

## **Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut, 2020. aasta teadus- ja arendustegevuse aruanne**

### **Struktuuriüksuse struktuur 2020. 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 tegutsevad järgmised uurimisrühmad:

- Elektrisüsteemide uurimisrühm – AAK teemad 2 ja 1
- Jõuelektronika uurimisrühm - AAK teemad 1 ja 3
- Mehhatroonika ja autonoomsete süsteemide keskus - AAK teemad 2 ja 1
- Mikrovõrgud ja metroloogia sh valgustehnika labor- AAK teemad 1 ja 2
- Elektrimasinate uurimisrühm- AAK teemad 3 ja 1
- Energiamaajanduse uurimisrühm sh kõrgepingetehnika labor- AAK teemad 2 ja 4, 5
- Elektrotehnika aluste uurimisrühm - AAK teemad 1 ja 3

The Department conducts research within 7 research groups:

- Power Systems
- Power Electronics
- Mechatronics and Autonomous Systems Centre
- Microgrids and Metrology, incl. Laboratory of Lightning Technology
- Electrical Machines
- Energy Economics incl. High Voltage laboratory
- Fundamentals of Electrical Engineering

1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad
2. Usaldusväärsed IT-lahendused (dependable IT solutions)
3. Keskkonnaressursside vääristamine
4. Tulevikku vaatav riigivalitsemine
5. Innovaatilised väike- ja keskmise suurusega ettevõtted ja digitaalne majandus

## **uurimisrühma nimetus: Elektrisüsteemide uurimisrühm**

- **uurimisrühma nimetus inglise keeles: Power Systems Research Group**
- **uurimisrühma juhi nimi, ametikoht:** dotsent Jako Kilter, [jako.kilter@taltech.ee](mailto:jako.kilter@taltech.ee), tel: 620 3765
- **uurimisrühma liikmed:**
  - vanemlektor Ülo Treufeldt,
  - emeriitprofessor Mati Meldorf,
  - teadur Kaur Tuttelberg
  - teadur Tanel Sarnet,
  - nooremteadur (doktorant) Mari Löper,
  - nooremteadur (doktorant) Madis Leinakse,
  - nooremteadur (doktorant) Marko Tealane,
  - nooremteadur (doktorant) Tarmo Trummal,
  - doktorant Alexander Mazikas,
  - doktorant Henri Manninen,
  - insener Uku Salumäe.
- **võttesõnad:** elektrivõrgu stabiilsus, tuule- ja päikeseelektrijaamade ühendamine elektrivõrku, elektri kvaliteedi ja koormuse modelleerimine
- **Keywords:** HVDC and FACTS control, wind power connections, power quality, load modelling
- **Uurimisrühma teadustöö ülevaade:**

### **Frascat Manual klass - 2.2**

Uurimisgrupi teadustegevus on suunatud tänapäevaste ja tuleviku elektrisüsteemide juhtimisalgoritmide ja rakenduste väljatöötamisele ja arendamisele. Olulisimad teadussuunad on seotud reaaliajajuhtimissüsteemide arendamise ja analüüsiga laiseire mõõtmiste baasil võttes arvesse alalisvoolühenduste, juhitavate ülekanadesüsteemide, tuule- ja päikeseelektrijaamade, elektri kvaliteedi ja koormuse modelleerimise aspekte. Käsitletakse elektrisüsteemi juhtimist ja analüüsi tuleviku elektrisüsteemide arenguid silmas pidades – sünkroniseeriva massi vähenemine ja läbi konverteritehnoloogiate elektrijaamade järjest suurem osakaal elektrisüsteemis. See kõik toob kaasa väljakutseid elektrisüsteemi 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 koostööd Eesti olulisemate energeetikavaldkonna ettevõtetega, sh Elering, Elektrilevi, Graanul Invest, VKG, Tallinna Elektrijaam, jt. Ettevõtetega koostöös lahendatakse mitmeid olulisi Eesti energeetikaga seotud küsimusi, nt Eesti elektrisüsteemi pimekäivitusvõimekuse tagamine, süsteemi optimaalne juhtimine läbi konverterite ühendatud

tootmiseseadmete korral, elektri koormused 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 tipp-teadusaparatuur – reaajasimulaator RTDS, releekaitse ja automaatika seadmed, sh Siemensi releekaitselabor, Omicron testseadmed/kalibraatorid ja võimendid, jm.

- **Uurimisrühma olulisemad teadustöö tulemused:**

- Välja on töötatud uued meetodid ja rakendused laimõõtmiste kasutamiseks elektrisüsteemide analüüsis ja juhtimisel, sh reaajas inerts ja lühisvõimsuse määramine.
- Töötati välja soojuselektrijaamade komplekse optimeerimise meetodeid ja rakendati neid reaalselektrijaama näitel.
- Analüüsiti elektrisüsteemi laikaitsmisega seotud kitsaskohti ja töötati välja esimesed põhimõtted Eesti elektrisüsteemi süsteemikaitse parendamiseks.
- Töötati välja uued lähenemisviisid elektri kvaliteedi jälgimiseks ja hindamiseks tänapäeva ja tuleviku ülekandevõrkudes.
- Töötati välja põhimõtted Eesti elektrisüsteemi pimekäivitusvõime modelleerimiseks ja analüüsimiseks.
- Analüüsiti Eesti elektrisüsteemi alalisvooluühenduste võimekust talitleda erinevate tuleviku elektrisüsteemi stsenaariumite korral.
- Arendati elektroenergeetika magistriõppekava ja suurendati selle sidusust IKT valdkonnaga.

- **Short description of research:**

### **Frascat Manual class - 2.2**

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 cooperation with most of the important power system related companies in Estonia, e.g. Elering, Elektrilevi, Graanul Invest, VKG, Tallinna Elektri jaam, etc. 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.

- **Main research outcomes:**

- Development of new methods and applications, including estimation of system inertia and short-circuit power, for the use of wide-area measurements for power system analysis and control.
- Development and application of complex optimization methods for thermal power plants.
- Analysis and development of power system wide-area protection concept in scope of Estonian Power system system protection principles.
- Development of novel methods for power quality monitoring and assessment in transmission networks.
- Development of principles for modelling and analysis of Estonian power system black-start restoration process.
- Analysis of the operation of Estonian HVDC connections considering various future scenarios.
- Development of Electrical Power Engineering master level study curriculum and enhancement of it relation to the field of ICT.

- **Olulisemad teadus- ja arendusprojektid:**

- Horizon2020 - MIGRATE “Massive Integration of Power Electronic Devices”. Eleringi poolne koordinaator
- LEP18031 „Soojuselektrijaama ja elektrisüsteemi talitluse kompleksse optimeerimise ja varustuskindluse tõstmise meetodika väljatöötamine ja rakendamine“.
- LEP18095 „Kiisa avariireservelektrijaama ja elektrisüsteemi pimekäivitusvõimaluste uuring“.
- EITSA18006 „TTÜ energeetika valdkonna õppekavade IKT kompetentside edendamine“.
- LEP19080 „Eesti elektrisüsteemi alalisvooluühenduste talitlemise piirangud ja võimalikud parendavad tehnilised lahendused“.

- **Uurimisrühma koostöö teiste T&A asutuste ja ettevõtetega:**

Koostööd on tehtud järgmiste TA asutustega: Technical University of Dresden, University of Manitoba, NTNU, University of Manchester, DTU, Aalto University, IPE, Technical University of Berlin, University of Ljubljana ja TU Delft. Olulisemateks koostööpartneriteks ettevõtluses on Elering, Elektrilevi, VKG Energia, Kiviõli Keemiatööstus, Utilitas, Eesti Energia.

- **Olulisemad publikatsioonid:**

1. Tuttelberg, K., Löper, M., Kilter, J. (2019). Correcting Systematic Errors in Corona Losses Measured with Phasor Measurement Units. IEEE Transactions on Power Delivery, 34 (6), 2275–2277.10.1109/TPWRD.2019.2917610.
  2. Leinakse, M., Tani, P., Kilter, J. (2019). Impact of Distributed Generation on Estimation of Exponential Load Models. 2019 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM): 2019 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM), Atlanta, GA, USA, 2019.
- **Loetelu uurimisrühma töötajate olulisematest sise- ja välisriiklikest T&A-ga seotud tunnustustest (töötaja nimi, allüksus ning tunnustus).**
    - Tarmo Trummal – Üliõpilaste teadustööde riikliku konkursi loodusteaduste ja tehnika valdkonnas magistriõppe üliõpilaste astmes II preemia konkursitöö "Faasimõõteteadmete karakteristikute testimine reaalarjasimulaatoriga" eest
    - Mari Löper – Tallinna Tehnikaülikooli Arengufondi doktoriõppe Eleringi digitaliseerimise stipendium.
  - **Loetelu uurimisgrupi liikmetest, kes on riiklike T&A-ga seotud otsustuskogude liikmed (töötaja nimi, ametikoht ning otsustuskogu nimetus ja positsioon otsustuskogus).**
    - Jako Kilter, Dotsent
      - Eesti Standardikeskuse Kõrgepingekomitee EVS/TK 19 esimees
      - CIGRE Eesti kaasesimees
      - TTÜ elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi nõukogu liige
      - Eesti elektroenergeetika seltsi liige
      - Eesti elektroenergeetika seltsi kutsekomisjoni liige
      - Archimedes; Kristjan Jaagu taotluste hindamise ekspert
    - Madis Leinakse, Nooremteadur, doktorant,
      - Tallinna Tehnikaülikooli senati liige
      - Tallinna Tehnikaülikooli senati teaduskomisjoni liige
      - Tallinna Tehnikaülikooli inseneriteaduskonna nõukogu liige
      - Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi nõukogu liige
      - Eesti elektroenergeetika seltsi liige
    - Kaur Tuttelberg, teadur, Eesti elektroenergeetika seltsi liige
    - Tanel Sarnet, teadur, Eesti elektroenergeetika seltsi liige
    - Marko Tealane, Nooremteadur, doktorant, Eesti elektroenergeetika seltsi liige
    - Mari Löper, Nooremteadur, doktorant, Eesti elektroenergeetika seltsi liige
    - Tarmo Trummal, Nooremteadur, doktorant, Eesti elektroenergeetika seltsi liige
  - **Loetelu uurimisgrupi liikmetest, kes on välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste T&A-ga seotud välisorganisatsioonide liikmed (töötaja nimi, allüksus ning välisakadeemia või muu olulise T&A-ga seotud välisorganisatsiooni nimetus).**

- Jako Kilter, Dotsent
  - IEEE Senior member
  - IEEE Power and Energy Society liige
  - IEEE Transportation Electrification Community liige
  - IEEE Smart Cities Community liige
  - IEEE Smart Grid Community liige
  - CIGRE B4.64 (Impact of AC System Characteristics on the Performance of HVDC schemes) liige
  - CIGRE C4.27 (Benchmarking of Power Quality Performance in Transmission Systems) liige
  - CIGRE B4/C6.37 (Medium Voltage DC distribution systems) liige
  - CIGRE C2/C4.41 (Impact of High Penetration of Inverter-based Generation on System Inertia of networks) liige
  - CIGRE C4.51 (Connection of Railway Traction Systems to Power Networks) liige
  - CIGRE C4/B4.52 (Guidelines for Sub-synchronous Oscillation Studies in Power Electronics Dominated Power Systems) 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 Industrial Electronics – artiklite retsenseerimise komitee liige
  - IEEE ISGT Europe 2019, tehnilise komitee liige
  - IEEE PowerTech 2019, tehnilise komitee liige
  - IEEE Power and Energy Society General Meeting 2019 artiklite hindamise komitee liige
- Tanel Sarnet, Nooremteadur, doktorant
  - IEEE liige
  - IEEE Power and Energy Society liige
  - CIGRE C4.51 (Connection of Railway Traction Systems to Power Networks) liige
- Madis Leinakse, Nooremteadur, doktorant
  - 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, Nooremteadur, doktorant
  - IEEE liige
  - IEEE Power and Energy Society liige

## uurimisrühma nimetus: Jõuelektronika uurimisrühm

- uurimisrühma nimetus inglise keeles: **Power Electronics Group**

- uurimisrühma juhi nimi, ametikoht: Dmitri Vinnikov, uurija-professor, [dmitri.vinnikov@taltech.ee](mailto:dmitri.vinnikov@taltech.ee), tel: 620 3705

- uurimisrühma liikmed:

Tanel Jalakas, vanemteadur  
Andrii Chub, vanemteadur  
Andrei Blinov, vanemteadur  
Oleksandr Husev, vanemteadur  
Indrek Roasto, vanemlektor  
Elizaveta Liivik, teadur  
Hamed Mashinchi Maheri, järeldoktor-teadur  
Naser Vosoughi Kurdkandi, järeldoktor-teadur  
Roman Kosenko, insener  
Oleksandr Korkh, doktorant  
Denys Zinchenko, doktorant  
Oleksandr Matiushkin, doktorant  
Mahdiyyeh Najafzadeh, doktorant  
Abualkasim Ahmed Ali Bakeer, doktorant  
Vadim Sidorov, doktorant  
Saeed Rahimpour, doktorant

- **võtmesõnad:** jõuelektronika muundurid, liginullenergiamaajade energiasüsteemid, energiatõhusus, jõuelektronikasüsteemide töökindlus
- **Keywords:** power electronic converters, power systems for near-zero energy buildings, energy efficiency, reliability of power electronic systems

- uurimisrühma teadustöö ülevaade:

### **Frascat Manual klass - 2.2**

Uurimisrühma teadustöö on fokuseeritud taastuvenergeetikas, 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 teadmistepõhise ehituse tippkeskusest ZEBE. Üks ZEBE põhitegevustest on kodumajapidamiste alalisvoolu mikrovõrkude arendamine ning energiaefektiivsete ja süsinikuneutraalsete hoonete kasutuselevõtu kiirendamine. Aastal 2020 on

grupi liikmed osalenud rohkem kui kümnes erinevas kohalikus ja rahvusvahelises teadus- ja arendusprojektis, milledest võib välja tuua järgmiseid:

- **"Energiaühenduse universaalse autonoomse töölaeva kontseptsiooni väljatöötamine"** (LEP18046, vastutav täitja Indrek Roasto, projekti rahastas firma Hyrles/Inission AB Eesti haru). Projekti põhieesmärgiks oli välja arendada merekõlbulik autonoomne robotpaat sõiduulatusega 100 km ning kandevõimega 100 kg. Pärast prototüübi valmimist ja läänemeres katsetamist nihkus arendustöö fookus navigatsiooni, objektide vältimise ja sõidu planeerimise algoritmidele ning mereinfosüsteemist, lidaritest, radarist, güroskoobist ja kaamerast tuleva info automaatsele töötlemisele. Saadud kogemusi kasutatakse uue generatsiooni autonoomsete veepinnalt õlikogujate, sadamapuhastuspaatide ja robotsonarikandja loomisel.
  - **"Alalispingemuundurid ülisuure reguleerimisvahemiku ja veajärgse töövõimega"** (PSG206, vastutav täitja Andrii Chub, projekti rahastas SA Eesti Teadusagentuur). Projekti käigus arendati välja uudne jõuelektrooniline sidumismuundur, mis on võimeline ühendama ükskõik millist seeriatoodetud päikesepaneeli madalapingelise alalisvoolu-mikrovõrguga. Erakordne sisendpinge vahemik 1:20 on parem kõigist teada- ning turulolevatest odavatest üheaastmelistest seadmetest. See avab tee universaalsetele hästi taaskasutatavatele jõuelektroonilistele lahendustele, toetades sellega Euroopa Liidu ringmajanduse tegevusplaani puhtama ja konkurentsivõimelisema Euroopa heaks.
  - **"Kõrge kasuteguriga elektriauto laadija 3-tasandilise alaldi ja isoleeritud alalisvoolu muundurite baasil"** (VE19058, vastutav täitja Andrei Blinov, projekti rahastas ECPE). Selles projektis arendati välja elektrisõiduki modulaarse 3-faasilise kiiralaadija prototüüp. Innovatiivne skeemilahendus võimaldab tööd väga kõrge kasuteguriga ning väikesed ja kerged passiivkomponendid vähendavad vajalikku materjali hulka, kasutatavat ruumi ja kogu seadme paigaldamise hinda. See arendustöö toetab Euroopa Liidu sihti energia- ja ressursitõhusaks renoveerimiseks ning ehitamiseks.
- **Teised TA projektid 2020. aastal**
    - PUT1443 "Parendatud omadustega impedantsallikaga muundurid" (vastutav täitja Dmitri Vinnikov)
    - PUT1680 "Jõuelektroonikal baseeruv energia juhtimissüsteem liginullenergia ehitistele" (vastutav täitja Indrek Roasto)
    - PRG675 "Laiendatud funktsionaalsusega alalisvoolu ja vahelduvvooluvõrkude jaoks üheaegselt rakendatavad suure jõudlusega elektrilised elektroonilised muundurid" (vastutav täitja Oleksandr Husev)
    - EAG9 „Universaalne muundur päikesepaneelide ühendamiseks mikrovõrguga (UniPV2μG)“ (vastutav täitja Andrii Chub)
    - EMP474 "Optimeeritud aku-energiasalvestid kodumajapidamistele" (vastutav täitja Andrei Blinov)
    - LEEEE20047 „Universaalne jõuelektroonika sidumismuundur päikesepaneelide ja akusalvestite integreerimiseks kodumajapidamiste alalisvoolu-elektrivõrkudesse“ (vastutav täitja Dmitri Vinnikov)
    - TAR16012 "ZEBE - Teadmispõhise ehituse tippkeskus : Nutikas ja efektiivne nullenergiahoonete energiahaldus" (vastutav täitja Dmitri Vinnikov).
    - VFP19031 "FINEST TWINS: Targa linna tippkeskuse loomine (täitjad Dmitri Vinnikov and Andrii Chub).



- **Short description of research:**

### **Frascat Manual class - 2.2**

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. In 2020 the group members have participated in more than 10 different national and international R&D projects, from which the following can be highlighted:

- **"Proof of Concept of Energy Efficient Universal Autonomous Surface Vessel"** (LEP18046, principal investigator Indrek Roasto, project funded by the Estonian company Hyrles/Inisson AB Estonian branch). Main goal of the project was the development of offshore capable autonomous boat with range of 100 km and load capacity of 100 kg. After the prototype was built and tested in Baltic sea the focus shifted to the research of advanced navigation algorithms, object avoidance, pathplanning and sensor fusion in order to use efficiently the data acquired from AIS, lidars, radar, gyroscope, weather station and camera. Gained experience will be used to develop a new generation of autonomous oil skimmers, port cleaners and sonar carrier.
  - **"DC-DC Converters with Ultra-Wide Regulation Range and Post-Fault Operation Capability"** (PSG206, principal investigator Andrii Chub, project funded by the Estonian Research Council). Within this project a novel power electronic interface capable of connecting any mass-produced PV module to a residential low-voltage DC microgrid was developed. The exceptional input voltage range of 1:20 is superior to any low-cost single-stage solution available on the market or literature. This opens the opportunity for highly reusable universalized power electronics solutions and thus supports the EU Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe.
  - **"High-Efficient EV Charger Based on 3-Level Unfolder and Current-Fed Isolated DC-DC Converters"** (VE19058, principal investigator Andrei Blinov, project funded by the ECPE e.V.). In this project, a modular 3-phase fast charger demonstrator for EV was developed. The innovative topology configuration provides high efficiency and utilizes small and lightweight passive components, that would result is reduced use of materials and space as well as installation costs. The development supports the EU goals in building and renovating in an energy and resource efficient way.
- **Other R&D projects in 2020:**

- PUT1443 "High-Performance Impedance-Source Converters" (principal investigator Dmitri Vinnikov)
- PUT1680 "Power Electronics Based Energy Management Systems for Net Zero Energy Buildings" (principal investigator Indrek Roasto)
- PRG675 "New Generation of High-Performance Power Electronic Converters Simultaneously Applicable for DC and AC Grids with Extended Functionalities" (principal investigator Oleksandr Husev)
- EAG9 „Universal photovoltaic-to-microgrid interface (UniPV2μG)“ (principal investigator Andrii Chub)
- EMP474 "Optimized Residential Battery Energy Storage Systems" (principal investigator Andrei Blinov)
- LEEEE20047 "Flexible Power Electronic Interface for DC Grid Integration of Residential Photovoltaic and Battery Energy Storage Systems (FPEI)" (principal investigator Dmitri Vinnikov)
- 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 (Dmitri Vinnikov and Andrii Chub).

• **uurimisrühma liikmete koostöö teiste T&A asutuste ja ettevõtetega (sh välisriikidest):**

Jõuelektronika uurimisrühmal on tihe koostöö mitmete juhtivate jõuelektronika arenduskeskustega Euroopas ja Ameerika Ühendriikides (CTS/UNINOVA and FCT/UNL, Portugal; School of Industrial Engineering, University of Extremadura, Hispaania; ECPE European Center for Power Electronics e.V., Saksamaa; Department of Energy Technology, Aalborg University, Taani; Institute of Control and Industrial Electronics, Warsaw University of Technology, Poola; College of Engineering, Michigan State University, USA; Electronic Engineering Department, University of Seville, Hispaania; Electrical and Computer Engineering Department, Texas A&M University at Qatar, Katar; jne.). Tähtsaimad koostöötulemused olid: ühisartiklid, teadustulemuste ja taristu ühiskasutus, teadurite lähetused, konverentsid, seminarid ja töötoad. Lisaks eelpool mainitud asutustele toimus hea koostöö ka TTÜ Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituudiga (prof. Toomas Rang) laia sageduskarakteristikuga jõupooljuhtseadeldisete teemal ning TTÜ Ehituse ja Arhitektuuri instituudiga (prof. Jarek Kurnitski, prof. Targo Kalamees) tõhusama energiakasutuse teemal. Uurimisrühm teeb kaasa ka Eesti teadusinfrastruktuuri kujundamise projektis SmartIC (prof. Tauno Otto), 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 TTÜ Keemiliste kiletehnoloogiate teaduslaboriga (prof. Ilona Oja Acik) järgmise põlvkonna päikese-energiasüsteemide arendamisel.

Koostöös Eesti ettevõttega Ubik Solutions OÜ arendasid ning komertsialiseerisid uurimisgrupi liikmed välja uudse päikesepaneeli taseme jõuelektronilise 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.

- **Cooperation:**

Power Electronics Group maintains close cooperation with leading power electronics research centers from Europe and USA (CTS/UNINOVA and FCT/UNL, Portugal; School of Industrial Engineering, University of Extremadura, Spain; ECPE European Center for Power Electronics e.V., Germany; Department of Energy Technology, Aalborg University, Denmark; Institute of Control and Industrial Electronics, Warsaw University of Technology, Poland; College of Engineering, Michigan State University, USA; Electronic Engineering Department, University of Seville, Spain; Electrical and Computer Engineering Department, Texas A&M University at Qatar, Qatar; 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 (prof. Toomas Rang) and research cooperation on Zero Energy Buildings and more efficient use of energy was established with Department of Civil Engineering and Architecture (profs. Jarek Kurnitski and Targo Kalamees). The group is also participating in the Smartic, which is a new Estonian Research Infrastructures Roadmap initiative project (prof. Tauno Otto) 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 (prof. Ilona Oja Acik) 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®. OptiVerter® 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.

- **uurimisrühma liikmete olulisemad aruandeaastal ilmunud artiklid (ETISE klassifikaator 1.1)**

1. Chub, D. Vinnikov, R. Kosenko, E. Liivik and I. Galkin, "Bidirectional DC–DC Converter for Modular Residential Battery Energy Storage Systems," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 67, no. 3, pp. 1944-1955, March 2020.
2. D. Vinnikov, A. Chub, D. Zinchenko, V. Sidorov, M. Malinowski and S. Bayhan, "Topology-Morphing Photovoltaic Microconverter With Wide MPPT Voltage Window and Post-Fault Operation Capability," in IEEE Access, vol. 8, pp. 153941-153955, 2020.
3. O. Husev, C. Roncero-Clemente, E. Makovenko, S. P. Pimentel, D. Vinnikov and J. Martins, "Optimization and Implementation of the Proportional-Resonant Controller for Grid-Connected Inverter With Significant Computation Delay," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 67, no. 2, pp. 1201-1211, Feb. 2020.
4. A. Blinov, R. Kosenko, D. Vinnikov and L. Parsa, "Bidirectional Isolated Current-Source DAB Converter With Extended ZVS/ZCS Range and Reduced Energy Circulation for Storage Applications," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 67, no. 12, pp. 10552-10563, Dec. 2020.
5. S. Stynski, W. Luo, A. Chub, L. G. Franquelo, M. Malinowski and D. Vinnikov, "Utility-Scale Energy Storage Systems: Converters and Control," in IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 14, no. 4, pp. 32-52, Dec. 2020.

- **Loetelu uurimisrühma töötajate olulisematest sise- ja välisriiklikest T&A-ga seotud tunnustustest (töötaja nimi, allüksus ning tunnustus).**

Dmitri Vinnikov, arvatud Stanfordini ülikooli poolt maailma 2 % mõjukaimate teadlaste hulka

- **Loetelu uurimisgrupi liikmetest, kes on riiklike T&A-ga seotud otsustuskogude liikmed.**

Dmitri Vinnikov, Eesti Teadusagentuur hindamisnõukogu loodusteaduste ja tehnika ekspertkomisjoni liige

- **Loetelu uurimisgrupi liikmetest, kes on välisriikide akadeemiade ja/või muude oluliste T&A-ga seotud välisorganisatsioonide liikmed (töötaja nimi, allüksus ning välisakadeemia või muu olulise T&A-ga seotud välisorganisatsiooni nimetus).**

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

- **Uurimisgrupis osalenud järel doktorite ning TTÜ-st järel doktorantuuri suundunud uurimisgrupi töötajate loetelu (nii ETIS-e kaudu esitatud taotluste kui muude meetmete alusel**

näidates ära järeldoktori nime, päritolumaa ja asutuse, järeldoktorantuuri perioodi ning meetme, mille alusel järeldoktorit rahastatakse).

- Elizaveta Liivik, järeldoktorantuur Aalborgi Ülikoolis (Taani)

## Teadus- ja arendustegevuse ülevaade uurimisrühmade lõikes:

- **uurimisrühma nimetus: Mehhatroonika ja autonoomsete süsteemide keskus**
- **uurimisrühma nimetus inglise keeles: Mechatronics and Autonomous Systems Centre**
- **uurimisrühma juhi nimi, ametikoht:** Anton Rassõlkin, professor, [anton.rassolkin@taltech.ee](mailto:anton.rassolkin@taltech.ee), tel: 620 3305, +37253919587
- **uurimisrühma liikmed:**
  - Mart Tamre, professor
  - Andres Kiitam, teadur, PhD
  - Tiia Tammaru, teadur, MSc
  - Leo Teder, assistent, MSc
  - Dmitry Shvarts, teadur, PhD
  - Robert Hudjakov, teadur, PhD
  - Kristjan Pütsep, lektor, doktorant
  - Hamidreza Heidari, doktorant
  - Viktor Rjabtšikov, doktorant- nooremteadur (alates 01.09.2020)
  - Dhanushka Chamara Liyanage, insener, doktorant
  - Even Sekhri, insener, doktorant
  - Saleh Ragheb Saleh Alsaleh, insener, doktorant
  - Märt Juurma, nooremteadur
  - Georg Haud, insener
  - Ali Zahavi, insener
  - Trieu Minh Vu, professor (kuni 31.08.2020)
- **võtmesõnad:** mehhatroonikasüsteemide kavandamine ja juhtimine, masinnägemise rakendused, veoajam, digitaalsed kaksikud, mehitamata õhu- ja maismaasõidukite simulatsioonid
- **Keywords:** Design and Control of Mechatronic Systems, Machine Vision Applications, Propulsion Drive, Digital Twins , UGV and UAV simulations
- **uurimisrühma teadustöö ülevaade:**

### **Frascati Manual' klass - 2.2**

Mehhatroonika ja autonoomsete süsteemide keskuse teadustegevus on suunatud mehhatroonika ja autonoomsete süsteemide edasiarengule. Tänapäevase sõidukite (sh erinevad elektertranspordivahendid 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 võimalused reaali- ja virtuaalsensorite kombineerimine tehisintellektiga. Lisaks sellele, **Prof. Mart Tamre** teadus- ja arendustegevuse põhifookus on robotika ja automaatika juhtsüsteemide tehisintelligentsil põhineva riist- ja vastava tarkvara

väljatöötamine ning kasutajaliideste loomine süsteemide, sensorika ja eriti uute masinnägemise rakenduste väljatöötamine. Rõhk on AI ja eriti Deep Learning (süvaõppe) ja hüperspektraal ning multispektraal masinnägemise rakendustele ning vastava rakendus- ja simulatsioonitarkvara väljatöötamisele ja rakendamisele reaalsetes tööstusrobotika, sotsiaalvaldkonna robotika ja UGV ja UAV süsteemides ning samuti hardware-in-the-loop simulatsiooni- ja testsüsteemide loomisele. Uurimisrühmas jätkatakse ka **kvaliteeditehnika tegevussuunda**, kus tegutseb emeriitprofessor ja teadur Andres Kiitam koos Tiia Tammaruga.

- **Short description of research:**

### **Frascat Manual class - 2.2**

The research activities of the Mechatronics and Autonomous Systems Centre are focused on the 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. To achieve this goal, the research team is working on the development of a number of test platforms and digital twins. In order to prolong the working life of vehicles and reduce the risk of failure, the possibilities of combining real and virtual sensors with artificial intelligence are being explored. Additionally, **Prof. Mart Tamre** is focused on the development of robotics and automation hard- and software based on the AI and development of smart user interfaces as well as development of sensor and especially machine vision applications. The main attention is on AI and especially on Deep Learning and hyper- and multispectral machine vision applications and respective application and simulation software development and their implementation at practical industrial robotics social robotics and UGV and UAV systems. The focus is also on development of hardware-in-the-loop simulation and test systems. Research group is also active in **Quality Engineering activities** lead by Prof. Emer and researcher Andres Kiitam together with researcher Mrs. Tiia Tammaru.

- **loetelu uurimisrühma liikmete aruandeaastal juhitud olulisematest projektidest/lepingutest:**

- Lep18082EE „ Applied research on system of sensors and software algorithms for safety and driver assistance on remotely operated ground vehicles for off- road applications“ (29.09.2018-30.04.2021), Mart Tamre, Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut;
- VERT19002 " Multifunctional Innovative Learning Assisting Network for VET in Advanced Manufacturing (1.11.2018–30.04.2021)", Mart Tamre, Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut;
- PSG453 "Digital twin for propulsion drive of autonomous electric vehicle (1.01.2020–31.12.2023)", Anton Rassõlkin, Tallinn University of Technology , School of Engineering, Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics.
- VNF20038 "Advances in Information, Automation and Electrical Engineering (15.05.2020–1.10.2021)", Anton Rassõlkin, Tallinn University of Technology , School of Engineering, Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics.

- **uurimisrühma liikmete koostöö teiste T&A asutuste ja ettevõtetega (sh välisriikidest):**
  - Koostöö ITMO ülikooliga, St.Peterburg, Venemaa - ühispublikatsioonid, ühis PhD juhendamine, ühis MSc tööde juhendamine, DoubleDegree MSc Mechatronics õppekava jms.
  - University of Picardie, Prantsusmaa - ühisjuhendamised, tudengivahetus
  - Koostöö Tartu Ülikooliga Archimedes projektide raames
  - Sileesia tehnikaülikool (Silesian University of Technology), Gliwice, Poola - projektitaotluste ettevalmistamine, ühispublikatsioonid, ühis magistr tööde juhendamine, jms.
  - Valgevene Riiklik Tehnoloogiline Ülikool (Belarusian State Technological University), Minsk, Valgevene - projektitaotluste ettevalmistamine, ühispublikatsioonid, ühis doktoritööde juhendamine, jms.
  - Mittelhesseni tehnikakõrgkool (TH Mittelhessen University of Applied Sciences), Giessen, Saksamaa – CUCEE võrgustik, tudengivahetus
  - Riia Tehnikaülikool (Riga University of Technology), Riia, Läti - projektitaotluste ettevalmistamine, koostöö Nordplus projekti raames
  - Emden/Leer tehnikakõrgkool (University of Applied Sciences Emden/Leer), Emden; saksamaa - projektitaotluste ettevalmistamine
  
- **uurimisrühma liikmete olulisemad aruandeaastal ilmunud artiklid (ETISE klassifikaator 1.1):**
  1. Rassõlkin, A.; Belahcen, A.; Kallaste, A.; Vaimann, T.; Lukichev, D. V.; Orlova, S.; Heidari, H.; Asad, B.; Pando Acedo, J. (2020). Life cycle analysis of electrical motor-drive system based on electrical machine type. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 69 (2), 162–177. DOI: 10.3176/proc.2020.2.07.
  2. Heidari, H.; Rassolkin, A.; Holakooie, M. H.; Vaimann, T.; Kallaste, A.; Belahcen, A.; Lukichev, D. V. (2020). A Parallel Estimation System of Stator Resistance and Rotor Speed for Active Disturbance Rejection Control of Six-Phase Induction Motor. Energies, 13 (5). DOI: 10.3390/en13051121
  3. Orosz, T.; Rassõlkin, A.; Kallaste, A.; Arsénio, P.; Pánek, D.; Kaska, J.; Karban, P. (2020). Robust Design Optimization and Emerging Technologies for Electrical Machines: Challenges and Open Problems. Applied Sciences, 10 (19), #6653. DOI: 10.3390/app10196653.
  4. Wang, R.; Sell, R.; Rassõlkin, A.; Otto, T.; Malayjerdi, E. (2020). Intelligent Functions Development on Autonomous Electric Vehicle Platform. Journal of Machine Engineering, 20 (2), 114–125. DOI: 10.36897/jme/117787.
  
- **Loetelu uurimisgrupi liikmetest, kes on riiklike T&A-ga seotud otsustuskogude liikmed (töötaja nimi, ametikoht ning otsustuskogu nimetus ja positsioon otsustuskogus).**

Anton Rassõlkin, Professor

10.10.2019–31.12.2020 ITMO Ülikool (Peterburg, Venemaa) Juhtimissüsteemide ja robotika teaduskond, Külalisprofessor (0,05)



10.10.2020–30.09.2021 Sileesia tehnikaülikool (Gliwice, Poola), Elektrotehnika teaduskond, Jõuelektronika, Elektriajami ja Robotika instituut, Külalisprofessor (0,05)  
Teadusorganisatsiooniline ja -administratiivne tegevus:  
2020–... IEEE vanemliige  
2020–... Ajakirja "Power engineering: research, equipment, technology" (ISSN 1998-9903) kolleegiumi liige  
2020–... Rahvusvahelise teadusseminari "International Workshop on Electric Drives (IWED)" programmkomitee liige; IEEE, Moskva, Venemaa;  
2019–... Eesti Moritz Hermann Jacobi Selts, liige;  
2019–... Rahvusvahelise teaduskonverentsi "ENVIRONMENT. TECHNOLOGY. RESOURCES" teaduskomitee liige, Tehnikaakadeemia, Rezekne, Läti;  
2018–... Rahvusvahelise Sümpoosiumi "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology III" programmkomitee liige;  
2018–... Rahvusvahelise teaduskonverentsi "International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS )" programm- ja teaduskomitee liige, IEEE; ICEPDS2020 Peterburi, Venemaa;  
2017–... Eesti Teadusagentuuri õpilaste teadustööde riikliku konkursi hindamiskomisjoni liige;  
2017–... Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi nõukogu liige;  
2017–... Erasmus+ üliõpilasvahetusprogrammi stipendiumikomisjoni liige;  
2016–... IEEE Liige;  
2016–... CUCEE võrgustiku koordinaator Tallinna Tehnikaülikoolis (<http://e-cucee.eu/>);  
2020–2021 Külalistoimetaja: Special Issue of MDPI Sustainability (ISSN 2071-1050) "Mechatronics Technology and Transportation Sustainability";  
2020–2021 Rahvusvahelise teaduskonverentsi "Alternating Current Electric Drives" (ACED) juhtkomitee liige, IEEE; ACED2021 Ekaterinburg, Venemaa;  
2020–2021 Külalistoimetaja: Special Issue of MDPI Electronics (ISSN 2079-9292) "Robust Design Optimization of Electrical Machines and Devices";  
2019–2021 Rahvusvahelise teaduskonverentsi "International Power Electronics and Motion Control Conference" (IEEE-PEMC) tehnilise- ja erisessiooni juht, IEEE; IEEE-PEMC2020 Gliwice, Poola;  
2018–2020 Noore Inseneri Programmi (NIP) Elektromehaanika õppepäeva juht;

Andres Kiitam, emeriitprofessor, teadur

Teadusorganisatsiooniline ja -administratiivne tegevus:

2014–... Kvaliteedispetsialisti ja kvaliteedijuhi kutsete kutsekomisjoni liige  
2006–... Walter Masing Award (Eesti-Saksa ühisauhind) žürii liige  
2002–... Eesti Juhtimiskvaliteedi Auhinna žürii esimees  
1997–... MCB Literati Club (UK, ekspertide ühendus) liige  
1997–... PHARE, PRAQ III, LEONARDO, TEMPUS, AEF jm projektide ekspert/juhtekspert  
1995–... Eesti masina- ja aparaaditööstuse kvaliteeditagamise nõukogu liige  
1992–... TTÜ mehhatroonika/aparaadiehituse instituudi nõukogu liige  
1992–... Eesti Süsteemiinseneride Seltsi liige  
1991–... Eesti Kvaliteediühingu liige

Tiia Tammaru, teadur

Teadusorganisatsiooniline ja -administratiivne tegevus:

2020–2020 Kvaliteedispetsialisti (tase 5) ja kvaliteedijuhi (tase 6, tase 7) kutse andmise hindamisstandardite uuendamise töögrupi liige  
2020 Eesti Kvaliteediühingu auliige

2019–2020 Kvaliteedispetsialisti (tase 5) ja kvaliteedijuhi (tase 6, tase 7) kutsestandardite uuendamise töögrupi liige

2019–2020 CAF kogemusõppe (benchlearning) projekti juhtassessor

2014–... Eesti Kvaliteediühingu (EKÜ) esindaja EFQMis

2013–... Eesti Kvaliteediühingu esindaja EHFFis (European Health Future Forum)

2010–... Rahvusvahelise Kvaliteediinnovatsiooni auhinna Quality Innovation of the Year hindamiskomisjoni liige

2009–2020 Eesti Kvaliteediühing, juhatuse esimees

2009–... Eesti Kvaliteediühing, juhatuse esimees

2008–... Eesti Kvaliteediühingu (EKÜ) esindaja WAQis (World Alliance of Quality)

2007–... Konkursi Talinna Vastutustundlik Ettevõtja hindamiskomisjoni liige

2007–... EVS tehniline komitee 33 'Juhtimissüsteemid', liige

1995–... European Organization for Quality (EOQ), Eesti Kvaliteediühingu esindaja, Üldassamblee liige

1993–... Eesti Kvaliteediühing (EKÜ), juhatuse liige

Mart Tamre, professor

Teadusorganisatsiooniline ja -administratiivne tegevus:

2016–... EU komisjoni ekspert töögrupis "Preparation of the Work Programme 2018-2020 – SYSTEMS FOR SECURITY PRACTITIONERS"

2016–... Eesti Kaitsetööstuse Liit - TTÜ esindaja

2014–... TalTech-ITMO MSc Double Degree mehhatroonika õppekava akadeemiline vastutaja

2014–... Ajakirja "Scientific and Technical Journal of Information Technologies Mechanics and Optics" toimetuskolleegiumi liige

2013–... Mehhatroonika inseneri kutsestandardite väljatöötamise töögrupi juht Eesti Kutsekoja juures

2012–... TalTech MSc Mechatronics rahvusvahelise õppekava programmijuht

2012–... IEEE liige

2010–... TTÜ esindaja Robotics Industries Association organisatsioonis

2007–2019 Member of Int.Conf. Steering and Scientific Board, Int. Conf. REM, Research and Education in Mechatronics, 8th-19th

2007–... ETAG ekspert

2005–... AUVSI liige

2002–... TTÜ mehhatroonika õppekavatöögrupi esimees

1995–... Eesti teadlaste liidu liige

- **uurimisrühma nimetus: Mikrovõrgud ja metroloogia sh valgustehnika labor**
- **uurimisrühma nimetus inglise keeles: Microgrids and Metrology**
- **uurimisrühma juhi nimi, ametikoht ja kontaktandmed:** Argo Rosin, professor, Ehitajate tee 5, room NRG-408 [argo.rosin@taltech.ee](mailto:argo.rosin@taltech.ee), Skype: argo.rosin, phone: +3725290305
- **uurimisrühma liikmed:**

Professorid: Helmuth Biechl (Hochschule Kempten, Saksamaa)

Elektrivalgustuse labori juhataja: Arvo Oorn

Järel doktorid: Roya Ahmadiyahangar

Teadur: Tarmo Korõtko

Doktorandid (sh järel doktorandid): Tobias Häring, Vahur Maask, Andreas Christian Armstorfer, Jorge Luis Helguero Cruz, Toivo Varjas, Freddy Plaum, Nauman Beg, Elnaz Azizi, Mohammad Reza Habibi

Insener: Taavi Möller

- **võtmesõnad:** mikrovõrgud, tehisintellekt, tarbimise juhtimine, automaatikasüsteemid, energiasalvestid, elektervalgustus
- **Keywords:** microgrids, artificial intelligence, automation systems, energy flexibility, energy storages, electrical lighting
- **uurimisrühma teadustöö ülevaade:**

### **Frascati Manual klass - 2.2**

- Uurimisteemad
  - elektrivarustuse ja mikrovõrkude optimeerimine;
  - tehisintellektil põhinev energiavoogude paindlik juhtimine ja -salvestamine;
  - elektervalgustuse uuringud ja mõõtemetodite arendus.
- Ühiskondlik mõjukus
  - suurem energia-, kulutõhusus, töökindlus ja paindlikkus elektri-, automaatika- ja valgustuspaigaldistes;
  - valgustustehniliste mõõtemetodite parendamine ja tööstuslike diagnostika lahenduste väljatöötamine
- Olulisemad projektid
  - Lep18101 "Kompensaatorite monitooring kasutuskohas: tehnoloogilise lahenduse kontseptsiooni väljatöötamine", Pentamet OÜ
  - VIR19013 "Läänemere piirkonna valgustus - linnad kiirendavad säästva ja aruka linnavalgustuse lahenduste kasutuselevõttu", Interreg.
  - TAR16012 "Teadmistepõhise ehituse tippkeskus", SA Archimedes.
  - VFP19031 (856602) "FINEST TWINS: Targa linna tippkeskuse loomine", Horizon.

- **Short description of research:**

**Frascati Manual' class - 2.2**

- Research topics
  - Optimization of microgrids power supply systems;
  - AI based power flow control and energy storage;
  - Research of electrical lighting and development of measurement science.
- Social Influence
  - higher energy/cost efficiency, reliability, and flexibility of power supply, automation and lighting systems;
  - improvement of measurement methods and development of integrated diagnostic solutions for industry
- Most important projects
  - Lep18101 " Proof of Concept of an Integrated Monitoring and Diagnostics Solution For Predictive Maintenance of Expansion Joints ", Pentamet OÜ
  - VIR19013 " Lighting the Baltic Sea Region - Cities accelerate the deployment of sustainable and smart urban lighting solutions ", Interreg.
  - TAR16012 "Estonian Centre of Excellence in Zero Energy and Resource Efficient Smart Buildings and Districts", SA Archimedes.
  - VFP19031 (856602) " FINEST TWINS: Establishment of Smart City Center of Excellence ", Horizon.

- **Olulisemad publikatsioonid/most important publications:**

1. Rosin, A.; AhmadiAhangar, R.; Azizi, E.; Sahoo, S.; Vinnikov, D.; Blaabjerg, F.; Dragicevic, T.; Bolouki, S. (2020). Clustering-based Penalty Signal Design for Flexibility Utilization. IEEE Access, 1–11.
2. Ahmadiyahangar, R.; Shabbir, N.; Rosin, A.; Kütt, L.; Palu, I.; Fushuan, W. (2020). Flexibility Enhancement for a Power System through Machine-learning based Electricity Demand Prediction. Electric Power Construction, 41 (S1), 38–44.
3. Ahmadiyahangar, R.; Rosin, A.; Palu, I.; Azizi, A. (2020). Demand-side Flexibility in Smart Grid. Springer.

- **uurimisrühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused lõppenud aastal**

TalTechi 2019. aasta parim arendustöö: III koht – „Akrediteeritud valgustehnika labori mõõteteenuste ning uudse mõõtemetodi ja mõõtevahendi väljatöötamine“

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

**Argo Rosin, Professor**

IEEE Senior Member,  
IEEE Industrial Electronics Society (IES) member,  
IEEE Power & Energy Society (PES) member  
Chair of Technical Track "Smart Grid Technologies and Applications" in 14th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (IEEE CPE-POWERENG 2020)  
IEA EBC vaatljaliiige  
Konverentsi RTUCON 2020 teaduskomitee liige

**Roya Ahmadiyahangar, post-doc teadur**

IEEE Member  
IEEE Eesti sektsiooni sekretär  
IEA EBC vaatljaliiige

- **Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevuse kohta**
  - **LEEEE20099 „Tallinna tänavavalgustuse valgustehnilised mõõtmised“, Elektrilevi OÜ.** Töö tulemusi rakendatakse kvaliteetsemate ja töökindlamate Tallinna tänavavalgustuslahenduste väljatöötamisel.
  - **LEEEE20107 „Energiatarbimise juhtimise paindlikkustoote pilootprojekt - 2. etapp“, Eesti Energia AS.** Töö tulemusi rakendatakse uudsete paindlikkusteenuste väljatöötamisel.

- **uurimisrühma nimetus:** Elektrimasinate uurimisrühm
- **uurimisrühma nimetus inglise keeles:** Electrical Machines Research Group
- **uurimisrühma juhi nimi, ametikoht:** Ants Kallaste, professor, [ants.kallaste@taltech.ee](mailto:ants.kallaste@taltech.ee), tel: 620 3807
- **uurimisrühma liikmed:**
  - Anouar Belahcen, kaasatud professor
  - Toomas Vaimann, vanemteadur
  - Payam Shams Ghahfarokhi, teadur/insener
  - Bilal Asad, doktorant
  - Hans Tiismus, doktorant-nooremteadur
  - Karolina Kudelina, doktorant-nooremteadur
  - Hadi Ashraf Raja, doktorant
  - Ekaterina Andriushchenko, doktorant
  - Muhammad Usman Naseer, doktorant
- **võtmesõnad:** elektrimasinad, generaatorid, elektriajamid, diagnostika, seisundiseire, tehisintellekt
- **Keywords:** electrical machines, generators, electrical drives, fault diagnostics, condition monitoring, artificial intelligence
- **Teadustöö lühikirjeldus:**

### **Frascat Manual klass - 2.2**

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.

- **Short description of research:**

### **Frascat Manual class - 2.2**

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.

- **Uurimisgrupi T&A ühiskondlik mõjukus:**

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.

- **Societal impact of research group R&D:**

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.

- **Loetelu uurimisrühma liikmete aruandeaastal juhitud olulisematest projektidest/lepingutest:**

- PSG137 – „3D prinditud elektrimasinad (01.01.2018-31.12.2021)“, Ants Kallaste
- SS20028 "MEKTORY satelliidiprogrammi maajaama paraboolantenni elektripaigaldis ja juhtimine (1.09.2020–30.06.2021)", Toomas Vaimann
- Lep19042 "Veduri TEP70 veokarakteristikute muutmine (13.05.2019–5.07.2019)", Toomas Vaimann (projekt pikenes kuni märtsini 2020)

- **Koostöö T&A asutustega:**

- Pihkva Riiklik Ülikool, Venemaa – doktorandi kaasjuhendamine
- ITMO Ülikool, Venemaa – ühispublikatsioonid, külalisloengud, mobiilsus, projektitaotlused
- Moskva Energeetikainstituut, Venemaa – mobiilsus
- Minski Riiklik Ülikool, Valgevene – mobiilsus, ühispublikatsioonid
- Aalto Ülikool, Soome – ühispublikatsioonid, mobiilsus
- Füüsikalise Energeetika Instituut, Läti – ühispublikatsioonid, taristu riskasutus
- Lääne-Böömimaa Ülikool, Tšehhi – ühispublikatsioonid, järel doktorantuur

- Sileesia Tehnikaülikool, Poola – ühispublikatsioonid, ühisprojekti taotlused
  - Vilniuse Gediminase Tehnikaülikool, Leedu – ühispublikatsioonid, ühisprojekti taotlused
  - Agderi Ülikool, Norra – ühispublikatsioonid, ühisprojekti taotlused
  - Riia Tehnikaülikool, Läti – ühispublikatsioonid, ühisprojekti taotlused
  - Brüsseli vabaülikool, Belgia – ühisprojekti taotlused
  - INP Toulouse Ülikool – koostöö Laplace'i laboratooriumiga, külalisloengud, ühisprojekti taotlused
- **Koostöö ettevõtetega:**
    - Enefit Green AS – arendustöö
    - Elering AS – arendustöö
    - Ühinenud Depood AS – arendustöö
    - If P&C Insurance AS – ekspertiis
    - Riigi Tugiteenuste Keskus – konsultatsioonid
    - ICP Solutions OÜ – ekspertiis
- **Uurimisrühma liikmete olulisemad aruandeaastal ilmunud artiklit (ETISE klassifikaator 1.1):**
    1. Asad, B.; Vaimann, T.; Belahcen, A.; Kallaste, A.; Rassõlkin, A.; Naveed Iqbal, M. (2020). The Cluster Computation-Based Hybrid FEM–Analytical Model of Induction Motor for Fault Diagnostics. *Applied Sciences*. DOI: 10.3390/app10217572.
    2. Asad, B.; Vaimann, T.; Belahcen, A.; Rassõlkin, A.; Kallaste, A. Naveed Iqbal, M. (2020). Modified Winding Function-based Model of Squirrel Cage Induction Motor for Fault Diagnostics. *IET Electric Power Applications*, 1–13. DOI: 10.1049/iet-epa.2019.1002.
    3. Tiismus, H.; Kallaste, A.; Belahcen, A.; Vaimann, T.; Rassõlkin, A.; Lukichev, D. (2020). Hysteresis Measurements and Numerical Losses Segregation of Additively Manufactured Silicon Steel for 3D Printing Electrical Machines. *Applied Sciences*, 10 (18), #6515. DOI: 10.3390/app10186515.
    4. Shams Ghahfarokhi, P.; Kallaste, A.; Podgornovs, A.; Belahcen, A.; Vaimann, T. (2020). Development of Analytical Thermal Analysis Tool for Synchronous Reluctance Motors. *IET Electric Power Applications*, 1–11. DOI: 10.1049/iet-epa.2020.0237.
    5. Shams Ghahfarokhi, P.; Kallaste, A.; Podgornovs, A.; Belahcen, A.; Vaimann, T.; Asad, B. (2020). Determination of Heat Transfer Coefficient of Finned Housing of a TEFC Variable Speed Motor. *Electrical Engineering*, 1–9. DOI: 10.1007/s00202-020-01132-1.
    6. Kudelina, K.; Asad, B.; Vaimann, T.; Belahcen, A.; Rassõlkin, A.; Kallaste, A.; Lukichev, D. V. (2020). Bearing Fault Analysis of BLDC Motor for Electric Scooter Application. *Designs*, 4 (4), #42. DOI: 10.3390/designs4040042.
    7. Shams Ghahfarokhi, P.; Kallaste, A.; Belahcen, A.; Vaimann, T. (2020). Analytical thermal model and flow network analysis suitable for open self-ventilated machines. *IET Electric Power Applications*, 1–11. DOI: 10.1049/iet-epa.2019.1020.



- **Loetelu uurimisgrupi liikmetest, kes on välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste T&A-ga seotud välisorganisatsioonide liikmed:**

- Ants Kallaste, professor
  - IEEE, liige
  - Eesti Moritz Hermann Jacobi Selts, juhatuse esimees
  - Rahvusvahelise teaduskonverentsi "International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS )" rahvusvahelise juhtkomitee liige
  - Rahvusvahelise teaduskonverentsi "Environment. Technology. Resources" teaduskomitee liige
  - Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi nõukogu liige
- Anouar Belahcen, kaasatud professor
  - IEEE, vanemliige
  - Aalto Ülikooli (Soome) elektrotehnika ja automaatika instituudi asejuht
  - Aalto Ülikooli (Soome) automaatika ja elektrotehnika magistriõppekava programmijuht
  - Aalto Ülikooli (Soome) elektromehaanika uurimisrühma juht
  - Õpetamiskvaliteedi komitee liige (Aalto Ülikool/ELEC, Soome)
- Toomas Vaimann, vanemteadur
  - ITMO Ülikool (Venemaa), Juhtimissüsteemide ja robotika teaduskond, Külalisprofessor
  - IEEE, vanemliige
  - Tallinna Tehnikaülikooli energiamuundus- ja juhtimissüsteemid magistriõppekava programmijuht
  - Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi nõukogu liige
  - Eesti Moritz Hermann Jacobi Selts, liige
  - Eesti Elektroenergeetika Selts, 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
  - MDPI Energies - ajakirja eriväljaande "Novel Approaches to Electrical Machine Fault Diagnosis" toimetaja
  - MDPI Machines - ajakirja valdkondliku toimetuskolleegiumi liige
  - MDPI Applied Sciences - ajakirja eriväljaande "Advances in Machine Fault Diagnosis" toimetaja
  - Rahvusvahelise konverentsi International Scientific Technical Conference Alternating Current Electric Drives (ACED) juhtkomitee liige

- Rahvusvahelise konverentsi International Workshop on Electric Drives (IWED) komitee liige
- Rahvusvahelise konverentsi International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS) juhtkomitee liige
- Rahvusvahelise konverentsi International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE) juhtkomitee liige
- Rahvusvahelise konverentsi International Scientific and Practical Conference „Environment. Technology. Resources.“ teadusliku komitee liige
- TTÜ Arengufondi üliõpilasstipendiumite hindamiskomisjoni liige
- Rahvusvahelise konverentsi "Electric Power Quality and Supply Reliability " (PQ) organisatsioonikomitee liige
- Payam Shams Ghahfarokhi, teadur/insener
  - IEEE, liige
  - IEEE jõuelektroonika ühingu (IES) liige
  - MDPI Machines - ajakirja eriväljaande " Thermal Analysis of Electric Machine Drives " toimetaja
- Karolina Kudelina, doktorant-nooremteadur
  - IEEE Üliõpilasliige
  - IEEE Women in Engineering liige
  - Eesti Moritz Hermann Jacobi Seltsi liige
- Hans Tiismus, doktorant-nooremteadur
  - IEEE Üliõpilasliige
  - Eesti Moritz Hermann Jacobi Selts, liige
  - Tallinna Tehnikaülikooli elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi nõukogu liige
- **Loetelu uurimisrühma töötajate olulisematest sise- ja välisriiklikest T&A-ga seotud tunnustustest (töötaja nimi, allüksus ning tunnustus).**
  - Karolina Kudelina, Üliõpilaste teadustööde 2020. a riikliku konkursi tehnika ja tehnoloogia valdkonnas magistriõppe astmes I preemia konkursitöö „Harjavabade alalisvoolumootorite laagririkete analüüs” eest
  - Toomas Vaimann, 2020. a üliõpilaste teadustööde riiklikul konkursil tehnika ja tehnoloogia valdkonna, magistri astme 1. preemia võitnud töö “Harjavabade alalisvoolumootorite laagririkete analüüs” (Karolina Kudelina) juhendaja
  - Bilal Asad, 2020. a üliõpilaste teadustööde riiklikul konkursil tehnika ja tehnoloogia valdkonna, magistri astme 1. preemia võitnud töö “Harjavabade alalisvoolumootorite laagririkete analüüs” (Karolina Kudelina) juhendaja
- **Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevuse kohta**
  - **PSG137 – „3D prinditud elektrimasinad (01.01.2018-31.12.2021)“, Ants Kallaste**

Töö tulemusel töötatakse välja elektrimootorite 3D printimise tehnoloogiat, mida saab edaspidiselt rakendada eriotstarbeliste elektrimootorite loomiseks ja kiireks prototüüpimiseks, eelkõige kosmose, lennunduse ja meditsiini valdkondades.

- **SS20028 "MEKTORY satelliidiprogrammi maajaama parabolantenni elektripaigaldis ja juhtimine (1.09.2020–30.06.2021)", Toomas Vaimann**

Töö tulemusi rakendatakse MEKTORY satelliidiprogrammi maajaama parabolantenni juhtimises ja edasises tegevuses.

- **Lep19042 "Veduri TEP70 veokarakteristikute muutmine (13.05.2019–5.07.2019)", Toomas Vaimann**

Töö tulemusi rakendatakse TEP70 tüüpi vedurite potentsiaalses ümberehituseks kaubavedudes kasutatavateks.

- **Uurimisgrupis osalenud järeldoktorite ning TTÜ-st järeldoktorantuuri suundunud uurimisgrupi töötajate loetelu**

Payam Shams Ghahfarokhi, järeldoktorantuur Riia Tehnikaülikoolis (Läti)

- **uurimisrühma nimetus:** Energiamajanduse uurimisrühm sh kõrgepinge labor
- **uurimisrühma nimetus inglise keeles:** Energy economics and high voltage engineering research group
- **uurimisrühma juhi nimi, ametikoht:** Ivo Palu, professor, [ivo.palu@taltech.ee](mailto:ivo.palu@taltech.ee), tel: 620 3752
- **uurimisrühma liikmed:**
  - professor Fushuan Wen
  - emeriitprofessor, vanemteadur Heiki Tammoja
  - teadur Victor Astapov
  - vanemlektor Jelena Šuvalova
  - vanemlektor Paul Taklaja
  - vanemlektor Reeli Kuhi-Thalfeldt
  - nooremteadur Hardi Koduvere
  - doktorant-nooremteadur Karl Kull
  - nooremteadur Sabeet Mishra
  - doktorant-nooremteadur Ivar Kiitam
  - energiamajanduse ekspert Hannes Agabus
  - doktorant Lauri Ulm
  - doktorant Cletus John Crasta
  - doktorant Aron Kuhi-Thalfeldt
  - doktorant Elina Rebecka Rikkas
- **võtmesõnad:** kliimamuutust leevendav energiamajandus, tehnoloogia rakendatavuse ja investeeringute 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 teadustöö ülevaade:**

### **Frascat Manual klass - 2.2**

Energiamajanduse 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 Balmorel, LEAP, EnergyPro ja TIMES. Modelleerimisel arvestatakse ka energiasüsteemide tehniliste elementidega nii investeeringute majanduslikes analüüsid kui ka süsteemide optimeerimisel. Stsenariumipõhistes analüüsid on võimalik lisaks veel hinnata ka elektri jaamade konkurentsivõimet elektriturul, hinnates süsteemi tundlikkust sisendparameetrite muutuste korral.

Energiamaajanduslike arengute alastes analüüsid 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 on täiendanud oma rahvusvahelist kompetentsi tehnoloogiate rakendatavuse ja reaalinvesteeringute tasuvuse analüüside valdkonnades.

Uurimisrühm viib läbi ka täiendkoolitusi energiamaajanduse valdkonnas, mis aitavad erinevate ettevõtete töötajatel end täiendada ning saada väärtuslikke kogemusi.

Täiendavaks uurimisvaldkonnaks on lisandunud energiasektori digitaliseerimine, kus fookuskeskmeks on kliima- ja roheinvesteeringute võimendamine ning elektrituru disaini kaasajastamine uutel tehnoloogiatel rajanevate toodete-teenustega.

2019. aastal liitus uurimisrühmaga kõrgepingetehnika labor. Labori eesmärk on uurida kõrgepinge isolatsioonimaterjale ja kõrgepinge ning suure elektriväljatugevuse mõju elektriseadmetele. Keskendutakse isolatsiooni töökindluse uurimisele ning isolatorite kasutamisele õhu- ja kaabelliinidel. Täiendavalt uuritakse elektrikvaliteedi mõju kõrgepingeseadmetele nagu trafod, kaabelliinid jt elektriseadmed. Uuteks murekohtadeks on suures ulatuses ja kiirelt muutuvad võimsused ja ebalineaarsed koormused. Uurimustöö käigus antakse hinnang töökindlusele ja seadmete jääkressursile mõõtes erinevaid keskkonna ja materjali omadusi.

- **Short description of research:**

- **Frascat Manual class - 2.2**

- The research team specializes in energy systems by looking and taking into account the different components and challenges that the energy market consists of in today's society. By conducting various analysis, the team is able to create order and gain insight into the complex field of energy forecasting.

- In everyday practice, the team has vast resources of information on the Estonian energy system and by implementing it with modelling software like Balmorel, LEAP, EnergyPro and TIMES, it is possible to make breakthroughs and defining conclusions on the economic aspects and the future of the energy system.

- The energy economics research team is able to create complicated models, which take into account possible future technologies and trends in order to help assess the economic aspect of new power plants and their competitiveness in tomorrow's market.

- The energy system is bound by energy law and regulations. By analysing the energy system with broader models, it is possible to forecast the developments and general impact, which different policies may implicate. This in return helps the government and policymakers to create better long-term development plans and aid the economic growth in general.

- The research team has raised its international competence in the fields of technology applicability and real investment profitability analysis.

- Various in-service programmes are available for professional training or staff development efforts.

- An additional area of research is the digitalization of the energy sector, where the focus is on leveraging climate finance/green investments and modernizing the electricity market design with products and services based on new technologies.

High Voltage research laboratory is focusing on the studies of the high voltage insulation and applications associated with the high voltages and strong electrical fields. Most research is related to the insulators and insulation used in power lines, both overhead and cable lines are studied. Another scope of research is the effects to high voltage equipment (transformers, cable power lines etc.) due to high loading, nonlinear loads and power quality. Influence of power quality and dynamic power loading for the equipment, increased thermal and mechanical stress and aging are investigated. Research aims to provide indexes of reliability, considering different stresses to the power transmission networks during their lifetime, taking into account air pollution, weather, wildlife but also influences of characteristics of the future electric loads, materials etc.

- **loetelu uurimisrühma liikmete aruandeaastal juhitud olulisematest projektidest/lepingutest**

- VFP19026 "SMAGRINET - Targa võrgu kompetentsikeskus (1.04.2019–30.09.2021)", Ivo Palu, projekti juht, Karl Kull projekti koordinaator
- Lep19075 "Arendustööd PCO tarkvaras sisalduvas GAMS'i (General Algebraic Modeling System) mudelis (7.10.2019–7.10.2022)", Hardi Koduvere
- LEEEE20025 „Reaktiivvõimsuse juhtimise põhimõtted ja seadusandlus tänapäeva elektriajaotusvõrkudes (18.03.2020-31.12.2020)“, Karl Kull
- LEEEE20026 „Vesiniku ja sünteetilise gaasi kasutamise potentsiaal ja ühenditest tulenev mõju ülekanalite seadmetele ja lõpptarbijate seadmetele (28.02.2020-16.10.2020), Hannes Agabus
- LMIN19090 „Energiamajanduse arengutsenaariumide ajakohastamine (26.11.2019-31.12.2020)“, Hardi Koduvere
- PUTJD915 „Energiasüsteemide optimaalne planeerimine ja käitamine virtuaalses elektriajaotusvõrgus (01.04.2020-31.03.2022)“, Sambeet Mishra

- **Koostöö:**

Teadus- ja arendustegevusega seonduvaid koostööprojekte on tehtud järgnevate asutustega Elering AS, Eesti Energia AS, Elektrilevi OÜ, VKG Energia, NTNU, CIGRE, MKM

- **Cooperation:**

Research and development projects have been carried out in partnership with Elering AS, Eesti Energia AS, Elektrilevi OÜ, VKG Energia, NTNU, CIGRE.

- **Olulisemad artiklid:**

1. Shafiq, M.; Kiitam, I.; Kauhaniemi, K.; Taklaja, P.; Kütt, L.; Palu, I. (2020). Performance Comparison of PD Data Acquisition Techniques for Condition Monitoring of Medium Voltage Cables. *Energies*, 13 (16), #4272. DOI: 10.3390/en13164272.
2. Mishra, S.; Oren, E.; Bordin, C.; Wen, F.; Palu, I. (2020). Features Extraction of Wind Ramp Events from a Virtual Wind Park. *Energy Reports*, 237–249. DOI: 10.1016/j.egy.2020.08.047.

3. Gea-Bermúdez, J.; Das, K.; Koduvere, H.; Koivisto, M. J. (2020). Day-Ahead Market Modelling of Large-Scale Highly-Renewable Multi-Energy Systems: Analysis of the North Sea Region towards 2050. *Energies*, 14 (1), #88. DOI: 10.3390/en14010088.
4. Mishra, S.; Bordin, C.; Taharaguchi, K.; Palu, I. (2020). Comparison of deep learning models for multivariate prediction of time series wind power generation and temperature. *Energy Reports*, 6 (3), 273–286. DOI: 10.1016/j.egy.2019.11.009.
5. Yang, W.; Liu, W.; Chung, C. Y.; Wen, F. (2020). Coordinated planning strategy for integrated energy systems in a district energy sector. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. DOI: [10.1109/TSTE.2019.2941418](https://doi.org/10.1109/TSTE.2019.2941418).

- **Loetelu uurimisgrupi liikmetest, kes on riiklike T&A-ga seotud otsustuskogude liikmed (töötaja nimi, ametikoht ning otsustuskogu nimetus ja positsioon otsustuskogus).**

Ivo Palu, Professor

- TTÜ elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi nõukogu liige
- TTÜ inseneriteaduskonna nõukogu liige
- Eesti elektroenergeetika seltsi juhatuse liige
- Eesti Energia nõukogu liige
- IEEE Power and Energy Society liige
- IEEE liige
- CIGRE Eesti rahvuskomitee esindaja

Fushuan Wen, Professor

- IEEE Fellow
- General Chairman, *2020 International Conference on Smart Grids and Energy Systems (SGES 2020)*, Nov. 23-26, 2020, Perth, Australia
- Member of the Editorial Board, *Journal of Electronics and Advanced Electrical Engineering (JEAEE)* since 2020. [http://journalofelectronics.org/journal/editorial\\_board/](http://journalofelectronics.org/journal/editorial_board/)
- Member of the Editorial Board, *Journal of Power and Energy Engineering (JPEE)*, since October 2020.  
[https://www.scirp.org/journal/JPEE/?utm\\_campaign=8504943975\\_97718668041&utm\\_source=lixiaofang&utm\\_medium=adwords&gclid=Cj0KCQiA34OBBhCcARIsAG32uvOwtKEpu-HTm9eA4YAUtUzhzGegwhg6NAVDbbZNoXG1sfuuZG5PETUaAtrPEALw\\_wcB](https://www.scirp.org/journal/JPEE/?utm_campaign=8504943975_97718668041&utm_source=lixiaofang&utm_medium=adwords&gclid=Cj0KCQiA34OBBhCcARIsAG32uvOwtKEpu-HTm9eA4YAUtUzhzGegwhg6NAVDbbZNoXG1sfuuZG5PETUaAtrPEALw_wcB)
- Member of International Scientific Committee, *17th International Conference on the European Energy Market (EEM 2020)*, Stockholm, Sweden, September 16-18, 2020.
- Member of Technical Program Committee, *3rd International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, 7-9 September 2020, Istanbul, Turkey.  
<https://www.sest2020.org/committees.html>
- Member of the Technical Program Committee, *2021 Asia Conference on Electronics Engineering (ACEE 2021)*, March 5-7, 2021, Beijing, China.
- Member of Technical Program Committee, *4th International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, 6-8 September, 2021, Vaasa, Finland.  
<https://sites.univaasa.fi/sest2021/committees/>

- Plenary speaker, International Conference and Expo on Energy Engineering and Power Technology, September 13-15, 2021, Brussels, Belgium.
- Plenary speaker, Global Conference on Electrical and Electronics, December 02-04, 2021, Rome, Italy.

### **Awards:**

The following two papers received **2020 Premium (Best Paper) Awards**, *Energy Conversion and Economics (IET, Wiley)*:

1. Weijia Liu, Fushuan Wen, Zhaoyang Dong, Ivo Palu. Development of robust participation strategies for an aggregator of electric vehicles in multiple types of electricity markets. *Energy Conversion and Economics (IET, Wiley)*, Vol.1, No.2, 2020, pp.104-123.
2. Chengwei Xu, Fushuan Wen, Ivo Palu. Electricity market regulation: global status, development trend, and prospect in China. *Energy Conversion and Economics (IET, Wiley)*, Vol.1, No.3, 2020, pp.151-170.



## uurimisrühma nimetus: Elektrotehnika aluste uurimisrühm

- **uurimisrühma nimetus inglise keeles: Research Group of Fundamentals of Electrical Engineering**
- **uurimisrühma juhi nimi, ametikoht:** Lauri Kütt, professor, [lauri.kutt@taltech.ee](mailto:lauri.kutt@taltech.ee), tel: 620 3806
- **uurimisrühma liikmed:**
  - Aleksander Kilk, vanemlektor
  - Martin Jaanus, vanemlektor
  - Tarmo Rosman, insener
  - Toomas Vinnal, insener
  - Marek Jarkovoi, insener
  - Heigo Mölder, insener
  - Martin Parker, insener
  - Muhammad Naveed Iqbal, doktorant
  - Noman Shabbir, doktorant
  - Kamran Daniel, doktorant
- **võtmesõnad:** elektromagnetiline ühilduvus, elektrienergia kvaliteet, elektromagnetismi valdkonna uuringud, elektrotehnika, elektriahelate analüüs, termoelektrilised generaatorid
- **Keywords:** electromagnetic compatibility, electric power quality, electromagnetic research, electrical engineering, circuit analysis, thermoelectric generators
- **Uurimisrühma teadustöö ülevaade**

### Frascat Manual klass - 2.2

Uurimisrühma tegevuse põhisuunaks on elektritoite kvaliteet (võrgupinge kvaliteet, sh pingetaseme ning pingekuju parameetrid, nende mõjutajad ja optimeerimine; vahelduvvoolumõõtmised ja mõõteandmete töötlemine; toite kvaliteedi mõju uurimine seadmete ja süsteemi talitlusele 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 energeetikadirektiividele vastavuse saavutamine, milleks tuleb tagada suure hulga pooljuhtmuundurite ühendamine jaotusvõrku, et liita võrguga päikesepaneelid, väiketuulikud jm. taastuvenergiatootjad. Selleks tuleb uurida jaotusvõrgu piire ja võimalusi, millega võrk suudab töötada võrgu teiste klientide või komponentide pingetingimuste rikkumiseta. Teema on otseselt seotud EMÜ valdkonnaga (nõuded seadmetele ja/või võrgu tugevdamiseks pingemoonutuste vastu) ning elektrikvaliteedi valdkonnaga (nõuded pingetaseme tagamiseks ja ülekoormuse vältimiseks võrgus).

Elektromagnetilise ühilduvuse valdkonnas on uurimistöö seotud muuhulgas asjaoludega, kuidas ühildada erinevad tehnoloogilised lahendused toitesüsteemidesse (näiteks toiteliini kommunikatsioon ja võrkudesse ühendatud seadmed), kuidas tagada elektri- ja

elektroonikaseadmete tööstuse toodangu vastavus EL EMÜ ja madalpingedirektiivis esitatud kriteeriumidele. 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.

## **Research group scientific activities overview**

### **Frascat Manual class - 2.2**

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.

- **Loetelu uurimisrühma liikmete aruandeaastal juhitud olulisematest projektidest/lepingutest**

- **PSG142 "Pooljuhtmuundurite väljundvoolukuju süntees taastuenergiaallikate võrguga liitmisvõimaluse suurendamiseks"** (1.01.2018–31.12.2021), Lauri Kütt

Projekti põhieesmärgiks on uurida tingimusi, mis võimaldaksid avardada pooljuht-muundurite abil taastuenergiatootjate liitmist elektrivõrkudega. Uurimistöö keskendub pooljuhtmuundurite võrku liitmise asjaoludele, millised on seotud vahelduvpingevõrkude pingekuju moonutuste vähendamise. Projekti raames uuritakse täpsustatud tingimusi, kuidas elektri jaotusvõrgu, tarbijate ja taastuenergia-pooljuhtmuundurite koosmõjul võrgupinge moonu-tused kujunevad, samuti millistes piirides on pooljuhtmuundurite väljundvoolu

lainekuju võimalik seadistada selliselt, et sellest tingitud võrgupinge lainekuju moonutused oleksid vähimad.

- **LEEEE20095 "Elektromagnetvälja mõju Rail Baltic raudteetrassi Harju, Rapla ja Pärnu maakonna lõikudes"** (30.09.2020–18.12.2020), Lauri Kütt

2020. aastal viidi läbi Elektiliste Tehnoloogiate Mõõtekeskuse asutamine Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi, Elektrotehnika aluste uurimisgrupi juurde. Allüksuse eesmärk on valdkonna mõõteülesannetes parima kvaliteediga laboratoorse mõõtetevõime läbiviimine ja edasine arendamine. Akrediteerimise esimeses etapis on välja arendatud meetodika ja võimekud olme- ja töökeskkondade elektromagnetväljade mõõtmiseks. Akrediteerimine toimub eeldatavalt 2021. aasta I pooles.

- **Uurimisrühma liikmete koostöö teiste T&A asutuste ja ettevõtetega (sh välisriikidest)**
  - Aalto University School of Electrical Engineering – Prof. Matti Lehtonen, ühine uurimisteema (elektritoite kvaliteet, elektromagnetiline ühilduvus, termoelektrilised elemendid), ühistegevus teaduspublikatsiooni raames, teadusprojektide ettevalmistamine.
  - Dresden University of Technology – Prof. Peter Schegner, Dr. Jan Meyer, ühine uurimisteema (elektritoite kvaliteet, elektromagnetiline ühilduvus), ühistegevus teaduspublikatsiooni raames.
  - Edinburgh University – Dr. Sasa Djokic, ühine uurimisteema (elektritoite kvaliteet, elektromagnetiline ühilduvus), ühistegevus teaduspublikatsiooni raames.
- **Uurimisrühma liikmete olulisemad aruandeaastal ilmunud artiklid**
  1. Iqbal, M. N.; Kütt, L.; Asad, B.; Vaimann, T.; Rassõlkin, A.; Demidova, G. (2020). Time Dependency of Current Harmonics for Switch-Mode Power Supplies. Applied Sciences, 10 (21), #7806.10.3390/app10217806.
  2. Shabbir, N.; Kütt, L.; Jawad, M.; Iqbal, M. N.; Ghahfaroki, P. S. (2020). Forecasting of Energy Consumption and Production Using Recurrent Neural Networks. Advances in Electrical and Electronic Engineering, 18 (3), 190–197. DOI: 10.15598/aeec.v18i3.3597.
  3. Vinnal, T.; Puusepp, H.; Shabbir, N.; Kütt, L.; Iqbal, M. N. (2020). Case Study of Non-linear PV Inverter Devices Attached to the LV Distribution Network. Agronomy Research, 18 (4), 2639–2652. DOI: 10.15159/AR.20.233.
  4. Ahmadiyahangar, R.; Shabbir, N.; Rosin, A.; Kütt, L.; Palu, I.; Fushuan, W. (2020). Flexibility Enhancement for a Power System through Machine-learning based Electricity Demand Prediction. Electric Power Construction, 41 (S1), 38–44.
  5. Shafiq, M.; Kiitam, I.; Kauhaniemi, K.; Taklaja, P.; Kütt, L.; Palu, I. (2020). Performance Comparison of PD Data Acquisition Techniques for Condition Monitoring of Medium Voltage Cables. Energies, 13 (16), #4272. DOI: 10.3390/en13164272.
- **Loetelu uurimisgrupi liikmetest, kes on välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste T&A-ga seotud välisorganisatsioonide liikmed:**
  - Lauri Kütt – IEEE (Elektri- ja Elektroonikainseneride Instituut), liige