

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut, 2016. aasta teadus- ja arendustegevuse aruanne

Struktuuriüksuse struktuur 2017. a (täidab teadusosakond)

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Ivo Palu, ivo.palu@ttu.ee, +372 620 3752

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: professor Mart Tamre**
- **uurimisrühma liikmed:**
 - Maido Hiiemaa, teadur, PhD
 - Tõnu Lehtla, professor,
 - Dmitry Shvarts, teadur, PhD
 - Robert Hudjakov, teadur, PhD
 - Leo Teder, assistent
 - Margus Müür, insener
 - Dhanushka Chamara Liyanage, insener, doktorant
 - Märt Juurma, nooremteadur, doktorant
 - Ahti Põlder, nooremteadur, doktorant
 - Trieu Minh Vu, professor,
 - Artur Loorpuu, tehnik
 - Andres Kiitam, teadur, PhD
 - Tiia Tammaru, teadur
 - Oliver Mets, doktorant
 - Ervin Piigli, doktorant
 - Kristjan Tiimus, doktorant
 - Rivo Öpik, doktorant
 - Dmitri Rõbak, doktorant
- **uurimisrühma teadustöö ülevaade:**

Teadustöö põhisuund on arukate masinate juhtsüsteemid ja –algoritmid, arukate tajurisüsteemide väljatöötamine ja robotsüsteemide rakendused tööstuses ja igapäeva automatiseerimislahendustes. Tegevus on kontsentreeritud tööstuslikele proaktiivsetele süsteemidele ja selliste süsteemide arukale võrkstruktuuri juhtimisele. Pro- ja inter- ja hüperaktiivsüsteemide toimimise testidel kasutatakse mitmeid tajurite ja masinnägemise lahendusi, AI ja süvaõppimise (deep learning) algoritme, mille baasil on arendatud välja uued arukal masinnägemisel põhinevad tööstuslikud juhtsüsteemid ja ka tervisiois kasutatavad lahendused. Kasutatakse mitmeid 3D visualiseerimise, visuaaltaju ja virtuaalreaalsuse meetodikaid. Üheks rakenduseks on olnud jäätmematerjalide detekteerimismeetodite väljaarendamine ning nende rakendamine uute kõrgefektiivsete paberi, plasti ja ehitusjäätmete sorteerimisel. Uuritud meetodites kasutatakse erinevaid elektromagnetkiirguse ja valguse lainespektreid (IR ja UV ning hüperspektraal tehnoloogiad). Väljatöötatud meetodikate puhul on vaatluse all kogu tootmise ja logistika ahela etapid, kus on võimalik uusi arukaid monitooringu ja

detekteerimisrakendusi kasutada. Paralleelselt on käimas teadustööd inimsõbralike ja arukate roboti juhtimisalgoritmide täiustamiseks nii tööstuslahendustes (eriti inim-robot liides arendamine) kui ka vabal maastikul ja siseruumides autonoomsete liikursüsteemide juhtimiseks ning multi-robot süsteemide optimaalseks juhtimiseks (UGV ja UAV koostöö). Erilise tähelepanu all on missiooni/ülesande planeerimine ohukriitilise ja energiamahuka olukorra jaoks ja vastavate lahenduste väljatöötamine. Samuti on fookuses kehade süsteemi dünaamilise käitumise karakteristikute uurimine tänapäeva masinate näitel, samuti selliste süsteemide diagnostika ja monitooring. Saadavaid andmeid kasutatakse masinate süsteemide modelleerimisel ja optimeerimisel ja samuti inimkeha liikumise dünaamika uurimisel mudelite baasil. Uurimistöö lahutamatu osa on arukate sensorite ja täiturite rakendamine masina juhtimise kaugteadlikkuse tõstmiseks ja see on omakorda tihedalt seotud süsteemi mudeli täpsustamisega. Uus süsteem aitab nii täpsustada ja prognoosida ka süsteemi olekut kirjeldavaid andmeid ning täpsustada keskkonna olekut puudutavaid otsustusi. Töö käigus on testitud läbi mitmeid tehnoloogilisi lahendusi just autonoomsete ja hübriidsõidukite valdkonnas, mis võiks tõsta selliste lahenduste kasutamispotentsiaali ja rakendatavust igapäevaelus. Teine suund on hübriidajamite energeetilise efektiivsuse tõstmine uute juhtimisalgoritmide kasutamisega. Lahendustes on kasutusel multimodaalsed liidesed sensorika ja operaatori maksimaalse võimekuse sümbioosi saavutamiseks. Töögrupi poolt on välja töötatud uus ennustava juhtimise (MPC – model predictive control) strateegia HEV seadmetele. MPC on suuteline lahendama optimeerimisprobleeme online režiimis nii lineaarsetes kui ka mittelineaarsetes süsteemides ja MPC on suuteline samuti käsitlema piiranguid lahtise kontuuriga optimaaljuhtimise probleemide puhul. MPC on suuteline leidma reaajalise lahenduse piirangutega ebalineaarsele mudelile. Väljatöötatu võimaldab hübriidsõidukite ja –masinate võimekust oluliselt tõsta. On näidatud, et MPC võimekust on võimalik oluliselt tõsta sobivad ennestusvahemikud ja kaalude väärtused. MPC kontrollid võivad toimida online režiimis nii optimaalse võimsuse kui ka momentide süsteemi juhtelemendina. Väljatöötatud MPC skeemid tagavad süsteemi robustsuse ka piirangute korral.

- **Short description of research:**

The research is focused on control of smart machines, smart sensing systems and robotic systems for production and service automation. Activity is concentrated on proactive industrial hardware systems and on smart control capable to work in networked systems. Proactive system behavior have been investigated on the example of the several different sensing principles focusing on the machine vision and AI applications for the new smart vision applications for the industrial control and healthcare. 3D visualization, visual perception and virtual reality approaches for smart machines and technology applications have been investigated. One of the focus has been methodologies for waste materials detection and respective applications to develop high efficiency new waste sorting technologies for paper, plastic and construction waste materials. Different electromagnetic and light spectra have been used incl IR and UV and new hyperspectral technologies were implemented for materials detection. Different logistics and transportation stages in whole production chain were also investigated to introduce new smart monitoring technologies utilizing today's mobile and sustainability technologies. In parallel to abovementioned reconfigurable robot control and smart algorithms have been investigated and new solutions proposed both for industrial applications (especially human-machine high effective interaction and control) and for unmanned autonomous control of vehicular systems for open air terrain and indoor industrial applications, incl. multy-robot collaboration (UGV and UAV case) where the control optimization and mission planning from the safety critical and energy consumption viewpoint is of interest. Another focus is in the research of multibody system dynamics, behavior diagnostics and monitoring targeted on modelling, and optimization of dynamic systems both machines (vehicles and technology machines) and human body dynamic performance characteristics

using model based approach. The development of intelligent sensors and actuators is an inherent part and important to enhance the remote awareness for the machine operators and is tightly connected with the modeling approach. The new systems help to interpret the sensing data, to improve the judgments about the remote environments and give required feedback to adjust the system level models. Several innovative technologies have been investigated to enhance autonomous and/or hybrid vehicle technology and improve the potential of this technology applicability in everyday life. The new technology focus is in improving autonomous driving and especially complicated maneuvering capabilities of future cars and in optimization of hybrid drive assemblies and their components to reduce energy consumption. The other focus in this direction is optimization of the energy use for advanced hybrid drives using optimized control algorithms. The technology is combined with multimodal interfaces to provide multiple sensory channels and enhance the controller and operator performance symbiosis. As a main type of hybrid vehicle, HEVs (hybrid electric vehicle) have achieved better fuel economy and performances. Modern HEV can also improve the efficiency by using the energy from braking and bring other potential environmental benefits. The electric vehicle charging stations can use the low cost and green energy sources from GRID, wind and solar. The new modeling and control strategy for HEV using MPC (model predictive control) has been developed. Reason for using this new control strategy is that, firstly, MPC can solve the optimization problems online with both linear and nonlinear systems, and secondly, MPC can deal with the constraints in the open-loop optimal control problems. MPC can find real-time solution for general constrained nonlinear models over a finite predictive horizon length. Therefore, the performances of the hybrid vehicle can be significantly improved. The MPC performance can also be considerably improved when we select some appropriate prediction lengths and the values of the weighting values. MPC controller can provide online the optimal control actions subject to the input voltages and output torque constraints. The MPC modified schemes can improve the system performance robustness if some output torque constraints can be softened or turned into the constrained regions.

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

- VA621 Uued standardid ja jälgitavus radiomeetrias 01.10.2013 30.09.2016
Mart Tamre. Tallinna Tehnikaülikool 56 775,50 EUR
- "Researcher Mobility Grant (RMG) EXL01-RMG1 Single-photon sources for quantum technologies (1.12.2015–31.05.2016)", Klodian Dhoska, Tallinna Tehnikaülikool

- **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

- **uurimisrühma liikmete kuni 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit (ETISE klassifikaator 1.1, erandjuhul 3.1):**

1. Development of Anti-lock Braking System (ABS) for Vehicles Braking. Trieu Minh Vu; Oamen Godwin; Kristina Vassiljeva; Leo Teder; 2016. Central European Journal of Engineering.
2. Vu, Trieu Minh; Tamre, Mart; Musalimov, Victor; Valeri, Altunin. (2015). Development of a Wireless Sensor Network Combining MATLAB and Embedded Microcontrollers. Sensor Letters, 13 (12), 1–6.

3. Managing conflict in organisational change. Kiitam, Andres; McLay, Allan; Pilli, Tõnu. 2016. International Journal of Agile Systems and Management.

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

- Mart Tamre, professor

2016–... Eesti Kaitsetööstuse Liit - TTÜ esindaja

2000–... EAS ekspert

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

2011–2016 ASME liige

2010–... TTÜ esindaja Robotics Industries Association organisatsioonis

2005–... AUVSI liige

- Andres Kiitam, emeriitprofessor, teadur

2014–... Kvaliteedispetsialisti ja kvaliteedijuhi kutsete kutsekomisjoni liige

2006–... Walter Masing Award (Eesti-Saksa ühisauhind) žürii liige

2002–... Eesti Juhtimiskvaliteedi Auhinna žürii esimees

1997–... PHARE, PRAQ III, LEONARDO, TEMPUS, AEF jm projektide ekspert/juhtekspert

1995–... Eesti masina- ja aparaaditööstuse kvaliteeditagamise nõukogu liige

1992–... Eesti Süsteemiinseneride Seltsi liige

1991–... Eesti Kvaliteediühingu liige

1997–... MCB Literati Club (UK, ekspertide ühendus) liige

- Tiia Tammaru, teadur

2009–... Eesti Kvaliteediühing, juhatuse esimees

2007–... Konkursi Talinna Vastutustundlik Ettevõtja hindamiskomisjoni liige

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

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

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

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

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

2015–2016 ASQ (American Society for Quality) Global State of Quality 2, globaalse kvaliteedialase uuringu nõuandva paneeli ekspert

- **Uurimisgrupis osalenud järeldoktorite ning TTÜ-st järeldoktorantuuri 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).

Klodian Dhoska - "Researcher Mobility Grant (RMG) EXL01-RMG1 Single-photon sources for quantum technologies (1.12.2015–31.05.2016)"

- **uurimisrühma nimetus: Mikrovõrgud ja metrooloogia**
- **uurimisrühma nimetus inglise keeles: Microgrids and metrology**
- **uurimisrühma juhi nimi, ametikoht:** Argo Rosin, Vanemteadur/teadusprodekaan
- **uurimisrühma liikmed:**
 - Professorid: Toomas Kübarsepp, Helmuth Biechl (Hochschule Kempten, Saksamaa);
 - Dotsendid: Madis Lehtla, Elmo Pettai, Edi Kulderknup,
 - Elektrivalgustuse labori juhataja/dekaan: Arvo Oorn
 - Teadurid: Toomas Vinnal, Andrei Pokatilov, Andres Kiitam, Tiia Tammaru, Taavi Möller
 - Doktorandid: Imre Drovtar, Denis Lebedev, Semih Hürmeydan, Ahmad Rahmoun, Andreas Christian Armstorfer, Jorge Luis Helguero Cruz, Raivo Melsas, Marko Kuusik, Toivo Varjas, Kaija Vill, Urmas Raudsaar, Aron Kuhi-Thalfeldt, Klodian Dhoska, Martin Parker, Toivo Varjas

- **uurimisrühma teadustöö ülevaade:**
 - Lühikirjeldus: Uurimisrühma tegevus hõlmab (1) elektrivarustuse süsteemide ja mikrovõrkudega seotud uurimis- ja arendustööd tööstus- ja teenindussektorile ning kodumajapidamistele; (2) energiatarbimise juhtimisega ja energiasalvestite rakendamisega seotud uurimistööd taastuenergiaallikatega mikrovõrkudes; (3) elektrivalgustuse ja (4) metrooloogia- ja mõõtetehnikaalane uurimistöö.
 - Ühiskondlik mõjukus: suurem energia-, kulutõhusus, töökindlus ja paindlikkus elektrivarustuses, elektri- ja valgustuspaigaldistes; faasinihke ja fotodetektorite omaduste mõõtemetodite parendamine

- **Short description of research:**
 - Overview: Main research object: Studies of the research group are focused on (1) electricity supply of enterprises, buildings and home users, incl. electricity efficiency, power quality, reliability; (2) demand side management and energy flow research in networks with alternative energy sources and energy storages; (3) research of electrical lighting and (4) metrology and measurement science.
 - Social influence: higher energy/cost efficiency, reliability, and flexibility of power supply systems, electrical installations, lighting systems; improvement of phase difference and semiconductor photodetector measurement methods.

- **Olulisemad teadustulemused:**
 - Tarbimise juhtimise võimaluste uurimine ning rakendatavus pingereguleerimise teenusteks Eestis (Imre Drovitari doktoritöö);
 - uute juhtimismeetodite süntees teadusgrandi (SF0140016s11) "Aktiivsete elektrijaotusvõrkude muundurite topoloogiad ja juhtimismeetodid" raames
 - Alternatiivsete tehniliste lahenduste uurimine pingeprobleemide lahendamiseks madalpingevõrgus (LEP16048), madalpingefiidrite kaitserakendamise analüüs madalpingevõrgus ning uute meetmete väljatöötamine ohutuse taseme tagamiseks
 - Teadmispõhise ehituse tippkeskuse raames nullenergiahoonete ja -piirkondade energiavoogude analüüs ja optimeerimine (TAR16012).
 - Mõõtemetodite uurimine fotodetektorite toimimise iseloomustamiseks 3D-koordinaatmõõtemasinaga, mõõteskeemide arendus ja rakendus. (Klodian Dhoska doktoritöö).
 - Räni elektro-optiliste omaduste uurimine ja kvantsaagise simuleerimine nähtava kiirguse täppismõõtmisteks (VA621).

- **The main research achievements:**
 - Research of Demand Side Management Possibilities and Viability for Voltage Support Services in Estonia (PhD thesis of Imre Droftar);
 - design of new control methods in frame of scientific grant (SF0140016s11) „New Converter Topologies and Control Methods for Electronic Power Distribution Networks“
 - Research of innovative technological solutions for solving the voltage problems in low voltage grid (LEP16048); analyses of the situation with LV fidere tripping in distribution grid and development of new measures for improving safety level ().
 - Optimization of power flows in Zero energy and resource efficient smart buildings and districts (TAR16012)
 - Study on measurement methods with 3D Coordinate Measuring Machine and improvement of characterization set-up for detector performance. (PhD thesis of Klodian Dhoska).
 - Investigation of electro-optical parameters of Silicon and simulation of quantum gain for high-accuracy measurements of visible light (VA621).

- **Koostöö:**
 kõrgkooliga Hochschule Kempten'iga energiasalvestite juhtimis- ja diagnostikamudelite uurimine; Elektrilevi OÜ-ga alternatiivsete tehniliste lahenduste uurimine pingeprobleemide lahendamiseks madalpingevõrgus ning madalpingefiidrite kaitserakendumise analüüs ohutusmeetmete tõhustamiseks; metroloogiainstituudiga Physikalisch-Technische Bundesanstalt doktorandi stažeerimine madalate footonvoogude täppismõõtesüsteemide arendusel ja katsetustel.

- **Cooperation:**
 Control and diagnostic models for energy storages with Prof. Helmut Biechl from Hochschule Kempten; with Estonian DSO Elektrilevi research of voltage problems and new technological solutions for LV grid, also reasearch and analyses of the LV fidere tripping in distribution grid and development of new measures for improving safety level; development and testing of testbed for high-accuracy measurements of low photon fluxes with Physikalisch-Technische Bundesanstalt (exchange of doctoral student).

- **Olulisemad artiklid:**
 1. Droftar, I.; Rosin, A.; Kilter, J. (2016). Demand Side Management in Small Power Systems – The Estonian Case Study. *Elektronika ir Elektrotehnika*, 22 (3), 13–19, 10.5755/j01.eie.22.3.15308.
 2. Pokatilov, A.; Kübarsepp, T.; Vabson, V. (2016). Effect of Keysight 3458A Jitter on Precision of Phase Difference Measurement. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 65 (11), 2595–2600.
 3. Dhoska, K.; Hofer, H.; Rodiek, B.; López, M.; Kübarsepp, T., Kück, S. (2016). Improvement of the detection efficiency calibration and homogeneity measurement of Si-SPAD detectors. *SpringerPlus*, 5, Article Number: 2065 1, 10.1186/s40064-016-3735-7.
 4. Rahmoun, A.; Armstorfer, A.; Helguero, J.; Biechl, H., Rosin, A. (2016). Mathematical modeling and dynamic behavior of a Lithium-Ion battery system for microgrid application. *Proceedings of the IEEE International Energy Conference (EnergyCon): 2016 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON), Leuven, Belgium, 4-8 April 2016*. Leuven, Belgium: IEEE, 1–6.

- **Loetelu struktuuriüksuse töötajatest, kes on välisakadeemiade või muude oluliste T&A- ga seotud välisorganisatsioonide liikmed:**

- Toomas Kübarsepp, professor, Mehhatroonikainstituut, kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool
 - EURAMET e.V. Eesti Vabariigi delegaat
 - EURAMET/EMPIR täitevkomitee liige
- Argo Rosin, Vanemteadur, Elektrotehnika instituut
 - IEEE member
 - IEEE Industrial Electronics Society (IES) liige
 - IEEE Power & Energy Society (PES) liige
 - Konverentsi RTUCON 2016 teaduskomitee liige
- Andrei Pokatilov, teadur, Mehhatroonikainstituut, kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool,
 - EURAMET elektri ja magnetismi tehnilise komitee EV esindaja

- **Loetelu struktuuriüksuse töötajatest, kes on riiklike T&A-ga seotud otsustuskogude liikmed (näidates töötaja nime, allüksuse ja ametikoha ning otsustuskogu nimetuse).**

- Toomas Kübarsepp, professor, Mehhatroonikainstituut, kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool
 - EV majandus- ja kommunikatsiooniministeeriumi metroloogianõukogu liige
 - EVS nanotehnoloogia tehnilise komitee TK 29 liige
- Arvo Orn, Dekaan, Valgustehnika labori juhataja
 - Tallinna Tehnikaülikooli nõukogu liige;
 - Tallinna Tehnikaülikooli akadeemilise komisjoni liige
 - Eesti Moritz Hermann Jacobi Seltsi liige
 - KIK tänavavalgustuse juhtgrupi liige
 - Vormsi valla majanduskomisjoni liige
- Argo Rosin, Vanemteadur, Elektrotehnika instituut, Elektriajamite ja elektrivarustuse õppetool
 - Tallinna Tehnikaülikooli nõukogu liige;
 - Eesti Inseneride Liidu liige;
 - Eesti Standardikeskuse tehnilise komitee "Tarkvõrk" liige;
 - Eesti tööstuspoliitika komisjoni liige, Majandus-ja Kommunikatsiooniministeerium;
 - Energeetika ja tööstuse tööühma liige arengudokumendi "Kliimapolitiitika põhialused aastani 2050" koostamisel, Keskkonnaministeerium;
 - Ressursitõhususe meetme ekspertgrupi liige, Keskkonnaministeerium
 - IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) liige
 - Eesti Transpordi ja Teede Ühingu liige
 - Eesti Moritz Hermann Jacobi Seltsi liige
- Toivo Varjas, Doktorant, Elektrotehnika instituut
 - Eesti Standardikeskuse tehnilise komitee "Valgustehnika" TK-24 liige
 - Eesti Moritz Hermann Jacobi Seltsi liige
- Raivo Teemets, Dotsent, Elektrotehnika instituut

- Eesti Standardikeskuse tehnilise komitee "Valgustehnika" TK-24 liige
- Eesti Standardikeskuse tehnilise komitee "Madalpinge" TK-17 liige
- Eesti Standardikeskuse tehnilise komitee "Kõrgepinge" TK-19 liige
- Eesti Standardikeskuse tehnilise komitee "Elektromagnetiline ühilduvus" TK-44 liige
- Eesti Moritz Hermann Jacobi Seltsi liige

- **uurimisrühma nimetus: Elektrimasinate uurimisrühm**
- **uurimisrühma nimetus inglise keeles: Electrical Machines Research Group**
- **uurimisrühma juhi nimi, ametikoht:** Ants Kallaste, vanemteadur

- **uurimisrühma liikmed:**

- Anouar Belahcen, professor
- Toomas Vaimann, vanemteadur, PhD
- Anton Rassõlkin, teadur, PhD
- Svetlana Orlova, teadur (järel doktorant), PhD
- Levon Gevorgov, nooremteadur (doktorant)
- Payam Shams Ghahfarokhi, doktorant
- Kamil Daukaev, doktorant
- Oleg Kudrjavitsev, doktorant
- Heigo Mäemuru, insener (magistrant)

- **Teadustöö lühikirjeldus:**

Elektrimasinate uurimisrühma tegevusse kuulub elektrimasinate, sealhulgas tuulegeneraatorite, analüüs, projekteerimine, katsetamine, arendamine jms. Samuti tegeleb töörühm elektrimasinate diagnostikaga, püsomagnetmaterjalide rakendamisega elektrimasinates ning elektrimasinate ja ajamisüsteemide optimeerimismetodoloogia uurimise ja parendamisega.

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

- **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 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 mõjukoht:**

Uurimisgrupi tegevuse ühiskondlik mõjukoht on eelkõige seotud keskkonna probleemide lahendamise ja arendamisega. Uurimisgrupp tegeleb suurel määral tuulegeneraatorite arendamisega, katsetamisega ja projekteerimisega, millega luuakse võimalus keskkonda säästva energialiigi arenguks ja laialdasemaks kasutuselevõtuks.

- **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 wind generator research, including developing, testing and designing of the generators, which supports the development and wider use of environmentally friendly energy sources.

- **2016. aasta olulisemad märkimist vääri vad teadustulemused:**

15.07.2016 väljastati rahvusvaheline patent leiutisele “Püsomagnetitega sünkroonreluktansmootor”. Omanik: Tallinna Tehnikaülikool. Uurimisgrupi liikmetest autorid: Anouar Belahcen, Ants Kallaste, Toomas Vaimann. Prioriteedi number: P201400013.

Projekti PUTJD134 käigus tõestati võimalus mobiiltelefoni kasutamiseks elektrimasinate preventiivse diagnostika läbiviimisel. Tulemused on publitseerimisel. Projekti vastutav täitja: Toomas Vaimann.

- **Main research results in 2016:**

International patent was issued on 15th July 2016 for the invention “Permanent Magnet Assisted Synchronous Reluctance Motor”. Owner: Tallinn University of Technology. Authors related to the research group: Anouar Belahcen, Ants Kallaste, and Toomas Vaimann. Priority number: P201400013.

A possibility of using mobile phones for preliminary condition monitoring of electrical machines was proven under research project PUTJD134. Results are being published. Principal Investigator: Toomas Vaimann.

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

- B19 – Elektrimootorajamite projekteerimis- ja optimeerimismetodoloogia, 01.05.2013-30.04.2016, Anouar Belahcen
- Lep10025 – Püsomagnetgeneraatori arvutusliku mudeli analüüs ja täiustamine, 08.02.2010-31.12.2016, Ants Kallaste
- PUT1260 – Elutsükli arvestav elektrimootorajamite optimeerimismetodoloogia, 01.01.2016-31.12.2019, Anouar Belahcen
- PUTJD134 – Elektrimasinate rikketuvastuse pöördprobleemide lahendamine, 01.03.2015-28.02.2017, Toomas Vaimann

- **Koostöö T&A asutustega:**

- Pihkva Riiklik Ülikool, Venemaa – ühispublikatsioonid, külalisloengud, doktorandi kaasjuhendamine, doktorantide mobiilsus
- Aalto Ülikool, Soome – ühispublikatsioonid, järeldoktorantuur
- Füüsikalise Energeetika Instituut, Läti – ühispublikatsioonid, järeldoktorantuur
- Lääne-Böömimaa Ülikool, Tšehhi – ühispublikatsioonid, külalisloengud
- Eesti Maaülikool – ühispublikatsioonid
- Lappeenranta Tehnikaülikool, Soome – ühispublikatsioonid
- Riia Tehnikaülikool, Läti – järeldoktorantuur

- **Koostöö ettevõtetega:**

- Goliath Wind OÜ – Lep10025 täitmine
- If P&C Insurance AS – maasoojuspumpade alased ekspertiisid
- Global4Wind OÜ – tuulegeneraatori analüüs
- TS Energia OÜ – tuulegeneraatori analüüs
- Skeleton Technologies OÜ – ülikondensaatorite kasutamise võimaluste uurimine sadamakraanade ajamisüsteemides
- Fred Kotkas OÜ – elektrimasinate stendi rakendus kunstiinstallatsiooniks

- **Uurimisrühma liikmete kuni 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit (ETISE klassifikaator 1.1, erandjuhul 3.1):**
 1. Lindh, P.M.; Petrov, I.; Semken, R.S.; Niemelä, M.; Pyrhönen, J.J.; Aarniovuori, L.; Vaimann, T.; Kallaste, A. (2016). Direct Liquid Cooling in Low-Power Electrical Machines: Proof-of-Concept. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 31 (4), 1257–1266.
 2. Vaimann, T.; Rassõlkin, A.; Kallaste, A.; Märss, M. (2016). Feasibility study of a local power supply system for sparsely populated areas in Estonia. *Agronomy Research*, 14 (5), 1720–1729.
 3. Orlova, S.; Rassõlkin, A.; Kallaste, A.; Vaimann, T.; Belahcen, A. (2016). Lifecycle analysis of different motors from the standpoint of environmental impact. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 53 (6), 37–46.

- **Loetelu uurimisgrupi liikmetest, kes on välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste T&A-ga seotud välisorganisatsioonide liikmed:**
 - Anouar Belahcen – IEEE (Elektri- ja Elektroonikainseneride Instituut), vanemliige
 - Toomas Vaimann – IEEE (Elektri- ja Elektroonikainseneride Instituut), liige
 - Ants Kallaste – IEEE (Elektri- ja Elektroonikainseneride Instituut), liige
 - Anton Rassõlkin – IEEE (Elektri- ja Elektroonikainseneride Instituut), liige

- **Sisse tulnud järeldoktorandid:**
 - Baiba Ose-Zala, Läti, Riia Tehnikaülikool, 01.03.2016–31.12.2016, PUT1260
 - Svetlana Orlova, Läti, Füüsikalise Energeetika Instituut, 01.04.2016–31.12.2016, PUT1260

- **Välja läinud järeldoktorandid:**
 - Toomas Vaimann, Soome, Aalto Ülikool, 01.01.2015-28.02.2017, PUTJD134, Aalto Ülikooli rahastus
 - Ants Kallaste, Soome, Aalto Ülikool, 15.02.2016–01.09.2016, Aalto Ülikooli rahastus

- **Muu informatsioon**
- **Võrgustikud, komisjonid:**
 - Anton Rassõlkin – Koostöövõrgustik CUCEE (Cooperation of the Universities in Central and East Europe), TTÜ poolne koordinaator
 - Toomas Vaimann – Eesti Teadusagentuuri riikliku õpilaste teadustööde konkursi hindamiskomisjon, liige
- **Rahvusvahelised kaasjuhendamised:**

Toomas Vaimann – doktorandi kaasjuhendamine Pihkva Riiklikus Ülikoolis (Venemaa); doktorant Aleksei Petrov, (juh) Igor Plokhov; Toomas Vaimann, Asünkroonmootori dünaamika diagnostiline mudel, (Диагностическая модель динамики асинхронного электродвигателя).
- **Rahvusvaheliste konverentside korraldus:**

Ants Kallaste, Toomas Vaimann, Anton Rassõlkin - Rahvusvahelise teaduskonverentsi "*Electric Power Quality and Supply Reliability 2016*" (PQ2016) organiseeriva töörühma liikmed.
- **Külalisloengud:**
 - Anton Rassõlkin – külalisloeng Pihkva Riiklikus Ülikoolis (Venemaa) "Elektrisõidukid ja elektriautod infrastruktuuri rakendamine Eestis" 24.05.2016 ja 15.11.2016.
 - Anton Rassõlkin – külalisloeng Pihkva Riiklikus Ülikoolis (Venemaa) "Energeetikast Eestis" 24.05.2016 ja 15.11.2016.

- Toomas Vaimann – külalisloeng Lääne-Böömimaa Ülikoolis (Tšehhi), „Elektrimasinate rikked ja diagnostika“, 11.10.2016
- Toomas Vaimann – külalisloeng Pihkva Riiklikus Ülikoolis (Venemaa) „Elektrimasinate rikked ja diagnostika“, 15.11.2016

- **uurimisrühma nimetus: Jõuelektronika uurimisrühm**
- **uurimisrühma nimetus inglise keeles: Power Electronics Group**
- **uurimisrühma juhi nimi, ametikoht: Dmitri Vinnikov, juhtivateadur**
- **uurimisrühma liikmed:**
 - Indrek Roasto, vanemteadur
 - Tanel Jalakas, vanemteadur
 - Andrei Blinov, vanemteadur
 - Oleksandr Husev, vanemteadur
 - Janis Zakis, vanemteadur
 - Frede Blaabjerg, külalisteadur
 - Jacek Rabkowski, külalisteadur
 - Andrii Chub, teadur
 - Elizaveta Liivik, teadur
 - Roman Kosenko, nooremteadur, doktorant
 - Elena Makovenko, doktorant

- **uurimisrühma teadustöö ülevaade:**

Teadusgrupi uurimistöö on suunatud uudsete taastuveneergetikas, transpordis ja sideseadmetes kasutatavate jõupooljuhtmuundurite arendamisele ja katselisele uurimisele. Põhilisteks arendussuundadeks on uute skeemilahenduste süntees, juhtimis- ja kaitselagoritmide loomine ning muundurite projekteerimismetoodikate koostamine, tõstmaks jõuelektroniliste seadmete töökindlust, kasutegurit ning võimsustihedust. Muu arendustegevus on suunatud mikro- ja tarkvõrkude: juhtimis, kontrolli, energiavoogude suunamise ja sidealgoritmide arendamisesse.

Jõuelektronika uurimisgrupp on impedants-tüüpi allikaga muundurite (ICS) arenduse eesliinil. Eriti palju on panustatud taastuveneergetikas rakendust leidvate galvaaniliselt isoleeritud impedants-tüüpi allikaga alalispingemuundurite arendusse. Aastal 2016 pakuti välja ning prooviti eksperimentaalselt ka järgi mitmeid uusi impedants-tüüpi allikaga alalispingemuundurite skeemilahendusi. Näiteks võib tuua: ühe lülituselemendiga, galvaaniliselt isoleeritud, kvaasi impedants allikaga, pinget tõstva ning madaldava muunduri skeemilahenduse ja mitmeastmelise kvaasi impedants allikaga resonantsmuunduri topoloogia. Uurimistöö tulemused on kokku võetud artiklis: "A Review of Galvanically Isolated Impedance-Source DC-DC Converters" in IEEE Transactions on Power Electronics. Antud publikatsioonis on analüüsitud kõiki impedantsallikaga galvaaniliselt isoleeritud alalispingemuundurite skeemilahendusi. Välja on toodud kirjeldatud seadmete eelised, puudused ning edasise arendamise võimalused.

Uurimisgrupi liikmed on oma panuse andnud ka mitmetasandiliste impedantsallikaga vaheldite arendamisesse. Pakuti välja ning katsetati kolmetasandilise neutraaliühtlustusega kvaasi-impedants tüüpi allikaga ja uudse modulatsioonitüübiga vaheldit (3L-NPC-qZSI). Antud skeemilahendust rakendati katseliselt päikesepaneele teenindavas muundusseadmes, kus oli võimalik näidata suurepärasest pingest ja koormuse stabiliseerimisest, püsivat sisendvoolu ja hea kvaliteediga väljundpinget.

Aastal 2016 loodi kaks uut skeemilahendust: mitmetasandiline vähendatud lülituselementide arvuga kvaasi-impedants (qZ-tüüpi) tüüpi allikaga vaheldi ja mitmetasandiline T-tüüpi allikaga vaheldi.

Jõuelektronika uurimisgrupp lööb aktiivselt kaasa ka 17 Euroopa riigi uue põlvkonna neutronallika loomise ühisprojekti (European Spallation Source), (ESS). ESS-ist saab valmimisel maailma võimsaim neutronite allikas koos ainulaadse laborikompleksiga mitmesuguste tipptasemel teadusuuringute läbiviimiseks.

2016 aasta töö tulemuste põhjal on koostatud rohkem kui 30 teadusartiklit. Positiivset vastukaja on saadud nii uurimisasutustest kui ka tööstusettevõtetest mitmel pool maailmas. Uudsete lahenduste kaitseks anti sisse üks USA, üks Euroopa Liidu ning üks Läti patenditaotlus. Ühte patenti taotletakse koostöös Hispaania kolleegidega.

- **Short description of research:**

Research in the Group is focused on the development and experimental validation of new state of the art power electronic converters for such demanding applications as renewable energy systems, rolling stock, automotive and telecom. Key research directions include synthesis of new converter topologies, development of special control and protection algorithms, implementation of new components and elaboration of design guidelines to further improve the efficiency, power density, reliability and flexibility of the on-market power electronic converters. Other research activities are concentrated on the development of power flow control algorithms and new supervision, fault detection, protection and communication methods for the electronic power distribution grids (Micro- and SmartGrids).

Power Electronics Group of TUT is one of the frontiers of the latest advances in the topic of impedance-source converters (ISC), especially, in the field of impedance-source (IS) galvanically isolated DC-DC converters for renewable energy applications. In 2016 they have proposed and experimentally validated many novel IS DC-DC converter topologies such as single-switch IS galvanically isolated step-up DC-DC converter, multi-mode quasi-Z-source series resonant DC-DC converter, high-performance quasi-Z-source DC-DC converter with reconfigurable buck-boost switching stage and topology-morphing control, etc. To summarize the research findings in this field the group members have published a 21-page review paper "A Review of Galvanically Isolated Impedance-Source DC-DC Converters" in IEEE Transactions on Power Electronics. In this paper, all the proposed topologies of the IS galvanically isolated DC-DC converters were analyzed and classified. The proposed classification reveals advantages and disadvantages as well as a wide space for further research in the ISC topic. Moreover, the group members have also significantly contributed to the development of the multilevel IS inverters. They proposed and experimentally validated the novel topology of the three-level neutral point clamped quasi-Z-source inverter (3L-NPC-qZSI) with advanced boost modulation technique. This topology was experimentally proven in photovoltaic applications, where it demonstrated excellent input voltage and load regulation capability, continuous input current and enhanced output voltage quality. In 2016, the multilevel IS inverters family was further extended by two novel topologies proposed by the group members: multilevel quasi-Z-source inverter with reduced switch count and multilevel T-source inverter.

Power Electronics Group is also actively involved in the R&D activities of the European Spallation Source (ESS), which is a joint project involving 17 European countries, including Estonia, aimed to build and operate next-generation research infrastructure for using neutrons to conduct research on materials. The ESS will be the world's most powerful neutron radiation source, more than 100 times greater than other similar sources.

The research findings of the group in 2016 were disseminated in more than 30 research papers and have received an extremely positive feedback from research institutions and industrial companies all around the world. Driven by the positive research results the group members have filed one USA, one European, one Latvian and one joint Estonian-Spanish patent application.

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

- SF0140016s11 "Aktiivsete elektrijaotusvõrkude muundurite topoloogiad ja juhtimismeetodid" (vastutav täitja Dmitri Vinnikov)
- Lep16004 "Research and Development of Advanced Control and Protection Algorithms for Photovoltaic Module Integrated Converters" (vastutav täitja Dmitri Vinnikov)
- Lep16005 "Research, Development and Optimization of the Next-Generation Photovoltaic Module Integrated Converters" (vastutav täitja Dmitri Vinnikov)
- TAR16012 "Teadmistepõhise ehituse tippkeskus" (vastutav täitja Dmitri Vinnikov).
- VEU15033 "COST Action TD1406-Innovation in Intelligent Management of Heritage Buildings (i2MHB)", (vastutav täitja Dmitri Vinnikov).
- VA16021 "Power Electronic Transformer - an Energy Router for Active Distribution Grids", (vastutav täitja Dmitri Vinnikov).
- PUT744 "Pehmelülitusega galvaaniliselt isoleeritud alalispingemuundurite uus perekond", (vastutav täitja Andrei Blinov).
- PUT633 "Uued tehnilised meetodid energiakvaliteedi tõstmiseks energiatootmise hajasüsteemides" (vastutav täitja Oleksandr Husev).

- **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 koostötulemused olid: ühisartiklid, teadustulemuste ja taristu ühiskasutus, teadurite lähetused, konverentsid, seminarid ja töötoad. Lisaks eelpool mainitud asutustele toimus hea koostöö ka TTÜ Thomas Johann Seebecki nimelise elektroonikainstituudiga (prof. Toomas Rang) ja firmaga Clifton. Ülikondensaatoreid uuriti koos firmaga Skeleton Tech.

Parimad tulemused saavutati koostöös Eesti firmadega 4Energia, Ubik Solutions ja MyWind, kus suudeti teadustulemusi rakendada uutes innovatiivsetes toodetes. Koos ettevõttega Ubik Solutions arendati välja väikese ja keskmise võimsusega päikese-elektrijaamades kasutatav jõupooljuht- muundustehnoloogia OPTIVERTER®. OPTIVERTER® on hübriidne skeemilahendus, ühendades endas nii päikesepaneeli teenindavate mikromuundurite kui ka päikesepaneelide optimeerijate parimad omadused: varjutuskindel maksimaalse võimsuspunkti järgimine, galvaaniline isolatsioon, otsene ühilduvus elektrivõrguga, muundusseadme, päikesepaneeli ja energiatoodangu monitoorimine, lihtne paigaldus ning süsteemi skaleeritavus.

- **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 TUT (prof. Toomas Rang) and industrial company Clifton. Joint activities in the field of ultracapacitors were initiated with Estonian company Skeleton Tech.

Moreover, the outstanding results were obtained in cooperation with Estonian companies 4Energia, Ubik Solutions and My!Wind that have implemented the obtained scientific and practical results in their innovative products. For example, in cooperation with Ubik Solutions the group members have developed and brought to market the revolutionary power conversion technology for residential and small-to-medium commercial photovoltaic installations, 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.

- **uurimisrühma liikmete kuni 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit (ETISE klassifikaator 1.1, erandjuhul 3.1)**

1. Chub, A.; Vinnikov, D.; Blaabjerg, F.; Peng, F. (2016). A Review of Galvanically Isolated Impedance-Source DC–DC Converters. IEEE Transactions on Power Electronics, 31 (4), 2808–2828, 10.1109/TPEL.2015.2453128.
2. Husev, O.; Strzelecki, R.; Blaabjerg, F.; Chopyk, V.; Vinnikov, D. (2016). Novel Family of Single-Phase Modified Impedance-Source Buck-Boost Multilevel Inverters With Reduced Switch Count. IEEE Transactions on Power Electronics, 31 (11), 7580–7591, 10.1109/TPEL.2016.2569535.
3. Husev, O.; Blaabjerg, F.; Roncero-Clemente, C.; Romero-Cadaval, E.; Vinnikov, D.; Siwakoti, Y.P.; Strzelecki, R. (2016). Comparison of Impedance-Source Networks for Two and Multilevel Buck–Boost Inverter Applications. IEEE Transactions on Power Electronics, 31 (11), 7564 –7579 , 10.1109/TPEL.2016.2569437.

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

Dmitri Vinnikov, Audoktor, Chernihivi Riiklik Tehnikaülikool (Ukraina, 2016)

- **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 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).

- Dmitri Vinnikov, IEEE Senior Member
- 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 järel doktorit nime, päritolumaa ja asutuse, järel doktorantuuri perioodi ning meetme, mille alusel järel doktorit rahastatakse).

Andrei Blinov, järel doktorantuur Rootsi KTH Tehnikaülikoolis

- **uurimisrühma nimetus: Kõrgepinge**
- **uurimisrühma nimetus inglise keeles: High-Voltage**
- **uurimisrühma juhi nimi, ametikoht: Paul Taklaja, vanemteadur**
- **uurimisrühma liikmed:**

- professor Ivo Palu
- assistent, doktor Jaan Niitsoo,
- nooremteadur, doktorant Sambeet Mishra, Lauri Ulm, Aron Kuhi-Thalfeldt
- insener, magistrant Ivar Kiitam

- **uurimisrühma teadustöö ülevaade:**

Uurimisgrupi eesmärk on uurida kõrgepinge isolatsioonimaterjale ja kõrge pinge ning suure elektriväljatugevuse mõju elektriseadmetele. Keskendutakse isolatsiooni uurimisele ja isolaatorite 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 püütakse anda hinnang töökindlusele ja seadmete jääkressursile mõõtes erinevaid keskkonna ja materjali omadusi.

- **Short description of research:**

Research of the High Voltage research group 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.

- **olulisemad teadustulemused:**

- Ivo Palu juhitud PUT533 "Uute elektritootmismustrite mõju kõrgepingeseadmete ja kaablite isolatsioonile"; Lep15089 "Võrgustandardi (0,4-20 kV võrgustandard - 20 kV õhuliinid) koostamine"; Lep16039 "Defektide ja rikete seoste analüüs jaotusvõrgus"
- Paul Taklaja juhitud Lep15115 "Kaetud keskpinge õhuliinijuhtmete uuring"; Lep15108 "Osalahenduste piirmäärade rakenduslik analüüs"; Lep16105 "Vananevate juhtmete füüsikalised omadused – II etapp"

- **The main research achievements:**

- Ivo Palu principal investigator PUT533 „Impact of new types of electricity generating patterns to high voltage equipment and cable insulations“; Lep1589 “Preparation of Grid code (0,4-20 kV grid code - 20 kV overhead lines)“; Lep16039 “Analysis of the relationship between the defects and failures in distribution grid“

- Paul Taklaja principal investigator Lep15115 “Analysis of Covered Conductors of Medium Voltage Overhead Lines”; Lep15108 “Applied analysis of partial discharge marginal rates in medium voltage underground cable lines”; Lep16105 “The physical characteristics of aging overhead line conductors - Phase II”
- **Koostöö:** Aalto ülikool, Nordkap, Elering, Elektrilevi
- **Cooperation:** Aalto university, Nordkap, Elering, Elektrilevi
- **Olulisemad publikatsioonid**
 1. Mishra, S.; Koduvere, H.; Palu, I.; Kuhi-Thalfeldt, R.; Rosin, A. (2016). Assessing demand side flexibility with renewable energy resources. In: 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Florence, Italy, 7-10 June 2016 (1–6). Florence, Italy: IEEE.
 2. Mishra, S.; Koduvere, H.; Palu, I.; Kuhi-Thalfeldt, R. (2016). Modelling of Solar-Wind hybrid renewable energy system architectures. In: IEEE International Energy Conference (ENERGYCON), 4-8 April 2016, Leuven, Belgium (1–6). IEEE.
 3. Kiitam, I.; Taklaja, P.; Hyvönen, P.; Klüss, J. (2016). Test Setup for Measuring Medium Voltage Power Cable and Joint Temperature in High Current Tests Using Thermocouples. Proceedings of the 34th Electrical Insulation Conference: Electrical Insulation Conference, Montreal, Canada, 19 - 22 June 2016. IEEE, 480–483.
- **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 instituudi nõukogu liige
 - TTÜ energeetikateaduskonna nõukogu liige
 - Eesti elektroenergeetika seltsi juhatuse 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).**
 - Ivo Palu, Professor, IEEE liige

- **uurimisrühma nimetus: Elektrisüsteemide uurimisrühm**
- **uurimisrühma nimetus inglise keeles: Power Systems Research Group**
- **uurimisrühma juhi nimi, ametikoht: dotsent Jako Kilter**
- **uurimisrühma liikmed:**
 - dotsent Ülo Treufeldt,
 - emeriitprofessor Mati Meldorf,
 - nooremteadur (doktorant) Tanel Sarnet,
 - nooremteadur (doktorant) Triin Kangro,
 - nooremteadur (doktorant) Kaur Tuttelberg,
 - nooremteadur (doktorant) Madis Leinakse,
 - insener Uku Salumäe,
 - doktorant Mari Löper,
 - doktorant Alexander Mazikas.

- **Uurimisrühma teadustöö ülevaade:**

Uurimisgrupi teadustegevus on suunatud tänapäevaste ja tuleviku elektrisüsteemide juhtimisalgoritmide ja rakenduste väljatöötamisele ja arendamisele. Olulisimad teadussuunad on seotud reaalajajuhtimissüsteemide arendamise ja analüüsiga laiseire mõõtmiste baasil võttes arvesse alalisvooluühenduste, juhitavate ülekandesüsteemide, tuule- ja päikeseelektrijaamade, elektri kvaliteedi ja koormuse modelleerimise aspekte. Käsitletakse elektrisüsteemi juhtimist ja analüüsi tuleviku elektrisüsteemide arenguid silmas pidades – sünkroniseeriva massi vähenemine ja läbi konverteertehnoloogiate elektrijaamade järjest suurem osakaal elektrisüsteemis. See kõik toob kaasa väljakutseid elektrisüsteemi juhtimises, releekaitses 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, jt. Ettevõtetega koostöös lahendatakse mitmeid olulisi Eesti energeetikaga seotud küsimusi, nt Rail Baltic kiirraudtee liitumise mõjud Eesti elektrisüsteemile, 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 – 2016 võeti edukalt kasutusse reaalajasimulaator RTDS.

- **Uurimisrühma olulisemad teadustöö tulemused:**

- Teostatud Rail Baltic kiirraudtee mõjude analüüs ja välja töötatud kiirraudtee liitumise tehniline kontseptsioon.
- Edasi on arendatud ülekandevõrkude kõrgepingekaablite matemaatilisi mudeleid ja hindamisemethodikaid.
- Välja on töötatud uued meetodid ja rakendused laimõõtmiste kasutamiseks elektrisüsteemide analüüsis ja juhtimisel.
- Välja on töötatud uued meetodid elektri kvaliteedi jälgimiseks ja hindamiseks ülekandevõrkudes.
- Jätkatud ENTSO-E ja Eesti võrgueeskirjade nõuete analüüside ja sellekohaste uuringutega.

- Uuritud on Eesti elektrisüsteemi ülekandevõrgu sõlmekoormusi ja välja on töötatud metodoloogia koormuste agregeerimise ja modelleerimise kohta.

- **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 cooperation with most of the important power system related companies in Estonia, e.g. Elering, Elektrilevi, Graanul Invest, VKG, etc. Cooperation with companies is focused on solving multiple and important R&D activities related to power system planning and control challenges, e.g. high speed train Rail Baltic and its influence to 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. In 2016, power system real-time simulator RTDS, was fully implemented and used in the group activities.

- **Main research outcomes:**

- Analysis of the influence of Rail Baltic high speed train connection to Estonian power system operation and development of technical scope for connection of this type of customer to power system.
- Development of mathematical models for high voltage cable networks and composing assessment methodology for considering cables for network studies in load flow and dynamic studies.
- Development of new methods and applications for the use of wide-area measurements for power system analysis and control.
- Development of novel methods for power quality monitoring and assessment in transmission networks.
- Development of ENTSO-E and Estonian Grid Code requirements and performing corresponding studies.
- Development of transmission network bus load aggregation principles and composing corresponding load models for Estonian power system steady state and dynamic calculations and assessment.

- **Olulisemad teadus- ja arendusprojektid:**

- Jako Kilteri juhitud projekt: Horizon2020 - MIGRATE "Massive Integration of Power Electronic Devices".
- Ivo Palu juhitud projekt: LEP16073 "Elektriraudtee mõjud elektrivõrgu dünaamilisele talitlusele".
- Ülo Treufeldti juhitud projekt: LEP15066 "Eesti elektrisüsteemi ülekandevõrgu koormuste staatilised ja dünaamilised karakteristikud.

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

Koostööd on tehtud järgmiste TA asutustega: Technical University of Dresden, KTH, University of Manitoba, NTNU, University of Manchester, DTU, Aalto University, IPE, Technical University of Berlin, University of Ljubljana ja TU Delft. Koostööpartneriteks ettevõtluses on Elering, Elektrilevi, VKG Energia ja Graanul Invest.

- **Olulisemad artiklid:**

1. Kilter, J., Vujatovic, D., Elphick, S., Renner, H., van Erp, F., van Coller, J. Benchmarking of Power Quality Performance in Transmission Systems – CIGRE WG C4.27 Perspective. Proceedings of International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP2016), 16-19.10.2016, Belo Horizonte, Brazil.
2. Stiegler, R., Meyer, J., Kilter, J., Konzelmann, S. Assessment of Voltage Instrument Transformers Accuracy for Harmonic Measurements in Transmission Systems. Proceedings of International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP2016), 16-19.10.2016, Belo Horizonte, Brazil.
3. Dufek, J., Tuttelberg, K. Monte Carlo criticality calculations accelerated by a growing neutron population. Annals of Nuclear Energy, 94, 16-21.

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

- Madis Leinakse – Jaan Poska stipendium
- Madis Leinakse – Elering ASi energeetikastipendium

- **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
 - TTÜ elektroenergeetika instituudi nõukogu liige
 - TTÜ energeetikateaduskonna nõukogu liige
 - TTÜ elektroenergeetika instituudi energiasüsteemide õppetooli hoidja
 - Elektroenergeetika Seltsi kutsekomisjoni liige
 - Eesti Võrgueeskirja uuendamise töögrupi liige
 - Eesti elektroenergeetika seltsi liige
- Tanel Sarnet, Nooremteadur, doktorant, Eesti elektroenergeetika seltsi liige
- Triin Kangro, Nooremteadur, doktorant, Eesti elektroenergeetika seltsi liige
- Kaur Tuttelberg, Nooremteadur, doktorant, Eesti elektroenergeetika seltsi liige
- Madis Leinakse, 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
- 10nda Power Quality and Supply Reliability Conference – Korraldus- ja teaduskomitee liige
- CIGRE B4.62 liige (Connection of Wind Farms to Weak AC networks)
- CIGRE B4.64 liige (Impact of AC System Characteristics on the Performance of HVDC schemes)
- CIGRE C4.27 (Benchmarking of Power Quality Performance in Transmission Systems) liige
- ENTSO-E EPS & CC töögrupi liige
- ENTSO-E CNC töögrupi liige
- ENTSO-E EPS & CC DT HVDC AdHoc töögrupi liige
- ENTSO-E WG EPS Requirements for Generators töögrupi liige
- IET The Journal of Engineering - artiklite retsenseerimise komitee liige
- IET Generation, Transmission and Distribution Journal – artiklite retsenseerimise komitee liige
- Tanel Sarnet, Nooremteadur, doktorant
 - IEEE liige
 - IEEE Power and Energy Society liige
- Triin Kangro, Nooremteadur, doktorant
 - IEEE liige
 - IEEE Power and Energy Society liige
- Kaur Tuttelberg, Nooremteadur, doktorant
 - IEEE liige
 - IEEE Power and Energy Society liige
- Madis Leinakse, Nooremteadur, doktorant
 - IEEE liige
 - IEEE Power and Energy Society liige

- **uurimisrühma nimetus: Energiamajanduse uurimisrühm**
- **uurimisrühma nimetus inglise keeles: Energy economics research group**
- **uurimisrühma juhi nimi, ametikoht: Juhan Valtin, professor**

- **uurimisrühma liikmed:**

- külalisprofessor Arvi Hamburg,
- dotsent Reeli Kuhi-Thalfeldt,
- vanemteadur Jelena Šuvalova,
- emeritprofessor, vanemteadur Heiki Tammoja,
- teadur, PhD, Matti Keel,
- teadur, PhD, Victor Astapov,
- nooremteadur, doktorant Hardi Koduvere

- **Uurimisrühma teadustöö ülevaade:**

Uurimisgrupi põhiülesanneteks on energiasüsteemide ja elektrijaamade optimeerimine, elektrituru modelleerimine, energiasüsteemide majanduslik ja tehniline analüüs, energeetika pikaajalise arengu planeerimine ja energiapoliitika kujundamine. Selleks kasutatakse erinevaid modelleerimistarkvarasid, nagu elektrituru mudel Balmorel, energiamajanduse mudel LEAP, Energypro, aga ka iseseisvalt välja töötatud elektrijaamade optimeerimise tarkvarapekte. Grupil on laialdane modelleerimiskogemus, kui ka mudelite välja töötamise ning arendamise kogemus. Uurimisgrupi liikmed on osalenud Eesti Energiamajanduse arengukava väljatöötamisel ning täitnud erinevaid lepingulisi töid mitmetele eesti ettevõtetele.

- **Short description of research:**

The main tasks of the research group are power plant and power system optimization, modelling of the electricity market, economic and technical analysis of energy systems, assessment of energy sector development scenarios, analysis of activities needed for their realization, compilation energy policy. The research in group is done by using various modelling software, such as electricity market model Balmorel, energy system model LEAP, EnergyPro supported by self-developed programmes for power plant optimization. Research group members have an ample experience of both modelling and model development. They have also been actively involved in the development of Estonian long term energy strategy and carried out different contracts to several industrial partners in Estonia.

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

- LEP15094 "Elektrivõrgu klientide elektripaigaldiste ühe ja kahepoolse toite mõju analüüs varustuskindlusele (22.09.2015–23.06.2016)", Juhan Valtin, Tallinna Tehnikaülikool.
- VNF15057 " Flex4RES - Flexibility for Variable Renewable Energy Integration (14.09.2015–29.03.2019)", Hardi Koduvere, Tallinna Tehnikaülikool.
- Lep14133 "VKG Energia soojuselektrijaamade talitluse optimeerimise meetodika ja vastava arvutitarkvarasüsteemi loomine (23.09.2014–22.04.2016)", Matti Keel, Tallinna Tehnikaülikool.
- LEP15123 „Maailma Energeetikanõukogu Eesti Rahvuskomiteega kliimapoliitika meetmete mõju Eesti energiajulgeolekule“, 2016, Arvi Hamburg, Tallinna Tehnikaülikool.

- **Koostöö:**

Elering AS, Eesti Energia AS, Elektrilevi OÜ, VKG Energia, SEI, Aalto Ülikool, Taani Tehnikaülikool, Norra Maaülikool, Litgrid AB

- **Cooperation:**

Elering AS, Eesti Energia AS, Elektrilevi OÜ, VKG Energia, SEI, Aalto Ülikool, Technical University of Denmark, Norwegian University of Life Sciences

- **Olulisemad artiklid:**

1. Kisel, E.; Ots, M.; Hamburg, A.; Leppiman, A.; Härm, M. Concept for Energy Security Matrix. Energy Policy, Vol 95, 2016.
2. Mere, T.; Hamburg, A.; Hobejogi, T.; Laidre, M.; Valtin, J. (2016). Financial evaluation of using off-grid as an alternative to the traditional power line construction
3. Mishra, S.; Koduvere, H.; Palu, I.; Kuhl-Thalfeldt, R. (2016). Modelling of Solar-Wind hybrid renewable energy system architectures

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

- Arvi Hamburg, professor:
 - Eesti Inseneride Liidu president
 - Eesti Teaduste Akadeemia energeetikanõukogu esimees
 - TTÜ Kuratooriumi liige
 - WEC- Estonia juhatuse liige
 - Elektroenergeetika Seltsi aseesimees
 - Tallinna Tehnikakõrgkooli nõukoja esimees
 - Kolleegiumi liige ajakirjas INSENERIA
 - Kolleegiumi liige ajakirjas OIL SHALE
 - Kehta Kutseharidus keskuse nõukogu esimees
 - MKM Energeetikanõukogu liige
- Jelena Šuvalova, vanemteadur, Eesti elektroenergeetika seltsi liige
- Heiki Tammoja, vanemteadur,
 - Eesti elektroenergeetika seltsi liige
 - Elektroenergeetika kutsekomisjoni liige
- Matti Keel, teadur, Eesti elektroenergeetika seltsi liige

- **uurimisrühma nimetus: Elektrotehnika aluste uurimisrühm**
- **uurimisrühma nimetus inglise keeles: Research Group of Fundamentals of Electrical Engineering**
- **uurimisrühma juhi nimi, ametikoht: Lauri Kütt, professor**

- **uurimisrühma liikmed:**

- Aleksander Kilk, dotsent
- Tarmo Rosman, lektor
- Toomas Vinnal, teadur
- Heigo Mölder, teadur
- Marek Jarkovoi, nooremteadur, doktorant
- Tiiu Sakkos, insener
- Andrei Škvorov, insener

- **Uurimisrühma teadustöö ülevaade**

Elektrotehnika aluste uurimisgrupi põhilisteks uurimisteemadeks aastal 2016 olid elektritoite kvaliteet, elektromagnetiline ühilduvus ning termoelektrilised elementide rakendused.

- Elektritoite kvaliteedi uurimisteemad keskendusid võrgupinge kvaliteedi, sh pingetaseme tagamise, pingelohkude ning pingekuju parameetrite tagamisele.
- Elektromagnetilise ühilduvuse (EMÜ) uurimisteemad olid seotud võrgupinge moonutuste uuringuga, milline kaasneb uute mittelineaarsete tarbijate võrku ühendamiselega. Samuti jätkus elektromagnetilise ühilduvuse labori täiendamine ning võimekuse arendamine.
- Termoelektriliste elementide rakenduste uurimise teema fookus oli nimetatud elementide kasutamisele päikesekollektorsüsteemides. 2016. aastal koliti Aalto ülikoolist eksperimen-taalvahendite komplektid TTÜsse ning algas sellealane teadustöö.

- **Research group scientific activities overview**

Research group main research activities in 2016 were electric power supply quality, electromagnetic compatibility and thermoelectric applications.

- In the field of electric power quality, scientific activity was carried out in the topics of distribution networks' voltage quality, voltage dips and voltage waveform distortions.
- In the field of electromagnetic compatibility (EMC), scientific activities were tied with investigations on causes of voltage distortions in distribution networks due to nonlinear loads. In addition, the further development of the capabilities of the EMC laboratory was carried out.
- In the field of thermoelectric applications, the focus was on the development of solar concentrated systems for energy harvesting. In 2016 the research was initiated by moving the experimental set from Aalto University to Tallinn University of Technology.

- **Uurimisgrupi T&A ühiskondlik mõjukus**

Elektritoite kvaliteedi ja EMÜ uurimisteemad on suure tähtsusega nii jaotusvõrguettevõtete kui ka elektri- ja elektroonikaseadmete tööstusele.

- EL energeetikadirektiividele vastavuse saavutamiseks tuleb tagada suure hulga pooljuhtmuundurite ühendamine jaotusvõrku, et liita võrguga päikesepaneelid, väiketuulikud jm. taastuveni energiatootjad. Selleks tuleb uurida jaotusvõrgu piire ja võimalusi, millega võrk suudab töötada ilma, et 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).

- Elektri- ja elektroonikaseadmete tööstuse toodang peab vastama muuhulgas EL madalpingedirektiivis ja EMÜ kriteeriumidele esitatud kriteeriumidele. Uurimisgrupi töö toimub Eestis unikaalse sisseadega EMÜ teaduslaboris, mis võimaldab välja töötatud 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.

- **Socio-economic impact of the research group**

The electric power quality and EMC topics are of high importance and impact for the distribution grid operators as well as electric and electronic product developers.

- For meeting the targets of EU energy directives, the distribution grid operator has to provide support for connecting large number of power electronic inverters to the grid. This is needed for connecting the renewable generators, such as photovoltaic and low-power wind turbines and other. Research here targets verifications of the networks' capability to include the new sources without violating voltage level and waveform criteria for other customers / components. Research is directly related to field of EMC research (voltage waveform distortions and necessary measures in the grid) and electric power (requirements to maintain voltage level and avoiding overload).
- Electric and electronic products have to meet criteria stated in the EU LVC and EMC directives. Research group operates the EMC laboratory, which is a unique laboratory in Estonia, providing the opportunity to carry out EU directive compatibility testing. Support to the product developers provides the innovative companies with opportunity to reach product market readiness in faster pace.

- **Uurimisrühma 2016. aasta olulisemad teadustulemused**

- Edukalt läbi viidud „2016 Elektritoite ja varustuskindluse“ rahvusvaheline konverents („2016 Electric Power Quality and Supply Reliability“), mis oli rahvusvahelise Elektri- ja elektroonikainseneride instituudi tehnilise toega (IEEE). Konverentsil osalesid teadlased ja spetsialistid 20 riigist, kes osalesid kokku 49 kõrgetasemelise artikliga.
- Teostatud uurimistööd jaotusvõrgu liinide omaduste kohta, sh oodatava pingekvaliteedi kohta (Elektrilevi OÜ). Projekt 12-1/431
- Alustatud intensiivne uurimistöö TTÜs erinevate pooljuhtmuundureid rakendavate seadmete koormusvoolu moonutuste uurimiseks.

- **Main research outcome in 2016**

- Successful organizing of the international conference „2016 Electric Power Quality and Supply Reliability“, carried out with technical co-sponsorship of IEEE. Conference gathered specialists and scientists from 20 different countries and total of 49 high-level papers were presented.
- Applied research activities for research of distribution networks power lines', including expected power quality indexes (Estonian distribution system operator Elektrilevi Ltd.). Project 12-1/431
- Starting of intense research in Tallinn University of Technology related to power electronic converter based customer loads.

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

- Aruandeaastal uurimisrühma liikmete poolt juhitud suuremahulised ekspertiisiprojektid:

Projekt 12-1/431 „Madalpingefiidrite kaitserakendumise kaardistamine ja olukorra analüüs ettevõttes Elektrilevi OÜ ning soovitatavad meetmed ohutuse taseme tagamiseks (1.09.2015 – 30.01.2016), Toomas Vinnal.

- Lisaks osalesid uurimisgrupi liikmed järgmistes projektides põhitäitjatena:

LEP16048 "Alternatiivsete tehniliste lahenduste kasutamine pingeprobleemide lahendamisel madalpingevõrgus (20.04.2016–27.02.2017)", Argo Rosin, Tallinna Tehnikaülikool, Energeetikateaduskond, Elektrotehnika instituut.

- **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.
- Eesti Maaülikool – Prof. Andres Annuk, ühine uurimisteema (elektritoite kvaliteet).

- **Uurimisrühma liikmete kuni 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit**

1. A.J. Collin, Xiao Xu, S.Z. Djokic, F. Möller, J. Meyer, L. Kütt, M. Lehtonen; Survey of harmonic emission of electrical vehicle chargers in the European market; 2016 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM).
2. D. Lebedev, A. Rosin, L. Kütt; Simulation of real time electricity price based Energy Management System; 2016 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON.
3. S. Hürmeýdan, A. Rosin, T. Vinnal; Effects of PV microgeneration on rural LV network voltage quality-harmonics and unbalance; Electric Power Quality and Supply Reliability (PQ), 2016.