

# Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi 2022. aasta teadus- ja arendustegevuse aruanne

## Struktuuriüksuse struktuur 2022. a

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut  
Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics  
Ivo Palu, [ivo.palu@taltech.ee](mailto:ivo.palu@taltech.ee), +372 620 3752

### Instituudis tegutseb 7 uurimisrühma:

1. Elektrisüsteemide uurimisrühm – AAK teemad 1 ja 2
2. Jõuelektronika uurimisrühm - AAK teemad 1 ja 3
3. Mehhatroonika ja autonoomsete süsteemide uurimisrühm - AAK teemad 2 ja 1
4. Mikrovõrgud ja metroloogia, sh valgustehnika labor- AAK teemad 1 ja 2
5. Elektrimasinate uurimisrühm - AAK teemad 3 ja 1
6. Energiamajanduse uurimisrühm, sh **kõrgepinge labor** - **AAK teemad 2 ja 4**
7. Elektrotehnika aluste uurimisrühm - AAK teemad 1 ja 3

The department conducts research within 7 research groups:

1. Power Systems
2. Power Electronics
3. Mechatronics and Autonomous Systems
4. Microgrids and Metrology, incl. Laboratory of Lighting Technology
5. Electrical Machines
6. Energy Economics, incl. High Voltage laboratory
7. Fundamentals of Electrical Engineering

### Instituudiga seotud AAK teemad:

- 1) Targad ja energiatõhusad keskkonnad\_Smart and energy efficient environments.
- 2) Usaldusväärsed IT lahendused\_Dependable IT solutions.
- 3) Keskkonnaressursside vääristamine\_Valorisation of natural resources.
- 4) Innovaatilised ettevõtted ja tulevikku vaatav riigivalitsemine\_Innovative businesses and future governance.

## Instituudi 2022. aasta edulood

- Jõuelektronika uurimisrühma juht, akadeemik Dmitri Vinnikov sai IEEE Fellow aunimetuse.  
<https://taltech.ee/uudised/tehnikaulikooli-teadlane-ja-akadeemik-dmitri-vinnikov-palvis-ieee-fellow-aunimetuse>

- Eesti Vabariigi teaduspreemia tehnikateaduste alal tööde tsükli „Kihtlisandustehnoloogial põhinevad elektrimasinad“ eest. Ants Kallaste (kollektiivi juht), Toomas Vaimann, Anton Rassõlkin, Hans Tiismus.

<https://www.riigiteataja.ee/akt/311022022002?tegevus=salvesta-link>

Viimase kuue aasta jooksul kestnud kihtlisandustehnoloogial toodetud elektrimasinate alane teadustöö on maailmas unikaalne ning Tallinna Tehnikaülikooli elektrimasinate töörühma kompetents ja edusammud nimetatud teemal on rühma tõstnud antud valdkonnas maailma tippasemele. Lahendatavate küsimuste hulka kuuluvad nii masinatüüpide defineerimine, mis on sobivad 3D printimiseks aga ka printimistehnoloogiate sobitamine masinate printimise teostamiseks. Materjali omadused, järeltöötamise vajadus ja selle lihtsustamine, struktuuri optimeerimine, 3D prinditud elektrimasinate rakendused ja potentsiaalsete rikete diagnoosimise võimalused on vaid mõned märksõnad, millega käimasolev teadustöö kokku puutub. Peamiseks eesmärgiks on seatud täielikult 3D prinditud töötava elektrimootori loomine. Praeguseks on valmistatud mitmeid „maailma esimesi“ prototüüpe, et demonstreerida tehnoloogia võimekust ja rakendatavust, hõlmates erinevaid pöörlevate elektrimasinate tüüpe, transformaatorit ning sidurit.

- Mikrovõrkude ja metroloogia uurimisrühma juhi Argo Rosina poolt koordineeritud arendustöö projekt “Tehisintellektil põhinev tööstusseadme seisundi monitoorimine”. Projekti raames töötati välja diagnostikalahendus, mis aitab tehisintellekti abil hinnata muutusi tööstusseadmete parameetrites (vibratsioon, temperatuur jne), et ennetada rikkeid, tõrkeid ja prognoosida seadmete eluiga. Diagnostikalahendus võimaldab tänu senisest tõhusama tõrgete ja rikete ennustamise tagada energiamahukates tööstusettevõtetes käidukulude vähendamise enam kui 20%. Näiteks Auvere elektrijaama ööpäevane ootamatu seisak maksab üle miljoni euro ja loodud monitooringu lahendus, mis loob paremad võimalused rikete/tõrgete ennetamiseks ning remont- ja hooldustööde planeerimiseks sobivale ajale, võimaldab selle kulu kokku hoida. Projektiga kaasnesid mitmed meediakajastused:

- AIRE-EDIH demoprojekti tutvustav video „Tehisintellektil põhinev tööstusseadme seisundi monitoorimine. <https://youtu.be/B-fxyD9fSCg>
- TalTech: Artificial intelligence could help drive down production costs in machine engineering. 22 Jun 2022. <https://sciencebusiness.net/network-updates/taltech-artificial-intelligence-could-help-drive-down-production-costs-machine>
- Metallitööstus pani tehisintellekti seadmetest rikkeid otsima. Tööstusuudised. 13. juuni 2022. <https://www.toostusuudised.ee/uudised/2022/06/13/metallitoostus-pani-tehisintellekti-seadmetest-rikkeid-otsima>
- Tehisintellekt muudab tootmise ohutumaks ja odavamaks. Pealinn. 13. juuni 2022. <https://pealinn.ee/2022/06/13/tehisintellekt-muudab-tootmise-ohutumaks-ning-odavamaks/>

## 1. Elektrisüsteemide uurimisrühm

**Uurimisrühma nimetus inglise keeles:** Power Systems Research Group

**Uurimisrühma juhi nimi, ametikoht:** Jako Kilter, kaasprofessor tenuuris (Tenured Associate Professor), [jako.kilter@taltech.ee](mailto:jako.kilter@taltech.ee), tel: 620 3765

**Uurimisrühma veebileht:** <https://taltech.ee/elektrisusteemid>;  
<https://www.linkedin.com/company/taltech-power-systems/?viewAsMember=true>

### Uurimisrühma liikmed:

- Kaur Tuttelberg, teadur
- Madis Leinakse, teadur
- Mari Löper, doktorant-nooremteadur
- Marko Tealane, doktorant-nooremteadur
- Tarmo Trummal, doktorant-nooremteadur
- Guido Andreesen, doktorant-nooremteadur
- Nathalia De Morais Dias Campos, doktorant-nooremteadur
- Pradeep Kumar Gupta, doktorant
- Sajjed Asefi, doktorant
- Alexander Mazikas, doktorant
- Henri Manninen, doktorant
- Uku Salumäe, insener
- Tanel Sarnet, ekspert
- Ülo Treufeldt, vanemlektor

**Võtmesõnad:** elektrivõrgu stabiilsus, tuule- ja päikeselektrijaamade ühendamine elektrivõrkudesse, elektri kvaliteet, alalisvooluühendused, koormus, releekaitse, laiseire

**Keywords:** power system stability, wind and solar power connections, power quality, HVDC and FACTS, load modelling, relay protection, wide-area monitoring and control

**Frascati (EST):** 2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

**Frascati (ENG):** 2.2 Electrical engineering, electronic engineering, information engineering

**CERCS (EST):** T125 - Automatiseerimine, robotika, juhtimistehnika; T140 – Energeetika

**CERCS (ENG):** T125 - Automation, robotics, control engineering; T140 – Energy research

### Uurimisrühma teadustöö ülevaade

Uurimisgrupi teadustegevus on suunatud tänapäevaste ja tuleviku elektrisüsteemide juhtimisalgoritmide ning rakenduste väljatöötamisele ja arendamisele. Olulisimad teadussuunad on seotud reaaliajajuhtimissüsteemide arendamise ja analüüsiga laiseire mõõtmiste baasil võttes arvesse alalisvooluühenduste, juhitavate ülekandesüsteemide, tuule- ja päikeselektrijaamade, elektri kvaliteedi ja koormuse modelleerimise aspekte. Käsitletakse elektrisüsteemi juhtimist ja

analüüsi tuleviku elektrisüsteemide arenguid silmas pidades – sünkroniseeriva massi vähenemine ja läbi konvertertehnoloogiate 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.

Uurimisrühm teeb aktiivset teadus- ja arendustegevuse alast koostööd nii Eesti olulisemate energeetikavaldkonna ettevõtetega, sh Elering, Elektrilevi, Enefit Power, Enefit Green, Graanul Invest, VKG Energia, Utilitas, Tallinna Elektriyaam, jt, kui ka välisülikoolidega. Ettevõtetega koostöös lahendatakse mitmeid olulisi Eesti energeetikaga seotud küsimusi, nt Eesti elektrisüsteemi pimekäivitusvõimekuse tagamine, süsteemi optimaalne juhtimine läbi konverterite ühendatud tootmisseadmete korral, elektrikoormused ja nende karakteristikud ning Eesti elektrisüsteemi reaktiivvõimsuse kompenseerimise olemus ja võimalused, ja teostatakse teadus- ja arendustööd, mille baasil on ettevõtetel võimalik turule tuua uusi rakendusi või olemasolevates elektripaigaldistes optimeerida kasutatavaid lahendusi. Uurimisrühma kasutada on maailma tippteadusaparatuur – reaalaajasimulaator RTDS, releekaitse ja automaatika seadmed, sh Siemensi releekaitselabor, Omicron testseadmed/kalibraatorid ja võimendid, jm. Välisülikoolidega oli vaadeldaval perioodil oluline koostöö Delfti Tehnikaülikooli (elektrisüsteemi kaitsmine), Dresdeni Tehnikaülikooli (elektri kvaliteet) ning põhjamaadest Trondheimi Tehnikaülikooli, Chalmersi Tehnikaülikooli, Tampere Tehnikaülikooli ja Aalto Ülikooliga (süsteemi stabiilsus ja juhtimine).

### **Uurimisrühma olulisemad teadustöö tulemused**

- Loodi uudne lähenemisviis ja juhtalgoritmid tööstustarbijate ja elektrisüsteemi vaheliseks koostööks süsteemiteenuste raamistikus.
- Loodi uus laiseirel põhinev süsteemikaitse lahendus, mille eesmärk on tagada elektrisüsteemi koordineeritud kaitse asünkroonkäigu raamistikus.
- Arendati võrguettevõtete varade hindamise ja võrdlemise meetodikat ning töötati välja matemaatilised lähenemisviisid võimsuslüliti tegeliku seisundi määramiseks.
- Analüüsiti Eesti elektrisüsteemi isekäivituse võimalusi ja seda mõjutavaid tegureid.
- Loodi lähenemisviis ja meetodika elektrivõrgu koormusmodelite teisendamiseks erinevate võrguarvutustarkvarade vahel.
- Analüüsiti ja töötati välja meetodika alalisvooluühenduste ja sünkroonmasinate koostööks madala inertsiiga elektrivõrgu tingimustes.
- Analüüsiti ja määratleti tuule- ja päikeseenergia suuremahulise liitumisega kaasnevad väljakutsed ning võimalikud parendavad lahendused Eesti elektrisüsteemi raamistikus.
- Arendati elektroenergeetika magistriõppekava ja suurendati selle sidusust reaalarvutuste ja -analüüsidega ning masinõppe võimalustega.

### **Short description of research**

Research and development 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 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.

Research group has active research and development-based cooperation with most of the important power system related companies in Estonia, e.g. Elering, Elektrilevi, Enefit Power, Enefit Green, Graanul Invest, VKG Energia, Utilitas, Tallinna Elektri jaam, etc, as well with many international academic institutions. Cooperation with companies is focused on solving multiple and important R&D activities related to power system planning and control challenges, e.g. system black start capability, optimal system control in future power systems, static and dynamic characteristics of Estonian power system and reactive power planning in Estonian power system. Based on the research it is possible for these companies to use new applications and solutions, and optimize the utilization of current assets. In its research related activities, the research group is able to use the world class equipment, e.g. RTDS, relay and automation devices, including Siemens relay protection lab, Omicron testing unit and amplifiers, etc. In observable period the most important academic cooperation was with TU Delft (power system protection), TU Dresden (power quality) and with NTNU, Chalmers, Tampere and Aalto universities (system stability).

### **Main research outcomes**

- Development of new methodology and control algorithms for enabling reliable and optimal cooperation between electrical network and industrial (generation) facility with respect to system services.
- Development of new system protection algorithm using wide-area measurements with scope of enabling coordinated power system protection in case of out-of-step situation.
- Advancement of network utility asset management and comparison methodology and development of mathematical approach for determining the actual condition of substation circuit breaker.
- Analysis of Estonian power system black start capability and its influencing factors.
- Development of mathematical algorithms for conversion of network busload models between different network calculation tools.
- Analysis and development of methodology for the coordinated cooperation of HVDC and synchronous units in low inertia systems.

- Analysis and development of methodology to determine the challenges and possible solutions with significant increase of wind and solar power plants in view of Estonian power system.
- Development of Electrical Power Engineering master level study curriculum and enhancement of its relation to the field of real-time simulations and machine learning.

### **Olulisemad teadus- ja arendusprojektid**

- VNF20074 „Põhjamaade-Baltikumi AC/DC ülekandevõrkude stabiilsuse suurendamise platvorm“.
- LEEEE21116 „Riskipõhise varahalduse põhimõtted tuleviku elektrisüsteemides“.
- LEEEE21075 „Eesti Elektrisüsteemi alalisvooluühenduste talitlemise piirangud ja võimalikud parendavad tehnilised lahendused II etapp“
- LEEEE22096 „Balti LFC ploki vajalike sageduse hoidmise ja taastamise reservide dimensioneerimine suurenenud taastuvenergiaallikate lisandumise korral“
- LEEEE22099 „Harku Estlink 1 ja Kiisa AREJ-de koostöö uuring“

### **Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit (ülikooli või muu suurema asutuse puhul tuleks näidata ka alamstruktuuri tase - uurimisrühm/instituut vm)**

Välisülikoolidega oli vaadeldaval perioodil oluline koostöö Delfti Tehnikaülikooli (elektrisüsteemi kaitsmine), Dresdeni Tehnikaülikooli (elektri kvaliteet) ja Trondheimi Tehnikaülikooliga (süsteemi stabiilsus ja juhtimine).

In observable period the most important academic cooperation was with TU Delft (Department of Electrical Sustainable Energy, topic: power system protection), TU Dresden (Institute of Electrical Power Systems and High Voltage Engineering, topic: power quality) and with NTNU (Department of Electric Power Engineering, topic: system stability and control).

Olulisema Eesti koostööpartnerid olid Elering AS, Utilitas Wind OÜ ja Enefit Green AS.

### **Olulisemad publikatsioonid**

1. Manninen, H., Kilter, J., Landsberg, M. Health Index Prediction of Overhead Transmission Lines: A Machine Learning Approach. IEEE Transactions on Power Delivery, 37 (1), 50–58.
2. Manninen, H., Kilter, J., Landsberg, M. A holistic risk-based maintenance methodology for transmission overhead lines using tower specific health indices and value of loss load. International Journal of Electrical Power ja Energy Systems, 137, 107767.
3. Tealane, M., Kilter, J., Bagleybter, O., Heimisson, B., Popov, M. Out-of-Step Protection Based on Discrete Angle Derivatives. IEEE Access, 10, 78290–78305.

4. Manninen, H., Ramlal, C. J., Singh, A., Kilter, J., Landsberg, M. Multi-stage deep learning networks for automated assessment of electricity transmission infrastructure using fly-by images. *Electric Power Systems Research*, 209, #107948.
5. Tealane, M., Kilter, J., Popov, M., Bagleybter, O., Klaar, D. Online Detection of Out-of-Step Condition Using PMU-Determined System Impedances. *IEEE Access*, 10, 14807–14818.

**Uurimisrühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused (töötaja nimi, allüksus ning tunnustus)**

-

**Uurimisrühma liikmete osalus T&A-ga seotud riiklike otsustuskogude töös (töötaja nimi, ametikoht ning otsustuskogu nimetus ja positsioon otsustuskogus)**

- Jako Kilter, kaasprofessor tenuuris
  - Eesti Standardikeskuse Kõrgepingekomitee EVS/TK 19 esimees
  - CIGRE Eesti kaasesimees
  - TTÜ elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi nõukogu liige
  - Eesti elektroenergeetika seltsi liige
  - Harno; Kristjan Jaagu taotluste hindamise ekspert
- Madis Leinakse, teadur, Eesti elektroenergeetika seltsi liige
- Kaur Tuttelberg, teadur, Eesti elektroenergeetika seltsi liige
- Tanel Sarnet, ekspert, Eesti elektroenergeetika seltsi liige
- Marko Tealane, doktorant-nooremteadur, Eesti elektroenergeetika seltsi liige
- Mari Löper, doktorant-nooremteadur, Eesti elektroenergeetika seltsi liige
- Tarmo Trummal, doktorant-nooremteadur, Eesti elektroenergeetika seltsi liige

**Uurimisrühma liikmete osalus välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös**

- 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 2022, tehnilise komitee liige
- IEEE PowerTech 2023, tehnilise komitee liige
- IEEE Power and Energy Society General Meeting 2022 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
- Marko Tealane, doktorant-nooremteadur
  - IEEE liige
  - IEEE Power and Energy Society liige
- Tarmo Trummal, doktorant-nooremteadur
  - IEEE liige
  - IEEE Power and Energy Society liige

### **Uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevus**

Eesti energeetika valdkonna ettevõtete toetamine teadus ja arendustegevusega. Samuti elektrisüsteemide alased konsultatsioonid ja nõustamised. Kõikide lepingute tulemused on otseselt rakendatavad ettevõtete igapäevatoos ja võimaldavad optimaalsemat ressurside kasutamist.

- Lep18095 - Kiisa avariireservelektrijaama ja elektrisüsteemi pimekäivitusvõimaluste uuring.



- LEEEE22099 - Harku Estlink 1 ja Kiisa AREJ-de koostöö uuring LEEEE22096 „Balti LFC ploki vajalike sageduse hoidmise ja taastamise reserve dimensioneerimine suurenenud taastuenergiaallikate lisandumise korral.
- LEEEE21116 - Riskipõhise varahalduse põhimõtted tuleviku elektrisüsteemides.
- LEEEE20072 - Tehnilise konsultatsiooni teenus seoses Püssi, Viru ja Kiisa 330kV alajaamadesse rajatavate sünkroonkompensaatoritega
- VNF20074 - Põhjamaade-Baltikumi AC/DC ülekandevõrkude stabiilsuse suurendamise platvorm
- LEEEE21075 - Eesti Elektrisüsteemi alalisvooluühenduste talitlemise piirangud ja võimalikud parendavad tehnilised lahendused II etapp
- LEEEV21139 - Targale wind farm model development and connection studies
- LEEEE21002 - Study of Renewable Energy Source penetration capacity in Estonian power system
- LEEEE21067 - Enefit280-2 elektripaigaldise ehitamisega seotud tehniline konsultatsioon

## 2. Jõuelektroonika uurimisrühm

**Uurimisrühma nimetus inglise keeles:** Power Electronics Research Group

**Uurimisrühma juhi nimi, ametikoht:** Dmitri Vinnikov, juhtivteadur, (Leading Researcher), [dmitri.vinnikov@taltech.ee](mailto:dmitri.vinnikov@taltech.ee), tel: 620 3705

**Uurimisrühma veebileht:** <https://taltech.ee/jouelektroonika>

### Uurimisrühma liikmed:

- Tanel Jalakas, vanemteadur
- Andrii Chub, vanemteadur
- Andrei Blinov, vanemteadur
- Oleksandr Husev, vanemteadur
- Indrek Roasto, vanemlektor
- Hamed Mashinchi Maheri, järel doktor-teadur
- Naser Vosoughi Kurdkandi, järel doktor-teadur
- Omar Mohamed Abdelrahim Abdelghafour, järel doktor-teadur
- Yanfeng Shen, järel doktor-teadur
- Edivan Laercio Carvalho, järel doktor-teadur
- Viktor Shevchenko, järel doktor-teadur
- Oleksandr Matiushkin, teadur
- Mahdiyyeh Najafzadeh, doktorant
- Saeed Rahimpour, doktorant
- Vadim Sidorov, insener
- Abualkasim Ahmed Ali Bakeer, insener
- Naser Hassanpour, insener
- Ilya Galkins, insener
- Ievgen Verbytskyi, insener
- Pietro Emiliani, doktorant-nooremteadur
- Aleksandra Sidorova, doktorant-nooremteadur
- Parham Mohseni, doktorant
- Hossein Afshari, doktorant

**Võtmesõnad:** jõuelektroonika muundurid, liginullenergiamaajade energiasüsteemid, energiatõhusus, jõuelektroonikasüsteemide töökindlus

**Keywords:** power electronic converters, power systems for near-zero energy buildings, energy efficiency, reliability of power electronic systems

**Frascati (EST):** 2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

**Frascati (ENG):** 2.2 Electrical engineering, electronic engineering, information engineering

**CERCS (EST):** T140 – Energeetika; T170 – Elektroonika; T190 - Elektrotehnika

**CERCS (ENG):** T140 – Energy research; T170 – Electronics; T190 - Electrical engineering

### Uurimisrühma teadustöö ülevaade

Uurimisrühma teadustöö on fokuseeritud taastuveneergetikas, 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. Lisaks sellele on uurimisrühm osa Eesti teadmispõhise ehituse tippkeskusest ZEBE. Üks ZEBE põhitegevustest on kodumajapidamiste alalisvoolu mikrovõrkude arendamine ning energiaefektiivsete ja süsinikuneutraalsete hoonete kasutuselevõtu kiirendamine.

### **Uurimisrühma olulisemad teadustöö tulemused**

Aastal 2022 on grupi liikmed osalenud rohkem kui kümnes erinevas kohalikus ja rahvusvahelises teadus- ja arendusprojekti, milledest võib välja tuua järgmiseid:

- **"Tulevikukindlad jõuelektronikasüsteemid kodumajapidamiste mikrovõrkudele"** (PRG1086, vastutav täitja Dmitri Vinnikov, projekti rahastas SA Eesti Teadusagentuur). Tänapäevane tehnika areng ning seadusandlikud piirangud sunnivad oluliselt vähendama 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 jõuelektroniliste süsteemide vähesus. Käesoleva projekti ülesanneteks on nende süsteemide uurimises läbimurde saavutamine, arendades uusi skeemilahendusi, juhtimismeetodeid, mitme parameetriga optimeerimisalgoritme ning süsteemide töökindlust ja kasutusiga tõstvaid meetodeid. Eeldame, et uued teadmised aitavad kaasa innovaatiliste kuluefektiivsete jõuelektronika süsteemide väljatöötamisele, kommertsialiseerimisele ning ESVKA mikrovõrkude laialdasemale levikule. Kõik see aitab omakorda kiirendada üleminekut kõrge energiatarvuse ning madala süsinikuemissiooniga hoonete kasutamisele.
- **"Laiendatud funktsionaalsusega alalisvoolu ja vahelduvvooluvõrkude jaoks üheaegselt rakendatavad suure jõudlusega elektrilised elektronilised muundurid "** (PRG675, vastutav täitja Oleksandr Husev, projekti rahastas SA Eesti Teadusagentuur). Projekti eesmärk on välja arendada järgmise põlvkonna kõrgjõudlusega jõuelektronikal põhinevad kompleksid, mis omaksid laiendatud funktsionaalsust tööks alalis- ja vahelduvvoolu madalpingevõrkudes. Projekti sihiks on parendada elektri jaotusvõrgu talitlust lisades täiustatud tugifunktsioonide võimekusega muunduriseadmeid. Uued jõupooljuhttehnika topoloogiad koos uudsete materjalide ja juhtimismeetoditega võimaldavad arendada pooljuhtmuundurite juurde talitlusviise ja funktsioone, mida saaks kasutada üheaegselt nii alalis- kui vahelduvvoolu elamupiirkondade jaotusvõrkudes. Projekti annab tuntava panuse täiendavaks teaduslikult uudsete lahenduste arendamiseks ja rakendamiseks, samuti saadud uudsete tulemuste rakendamiseks tööstuse jaoks oluliste

eesmärkide saavutamiseks. Projekti meeskond on tugevalt motiveeritud et asetada Eesti kõrgtehnoloogiliste lahenduste rakendamisel täiendavalt üks samm ettepoole.

- **„Nutikate roheenergia süsteemide ja ärimudelite uurimis- ja koolitusvõrgustik“** (VFP21053, vastutav täitja Dmitri Vinnikov, rahastaja - Euroopa Komisjoni Horisont 2020 programm). "Koostöölised nutikad energiavõrgud" on paljutöotav kontseptsioon, mis põhineb digitehnoloogial ning majanduslikel ja organisatsioonilistel struktuuridel, mis on otseselt seotud energiatarbijate mõjuvõimu suurendamise, käitumismuutuste edendamise ja kõigi osaliste vahelise koostöö suurendamisega. Uued 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 nooremteadurit 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.

## **Teised TA projektid 2022. aastal**

- EAG122 "Universaalne alalis/vahelduvvoolu muundur akusalvestitele (UniBSI)" (vastutav täitja Oleksandr Husev).
- MOBJD1033 "Üheastmelised osavõimsusega pinget tõstvad ja langetavad muundurid" (vastutav täitja Omar Mohamed Abdelrahim Abdelghafour).
- CA21148 „Uudsetel anorgaanilistel kalkogeniididel põhinevad päikesepatareid – rahvusvaheline koostöövõrgustik teadus- ja arendustöö läbiviimiseks“ (põhitäitjad Dmitri Vinnikov ja Andrii Chub).
- PSG206 "Alalispingemuundurid ülisuure reguleerimisvahemiku ja veajärgse töövõimega", (vastutav täitja Andrii Chub).
- SJD27 „Kodumajapidamiste juhtmevaba alalisvooluvõrgu põhimõtteline lahendus“ (vastutav täitja Viktor Shevchenko)
- EMP474 "Optimeeritud aku-energiasalvestid kodumajapidamistele“ (vastutav täitja Andrei Blinov).
- TAR16012 "ZEBE - Teadmistepõhise ehituse tippkeskus : Nutikas ja tõhus nullenergiahoonete energiahaldus“ (vastutav täitja Dmitri Vinnikov).
- VFP19031 "FINEST TWINS: Targa linna tippkeskuse loomine (täitjad Dmitri Vinnikov and Andrii Chub).

## **Short description of research**

Research in the Group is focused on the development and experimental validation of advanced power electronic systems for such demanding applications as renewable energy systems, rolling stock, automotive and telecom. Key research directions include synthesis of novel 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 power electronic systems. Since 2010 the Power Electronic Group is a member of ECPE - European Center for Power Electronics e.V., which is the 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 ZEBE – Estonian Centre of Excellence for zero energy and resource efficient smart buildings and districts. The core activities in ZEBE are related to the advancing the residential DC microgrid technology and acceleration of the transition towards highly energy-efficient and decarbonized buildings.

### **Main research outcomes**

In 2022 the 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.
- **„New Generation of High-Performance Power Electronic Converters Simultaneously Applicable for DC and AC Grids with Extended Functionalities“** (PRG675, principal investigator Oleksandr Husev, project funded by the Estonian Research Council). This project is aimed to develop a new generation of high-performance power electronic facilities applicable for dc and ac residential grids with extended functionalities. The goal of the project is to improve an electrical energy system by creating an advanced power electronics solutions. New power electronics topologies along with novel materials and control strategies will allow power electronics converters to demonstrate more favorable characteristics and functionalities. Our attention will be paid to the developments of solutions that are simultaneously applied to ac and dc residential power grids and ensure a smooth transition between dc and ac grids. The project will provide a significant contribution to the development of multiple scientific novelties and deployment of the obtained novelty into industrially relevant targets. The project team is strongly motivated

to place Estonia among countries that one step ahead in the development of highly-technological solutions.

- **„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.

### **Other R&D projects in 2022**

- EAG122 "Universal dc/ac battery storage interface (UniBSI)" (principal investigator Oleksandr Husev).
- MOBJD1033 "Single-Stage Buck-Boost Partial Power Converters" (principal investigator Omar Mohamed Abdelrahim Abdelghafour).
- CA21148 „Research and International Networking on Emerging Inorganic Chalcogenides for Photovoltaics“ (senior research staff Dmitri Vinnikov ja Andrii Chub).
- PSG206 "DC-DC Converters with Ultra-Wide Regulation Range and Post-Fault Operation Capability" (principal investigator Andrii Chub).
- SJD27 „Concept of the Wireless DC Microgrid for Residential Application“ (principal investigator Viktor Shevchenko)
- EMP474 "Optimized Residential Battery Energy Storage Systems" (principal investigator Andrei Blinov)
- TAR16012 "ZEBE - Estonian Centre of Excellence for Zero Energy and Resource Efficient Smart Buildings and Districts: Intelligent and Efficient Energy Management for ZEB" (principal investigator Dmitri Vinnikov).
- VFP19031 "FINEST TWINS: Establishment of Smart City Center of Excellence (senior research staff Dmitri Vinnikov and Andrii Chub).

## **Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit (ülikooli või muu suurema asutuse puhul tuleks näidata ka alamstruktuuri tase - uurimisrühm/instituut vm)**

Jõuelektroonika uurimisrühmal on tihe koostöö mitmete juhtivate jõuelektroonika arenduskeskustega Euroopas ja Ameerika Ühendriikides (CTS/UNINOVA and FCT/UNL, Portugal; Department of Energy Technology, Aalborg University, Taani; Institute of Control and Industrial Electronics, Warsaw University of Technology, Poola jne.). Tähtsaimad koostöötulemused olid: ühisartiklid, teadustulemuste ja taristu ühiskasutus, teadurite lähetused, konverentsid, seminarid ja töötoad. Lisaks eelpool mainitud asutustele toimus hea koostöö ka TalTechi Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituudiga laia sageduskarakteristikuga jõupooljuhtseadeldisete teemal ning TalTechi ehituse ja arhitektuuri instituudiga tõhusama energiakasutuse teemal. Uurimisrühm teeb kaasa ka Eesti teadusinfrastruktuuri kujundamise projektis SmartIC, mis toetab Eesti ja Euroopa tööstust üleminekul tootmise tasemele tööstus 4.0, arendades järgmise generatsiooni tehnoloogiaid mehhaanikas, automaatikas, mehhatroonikas, materjaliteaduses, inseneerias ning informaatikas. Lisaks sellele teeb töögrupp koostööd ka TalTechi keemiliste kiletehnoloogiate teaduslaboriga järgmise põlvkonna päikese-energiasüsteemide arendamisel.

Koostöös Eesti ettevõttega Ubik Solutions OÜ arendasid välja ning kommercialiseerisid uurimisgrupi liikmed uudse päikesepaneeli taseme jõuelektroonilise süsteemi OptiVerter®. OptiVerter® on hübriidne tehnoloogia, mis esmakordselt ühendab endas päikese-optimisaatorite ja päikese-mikroinverterite põhiomadusi nagu: varjutuskindel maksimaalse võimsuspunkti jälgimine, galvaaniline isolatsioon, otseühilduvus vahelduvvooluvõrguga, energiatoodangu ja päikesepaneeli oleku jälgimine, turvaline-väljalülitus, madal hind ja süsteemi lihtne skaleeritavus. Koos firmaga MikroMasch OÜ loodi uudne modulaarne aku energiasalvesti kodumajapidamistel ja väikestele tootmisettevõtete taastuvenergeetika rakendustele.

### Olulisimad koostööpartnerid:

Välisriigis: Department of Energy Technology, Aalborg University, Taani; UNINOVA, Portugal; Institute of Control and Industrial Electronics, Warsaw University of Technology, Poola  
Eestis: MikroMasch Eesti OÜ, Vool OÜ, Sunly AS/Ubik Solutions OÜ

## **Cooperation**

Power Electronics Group maintains close cooperation with leading power electronics research centers from Europe and USA (CTS/UNINOVA and FCT/UNL, Portugal; Department of Energy Technology, Aalborg University, Denmark; Institute of Control and Industrial Electronics, Warsaw University of Technology, Poland etc.). The most important outcomes of research cooperation are: joint publications, sharing of research infrastructure, research internships, joint organization of workshops and conferences, etc. Very fruitful cooperation is also established with Estonian research centers and industrial companies. For example, joint research in the field of wide-bandgap semiconductors was initiated with Thomas Johann Seebeck Department of Electronics of TalTech and research cooperation on Zero Energy Buildings and more efficient use of energy was established with Department of Civil Engineering and Architecture. The group is also participating in the Smartic, which is a new Estonian Research Infrastructures Roadmap

initiative project supporting Estonian and European industries in their transition to Industry 4.0 manufacturing by developing next generation technologies in the fields of mechanics, mechanical engineering, automation, mechatronics, materials science and engineering, and ICT. Power electronics group also cooperates with the Laboratory of Thin Film Chemical Technologies of TalTech in the field of next generation photovoltaic systems.

Moreover, the outstanding results were obtained in cooperation with Estonian start-up companies Ubik Solutions OÜ ja MikroMasch OÜ that have implemented the obtained scientific and practical results in their innovative products. For example, in cooperation with Ubik Solutions OÜ the group members have developed and commercialized the revolutionary photovoltaic module level power electronic system called OptiVerter<sup>®</sup>. OptiVerter<sup>®</sup> is a hybrid technology that for the first time merges the key features of recently popular PV power optimizers and PV microinverters such as shade-tolerant maximum power point tracking (MPPT), galvanic isolation, direct AC grid connectivity, monitoring of energy production and state of health of a PV module, safety cut-off as well as low cost of installation and flexible scaling up of PV power system. In cooperation with MikroMasch OÜ the researchers of the group have introduced a novel modular battery energy storage system for residential and small-commercial renewable energy applications.

### **Olulisemad publikatsioonid**

1. Blinov, A.; Korkh, O.; Chub, A.; Vinnikov, D.; Peftitsis, D.; Norrga, S.; Galkin, I. (2022). High Gain DC-AC High-Frequency Link Inverter with Improved Quasi-Resonant Modulation. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 69 (2), 1465–1476. DOI: 10.1109/TIE.2021.3060657.
2. Husev, O.; Matiushkin, O.; Vinnikov, D.; Roncero-Clemente, C.; Kouro, S. (2022). Novel Concept of Solar Converter with Universal Applicability for DC and AC Microgrids. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 69 (5), 4329–4341. DOI: 10.1109/TIE.2021.3086436.
3. Martins, J. F.; Romero-Cadaval, E.; Vinnikov, D.; Malinowski, M. (2022). Transactive Energy: Power Electronics Challenges. *IEEE Power Electronics Magazine*, 9 (1), 20–32. DOI: 10.1109/MPEL.2022.3140981.
4. Kurdkandi, N. V.; Husev, O.; Matiushkin, O.; Vinnikov, D.; Siwakoti, Y.; Lee, S. S. (2022). Novel Family of Flying Inductor-based Single-Stage Buck-Boost Inverters. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 10 (5), 6020–6032. DOI: 10.1109/JESTPE.2022.3161113.
5. Mashinchi Maheri, H.; Vinnikov, D.; Chub, A.; Sidorov, V.; Galkin, I. (2022). Application of Cycle Skipping Modulation in Buck-Boost Photovoltaic Microconverters. *IEEE Transactions on Industry Applications*. DOI: 10.1109/TIA.2022.3163083.
6. Sidorov, V.; Chub, A.; Vinnikov, D. (2022). Bidirectional Isolated Hexa-Mode DC-DC Converter. *IEEE Transactions on Power Electronics*. DOI: 10.1109/TPEL.2022.3170229.
7. Baker, A.; Chub, A.; Vinnikov, D. (2022). Full-Bridge Fault-Tolerant Isolated DC-DC Converters: Overview of Technologies and Application Challenges. *IEEE Power Electronics Magazine*, 9, 45–55. DOI: 10.1109/MPEL.2022.3196565.
8. Carvalho, E. L.; Blinov, A.; Chub, A.; Emiliani, P.; de Carne, G.; Vinnikov, D. (2022). Grid Integration of DC Buildings: Standards, Requirements, and Power Converters



Topologies. IEEE Open Journal of Power Electronics. DOI: 10.1109/OJPEL.2022.3217741.

9. Husev, O.; Vosoughi Kurdkandi, N.; Ghavipankeh Marangalu, M.; Vinnikov, D.; Hossein Hosseini, S. (2022). A New Single-Phase Flying Inductor-Based Common Grounded Converter for Dual-Purpose Application. IEEE Transactions on Industrial Electronics. DOI: 10.1109/TIE.2022.3215832.
10. Sidorov, V.; Chub, A.; Vinnikov, D.; Peng, F. Z. (2022). Survey of Topology Morphing Control Techniques for Performance Enhancement of Galvanically Isolated DC-DC Converters. IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society, 3, 751–777. DOI: 10.1109/OJIES.2022.3225265.

### **Uurimisrühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused (töötaja nimi, allüksus ning tunnustus)**

- Dmitri Vinnikov, Eesti Teaduste Akadeemia, akadeemik tehnika- ja arvutiteaduste alal
- Dmitri Vinnikov, arvatud Stanfordini ülikooli poolt maailma 2 % mõjukaimate teadlaste hulka
- Oleksandr Husev, arvatud Stanfordini ülikooli poolt maailma 2 % mõjukaimate teadlaste hulka
- Andrii Chub, arvatud Stanfordini ülikooli poolt maailma 2 % mõjukaimate teadlaste hulka
- Yanfeng Shen, arvatud Stanfordini ülikooli poolt maailma 2 % mõjukaimate teadlaste hulka
- Naser Vosoughi, arvatud Stanfordini ülikooli poolt maailma 2 % mõjukaimate teadlaste hulka

### **Uurimisrühma liikmete osalus T&A-ga seotud riiklike otsustuskogude töös (töötaja nimi, ametikoht ning otsustuskogu nimetus ja positsioon otsustuskogus)**

- Dmitri Vinnikov, juhtivteadur, Eesti Teadusagentuur hindamisnõukogu loodusteaduste ja tehnika ekspertkomisjoni liige

### **Uurimisrühma liikmete osalus välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös**

- Dmitri Vinnikov, juhtivteadur
  - IEEE Senior Member
  - Chair of the IEEE Estonia Section IES/PELS Joint Societies Chapter
  - European Spallation Source (ESS) Accelerator (ACCSYS) koostöö kogu liige
  - Student and Young Professionals Activity Committee Member of the IEEE Industrial Electronics Society (IEEE-IES)
- Oleksandr Husev, vanemteadur, IEEE Senior Member
- Andrei Blinov, vanemteadur, IEEE Senior Member
- Andrii Chub, vanemteadur, IEEE Senior Member

### **Uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevus**

- **„Elektrisõidukite laadimistaristu Kataris: laadija arendamine, energiavõrku integreerimine ja hinnastamine”** (VA21001, vastutav täitja Dmitri vinnikov, projekti rahastas Katari Riiklik Teadusfond). Antud projekti eesmärgiks on konkureeriva hinnaga, töökindla ning Katari rasketesse kliimatilistesse tingimustesse sobiva elektrisõidukite kiirlaadija põhimõttelise lahenduse väljatöötamine ning katsetamine. Lisaks sellele uuritakse massilise elektrisõidukite laadimise mõju Katari elektrivõrgule koos optimaalsete elektrisõidukite laadimisstrateegiatega loomisega. Kõige muu kõrval analüüsitakse ka elektrisõidukite akude vananemist ja nende elutsüklit Katari kliima ja sõidutingimuste korral. Selle info põhjal töötatakse välja ning kontrollitakse katseliselt järgi täpsed akude haldamise tehnoloogiad.
- **"Universaalne alalis/vahelduvvoolu muundur akusalvestitele"** (EAG122, vastutav täitja: Oleksandr Husev; projekti rahastas Sihtasutus Eesti Teadusagentuur). Alalisvoolu mikrovõrkudest on saanud kaasaegne trend. Arendajaid meelitab seda tehnoloogiat juurutama muundamisastmete arvu vähenemine ning salvestite ja taastuvenergia allikate võrku integreerimise lihtsus. Samas on kindel, et üleminek vahelduvvoolu energiavõrkudelt alalisvoolu omadele ei toimu kiiresti. Lähima kümne aasta jooksul näeme mõlemat tüüpi süsteemide ühildumist, mis tekitab unikaalse müügivõimaluse universaalsetele toitemuunduritele. Need universaalsed toitemuundurid saaks toidet nii alalis- kui ka vahelduvvooluvõrgust. Antud projekti põhiline eesmärk oli universaalse muunduri tehnilise valmisoleku taseme tõstmine, tehnoloogia turustamise eesmärgil. Projekti kestel tegeleti normatiivide analüüsiga, komponentide optimeerimisega, töökindluse, näitajate ja ohutuse tõstmisega ning seadme pikaajalise raketeta töövõime saavutamiseega.
- **“Electric Vehicle Charging Infrastructure in Qatar: Charger Design, Grid Integration, and Cost Quantification”** (VA21001, principal investigator: Dmitri Vinnikov, project founded by the Qatar National Research Fund). This project aims at the design and demonstration of the cost-competitive and highly reliable fast charger concept technology for electrical vehicles (EV) which will meet the requirements of the harsh climate conditions of Qatar. Also, the impact of large-scale EV integration on the power grid of Qatar will be assessed and the optimal EV charging strategies will be proposed. Moreover, the battery aging and lifetime under Qatar driving and climate conditions will be analyzed and the accurate battery management techniques will be developed and tested.
- **Universal dc/ac battery storage interface (UniBSI)** (EAG122, principal investigator: Oleksandr Husev; project funded by the Estonian Research Council). DC microgrids are becoming a modern trend. Due to the simplicity of storage systems or renewable energy integration, reduction of power electronics stages in many devices connected to the conventional ac grid, this solution is attracting researchers' efforts targeted to implementation. At the same time, it is evident that the immediate transition from the ac to the dc grid is infeasible. In the nearest decade, we will observe a merge of the dc and the ac systems. It creates a unique selling point for universal converters that accept both dc or ac grid by the same converter terminals with minimal internal redundancy. Tremendous market opportunities are expected in the nearest future. The main goal of this project is to increase the readiness level of an entirely new approach of the universal power electronic

converter for further promotion to the market. Analysis of norms, components optimization, long operation warranty, safety and performance issues will be addressed in this project.

### 3. Mehhatroonika ja autonoomsete süsteemide uurimisrühm

**Uurimisrühma nimetus inglise keeles:** Mechatronics and Autonomous Systems Research Group

**Uurimisrühma juhi nimi, ametikoht:** Anton Rassõlkin, kaasprofessor tenuuris (Tenured Associate Professor), [anton.rassolkin@taltech.ee](mailto:anton.rassolkin@taltech.ee), tel: 620 3202, +372 5391 9587

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

#### Uurimisrühma liikmed:

- Andres Kiitam, emeriitprofessor
- Kristjan Pütsep, lektor
- Leo Teder, lektor
- Tiia Tammaru, lektor
- Daniil Valme, doktorant-nooremteadur
- Mahmoud Ibrahim Hassanin Mohamed, doktorant-nooremteadur
- Viktor Rjabtšikov, doktorant-nooremteadur
- Rolando Antonio Gilbert Zequera, doktorant
- Saleh Ragheb Saleh Alsaleh, doktorant
- Hamidreza Heidari, doktorant
- Even Sekhri, insener
- Dhanushka Chamara Liyanage, insener

**Võtmesõnad:** mehhatroonikasüsteemide kavandamine ja juhtimine, veoajam, digitaalsed kaksikud, mehitamata õhu- ja maismaasõidukite simulatsioonid, masinnägemise rakendused  
**Keywords:** Design and Control of Mechatronic Systems, Propulsion Drive, Digital Twins, UGV and UAV simulations, Machine Vision Applications

**Frascati (EST):** 2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

**Frascati (ENG):** 2.2 Electrical engineering, electronic engineering, information engineering

**CERCS (EST):** T455 – Mootorid ja ajamid; T190 – Elektrotehnika; T121 – Signaalitöötlus

**CERCS (ENG):** T455 – Motors and propulsion systems; T190 - Electrical engineering; T121 – Signal processing

#### Uurimisrühma teadustöö ülevaade

Mehhatroonika on üks dünaamilisemaid tehnikasuundi maailmas ja kujutab endast sünergiat infotehnoloogiast, elektroonikast, optikast ja mehaanikasüsteemidest. 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 reaali- ja virtuaalsensorite kombineerimiseks tehisintellektiga.

Lisaks sellele on teadus- ja arendustegevuse põhifookuses tehisintelligentsil põhineva riist- ja vastava tarkvara väljatöötamine robotika ja automaatika juhtsüsteemide jaoks ning kasutajaliideste loomine süsteemidele, sensoritele ja eriti uutele masinnägemise rakendustele. Rõhk on tööstusrobotikal ning mehitamata maismaasõiduki (UGV) ja mehitamata õhusõiduki (UAV) süsteemide, samuti ka *hardware-in-the-loop* simulatsiooni- ja testsüsteemide loomisel.

### **Uurimisrühma olulisemad teadustöö tulemused**

- Avati uus teadus- ja õppelabor, e-Sõidukite labor, mille huvisfääri kuuluvad igat tüüpi elektriliselt käitatavad sõidukid: kergsõidukid, elektriautod, liikurplatvormid, veetransport, suurte transpordivahendite veoajami osad jne. Lisaks veoajamisüsteemile ja anduritele kuuluvad labori huvisfääri transpordivahendite laadimise ja elektrivarustusega seotud küsimused, sh energiasalvestite katsetamine.
- Jätkub isejuhtiva elektrisõiduki veoajami digitaalse kaksiku loomine (PSG453). Projekti eesmärk on välja töötada testplatvorm energiasüsteemi hindamiseks ja optimeerimiseks. Eesmärgi saavutamise nõuab mitmete katseplatvormide ja digitaalsete kaksikute arendamist. Digitaalne kaksik koosneb kolmest komponendist - reaalse maailma füüsilistest üksustest, selle virtuaalsetest mudelitest ja ühendatud süsteemist, mis paneb kaks maailma kokku.
- Loodi katsepink VTOL (Vertical Take-Off and Landing) õhusõidukite katsetamiseks. Katsepink võimaldaks õhusõidukile kolmes teljes pöörlemiseks vabadusaset. Selline kontseptsioon võimaldab konfigurereida kontrollereid ning valideerida lahendust mittepurustavate katsete teel.

### **Short description of research**

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 ground vehicle (UGV) and unmanned aerial vehicle (UAV) systems, as well as hardware-in-the-loop simulation and test systems.

### **Olulisemad teadus- ja arendusprojektid**

- PSG453 "Digital twin for propulsion drive of autonomous electric vehicle" (1.01.2020–31.12.2024); Principal Investigator: Anton Rassõlkin; Tallinn University of Technology, School of Engineering, Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics; Financier: Estonian Research Council;
- VERT21024 "Digital platform supporting remote laboratory classes in electrical engineering, mechatronics and automation" (1.03.2021–28.02.2023); Principal Investigator: Anton Rassõlkin; Tallinn University of Technology, School of Engineering, Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics (partner); Financier: POLITECHNIKA SLASKA;
- VERT21044 "Fossiilkütuste kaevanduse alade tööjõu ümberõpe kaasaegsesse tööstusse kaasamiseks" (1.11.2021–1.11.2024); Vastutav täitja: Anton Rassõlkin; Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

**Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit (ülikooli või muu suurema asutuse puhul tuleks näidata ka alamstruktuuri tase - uurimisrühm/instituut vm)**

- Aalto ülikool (Aalto university), School of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Mechatronics, Helsinki, Soome - projektitaotluste ettevalmistamine, ühispublikatsioonid jms.
- Sileesia tehnikaülikool (Silesian University of Technology), Elektrotehnika teaduskond, Jõuelektroonika, Elektriajami ja Robotika instituut, Gliwice, Poola - koostööprojektid, projektitaotluste ettevalmistamine, ühispublikatsioonid, ühis magistritööde juhendamine jms.
- Mittelhesseni tehnikakõrgkool (TH Mittelhessen University of Applied Sciences), Giessen, Saksamaa – CUCÉE võrgustik, koostööprojektid, projektitaotluste ettevalmistamine, tudengivahetus
- Eesti Maaülikool, Metsanduse ja inseneria instituut - projektitaotluste ettevalmistamine
- Siemens Oy Eesti filiaal, eMobility - õppeprojektid, koostööprojektid
- Phoenix Contact UAB, Eesti - õppeprojektid, koostööprojektid

**Olulisemad publikatsioonid**

- Ibrahim, M.; Rassõlkin, A.; Vaimann, T.; Kallaste, A. (2022). Overview on Digital Twin for Autonomous Electrical Vehicles Propulsion Drive System. Sustainability, 14 (2), 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14020601>
- Rassõlkin, A.; Rjabtšikov, V.; Kuts, V.; Vaimann, T.; Kallaste, A.; Asad, B.; Partyshev, A. (2022). Interface Development for Digital Twin of an Electric Motor Based on Empirical Performance Model. IEEE Access. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3148708>

- Rassõlkin, A.; Tammi, K.; Demidova, G.; Hosseinnia, H. (2022). Mechatronics Technology and Transportation Sustainability. Sustainability, 14(3) (1671), #1671. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14031671>

**Uurimisrühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused (töötaja nimi, allüksus ning tunnustus)**

- Anton Rassõlkin, 2022, Eesti Vabariigi teaduspreemia tehnikateaduste alal tööde tsükli „Kihtlisandustehnoloogial põhinevad elektrimasinad“ eest
- Anton Rassõlkin, 2022, Tallinna Tehnikaülikooli aasta arendustöö 2021, III koht "Virumaa digi- ja rohetehnoloogiate innovatsioonikeskuse (VIDRIK) kontseptsiooni arendus ja realiseerimine"
- Anton Rassõlkin, 2022, Tänukirja preemia pälvinud teadustööde juhendajale: 2022. a üliõpilaste teadustööde riiklikul konkursil tehnika ja tehnoloogia valdkonnas, magistri astme 1. preemia võitnud töö - Sergei Jegorov „Vahevararaamistik digitaalse kaksiku üksuste infovahetuseks“
- Viktor Rjabtšikov, 2022, Best Poster Award for the presentation at the 20th International IEEE Conference on POWER ELECTRONICS AND MOTION CONTROL, IEEE PEMC 2022
- Mahmoud Ibrahim, 2022, Best Presentation Award, 21th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology III

**Uurimisrühma liikmete osalus T&A-ga seotud riiklike otsustuskogude töös (töötaja nimi, ametikoht ning otsustuskogu nimetus ja positsioon otsustuskogus)**

- Anton Rassõlkin, kaasprofessor tenuuris
  - Ettevõtluse Arendamise Sihtasutus (EAS) - ekspert/hindaja
  - Eesti Keele Instituut - retsensent
  - Eesti Moritz Hermann Jacobi Selts, liige;
  - Eesti Teadusagentuuri õpilaste teadustööde riikliku konkursi hindamiskomisjoni liige;
  - Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi nõukogu liige;
- Andres Kiitam, emeriitprofessor
  - Kvaliteedispetsialisti ja kvaliteedijuhi kutsete kutsekomisjoni liige
  - Walter Masing Award (Eesti-Saksa ühisauhind) žürii liige
  - Eesti Juhtimiskvaliteedi Auhinna žürii esimees
  - PHARE, PRAQ III, LEONARDO, TEMPUS, AEF jm projektide ekspert/juhtekspert
  - Eesti masina- ja aparaaditööstuse kvaliteeditagamise nõukogu liige
  - Eesti Süsteemiinseneride Seltsi liige
  - Eesti Kvaliteediühingu liige

- Tiia Tammaru, teadur
  - Eesti Kvaliteediühingu (EKÜ) esindaja EFQMis
  - Eesti Kvaliteediühingu esindaja EHFFis (European Health Future Forum)
  - Eesti Kvaliteediühingu (EKÜ) esindaja WAQis (World Alliance of Quality)
  - Eesti Standardikeskuse EVS tehniline komitee 33 'Juhtimissüsteemid ja vastavvshindamine', liige, Tallinna Tehnikaülikooli esindaja
  - , Üldassamblee liige
  - Eesti Kvaliteediühing (EKÜ), juhatuse liige
- Viktor Rjabtšikov, doktorant-nooremteadur
  - Eesti Moritz Hermann Jacobi Selts, liige
  - IEEE Estonia Student Branch Secretary
- Kristjan Pütsep, lektor
  - Eesti Moritz Hermann Jacobi Selts, liige

### **Uurimisrühma liikmete osalus välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös**

- Anton Rassõlkin, kaasprofessor tenuuris
  - Rahvusvahelise Sümpoosiumi "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology III" programmkomitee liige;
  - Külalis kaastoimetaja: IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics (ISSN 2168-6777, ISSN (Online) 2168-6785) "Special Issue on Machine Learning for Modeling, Designing, and Controlling Electric Machines and Drives";
  - Rahvusvahelise teaduskonverentsi "20th International Conference on Mechatronics (Mechatronika 2022)" teaduskomitee liige, IEEE; ICEPDS2020 Plzeň, Tšehhi Vabariik;
  - Rahvusvahelise teaduskonverentsi "Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering" (CPE-POWERENG 2023) sessiooni juht, IEEE; CPE-POWERENG 2023 Tallinn, Estonia;
  - Läti Teadusnõukogu (LCS) - ekspert/hindaja
  - IEEE Vehicular Technology Society/Communications Based Train Control and Signals (VT/CBTC&SIG) standardi nõukoogu liige;
  - IEEE vanemliige
  - CUCEE võrgustiku koordinaator Tallinna Tehnikaülikoolis (<http://e-cucee.eu/>);
  - COST Action CA19108 - High-Temperature SuperConductivity for AcceLerating the Energy Transition (Hi-SCALE) 2. ja 3. töögrupide liige
- Andres Kiitam, emeriitprofessor



- MCB Literati Club (UK, ekspertide ühendus) liige
- Tiia Tammaru, teadur
  - Rahvusvahelise Kvaliteediinnovatsiooni auhinna Quality Innovation Award (QIA) ümarlaua ja hindamiskomisjoni liige
  - European Organization for Quality (EOQ), Eesti Kvaliteediühingu esindaja, Üldassamblee liige
- Viktor Rjabtšikov, doktorant-nooremteadur
  - IEEE Üliõpilasliige
- Kristjan Pütsep, lektor
  - IEEE Üliõpilasliige
- Mahmoud Ibrahim Hassanin Mohamed, doktorant-nooremteadur
  - IEEE Üliõpilasliige

#### **Uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevus**

- **SEF21002 "Teaching materials and good practices exchange in the field of energy conversion technology between Tallinn University of Technology and Belarusian State University of Technology"** (4.01.2021–3.01.2023); Principal Investigator: Anton Rassõlkin; Tallinn University of Technology, School of Engineering, Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics; Financier: Välisministeerium
- **VNF22009 "Advanced Approach for Computer Control of Electrical Technologies"** (15.05.2021–1.10.2022); Vastutav täitja: Anton Rassõlkin; Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut (partner); Finantseerija: Riia tehnikaülikool; Eraldatud summa: 7 500 EUR
- **VNF22053 "Arvutipõhised inseneritehnoloogiad ja adaptroonika"** (15.05.2022–1.10.2023); Vastutav täitja: Anton Rassõlkin; Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut (partner); Finantseerija: Nordic Council of Ministers

#### 4. Mikrovõrgud ja metroloogia, sh valgustehnika labor

**Uurimisrühma nimetus inglise keeles:** Microgrids and Metrology Research Group, incl. Laboratory of Lighting Technology

**Uurimisrühma juhi nimi, ametikoht ja kontaktandmed:** Argo Rosin, kaasprofessor  
tenuuris (Tenured Associate Professor), Ehitajate tee 5, room NRG-408 [argo.rosin@taltech.ee](mailto:argo.rosin@taltech.ee),  
Skype: argo.rosin, phone: +372 529 0305

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

#### Uurimisrühma liikmed:

- Arvo Oorn, elektrivalgustuse labori juhataja
- Roya Ahmadiyahangar, vanemteadur
- Gevork Babamalek Gharehpetian, vanemteadur
- Tarmo Korõtko, teadur
- Younes Zahraoui, järeldoktor-teadur
- Noman Shabbir, teadur
- Imre Drovtar, teadur
- Vahur Maask, doktorant-insener
- Freddy Plaum, doktorant-nooremteadur
- Arqum Shahid, doktorant-nooremteadur
- Martin Parker, doktorant-nooremteadur
- Andreas Christian Armstorfer, doktorant
- Jorge Luis Helguero Cruz, doktorant
- Nauman Beg, doktorant
- Toivo Varjas, valgustehnika ekspert
- Tobias Häring, doktorant/masinõppe rakenduste ekspert
- Taavi Möller, insener

**Võtmesõnad:** mikrovõrgud, tehisintellekt, tarbimise juhtimine, automaatikasüsteemid, energiasalvestid, elektrivalgustus

**Keywords:** microgrids, artificial intelligence, automation systems, energy flexibility, energy storages, electrical lighting

**Frascati (EST):** 2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

**Frascati (ENG):** 2.2 Electrical engineering, electronic engineering, information engineering

**CERCS (EST):** T140 – Energeetika; T190 – Elektrotehnika

**CERCS (ENG):** T140 – Energy research; T190 – Electrical engineering;

#### Uurimisrühma teadustöö ülevaade

Teadustöö on fookuseeritud kahe teadusvaldkonna - elektrivarustuse ja elektervalgustuse - arendamisele. Elektrivarustuse valdkonna teadustöö on fookuseeritud tarbijapoolse elektrisüsteemi paindlikkuse ennustamis- ja karakteriseerimismudelite uurimisele, energia kogukondade paindlikkuse suurendamisele, rakendades tehisintellekti energiavoogude juhtimiseks ja optimeerimiseks mikrovrkudes, ning uudsete paindlikkusteenuste ja -toodete arendamisele. Samuti uuritakse tänavavalgustustaristu rakendamise võimalusi rohetehnoloogiate (elektersõidukid, taastuvenergia jne) laialdasemaks integratsiooniks elektrisüsteemi.

Metroloogia valdkonna teadustöö on fookuseeritud 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.

Uurimistöö ühiskondlikeks väljunditeks on suurem energia-, kulutõhusus, töökindlus ja paindlikkus elektri-, automaatika- ja valgustuspaigaldistes, ning valgustustehniliste mõõtemetodite parendamine ja tööstuslike diagnostika lahenduste väljatöötamine

## Uurimisrühma olulisemad teadustöö tulemused

Aastal 2022 on grupi liikmed osalenud rohkem kui kümnes erinevas kohalikus ja rahvusvahelises projektis. Olulisemad väljundid võib kokku võtta järgnevalt:

- Nutika energiasalvestusalgoritmi väljatöötamine, mis arvestab tarbijate harjumusi ja ilmaolusid (*projekt PSG739*). <https://novaator.err.ee/1608466049/tuleviku-elektriarveid-voib-vahendada-nutikas-algoritm>
- Metoodika fiidrite klassifitseerimiseks ja majanduslikult tõhusate tehnoloogiliste lahenduste valikuks madalpingevõrgus pingeprobleemide lahendamisel (*projekt AR20013, VFP19031EE*). <https://novaator.err.ee/1608555001/uuring-pakub-metoodika-eesi-vorkudest-halva-elektri-torjumiseks>
- Energiaühistute uudsete ärimudelite uurimine ja väljatöötamine mikrovrkude pilootprojektis (*projekt AR20013, VFP19031EE*). <https://novaator.err.ee/1608796711/uhistusse-koondumine-aitab-kogukonna-energiakulusid-vahendada>
- Tehisintellektil põhinevate tööstusseadme diagnostikaalgoritmi väljatöötamine (*projekt LEP18101, AIRE-EDIH*). <https://sciencebusiness.net/network-updates/taltech-artificial-intelligence-could-help-drive-down-production-costs-machine>
- Leedekraanide mõjude uurimine liiklusohutusele, mõjude hindamise metoodika ja juhendi väljatöötamine (*projekt LEEAE21114*).

## Short description of research

The research work is focused on the development of the following key research areas: electrical power supply systems (microgrids) and electrical lighting. 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.

The societal outputs of the research are increased energy and cost efficiency, reliability and flexibility in electrical, automation and lighting installations, as well as the improvement of lighting technical measurement methods and the development of industrial diagnostic solutions.

### Main research outcomes

- Development analytical approach to maximize the PV self-consumption and optimize BESS scheduling to minimize electricity costs for a two-level electricity tariff energy system (*project PSG739*). <https://novaator.err.ee/1608466049/tuleviku-elektriarveid-voib-vahendada-nutikas-algoritm>
- Methodology for the classification of feeders and the selection of economically efficient technological solutions in solving voltage problems in the low-voltage network (*projects AR20013, VFP19031EE*). <https://novaator.err.ee/1608555001/uuring-pakub-metoodika-est-i-vorkudest-halva-elektri-torjumiseks>
- Research and development of innovative business models of energy cooperatives on a microgrid pilot project (*projects AR20013, VFP19031EE*). <https://novaator.err.ee/1608796711/uhistusse-koondumine-aitab-kogukonna-energiakulusid-vahendada>
- Development of artificial intelligence-based industrial device diagnostic algorithm (*projects LEP18101, SEF21004EE*). <https://sciencebusiness.net/network-updates/taltech-artificial-intelligence-could-help-drive-down-production-costs-machine>
- Researching the effects of LED screens on traffic safety, developing an evaluation methodology and guide (*projekt LEEAE21114*).

### Olulisemad teadus- ja arendusprojektid

- **AR20013EE "Energiavajaduse vähendamine mikrovõrkude ja energiasalvestite abil"** (1.01.2021–31.08.2023); Finantseerija: Haridus- ja Teadusministeerium. Vastutav täitja: Tarmo Korõtko.
- **VFP19031EE (856602) "FINEST TWINS: Targa linna tippkeskuse loomine"** (1.12.2019–30.11.2026), Finantseerija: Euroopa Komisjon. Vastutav täitja: Argo Rosin.

- **PSG739** “Nullenergiapiirkondade teostatavuse parandamine läbi suurema energeetilise paindlikkuse”, Finantseerija: ETAG. (vastutav täitja: Roya Ahmadiyahangar)
- **LEEAE21114** "LED-ekraanide mõjude hindamine liiklusohutusele", Finantseerija: Tallinna Transpordiamet. (vastutav täitja: Argo Rosin).
- **TAR16012** "Teadmistepõhise ehituse tippkeskus" (1.10.2015–1.03.2023); Finantseerija: SA Archimedes. Vastutav täitja: Jarek Kurnitski, täitja Argo Rosin.
- **LEEEE20107** "Energiatarbimise juhtimise paindlikkustoote pilootprojekt - 2. etapp" (30.09.2020–30.05.2023); Finantseerija: Eesti Energia AS. Täitjad: Argo Rosin, Vahur Maask.
- **VNF20074** "Põhjamaade-Baltikumi AC/DC ülekandevõrkude stabiilsuse suurendamise platvorm" (1.10.2020–31.12.2023); Finantseerija: Nordic Energy Research. Vastutav täitja: Jako Kilter; Põhitäitjad Argo Rosin, Roya Ahmadiyahangar
- **EITSA21042** "TalTech-i energeetika valdkonna õppekavade arendamine kasutades tehisintellekti ja digitaalsete kaksikute võimalusi" (1.05.2021–31.12.2022); Finantseerija: Haridus- ja Noorteamet. Vastutav täitja: Jako Kilter, Põhitäitjad: Argo Rosin, Roya Ahmadiyahangar; Täitjad: Imre Drovтар, Tarmo Korõtko.

**Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit (üliskooli või muu suurema asutuse puhul tuleks näidata ka alamstruktuuri tase - uurimisrühm/instituut vm)**

Koostööd on tehtud teadlastega järgmistest TA asutustest:

- Hochschule Kempten, Saksamaa: professor Helmuth Biechl (Director of the Institute for Electrical Power Systems (IEES))
- Aalto University, Soome:
  - professor Syri Sanna (Department of Mechanical Engineering)
  - professor Matti Lehtonen (Power Systems and High Voltage Engineering, Department of Electrical Engineering and Automation)
- Amirkabir University of Technology, Iran: professor Gevork Babamalek Gharehpetian

Ettevõtetest olid olulisemad koostööpartnerid Pentamet OÜ, Enefit Connect OÜ, Tallinna Transpordiamet.

### **Olulisemad publikatsioonid:**

1. Ahmadiyahangar, R.; Karami, H.; Husev, O.; Blinov, A.; Rosin, A.; Jonaitis, A.; Sanjari, M. J. (2022). Analytical approach for maximizing self-consumption of nearly zero energy buildings- case study: Baltic region. Energy, 238, 121744. DOI: 10.1016/j.energy.2021.121744.
2. Rosin, A.; Drovтар, I.; Mölder, H.; Haabel, K.; Astapov, V.; Vinnal, T.; Korõtko, T. (2022). Analysis of Traditional and Alternative Methods for Solving Voltage Problems in Low

Voltage Grids: An Estonian Case Study. *Energies*, 15 (3), #1104. DOI: 10.3390/en15031104.

3. Plaum, F.; Ahmadiyahangar, R.; Rosin, A.; Kilter, J. (2022). Aggregated demand-side energy flexibility: A comprehensive review on characterization, forecasting and market prospects. *Energy Reports*, 8, 9344–9362. DOI: 10.1016/j.egy.2022.07.038.
4. Rosin, A.; Ahmadiyahangar, R.; Martins, J.; Sahoo, S.; Blaabjerg, F. (2022). Cyber-physical microgrids: toward flexible energy districts. In: S. Sahoo; F. Blaabjerg; T. Dragicevic (Ed.). *Cyber Security for Microgrids*. (161–178). IET The Institution of Engineering and Technology.
5. Javanshir, N.; Syri, S.; Tervo, S.; Rosin, A. (2022). Operation of district heat network in electricity and balancing markets with the power-to-heat sector coupling. *Energy*, #126423. DOI: 10.1016/j.energy.2022.126423.

### **Uurimisrühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused**

- Argo Rosin, 2022, aasta insener 2021
- Argo Rosin, 2022, Tallinna Tehnikaülikooli aasta arendustöö 2021, III koht, Virumaa digi- ja rohetehnoloogiaste innovatsioonikeskuse (VIDRIK) kontseptsiooni arendus ja realiseerimine

### **Uurimisrühma liikmete osalus T&A-ga seotud riiklike otsustuskogude töös (töötaja nimi, ametikoht ning otsustuskogu nimetus ja positsioon otsustuskogus)**

- Argo Rosin, kaasprofessor tenuuris
  - Juhtkomisjoni liige. Energiamaajanduse arengukava aastani 2035. Majandus- ja kommunikatsiooniministeriumis. Eesti Vabariik.
  - MTÜ Eesti Standardikeskuse tehnilise komitee EVS/TK58 “Tarkvõrk” liige.
  - Tallinna Tehnikaülikooli Senati liige.
  - EL raamprogrammi energia valdkonna ekspertide töögrupi liige.
  - Eesti Moritz Hermann Jacobi Seltsi liige
  - Tallinna Tehnikaülikooli esindaja Elektritööde Ettevõtjate Liidus
- Tarmo Korõtko, teadur
  - MTÜ Eesti Standardikeskuse tehnilise komitee EVS/TK58 “Tarkvõrk” liige.
- Toivo Varjas, ekspert
  - MTÜ Eesti Standardikeskuse tehnilise komitee EVS/TK 24 „Valgustehnika” liige
  - Eesti Moritz Hermann Jacobi Seltsi ja Valgustehnika sektsiooni toimik, liige

### **Uurimisrühma liikmete osalus välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös**

- Argo Rosin, kaasprofessor tenuuris
  - IEEE Senior Member,
  - IEEE Industrial Electronics Society (IES) member,
  - IEEE Power & Energy Society (PES) member
  - Member of Scientific Committee “2022 IEEE 63rd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)”
  - Chair of Technical Track "Renewable Energy, Storage and Distributed Energy Systems" in IEEE ENERGYCON 2022
  - Chair of Technical Track "Smart Grids ja Microgrids" in the 2022 IEEE 63rd International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)
  
- Roya Ahmadiyahangar, järeldoktor, teadur
  - IEEE Senior Member
  - IEEE Eesti sektsiooni sekretär
  
- Tarmo Korõtko, teadur
  - IEEE Member

#### **Uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevus**

- **LEEA21114 "LED-ekraanide mõjude hindamine liiklusohutusele"** (15.12.2021–15.03.2022); Finantseerija: Tallinna Transpordiamet. Vastutav täitja: Argo Rosin. Töö tulemusi rakendatakse juhiste väljatöötamiseks, kuidas seest valgustatud reklaampindasid kõige liiklusohutumalt kasutada.
- **SEF21004EE "Tehisintellektil põhinev tööstusseadme seisundi monitoorimine"** (16.03.2022–30.06.2022); Finantseerija: Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. Vastutav täitja: Argo Rosin. Töö tulemusi rakendatakse tööstusseadmete rikete ja tõrgete tõhusamaks diagnostikaks.
- **LEEE21133 "Energeetikaalase konsultatsiooni pakkumine seoses masinõppe mudelitega"** (7.12.2021–28.01.2022); Finantseerija: Enefit Connect OÜ. Vastutav täitja: Argo Rosin. Töö tulemusi rakendatakse Netflix masinõpperakenduse parendusteks ja täiendusteks.
- **LEEE21065 "Tallinna tänavavalgustuse valgustehnilised mõõtmised"** (4.05.2021–3.01.2022); Finantseerija: Enefit Connect OÜ. Vastutav täitja: Argo Rosin. Töö tulemusi rakendatakse kvaliteetsemate ja töökindlamate Tallinna tänavavalgustuslahenduste väljatöötamisel.
- **LEEE22059 "Vabadussõja võidusamba projekteerimise lähteülesande koostamine ja konsultatsioon, sh läbirääkimistel osalemine projekteerimise hanke käigus"** (25.05.2022–25.09.2022); Finantseerija: Riigi Kinnisvara AS. Vastutav täitja: Argo Rosin. Töö tulemusi rakendatakse unikaalse valgustehnilise lahendusega objekti seisukorra parandamiseks.

## 5. Elektrimasinate uurimisrühm

**Uurimisrühma nimetus inglise keeles:** Electrical Machines Research Group

**Uurimisrühma juhi nimi, ametikoht:** Ants Kallaste, abiprofessor tenuuris (Tenured Assistant Professor), [ants.kallaste@taltech.ee](mailto:ants.kallaste@taltech.ee), tel: 620 3807

**Uurimisrühma veebileht:** <https://taltech.ee/elektrimasinad>

### Uurimisrühma liikmed:

- Anouar Belahcen, kaasatud professor
- Toomas Vaimann, vanemteadur
- Galina Demidova, järeldoktor-teadur
- Lukáš Veg, järeldoktor-teadur
- Bilal Asad, teadur
- Hans Tiismus, doktorant-nooremteadur
- Karolina Kudelina, doktorant-nooremteadur
- Hadi Ashraf Raja, doktorant-nooremteadur
- Siarhei Autso, doktorant-nooremteadur
- Martin Sarap, doktorant-nooremteadur
- Shahid Hussein, doktorant-nooremteadur
- Muhammad Usman Naseer, doktorant
- Ekaterina Andriushchenko, doktorant
- Payam Shams Ghahfarokhi, insener

**Võtmesõnad:** elektrimasinad, generaatorid, elektriajamid, diagnostika, seisundiseire, tehisintellekt

**Keywords:** electrical machines, generators, electrical drives, fault diagnostics, condition monitoring, artificial intelligence

**Frascati (EST):** 2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

**Frascati (ENG):** 2.2 Electrical engineering, electronic engineering, information engineering

**CERCS (EST):** T125 – Automatiseerimine, robotika, juhtimistehnika; T190 – Elektrotehnika; T455 – Mootorid ja ajamid

**CERCS (ENG):** T125 – Automation, robotics, control engineering; T190 - Electrical engineering; T455 – Motors and propulsion systems

### Uurimisrühma teadustöö ülevaade

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.

Rühm tegeleb aktiivselt teaduspartnerlusega välisülikoolide ja teiste T&A asutustega. Ettevõtetele pakutakse konsultatsioone, ekspertiise, koolitusi jm teenuseid.

Uurimisgrupi tegevuse ühiskondlik mõjutus on eelkõige seotud keskkonna probleemide lahendamisega. Uurimisgrupp tegeleb suurel määral elektrimasinate diagnostika ja kasutuse uuringutega, mis toetab ressursitõhusust ning elektrimasinate elukaare põhise projekteerimise valdkonda.

### **Uurimisrühma olulisemad teadustöö tulemused**

Materjalide kaardistamine ja printimismetoodika väljatöötamine kihtlisandustehnoloogial toodetud elektrimasinate jaoks. Esitleti maailma esimest 3D printitud asünkroonmootori prototüüpi. Koostöös McGilli ülikooliga valmis 3D printitud sünkroonreluktantsmasina prototüüp. Uurimisrühma teadustöö tulemust hinnati riikliku teaduspreemiaga.

### **Short description of research**

Electrical Machines Research Group is mainly involved in electrical machine, including wind generators, analysis, design, testing, development etc. In addition to this, 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, expertise, etc., are provided for industrial partners.

The societal impact related to the research group activities is mainly connected to the solving of environmental issues. The group is actively involved in the research of electrical machine diagnostics and exploitation, which supports the resource sustainability as well as the field of electrical machines life cycle oriented design.

### **Main research outcomes**

Material characterization and development of printing methodology for additively manufactured Electrical Machines. World's first 3D printed induction machine prototype was presented. In cooperation with McGill University, a prototype of additively manufactured synchronous reluctance machine was produced. The results of the research group have been recognized with National Research Award

### **Olulisemad teadus- ja arendusprojektid**

- ETAG21001 – „Tööstuslikul internetil baseeruvad energiamuundussüsteemide seire- ja diagnostikameetodid (1.01.2021–31.12.2023)“, Toomas Vaimann
- VNF22028 – "Juhised mikrovõrkude halduseks järgmise põlvkonna hoonete näitel" (18.01.2022–17.01.2024); Toomas Vaimann

### **Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit (ülikooli või muu suurema asutuse puhul tuleks näidata ka alamstruktuuri tase - uurimisrühm/instituut vm)**

- Aalto University, School of Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering and Automation
- Ghent University, Belgia, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electromechanical, Systems and Metal Engineering
- McGill University, Department of Electrical and Computer Engineerin, Computational Electromagnetics Lab
  
- If P&C Insurance AS
- Elering AS
- MS Balti Trafo OÜ

### **Olulisemad publikatsioonid**

1. Tiismus, H.; Kallaste, A.; Vaimann, T.; Rassõlkin, A. (2022). State of the Art of Additively Manufactured Electromagnetic Materials for Topology Optimized Electrical Machines. Additive Manufacturing. DOI: 10.1016/j.addma.2022.102778.
2. Naseer, M. U.; Kallaste, A.; Asad, B.; Vaimann, T.; Rassõlkin, A. (2022). Modified Winding Function Analysis of Synchronous Reluctance Motor for Design Iteration Purposes. IEEE Transactions on Magnetics. DOI: 10.1109/TMAG.2022.3164189.
3. Shams Ghahfarokhi, P.; Podgornovs, A.; Kallaste, A.; Marques Cardoso, A. J.; Belahcen, A.; Vaimann, T. (2022). The Oil Spray Cooling System of Automotive Traction Motors: The State of the Art. IEEE Transactions on Transportation Electrification, 1–24. DOI: 10.1109/TTE.2022.3189596.
4. Billah, M. M.; Martin, F.; Belahcen, A.; Balasubramanian, A.; Vaimann, T.; Sobra, J. (2022). Uncertainty Quantification of Input Parameters in a 2D Finite-Element Model for Broken Rotor Bar in an Induction Machine. IEEE Transactions on Magnetics. DOI: 10.1109/TMAG.2022.3173663.

5. Tiismus, H.; Kallaste, A.; Naseer, M. U.; Vaimann, T.; Rassõlkin, A. (2022). Design and Performance of Laser Additively Manufactured Core Induction Motor. IEEE Access, 10, 50137–50152. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3173317.
6. Naseer, M. U.; Kallaste, A.; Asad, B.; Vaimann, T.; Rassõlkin, A. (2022). Analytical modelling of synchronous reluctance motor including non-linear magnetic condition. IET Electric Power Applications, 16 (4), 511–524. DOI: 10.1049/elp2.12172.
7. Nemat Saberi, A.; Belahcen, A.; Sobra, J.; Vaimann, T. (2022). LightGBM-Based Fault Diagnosis of Rotating Machinery Under Changing Working Conditions Using Modified Recursive Feature Elimination. IEEE Access, 10, 81910–81925. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3195939.

**Uurimisrühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused (töötaja nimi, allüksus ning tunnustus)**

- Ants Kallaste, 2022. a Eesti Vabariigi teaduspreemia tehnikateaduste alal tööde tsükli „Kihtlisandustehnoloogial põhinevad elektrimasinad“ eest
- Toomas Vaimann, 2022. a Eesti Vabariigi teaduspreemia tehnikateaduste alal tööde tsükli „Kihtlisandustehnoloogial põhinevad elektrimasinad“ eest
- Hans Tiismus, 2022. a Eesti Vabariigi teaduspreemia tehnikateaduste alal tööde tsükli „Kihtlisandustehnoloogial põhinevad elektrimasinad“ eest
- Karolina Kudelina, 2022. a L’Oréal-UNESCO noorte talentide Baltikumi programmi „Naised teaduses“ auhind
- Toomas Vaimann, parim poster-ettekanne konverentsil IEEE PEMC 2022
- Ants Kallaste, parim poster-ettekanne konverentsil IEEE PEMC 2022

**Uurimisrühma liikmete osalus T&A-ga seotud riiklike otsustuskogude töös (töötaja nimi, ametikoht ning otsustuskogu nimetus ja positsioon otsustuskogus)**

- Toomas Vaimann, vanemteadur
  - Eesti Noorte Teaduste Akadeemia liige
  - Energeetika, Mäe- ja Keemiatööstuse Kutsenõukogu liige, Rektorate Nõukogu esindaja
  - Eesti Teadusagentuuri üliõpilaste teadustööde riikliku konkursi hindamiskomisjoni liige
  - Eesti Teadusagentuuri õpilaste teadustööde riikliku konkursi hindamiskomisjoni liige

**Uurimisrühma liikmete osalus välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös**

- Ants Kallaste, abiprofessor tenuuris
  - IEEE, vanemliige

- Anouar Belahcen, kaasatud professor
  - IEEE, vanemliige
  - Aalto Ülikooli (Soome) elektrotehnika ja automaatika instituudi asejuht
  - Aalto Ülikooli (Soome) elektritehnika teaduskonna õppeprodekaan
  - Aalto Ülikooli (Soome) elektromehaanika uurimisrühma juht
  - Õpetamiskvaliteedi komitee liige (Aalto Ülikool/ELEC, Soome)
  
- Toomas Vaimann, vanemteadur
  - IEEE, vanemliige
  
- Payam Shams Ghahfarokhi, insener
  - IEEE, liige
  - IEEE jõuelektroonika ühingu (IES) liige
  
- Galina Demidova, järeldoktor-teadur
  - IEEE, vanemliige
  
- Lukáš Veg, järeldoktor-teadur
  - IEEE, liige
  
- Karolina Kudelina, doktorant-nooremteadur
  - IEEE Üliõpilasliige
  - IEEE Women in Engineering liige
  - IEEE Women in Engineering Eesti sektsiooni esinaine
  
- Hans Tiismus, doktorant-nooremteadur
  - IEEE Üliõpilasliige
  
- Hadi Ashraf Raja, doktorant-nooremteadur
  - IEEE Üliõpilasliige
  
- Siarhei Autsou, doktorant-nooremteadur
  - IEEE Üliõpilasliige
  
- Martin Sarap, doktorant-nooremteadur
  - IEEE Üliõpilasliige
  
- Shahid Hussein, doktorant-nooremteadur

- IEEE Üliõpilasliige
  
- Muhammad Usman Naseer, doktorant-nooremteadur
  - IEEE Üliõpilasliige

### **Uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevus**

- **ETAG21001 "Tööstuslikul internetil baseeruvad energiamuundussüsteemide seire- ja diagnostikameetodid"** (1.01.2021–31.12.2023), Toomas Vaimann  
Töö tulemusel töötatakse välja elektrimootorite diagnostilise meetodeid, mida saab edaspidiselt rakendada tuulegeneraatorite, elektersõidukite ja teiste, raskesti ligipääsetavate energiamuundussüsteemide diagnostikaks ja olukorra seireks.
- **VNF22028 – "Juhised mikrovõrkude halduseks järgmise põlvkonna hoonete näitel"** (18.01.2022–17.01.2024); Toomas Vaimann  
Töö eesmärgiks on tuua virtuaalse elektrijaama kontseptsioon lähemale akadeemilisele ringkonnale ja tavainimesele, näidates reaalse kasutuse võimalusi ning tulemusi Soome, Taani, Läti ja Eesti näidetel.

## 6. Energiamaajanduse ja kõrgepingetehnika uurimisrühm

**Uurimisrühma nimetus inglise keeles:** Energy Economics and high voltage engineering research group

**Uurimisrühma juhi nimi, ametikoht:** Ivo Palu, kaasprofessor tenuuris (Tenured Associate Professor), [ivo.palu@taltech.ee](mailto:ivo.palu@taltech.ee), tel: 620 3752

**Uurimisrühma veebileht:** <https://taltech.ee/et/energiamaajandus>

### Uurimisrühma liikmed:

- Fushuan Wen, professor
- Muhammad Shafiq, vanemteadur
- Victor Astapov, teadur
- Ivar Kiitam, teadur
- Yan Xu, järel doktor-teadur
- Jelena Šuvalova, vanemlektor
- Paul Taklaja, vanemlektor
- Reeli Kuhi-Thalfeldt, vanemlektor
- Sambeet Mishra, teadur
- Hannes Agabus, PhD, ekspert
- Kristjan Kuhi, PhD, ekspert
- Hardi Koduvere, doktorant-nooremteadur
- Karl Kull, doktorant-nooremteadur
- Jawad Ahmad, doktorant-nooremteadur
- Maninder Choudhary, doktorant-nooremteadur
- Praveen Prakash Singh, doktorant
- Cletus John Crasta, doktorant
- Lauri Ulm, doktorant

**Võtmesõnad:** kliimamuutust leevendav energiamaajandus, tehnoloogia rakendatavuse ja investeringute tasuvuse analüüsid, elektrisüsteemi ja elektrituru majanduslik- ja tehniline modelleerimine, kõrgepinge, isolaatorid, osalahendused

**Keywords:** 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 tegevusega seotud teadusvaldkond:** [Kuni 2 alamvaldkonda Frascati Manuaali klassifikaatori alusel ja kuni 3 teaduseriala CERCS klasifikaatori alusel](#)

**Frascati (EST):** 2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

**Frascati (ENG):** 2.2 Electrical engineering, electronic engineering, information engineering

**CERCS (EST):** T140 – Energeetika; T190 - Elektrotehnika

**CERCS (ENG):** T140 – Energy research; T190 - Electrical engineering

### **Uurimisrühma teadustöö ülevaade:**

Energiamajanduse ja kõrgepingetehnika uurimisrühm tegeleb energiasüsteemi, selle osade ja elektrituru kontekstis erinevate analüüside läbiviimisega. Uurimisrühm on pädev elektrisüsteemi ja elektrituru talituse majanduslikes ning tehnilistes modelleerimistes, mida viiakse läbi erinevate tarkvaradega nagu Enegypro, DigSilent, WindPro jt.

Uuringutes arvestatakse energiasüsteemide tehniliste elementidega nii investeeringute majanduslikes analüüsides kui ka süsteemide optimeerimisel. Stsenaariumipõhises analüüsis hinnatakse elektri jaamade 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 viib läbi ka täiendkoolitusi energiamajanduse valdkonnas, mis aitavad erinevate ettevõtete töötajatel end täiendada ning saada väärtuslikke kogemusi. Lisaks tegeleb uurimisrühm 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. Eriti pööratakse tähelepanu isolatsiooni töökindluse uurimisele ja isolaatorite kasutamisele õhu- ja kaabelliinidel.

Lisaks uuritakse elektrikvaliteedi mõju kõrgepingeseadmetele, nagu näiteks trafod, kaabelliinid ja muud elektriseadmed. Uuteks murekohtadeks on suures ulatuses ja kiirelt muutuvad võimsused ja ebalineaarsed koormused. Analüüside käigus antakse hinnang töökindlusele ja seadmete jääkressursile, arvestades erinevaid keskkonna- ja materjaliomadusi.

### **Uurimisrühma olulisemad teadustöö tulemused:**

Uurimisrühmas toimub teadustöö ETAG projekti „PSG632 Keskpinge kaablite vananemine tarkvõrgus“ raames. Lisaks ETAG grandile on tehtud ka praktilisi võrdlusmõõtmisi Elektrilevi võrgus. Aruande üleandmine toimub 2023 kevadel.

Lisaks on uurimisrühma liikmed on 2022 aastal olnud põhitäitjad instituudi teiste uurimisrühmade projektides ning koostööd tehakse ka teaduskonna teiste instituutide erinevates projektides nagu:

- LEAEE22041 Kliimaneutraalse piirkonna energiavarustuse ja ehituslahenduste kavandamise digitaalse tööriista rakendusuuring, Projekti juht Jarek Kurnitski. Meie uurimisrühm on seotud piirkonna elektrivarustuse ja elektri jaamade modelleerimisega.
- LEEEE21116 „Riskipõhise varahalduse põhimõtted tuleviku elektrisüsteemides“. Projekti juht Jako Kilter. Meie uurimisrühm on seotud kõrgepingeseadmete katsetamise ja rikete tuvastamise meetodikate väljatöötamisega.
- AR20013 "**Targa linna tippkeskus**" (1.01.2020–31.08.2023); Vastutav täitja: Ralf-Martin Soe; Tallinna Tehnikaülikool, Targa linna tippkeskus, Tallinna Tehnikaülikool. Meie uurimisrühm on seotud elektriturgude ja suletud jaotusvõrkude temaatika uurimise ja analüüsiga ning salvestite talitluse modelleerimisega.
- LEAEV23006 Renoveerimislaine hooandja - energiatõhususe teekaardid ja energiasäästukohustused Eestis, Projekti juht Jarek Kurnitski. Meie uurimisrühmast Reeli Kuhi-Thalfeldt modelleerib ja analüüsib uuringu käigus transpordi sh elektritranspordi kasutamise muutust ja selle mõju meie energiatarbimisele.

### **Short description of research:**

Energy Economics and high voltage engineering research group The energy systems 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. Their 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 conducts studies on high voltage insulation and its applications, including the effects of high voltages and strong electrical fields. Most of the research focuses on the insulators and insulation used in both overhead and cable power lines, as well as the effects on high voltage equipment such as transformers and power cable lines due to high loading, nonlinear loads, and power quality. The lab also investigates the influence of power quality and dynamic power loading on equipment, as well as increased thermal and mechanical stress and aging. Additionally, the lab focuses on detecting and locating insulation faults and predicting incoming failures in power cables to improve reliability indexes. The research considers various stresses to power network components during their in-service lifetime, such as air pollution, weather, wildlife, and characteristics of future electric loads and materials.

### **Main research outcomes:**

The research team is conducting research within the framework of the ETAG project PSG632 " Aging behavior of medium voltage cables under smart grid operation". In addition to the grant, practical reference measurements have also been made in the Elektrilevi network. The report will be handed over in the spring of 2023.



In addition, in 2022, the members of the research group have been members of the senior research staff in the projects of other research groups of the institute, and cooperation is also carried out on various projects of other institutes of the faculty, such as:

- LEAEE22041 Climate neutral district digital tool for energy and buildings solutions early stage planning, Project Manager Jarek Kurnitski. Our research team is involved in the modeling of electricity supply and size of power plants in the region.
- LEEEE21116 " Development of risk and condition based asset management principles". Project manager Jako Kilter. Our research team is involved in the development of methodologies for testing high-voltage devices and detecting failures.
- AR20013 "Smart City Centre of Excellence" (1.01.2020–31.08.2023); Principal investigator: Ralf-Martin Soe; Tallinn University of Technology , Smart City Centre of Excellence, Tallinn University of Technology. Our research group is involved in the study and analysis of electricity markets and closed distribution networks, as well as modelling the operation of storage facilities.

LEAEV23006 „Support to the renovation wave - energy efficiency pathways and energy saving obligation in Estonia“ Project manager Jarek Kurnitski. In the course of the study, Reeli Kuhl-Thalfeldt from our research group models and analyses the change in the use of transport, including electric transport, and its impact on our energy consumption.

#### **Olulisemad teadus- ja arendusprojektid:**

- PSG632 – „Aging behavior of medium voltage cables under smart grid operation (Keskpingekaablite vananemine tarkvõrgus)“ projekti juht Muhammad Shafiq
- PUTJD915 „Energiasüsteemide optimaalne planeerimine ja käitamine virtuaalses elektrijaamas (01.04.2020-31.03.2022)“, Sameet Mishra
- VNF22011, Elektrisüsteemi juhtimine ja jälgimine elektrisõidukite nõudluse katkendliku stohhastilisuse korral, Projekti juht Fushuan Wen

**Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit (ülikooli või muu suurema asutuse puhul tuleks näidata ka alamstruktuuri tase - uurimisrühm/instituut vm). UUS!**

#### **Koostöö:**

Teadus- ja arendustegevusega seonduvaid koostööprojekte on tehtud järgnevate asutustega Elering AS, Eesti Energia AS, Elektrilevi OÜ.

#### **Olulisemad publikatsioonid:**

1. Crasta, C.; Mishra, S.; Agabus, H.; Palu, I.; Wen, F. (2022). Numerical demonstration of a transactive energy trading model for microgrids. IET Renewable Power Generation, 16 (4), 792–806. DOI: 10.1049/rpg2.12431.

2. Singh, P. P.; Wen, F.; Palu, I.; Sachan, S.; Deb, S. (2022). Electric Vehicles Charging Infrastructure Demand and Deployment: Challenges and Solutions. *Energies*, 16 (1), #7.

DOI: 10.3390/en16010007.

3. Choudhary, Maninder; Shafiq, Muhammad; Kiitam, Ivar; Hussain, Amjad; Palu, Ivo; Taklaja, Paul (2022). A Review of Aging Models for Electrical Insulation in Power Cables. *Energies*, 15 (9), 3408. DOI: 10.3390/en15093408.

**Uurimisrühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused (töötaja nimi, allüksus ning tunnustus).**

-

**Uurimisrühma liikmete osalus T&A-ga seotud riiklike otsustuskogude töös (töötaja nimi, ametikoht ning otsustuskogu nimetus ja positsioon otsustuskogus).**

*. Ainult riiklikud otsustuskogud*

Ivo Palu, kaasprofessor tenuuris

- TTÜ elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi nõukogu liige
- TTÜ inseneriteaduskonna nõukogu liige
- Eesti elektroenergeetika seltsi juhatuse esimees
- Eesti Energia nõukogu liige (kuni mai 2022)

**Uurimisrühma liikmete osalus välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös.**

Fushuan Wen, professor:

- IEEE Fellow

Muhammad Shafiq, Senior Researcher:

- Member, European EMTP-ATP Users Group
- Member IEEE
- Guest Editor Special Issue on Power Systems and High Voltage Engineering, *Energies*, 2021-2022.
- Guest Editor Special Issue on Condition Monitoring of Power System Component, *Energies*, 2021-2022.

Ivo Palu, kaasprofessor tenuuris

- IEEE Power and Energy Society liige
- IEEE liige
- CIGRE Eesti rahvuskomitee esimees
- CIGRE liige

## **Uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevus**

2022. aasta lõpus viis meie kõrgepingelabor läbi mõõtmised Tallinna valitud keskpinge võrgu osades, et teha Elektrilevi tellimisel paber-õliisolatsiooniga keskpinge kaabelliinide diagnostikat. Uuringu käigus anti hinnang kokku üheksale kaabelliinile ning hinnati nende seisukorda kolme eri mõõtmisviisi võrdlemise läbi. Tulemused on vajalikud hindamiseks Elektrilevi vara seisundit ja töökindluse varu.

## 7. Elektrotehnika aluste uurimisrühm

**Uurimisrühma nimetus inglise keeles:** Fundamentals of Electrical Engineering Research Group

**Uurimisrühma juhi nimi, ametikoht:** Lauri Kütt, vanemlektor (Senior Lecturer), [lauri.kutt@taltech.ee](mailto:lauri.kutt@taltech.ee), tel: 620 3806,

**Uurimisrühma veebileht:** <https://taltech.ee/elektrotehnika-alused>

### Uurimisrühma liikmed:

- Aleksander Kilk, vanemlektor
- Martin Jaanus, vanemlektor
- Noman Shabbir, doktorant/teadur
- Kamran Daniel, doktorant
- Marek Jarkovoi, insener
- Tarmo Rosman, insener
- Toomas Vinnal, insener
- Heigo Mölder, insener
- Martin Parker, insener/doktorant-nooremteadur

**Võtmesõnad:** elektromagnetiline ühilduvus, elektrienergia kvaliteet, electromagnetismi valdkonna uuringud, elektrotehnika, elektriahelate analüüs.

**Keywords:** electromagnetic compatibility, electric power quality, electromagnetic research, electrical engineering, circuit analysis.

**Frascati (EST):** 2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

**Frascati (ENG):** 2.2 Electrical engineering, electronic engineering, information engineering

**CERCS (EST):** T170 – Elektroonika; T190 – Elektrotehnika; T191 – Kõrgsagedustehnika, mikrolained

**CERCS (ENG):** T170 – Electronics; T190 – Electrical engineering; T191 – High frequency technology, microwaves

### Uurimisrühma teadustöö ülevaade

Uurimisrühma tegevuse põhisuunad on **elektritoite kvaliteet** (võrgupinge kvaliteet, sh pingetaseme ning pingekuju parameetrid, nende mõjutajad ja optimeerimine; vahelduvvoolumõõtmised ja mõõteandmete töötlemine; toitekvaliteedi mõju uurimine seadmete ja süsteemi talitlusele jpm) 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 jpm).

Elektritoite kvaliteedi valdkonnas on suureks väljakutseks EL-i energeetikadirektiividele vastavuse saavutamine, milleks tuleb tagada suure hulga pooljuhtmuundurite ühendamine jaotusvõrku, et liita võrguga päikesepaneelid, väiketuulikud jm. taastuenergia tootjad. 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-i EMÜ ja madalpingedirektiivis esitatud kriteeriumidele. Uurimisgrupi töö toimub Eestis unikaalse sisseseadega EMÜ teaduslaboris, mis võimaldab väljatöötatud tooteid enne turule sisenemist katsetada vastavalt esitatud tingimustele. EMÜ labori tugi ettevõtetele annab võimaluse Eesti innovaatilistel ettevõtetel oma tooteid välja töötada ja turule viia sensisest märksa kiiremini.

Elektrotehnika aluste uurimisgrupi juures tegutseb mõõtelabor Elektriliste Tehnoloogiate Mõõtekeskus (EMK), mille akrediteeritud ulatuses on olme- ja töökeskkondade elektromagnetväljade mõõtmine sagedusvahemikus 10 Hz ... 3 GHz. EMK-le on Eesti Akrediteerimiskeskus väljastanud akrediteerimistunnistuse L302.

### **Uurimisrühma olulisemad teadustöö tulemused**

- Välja töötatud meetodika ja funktsionaalne raamistik laiendatud võimekusega katseteallika arendamiseks, mida kasutada päikeseinverterite katsetamiseks erinevate võrgutoite parameetrite kontrolliks. Tegevus on seotud uurimisgrandi PSG142 väljundtulemustega.
- EMK elektromagnetväljadega seotud mõõtmisvõimekuse edasiarendus eesmärgiga laiendada akrediteeritud mõõtmiste sooritamise ulatust. Selle tegevuse raames laiendatud koostööd TÜ Observatooriumiga ning Leedu partneritega.
- Välja töötatud mudelid elektrijaotusvõrkude analüüsiks taastuvenergiaallikate kasutus-tiheduse tõstmiseks. Mudelitele tuginevalt on lõpule viidud doktoritöö (N. Shabbir) ning avaldatud teaduspublikatsioonid.
- Avati uurimisteema seoses suurte mõõtmega elektripaigaldiste elektromagnet-emissioonide mõõtmisega ja vastava meetodika väljatöötamisega.

### **Short description of research**

The main fields of activity of the research group are electric power 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) (devices' and systems' mutual electromagnetic influence, 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, stating fulfilment conditions possible 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, 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. 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 to 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 for their products.

Research group of Fundamentals of Electrical Engineering hosts a measurement laboratory sub-unit Measurement Centre of Electrical Technologies (EMK), with accreditation scope of measurement services of electromagnetic fields in industrial and residential environments in frequency range from 10 Hz until 3 GHz. Laboratory holds accreditation certificate no. L302. issued by Estonian Accreditation Centre.

### **Main research outcomes**

- Development of methodology and functionality for completing the testing power supply with enhanced functionality. This power supply is to be used for testing photovoltaic source inverters upon various supply voltage conditions. This activity is an outcome of the PSG142 research grant.
- Further elaboration of the measurement capabilities of the Measurement Laboratory of Electrical Technologies. Within this activity, cooperation was done with the University of Tartu, Tõravere Observatory and partners in Lithuania.
- Development of models for analysis of photovoltaic sources' hosting capacity increase of the electric distribution networks. Using these models, doctoral research has been completed (Dr. N. Shabbir) and publications elaborated.
- Dedicated research was started in the field of electromagnetic radiated emissions' measurement in electric installations with greater perimeter length. Research targets the development of measurement methods and practical measurements.

### **Olulisemad teadus- ja arendusprojektid**

- LEEAE22118 "**Päikeseparkide mõju uuring**" (21.11.2022–31.12.2023), vastutav täitja Lauri Kütt  
Välja töötatakse mõõtemetoodika, et tuvastada päikeselektrijaamade paigaldisest tingitud elektromagnetiliste (EM) emissioonide ning interferentssignaali ja potentsiaalsete EM häiringute intensiivsus laias sagedusribas. Teostatakse praktilised välikatsed, analüüsitakse võimalike EM-emissioonide mõju tundlikele raadiosüsteemidele.
- AR20013 "**Targa linna tippkeskus**" (1.01.2020–31.08.2023); Vastutav täitja: Ralf-Martin Soe; Tallinna Tehnikaülikool, Targa linna tippkeskus, Tallinna Tehnikaülikool.

Antud projekti raames on uurimisgrupp on seotud elektrivarustuskindluse ja elektrikvaliteedi tagamise meetodite uurimise teemadega, millised on uurimisel alamteema „Energiavajaduse vähendamine mikrovõrkude ning energiasalvestite abil“ raames.

- EITSA21042 "TalTech-i energeetika valdkonna õppekavade arendamine kasutades tehisintellekti ja digitaalsete kaksikute võimalusi" (1.05.2021–31.12.2022); vastutav täitja: Jako Kilter  
Töötatakse välja õppematerjal elektrivarustusvõrkude põhiliste talitlussuuruste mõõtmiseks elektroonsete süsteemidega ning mõõteandmete edastamiseks ja töötlemiseks võrgu- ja pilveteenuseid rakendades.

### **Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit (ülikooli või muu suurema asutuse puhul tuleks näidata ka alamstruktuuri tase - uurimisrühm/instituut vm)**

- Aalto University, Soome, Department of Electrical Engineering and Automation, School of Electrical Engineering – Prof. Matti Lehtonen
- TU Dresden, Saksamaa, Institute of Electrical Power Systems and High Voltage Engineering – Prof. Jan Meyer
- University Nova Lisboa, Portugal, Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Science and Technology – Associated Professor Joao Martins
  
- Kaitseministeerium
- Elektrilevi OÜ
- ABB AS

### **Olulisemad publikatsioonid**

- Current Harmonic Aggregation Cases for Contemporary Loads; Daniel, K.; Kütt, L.; Iqbal, M. N.; Shabbir, N.; Rehman, A. Ur; Shafiq, M.; Hamam, H.; 2022; Energies, 15 (2), #437. DOI: 10.3390/en15020437.
- Battery Size Optimization with Customer PV Installations and Domestic Load Profile; Shabbir, N.; Kütt, L.; Astapov, V.; Jawad, M.; Allik, A.; Husev, O.; 2022; IEEE Access. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3147977.
- Feasibility Investigation of Residential Battery Sizing Considering EV Charging Demand; Shabbir, N.; Kütt, L.; Daniel, K.; Astapov, V.; Raja, H. A.; Iqbal, M. N.; Husev, O.; 2022; Sustainability, 14 (3), #1079. DOI: 10.3390/su14031079.
- Short-Term Wind Energy Forecasting Using Deep Learning-Based Predictive Analytics; Shabbir, N.; Kütt, L.; Jawad, M.; Husev, O.; Rehman, A. U.; Gardezi, A. A.; Shafiq, M.; Choi, J.-G.; 2022; Computers, Materials & Continua, 72 (1), 1017–1033. DOI: 10.32604/cmc.2022.024576.
- Congestion Control Strategies for Increased Renewable Penetration of Photovoltaic in LV Distribution Networks; Shabbir, N.; Kütt, L.; Astapov, V.; Husev, O.;

Ahmadihangar, R.; Wen, F.; Kull, K.; 2022; Energy Reports, 8 (S16), 217–223. DOI: 10.1016/j.egyr.2022.10.184.

### **Uurimisrühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused (töötaja nimi, allüksus ning tunnustus)**

- Noman Shabbir, ETAG üliõpilaste teadustööde riiklik konkurss, 2. doktorandi preemia tehnika ja tehnoloogia valdkonnas

### **Uurimisrühma liikmete osalus T&A-ga seotud riiklike otsustuskogude töös (töötaja nimi, ametikoht ning otsustuskogu nimetus ja positsioon otsustuskogus)**

- Lauri Kütt, vanemlektor
  - EVS tehnilise komitee EVS/TK 44 „Elektromagnetiline ühilduvus“ liige
  - Eesti Moritz Hermann Jacobi Seltsi juhatuse liige
  - TalTech ja ABB koostööõukoda
- Toomas Vinnal, insener
  - EVS tehnilise komitee EVS/TK 17 „Madalpinge liige

### **Uurimisrühma liikmete osalus välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös (töötaja nimi, allüksus ning välisakadeemia või muu olulise T&A-ga seotud välisorganisatsiooni nimetus)**

- Lauri Kütt, vanemlektor
  - 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

### **Uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevus**

- LEEAE22118 "Päikeseparkide mõju uuring" (21.11.2022–31.12.2023). Töö tulemusi hakatakse kasutama riigile kuuluvate raadiosüsteemide võimalike mõjude analüüsiks ja leevendusmeetmete kavandamiseks.
- EITSA21042 "TalTech-i energeetika valdkonna õppekavade arendamine, kasutades tehisintellekti ja digitaalsete kaksikute võimalusi" (1.05.2021–31.12.2022). Töö tulemusena valmiv õppematerjal on rakendatav täiendkoolituste õppematerjalina ja erialase tugimaterjalina.