alalisvooluseadmete katsetamiseks on võimalik kasutada kuni 600 V, 3kW programmeeritavaid toiteplokkide. Taastuvenergeetika rakenduste alase uurimistöö läbi viimiseks saab kasutada päikesepaneelide elektroonilisi simulaatoreid, mis võimaldavad simuleerida kuni 500 W erineval tehnoloogial põhinevaid päikesepaneelide või päikesepaneelide jadasid võimsusega kuni 15 kW.

\* Lisaks toite- ning koormusseadmetele on jõuelektronika labor varustatud ka kaasaegsete mõõteriistadega pingele, voolu, energiakvaliteedi, temperatuuri,

mahtuvuse ja induktiivsuse täpseks mõõtmiseks ja salvestamiseks.

### **Uurimisrühma liikmete osalus oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös lõppenud aastal**

Dmitri Vinnikov - Eesti Teadusagentuuri hindamisnõukogu loodusteaduste ja tehnika ekspertkomisjoni liige

Dmitri Vinnikov - Eesti Teaduste Akadeemia liige

Dmitri Vinnikov - Eesti Teaduste Akadeemia ettevõtluse ja innovatsiooni komisjoni liige

### **Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit**

#### **Välispartnerid:**

- Current/OS
- Schneider Electric
- DC Opportunities

#### **Eesti partnerid:**

- Liginullenergiahoonete uurimisrühm: Ehituse ja arhitektuuri instituut, Tallinna Tehnikaülikool
- CAFA Tech
- Schöttli Keskkonnatehnika AS

### **Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

Jõuelektroonika uurimisrühm aktiivselt tegeleb Eesti esimese kodumajapidamiste AV mikrovõrkude initsiatiivi („i3DC“- „Inform, Inspire and Innovate“) edendamiseks. Töö selles suunas algas 2020 koostöös Eesti roheenergia idufirmaga Ubik Solutions OÜ. Põhieesmärgiks on luua side juhtivate Eesti teadlaste ning Eesti roheenergia ettevõtete vahele, anda hoogu innovatsioonile ning kiirendada paljulubava AV mikrovõrkude kasutuselevõttu Eestis. Aastatel 2021-2025 korraldas D. Vinnikov kuus rahvusvahelist kodumajapidamiste AV süsteemide innovatsiooni alast töötuba, millest on osa võtnud üle 400 eksperti teadusest ja tööstusest. Kohal olid ka turul tegutsevad energiamüüjad ning seadusloojad, kes vedasid diskussiooni nii kodumajapidamiste AV mikrovõrkude innovatsioonipotentsiaalidest kui ka uusimatest arengutest. Tänu Eesti ettevõtluse suurele huvile võib

eeldada, et antud ettevõtmine panustab majanduse arengusse ning aitab Eesti roheenergeetika arendustööl ja innovatsioonil tähelepanu saada.

#### MEEDIAKAJASTUS

1. [HTTPS://NOVAATOR.ERR.EE/1609886794/TALLINNA-LEMBITU-PARKI-KERKIB-EESTI-ESIMENE-MITMEOTSTARBELINE-VALGUSTUSVORK](https://novaator.err.ee/1609886794/tallinna-lembitu-parki-kerkib-est-estime-mitmeotstarbeline-valgustusvork)
2. [HTTPS://NOVAATOR.ERR.EE/1609885735/LUGEJA-KUSIB-MILLAL-JA-KUST-SAI-ALGUSE-TANAVAVALGUSTUS](https://novaator.err.ee/1609885735/lugeja-kusib-millal-ja-kust-sai-alguse-tanavavalgustus)
3. [HTTPS://ELEKTRIALA.EE/ULEMINEK-ALALISVOOLULE-VOIMALDAKS-MUUTA-TANAVAVALGUSTUSE-TEGELIKELE-VAJADUSTELE-VASTAVAKS/](https://elektriala.ee/uleminek-alalisvoolule-voimaldaks-muuta-tanavavalgustuse-tegelikele-vajadustele-vastavaks/)
4. [HTTPS://NOVAATOR.ERR.EE/1609748670/VANEMTEADUR-PAIKESENERGEETIKA-PEAB-MUUTUMA-BUUMI-HARJAL-NUTIKAMAKS](https://novaator.err.ee/1609748670/vanemteadur-paikesenergeetika-peab-muutuma-buumi-harjal-nutikamaks)
5. [HTTPS://RESEARCHINESTONIA.EU/2025/07/10/TALLINN-DC-WEEK-TALTECH/](https://researchinestonia.eu/2025/07/10/tallinn-dc-week-taltech/)
6. [HTTPS://ARVAMUS.POSTIMEES.EE/8268032/DMITRI-VINNIKOV-INDREK-ROASTO-TAGASITULEVIKKU-ALALISVOOLU-TAGASITULEK-ENERGIAPORDE-AJASTUL](https://arvamus.postimees.ee/8268032/dmitri-vinnikov-indrek-roasto-tagasitulevikku-alalisvoolu-tagasitulek-energiapoorde-ajastul)
7. [HTTPS://TRIALOOG.TALTECH.EE/TULEVIKU-LINN-TARK-VALGUS-TANAVAL/](https://trialoog.taltech.ee/tuleviku-linn-tark-valgus-tanaval/)

#### **Rühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused lõppenud aastal** **Riiklikud:**

1. Teine koht TTÜ arendustööde konkursil (arendustöö "TalTech Residential DC Innovation Hub")
2. TTÜ aasta teadusartikkel tehnika ja tehnoloogia valdkonnas
3. TTÜ aasta rohetegu (projekt "TalTech Residential DC Innovation Hub")

#### **Rahvusvahelised:**

Aastal 2025 hinnati neli jõuelektronika uurimisrühma liiget (D. Vinnikov, A. Chub, A. Blinov ja O. Husev) Stanfordi Ülikooli poolt kahe protsendi maailma kõige mõjukamate teadlaste hulka.

Hans Anniste pälvis parima artikli auhinna 2025. aasta IEEE 66. rahvusvahelisel teaduskonverentsil elektri- ja jõuelektronika alal Riia Tehnikaülikoolis (RTUCON)

Hans Anniste pälvis parima ettekande auhinna 14. energiamuundamis- ja energiasäästutehnoloogiate rahvusvahelises doktorikoolis Lätis

**Rühma liikmete osalemine TA tegevusega seonduvalt ettevõtete nõustamistes**

Uurimisrühma veebilehe aadress

**Eesti keeles**

<https://taltech.ee/jouelektronika>

**Inglise keeles**

<https://www.linkedin.com/company/peg-taltech>

## 3 Elektrotehnika aluste uurimisrühm, sh Elektriliste Tehnoloogiate Mõõtekeskus

### Uurimisrühma juht

Lauri Kütt, kaasprofessor tenuuris, [lauri.kutt@taltech.ee](mailto:lauri.kutt@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Lauri Kütt, Doktor, kaasprofessor tenuuris  
Kamran Daniel, Doktor, teadur  
Martin Jaanus, Doktor, vanemlektor  
Marek Jarkovoi, Doktor, insener  
Aleksander Kilk, Doktor, elektrotehnika ekspert  
Heigo Mölder, Doktor, teadur  
Martin Parker, Magister, doktorant-nooremteadur  
Tarmo Rosman, Kõrgharidus, insener  
Toomas Vinnal, Doktor, insener  
Rana Muhammad Arslan Qadar, Magister, doktorant-nooremteadur  
Taavi Salum, Magister, doktorant-nooremteadur  
Laur Valgur, Kõrgharidus, insener  
Oliver Niin, , laboriassistent  
Henri Liivrand, , laboriassistent  
Karl Leego, , õppeassistent  
Martin Mikk Kõiv, , õppeassistent

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

elektromagnetiline ühilduvus; elektrienergia kvaliteet; electromagnetismi valdkonna uuringud; elektrotehnika; elektriahelate analüüs

#### Inglise keeles

electromagnetic compatibility; electric power quality; electromagnetic research; electrical engineering; circuit analysis

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Uurimisrühma tegevuse põhisuunaks on elektritoite kvaliteet (võrgupinge kvaliteet, sh pingetaseme ning pingekuju parameetrid, nende mõjutajad ja optimeerimine; vahelduvvoolumõõtmised ja mõõteandmete töötlemine; toite kvaliteedi mõju uurimine seadmete ja süsteemi talitlusele jm) ning elektromagnetiline ühilduvus (EMÜ) (seadmete ja süsteemide vastastikune EM-mõjutus, elektromagnetiline emissioon ja immuunsus; laiaribaline EM-väljade hindamine ja mõõtmine keskkonnas; mürade mõju seadmete ja süsteemide talitlusele jm). Elektritoite kvaliteedi valdkonnas on suureks väljakutseks EL energeetikadirektiividele vastavuse saavutamine, milleks tuleb tagada suure hulga pooljuhtmuundurite ühendamise jaotusvõrku, et liita võrguga päikesepaneelid, väiketuulikud jm. taastuvenergiatootjad. Selleks tuleb uurida jaotusvõrgu piire ja võimalusi, millega võrk suudab töötada võrgu teiste klientide või komponentide pingetingimuste rikkumiseta. Teema on otseselt seotud

EMÜ valdkonnaga (nõuded seadmetele ja/või võrgu tugevdamiseks pingemoonutuste vastu) ning elektrikvaliteedi valdkonnaga (nõuded pingetaseme tagamiseks ja ülekoormuse vältimiseks võrgus). Elektromagnetilise ühilduvuse valdkonnas on uurimistöö seotud muuhulgas asjaoludega, kuidas ühildada erinevad tehnoloogilised lahendused toitesüsteemidesse (näiteks toiteliini kommunikatsioon ja võrkudesse ühendatud seadmed), kuidas tagada elektri- ja elektroonikaseadmete tööstuse toodangu vastavus EL EMÜ ja madalpingedirektiivis esitatud kriteeriumidele.

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

The main research activities are related to electric power supply quality (voltage quality, including voltage level and voltage waveform parameters, their influences and optimization; alternating voltage/current measurements and measurement data processing; investigation for influence of the voltage quality on the operation of devices and systems, etc.) and electromagnetic compatibility (EMC) (mutual electromagnetic influence of devices and systems, electromagnetic emission and immunity; wideband EM-field measurement and evaluation; influence of EM-noise on the operation of devices and systems, etc.). In the field of electric power quality, challenges arise from the upcoming EU energy regulations, laying down requirements that can be achieved through higher amount of power electric converters related to small-power generation units including photovoltaic panels, small-power wind and other renewable producers. In order to achieve this, an investigation has to be carried out for the limits and capabilities of a public distribution network for operation without inadvertent violations of the voltage quality. The topics are closely related to both the fields of power quality (requirements to voltage quality and overload avoidance) and of EMC (requirements for devices and/or enforcement of the network against voltage degradation). In the topics of EMC the research is targeted at conditions on how to combine different technologies in the same power supply grid (for example, power line communication and devices in the network), how to guarantee the compliance of specific electric and electronic products to the EU EMC and low voltage directives. The research group has equipment in the EMC laboratory, which also provides capabilities to test the products prior to their market release. The EMC laboratory can also provide services to the innovative electric and electronic industry, supporting faster development and market entry of their products.

### **Viimaste aastate olulisemad projektid:**

TFA25100 Elektri ja võrgu olekuandmete seirevõimekuse alusplatvormi arendamine paindlikkusteenuste toeks, taastuvenergiaressursside kasutustiheduse tõstmiseks ja töökindluse parendamiseks 2025 - 2026 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/38faf05b-ac3d-42c6-a547-a7d47397bc34>

LEEEV25081 Päikeseelektrijaama elektromagnetväljade/elektromagnetilise ühilduvuse (EMC/EMF) analüüs 2025 - 2025 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/778716cb-d0c0-4443-8d45-283db0d47dd5>

PRG2055 Tõhusad, töökindlad ja turvalised osavõimsusega elektroonilised süsteemid 2024 - 2028 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/db8275c1-c87e-4d18-a3de-b77b8d3ffd0e>

LEEA22118 Päikeseparkide mõju uuring 2022 - 2023 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/2c1eb3c7-3669-4194-9d34-ac6a8f81c1b1>

#### **Viimaste aastate olulisemad artiklid:**

Daniel, Kamran; Kütt, Lauri; Lehtonen, Matti; Shabbir, Noman; Iqbal, Muhammad Naveed; Qadar, Rana Muhammad Arslan; (2025). Capacitor Behavior in Rectifier Circuits in Energy-Efficient LED under Harmonic Conditions: Modeling and Experimental Validation. <i>2025 IEEE 65th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), Riga Latvia , 23-25 october 2025.</i> Riga: IEEE [ilmumas]. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/a89927c4-0aef-4d76-95a3-53c918dc8abe>

Daniel, K.; Kutt, L.; Iqbal, M.N; Shabbir, N.; Raja, H.A.; Sardar, M.U.; (2024). A Review of Harmonic Detection, Suppression, Aggregation and Estimation Techniques. Applied Sciences, 14 (23), #10966. DOI: 10.3390/app142310966. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/f46a1621-ad7c-46e6-be94-1d22b5c2443b>

Iqbal, Muhammad Naveed; Kütt, Lauri; Daniel, Kamran; Shabbir, Noman; Amjad, Anas; Awan, Abdul Waheed; Ali, Majid (2024). Inaccuracies and Uncertainties for Harmonic Estimation in Distribution Networks. Sustainability, 16 (15), #6523. DOI: 10.3390/su16156523. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/a46084b0-4c4e-40bd-8150-085ee3294c67>

Sardar, Muhammad Usman; Vaimann, Toomas; Kütt, Lauri; Asad, Bilal; Kallaste, Ants; Land, Raul (2025). Wideband Frequency Response Analysis for Sensitive Condition Estimation of Machine's Turn Insulation Degradation Faults. <i>2025 IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (WEMDCD): Valletta, Malta, 9-10 April 2025.</i> IEEE, 1–6. DOI: 10.1109/WEMDCD61816.2025.11014207. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/d5a8f9f9-f63e-4009-8b9f-94dcf0e3cf9d>

## **Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused**

### **Eesti keeles**

2025. aastal läbi viidud uurimistöö keskendus pooljuhtmuunduritega seotud elektromagnetilise ühilduvuse teemadele, toitesüsteemide mõõteplatvormi arendusele, samuti osaleti elektromagnetväljade mõju hinnangute analüüside koostamises.

Alalisvoolumuundurite-alase uurimistöö sisuks on osavõimsusmuundurite klassi seadmete elektromagnetväljade tekkemehhanismide kaardistamine, sh muunduri komponentide seire läbi kõrgsageduslike häiringute täpsustatud analüüsi. Töö käigus vaadeldi muundurite ülesehitust ja mudeldati selles olevate komponentide käitumist. Uurimistöö järgnevat etappides koostatakse muundurite uurimiseks praktilised katseversioonid laboratoorseteks mõõtmisteks, millega selgitakse kõrgsageduslike häiringukomponentide tundlikkus-suurused.

Toitesüsteemide seire põhjalikumaks teostamiseks töötati välja mõõteplatvormi esmane prototüüplahendus, mis oleks võimalik pakkuma tuge uudsetele

eelanalüüsialgoritmide välja töötamiseks ja nende rakendamiseks. Selliste algoritmide ülesandeks on vähendada mõõtmise järgsele töötlusele esitatud andmemahutu ning parandada kiirete protsesside tuvastamistäpsust ja võimekust. Töö tulemusena valmis esimene mõõteseadme platvorm, edasine arendustegevus on käimas 2026. aastal toitepunktides rakendamiseks töökindla katseplatvormi kujundamiseks.

Elektromagnetilise ühituduse alal jätkus töö taastuenergia-allikate ja pooljuhtmuundurite jaotusvõrgus talitlemisega seotud juhtivuslike häiringute mõõtmisvõimekuse arendamisega. Edasi arendati taastuenergiatootjate elektripaigaldiste terviklikuks mõõtmiseks vajalikke vahendeid.

### **Inglise keeles**

The research carried out in 2025 focused on issues of electromagnetic compatibility related to power semiconductor converters.

The research on DC converters addressed the mapping of electromagnetic interference generation mechanisms in partial-power converter class devices, including monitoring of converter components through refined analysis of high-frequency disturbances. The structure of the converters was examined and behavior of their components was modeled. In subsequent stages of the research, practical experimental versions of the converters will be developed for laboratory measurements in order to determine the sensitivity levels of high-frequency disturbance components.

To enable more comprehensive monitoring of power supply systems, an initial prototype solution for a measurement platform was developed to support the creation and implementation of novel pre-analysis algorithms. The purpose of these algorithms is to reduce the data volume required for post-measurement processing and to improve the accuracy and capability of detecting fast processes. As a result of the work, the first version of the measurement device platform was completed. Further development will continue in 2026 to design a reliable pilot platform for implementation at supply points.

In the field of electromagnetic compatibility, work continued on developing measurement capability for conducted disturbances related to the operation of renewable energy sources and power semiconductor converters in distribution networks. The tools required for comprehensive measurement of renewable energy producers' electrical installations were further developed.

## **Rühma TA seotus ühiskonnas aktuaalsete probleemidega ning neile lahenduste pakkumisega**

### **Eesti keeles**

Elektritoite kvaliteedi valdkonnas on väljakutseks EL-i energeetikadirektiividele vastavuse saavutamine, milleks tuleb tagada suure hulga pooljuhtmuundurite ühendamise jaotusvõrku, et liita võrguga päikesepaneelid, väiketuulikud jm. taastuenergiatootjad. Selleks uuritakse

jaotusvõrgu tehnilise võimekuse piire ja asjaolusid, millega võrk suudaks töötada võrgu teiste klientide või komponentide pingetingimuste rikkumiseta. Teema on otseselt seotud EMÜ valdkonnaga (nõuded seadmetele ja/või võrgu tugevdamiseks pingemoonutuste vastu) ning elektrikvaliteedi valdkonnaga (nõuded pingetaseme tagamiseks ja ülekoormuse vältimiseks võrgus). Uurimisgrupp tegutseb muundurseedmete alaste uuringute ja detailse analüüsiga, et selgitada nende mõju avaliku jaotusvõrgu talitusparameetritele.

Elektromagnetilise ühilduvuse (EMÜ) valdkonnas on uurimisgrupi TA-tegevus seotud küsimustega, kuidas ühildada erinevad tehnoloogilised lahendused toitesüsteemidesse (näiteks toiteliini kommunikatsioon ja võrkudesse ühendatud taastuenergiaseadmed), kuidas tagada elektri- ja elektroonikaseadmete tööstuse toodangu vastavus EL-i EMÜ ja madalpingedirektiivis esitatud kriteeriumidele. Uurimistööd viiakse läbi taastuenergialahenduste raadiomürade ulatuse ja mõõtemetodite selgitamiseks.

Ehitatud keskkonna poolt tekitatud elektromagnetväljade (EMV) võimalike tervisemõjude vältimiseks sätestatud seadusandlike piiridele vastavuse tagamiseks on suurema EMV jäljega objektide puhul vajalik läbi viia analüüs juba kavandamise staadiumis. Uurimisgrupp tegutseb EMV alaste ekspertanalüüsidega, milles vaadeldakse näiteks elektrienergia ülekandeliinide ja alajaamade EMV eeldatavaid suuruseid. Uurimisrühma pädevuses on kvaliteetsete mõõtetööde läbi viimine tegelikes asukohtades EMV tasemete selgitamiseks.

### **Inglise keeles**

In the field of power quality, a key challenge is progress towards compliance with EU energy directives, which requires enabling the connection of a large number of power semiconductor converters to distribution networks to integrate solar panels, small wind turbines, and other renewable energy producers into the public grid. For successful implementation the technical limits of distribution networks and conditions under which the network can operate without violating the voltage conditions of other customers or components are being investigated. This topic is directly related to the field of electromagnetic compatibility (EMC) (requirements for equipment and/or network reinforcement against voltage distortion) as well as to power quality (requirements for maintaining voltage levels and preventing network overload). The research group conducts studies and detailed analyses of converter-based equipment to determine their impact on the operational parameters of public distribution networks.

In the field of electromagnetic compatibility (EMC), the research and development activities of the group address questions such as how to integrate different technological solutions into power systems (for example, power line communication and grid-connected renewable energy devices), and how to ensure that electrical and electronic equipment manufactured by industry complies with the criteria set out in the EU EMC Directive and the Low Voltage Directive. Research is also carried out to determine the extent of radio interference from renewable energy solutions and to develop appropriate measurement methods.

To ensure compliance with legislative limits established to prevent potential health effects of electromagnetic fields (EMF) generated by the built environment, it is necessary to conduct analyses already at the planning stage for objects with significant EMF impact. The research group performs expert analyses in the field of EMF, examining, for example, the expected EMF levels of power transmission lines and substations. The group is competent in carrying out high-quality on-site measurement campaigns to determine actual EMF levels.

### Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

#### **Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas**

EESTI-LÄTI NELJANDA ELEKTRIÜHENDUSE RIIGI ERIPLANEERINGU (REP) RAAMES TEOSTATUD ÜLEKANDELIINIDE ELEKTROMAGNETVÄLJADE MÕJU HINNANG

[HTTPS://RIIGIPLANEERING.EE/SITES/DEFAULT/FILES/DOCUMENTS/2025-11/EESTI-L%C3%A4ti\\_%C3%BClekanDELIINIDEEMV\\_ARUANNE\\_\\_L%C3%B5plik\\_\\_20251125\\_PUHAS.PDF](https://riigiplaneering.ee/sites/default/files/documents/2025-11/EESTI-L%C3%A4ti_%C3%BClekanDELIINIDEEMV_ARUANNE__L%C3%B5plik__20251125_PUHAS.PDF)

LIIVI LAHE MERETUULEPARGI ELEKTRIÜHENDUSTE RIIGI ERIPLANEERINGU RAAMES TEOSTATUD ÜLEKANDELIINIDE JA ALAJAAMA ELEKTROMAGNETVÄLJADE MÕJU HINNANG

[HTTPS://WWW.RIIGIPLANEERING.EE/SITES/DEFAULT/FILES/DOCUMENTS/2026-02/LL-REP\\_EMV-ARUANNE\\_TALTECH-2025.PDF](https://www.riigiplaneering.ee/sites/default/files/documents/2026-02/LL-REP_EMV-ARUANNE_TALTECH-2025.PDF)

#### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöök**

Elektrikvaliteedi parameetrite mõõtmine

Elektrikvaliteedi alane nõustamine ja ekspertiis

Elektromagnetilise ühilduvuse katsete läbiviimine

Elektromagnetilise ühilduvuse ekspertiis ja nõustamine

Laiaribaliste häiringute mõõtmine ja analüüs

Elektri- ja magnetväljatugevuse mõõtmine

Tööstuslike elektromagnetväljade hindamine ja mõõtmine  
Elektromagnetilise ühilduvuse mõõtmised paigaldistes ja välisukohtades

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Uurimisgrupp pakub ekspertteenuseid ja mõõtmisteenuseid elektritoite kvaliteedi ja elektromagnetilise ühilduvuse, samuti elektromagnetväljade mõõtmise alal. Laboratoorsete mõõtevahendite toel sooritatakse toitekvaliteedi mõõtmise teenust, samuti elektromagnetilise ühilduvuse valdkonna nõutete eelkatseid. Uurimisgrupp teostab meetodilisi uuringuid elektromagnetväljade ja elektritoite kvaliteedi teemadel.

Uurimisgrupi juures tegutsev mõõtelabor (Elektriliste Tehnoloogiate Mõõtekeskus, EAK tunnistus L302) pakub akrediteeritud elektromagnetväljade mõõtmise teenust sagedusvahemikus 10 Hz ... 3 GHz. Mõõtmisi teostatakse nt töökohtades elektromagnetväljade intensiivsuse määramiseks tööstus- ja kohtades, samuti olmekeskkonnas esinevate elektromagnetväljade hindamiseks.

### **Täiendav info:**

**Uurimisrühma seotus TalTech TA prioriteetse suunaga (kuni kaks olulisemat suunda):**

- 1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad
- 3. Keskkonnaressursside väärastamine

**Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond – kuni 2 alamvaldkonda Frascati Manuaali klassifikaatori alusel ja kuni 3 teaduseriala CERCSi klassifikaatori alusel.**

Frascati Manuaali teadusvaldkonnad:

2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

CERCSi teaduserialad:

T140 Energeetika

T190 Elektrotehnika

T191 Kõrgsagedustehnoloogia, mikrolained

## **Hinnang rühma kasutuses olevale TA taristule (sh kollektsoonid ja andmekogud), piisavus ja seisund**

Hinnang seisundile:

hea

Seisundi selgitus:

Uurimisrühma käsutuses olev mõõtevahendite ja laboratoorsete katsevahendite baas 2025. aastal olulisi täiendusi. Hangitud seadmete nimekirjas on uus kõrgsagedushäiringute analüsaator, millel on täiendavalt laiendatud võimekus avalikus kasutuses olevate telekommunikatsioonisüsteemide poolt tekitatud elektromagnetväljatugevuste registreerimiseks.

Täiendati juba olemasolevaid mõõtesüsteeme, sh tõhustati erinevate mõõtevahendite automatiseerimist. TA taristu arenduste toel on plaanis jätkata akrediteeritud mõõteteenuste väljaarendamisega. Taristu võimekus areneb kaasaegsete normdokumentide alusel täieliku mõõtmistehnika valmisoleku eesmärgiga.

## **Uurimisrühma liikmete osalus oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös lõppenud aastal**

- \* Lauri Kütt, kaasprofessor
- \* IEEE (Elektri- ja elektroonikainseneride instituut), vanemliige
- \* Erialaühendus IEEE Power and Energy society
- \* Erialaühendus IEEE Electromagnetic Compatibility Society
- \* Erialaühendus IEEE Power Electronics Society
- \* Erialaühendus IEEE Industrial Electronics Society
  
- \* Martin Jaanus, vanemlektor
- \* IEEE (Elektri- ja elektroonikainseneride instituut), vanemliige

## **Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit Välispartnerid:**

- Aalto Ülikool, Soome
- Chalmers'i Ülikool, Rootsi

- Riia Tehnikaülikool

**Eesti partnerid:**

- Skepast&Puhkim OÜ
- Elering AS
- Elektrilevi OÜ

**Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

Uurimisrühma liikmed panustasid oluliselt erinevate valdkonda tutvustavate töötubade läbiviimisesse ja välja töötamisse. Töötubade sisuks on olnud elektriliste väikeseadmete koostamine (päikeseelektrijaam, LED lambid, taskulambid jt). Töötubasid viidi läbi mh Noore Inseneri Programmi, TalTech avatud uste päeva raames, samuti suurematel valdkonna üritustel (Positron 2025, Robotex 2025). Uurimisrühma liikmed osalesid mitmetel valdkonna populariseerimise loengutel gümnaasiumi-taseme ja põhikooli õpilastele.

**Rühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused lõppenud aastal  
Riiklikud:****Rahvusvahelised:****Rühma liikmete osalemine TA tegevusega seonduvalt ettevõtete nõustamistes**

Uurimisrühma liige Lauri Kütt:

- EVS tehnilise komitee EVS/TK 44 „Elektromagnetiline ühilduvus“ liige

Uurimisrühma liige Toomas Vinnal

- EVS tehnilise komitee EVS/TK 17 „Madalpinge liige

Uurimisrühma veebilehe aadress

**Eesti keeles**

<https://taltech.ee/elektrotehnika-alused>

**Inglise keeles**

## 4 Elektrimasinate uurimisrühm

### Uurimisrühma juht

Ants Kallaste, kaasprofessor tenuuris, [ants.kallaste@taltech.ee](mailto:ants.kallaste@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Ants Kallaste, Doktor, kaasprofessor tenuuris

Bilal Asad, Doktor, teadur

Siarhei Autsou, Doktor, teadur

Muhammad Usman Naseer, Doktor, teadur

Hadi Ashraf Raja, Doktor, teadur

Martin Sarap, Doktor, teadur

Shahid Hussain, Magister, doktorant-nooremteadur

Hans Tiismus, Doktor, teadur

Toomas Vaimann, Doktor, juhtivteadur

Muhammad Usman Sardar, Magister, doktorant-nooremteadur

Zahoor Ahmad, Magister, doktorant-nooremteadur

Suleman Saeed, Magister, doktorant-nooremteadur

Maia-Liisa Veldi, , laborant

Khizra Arif, Magister, doktorant-nooremteadur

Mehroz Fatima, Magister, doktorant-nooremteadur

Sumeet Khalid, Magister, doktorant-nooremteadur

Waqas Ahmed Sarwar, Magister, doktorant-nooremteadur

Kerdo Kruberg, , õppeassistent

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

elektrimasinad; generaatorid; elektriajamid; diagnostika; seisundiseire; tehisintellekt

#### Inglise keeles

electrical machines; generators; electrical drives; fault diagnostics; condition monitoring; artificial intelligence

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Elektrimasinate uurimisrühma tegevusse kuulub elektrimasinate, sealhulgas tuulegeneraatorite, analüüs, projekteerimine, katsetamine, arendamine jms. Samuti tegeleb töörühm elektrimasinate diagnostikaga, püsिमagnetmaterjalide rakendamisega elektrimasinates ning elektrimasinate ja ajamisüsteemide optimeerimismetodoloogia uurimise ja parendamisega. Viimaste aastate olulisemad teadussuunad on elektrimasinate 3D printimise võimaluste uurimine ja tehnoloogia arendus. Tegeletakse elektrimasinate ja ajamisüsteemide intelligentsete seisundiseire ja diagnostika arendusega, kaasates tehisintellekti, asjade interneti ja Tööstus 4.0 võimalusi. Uurimisrühma tegevuse ühiskondlik mõju on eelkõige seotud keskkonnaprobleemide lahendamisega. Uurimisrühm tegeleb suurel määral elektrimasinate diagnostika ja kasutuse uuringutega, mis toetab ressursitõhusust ning elektrimasinate elukaare põhise projekteerimise valdkonda.

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

The Electrical Machines Research Group is mainly involved in analysis, design, testing, development etc. of electrical machines, including wind generators. Additionally, the research group deals with electrical machine diagnostics, developing of permanent magnet materials for the use in electrical machines, novel methodologies for design and optimization of electrical machines and drives. The main research topics of the last years have been the investigation of additive manufacturing possibilities of electrical machines and the development of this technology. Active research is going on in the field of intelligent methods for electrical machines and drive systems condition monitoring and diagnostics, involving Artificial Intelligence methods, possibilities provided by Internet of Things and Industry 4.0 technologies. The group is actively involved in scientific partnership with other universities and R&D institutions. Services, such as consultations, trainings, expert assessment, etc., are provided for industrial partners. Main research outcomes Material characterization and development of printing methodology for additively manufactured Electrical Machines. The world's first 3D printed induction machine prototype was presented. A 3D printed synchronous reluctance machine prototype was produced in collaboration with McGill University.

### **Viimaste aastate olulisemad projektid:**

PRG1827 Kihltisandustehnoloogial põhinevad elektrimasinad 2023 - 2027

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/f422e3b2-f8ac-40ad-938d-2ea1475284b9>

VERT23001 Elektriseadmete seire ja rikkediagnostika alane rakendussuutlikkuse suurendamine

2023 - 2025 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/e2852e3d-d2ab-416c-9325-86565115fd96>

LEEEE21116 Riski- ja seisundipõhise varahalduse põhimõtete väljatöötamine 2021 - 2025

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/0e92389b-50eb-4ca7-9cef-b035704c462b>

### **Viimaste aastate olulisemad artiklid:**

Plopeanu, Tudor; Kalda, Jaan; Tiismus, Hans; Virro, Indrek; Vaimann, Toomas; Kallaste, Ants (2025).

Optimal shape of additively manufactured magnetic cores. Scientific Reports, 15, art. 42501. DOI:

10.1038/s41598-025-26678-7. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/098cd2ae-bfe5-4765-a860-f8bbb120495d>

Sardar, Muhammad Usman; Vaimann, Toomas; Kütt, Lauri; Asad, Bilal; Kallaste, Ants; Rassõlkin, Anton (2025). Modeling Cable-Fed Induction Motor Drives with Optimized Impedance Characterization Across a Low to High-Frequency Spectrum. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1–14. DOI: 10.1109/TEC.2025.3630465. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/9c986660-1dda-4d45-818c-542917396f30>

Sarap, Martin; Singh, Shalini; Kallaste, Ants; Qureshi, Ahmed Jawad; Tiismus, Hans; Vaimann, Toomas; Ghahfarokhi, Payam Shams (2025). Comparative Study of Advanced Heatsink Structures for Improved Thermal Performance in Axial Flux Motors. IEEE Access, 13, 100850–100860. DOI:

10.1109/ACCESS.2025.3577289. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/14956ecc-53de-4e7c-ad3e-be7d3408f9c2>

Hussain, Shahid; Kallaste, Ants; Naseer, Muhammad Usman; Tiismus, Hans; Sarap, Martin; Asad, Bilal; Vaimann, Toomas (2025). Design and Prototyping of Additively Manufactured Axial Flux Switched Reluctance Machine. IEEE Transactions on Industry Applications, 1–10. DOI: 10.1109/TIA.2025.3604357. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/83a24a60-207b-4689-88ac-973ce5990f8c>

Ajamloo, Akbar Mohammadi; Tiismus, Hans; Kallaste, Ants; Ibrahim, Mohamed N.; Sergeant, Peter (2025). Additively Manufactured Spoke-type Permanent Magnet Rotors: Solutions to Multidisciplinary Design Challenges and Comparison with Traditional Design. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1–12. DOI: 10.1109/TEC.2025.3619827. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/6c9ebabc-a4bb-415c-a8be-b714c6db626c>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### Eesti keeles

2025. aastal on elektrimasinate uurimisrühma liikmed osalenud erinevates kohalikes ja rahvusvahelistes teadus- ja arendusprojektides, milledest võib välja tuua järgnevad:

Kihtlisandustehnoloogial põhinevad elektrimasinad (PRG1827). Antud projektis lahendamist vajavad küsimused on nii masinatüüpide defineerimine, mis on sobivad 3D printimiseks kui ka nende optimeerimine vastavalt 3D printimise võimalustele. Kusjuures on oluline lähtuda ka elektrimasina rakendusest, kuna 3D printimine on just sobilik eriotstarbeliste masinate jaoks. Selleks, et masinaid valmistada on vajalik teada nii 3D prinditud materjalide omadusi kui ka materjali järeltötluse vajadust.

Kõrgekvaliteetne püsिमagnetite taaskasutus uuteks energia- ja mobiilsusrakendusteks (MagNEO) (TEM-TA25). NdFeB, kõige tugevamad ja suurima „energiatihedusega“ püsिमagnetid, leiavad kasutust nii roheenergia tootmisel tuulegeneraatorites kui ka elektriautodes. NdFeB tehnoloogia on võrreldav liitiumakude tehnoloogiaga: mõlemad on võtmetähtsusega, nõuavad piiratud maavarade kaevandamist, taaskasutus on keerukas. NdFeB taaskasutus vähendaks ELi sõltuvust Hiinast, on võrreldes kaevandamisega säästlikum ning väiksema CO<sub>2</sub> jalajäljega. Projekt keskendub paagutatud ("sintered") NdFeB taaskasutuse arendamisele. Keskendume NdFeB magnetite vesinik dekrepiteerimise ja HDDR tehnoloogiatele, kuid uurime ka alternatiive. Tehnoloogilise protsessi sisend on ringlusest kogutud NdFeB ja väljund NdFeB vaheprodukt, mida on võimalik kasutada paagutatud, seotud („bonded“), ALD kaetud, või 3D prinditud NdFeB tööstuslikus, skaleeritavas tootmispotsessis. Narvas on ehitamisel ELi suurim NdFeB tehas. Projektis arendatavad meetodid aitavad parendada olemasolevaid ja leida uusi seal kasutatavaid ringmajanduslikke protsesse.

Eesti Magnetlabor (EML/EstMagLab) (TARISTU24-TK16). EML koondab nelja partneri – Tartu Ülikooli, Tallinna Tehnikaülikooli, Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudi ning Metroserdi – kõrgetasemelist magnetismi ja elektromagnetismi mõistmise ja rakendamise taristut, võimaldades selle ekspertiisi ja teadmise ulatuslikku kasutust ettevõtete ja avaliku sektori poolt, saavutamaks eelkõige

TAIE ja Eesti 2035 eesmärged. EML partnerid on NEO Sillamäe ja Narva tehased.

EML hõlmab kolme hajutatud tuumiklaborit – Magnetite ja magnetmaterjalid, Haruldaste elementide taaskasutus ja Elektromagnetismi rakendused – mis koondavad EML partnerite mitmekülgset oskusteavet. Tuumiklaborid tegelevad tipptasemel elektromagnetilise ekspertiisi pakkumisega, analüüsimetoodikate arendamisega, magnetiliste analüüsides pakkumisega teadus- ja tööstuslaborites ning erialase koolitamisega. Teadustaristu on kaasatud õppe- ning teadustegevusse, esindab Eestit rahvusvahelistes organisatsioonides (EMA, EMFL, NHMFL, COST) ning osaleb arvukates rahvusvahelistes projektides.

Rakendussuutlikuse suurendamine tuuleenergia seadmete seisundipõhises hoolduses (ECO-WIND) (VERT24056). Projekti eesmärk on suurendada eksperttööjõu hulka ja digitaliseerimise taset partnerasutuste tõrgete diagnoosimise, tuuleturbiinide seisundipõhise hoolduse ja nendega seotud komponentide valdkonnas, uuendades õpetamis- ja õppemeetodeid tuuleenergiaga seotud kõrghariduse pakkumises. Lisaks rakendatakse tehisintellekti vajalike hooldusotsuste tegemiseks, suurendades sellise lähenemise olulisust tööturul ja ühiskonnas tervikuna. Projekt aitab Vietnamis ja Tais asuvatel partneritel toota tuuleenergia seisundipõhise hoolduse valdkonnas sisemisi inimressursse, vähendades mõlema riigi sõltumatust välistest konsultantidest. Projekti peamine eesmärk on rakendada partnerriikide kõrgkoolide õppekavas reaalse probleemipõhise õpetamise ja õppimise meetodeid, kasutades Euroopa Liidu partnerülikoolide oskusteavet ja pikaajalist valdkondliku õpetamis- ja teadustegevuse kogemust. Lisaks loob projekt võimekuse uue põlvkonna spetsialistide tekkeks, kellel on iseseisev ja globaalne arusaam, interdistsiplinaarne kogemus, pädevus tuuleenergia valdkonnas. Projekt aitab ka Euroopa Liidu partnereid arendada taastuvenergia valdkonnas tehtavat õpet ja luua jätkusuutlik üliõpilasvoog mõlemas suunas.

Elektriseadmete seire ja rikkediagnostika alane rakendussuutlikkuse suurendamine (VER23001). Projekti eesmärk on tõsta spetsialiseeritud tööjõu elektrisüsteemide ja -seadmete diagnostika ja seire alast kvalifikatsiooni projekti partnerriikides. Selleks luuakse valdkonna õppeks olulisi innovaatilisi õpetamis- ja õppemeetodeid, mille abil vähendatakse eriala ekspertteadmiste puudujääki ning tõstetakse projekti valdkonna olulisust tööjõuturul ja ühiskonnas. Projekt aitab Nepalil ja Bhutanil luua kohalik spetsialiseeritud ekspertteadmisi omav inimressurss elektriseadmete alases seires ja diagnostikas, vähendades sõltuvust väliskonsultantidest. Peamiseks eesmärgiks on edendada probleemõppel põhinevat õpetamist ja õpet Nepalil ja Bhutanil, kasutades Euroopa partnerülikoolide pikaajalist kogemust valdkonnas, samal ajal võimaldades Euroopa partnerülikoolidel uuendada oma vastavaid õppematerjale ning edendada üliõpilasvahetust ja teaduskoostööd projekti partnerite vahel.

Riski- ja seisundipõhise varahalduse põhimõtete väljatöötamine (LEEEE21116). Töö eesmärk on mõista elektrivõrgu operaatori varade kasutatavust ja arendada metodoloogia seadmete tegeliku tehnilise seisukorra määramiseks ja analüüsiks. Samuti on oluliseks väljundiks hooldusmetoodika arendamine ja võimalik rakendamine tellija reaalse alajaama näitel.

Sünkroonkompensaatorite paigaldamisega seotud tehniline konsultatsioon (LEEEV22087).

Projekti eesmärk on tehniliselt konsulteerida sünkroonkompensaatorite hankimist ja paigaldamist Lätis.

2025. aastal kaitses uurimisrühmas doktorikraadi:

Muhammad Usman Naseer, doktorikraad, 2025, (juh) Ants Kallaste; Toomas Vaimann, Design and Modeling of Contoured Airgap Topology for Additively Manufactured Electrical Machines (Kõverdatud õhupilu topoloogiaga kihtlisandusmeetodil valmistatud elektrimasinate projekteerimine ja modelleerimine), Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Martin Sarap, doktorikraad, 2025, (juh) Ants Kallaste; Payam Shams Ghahfarokhi, Additively Manufactured Advanced Thermal Management Solutions for Electrical Machines (Kihtlisandusmeetodil valmistatud täiustatud jahutuslahendused elektrimasinatele), Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

### **Inglise keeles**

Additive Manufacturing-Based Electrical Machines (PRG1827)

This project addresses issues such as defining types of machines suitable for 3D printing and optimizing them according to the possibilities of 3D printing. A key consideration is the application of the electrical machine, as 3D printing is particularly suitable for specialized machines. Manufacturing these machines requires knowledge of the properties of 3D-printed materials and the need for post-processing.

High-Quality Recycling of Permanent Magnets for New Energy and Mobility Applications (MagNEO) (TEM-TA25)

NdFeB, the strongest permanent magnets with the highest "energy density," are used in renewable energy production (e.g., wind turbines) and electric vehicles.

The technology of NdFeB is comparable to lithium battery technology: both are critical, rely on limited natural resources, and are difficult to recycle.

Recycling NdFeB would reduce the EU's dependence on China, be more sustainable than mining, and have a smaller carbon footprint. The project focuses on developing recycling methods for sintered NdFeB magnets, using hydrogen decrepitation and HDDR technologies while exploring alternatives. The process inputs are recycled NdFeB magnets, and the outputs include intermediate products suitable for various industrial applications, such as sintered, bonded, ALD-coated, or 3D-printed NdFeB magnets. A major NdFeB recycling plant is under construction in Narva, and the methods developed in this project aim to improve existing processes and identify new circular economy solutions.

Estonian Magnetism Laboratory (MagNEO) (TEM-TA25). EML brings together the high-level infrastructure of understanding and application of magnetism and electromagnetism of four partners - University of Tartu, Tallinn University of Technology, Institute of Chemical and Biological Physics, and Metrosert with the aim of enabling extensive use of this expertise and knowledge by companies and the public sector, also in order to achieve TAIE and Estonia 2035 goals. EML partners with NEO materials (Sillamäe) and magnet (Narva) factories.

EML includes three distributed core laboratories - Magnets and magnetic materials, Recycling of rare elements, and Electro-magnetism applications - bringing together the versatile know-how of EMLpartners. The laboratories provide top-level electromagnetic analysis expertise, develop methodologies, offer scientific and industrial magnetic analyzes, and provide professional training. EML represents Estonia in international organizations (EMA, EMFL, NHMFL, COST) and participates in numerous international projects.

Enhancing Capacity in Condition-based Maintenance of Wind Energy (ECO-WIND) (VERT24056). This project aims at enhancing expert workforce and digitalization in the field of fault diagnosis, condition-based maintenance of wind turbines and related components in the partner institutions by bringing innovation in higher education teaching and learning methods in wind energy and applied artificial intelligence for maintenance decisions, increasing its relevance for the labour market and the society as a whole. The project will help partners in Vietnam and Thailand to produce in-house human resources in the field of condition-based maintenance of wind energy, making both the countries independent of external consultants. The main objective of the project is to implement real problem-based teaching and learning methods in the curriculum of higher education institutions (HEIs) of the partner countries. The expertise and know-how of the EU partner universities and their long-term teaching and research in this field would make this project objective achievable. Moreover, this project will build the capacity to produce graduates with independent, global insight, interdisciplinary expertise, competence in wind energy, and intercultural expertise. The project will also help the EU partners to renew their education in renewable energy and build a sustainable flow of students in both directions.

Enhancing the Practical Application of Monitoring and Fault Diagnostics of Electrical Equipment (VER23001)

The project aims to improve the qualifications of specialized personnel in electrical systems and equipment diagnostics and monitoring in the participating countries. It seeks to develop innovative teaching and learning methods for this

field, addressing the shortage of expert knowledge and raising the sector's significance in the labor market and society. The project is focused on creating local expertise in Nepal and Bhutan to reduce dependency on foreign consultants, using problem-based learning approaches. European partner universities will also update their educational materials and foster student exchanges and scientific collaboration.

#### Development of Risk- and Condition-Based Asset Management Principles (LEEEE21116)

This project aims to understand the usability of assets managed by an electrical grid operator and develop methodologies for determining and analyzing the actual technical condition of equipment. A significant outcome is the development and potential implementation of maintenance methodologies based on a real substation provided by the client.

#### Technical Consultation on the Installation of Synchronous Compensators (LEEEV22087)

The project involves providing technical consultation for the procurement and installation of synchronous compensators in Latvia.

#### Doctoral Defenses in 2024

Muhammad Usman Naseer, doktorikraad, 2025, (juh) Ants Kallaste; Toomas Vaimann, Design and Modeling of Contoured Airgap Topology for Additively Manufactured Electrical Machines (Kõverdatud õhupilu topoloogiaga kihtlisandusmeetodil valmistatud elektrimasinate projekteerimine ja modelleerimine), Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Martin Sarap, doktorikraad, 2025, (juh) Ants Kallaste; Payam Shams Ghahfarokhi, Additively Manufactured Advanced Thermal Management Solutions for Electrical Machines (Kihtlisandusmeetodil valmistatud täiustatud jahutuslahendused elektrimasinatele), Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

## Rühma TA seotus ühiskonnas aktuaalsete probleemidega ning neile lahenduste pakkumisega

### Eesti keeles

Elektrimasinate teadus- ja arendustegevusel on oluline ühiskondlik mõjukus, kuna see on seotud mitmete aktuaalsete ja eeldatavalt tulevikus tekkivate probleemide lahendamisega. Siin on mõned näited elektrimasinate teadus- ja arendustegevuse ühiskondlikust mõjukusest:

\* Energiatõhusus ja säästlikkus: Elektrimasinate parem efektiivsus ja energiatõhusus on olulised keskkonnasäästlikkuse seisukohast. Näiteks, kui elektrimasinad on optimeeritud ja valmistatud vastavalt uusimatele tehnoloogiatele, väheneb energiakulu, mis omakorda aitab vähendada süsiniku jalajälge.

\* Tööstuslik internet ja tehisintellekt: Elektrimasinate seire- ja diagnostikameetodid, mis kasutavad tööstusliku interneti ja tehisintellekti võimalusi, võivad aidata ennetada rikkeid, suurendades seeläbi masinate töökindlust ja pikendades nende eluiga. See omakorda vähendab hoolduskulusid ja parandab tootmise tõhusust.

\* 3D-printimise tehnoloogia kasutamine: Elektrimasinate loomisel 3D-printimise tehnoloogiat kasutades saab masinate kujundust kohandada vastavalt spetsiifilistele vajadustele. See võib olla eriti kasulik eriotstarbeliste masinate jaoks, mis nõuavad unikaalset disaini ja funktsionaalsust.

\* Elektrisüsteemide diagnostika ja seire: Diagnostikasüsteemid elektrivõrgus olevate elektrimasinate jaoks võivad aidata tuvastada potentsiaalseid rikkeid enne nende tekkimist. See suurendab elektrisüsteemide usaldusväärsust ja vähendab ootamatute elektrikatkestuste riski, mis omakorda mõjutab positiivselt ühiskonna igapäevaelu ja ettevõtete tootmist.

\* Kvalifikatsiooni tõstmine: Osalemine haridus- ja arendusprojektides, mis suurendavad spetsialiseeritud tööjõu elektrisüsteemide ja -seadmete diagnostika alast kvalifikatsiooni, aitab tõsta osalevate riikide töötajate oskustaset. See omakorda soodustab kohalikku tööhõivet ja teadmiste levikut ühiskonnas.

Kokkuvõttes võib elektrimasinate teadus- ja arendustegevuse ühiskondlik mõjukus avalduda mitmel moel, olles suunatud keskkonnasäästlikkusele, efektiivsusele, turvalisusele ning tööturu kvalifikatsiooni ja oskuste arendamisele.

### **Inglise keeles**

The societal impact of electrical machines research and development is significant, as it is connected to addressing current and anticipated future societal issues, offering solutions to them. Here are some examples of the societal impact of electrical machines research and development:

\* Energy Efficiency and Sustainability: Improved efficiency and energy sustainability of electrical machines are crucial for environmental sustainability. For instance, optimizing and manufacturing electrical machines using the latest technologies can reduce energy consumption, thereby decreasing the carbon footprint.

\* Industrial Internet and Artificial Intelligence: Monitoring and diagnostic methods for electrical machines utilizing the capabilities of industrial internet and artificial intelligence can help prevent breakdowns, thereby enhancing machine reliability and extending their lifespan. This, in turn, reduces maintenance costs and improves production efficiency.

\* Utilization of 3D Printing Technology: Incorporating 3D printing technology in the creation of electrical machines allows for the customization of machine designs according to specific needs. This can be particularly beneficial for specialized machines that require unique designs and functionalities.

\* Diagnostics and Monitoring of Electrical Systems: Diagnostic systems for electrical machines within the power grid can help identify potential faults before they occur. This increases the reliability of electrical systems and reduces the risk of unexpected power outages, positively impacting daily life and business operations.

\* Elevating Qualifications: Participation in education and development projects that enhance the qualification in the diagnostics of electrical systems and equipment contributes to raising the skill level of the workforce in participating countries. This, in turn, promotes local employment and the dissemination of knowledge within society.

In summary, the societal impact of electrical machines research and development can manifest in various ways, focusing on environmental sustainability, efficiency, safety, and the development of qualifications and skills in the workforce.

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

### **Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas**

\* LEEEV22087 Sünkroonkompensaatorite paigaldamisega seotud tehniline konsultatsioon, AS "Augstsprieguma tīkls" Lāti

\* LEEEE21116 Riski- ja seisundipõhise varahalduse põhimõtete väljatöötamine, Elering AS

\* Mootori vastavuskriteeriumite väljatöötamine, Enefit Power AS

\* Konsultatsioon 3D prinditud elektrimasinate alal, Dynatomics LLC

\* Päikeseelektrijaamade rikkepõhjuste analüüs, Evecon OÜ

\* Tuuliku väljatöötamine, Solintel OÜ

### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöök**

\* Elektrimasinad ja energiamuundamis tehnoloogiad

\* Projekteerimine, optimeerimine ja diagnostika ekspertiis elektrimasinate

valdkonnas

\* Energiamuundussüsteemide jälgimise ja diagnostika meetodite arendamine

\* Kihtlisandusmeetoditel elektrimasinad

\* Eriotstarbeliste elektrimasinate ja komponentide valmistamiseks sobivate 3D-printimismeetodite uurimine ja väljatöötamine.

\* Elektrisüsteemide diagnostika ja seire

\* Reaalselt rakendatavate diagnostikasüsteemide väljatöötamine elektrivõrgus olevate elektrimasinate rikete tuvastamiseks.

\* Tööstuslik internet (IoT) ja tehisintellekt

\* Tööstusliku interneti ja tehisintellekti kasutamise oskus elektrimasinate seire ja diagnostika täiustamiseks.

\* Energiatõhususe ja keskkonnasäästlikkuse uurimine

\* Elektrimasinate energiatõhususe ja keskkonnasäästlikkuse uurimine ning nende parendamisele suunatud lahenduste pakkumine.

\* Õppearendus elektriseadmete valdkonnas

\* Osalemine projektides, mis tõstavad spetsialiseeritud tööjõu kvalifikatsiooni elektrimasinate projekteerimise, kasutamise ja diagnostika alal.

## **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

### **Täiendav info:**

**Uurimisrühma seotus TalTech TA prioriteetse suunaga (kuni kaks olulisemat suunda):**

- 3. Keskkonnaressursside vääristamine
- 1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad

**Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond – kuni 2 alamvaldkonda Frascati Manuali klassifikaatori alusel ja kuni 3 teaduseriala CERCSi klassifikaatori alusel.**

Frascati Manuali teadusvaldkonnad:

2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

CERCSi teaduserialad:

T140 Energeetika

T190 Elektrotehnika  
T455 Mootorid ja ajamid

**Hinnang rühma kasutuses olevale TA taristule (sh kollektsioonid ja andmekogud), piisavus ja seisund**

Hinnang seisundile:

piisav

Seisundi selgitus:

EMG rühma kasutuses on NRG-001 teaduslabor. Elektrimasinate laboris on võimalik läbi viia erinevaid elektrimasinate alaseid katsetusi kuni 50 kW masinatega. Laboris on olemas seadmed erinevate elektriliste, mehaaniliste, soojuslike ja magnetiliste parameetrite mõõtmiseks. On olemas muundurid nii asünkroon-, sünkroon kui ka reluktantsmasinate juhtimiseks. Lisaks on olemas laboris tuuletunnel (tuul <20m/s) läbimõõduga 80 cm erinevate jahutustingimuste ja diagnostikapark asünkroon- ja püsomagnetmasinate rikete monitoorimiseks. Hetkel on arendamisel elektrimasinate kalorimeetriline katsekompleks.

**Uurimisrühma liikmete osalus oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös lõppenud aastal**

\* Ants Kallaste

\* IEEE, vanemliige

\* Toomas Vaimann

\* IEEE, vanemliige

\* Rahvusvahelise konverentsi International Scientific and Practical Conference Environment. Technology. Resources. teadusliku komitee liige

\* Rahvusvahelise konverentsi International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE) juhtkomitee liige

\* MDPI Machines - ajakirja valdkondliku toimetuskolleegiumi liige

\* Rahvusvahelise mehhatroonikakonverentsi – Mechatronika, rahvusvahelise teadusliku komitee liige

\* Hans Tiismus

\* IEEE, liige

\* Bilal Asad

\* IEEE, liige

\* Hadi Ashraf Raja

\* IEEE, liige

\* Muhammad Usman Naseer

\* IEEE, Üliõpilasliige

\* Martin Sarap

\* IEEE, Üliõpilasliige

\* Shahid Hussein,

\* IEEE, Üliõpilasliige

### **Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit**

#### **Välispartnerid:**

- Aalto University, School of Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering and Automation
- Ghent University, Belgium, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electromechanical, Systems and Metal Engineering
- McGill University, Department of Electrical and Computer Engineering, Computational Electromagnetics Lab

#### **Eesti partnerid:**

- If P&C Insurance AS
- Elering AS
- Evecon OÜ

### **Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

\* 08.08.2025 Arvamusfestival - Energiline majandus: suur teadlaste debatt

„Teadlaste roll energiapöördes“

\* 11.06.2025 ERC presidendi Maria Leptini visiit Eestisse – paneeldiskussioon

<https://www.youtube.com/watch?v=7TfmA4GYhgE>

\* 25.04.2025 Postimees - „Doktorantide läbipõlemine suretab Eesti teaduse

<https://arvamus.postimees.ee/8236689>

\* 16.04.2025 Konverents Riigikogu konverentsisaalis: teaduspoliitika ja

teadmispõhine poliitika - Eesti teaduse inimressurss. Kui jätkusuutlikud on

Eesti teadus ja kõrgharidus? <https://www.youtube.com/watch?v=1QTzUSK5df8>

\* 01.01.2025 Eesti teadus 2025 kogumik – Eesti teaduse inimressurss

[https://etag.ee/wp-content/uploads/2025/01/Eesti\\_Teadus\\_2025.pdf](https://etag.ee/wp-content/uploads/2025/01/Eesti_Teadus_2025.pdf)

**Rühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused lõppenud aastal**  
**Riiklikud:**

**Rahvusvahelised:**

**Rühma liikmete osalemine TA tegevusega seonduvalt ettevõtete nõustamistes**

Uurimisrühma veebilehe aadress

**Eesti keeles**

<https://taltech.ee/elektrimasinad>

**Inglise keeles**

## 5 Energiamajanduse ja kõrgepingetehnika uurimisrühm

### Uurimisrühma juht

Ivo Palu, täisprofessor tenuuris, [ivo.palu@taltech.ee](mailto:ivo.palu@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Ivo Palu, Doktor, täisprofessor tenuuris  
Hannes Agabus, Doktor, energiamajanduse ekspert  
Victor Astapov, Doktor, teadur  
Ivar Kiitam, Doktor, teadur  
Reeli Kuhi-Thalfeldt, Doktor, vanemlektor  
Sambeet Mishra, Doktor, teadur  
Maninder Choudhary, Magister, doktorant-nooremteadur  
Praveen Prakash Singh, Magister, doktorant-nooremteadur  
Jelena Šuvalova, Doktor, vanemlektor  
Paul Taklaja, Doktor, vanemlektor  
Sten Buldas, Kesk, laborant  
Ahto Pärl, Magister, doktorant-nooremteadur  
Heiki Jakson, Magister, doktorant-nooremteadur  
Johan Felix Blumfeldt, Magister, doktorant-nooremteadur  
Lisete Laine, , õppeassistent  
Vladislav Musakko, , vesinikutehnoloogia spetsialist  
Kristopher Raik, Magister, doktorant-nooremteadur  
Alexander Varushchenkov, Magister, doktorant-nooremteadur  
Rasmus Tammis, , õppeassistent

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

kliimamuutust leevendav energiamajandus; tehnoloogia rakendatavuse ja investeringute tasuvuse analüüsid; elektrisüsteemi ja elektrituru majanduslik- ja tehniline modelleerimine; kõrgepinge; isolaatorid; osalahendused

#### Inglise keeles

green energy economy; technology applicability and investment profitability analyses; economic and technical modelling of power system and electricity market; high voltage; insulators; partial discharges

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Uurimisrühm tegeleb energiasüsteemi, selle osade ja elektrituru kontekstis erinevate analüüside läbiviimisega. Omatakse pädevust elektrisüsteemi ja elektrituru talituse majanduslikes ning tehnilistes modelleerimistes, mida viiakse läbi erinevate tarkvaradega nagu Enegypro, DigSilent, WindPro jt. Uuringutes arvestatakse energiasüsteemide tehniliste elementidega nii investeringute majanduslikes analüüsid kui ka süsteemide optimeerimisel. Stsenaariumipõhistes analüüsid hinnatakse elektrijaamade konkurentsivõimet elektriturul ning süsteemi tundlikkust sisendparameetrite muutuste korral. Lisaks energiamajanduslikele arengutele hinnatakse arengustsenaariume energiasektoris ning koostatud prognooside põhjal leitakse optimaalseim süsteemi

energiavarustuse tase, mille tulemusena aidatakse kaasa energiapoliitika arendamisele ja riikliku pikaajalise energiastrateegia väljatöötamisele. Läbimõeldud lahendused aitavad maandada süsteemi tuleviku perspektiivis tekkivaid riske ning parandada kvaliteeti. Uurimisrühm tegeleb ka kliima- ja roheinvesteeringute võimendamise ning elektrituru disaini kaasajastamisega uute võimaluste ja esile kerkivate tehnoloogiatel põhinevate toodete ja teenustega. Kõrgepingetehnika labor keskendub kõrgepinge isolatsioonimaterjalide ja kõrgepinge ning suure elektriväljatugevuse mõju uurimisele elektriseadmetele. Lisaks uuritakse elektrikvaliteedi mõju kõrgepingeseadmetele, nagu näiteks trafod, kaabelliinid ja muud elektriseadmed.

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

The research team specializes in analyzing the components and challenges of the energy market to gain insight and create models using software such as EnergyPro, DigSilent, Windpro. The models consider future technologies and trends to evaluate the economic aspects of new power plants and their competitiveness. Broader models are used to analyze the energy system's impact on policies and regulations, allowing the government and policymakers to create better long-term development plans and aid economic growth. The team has international expertise in technology applicability and investment profitability analysis. In-service programs are available for professional training and staff development. They also conduct research on digitalizing the energy sector and high voltage insulation and applications. The High Voltage research laboratory activities are focused on the studies of the high voltage insulation and applications associated with the high voltages and strong electrical fields. Most research is related to the insulators and insulation used in power lines, both overhead and cable lines are studied. Another scope of research is the effects of high loading, nonlinear loads and power quality to high voltage equipment (transformers, cable power lines etc.).

### **Viimaste aastate olulisemad projektid:**

LEEEE24081 Ekspertis hindamaks Eleringi poolt sagedusreservide turu arendamist vastavalt (EL) 2017/2195 ning Mandri-Euroopa sünkroonala toimimist korraldavale lepingule ning selle lisadele (SAFA) 2024 - 2024 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/b32d290b-dbfa-4a96-95a1-8a9097a051a2>

LEEEE24062 Tootsi-Sopi tuulepargi keskpinge kaablite osalahenduste mõõtmine 2024 - 2024 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/f03e041b-271f-49ce-a1e6-b60c2c796174>

LEEEE25061 Ohutus hajatootjatega võrgus: praktilised katsed 2025 - 2025 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/47a449e6-96c6-4607-856a-1fab582c1b2d>

LEEEE24103 Ohutus hajatootjatega võrgus: teoreetiline analüüs 2024 - 2025 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/a3d36fa9-9d50-4325-a62b-fc471926f9b7>

TF23027EE Roheoskused ettevõtete rohepöörde toetamiseks: elektrienergia ja energeetika 2023 - 2024 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/a1b27e85-658b-4f07-ba07-ccfe2e74faa7>

#### **Viimaste aastate olulisemad artiklid:**

Choudhary, Maninder; Shafiq, Muhammad; Bhattarai, Abhinav; Kiitam, Ivar; Taklaja, Paul; Palu, Ivo (2025). A Comprehensive Study of Partial Discharge Based Extrinsic Aging in Nomex Insulation Films: Modeling, Simulation and Measurement. Electric Power Systems Research, 245, #111663. DOI: 10.1016/j.epsr.2025.111663. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/31b576cc-cdae-41cb-b7c6-9bbe8f2f92e7>

Pärl, Ahto; Singh, Praveen Prakash; Palu, Ivo; Sachan, Sulabh (2025). Cost Analysis and Optimization of Modern Power System Operations. Applied Sciences, 15 (15), #8481. DOI: 10.3390/app15158481. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/e71c40d0-211d-4bac-8619-5fb6ff1c1a3f>

Maask, Vahur; Agabus, Hannes; Tiismus, Hans; Astapov, Victor; Ahmadiyahangar, Roya; Korõtko, Tarmo; Rosin, Argo (2025). Exploring the Landscape of End User Energy Flexibility: A Systematic Review of Technologies, Challenges, and Opportunities. IEEE Access, 13, 146579–146602. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3599989. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/70072cfc-aa3a-459a-b175-afcd440ce315>

Shabbir, Noman; Kutt, Lauri; Astapov, Victor; Daniel, Kamran; Jawad, Muhammad; Sardar, Muhammad Usman (2025). Analytics-Driven BESS Control Mechanism for Congestion Management in Distribution Networks. 2025 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC): Texas, USA, 10-11 February 2025. IEEE, 1–6. DOI: 10.1109/TPEC63981.2025.10907051. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/b82dbbab-0ead-4652-b897-616a455ab063>

Choudhary, Maninder; Palu, Ivo; Kiitam, Ivar; Shafiq, Muhammad; Taklaja, Paul (2024). Study of Partial Discharge Characteristics in Medium Voltage Cable Insulation with Internal Defect. 2024 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Applications (ICHVE): IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Applications (ICHVE), AUG 18-22, 2024, Berlin, GERMANY. New York: IEEE, 1–4. DOI: 10.1109/ICHVE61955.2024.10676188. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/8fd777c2-2747-4dd7-a834-a79492212342>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### **Eesti keeles**

### **Inglise keeles**

## Rühma TA seotus ühiskonnas aktuaalsete probleemidega ning neile lahenduste pakkumisega

### **Eesti keeles**

Energiamajanduslike arengute alastes analüüsid hinnatakse arengutsenaariume energiasektoris ning koostatud prognooside põhjal leitakse optimaalseim süsteemi energiaravustuse tase, mille tulemusena aidatakse kaasa energiapoliitika arendamisele ja riikliku pikaajalise energiate strateegia

väljatöötamisele. Läbimõeldud lahendused aitavad maandada süsteemi tuleviku perspektiivis tekkivaid riske ning parandada kvaliteeti.

Kõrgepingelabor toetab energiamajanduslike analüüse ja aidates ennetada elektrisüsteemi rikkeid ja katkestusi, muutes seadmete vananemise ja töökindluse teaduspõhiselt hinnatavaks ning juhitavaks. Läbi usaldusväärse diagnostika ja teadmussiirde toetab labor ühiskonna usaldust energiasüsteemi vastu, aidates selgitada, miks varustuskindlus, ohutus ja pikaajalised investeeringud on ühine hüve, mitte ainult tehniline detail.

### **Inglise keeles**

Energy economic analyses assess development scenarios in the energy sector and use these assessments to identify the optimal level of energy supply for the system. The results support energy policy development and the formulation of long-term national energy strategies. Well-considered solutions help reduce future system-level risks and improve overall system quality over the long term.

The high-voltage laboratory supports energy economic analyses by helping to prevent failures and interruptions in the electricity system, making equipment aging and reliability scientifically assessable and manageable. Through reliable diagnostics and knowledge transfer, the laboratory strengthens societal trust in the energy system by explaining why security of supply, safety, and long-term investments are a common good rather than merely a technical detail.

### **Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta**

#### **Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas**

Uurimisrühma energiamajanduse suuna strateegiline eesmärk on

arendada täpne ja usaldusväärne mudeldamisvõimekus, mis aitab kujundada Eesti energiasüsteemi arengut ja piirkondliku elektri- ja gaasituru (sh vesinik) konkurentsivõimet nii lühi- kui pikaajaliselt, toetades poliitilisi ja majanduslikke otsuseid energiaspektori tulevikusuundade määratlemiseks.

Kõrgepingelabori strateegiline roll on olla sild elektrisüsteemi füüsilise

seisukorra, selle vananemise ja ühiskondlike ootuste vahel, aidates mõista, kuidas nähtamatu tehniline töökindlus kujundab varustuskindlust, kulusid ja ühiskonna heaolu. Labor toimib ennetava ja siduva teadmuskeskusena, kus kõrgepingemõõtmised ja isolatsioonidiagnostika toetavad insenertehnilisi, majanduslikke ja regulatiivseid otsuseid olukorras, kus infrastruktuur vananeb ja energiasüsteemi ootused kasvavad.

### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöök**

Uurimisrühm omab järgmisi kompetentse:

- \* kõrgepingetehnikaga seotud mõõtmised, analüüsid ja diagnostika. olemas vastavateks töödeks vajalik mõõtetehnika ja labor.
- \* elektri tulevikustenaariumite analüüs ja mudeldamine. Olemas vajalikud tarkvarad ja litsentsid.

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

uurimisrühma koostöö ettevõtetega saab jagada kaheks:

- \* kõrgepingealased konsultatsioonid ja elektrikaablite mõõtmine ja diagnostika
- \* energiamajanduse alased konsultatsioonid ja analüüsid

Energiamajanduslikud analüüsid loovad aluse ettevõtlus- ja innovatsioonitegevuse edendamiseks energiasektoris, hinnates arengustsenaariume ning aidates määrata süsteemi optimaalset energiavarustuse taset. Analüüside tulemused toetavad teaduspõhiste lahenduste arendamist ja rakendamist koostöös ettevõtetega, pakkudes sisendit energiapoliitika kujundamisse ja pikaajaliste strateegiate väljatöötamisse.

Läbimõeldud ja rakenduslikud lahendused aitavad ettevõtetel vähendada tulevikuriske, parandada teenuste ja toodete kvaliteeti ning suurendada konkurentsivõimet, luues selge seose teadustöö, innovatsiooni ja majandusliku

väärtuse loomise vahel.

Kõrgepingelabori tegevus loob eeldused rakendusliku teadus- ja arendustöö kommertsialiseerimiseks ning aktiivseks koostööks ettevõtlussektoriga. Labori mõõtevõimekus, diagnostilised meetodid ja ekspertiis võimaldavad pakkuda praktilisi lahendusi elektrisüsteemide töökindluse, seadmete vananemise ja riskijuhtimisega seotud probleemidele, mis on otseselt olulised võrguettevõtetele, seadmetootjatele ja hooldusettevõtetele.

Lisaks toetab kõrgepingelabor osalemist rahvusvahelistes ja Euroopa tasandi arendusprojektides (nt Horizon Europe), kus ettevõtted ja teadusasutused tegutsevad koos uute lahenduste, teenuste ja meetodikate väljatöötamisel. Uurimisrühmal on võimalik kaasata ettevõtlussektorit kui koostööpartnerit või kaasrahastajat, luues selge sideme teadustulemuste ja majandusliku rakendatavuse vahel. See lähenemine tugevdab labori rolli teadmussiirde, innovatsiooni ja ettevõtluskoostöö platvormina.

### Täiendav info:

**Uurimisrühma seotus TalTech TA prioriteetse suunaga (kuni kaks olulisemat suunda):**

- 2. Usaldusväärsed IT lahendused
- 4. Innovaatilised ettevõtted ja tulevikku vaatav riigivalitsemine

**Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond – kuni 2 alamvaldkonda Frascati Manuaali klassifikaatori alusel ja kuni 3 teaduseriala CERCS klasifikaatori alusel.**

Frascati Manuaali teadusvaldkonnad:

2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

CERCSi teaduserialad:

T140 Energeetika

T190 Elektrotehnika

**Hinnang rühma kasutuses olevale TA taristule (sh kollektsioonid ja andmekogud), piisavus ja seisund**

Hinnang seisundile:

piisav

Seisundi selgitus:

## KÕRGEPIINGELLABORI SEADMED JA MÕÕTEVÕIMEKUS

Kõrgepingelabor on varustatud kaasaegsete seadmete ja mõõtesüsteemidega, mis võimaldavad teostada laia valikut elektriseadmete ja -taristu katseid ning diagnostikat nii laboris kui ka välitingimustes.

Laboris on võimalik läbi viia:

- \* Äikese- ja lülitusliigpingete katseid impulsspinge generaatori (IPG) abil kuni 800 kV, võimaldades hinnata seadmete käitumist ekstreemsete pingesündmuste korral.
- \* Kõrgepingelisi vahelduvpinge (50 Hz) katseid kuni 300 kV, mis sobivad erinevate isolatsioonisüsteemide ja elektriseadmete testimiseks.
- \* Osalahenduste mõõtmist vahelduvpingel laboris kuni 100 kVrms ning sumbuva vahelduspingelise võnkumise (DAC) meetodil mobiilselt kuni 35 kVrms, sh isolaatorite, jõukaablite ja muude kõrgepingeseadmete puhul.
- \* Osalahenduste tuvastamist ja lokaliseerimist mitme erineva meetodi abil
- \* Isolatsioonitakistuse mõõtmist alalispingel vahemikus 50–5000 V, kus mõõdetavad takistuse väärtused ulatuvad kuni 10 TΩ; sobiv trafodele, mootoritele, generaatoritele ja kaablitele.
- \* Üleminekutakistuse mõõtmist alalisvooluga vahemikus 0,1 μΩ – 999,9 mΩ, kasutades voole kuni 800 A, mis on oluline ühenduste ja kontaktide seisukorra hindamisel.
- \* Suure voolu tekitamist kuni 6000 A vahelduvvoolul (50 Hz) lühiskeeruga voolutrafo abil, võimaldades soojus- ja mehaaniliste koormuste analüüsi.
- \* Trafoõli läbilöögipinge määramist kuni 60 kV, kasutades erinevaid standardseid elektroode (kera-, silindri- ja seenekujulised), vastavalt kehtivatele standarditele.
- \* Maandustakistuse ja pinnase eritakistuse mõõtmist vahemikus 1 mΩ – 99,9 kΩ, toetades nii elektripaigaldiste projekteerimist kui ka seisukorra hindamist.

**Uurimisrühma liikmete osalus oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös lõppenud aastal**

**Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit**  
**Välispartnerid:**

- Aalto Ülikool
- University of South-Eastern Norway, USN
- Technical University of Denmark, DTU

**Eesti partnerid:**

- HARNO
- Kliimaministeerium
- Eesti Energia; Elektrilevi

**Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

Uurimisrühma liikmete esinemine koolides, meedias ja kutsutud konverentsidel.

**Rühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused lõppenud aastal**  
**Riiklikud:**

**Rahvusvahelised:**

**Rühma liikmete osalemine TA tegevusega seonduvalt ettevõtete nõustamistes**

Ivo Palu on Eesti Elektroenergeetika Seltsi juhatuse esimees ja CIGRE Eesti rahvuskomitee esimees.

Uurimisrühma veebilehe aadress

**Eesti keeles**

<https://taltech.ee/et/energiamajandus>

**Inglise keeles**



## 6 Mikrovõrkude ja metroloogia uurimisrühm, sh valgustehnika labor

### Uurimisrühma juht

Argo Rosin, täisprofessor tenuuris, [argo.rosin@taltech.ee](mailto:argo.rosin@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Argo Rosin, Doktor, täisprofessor tenuuris  
Roya Ahmadiyahangar, Doktor, vanemteadur  
Imre Drovtar, Doktor, elektrivarustuse ekspert  
Tobias Häring, Doktor, masinõppe rakenduste ekspert  
Tarmo Korõtko, Doktor, vanemteadur  
Vahur Maask, Doktor, teadur  
Arvo Oorn, Teaduste kandidaat, laboratooriumi juhataja  
Freddy Plaum, Doktor, teadur  
Toivo Varjas, Doktor, valgustehnika ekspert  
Arqum Shahid, Magister, doktorant-nooremteadur  
Merilin Metsik, Magister, doktorant-nooremteadur  
Martin Parker, Magister, doktorant-nooremteadur  
Mitra Nabian Dehaghani, Magister, doktorant-nooremteadur  
Furqan Amjad, Magister, doktorant-nooremteadur  
Marti Laidre, Magister, insener  
Jaakob Lambot, Kõrgharidus, insener  
Trevor Uuna, Kõrgharidus, insener  
Julius Välja, Kesk, insener  
Zeeshan Ali Shah, Magister, doktorant-nooremteadur  
Indrek Möldre, Muu, insener  
Aiko Liisa Olek, , laborant  
Kevin Räpo, , insener  
Eva Tallo, , ekspert  
Ketlin Tõlp, , õppeassistent  
Meeli Maria Viikmaa, , õppeassistent

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

mikrovõrgud; elektrisüsteemi digitaliseerimine; energiakogukonnad; tehisintellekti rakendused elektrisüsteemis; energiapaindlikkus; tarbimise juhtimine; energiasalvestid; automaatika ja diagnostikasüsteemid; elektervalgustus

#### Inglise keeles

microgrids; power system digitalization; energy communities; artificial intelligence applications in power system; energy flexibility; demand side management; energy storages; automation and diagnostic systems; electrical lighting

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Teadustöö on fookuseeritud kahe teadusvaldkonna - elektrivarustuse ja metroloogia - arendamisele. Elektrivarustuse valdkonna teadustöö on fookuseeritud tarbijapoolse elektrisüsteemi paindlikkuse ennustamis- ja

karakteriseerimismudelite uurimisele, energia kogukondade paindlikkuse suurendamisele, rakendades tehisintellekti energiavoogude juhtimiseks ja optimeerimiseks mikrovõrkudes, ning uudsete paindlikkusteenuste ja -toodete arendamisele. Samuti uuritakse tänavavalgustustaristu rakendamisevõimalusi rohetehnoloogiate (elektersõidukid, taastuenergia jne) laialdasemaks integratsiooniks elektrisüsteemi. Metroloogia valdkonna teadustöö on fokuseeritud peamiselt elektervalgustuses ja tööstusseadmete diagnostikas oluliste mõõtemetodite arendusele. Elektervalgustuses uuritakse uute valgustustehnoloogiate mõju inimesele ja keskkonnale (sh liiklusohutusele), töötatakse välja uusi valgustehnilisi mõõtemetodeid, nt leedekraanide, valgusreostuse mõjude hindamiseks. Samuti uuritakse tööstusseadmete diagnostikaks sobivate mõõtemetodite ja algoritme, et ennetada majanduslikult kulukaid rikkeid ja tõrkeid.

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

The research activities are focused on the development of the following key research areas: electrical power supply systems (microgrids) and metrology. Research in the field of electricity supply is focused on the research of models for predicting and characterizing the flexibility of the electricity system on demand side; on increasing the flexibility of energy communities by applying the artificial intelligence for control and optimization of energy flows, and on the development of innovative flexibility services and products. The application of the street lighting infrastructure is also being studied for a wider integration of green technologies (EVs, renewables, etc.) into the electricity system. Research in the field of metrology is mainly focused on the development of measurement methods important in electric lighting and diagnostics of industrial equipment. In electric lighting, the impact of new lighting technologies on humans and the environment (including road safety) is studied, new lighting measurement methods are developed, e.g. for evaluating the effects of LED screens and lighting pollution. Measurement methods and algorithms suitable for diagnostics of industrial equipment are also studied in order to prevent economically costly failures and malfunctions.

### **Viimaste aastate olulisemad projektid:**

ÕÜF3 Uudsete taastuenergia tootmis- ja paindlikkustehnoloogiate uurimine ja arendamine 2023 - 2029 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/f01ed541-6c1e-4324-8001-d721a790eaac>

ÕÜF4 Uudsete väike- ning kogukonnaenergeetika lahenduste uurimine ja arendamine 2023 - 2029 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/ee723c4e-47d1-4a6f-95a1-a43666845e33>

VHE24065 Pimeduse kunst kui linnamaastiku kultuuripärand 2025 - 2027 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/f9534b06-d85d-4a7d-b847-d95c4e2e6fc3>

TEM-TA78 Hoonete energiasäästu- ja paindlikustehnoloogiate potentsiaali ning rakendamise mõju andmepõhine hindamine 2024 - 2028 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/12c98a80-9a09-44cb-8efa-3b44808f7556>

VHE23035 Taastuenergiat põhinevad +energia kodud 2023 - 2026  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/7a1a2848-d3c0-4e71-8575-fd99c8693966>

#### **Viimaste aastate olulisemad artiklid:**

Shahid, Arqum; Ahmadiyahangar, Roya; Kilter, Jako; Rosin, Argo (2025). Data-driven quantification and aggregation of demand-side flexibility for symmetrical bidding in energy balancing markets. *Electric Power Systems Research*, 247, #111823. DOI: 10.1016/j.epr.2025.111823.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/d008292b-9c49-4961-82a5-3df90b6b1aea>

Plaum, F.; Rosin, A.; Ahmadiyahangar, R. (2024). Novel Quantification Method of Aggregated Energy Flexibility Based on Power-Duration Curves. *IEEE Access*, 12, 132825–132837. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3461151. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/80fd4b70-8e08-47d5-90b7-c707860d76e7>

Maask, Vahur; Rosin, Argo; Korotko, Tarmo; Thalfeldt, Martin; Syri, Sanna; Ahmadiyahangar, Roya (2023). Aggregation ready flexibility management methods for mechanical ventilation systems in buildings. *Energy and Buildings*, 296, #113369. DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113369.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/3fc087c8-44a0-4648-91f2-5f04b486657f>

Dehaghani, M. N.; Korotko, T.; Rosin, A. (2025). AI Applications for Power Quality Issues in Distribution Systems: A Systematic Review. *IEEE Access*, 13, 18346–18365. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3533702. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/15b237d9-765a-40c7-86c7-dfb1541713d1>

Maask, Vahur; Agabus, Hannes; Tiismus, Hans; Astapov, Victor; Ahmadiyahangar, Roya; Korotko, Tarmo; Rosin, Argo (2025). Exploring the Landscape of End User Energy Flexibility: A Systematic Review of Technologies, Challenges, and Opportunities. *IEEE Access*, 13, 146579–146602. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3599989. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/70072cfc-aa3a-459a-b175-afcd440ce315>

## **Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused**

### **Eesti keeles**

Uurimisrühm eristus rahvusvahelisel tasemel eelkõige TA-tulemustega, mis nihutasid fookuse üksikute tehnoloogiate arendamiselt süsteemsele, andmepõhisele ja tehisintellekti toel juhitud energiasüsteemile. Uudsena käsitleti taastuenergiat, energiasalvestite ja lõpptarbijate paindlikkust kui ühtset juhitavat ressursi, mitte eraldiseisvaid komponente. Seda lähenemist toetasid mitmed Q1 ajakirjades ilmunud süstemaatilised ülevaated (*IEEE Access*, *Electric Power Systems Research*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*), mis koondasid ja struktureerisid seni killustatud teadmised elektri kvaliteedi, jaotusvõrkude töökindluse ja tarbijapoolse paindlikkuse kohta.

Rahvusvaheliselt uudne oli agregeeritud energiapaindlikkuse kvantifitseerimise meetodika, mis seob paindliku võimsuse, aktiveerimiskestuse ja taastumismõjud üheks mõõdikuks. See võimaldab realistlikumalt hinnata paindlikkuse väärtust erinevatel energiaturgudel ning vähendada riske süsteemioperaatorite ja agregaatrite jaoks. Avastati, et paindlikkuse allikate aktiivne rakendamine

võib tekitada elektrivõrgu eri tasanditel täiendavaid stabiilsuses probleeme, mistõttu paindlikkuse rakendamine tuleviku elektrivõrgus peab olema oluliselt koordineeritum.

Eriti perspektiivikaks osutus tehisintellekti ja keelemudelite rolli analüüs elektrivõrkude juhtimises. Uurimisrühm näitas, et hajutatud AI ja spetsialiseeritud keelemudelid võimaldavad senisest täpsemat elektri kvaliteedi prognoosi, kiiremat operatiivset reageerimist ja keerukate regulatiivsete raamistikute tõhusamat käsitlemist. Digikaksikute ja kvaliteetsete andmete süstemaatiline kasutamine tõi uue taseme energiatehnoloogiate testimisse ja ärimudelite valideerimisse, muutes uurimisrühma töö rahvusvaheliselt nähtavaks ja otseselt rakendatavaks energiasiidre võtmeküsimustes.

### **Inglise keeles**

The research group distinguished itself at the international level primarily through R&D results that shifted the focus from the development of individual technologies toward a systemic, data-driven, and artificial intelligence-enabled energy system. A key novelty was the treatment of renewable energy sources, energy storage systems, and end-user flexibility as a single, controllable resource rather than as isolated components. This approach was supported by several systematic reviews published in Q1 journals (IEEE Access, Electric Power Systems Research, Renewable and Sustainable Energy Reviews), which consolidated and structured previously fragmented knowledge on power quality, distribution network reliability, and demand-side flexibility.

A particularly novel international contribution was the methodology for quantifying aggregated energy flexibility, which integrates flexible capacity, activation duration, and rebound effects into a single metric. This enables a more realistic assessment of the value of flexibility across different energy markets and reduces risks for system operators and aggregators. The research further demonstrated that the active deployment of flexibility resources can introduce additional stability challenges at different levels of the power system, indicating that the implementation of flexibility in future power grids must be significantly more coordinated.

The analysis of the role of artificial intelligence and large language models in power system operation proved especially forward-looking. The research group showed that distributed AI and specialized language models enable more accurate power quality forecasting, faster operational response, and more efficient handling of complex regulatory frameworks. The systematic use of digital twins and high-quality data introduced a new level of rigor in testing energy technologies and validating business models, making the group's work both internationally visible and directly applicable to key challenges of the energy

transition.

## Rühma TA seotus ühiskonnas aktuaalsete probleemidega ning neile lahenduste pakkumisega

### Eesti keeles

- \* suurem elektrisüsteemi paindlikkus, talitlus- ja töökindlus uudsete elektrisüsteemi paindlikkuslahenduste abil
- \* suurem energia- ja kulutõhusus elektri-, automaatika- ja valgustuspaigaldistes;
- \* valgustustehniliste mõõtemetodite parendamine ja tööstuslike diagnostika lahenduste väljatöötamine

### Inglise keeles

- \* higher flexibility, resilience and reliability of microgrids by using novel flexibility solutions
- \* higher energy efficiency and feasibility of electrical, automation and lighting systems;
- \* development of measurement methods and diagnostic solutions for industry

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

### Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas

- \* Paindlikkusteenuste platvormi prototüüp pilootpiirkonna näitel. Elering, Elektrilevi. LEP17014.
- \* Hoonete paindlikkuse hindamise analüütilise võimekuse arendamine. Fusebox. LEEEE21055.
- \* Energeetikaalased ja tehisintellekti rakendamisega seotud uuringud, mõõtmised, konsultatsioonid ja ekspertiisid ettevõtetele ja asutustele. Enefit Connect, Riigi Kinnisvara, Eesti Pank, Tarkvõrk OÜ, Pöyry Management Consulting. LEEEE21133, LEEEE22059, LEEAE21059, VE15023, LEEEE24095.
- \* Valgustehnilised uuringud, mõõtmised, konsultatsioonid ja ekspertiisid ettevõtetele. Tallinna Kommunaalamet, Tallinna Transpordiamet, Enefit

Connect, Riigi Kinnisvara. LEEAE25072, LEEEE25131, LEEAE21114, LEEEE22115, LEEEE21065, LEEEE20099, LEP19093.

### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöök**

- \* tarbijapoolse elektrisüsteemi paindlikkuse ennustamis- ja karakteriseerimismudelite uurimine
- \* tehisintellekti rakendamine energia kogukondade paindlikkuse ja kulutõhususe suurendamiseks läbi energivoogude juhtimise ja optimeerimise mikrovõrkudes
- \* uudsete elektrisüsteemi ja mikrovõrkudele talitluskindluse parandamiseks paindlikkusteenuste ja -toodete arendamine.
- \* tänavavalgustustaristu rakendamisvõimaluste uurimine rohetehnoloogiate (elektersõidukid, taastuenergia jne) laialdasemaks integratsiooniks
- \* elektervalgustuses ja tööstusseadmete diagnostikas oluliste mõõtemetodite arendus, et parandada tehnoloogiate töökindlust, vähendada hoolduskulusid (sh rikkeid ja tõrkeid) ja tagada töökohtadele ettenähtud nõuded.
- \* uute valgustustehnoloogiate mõju uurimine inimesele ja keskkonnale (sh liiklusohutusele)

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Soov teha koostööd kõigi töötleva tööstuse ettevõtetega elektrisüsteemide ja tööstusautomaatika teemal. Lisaks on plaan suurendada rahvusvaheliselt akrediteeritud valgustehnika labori teenuste mahtu ja liituda mõne Horizon konsortsiumiga.

### **Täiendav info:**

**Uurimisrühma seotus TalTech TA prioriteetse suunaga (kuni kaks olulisemat suunda):**

- 1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad

- 2. Usaldusväärsed IT lahendused

**Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond – kuni 2 alamvaldkonda Frascati Manuaali klassifikaatori alusel ja kuni 3 teaduseriala CERCS klasifikaatori alusel.**

Frascati Manuaali teadusvaldkonnad:

2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

CERCSi teaduserialad:

T140 Energeetika

T190 Elektrotehnika

**Hinnang rühma kasutuses olevale TA taristule (sh kollektsioonid ja andmekogud), piisavus ja seisund**

Hinnang seisundile:

piisav

Seisundi selgitus:

\* Mikrovõrkude labor sh jaotusvõrgu SCADA stend, võrguemulaator 9 kVA, reaajasimulaatorid Speedgoat ja RTDS, PV-süsteem, hooratasenergiasalvesti, akuenergiasalvesti, alajaamenergiasalvesti.

\* Akrediteeritud valgustehnikalabor sh gonio-spektromeeter GLG 30-1800 valgustehnilisteks mõõtmisteks jne.

**Uurimisrühma liikmete osalus oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös lõppenud aastal**

\* Argo Rosin, rahvusvahelise konverentsi teaduskomitee liige: "66th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering", Riga Technical University.

**Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit  
Välispartnerid:**

- Technical University of Denmark, Energy Technology and Computer Science
- Aalto University, Energy and Mechanical Engineering
- Oulu Ülikool, Architectural and Urban Lighting

## Eesti partnerid:

- Tarkvõrk OÜ
- Goldilock Secure Ltd
- Tallinna Kommunaalamet

## Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused

1. Ettekanne: Energeetika uuringutest ja arendustest TalTechi Virumaa kolledžis. Konverents: Öiglase Ülemineku Foorum. Tööstusmuutus Ida Virumaal – kas unistus või tegelikkus? [<https://tehnika.postimees.ee/8345732/toostusmuutus-ida-virumaal-kas-unistus-voi-tegelikkus>] Postimees. 19.11.2025.

2. Taastuenergia juhitavus [<https://jupiter.err.ee/1609870093/osoon>]. Osoon: 1195. ERR. 08.12.2025

3. Otse kell 13: teaduste akadeemia otsib lahendusi energiaprobleemidele. [<https://www.err.ee/1609707972/otse-kell-13-teaduste-akadeemia-otsib-lahendusi-energiaprobleemidele>] ERR. 29.05.2025.

4. Argo Rosin: ilma insenerideta jääks maailm pimedusse [<https://arileht.delfi.ee/artikkel/120374509/argo-rosin-ilma-insenerideta-jaaks-maailm-pimedusse>]. Delfi. 05.05.2025.

5. Argo Rosin ja Mart Landsberg ) Meid valitsevad juhutarkus ja juhuelekter. [<https://arvamus.postimees.ee/8207281/argo-rosin-ja-mart-landsberg-meid-valitsevad-juhutarkus-ja-juhuelekter>] 10.03.2025.

6. Energeetikaekspertid lasevad valitsusliidu energiaplaani sõelapõhjaks. [<https://www.err.ee/1609593533/energeetikaekspertid-lasevad-valitsusliidu-energiaplaani-soelapohjaks>] ERR. 02.02.2025

## Rühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused lõppenud aastal

### Riiklikud:

### Rahvusvahelised:

### **Rühma liikmete osalemine TA tegevusega seonduvalt ettevõtete nõustamistes**

- \* Arvo Oorn, Tallinna Tehnikaülikooli Nõukogu liige
  - \* Argo Rosin, ENMAK 2030 juhtkomisjoni liige, Kliimaministeerium
  - \* Tarmo Korõtko, Teaduste Akadeemia tehisaru ja aju komisjon
  - \* Argo Rosin, Tallinna Tehnikaülikooli Inseneriteaduskonna teadusprodekaan
  - \* Argo Rosin, Tallinna Tehnikaülikooli Senati teaduskomisjoni liige
  - \* Argo Rosin, Tallinna Tehnikaülikooli prioriteetse suuna "Targad ja energiatõhusad keskkonnad" juht
- 
- \* Argo Rosin, Tallinna Tehnikaülikooli Tulevikuenergeetika Fookustippkeskuse juht
  - \* Tarmo Korõtko, Eesti Standardikeskuse tehnilise komitee "Tarkvõrk" liige ja Tallinna Tehnikaülikooli esindaja

### Uurimisrühma veebilehe aadress

#### **Eesti keeles**

<https://taltech.ee/mikrovorgud-ja-metroloogia>

#### **Inglise keeles**

<https://taltech.ee/en/microgrids-and-metrology-group>

## 7 Elektrisüsteemide uurimisrühm

### Uurimisrühma juht

Jako Kilter, kaasprofessor tenuuris, [jako.kilter@taltech.ee](mailto:jako.kilter@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Jako Kilter, Doktor, kaasprofessor tenuuris

Guido Andreesen, Doktor, elektrisüsteemi peaspetsialist

Pradeep Kumar Gupta, Magister, doktorant-nooremteadur

Madis Leinakse, Doktor, teadur

Henri Manninen, Doktor, teadur

Tanel Sarnet, Magister, elektrisüsteemi dünaamika ekspert

Marko Tealane, Doktor, releekaitse ja automaatika ekspert

Ülo Treufeldt, Teaduste kandidaat, kõrgepingevõrkude peaspetsialist

Kaur Tuttelberg, Doktor, elektrisüsteemi ekspert

Sajjad Asefi, Magister, doktorant-nooremteadur

Hamid Khoshkhoo, , vanemteadur

Ahmed Bassiouny Abdelfattah Bassiouny Faioud, Magister, doktorant-nooremteadur

Eliise Kaha, , õppeassistent

Brenda Pent, , õppeassistent

Uku Sau, , elektrisüsteemi spetsialist

Elis Vedom, , õppeassistent

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

elektrivõrgu stabiilsus; tuule- ja päikeseelektrijaamade ühendamine elektrivõrku; elektri kvaliteet; alalisvooluühendused; koormus; laiseire

#### Inglise keeles

power system stability; wind and solar power connections; power quality; HVDC and FACTS; load modelling; relay protection; wide-area monitoring and control

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Uurimisrühma teadustegevus on suunatud tänapäevaste ja tuleviku elektrisüsteemide juhtimisalgoritmide ja rakenduste väljatöötamisele ja arendamisele. Olulisimad teadussuunad on seotud reaalajajuhtimissüsteemide arendamise ja analüüsiga laiseire mõõtmiste baasil, võttes arvesse alalisvooluühenduste, juhitavate ülekandesüsteemide, tuule- ja päikeseelektrijaamade, elektri kvaliteedi ja koormuse modelleerimise aspekte. Käsitletakse elektrisüsteemi juhtimist ja analüüsi tuleviku elektrisüsteemide arenguid silmas pidades – sünkroniseeriva massi vähenemine ja läbi konverteritehnoloogiate elektrijaamade selle järjest suurem osakaal elektrisüsteemis. See kõik toob kaasa väljakutseid elektrisüsteemi juhtimises, releekaitstes ning süsteemi stabiilsuse jälgimises ja hindamises. Oluliseks uurimisvaldkonnaks on ka elektri kvaliteedi mõõtmised ja hinnangud elektriülekandevõrkudes, kasutades ära tänapäevaste kompenseerimisseadmete ja laiseiremõõtmiste võimalusi. Uurimisrühm teeb aktiivset koostööd Eesti

olulisemate energeetikavaldkonna ettevõtetega, sh Elering, Elektrilevi, Graanul Invest, VKG, Tallinna Elektri jaam, jt. Ettevõtetega koostöös lahendatakse mitmeid olulisi Eesti energeetikaga seotud küsimusi, nt Eesti elektrisüsteemi pimekäivitusvõimekuse tagamine, süsteemi optimaalne juhtimine läbi konverterite ühendatud tootmiseseadmete korral, elektrikoormused ja nende karakteristikud ning Eesti elektrisüsteemi reaktiivvõimsuse kompenseerimise olemus ja võimalused. Uurimisrühma kasutada on maailma tippteadusaparatuur – reaalajasimulaator RTDS, releekaitse ja automaatika seadmed, sh Siemensi releekaitselabor, Omicron testseadmed/kalibraatorid ja võimendid, jm.

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

Research activities in the group are focused on the development of control and protection algorithms and applications, and performing system analysis considering the challenges in modern and future power systems. Key research areas: power system real-time control protection and analysis based on wide-area information with respect to HVDC and FACTS control, wind power integration, power quality and load modelling. Emphasis is on modern power systems where the level of generation through converters is increasing and consequently the level of system inertia is decreasing. Other research activities are concentrated on the development and assessment of power quality mitigation methods in transmission and distribution systems considering the availability of modern compensation devices and wide-area information. Main research outcomes: • Development of 2 new methodology and control algorithms for enabling reliable and optimal cooperation between electrical network and industrial (generation) facility with respect to system services; 2 new system protection algorithm using wide-area measurements with scope of enabling coordinated power system protection in case of out-of-step situation; 2 mathematical algorithms for conversion of network busload models between different network calculation tools. • Analysis and development of 2 methodology for the coordinated cooperation of HVDC and synchronous units in low inertia systems; 2 methodology to determine the challenges and possible solutions with significant increase of wind and solar power plants in view of Estonian power system. • Advancement of network utility asset management and comparison methodology and development of mathematical approach for determining the actual condition of substation circuit breaker.

### **Viimaste aastate olulisemad projektid:**

LEEEE20087 Riskipõhise varahalduse põhimõtted tuleviku elektrisüsteemides 2020 - 2021  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/8d281825-9d85-437e-88bb-d5a7caca2d6a>

TEM-TA134 Elektrisüsteemide optimaalne ja töökindel juhtimine suuremahulise taastuvenergeetika raamistikus 2024 - 2028 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/52ce6345-8122-4bd6-9b51-626b4dd93251>

LEEEE25056 Puritse energiasalvestussüsteemi modelleerimine, testimine ja võrguanalüüs 2025 - 2026 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/ebaa1b6a-a4e3-41ec-af6e-bd610f9d6dec>

LEEEE25017 Enefit Power tootmisüksuste omatarbe varundamise võimaluste hindamine 2025 - 2025 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/e3ca8bf3-a898-4554-a8e5-98d2e3216d1a>

LEEEE22099 Harku ESTLINK 1 ja Kiisa AREJ-de koostöö uuring 2022 - 2022 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/743ee4cc-5413-4a29-8ae8-e94da3cde923>

#### **Viimaste aastate olulisemad artiklid:**

Gupta, P.K.; Tuttelberg, K.; Kilter, J. (2025). Forecasting Corona Losses on High Voltage Transmission Lines Using Machine Learning. IEEE Transactions on Power Delivery, 40, 5, 2696–2705. DOI: 10.1109/TPWRD.2025.3593923. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/1e9f431a-e500-4e6d-b7e6-3c2297812e63>

Asefi, Sajjad; Asefi, Soheil; Afshari, Hossein; Kilter, Jako; Shayesteh, Ebrahim; Hilber, Patrik; Lindquist, Tommie (2025). Machine Learning-Based High-Voltage Circuit Breaker Defect Classification Utilizing Savitzky-Golay Filter. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 74, #3557009. DOI: 10.1109/TIM.2025.3604980. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/9f8ce001-1cf2-447c-b429-58dbdd8dd96d>

Campos, N. M. D.; Sarnet, T.; Kilter, J. (2023). Novel Gramian-based Structure-preserving Model Order Reduction for Power Systems with High Penetration of Power Converters. IEEE Transactions on Power Systems, 38 (6), 5381–5391. DOI: 10.1109/TPWRS.2022.3228458. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/f667d77e-0c27-48fc-b1d7-58cd1c084217>

Gupta, Pradeep Kumar; Tuttelberg, Kaur; Kilter, Jako (2024). Weather dependency of corona losses on 330 kV overhead transmission lines. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 155 (Part A), #109537. DOI: 10.1016/j.ijepes.2023.109537. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/4a38abe7-86d4-4f7b-87fb-2c63c66663fa>

Drovtar, I.; Leinakse, M.; Tuttelberg, K.; Kilter, J. (2024). Utilizing Demand Response in Load Modelling for Voltage and Reactive Power Control Studies. IEEE Transactions on Power Systems, 1–12. DOI: 10.1109/TPWRS.2024.3425157. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/20ddf2d4-631c-4ca1-8841-11a31db791c1>

## **Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused**

### **Eesti keeles**

\* Määratleti ja arendati elektrivõrgu mudelite mahu vähendamise algoritmid, arvestades muundurpõhiseid tootmisüksuste lisandumist elektrisüsteemidesse.

\* Eesti ja Balti elektrisüsteemi reservituru mahtude hindamisraamistiku loomine ja analüüside teostamine.

\* Loodi uudne lähenemisviis ja juhtalgoritmid tööstustarbijate ja elektrisüsteemi vaheliseks koostööks süsteemiteenuste raamistikus.

\* Arendati võrguettevõtete varade hindamise ja võrdlemise metoodikat ning töötati välja matemaatilised lähenemisviisid võimsuslüliti tegeliku seisundi määramiseks.

\* Analüüsi Eesti elektrisüsteemi saartalitluse ja isekäivituse võimalusi ning neid mõjutavaid tegureid. Koostati põhimõtted Eesti elektrisüsteemi operatiivseks juhtimiseks häiringutalitluses.

\* Analüüsi ja töötati välja meetodika alalisvooluühenduste ja sünkroonmasinate koostööks madala inertsiga elektrivõrgu tingimustes.

\* Analüüsi ja määratleti tuule- ja päikeseenergia suuremahulise liitumisega kaasnevad väljakutsed ning võimalikud parendavad lahendused Eesti elektrisüsteemi raamistikus.

### **Inglise keeles**

\* Määratleti ja arendati elektrivõrgu mudelite mahu vähendamise algoritmid, arvestades muundurpõhiseid tootmisüksuste lisandumist elektrisüsteemidesse.

\* Eesti ja Balti elektrisüsteemi reservituru mahtude hindamisraamistiku loomine ja analüüside teostamine.

\* Loodi uudne lähenemisviis ja juhtalgoritmid tööstustarbijate ja elektrisüsteemi vaheliseks koostööks süsteemiteenuste raamistikus.

\* Arendati võrguettevõtete varade hindamise ja võrdlemise meetodikat ning töötati välja matemaatilised lähenemisviisid võimsuslüliti tegeliku seisundi määramiseks.

\* Analüüsi Eesti elektrisüsteemi saartalitluse ja isekäivituse võimalusi ning neid mõjutavaid tegureid. Koostati põhimõtted Eesti elektrisüsteemi operatiivseks juhtimiseks häiringutalitluses.

\* Analüüsi ja töötati välja meetodika alalisvooluühenduste ja sünkroonmasinate koostööks madala inertsiga elektrivõrgu tingimustes.

\* Analüüsi ja määratleti tuule- ja päikeseenergia suuremahulise liitumisega kaasnevad väljakutsed ning võimalikud parendavad lahendused Eesti elektrisüsteemi raamistikus.

## Rühma TA seotus ühiskonnas aktuaalsete probleemidega ning neile lahenduste pakkumisega

### Eesti keeles

Uurimisgrupi teadus- ja arendustegevus on suunatud tänapäevaste ja tuleviku elektrisüsteemide optimaalse ja stabiilse talitluse tagamisega seotud arusaamise ning analüüsi ja juhtimismeetodite arendamisele. Teematika on ühiskondlikult oluline, kuna elektrienergia olemasolu ja hind mõjutavad kõiki ühiskonna liikmeid. Samuti on olulisel kohal uute tootmisüksuste (tuul- ja päikeseelektrijaamad, salvestusseadmed, jm) liitumisega seotud teemad ja elektrisüsteemide pideva talitluskindluse tagamine. Olulisimad teadussuunad on seotud reaalajajuhtimissüsteemide arendamise ja analüüsiga laiseire mõõtmiste baasil, võttes arvesse alalisvooluühenduste, juhitavate ülekandesüsteemide, tuule- ja päikeseelektrijaamade, elektri kvaliteedi ja koormuse modelleerimise aspekte. Käsitletakse elektrisüsteemi juhtimist ja analüüsi tuleviku elektrisüsteemide arenguid silmas pidades – sünkroniseeriva massi vähenemine ja läbi konvertertehnoloogiatega elektrijaamade järjest suurem osakaal elektrisüsteemis. See kõik toob kaasa väljakutseid elektrisüsteemide modelleerimises, juhtimises, releekaitstes ning süsteemi stabiilsuse jälgimises ja hindamises. Samuti on oluliseks uurimisvaldkonnaks elektri kvaliteedi mõõtmised ja hinnangud elektriülekandevõrkudes, kasutades ära tänapäevaste kompenseerimisseadmete ja laiseiremõõtmiste võimalusi.

### Inglise keeles

The research and development activities of the research group are aimed at the development of understanding, analysis and control methods related to ensuring the optimal and stable operation of modern and future power systems. The topic is socially important, as the availability and price of electricity affects all members of society. Issues related to the connection of new production units (wind and solar power plants, BESS, etc.) and ensuring the continuous operational reliability of power systems are also of relevance. Key research areas are focused on power system real-time control and analysis based on wide-area information with respect to HVDC and FACTS control, wind power connections, power quality and load modelling. Emphasis is on modern power systems where the level of generation through converters is increasing and consequently the level of system inertia is decreasing. This brings new challenges to the system control, relay protection, and system stability assessment. Other research activities are concentrated on the development and assessment of power quality mitigation methods in transmission and distribution systems considering the availability of modern compensation devices and wide-area information.

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

### **Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas**

Uurimisrühm on teostanud mitmeid rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevusi. Olulisemad neist on järgmised:

- \* Riski- ja seisundipõhise varahalduse põhimõtete väljatöötamine - arendatakse ja töötatakse välja seadmete mõõtelahendusi nende tegeliku seisukorra hindamiseks.
- \* Enefit280 ja Enefit280-2 tootmiseseadmete ning BESS juhtkontrolleri loogika arendamine ja testimine - arendatakse ja katsetatakse Enefit õlitehaste juhtkontrolleri algoritmi.
- \* Purtse hübriidelektrijaama ühise juhtimissüsteemi arendamine ja katsetamine, elektripaigaldise modelleerimine, nõutavate raportite koostamine ning elektripaigaldise vastavuskatsetustel osalemine, mõõtmine ja vajalike raportite koostamine - arendatakse ja katsetatakse Purtse hübriidjaama juhtkontrolleri algoritmi.
- \* Sopi/Tootsi päikese- ja tuuleelektrijaamade modelleerimine ja katsetamine - analüüsitakse ja katsetatakse päikese- ja tuuleelektrijaamasid ning hinnatakse nende vastastikmõjusid elektrivõrguga.
  
- \* Tallinna Elektrijaama uue päikeseelektrijaama lisandumine - analüüsiti ja katsetati päikeseelektrijaama ning hinnati selle vastastikmõju elektrivõrguga. Arendati välja elektripaigaldise juhtkontroller, mille abil on võimalik tagada selle nõuetele vastav juhtimine.
  
- \* Targale hübriidelektrijaama talitluse analüüs ja optimaalse juhtimise tagamine - analüüsiti hübriidelektrijaama talitlust ja aidati kaasa elektrijaama juhtkontrolleri arendamisele.
- \* Eesti Elektrisüsteemi alalisvooluühenduste talitlemise piirangud ja võimalikud parendavad tehnilised lahendused - II etapp - analüüsiti Eesti elektrisüsteemi talitlemist saartalitusel ja selle raames saadi arusaam ning töötati välja põhimõtted kuidas peaks Eesti elektrisüsteemi juhtima.
- \* Tehnilise konsultatsiooni pakkumine seoses andmete- ja andmesidekvaliteedi suurendamine faasimõõteseadmete (PMU) lisamisega Eesti ülekandevõrgu

alajaamadesse - analüüsiti ja pakuti välja asukohad, kuhu lisada täiendavad PMU mõõteseadmed.

\* Harku ESTLINK 1 ja Kiisa AREJ-de koostöö uuring - analüüsiti Estlink 1 ja Kiisa AREJ omavahelist koostalitlemist ja koostati vastavasisulised juhtpõhimõtted.

### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostööks**

#### Elektrivõrgud

- \* planeerimine, sh püsitalitluse ja stabiilsuse arvutused, töökindluse hindamine, võrgukadude optimeerimine, majanduslikud analüüsid pimekäivitusvõimekuse arvutused ja hindamine, reaktiivvõimsuse kompenseerimine
- \* projekteerimine ja ehitus
- \* releekaitse ja automaatikasüsteemid
- \* elektrivõrkude alased konsultatsioonid

#### Elektrisüsteemid

- \* reaajas talitluse simuleerimine ja juhtimine (RTDS)
- \* süsteemide modelleerimine võrguarvutustarkvarades ja analüüsid
- \* talitluse ja elektri kvaliteedi mõõtmised
- \* elektrisüsteemide alased konsultatsioonid

#### Elektrijaamad

- \* elektrijaamade talitluse analüüsimine, sh vastavus võrgueeskirja ja võrguettevõtjate tehnilistele nõuetele
- \* ehitamise ja võrguga liitumise alased konsultatsioonid
- \* modelleerimine võrguarvutustarkvarades (PSCAD, PSS/E, DlgSILENT)
- \* juhtkontrollerite arendamine, seadistamine ja katsetamine
- \* talitluse mõõtmine, sh vastuvõtukatsetused, kvaliteedimõõtmised
- \* side- ja juhtimislahenduste arendamine, seadistamine ja katsetamine

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Ettevõtluskoostöö eesmärk on Eesti elektrisüsteemi talitluskindluse tagamine ja uute tootmisüksuste lisandumise võimaldamine. Aktiivset koostööd teadus- ja arendustegevuse raames tehakse kõikide Eesti olulisemate energeetikavaldkonna ettevõtetega, sh Elering, Elektrilevi, Enefit Power, Enefit Green, Utilitas Wind, Evecon, Enery Estonia, Tallinna Elektri jaam, jt. Oluliste uurimisteedena saab välja tuua Eesti elektrisüsteemi saartalitluse ja pimekäivitusvõime tagamine, sünkroonkompensaatorite elektrivõrguga liitumine, süsteemi optimaalne juhtimine läbi konverterite ühendatud tootmisseadmete korral, elektrikoormused ja nende karakteristikud ning Eesti elektrisüsteemi reaktiivvõimsuse kompenseerimise olemus ja võimalused. Koostöös ettevõtetega jätkatud teadus- ja arendusprojekti TemTA-134, mille eesmärgiks on tagada elektrisüsteemi talitluskindlus suuremahulisel muudurpõhiste tootmisüksuste lisandumisel. Samuti teostatakse teadus- ja arendustööd, mille baasil on ettevõtetel võimalik turule tuua uusi rakendusi või olemasolevates elektripaigaldistes optimeerida kasutatavaid lahendusi. Välja on töötatud mitmeid juhtkontrolleri lahendusi hübriidelektrijaamadele, mis võimaldavad tagada nende optimaalsemat juhtimist ja Võrgueeskirja nõuete täitmise. Lisaks Eesti ettevõtetele tehakse koostööd Läti põhivõrguettevõttega AST ja mitmete Läti päikese- ja tuuleelektrijaamasid arendatavate ettevõtetega.

### **Täiendav info:**

**Uurimisrühma seotus TalTech TA prioriteetse suunaga (kuni kaks olulisemat suunda):**

- 2. Usaldusväärsed IT lahendused
- 1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad

**Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond – kuni 2 alamvaldkonda Frascati Manuaali klassifikaatori alusel ja kuni 3 teaduseriala CERCSi klassifikaatori alusel.**

Frascati Manuaali teadusvaldkonnad:

- 2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

CERCSi teaduserialad:

**Hinnang rühma kasutuses olevale TA taristule (sh kolleksioonid ja andmekogud), piisavus ja seisund**

Hinnang seisundile:

hea

Seisundi selgitus:

Uurimisrühma kasutada on maailma tipptasemel elektrisüsteemide modelleerimise ja analüüsimise vahendid, sh reaalajasimulaator RTDS, National Instrument juhtkontrollerid, Omicron võimendid ja testseadmed ning võrguarvutustarkvarad PSCAD, PSS/E, Digsilent. Samuti on kasutada releekaitse- ja automaatikalabor, mis põhineb kõige uuematel Siemensi releedel ja juhtimissüsteemidel.

**Uurimisrühma liikmete osalus oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös lõppenud aastal**

- Jako Kilter, kaasprofessor tenuuris
- IEEE Senior member
- IEEE Power and Energy Society liige
- IEEE Transportation Electrification Community liige
- IEEE Smart Cities Community liige
- IEEE Smart Grid Community liige
- Wind Integration Workshop, Advisory Committee liige
- CIGRE B4.64 (Impact of AC System Characteristics on the Performance of HVDC schemes) liige
- CIGRE C4.51 (Connection of Railway Traction Systems to Power Networks) liige
- IET The Journal of Engineering - artiklite retsenseerimise komitee liige
- IET Smart Grid Journal - artiklite retsenseerimise komitee liige
- IET Renewable Power Generation - artiklite retsenseerimise komitee liige
- IET Generation, Transmission and Distribution Journal – artiklite

retsenseerimise komitee liige

- IEEE Transactions on Power Systems – artiklite retsenseerimine komitee liige
- IEEE Transactions on Power Delivery – artiklite retsenseerimine komitee liige
- IEEE Transactions on Industrial Electronics – artiklite retsenseerimise komitee liige
- IEEE ISGT Europe 2023, tehnilise komitee liige
- IEEE PowerTech 2023, tehnilise komitee liige
- IEEE Power and Energy Society General Meeting 2023 artiklite hindamise komitee liige

• Tanel Sarnet, ekspert

- IEEE liige
- IEEE Power and Energy Society liige
- CIGRE C4.51 (Connection of Railway Traction Systems to Power Networks) liige

• Madis Leinakse, teadur

- IEEE liige
- IEEE Power and Energy Society liige
- IEEE Industry Applications Society liige
- InnoEnergy CommUnity saadik
- InnoEnergy CommUnity mentor
- Euroopa Innovatsiooni- ja Tehnoloogiainstituudi (EIT) Vilistlaskogu liige

• Kaur Tuttelberg, teadur

- IEEE liige
- IEEE Power and Energy Society liige

• Mari Löper, doktorant-nooremteadur

- IEEE liige

- IEEE Power and Energy Society liige

- Sajjad Asefi, doktorant-nooremteadur

- IEEE liige

- IEEE Power and Energy Society liige

- Pradeep Kumar Gupta, doktorant-nooremteadur

- IEEE liige

- IEEE Power and Energy Society liige

### **Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit**

#### **Välispartnerid:**

- Läti põhivõrguettevõtte AST ning Targale tuuleelektrijaama arendaja ja käitaja TCK
- NTNU, Department of Electric Energy
- Dresdeni Tehnikaülikool, Institute of Electrical Power Systems and High Voltage Engineering; NTNU, Department of Electric Power Engineering

#### **Eesti partnerid:**

- Elering AS
- Enefit Green AS
- Utilitas Wind AS

### **Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

Uurimisrühma liikmed tegelevad aktiivselt oma teadus- ja arendustegevuse populariseerimisega. Uurimisrühmal on oma LinkedIn leht, kus kajastatakse uurimisrühma tegevusi. Samuti koostatakse täiendõppematerjale nii tudengitele kui ka valdkonnas töötavatele inseneridele.

### **Rühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused lõppenud aastal**

#### **Riiklikud:**

## **Rahvusvahelised:**

### **Rühma liikmete osalemine TA tegevusega seonduvalt ettevõtete nõustamistes**

Professor Jako Kilter nõustas Elering AS sünkroonkompensaatorite projekti raames. Samuti nõustamine alalisvooluühenduste teemadel.

Professor Jako Kilter nõustas Läti põhivõrguettevõtet AST sünkroonkompensaatorite projekti raames.

Professor Jako Kilter nõustas Enefit Power AS uue õlitehase projekti raames.

Professor Jako Kilter nõustas Utilitas Wind AS meretuuleelektrijaamade teemadel.

Professor Jako Kilter nõustas Evecon OÜ gaasiturbiinelektrijaamade teemadel.

Uurimisrühma veebilehe aadress

**Eesti keeles**

<https://taltech.ee/elektrisusteemid>

**Inglise keeles**