

Arvutisüsteemide instituut

2022. aasta teadus- ja arendustegevuse aruanne

Arvutisüsteemide instituut

Department of Computer Systems

Margus Kruus, margus.kruus@taltech.ee

Instituudis tegutsevad järgmised 7 uurimisrühma:

- Usaldusväärsete arvutisüsteemide keskus
- Biorobotika keskus
- Keskkonnaseire tehnoloogiate keskus
- Arukate süsteemide keskus
- Riistvara turvalisuse keskus
- Töökindla arvutusriistvara keskus
- Sardtehisintellekti labor

The Department conducts research within 7 research groups:

- Centre of Dependable Computing Systems
- Centre for Biorobotics
- Centre for Environmental Sensing and Intelligence
- Centre for Intelligent Systems
- Centre for Hardware Security
- Centre for Trustworthy and Efficient Computing Hardware
- Embedded AI Research Lab

Teadus- ja arendustegevuse ülevaade uurimisrühmade lõikes

Centre for Dependable Computing Systems

Head of the centre: Jaan Raik, professor, +372 6202257, jaan.raik@taltech.ee

Academic staff: Gert Jervan, professor; Thomas Hollstein, adjunct professor; Masoud Daneshtalab, adjunct professor; Tara Ghasempouri, senior researcher; Ameer Shalabi, PhD student/junior researcher; Mohammad Hasan Ahmadilivani, PhD student/junior researcher; Mohammad Reza Heidari Iman, PhD student/junior researcher.

Keywords:

Nanoelectronics design, reliability, security, verification and test; multi-/many-core systems; reliability of neural network accelerators.

Expertise:

The research at the Centre for Dependable Computing Systems covers a wide range of topics in the areas of design, reliability, security, verification and testing of nanoelectronic systems (including multi-/many-core systems and neural network accelerators). The main research activities in 2022 were the following:

- Emerging 3D chip technologies (cooperation: Stanfordin ülikool);
- Hardware security (cooperation with TU Delft, LIRMM/University of Montpellier, Airbus, Frankfurt UAS);
- Embedded neural network accelerators (Mälardalen University, Tartu University, Fraunhofer IKS);
- Cross-layer resilience in sensor networks (cooperation: Testonica Lab OÜ);
- Verification (assertion mining) (cooperation: EPFL/Lausanne, TU Hamburg, DLR);

Most significant projects:

- VFP20015 "Secure and Assured Hardware: Facilitating ESTonia's Digital Society", 2021-2023
- VFP19054 "SMART4ALL - Selfsustained Cross Border Customized Cyberphysical System Experiments for Capacity Building Among European Stakeholders", 2020-2023
- TAR16013 "Estonian Centre of Excellence in ICT Research", 2016-2023
- AR20013IA "Real-time building performance audit", 2021-2023

Most significant publications:

- Allik, A.; Pilt, K.; Viigimäe, M.; Fridolin, I.; Jervan, G. A Novel Physical Fatigue Assessment Method Utilizing Heart Rate Variability and Pulse Arrival Time towards Personalized Feedback with Wearable Sensors. *Sensors* 2022, 22, 1680. <https://doi.org/10.3390/s22041680>
- F. Almeida, M. Imran, J. Raik and S. Pagliarini, "Ransomware Attack as Hardware Trojan: A Feasibility and Demonstration Study," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 44827-44839, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3168991
- M. R. Heidari Iman, J. Raik, G. Jervan and T. Ghasempouri, "IMMizer: An Innovative Cost-Effective Method for Minimizing Assertion Sets," 2022 25th Euromicro Conference on Digital System Design (DSD), Maspalomas, Spain, 2022, pp. 671-678, doi: 10.1109/DSD57027.2022.00095.

The centre has been the initiator of several pan-European actions. Currently it contributes to a newly launched Horizon2020 actions SAFEST and SMART4ALL. We are also partners in the

national ICT centre of research excellence EXCITE. Two PhD theses were defended under co-supervision of the researchers of the group in 2022.

The research of the centre is related to the following Academic Development Plan priority areas:

- Dependable IT solutions;
- Smart and energy-efficient environments.

The activities of the research group are related to the following research areas:

- CERCS: T171 Microelectronics; T120 Systems engineering, computer technology; P176 Artificial intelligence.

The most significant award for the research group members in 2022:

- Jaan Raik, Best PhD supervisor of the Year, TalTech School of ICT.

Usaldusväärsete arvutisüsteemide keskus

Keskuse juht: Jaan Raik, professor, +372 6202257, jaan.raik@taltech.ee

Akadeemiline personal: Gert Jervan, professor; Thomas Hollstein, kaasatud professor; Masoud Daneshtalab, kaasatud professor; Tara Ghasempouri, vanemteadur; Ameer Shalabi, doktorant-nooremteadur; Mohammad Hasan Ahmadilivani, doktorant-nooremteadur; Mohammad Reza Heidari Iman.

Võtmesõnad:

nanoelektroonika projekteerimine, töökindlus, turvalisus, verifitseerimine ja test; mitme- ja paljutuumalised süsteemid; närvivõrkude kiirendid.

Kompetentsid:

Usaldusväärsete arvutisüsteemide keskuse uurimistöö põhisuunad hõlmavad laia teemade ringi digitaalsüsteemide (k.a. mitme- ja paljutuumalised süsteemid ja närvivõrkude kiirendid) projekteerimise, usaldusväärsete, turvalisuse, verifitseerimise ja testimise vallas.

Peamised uurimissuunad aastal 2022 hõlmasid:

- Uudsed 3D kiibitehnoloogiad (koostöö: Stanfordini ülikool);
- Riistvara turve (koostöö: Delfti TÜ, LIRMM/Montpellier, Airbus, Frankfurt UAS);
- Närvivõrkude riistvaralised kiirendid (koostöö: Mälardaleni Ülikool, Tartu Ülikool, Fraunhofer IKS);
- Kihhiülene usaldusväärsus sensorvõrkudes (koostöö: Testonica Lab OÜ);
- Verifitseerimine (omaduste kaevandamine) (koostöö: EPFL/Lausanne, TU Hamburg, Saksa kosmosekeskus DLR);

Olulisemad teadusprojektid:

- VFP20015 "Turvaline ja kindel riistvara: Eesti digitaalse ühiskonna hüvanguks", 2021-2023
- VFP19054 "SMART4ALL - Küberfüüsikaliste süsteemide piiriülelised süsteemid Euroopa huvigruppide võimekuse arendamiseks", 2020-2023
- TAR16013 "IT Tippkeskus EXCITE", 2016-2023
- AR20013IA "Hoone suutlikkuse audit reaalajas", 2021-2023

Olulisemad publikatsioonid:

- Allik, A.; Pilt, K.; Viigimäe, M.; Fridolin, I.; Jervan, G. A Novel Physical Fatigue Assessment Method Utilizing Heart Rate Variability and Pulse Arrival Time towards Personalized Feedback with Wearable Sensors. *Sensors* 2022, 22, 1680. <https://doi.org/10.3390/s22041680>
- F. Almeida, M. Imran, J. Raik and S. Pagliarini, "Ransomware Attack as Hardware Trojan: A Feasibility and Demonstration Study," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 44827-44839, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3168991
- M. R. Heidari Iman, J. Raik, G. Jervan and T. Ghasempouri, "IMMizer: An Innovative Cost-Effective Method for Minimizing Assertion Sets," 2022 25th Euromicro Conference on Digital System Design (DSD), Maspalomas, Spain, 2022, pp. 671-678, doi: 10.1109/DSD57027.2022.00095.

Keskus on mitmete üle-Euroopaliste aktsioonide eestvedaja. Hetkel osaletakse Horisont2020 projektides SAFEST ja SMART4ALL. Samuti ollakse partneriks teaduse tippkeskuses EXCITE. Aasta jooksul kaitsiti uurimisgrupi teadlaste kaasjuhendamisel edukalt 2 doktoritööd.

Keskuse töö on seotud järgmiste AAK prioriteetsete suundadega:

- Usaldusväärsed IT-lahendused, prof. J. Raik on suuna koordineerimiskogu juht;
- Targad ja energiatõhusad keskkonnad.

Uurimisrühma tegevuse on seotud järgmiste teadusvaldkondadega:

- CERCS: T171 Mikroelektronika; T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia; P176 Tehisintellekt.

Uurimisrühma olulised tunnustused aastal 2022:

- Jaan Raik, IKT teaduskonna aasta parim doktoritööde juhendaja

Centre for Biorobotics

Head of the centre: Maarja Kruusmaa, professor, +3725183074, maarja.kruusmaa@taltech.ee

Academic staff: Asko Ristolainen, senior researcher; researchers: Margit Egerer (parental leave), Laura Piho, Andreas Alexander, Elizaveta Dubrovinskaya; doctoral students: Roza Gkliva, Mohamed Walid Remmas, Simon Pierre Godon, Wolf Iring Kösters; non-academic members: Jaan Rebane, Andres Ernits, Jaanus Joasoo

The Centre for Biorobotics specializes in research and development of underwater robotics and sensing. In the field of robotics, we are focusing on development of locomotion and control in underwater and multiphase environments, where conventional land and underwater platforms are underperforming. In connection with robotics, we are focusing on using bioinspired sensing methods in combination with conventional tools to improve situational awareness and navigation performance of our robots. Apart from robotics, we are also applying the bioinspired sensing methods in water flow sensing in natural environments (rivers, coast etc.).

Keywords: underwater robotics and control, underwater sensing, locomotion in multiphase environments, mapping and navigation

Competences:

- Development and manufacturing of underwater robotic platforms
- Robot locomotion and control in multi-phase environments
- Underwater sensing with applications in natural environments
- Mapping and navigation of unstructured environments

Key achievements of 2022:

- A total 6 journal papers were published within 2022.
- Experimental campaigns with H2020 project ROBOMINERS partners of a novel robotic platform equipped with haptic perception in Belgium.
- Roza Gkliva finished a PhD thesis on the topic of “Novel Mechanisms of Robot Locomotion: Variable Stiffness Actuators for Underwater and Multi-phase Environments “ (defense early 2023)
- Successful end of KIK19013 project on the island state of Grenada with a full installation of potable water monitoring network on 20 water purification sites.
- Successful field campaign in the Bay of Riga in EMP480 project for sediment transportation study with a large array of flow sensors
- Deployment of ocean current monitoring equipment in Svalbard through the winter of 2022-2023 within a new project funded by the Estonian Ministry of Foreign Affairs.
- Kick-off of H2020 project ILIAD and first patch of sensors delivered to partners

Affiliation of the research team to the TalTech Academic Development Plan priority areas:

- Valorisation of natural resources
- Dependable IT solutions

Field of research activity of the research group:

- CERCS: T121 Signal processing, T125 Automation, robotics, control engineering, T181 Remote sensing

Web page: <https://taltech.ee/en/biorobotics/>

Biorobotika keskus

Keskuse juht: Maarja Kruusmaa, professor, +3725183074, maarja.kruusmaa@taltech.ee

Akadeemiline personal: Asko Ristolainen, vanemteadur; teadurid: Margit Egerer (lapsehoolduspuhkusel), Laura Piho, Andreas Alexander, Elizaveta Dubrovinskaya; doktorandid: Roza Gkliva, Mohamed Walid Remmas, Simon Pierre Godon, Wolf Iring Kösters; insenerid ja administratiivabi: Jaan Rebane, Andres Ernits, Jaanus Joasoo

Biorobotika keskus on spetsialiseerunud veealuse robotika ning andurite teadusarendustegevusele. Robotikas on rühma uurimisfookuseks liikumine ning selle kontroll vee all ning mitmefaasilistes keskkondades, kohtades kus konventsionaalsed meetodid ei tööta. Robotikast lähtuvalt keskendume samuti bioloogiast inspireeritud tajuvõimete rakendamisele koos tavapäraste robotikas kasutatavate anduritega, tõstmaks meil arendatavate robotite navigeerimisvõimekust. Lisaks robotikarakendustele, otsime oma arendatud bioloogiast inspireeritud sensoritele rakendusi looduslike keskkondade hindamiseks (jõed, rannikualad jne).

Võtmesõnad: allveerobotika ja juhtimismeetodid, veealused andurid, liikumine mitmefaasilistes keskkondades, kaardistamine ja navigeerimine

Kompetentsid:

- Veealuste robotplatvormide arendus ja valmistamine
- Mitmefaasilistes keskkondades liikurmehanismide arendus ja kontroll
- Struktureerimata keskkondades kaardistamine ja navigeerimine
- Veealuste sensorite arendus ja rakendused
- Eksperimentaalne vedeliku dünaamika

Olulisemad saavutused aastal 2022

- 6 teadusajakirja artiklite publitseerimine
- Eksperimendid H2020 projekti ROBOMINERS raames uudsete mõõtmisvahenditega varustatud robotplatvormiga Belgia kaevanduses
- Valmis Roza Gkliva väitekiri teemal “Novel Mechanisms of Robot Locomotion: Variable Stiffness Actuators for Underwater and Multi-phase Environments “ (kaitsmine 2023. aasta alguses)
- KIK19013 projekti lõpetamine Grenada saareriigil, mille raames seati üles 20 veepuhastusjaama hõlmav veekvaliteedi monitoorimissüsteem
- EM480 SolidShore projekti raames suuremõõtmelise sensorraamistiku paigaldamine Riia lahes setete uurimiseks
- Teravmägedel hoovusemõõtjate paigaldamine setete liikumise uurimiseks üle talveperioodi 2022-2023 (projekti rahastas Eesti Välisministeerium)
- H2020 projekti ILIAD käivitamine ning esimeste Taltechis väljatöötatud seadmete rakendamine erinevates pilootides (Kreetal, Iisraelis)

Uurimisrühma seotus AAK prioriteetse suunaga (kuni kaks olulisemat suunda):

- Keskkonnaressursside väärastamine
- Usaldusväärsed IT lahendused

Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond:

- CERCS: T121 Signaalitöötlus, T125 Automatiseerimine, robotika, juhtimistehnika, T181 Kaugseire

Koduleht: <https://taltech.ee/en/biorobotics/>

Centre for Environmental Sensing and Intelligence

Head of the centre: Assoc. Prof. Jeffrey A. Tuhtan, jeffrey.tuhtan@taltech.ee

Academic staff: Gert Toming, researcher, doctoral students: Cecilia Monoli, Lizaveta Miasayedava, Jurgen Soom, Konstantin Bilozor, Ali Hassan Khan, researcher (postdoctoral fellow): Elizaveta Dubrovinskaya, Vishwajeet Pattanaik: non-academic staff: Alexandra Kolosova, Andres Ernits, Jaan Rebane, Jaanus Joasoo

The Centre for Environmental Sensing and Intelligence is specialized in the development and deployment of rugged multi-modal sensors for measurement in extreme environments, data-driven modelling and eco- and ethohydraulics. In a world where decisions are made based on available information, it makes sense to improve the quality and reliability of environmental information.

Keywords: hydropower, underwater sensing, computer vision, open government data

Core competences:

- Underwater sensing in extreme environments including hydropower turbines, rivers, coastlines and glaciers
- Real-time signal processing for rugged and reliable multi-modal autonomous sensors
- Data-driven modeling and assimilation of outdoor sensor network data with numerical models
- Eco- and ethohydraulic sensing and modelling, with a focus on fish and hydropower
- Underwater multispectral cameras and automated vision methods for detection and tracking in adverse environments

Key achievements in 2022:

- A total of 22 publications were accepted/published in 2022, one book “Ethohydraulics” was published by Springer in English. The publications are in Q1 and Q2 journals and leading conferences, featuring our collaboration with global hydropower providers (Verbund, TIWAG) and manufacturers (Voith, Andritz).
- Contracted by European energy companies for conducting and training on the use of TalTech underwater sensors including EDF, BKW and TIWAG as well as the public sector Belgian INBO and the UK Environment Agency.
- Continued effort to seek funding, with 11 proposals submitted to different programs and frameworks: Industrial Research (5), ETAg POC (1), ETAg PRG (1) and HE (4). The combined budget is in the order of 7M EUR. Members of the Centre are the PIs/coordinators in 7 of these proposals.

Affiliation of the research team to the TalTech Academic Development Plan priority areas:

- Smart and energy efficient environments
- Dependable IT solutions
- Valorisation of resources

Field of research activity of the research group:

- CERCS: T121 Signal processing, T110 Instrumentation technology, T270 Environmental technology, pollution control

Website: <https://taltech.ee/en/research-groups-DCS#p53933>

Keskkonnaseire tehnoloogiate keskus

Keskuse juhataja: Kaasprofessor Jeffrey A. Tuhtan, jeffrey.tuhtan@taltech.ee

Akadeemiline personal: Gert Toming, teadur, Vishwajeet Pattanaik, doktorandid: Cecilia Monoli, Lizaveta Miasayedava, Jürgen Soom, Konstantin Bilozor, Ali Hassan Khan, teadur/järel doktor Elizaveta Dubrovinskaya, Vishwajeet Pattanaik
mitteakadeemiline personal: Alexandra Kolosova, Andres Ernits, Jaan Rebane, Jaanus Joasoo

Keskkonnaseire tehnoloogiate keskus on spetsialiseerunud ekstreemsetes keskkondades mõõtmisteks mõeldud vastupidavate multimodaalsete sensorite arendamisele ja kasutamisele, andmepõhisele modelleerimisele ning öko- ja etohüdraulikale. Maailmas, kus otsuseid tehakse kättesaadava teabe põhjal, on mõistlik parandada keskkonnateabe kvaliteeti ja usaldusväärsust.

Märksõnad: hüdroenergia, allveeseire, arvutinägemine, avatud valitsuse andmed

Põhipädevused:

- Veealune mõõtmine ekstreemsetes keskkondades, sealhulgas hüdroelektrijaamades, jõgedes, rannikualadel ja liustikes.
- Reaalajas signaalitöötlus vastupidavate ja usaldusväärsete mitmemodaalsete autonoomsete sensorite jaoks
- Andmepõhine modelleerimine ja välisandurite võrgu andmete assimileerimine numbriliste mudelitega
- Öko- ja etohüdrauliline mõõtmine ja modelleerimine, keskendudes kaladele ja hüdroenergiale.
- Veealused multispektraalsed kaamerad ja automatiseeritud nägemismeetodid tuvastamiseks ja jälgimiseks ebasoodsas keskkonnas

Peamised saavutused aastal 2022:

- Kokku võeti vastu/avaldati 2022. aastal 22 publikatsiooni, üks raamat "Ethohydraulics" ilmus inglise keeles Springeris. aastal. Väljaanded on avaldatud Q1/Q2 ajakirjades ja juhtivatel konverentsidel, kus kajastub meie koostöö globaalsete hüdroenergia pakkujate (Verbund, TIWAG) ja tootjate (Voith, Andritz).
- Euroopa energiaettevõtete, sealhulgas EDFi, BKW ja TIWAGi ning avalikus sektoris Belgia INBO ja Ühendkuningriigi keskkonnaagentuuriga sõlmitud lepingud TalTechi veealuste andurite kasutamiseks ja vastavaks koolitamiseks.
- Jätkuvad jõupingutused rahastamise otsimiseks, kusjuures erinevatele programmidele ja raamistikele on esitatud 11 ettepanekut: Tööstusuuringud (5), ETAg POC (1), ETAg PRG (1) ja HE (4). Kombineeritud eelarve on suurusjärgus 7 miljonit eurot. Keskuse liikmed on 7 taotluse juhtivteadlased/koordinaatorid.

Uurimisrühma seotus AAK prioriteetse suunaga:

- Targad ja energiatõhusad keskkonnad
- Keskkonnaressursside vääristamine
- Usaldusväärsed IT lahendused

Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond:

- CERCS: T121 Signaalitöötlus, T110 Instrumentatsioonitehnoloogia, T270 Keskkonnatehnoloogia, reostuskontroll

Veebileht: <https://taltech.ee/en/research-groups-DCS#p53933>

Centre for Intelligent Systems

Head of the centre: Eduard Petlenkov, professor, eduard.petlenkov@taltech.ee

Members: Kristina Vassiljeva, Aleksei Tepljakov, Komeil Nosrati, Kadri Umbleja, Ahmet Köse, Vitali Vansovitš

Doctoral students: Andrei Maalberg, Maksimilian Tarasevich, Saleh Ragheb Saleh Alsaleh, Abiodun Emmanuel Onile, Olutosin Ajibola Ademola, Hossein Alimohammadi, Vjatšeslav Škiparev, Azer Ramazanli, Majid Ghorbani, Sofia Vasman

Our core competences are:

- Modelling, control, and analysis of complex nonlinear dynamic systems;
- Computational Intelligence based algorithms: Artificial Neural Networks, Genetic Algorithms, Fuzzy Logic, etc.;
- Self-learning and adaptation methods in control systems;
- Fractional-order modelling and control;
- Distributed control systems;
- Data analysis;
- Development of research software;
- Virtual and Augmented Reality applications;
- Digital twins;
- Energy efficient control;
- Buildings automation, modelling and performance analysis.

The research group focuses on development and implementation of novel efficient control techniques for Industry 4.0 applications based on the combination of classical industrial controllers with computational intelligence methods and knowledge based reasoning.

Key words: control, modelling of dynamic systems, computational intelligence, machine learning, adaptive and self-learning systems, extended reality, digital twins, energy efficient control.

In 2022 the research group has published 27 research papers (16 journal articles 1.1 and 11 papers 3.1 according to ETIS classificator), participated in the following R&D projects:

- Intelligent Control Systems for Industry 4.0
- University Business Cooperation for Promoting Virtual, Augmented and Mixed Reality Applications within Small and Medium-sized Manufacturing Companies
- Energy flexibility service pilot project
- Virtual Labs for Digital Engineering Education
- Smart City Center of Excellence: Real-Time Building Performance Audit (DigiAudit).
- Transversal Skills in Applied Artificial Intelligence

Affiliation of the research team to the TalTech Academic Development Plan priority areas:

- Smart and energy efficient environments
- Dependable IT solutions

Field of research activity of the research group:

- CERCS: P170 Computer science, numerical analysis, systems, control, P176 Artificial intelligence

Homepage: <https://is-centre.eu/>

Arukate süsteemide keskus

Keskuse juht: Eduard Petlenkov, professor, eduard.petlenkov@taltech.ee

Liikmed: Kristina Vassiljeva, Aleksei Tepljakov, Komeil Nosrati, Kadri Umbleja, Ahmet Köse, Vitali Vansovitš **Doktorandid:** Andrei Maalberg, Maksimilian Tarasevich, Saleh Ragheb Saleh Alsaleh, Abiodun Emmanuel Onile, Olutosin Ajibola Ademola, Hossein Alimohammadi, Vjatšeslav Skiparev, Azer Ramazanli, Majid Ghorbani, Sofia Vasman

Arukate süsteemide keskuse **põhikompetentsideks on:**

- Keeruliste dünaamiliste süsteemide modelleerimine ja juhtimine;
- Murrulistel tuletistel põhinevad mudelid ja juhtimisalgoritmid;
- Teadustarkvara arendus;
- Iseõppimise ja adapteerimise meetodid juhtimissüsteemides;
- Tehisintellekti meetodid - tehisnärvivõrgud, hägus loogika, geneetilised algoritmid;
- Hajusjuhtimissüsteemid;
- Andmeanalüüs;
- Virtuaal- ja liitreaalsuse rakendused;
- Digitaalsed kaksikud;
- Energiaefektiivne juhtimine;
- Hoonete tehnosüsteemide juhtimine, modelleerimine ja analüüs.

Uurimisgruppi põhifookuseks on uute efektiivsete juhtimismeetodite väljatöötamine ja realiseerimine uue põlvkonna tööstuse (Tööstus 4.0) rakendustes, uurimistöö baseerub klassikaliste tööstuskontrollerite integreerimisel teadmispõhiste meetoditega.

Võtmesõnad: juhtimissüsteemid, dünaamiliste süsteemide modelleerimine, tehisintellekti meetodid, masinõpe, adaptiivsed ja iseõppivad süsteemid, liitreaalsus, digitaalsed kaksikud, energiaefektiivne juhtimine.

Uurimisgrupp avaldas **2022.aastal** 27 teaduspublikatsiooni (16 ajakirjaartiklit - ja 11 artiklit konverentside kogumikes - 3.1 ETIS-e klassifikaatori järgi) ja osales järgmistes teadusprojektides:

- Arukad juhtimismeetodid Tööstus 4.0 jaoks
- Ülikoolide ja ettevõtete koostöövõrgustik virtuaalse-, täiendatud- ja liitreaalsuse edendamiseks väikestes ja keskmistes tootmisettevõtetes
- Energiatarbimise juhtimise paindlikkustoote pilootprojekt
- Digitaalse insenerihariduse virtuaalsed laborid
- Targa linna tippkeskus: DigiAudit
- Rakendusliku tehisintellekti ülekantavad oskused

Uurimisrühma seotus AAK prioriteetse suunaga:

- Targad ja energiatõhusad keskkonnad
- Usaldusväärsed IT lahendused

Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond:

- CERCS: P170 Arvutiteadus, arvutusmeetodid, süsteemid, juhtimine (automaatjuhtimisteooria), P176 Tehisintellekt

Veebileht: : <https://is-centre.eu/>

Centre for Hardware Security

Head of the centre: Professor Samuel Pagliarini, professor, samuel.pagliarini@taltech.ee

Doctoral students: Antonio Felipe Costa de Almeida, Malik Imran, Tiago Diadami Perez, Zain Ul Abideen, Mohammad Eslami

Postdoctoral fellows: Levent Aksoy, Muayad Aljafar, Sumathi Gokulanathan

The Centre for Hardware Security conducts research in all applied aspects of Hardware Security: our aim is to validate security techniques in real silicon. The Centre's research on integrated circuit (IC) design, electronic design automation (EDA), and cryptographic hardware enables trustworthy IC-based systems to be built. Threats such as Hardware Trojans, reverse engineering, circuit (de)obfuscation, IP piracy, IC overbuilding, side-channel attacks, etc., are addressed through an array of technical countermeasures.

Keywords: hardware security, trustworthy integrated circuits, ASICs, crypto hardware, obfuscation

Core competences:

- Design of Application Specific Integrated Circuits
- Circuit obfuscation
- Trustworthy electronic design automation tooling (from RTL to layout)
- Countermeasures to reverse engineering, side-channel attacks, and piracy
- Crypto hardware, including conventional and post-quantum cryptography

Most significant publications:

- **T. Perez** and **S. Pagliarini**, "Hardware Trojan Insertion in Finalized Layouts: From Methodology to a Silicon Demonstration," in IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2022, doi: 10.1109/TCAD.2022.3223846.
- Aikata, A. C. Mert, **M. Imran**, **S. Pagliarini** and S. S. Roy, "KaLi: A Crystal for Post-Quantum Security Using Kyber and Dilithium," in IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, 2022, doi: 10.1109/TCSI.2022.3219555.
- **L. Aksoy**, D. B. Roy, **M. Imran**, P. Karl and **S. Pagliarini**, "Multiplierless Design of Very Large Constant Multiplications in Cryptography," in IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 69, no. 11, pp. 4503-4507, Nov. 2022, doi: 10.1109/TCSII.2022.3191662.
- Alexander Hepp, **Tiago Perez**, **Samuel Pagliarini**, and Georg Sigl. 2022. A Pragmatic Methodology for Blind Hardware Trojan Insertion in Finalized Layouts. In Proceedings of the 41st IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD '22). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 69, 1–9.

Key achievements in 2022:

- A total of 10 articles were published in 2022, out of which 4 are journal articles and 6 appear in conference proceedings
- Our TCAD article is the first paper originating from TalTech to appear at the IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, a journal that for over 40 years has been covering topics related to chip design. No other research group in Estonia has managed to publish in this journal before.
- Best paper award for "Hardware Obfuscation of Digital FIR Filters" in the 2022 25th International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems (DDECS)
- Third place award at the security contest organized within the International Symposium on Physical Design (ISPD) 2022
- Fabrication of three integrated circuits designed by students/postdocs of the Centre

Website: <https://taltech.ee/en/centre-for-hardware-security>

Riistvara turvalisuse keskus

Keskuse juht: Samuel Nascimento Pagliarini, professor, samuel.pagliarini@taltech.ee

Doktorandid: Antonio Felipe Costa de Almeida, Malik Imran, Tiago Diadami Perez, Zain Ul Abideen, Mohammad Eslami

Järel doktorid: Levent Aksoy, Muayad Aljafar, Sumathi Gokulanathan

Riistvara turvalisuse keskus viib läbi uuringuid kõigis riistvara turvalisuse rakenduslikes aspektides: meie eesmärk on turvalisuse valideerimise tehnikad reaalses ränikiipides. Keskuse uurimistöo integraalskeemide projekteerimise, elektroonilise projekteerimise automatiseerimise (EDA) ja krüptograafilise riistvara vallas võimaldab luua usaldusväärseid riistvarapõhiseid süsteeme. Ohud nagu riistvara troojalased, pöördprojekteerimine, integraalskeemi paigutuse hägustamine, IP-piraatlus, integraalskeemide ületootmine, külumkanali rünnakud jne lahendatakse mitmesuguste tehniliste vastumeetmete abil.

Võtmesõnad: riistvara turvalisus, usaldatavad kiibid, rakendusspetsiifilised integraallülitused, riistvara krüptomoodulid, integraallülituste hägustamise (obfuskeerimise) meetodid

Põhikompetentsid:

- Rakendusspetsiifiliste integraallülituste projekteerimine
- Integraalskeem
- Usaldusväärse elektroonilise projekteerimise automatiseerimise töövoog (alates RTL-ist kuni paigutuseni)
- Vastumeetmed pöördprojekteerimisele, külumkanali rünnakutele ja piraatlusele
- Krüpto-riistvara, k.a. konventsionaalne ja postkvantkrüptograafia.

Olulisemad publikatsioonid:

- **T. Perez** and **S. Pagliarini**, "Hardware Trojan Insertion in Finalized Layouts: From Methodology to a Silicon Demonstration," in IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2022, doi: 10.1109/TCAD.2022.3223846.
- Aikata, A. C. Mert, **M. Imran**, **S. Pagliarini** and S. S. Roy, "KaLi: A Crystal for Post-Quantum Security Using Kyber and Dilithium," in IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, 2022, doi: 10.1109/TCSI.2022.3219555.
- **L. Aksoy**, D. B. Roy, **M. Imran**, P. Karl and **S. Pagliarini**, "Multiplierless Design of Very Large Constant Multiplications in Cryptography," in IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 69, no. 11, pp. 4503-4507, Nov. 2022, doi: 10.1109/TCSII.2022.3191662.
- Alexander Hepp, **Tiago Perez**, **Samuel Pagliarini**, and Georg Sigl. 2022. A Pragmatic Methodology for Blind Hardware Trojan Insertion in Finalized Layouts. In Proceedings of the 41st IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design (ICCAD '22). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 69, 1–9.

Võtmetulemused 2022 aastal:

- 2022. aastal publitseeriti kokku 10 publikatsiooni, millest neli on ajakirja artiklid ja kuus ilmusid konverentsikogumikes;
- Meie uurimisgrupi TCAD artikkel on esimene TalTech publikatsioon, mis ilmus ajakirjas "IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems". See on ajakiri, mis on 40 aastat kajastanud kiibi disaini teemat ja meie grupp oli Eestist esimene;
- Parima artikli auhind "Hardware Obfuscation of Digital FIR Filters" 2022 25th International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems (DDECS);
- Kolmanda koha auhind turvalisuse teema võistlusel, mis toimus "International Symposium on Physical Design (ISPD) 2022" raames;
- Kolme integraalskeemi valmimine, mille on välja töötanud keskuse üliõpilased.

Koduleht: <https://taltech.ee/en/centre-for-hardware-security>

Centre for Trustworthy and Efficient Computing Hardware (TECH)

Head of the centre: Maksim Jenihhin, professor, +372 620 2262, maksim.jenihhin@taltech.ee

Academic staff:

- Staff: Raimund-Johannes Ubar, Artur Jutman, Sergei Devadze, Anton Tšertov;
- Postdoctoral fellows: Foaisal Ahmed, Dadmehr Rahbari;
- PhD students: Hardi Selg, Mahdi Taheri, Natalia Cherezova, Xinhui Lai, Ahmet Cagri Bagbaba, Aneesh Balakrishnan;
- Non-academic members: Dmitri Mihhailov, Igor Aleksejev, Konstantin Shibin, Sergei Odintsov.

The Research Centre focuses on cross-layer reliability and self-health awareness technology for tomorrow's complex intelligent autonomous systems and IoT edge devices in Estonia and EU. The team studies advanced cyber-physical systems characterized by their heterogeneity and the emerging computing architectures employing AI-based autonomy. The centre generates knowledge to equip engineers with design-phase solutions and in-field instruments for industry-scale systems to facilitate system's crashless operation.

Keywords: hardware design, cost-efficient computing, trust-efficient computing, reliability, functional safety, system health awareness, predictive maintenance, embedded systems, intelligent autonomous systems, machine learning.

Core competences:

- Hardware design
 - VHDL and Verilog designs
 - EDA tools (Cadence, Siemens, Synopsys platforms)
 - Application-specific computing platforms (Unmanned Aerial Vehicles)
- FPGA-based solutions and methodologies
 - FPGA SoCs (Zynq, CycloneV)
 - EDA tools (Xilinx Vivado, Altera/Intel Quartus, Lattice Diamond)
- Software and embedded SW development
 - Bare-metal applications, bootloaders, Linux drivers and Userspace applications,
 - Petalinux, Yocto, FreeRTOS and embedded SDKs, ELDK
- Cross-layer reliability and fault management
 - ML-based solutions
 - Functional Safety (ISO26262)
- Test strategy development and troubleshooting instrumentation

JTAG/IJTAG based solutions (standards IEEE-1149.1, IEEE-1149.6, IEEE-1687)

Selected projects in 2022:

- PRG1467 (coord. M. Jenihhin) "CRASHLESS - Cross-Layer Reliability and Self-Health Awareness for Intelligent Autonomous Systems" (2022-2026)
- EITSA18018 "Research measure of IT Academy programme for 2018-2022: Internet of Intelligent Things" (2018-2023)
- PRG780 "Preparing the CMS experiment for high luminosity operations through trigger improvements" (2020-2024)
- AR20005 "European Spallation Source ERIC instrumentide kavandamine, projekteerimine ja ehitamine ning rakendamise teaduslikeks uuringuteks (ESSource) (2022)
- TalTech Rector's fund project "Satellite on-board software" (2022)
- TAR16013 "Estonian Centre of Excellence in ICT Research", (2016-2023)
- TalTech Rector's fund project "TalTech-CERN Collaboration: CMS-BRIL FBCM Test System Development", (2022-2024)

Outstanding research results in 2022:

- PhD thesis: A. C. Bagbaba, “Methods to Optimize Functional Safety Assessment for Automotive Integrated Circuits”, Supervisors M. Jenihhin and C. Sauer (Cadence Design Systems, Germany)
- PhD thesis: A. Balakrishnan, “A Synthetic, Hierarchical Approach for Modelling and Managing Complex Systems’ Quality and Reliability”, Supervisors M. Jenihhin and A. Alexandrescu (IROC Technologies, France)
- PhD thesis: X. Lai, “Approaches to Extra-Functional Verification of Security and Reliability Aspects in Hardware Designs”, Supervisors M. Jenihhin and J. Raik, June 2022
- F. Ahmed, M. Jenihhin, „A Survey on UAV Computing Platforms: A Hardware Reliability Perspective“, Sensors 2022, 22, 6286. <https://doi.org/10.3390/s22166286> (1.1 publication)
- C. C. Gürsoy, D. Kraak, F. Ahmed, M. Taouil, M. Jenihhin and S. Hamdioui, "On BTI Aging Rejuvenation in Memory Address Decoders," 2022 IEEE 23rd Latin American Test Symposium (LATS), 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/LATS57337.2022.9936940. (3.1 publication)
- N. Nosrati, M. Jenihhin and Z. Navabi, "MLC: A Machine Learning Based Checker For Soft Error Detection In Embedded Processors," 2022 IEEE 28th International Symposium on On-Line Testing and Robust System Design (IOLTS), 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/IOLTS56730.2022.9897309. (3.1 publication)
- N. Cherezova, D. Mihhailov, S. Devadze and A. Jutman, "HLS-based Optimization of Tau Triggering Algorithm for LHC: a case study," 2022 18th Biennial Baltic Electronics Conference (BEC), 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/BEC56180.2022.9935599. (3.1 publication)
- A. S. Oyeniran, M. Jenihhin, J. Raik and R. Ubar, "High-Level Fault Diagnosis in RISC Processors with Implementation-Independent Functional Test," 2022 IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI (ISVLSI), 2022, pp. 32-37, doi: 10.1109/ISVLSI54635.2022.00019. (3.1 publication)

Affiliation of the research team to the TalTech Academic Development Plan priority areas:

- Dependable IT solutions
- Smart and energy efficient environments

Field of research activity of the research group:

- CERCS: T171 Microelectronics; T120 Systems engineering, computer technology; P176 Artificial intelligence.

Participation of the research group members in the activities of international R&D organizations, membership of foreign academies in 2022:

- Prof. Maksim Jenihhin - General Chair for IEEE DDECS 2023; Program Chair for IEEE DDECS 2023
- Prof. Maksim Jenihhin - Executive Committee member for DATE 2022 and DATE 2023
- Dr. Artur Jutman - Executive Committee member for Nordic Test Forum 2022

Website address of the research group: N/A

Three most important foreign and three most important Estonian cooperation partners:

Lyon Institute of Nanotechnology, École Centrale de Lyon, France

Department of Control and Computer Engineering – DAUIN, Politecnico di Torino, Italy

Cadence Design Systems, Germany

Testonica Lab OÜ, Estonia

Ericsson Eesti AS, Estonia

SKYCORP OÜ, Estonia

Töökindla arvutusriistvara keskus (TARK)

Uurimisrühma juht: Maksim Jenihhin, professor, +372 620 2262, maksim.jenihhin@taltech.ee

Akadeemiline koosseis:

- koosseis: Raimund-Johannes Ubar, Artur Jutman, Sergei Devadze, Anton Tšertov;
- järel doktorid: Foisal Ahmed, Dadmehr Rahbari;
- doktorandid: Hardi Selg, Mahdi Taheri, Natalia Cherezova, Xinhui Lai, Ahmet Cagri Bagbaba, Aneesh Balakrishnan;
- mitteakadeemilistel ametikohtadel töötavad liikmed: Dmitri Mihhailov, Igor Aleksejev, Konstantin Shubin, Sergei Odintsov.

Uurimiskeskuse fookuses on adaptiivne kihtideülese töökindluse ja enesetervise teadlikkuse tehnoloogia homsete arukate autonoomsete süsteemide ja värvõrgu jaoks Eestis ja Euroopas. Teadusrühm uurib küberfüüsikaliste süsteemide alusarvutusriistvara toetades nende süsteemide heterogeensust ja tehisintelligentsusel põhinevat autonoomsust. Keskuses loodud teadmised pakuvad inseneridele disainilahendusi ja kohapealset instrumentaariumi tööstuslike süsteemide tõrgete haldamiseks.

Võtmesõnad: arvutusriistvara projekteerimine, ressursside tõhus arvutus, töökindlus, funktsionaalne ohutus, süsteemi enesetervise teadlikkus, ennustav hooldus, sardsüsteemid, arukad autonoomsed süsteemid, masinõpe.

Uurimisrühma kompetentsid:

- arvutusriistvara projekteerimine
 - VHDL ja Verilog projektid
 - Projekteerimise keskkonnad (Cadence, Siemens-Mentor, Synopsys)
 - Rakendusspetsiifilised arvutusplatvormid (Mehitamata õhusõidukid ehk droonid)
- FPGA-põhilised lahendused ja metodoloogiad
 - FPGA süsteemkiibid (Zynq, CycloneV)
 - Projekteerimise keskkonnad (Xilinx Vivado, Altera/Intel Quartus, Lattice Diamond)
- Tarkvara ja sardtarkvara arendus
 - Paljasmetalli rakendused, buudilaadurid, Linux draiverid ja Userspace rakendused
 - Operatsioonisüsteemid Petalinux, Yocto, FreeRTOS ja tarkvaraarenduskomplektid (SDK, ELDK)
- Kihtideülene töökindlus ning rikete haldus
 - masinõppepõhised lahendused
 - funktsionaalne ohutus (standard ISO26262)
- Testi ja tõrkeotsingu instrumendid
 - JTAG/IJTAG põhised lahendused (standardid IEEE-1149.1, IEEE-1149.6, IEEE-1687)

Olulised projektid:

- PRG1467 (koord. M. Jenihhin) "CRASHLESS - Kihtideülene töökindlus ja enesetervise teadlikkus arukate autonoomsete süsteemide jaoks" (2022-2026)
- EITSA18018 " IT Akadeemia programmi IKT teaduse toetusmeede perioodiks 2018-2022: tarkade asjade internet" (2018-2023)
- PRG780 " CMS eksperimendi ettevalmistamine kõrge heledusega tööperioodil läbi triggeri uuenduste (CERN)" (2020-2024)
- AR20005 „Euroopa NeutronkiirguseAllikas“– arendusprojektid ESS kiirendi jaoks (ESSource) (2022)
- TalTech Rektori fondi projekt "Satelliitide parda-tarkvara" (2022)
- TAR16013 "Estonian Centre of Excellence in ICT Research" (2016-2023)

- TalTech Rektori fondi projekt „TalTech-CERN koostöö: CMS-BRIL FBCM kiibi testimissüsteemi arendamine“

Väljapaistvad teadustulemused aastal 2022:

- Doktoritöö: A. C. Bagbaba, “Methods to Optimize Functional Safety Assessment for Automotive Integrated Circuits”, Juhendajad M. Jenihhin ja C. Sauer (Cadence Design Systems, Saksamaa)
- Doktoritöö: A. Balakrishnan, “A Synthetic, Hierarchical Approach for Modelling and Managing Complex Systems’ Quality and Reliability”, Juhendajad M. Jenihhin ja A. Alexandrescu (IROC Technologies, Prantsusmaa)
- Doktoritöö: X. Lai, “Approaches to Extra-Functional Verification of Security and Reliability Aspects in Hardware Designs”, Juhendajad M. Jenihhin ja J. Raik, June 2022
- F. Ahmed, M. Jenihhin, „A Survey on UAV Computing Platforms: A Hardware Reliability Perspective“, Sensors 2022, 22, 6286. <https://doi.org/10.3390/s22166286> (1.1 artikkel)
- C. C. Gürsoy, D. Kraak, F. Ahmed, M. Taouil, M. Jenihhin and S. Hamdioui, "On BTI Aging Rejuvenation in Memory Address Decoders," 2022 IEEE 23rd Latin American Test Symposium (LATS), 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/LATS57337.2022.9936940. (3.1 artikkel)
- N. Nosrati, M. Jenihhin and Z. Navabi, "MLC: A Machine Learning Based Checker For Soft Error Detection In Embedded Processors," 2022 IEEE 28th International Symposium on On-Line Testing and Robust System Design (IOLTS), 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/IOLTS56730.2022.9897309. (3.1 artikkel)
- N. Cherezova, D. Mihhailov, S. Devadze and A. Jutman, "HLS-based Optimization of Tau Triggering Algorithm for LHC: a case study," 2022 18th Biennial Baltic Electronics Conference (BEC), 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/BEC56180.2022.9935599. (3.1 artikkel)
- A. S. Oyeniran, M. Jenihhin, J. Raik and R. Ubar, "High-Level Fault Diagnosis in RISC Processors with Implementation-Independent Functional Test," 2022 IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI (ISVLSI), 2022, pp. 32-37, doi: 10.1109/ISVLSI54635.2022.00019. (3.1 artikkel)

Uurimisrühma seotus AAK prioriteetse suunaga:

- Usaldusväärset IT-lahendused
- Targad ja energiatõhusad keskkonnad

Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond:

- CERCS: T171 Mikroelektroonika; T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia; P176 Tehisintellekt.

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

- Prof. Maksim Jenihhin – Üldjuht konverentsil IEEE DDECS 2023, Programmikomitee juht konverentsil IEEE DDECS 2022
- Prof. Maksim Jenihhin - Täitevkomitee liige DATE 2022 ja DATE 2023
- Dr. Artur Jutman - Täitevkomitee liige Nordic Test Forum 2022

Uurimisrühma veebilehe aadress: N/A

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

Lyon Institute of Nanotechnology, École Centrale de Lyon, Prantsusmaa

Department of Control and Computer Engineering – DAUIN, Politecnico di Torino, Itaalia

Cadence Design Systems, Saksamaa

Testonica Lab OÜ, Eesti

Ericsson Eesti AS, Eesti

SKYCORP OÜ, Eesti

Embedded AI Research Lab

Head of the lab: Mairo Leier, senior researcher, mairo.leier@taltech.ee

Academic staff: Uljana Reinsalu, researcher, Karl Janson, researcher, PhD students: Jürgen Soom, Olutosin Ajibola Ademola

The Embedded AI Research Lab focuses on developing and optimizing machine learning solutions for the embedded systems (edge computing). The laboratory collaborates internationally with research teams and companies from the maritime, smart city, autonomous vehicles, and industrial automation sectors. Main focus is on maritime and mobility solutions.

Core competencies:

- embedded hardware design and prototyping,
- machine learning model optimization for embedded hardware,
- hardware accelerators for edge computing,
- image and video processing on edge devices
- radar and vision sensor fusion

Keywords: embedded machine learning, edge computing, embedded systems design, signal processing, sensor fusion

We have been involved the following **projects during year 2022**

- VA20069 – “ROROGREEN - Green RORO shipping through digital innovation”
- F21029 – “Developing a technology fro pre-programmed autonomous open-water tests for vessels”
- AR20013 – “Smart City Center of Excellence”
- LITEE20122 – “ISC2PT – Intelligent Smart City and Critical Infrastructure Protection Technologies”
- AR20013EM – “Future Transport Ecosystem Management Solution”

We have coordinated following research- and development projects in 2022:

- LIAEE20135 – “Prototype development of sensory of automatic malfunction detection for industry doors”

In 2022 the research group has published 2 research papers according to ETIS classifier:
1 paper - 3.1

Affiliation of the research team to the TalTech Academic Development Plan priority areas:

- Smart and energy-efficient environments.
- Dependable IT solutions

Field of research activity of the research group:

- CERCS: T120 Systems engineering, computer technology; P176 Artificial intelligence.

Homepage: <https://iot.ttu.ee>

Sardtehisintellekti labor

Labori juht: Mairo Leier, vanemteadur, mairo.leier@taltech.ee

Liikmed: Uljana Reinsalu, teadur, Karl Janson, teadur, doktorandid: Jürgen Soom, Olutosin Ajibola Ademola

Sardtehisintellekti labor keskendub masinõppe lahenduste arendamisele sardsüsteemides. Labor teeb rahvusvaheliselt koostööd nii merenduse, meditsiini, targa linna, autonoomsete sõidukite ja tööstusautomaatika teadusgruppide ja ettevõtetega. Põhifookus on merenduse ja mobiilsusega seotud valdkonnad.

Põhikompetentsid:

- sardriistvara disain ja prototüüpimine,
- masinõppemudelite optimeerimine sardriistvarale,
- mobiilsete sensorite arvutustehnoloogiad,
- pildi- ja videotöötlus sardriistvaral
- raradi ja kaamera sensori info kokku sidumine

Võtmesõnad: sardsüsteemide disain, sardtarkvara masinõpe, signaalitöötlus, äärearvutus, sensori info kokku sidumine

Uurimisgrupp osales 2022. aastal järgmistes teadus- ja arendusprojektides:

- VA20069 - “ROROGREEN – RORO laevanduse keskkonnasäästlikkus läbi digitaalse innovatsiooni”
- F21029 – “Laevade eelseadistatud autonoomsete avaveekatsetuste tehnoloogia arendamine”
- AR20013 – “Targa linna tippkeskus”
- LITEE20122 – “Intelligentsed Targa Linna ja Kriitilise Infrastruktuuri Toimepidevuse Tehnologiad II”
- AR20013EM – “Tuleviku transpordi ökosüsteemi lahendus”

Uurimisgrupp juhtis 2022. aastal järgmiseid teadus- ja arendusprojekte:

- LIAEE20135 – “Tööstusustele automaatse rikke tuvastamise sensorika väljatöötamine”

Uurimisgrupp avaldas 2022. aastal 2 publikatsiooni ETISE klassifikaatori järgi:

1 paper - 3.1

Uurimisrühma seotus AAK prioriteetse suunaga:

- Targad ja energiatõhusad keskkonnad
- Usaldusväärsed IT-lahendused

Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond:

- CERCS: T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia; P176 Tehisintellekt.

Keskuse veebilehe info: <https://iot.ttu.ee>