

**Arvutisüsteemide instituut**

**2021. aasta teadus- ja arendustegevuse aruanne**

**Arvutisüsteemide instituut**

**Department of Computer Systems**

Margus Kruus, [margus.kruus@taltech.ee](mailto: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

## Instituudi 2021. a edulood

### **Prof. Jeffrey Andrew Tuhtan - Keskkonnaseire tehnoloogiate keskus**

Me oleme kogenud tööstuslikku ja digitaalset revolutsiooni ning nüüd on käes keskkonnarevolutsiooni aeg. Suurimad ohud inimtsivilisatsioonile ei ole praegu sõjad ega majandus, vaid keskkonnaohud. Põud, üleujutused, joogivee kadumine, põllumajandusmaa degradeerumine ning looduslike taime- ja loomapopulatsioonide süstemaatiline hävitamine muudavad igaveseks meie arusaama sellest, mida tähendab olla inimene. Nende probleemidega tegelemiseks peame jälgima, hindama ja kohanema oma muutuva keskkonnaga, võttes eelkõige arvesse energiajulgeolekut. Minu töörühm on olnud esirinnas hüdroenergiatööstuse tarbeks selliste lahenduste väljatöötamisel, mis on kalasõbralikud ja annavad tööstusele, akadeemilistele ringkondadele ja reguleerivatele asutustele andmepõhise ühise arutelupõhja. Meeskonna tehniline taust peegeldab väga multidistsiplinaarset tööd, mis on vajalik ülemaailmselt oluliste raskete probleemide lahendamiseks: meil on veevarude uurijaid, elektroonikainsenere, arvutinägemise ja andmeteandlasi. Igaüks neist on väärtuslik lüli keskkonnaseire tehnoloogilises lähenemisviisis, mida Keskkonnamõõtmise ja -analüüsi keskus kasutab. Meie rühm on rahvusvaheliselt hästi tunnustatud, meil on akadeemilisi partnereid enam kui kümnes Euroopa riigis, ja ma olen eriti uhke, et sel aastal on meil kavas viia lõpule üle 1 miljoni euro väärtuses tööstusprojekte, millest valdav osa on pärit Euroopa juhtivatelt energiaettevõtjatelt. Kuna meie andurid on projekteeritud ja katsetatud hüdroenergiaettevõtete poolt nõutavate äärmuslike füüsikaliste tingimuste jaoks, kasutavad meie tehnoloogiaid nüüd ka liustike ja sette transpordi uurijad, et saada mõõtmisi, mis varem olid võimatud. Sel aastal alustame ka tehisintellektil põhineva kalade loendussüsteemi laiaulatuslikku rakendamist Saksamaa Föderalse Hüdroloogiainstituudi jaoks, töötleme üle 50 TB videoid ja loendame mõnel juhul üle 50 000 kala päevas. See läbimurdeline tehnoloogia, mille minu rühm on välja töötanud, pakub uusi ja murrangulisi teaduslikke avastusi selle kohta, kuidas 30 erinevat mageveeliiki tegelikult rändavad, ning on ka meie esimese spin-off-ettevõtte aluseks. TalTechis välja töötatud keskkonnaandurite tehnoloogiaid ootavad ees põnevad ja väljakutsete rohked ajad, kus me võtame asju "üks kala korraga".

**LINK TO VIDEO:** [https://livettu-my.sharepoint.com/:v/g/personal/jetuht\\_ttu\\_ee/EZ6D3yY2xChOiSPZfHEbwAUB5ZZr6QQCKBpQG-Qzf6YI9w?e=4Kybep](https://livettu-my.sharepoint.com/:v/g/personal/jetuht_ttu_ee/EZ6D3yY2xChOiSPZfHEbwAUB5ZZr6QQCKBpQG-Qzf6YI9w?e=4Kybep)

### **Prof. Maksim Jenihhin to RESCUE, CRASHLESS, TECH**

A new research centre for Trustworthy and Efficient Computing Hardware, shortly TECH, was recently established at the Department of Computer Systems. The new research centre was motivated by the increasing demand for research targeting the cross-layer reliability and self-health awareness technology for the underlying hardware of tomorrow's complex intelligent autonomous systems and IoT edge devices.

The research centre is led by Prof. Maksim Jenihhin, a homegrown researcher with his scientific degrees from the Tallinn University of Technology. Since his PhD defence, he advanced through his career path from a researcher to a tenured associate professor, collecting several research awards on the way, such as the Young IT-Scientist Award 2017 by the president. Maksim Jenihhin was the first coordinator from Estonia for a highly competitive Marie Skłodowska-Curie Innovative Training Network type of European projects. His international 3.7-million euro project RESCUE – “Interdependent Challenges of Reliability, Security and Quality in Nanoelectronic Systems Design” was successfully accomplished in 2021. It resulted in more than 90 scientific publications by fifteen PhD students from eight academic and industrial institutions that teamed up for a novel sustainable approach for collaborative PhD training.

In the 2021 application round for the national personal team grants, the project proposal by Prof. Jenihhin entitled CRASHLESS – “Cross-Layer Reliability and Self-Health Awareness for Intelligent Autonomous Systems” was ranked the first. This success has resulted in the national five-year PUT

PRG project CRASHLESS launched at the beginning of 2022. The research centre TECH forms the core team of researchers committed to developing the innovative concepts of CRASHLESS. The work plan implies collaboration with several Estonian companies, including the department's spin-off company Tesnonica Lab OÜ. The company is led by a researcher of TECH Dr. Artur Jutman, who strongly contributed to the CRASHLESS concepts and to establishing the TECH centre. The objectives of CRASHLESS intertwine with the mission of the IT-Academy measure funded research topic "Internet of Intelligent Things" initiated by Prof. Jenihhin in 2018.

In the new research centre, Prof. Jenihhin and his team are aiming at applied research outcomes, and they study advanced cyber-physical systems characterized by heterogeneity and the emerging computing architectures employing AI-based autonomy. Their steps towards establishing R&D collaboration with CERN and the European Space Agency aim to develop and adopt the unique space and harsh-environment technologies for reliable commercial products by Estonian and EU companies.

### ***Prof. Eduard Petlenkov – arukate süsteemide keskus***

Eduard on meie oma ülikooli „täiemahuline“ kasvandik, kes siin aegade jooksul läbinud kõik kolm haridusastet ning jõudnud tänaseks täisprofessoriks tenuuris ja juhib väga edukalt toimivat arukate süsteemide keskust arvutisüsteemide instituudis. Ta on suurepärase näide tugevast teadlasest, kes samas teeb ka palju õppetööd ning on hulgaliselt juhendanud tema teadustemaatikaga seotud lõputöid. Eduardi pühendumust doktoriõppele kirjeldavad kõige paremini kaks järgmist fakti: ühest tema poolt juhendatud doktorandist on tänaseks saanud samuti tenuuriprofessor meie ülikoolis (Juri Belikov, PhD 2012) ning eelmise aasta (2021) tulemuste põhjal omistati talle doktorantide edukaima juhendaja tiitel meie ülikooli infotehnoloogia teaduskonnas.

Arukate süsteemide keskuse kõige silmapaistvamad teadustulemused on saadud murrulistel tuletistel põhineva modelleerimise ning juhtimissüsteemide sünteesi meetodite alal. Väljatöötatud algoritmid võimaldavad modelleerida ja juhtida keerulisi mittelineaarseid tööstuslike protsesse. Mudeli struktuuri määramiseks on edukalt rakendatud geneetilistel algoritmidel (geneetilisel programmeerimisel) põhinevat lähenemist. Väljatöötatud meetodeid katsetatakse nii keskuse oma teaduslaboris kui ka tööstuspartneritelt saadud reaalsel andmetel.

Praktikas on kõige suuremaks väljakutseks juba olemasolevate juhtimissüsteemide täiendamine kaasaegsete tehnoloogiate poolt pakutavate võimalustega. Eriti teravalt on probleem nähtav tööstuses, kus uute meetodite kasutuselevõtt vajab olemasoleva riistvara asendamist, mis on töötava protsessi puhul peaaegu võimatu. Probleemi lahendamiseks oli välja töötanud meetodika, mis võimaldab oluliselt parendada juhtimissüsteeme ilma olemasolevasse juhtimisstruktuuri sekkumata ning võimaldab seega loobuda kulukast ja töömahukast infrastruktuuri täielikust uuendusest. Samuti on välja töötatud meetodika, mis loob uue paradigma näiteks kõige levinumate (PID) regulaatorite häälestamiseks, laiendades traditsioonilist lähenemist murruliste tuletistel põhinevate võimalustega. Meetodika põhineb lisaks murruliste tuletiste kasutuselevõtule tarkvaraliselt realiseeritud täiendava tagasisidekontuuri, nn. kompensatori, lisamisel, mis muudab süsteemi käitumise tunduvalt täpsemaks, optimaalsemaks ja stabiilsemaks. Meetod on edukalt katsetatud laboris äärmiselt ebastabiilsetel katseobjektidel.

Arukate süsteemide keskuse teadustöö toimib väga tihedates sidemetes tarkvarateaduse instituudi mittelineaarsete juhtimissüsteemide tööühmaga.

## **Teadus- ja arendustegevuse ülevaade uurimisrühmade lõikes**

### **Centre for Dependable Computing Systems**

**Head of the centre:** Jaan Raik, professor, +372 6202257, [jaan.raik@taltech.ee](mailto:jaan.raik@taltech.ee)

**Academic staff:** Gert Jervan, professor, Peeter Ellervee, professor, Thomas Hollstein, adjunct professor, Masoud Daneshtalab, adjunct professor, Raimund-Johannes Ubar, professor emeritus, Aleksander Sudnitsõn, assoc. professor, Kalle Tammemäe, assoc. professor, Tara Ghasempouri, senior researcher, Behrad Niazmand, researcher, Madis Kerner, PhD student/junior researcher, Lauri Vihman, PhD student/junior researcher, Ameer Shalabi, PhD student/junior researcher, Mohammad Hasan Ahmadilivani, PhD student/junior researcher, Heidari Iman Mohammadreza, 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 2021 were the following:

- Hardware security (cooperation with TU Delft, LIRMM/University of Montpellier, Airbus, Frankfurt UAS, Intrinsic-ID, Riscure);
- Embedded neural network accelerators (Mälardalen University, Tartu University, Fraunhofer IKS, Philips, Siemens);
- Cross-layer resilience in sensor networks (cooperation: Testonica Lab OÜ);
- Verification (assertion mining) (cooperation: EPFL/Lausanne, TU Hamburg, DLR);
- Diagnostic test generation and microprocessor testing (cooperation: Politecnico di Torino);

#### **Most significant projects:**

- VFP17093 “RESCUE ETN - Interdependent Challenges of Reliability, Security and Quality in Nanoelectronic Systems Design”, 2017-2021
- VFP20015 "Secure and Assured Hardware: Facilitating ESTonia's Digital Society", 2021-2023
- TAR16013 “Estonian Centre of Excellence in ICT Research”, 2016-2023
- AR20013IA “Real-time building performance audit”, 2021-2023
- VFP19054 "SMART4ALL - Selfsustained Cross Border Customized Cyberphysical System Experiments for Capacity Building Among European Stakeholders", 2020–2023
- VFP17095 "TETRAMAX - TEchnology TRAnsfer via Multinational Application eXperiments", 2017-2021

#### **Most significant publications:**

- Kerner, Madis; Tammemäe, Kalle; Raik, Jaan; Hollstein, Thomas (2021). Triple Fixed-Point MAC Unit for Deep Learning. *Design Automation and Test in Europe Conference (DATE)*. IEEE.
- Ghasempouri, Tara; Raik, Jaan; Paul, Kolin; Reinbrecht, Cezar; Hamdioui, Said; Mottaqiallah, (2021). Verifying cache architecture vulnerabilities using a formal security verification flow. *Microelectronics Reliability*, 119, 114085. DOI: 10.1016/j.microrel.2021.114085.

- Vihman, L.; Kruusmaa, M.; Raik, J. (2021). Systematic Review of Fault Tolerant Techniques in Underwater Sensor Networks. *Sensors*, #3264. DOI: 10.3390/s21093264.

The centre has been the initiator of several pan-European actions. Currently it contributes to a newly launched Horizon2020 Twinning Action SAFEST. We are also partners in the national ICT centre of research excellence EXCITE. Two PhD theses were defended within the research group in 2021.

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 awards for the research group members in 2021:

- Jaan Raik, The Global Digital Governance Fellowship at Stanford University.

## ----- -Usaldusväärsete arvutisüsteemide keskus

**Keskuse juht:** Jaan Raik, professor, +372 6202257, [jaan.raik@taltech.ee](mailto:jaan.raik@taltech.ee)

**Akadeemiline personal:** Gert Jervan, professor, Peeter Ellervee, professor, Thomas Hollstein, kaasatud professor, Masoud Daneshtalab, kaasatud professor, Raimund-Johannes Ubar, emeriitprofessor, Aleksander Sudnitsõn, dotsent, Kalle Tammemäe, dotsent, Tara Ghasempouri, vanemteadur, Behrad Niazmand, teadur, Madis Kerner, doktorant-nooremteadur, Lauri Vihman, doktorant-nooremteadur, Ameer Shalabi, doktorant-nooremteadur, Mohammad Hasan Ahmadilivani, doktorant-nooremteadur, Heidari Iman Mohammadreza, doktorant-nooremteadur

### **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 vallast.

### **Peamised uurimissuunad** aastal 2021 hõlmasid:

- Riistvara turve (koostöö: Delfti TÜ, LIRMM/Montpellier, Airbus, Frankfurt UAS, Intrinsic-ID, Riscure);
- Närvivõrkude riistvaralised kiirendid (koostöö: Mälardaleni Ülikool, Tartu Ülikool);
- Kihivõrkude usaldusväärsus sensorivõrkudes (koostöö: Testonica Lab OÜ);
- Verifitseerimine (omaduste kaevandamine) (koostöö: EPFL/Lausanne, TU Hamburg, Saksa kosmoskeskus DLR);
- Diagnostiline testigenerereerimine ja mikroprotsessorite test (koostöö: Politecnico di Torino);

### **Olulisemad teadusprojektid:**

- VFP17093 “RESCUE ETN - Nanoelektronika süsteemide usaldusväärse, turvalisuse ja vastastikusel sõltuvuses olevad väljakutsed”, 2017-2021
- VFP20015 "Turvaline ja kindel riistvara: Eesti digitaalse ühiskonna hüvanguks", 2021-2023
- TAR16013 “IT Tippkeskus EXCITE”, 2016-2023
- AR20013IA “Hoone suutlikkuse audit reaalajas”, 2021-2023
- VFP19054 "SMART4ALL - Küberfüüsikaliste süsteemide piiriülesed süsteemid Euroopa huvigruppide võimekuse arendamiseks", 2020–2023
- VFP17095 "TETRAMAX - Tehnoloogiastiire läbi rahvusvaheliste eksperimentide", 2017-2021

### **Olulisemad publikatsioonid:**

- Kerner, Madis; Tammemäe, Kalle; Raik, Jaan; Hollstein, Thomas (2021). Triple Fixed-Point MAC Unit for Deep Learning. *Design Automation and Test in Europe Conference (DATE)*. IEEE.
- Ghasempouri, Tara; Raik, Jaan; Paul, Kolin; Reinbrecht, Cezar; Hamdioui, Said; Mottaqiallah, (2021). Verifying cache architecture vulnerabilities using a formal security verification flow. *Microelectronics Reliability*, 119, 114085. DOI: 10.1016/j.microrel.2021.114085.
- Vihman, L.; Kruusmaa, M.; Raik, J. (2021). Systematic Review of Fault Tolerant Techniques in Underwater Sensor Networks. *Sensors*, #3264. DOI: 10.3390/s21093264.

Keskus on mitmete üle-Euroopaliste aktsioonide eestvedaja. Hetkel osaletakse Horisont2020 Twinning projektis SAFEST. Samuti ollakse partneriks teaduse tippkeskuses EXCITE. Aasta jooksul kaitsti uurimisgrupis edukalt 2 doktoritööd.

Keskuse töö on seotud järgmiste AAK prioriteetsete suundadega:

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

Uurimisrühma tegevuse on seotud järgmiste teadusvaldkondadega:

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

Uurimisrühma olulised tunnustused aastal 2021:

- Jaan Raik, The Global Digital Governance stipendium teadustööks Stanfordini Ülikoolis.

## Centre for Biorobotics

**Head of the centre:** Maarja Kruusmaa, Professor, +3725183074, [maarja.kruusmaa@taltech.ee](mailto:maarja.kruusmaa@taltech.ee)

**Academic staff:** Asko Ristolainen, senior researcher, researchers: Margit Egerer, Laura Piho, Christian Meurer, Elizaveta Dubrovinskaya, doctoral students: Roza Gkliva, Mohamed Walid Remmas, Simon Pierre Godon, non-academic members: Jaan Rebane, Andres Ernits, Kilian Ochs, Jaanus Joasoo

**The Centre for Biorobotics** specializes in research and development of underwater robotics and sensing. On the robotics side 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 e
- Mapping and navigation of unstructured environments

### Key achievements of 2021:

- PhD graduation of Christian Meurer, “State Estimation and Control for Small Low-Cost Autonomous Underwater Vehicles”, supervisors Maarja Kruusmaa and Ülle Kotta
- Development and experiments with a novel robotic platform equipped with haptic sensing within H2020 project ROBOMINERS (proof of concept demonstrated within MSc thesis: Andreas Nagel “Blind Mapping and Localization for Small-Scale Mining Robots”)
- Deployments of sensors in field campaigns within MAMMAMIA project in Svalbard, in project SolidShore in on the coast of Lithuania Klaipeda, successful pilot installation of water quality monitoring network within KIK19013 project on the island state of Grenada
- 3 proposals of H2020 projects. Successful application of H2020 project ILIAD (Integrated Digital Framework for Comprehensive Maritime DATA and Information Services), starting 02.2022)

### 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](mailto:maarja.kruusmaa@taltech.ee)

**Akadeemiline personal:** Asko Ristolainen, vanemteadur, teadurid: Margit Egerer, Laura Pihon, Christian Meurer, Elizaveta Dubrovinskaya, doktorandid: Roza Gkliva, Mohamed Walid Remmas, Simon Pierre Godon, insenerid ja administratiivabi: Jaan Rebane, Andres Ernits, Kilian Ochs, Jaanus Joasoo

**Biorobotika keskus** on spetsialiseerunud veealuse robotika ning andurite teadusarendustegevusele. Robotika poole pealt on rühma fookuseks 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 2021:**

- Christian Meureri doktoritöö kaitsmine teemal “State Estimation and Control for Small Low-Cost Autonomous Underwater Vehicles”, juhendajad Maarja Kruusmaa ja Ülle Kotta
- Taktiilsete anduritega uudse robotplavormi arendus ja katsetamine H2020 projekti ROBOMINERS raames (esitatud magistritööna Andreas Nageli poolt “Blind Mapping and Localization for Small-Scale Mining Robots”)
- Andurite rakendamine välikatsetes MAMMAMIA projekti raames Teravmägedel, Norras, projekti SolidShore raames Leedu rannikul Klaipedas, edukas pilootkatse veekvaliteedisensorite rakendamisel KIK19013 projekti raames Kariibimere saareriigis, Grenadal
- 3 H2020 taotlust, millest 2 on hetkel hindamisel ning millest projekt ILIAD (Integrated Digital Framework for Comprehensive Maritime DATA and Information Services, algab 02.2022) ja sai rahastuse.

### **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](mailto: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, non-academic staff: Andres Ernits, Jaan Rebane, Vishwajeet Pattanaik,

**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 2021:

- A total of 10 publications were accepted/published in 2021, one book “Ethohydraulics” was published by Springer in German, the English version is slated for publication in 2022. The publications are in Q1 journals and leading conferences, featuring our collaboration with global hydropower providers (Verbund, TIWAG) and manufacturers (Voith, Andritz).
- Awarded two German national tenders to develop and implement large-scale computer vision system for automatically counting 30 species of freshwater fish.
- 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 15 proposals submitted to different programs and frameworks: Industrial Research (11), ETAg POC (1), ETAg PRG (1) and HE (2). The combined budget is in the order of 6M EUR. Members of the Centre are the PIs/coordinators in 12 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](mailto: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, mitteakadeemiline personal: Andres Ernits, Jaan Rebane

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 usaldusvärsust.

**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 2021:

- Kokku võeti vastu/avaldati 2021. aastal 10 publikatsiooni, üks raamat "Ethohydraulics" ilmus saksa keeles Springeris, ingliskeelne versioon peaks ilmuma 2022. aastal. Väljaanded on avaldatud Q1 ajakirjades ja juhtivatel konverentsidel, kus kajastub meie koostöö globaalsete hüdroenergia pakkujate (Verbund, TIWAG) ja tootjatega (Voith, Andritz).
- Võitsime kaks Saksamaa riigihanget, et töötada välja ja rakendada suuremahuline masinnägemissüsteem 30 magevee kalaliigi automaatseks loendamiseks.
- 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 16 ettepanekut: Tööstusuuringud (11), ETAg POC (1), ETAg PRG (1) ja HE (3). Kombineeritud eelarve on suurusjärgus 6 miljonit eurot. Keskuse liikmed on 12 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](mailto:eduard.petlenkov@taltech.ee)

**Academic staff, 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

### 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 2021** the research group has published 22 research papers (11 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
- Automated machine learning and rule-based methods for fault detection of air handling units to increase their efficiency.
- Fractional-order systems; analysis, synthesis and their importance for future design.
- Monte-Carlo analysis of the spreading rate of a virus as a function of human mobility and social distancing
- Applied research for creating a cost-effective interchangeable 3D spatial data infrastructure with survey-grade accuracy
- Virtual Labs for Digital Engineering Education
- Smart City Center of Excellence: Real-Time Building Performance Audit (DigiAudit).

### 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](mailto:eduard.petlenkov@taltech.ee)

**Akadeemiline koosseis: 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 Škiparev, Azer Ramazanli

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 **2021.aastal** 22 teaduspublikatsiooni (11 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
- Energiatöötamise juhtimise paindlikkustoote pilootprojekt
- Murrulised süsteemid: analüüs, süntees ja nende tähtsus tuleviku disaini jaoks.
- Masinõppel ja reeglipõhisel veatuvastusel põhinevad automaatsed meetodid ventilatsiooniseadmete efektiivsuse suurendamiseks
- Viiruse levimiskiiruse Monte-Carlo analüüs sõltuvuses inimeste mobiilsusest ja sotsiaalsest distantseerumisest

- Kuluefektiivse ühildatava geodeetilise täpsusega 3D ruumiandmete taristu loomise rakendusuring
- Digitaalse insenerihariduse virtuaalsed laborid
- Targa linna tippkeskus: DigiAudit

**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, [samuel.pagliarini@taltech.ee](mailto:samuel.pagliarini@taltech.ee)

**Academic staff: doctoral students:** Antonio Felipe Costa de Almeida, Malik Imran, Tiago Diadami Perez, Zain Ul Abideen, Mohammad Eslami, **postdoctoral fellows:** Mahdiah Grailoo, Levent Aksoy, Muayad Aljafar

**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 by design partitioning and locking
- 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

### Key achievements in 2021:

- Accepted paper at one of the best conferences in the field with the title “G-GPU: A Fully-Automated Generator of GPU-like ASIC Accelerators”. This paper has been nominated for a **best paper** award at DATE’22
- A total of 13 publications were accepted/published in 2021. The publication venues are important conferences of the area (DATE, ASP-DAC, ISCAS, ASHES, etc.)
- Fabrication of two integrated circuits designed by students of the Centre
- Organization of a summer school and a workshop in the context of the H2020 SAFEST project
- Continued effort to seek funding, with a total of 6 proposals submitted to different programs and frameworks: ERC COG, ETAg PSG, ETAg PRG, MSCA, ESA, and HE. The combined budget is in the order of 8M EUR. Members of the Centre are the PIs/coordinators in five of these proposals.

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; T170 Electronics; T120 Systems engineering, computer technology.

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

## Riistvara turvalisuse keskus

**Keskuse juht:** Samuel Nascimento Pagliarini, [samuel.pagliarini@taltech.ee](mailto:samuel.pagliarini@taltech.ee)

**Akadeemiline koosseis: doktorandid:** Antonio Felipe Costa de Almeida, Malik Imran, Tiago Diadami Perez, Zain Ul Abideen, Mohammad Eslami, **järeldoktorid:** Mahdiah Grailoo, Levent Aksoy, Muayad Aljafar

**Riistvara turvalisuse keskus** viib läbi uuringuid kõigis riistvara turvalisuse rakenduslikes aspektides: meie eesmärk on turvalisuse valideerimise tehnikad reaalses ränikiipides. Keskuse uurimistöö 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
- Integraalskeemi paigutuse hägustamine projekti tükeldamise teel (Split-Chip ja Split-Fab)
- Usaldusväärse elektroonilise projekteerimise automatiseerimise töövoog (alates RTL-ist kuni paigutuseni)
- Vastumeetmed pöördprojekteerimisele, külumkanali rünnakutele ja piraatlusele
- Krüpto-riistvara, k.a. konventsionaalne ja postkvantkrüptograafia.

### Võtmetulemused 2021 aastal:

- Aktsepteeritud publikatsioon antud valdkonna parimal konverentsil. Publikatsioon “G-GPU: A Fully-Automated Generator of GPU-like ASIC Accelerators” on nomineeritud parima publikatsiooni hulka konverentsil DATE’22;
- 2021. aastal aktsepteeriti/ publitseeriti kokku 13 publikatsiooni. Publitseeriti antud valdkonna tähtsatel konverentsidel (DATE, ASP-DAC, ISCAS, ASHES jne)
- Kahe integraalskeemi valmimine, mille on välja töötanud keskuse üliõpilased;
- Suvekooli ja töötoa organiseerimine projekti H2020 SAFEST raames;
- Jätkuvad jõupingutused rahastamise otsimisel, erinevatele programmidele ja raamistikele esitati kokku 6 taotlust: ERC COG, ETAg PSG, ETAg PRG, MSCA, ESA ja HE. Kogueelarve on suurusjärgus 8 miljonit eurot. Keskuse liikmed on viies neist taotlustes koordinaatorid.

Keskuse töö on seotud järgmiste AAK prioriteetsete suundadega:

- Usaldusväärsed IT-lahendused;
- Targad ja energiatõhusad keskkonnad.

Uurimisrühma tegevuse on seotud järgmiste teadusvaldkondadega:

- CERCS: T171 Mikroelektronika; T170 Elektronika, T120 Süsteemitehnoloogia,.

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

## Centre for Trustworthy and Efficient Computing Hardware (TECH)

**Head of the centre:** Maksim Jenihhin, Tenured Associate Professor, +372 620 2262, maksim.jenihhin@taltech.ee

**Academic staff:** Artur Jutman, researcher, Sergei Devadze, researcher, Anton Tšertov, researcher, Faisal Ahmed, researcher, postdoctoral fellow, Dadmehr Rahbari, researcher, associated postdoctoral fellow, 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 2021:

- VFP17093 (Coord. M. Jenihhin) "RESCUE ETN - Interdependent Challenges of Reliability, Security and Quality in Nanoelectronic Systems Design" (2017-2021)
  - M. Jenihhin, X. Lai, A. Balakrishnan, A.C. Bagbaba
- EITSA18018 "Research measure of IT Academy programme for 2018-2022: Internet of Intelligent Things" (2018-2023)
  - M. Jenihhin, F. Ahmed, D. Rahbari, N. Cherezova, M. Taheri
- PRG780 "Preparing the CMS experiment for high luminosity operations through trigger improvements" (2020-2024)
  - S. Devadze, D. Mihhailov



- AR20005 "European Spallation Source ERIC instrumentide kavandamine, projekteerimine ja ehitamine ning rakendamise teaduslikeks uuringuteks (ESSource) (2021)
  - A. Jutman, A. Tšertov, I. Aleksejev, K. Shibin, S. Odintsov
- TalTech Rector's fund project "Satellite on-board software" (2021)
  - A. Tšertov
- TAR16013 "Estonian Centre of Excellence in ICT Research", (2016-2023)
  - M. Jenihhin, A. Jutman

#### **Outstanding research results in 2021:**

- D. Rahbari, M. M. Alam, Y. L. Moullec and M. Jenihhin, "Fast and Fair Computation Offloading Management in a Swarm of Drones Using a Rating-Based Federated Learning Approach," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 113832-113849, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3104117. (1.1 publication)
- H. Selg, M. Jenihhin and P. Ellervee, "JÄNES: A NAS Framework for ML-based EDA Applications," *2021 IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI and Nanotechnology Systems (DFT)*, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/DFT52944.2021.9568321. (3.1 publication)
- X. Lai, T. Lange, A. Balakrishnan, D. Alexandrescu and M. Jenihhin, "On Antagonism Between Side-Channel Security and Soft-Error Reliability in BNN Inference Engines," *2021 IFIP/IEEE 29th International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI-SoC)*, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/VLSI-SoC53125.2021.9606981. (3.1 publication)
- F. A. da Silva, A. Cagri Bagbaba, S. Hamdioui and C. Sauer, "An automated formal-based approach for reducing undetected faults in ISO 26262 hardware compliant designs," *2021 IEEE International Test Conference (ITC)*, 2021, pp. 329-333, doi: 10.1109/ITC50571.2021.00047. (3.1 publication)
- I. Aleksejev "Got a Xilinx RFSoc? How to test the board?! A satellite case study", Nordic Test Forum 2021, Gothenburg, Sweden, on Nov 30th – Dec 1st, 2021. (3.5 publication)
- (MSc thesis) N. Cherezova (supervisors: A. Jutman and D. Mihhailov) "HLS-based Optimization of Tau Triggering Algorithms for LHC@CERN Application", June 2021.

#### **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.

#### **Honours/awards of the research group members at national/international level for the past year**

- Award: Outstanding Student Research Paper, 2021: A. Balakrishnan, G. C. Medeiros, C. C. Gürsoy, S. Hamdioui, M. Jenihhin and D. Alexandrescu, "Modeling Soft-Error Reliability Under Variability," *2021 IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI and Nanotechnology Systems (DFT)*, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/DFT52944.2021.9568295

#### **Participation of the research group members in the activities of international R&D organizations, membership of foreign academies in 2021:**

- Prof. Maksim Jenihhin - Program Chair for IEEE DDECS 2022
- Prof. Maksim Jenihhin - Executive Committee member for DATE 2022

- Dr. Artur Jutman - Executive Committee member for Nordic Test Forum 2021

---

## Töökindla arvutusriistvara keskus (TARK)

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

**Akadeemiline koosseis:** Artur Jutman, teadur, Sergei Devadze, teadur, Anton Tšertov, teadur, Faisal Ahmed, teadur, järeldoktor, Dadmehr Rahbari, teadur, kaasjuhendamisel järeldoktor, doktorandid: Hardi Selg, Mahdi Taheri, Natalia Cherezova, Xinhui Lai, Ahmet Cagri Bagbaba, Aneesh Balakrishnan, mitteamakadeemilistel ametikohtadel töötavad liikmed: Dmitri Mihhailov, Igor Aleksejev, Konstantin Shibin, Sergei Odintsov

Uurimiskeskuse fookuses on adaptiivne kihtideülese töökindluse ja enesetervise teadlikkuse tehnoloogia homsete arukate autonoomsete süsteemide ja värkvõrgu 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:

- VFP17093 (koord. M. Jenihhin) “RESCUE ETN - Interdependent Challenges of Reliability, Security and Quality in Nanoelectronic Systems Design” (2017-2021)
  - M. Jenihhin, X. Lai, A. Balakrishnan, A.C. Bagbaba

- EITSA18018 " IT Akadeemia programmi IKT teaduse toetusmeede perioodiks 2018-2022: tarkade asjade internet" (2018-2023)
  - M. Jenihhin, F. Ahmed, D. Rahbari, N. Cherezova, M. Taheri
- PRG780 " CMS eksperimendi ettevalmistamine kõrge heledusega tööperioodil läbi triggeri uuenduste (CERN)" (2020-2024)
  - S. Devadze, D. Mihhailov
- AR20005 „Euroopa NeutronkiirguseAllikas“– arendusprojektid ESS kiirendi jaoks (ESSource) (2021)
  - A. Jutman, A. Tšertov, I. Aleksejev, K. Shibin, S. Odintsov
- TalTech Rektori fondi projekt "Satelliitide parda-tarkvara" (2021)
  - A. Tšertov
- TAR16013 “Estonian Centre of Excellence in ICT Research” (2016-2023)
  - M. Jenihhin, A. Jutman

### Väljapaistvad teadustulemused aastal 2021:

- D. Rahbari, M. M. Alam, Y. L. Moullec and M. Jenihhin, "Fast and Fair Computation Offloading Management in a Swarm of Drones Using a Rating-Based Federated Learning Approach," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 113832-113849, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3104117. (1.1 publikatsioon)
- H. Selg, M. Jenihhin and P. Ellervee, "JÄNES: A NAS Framework for ML-based EDA Applications," *2021 IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI and Nanotechnology Systems (DFT)*, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/DFT52944.2021.9568321. (3.1 publikatsioon)
- X. Lai, T. Lange, A. Balakrishnan, D. Alexandrescu and M. Jenihhin, "On Antagonism Between Side-Channel Security and Soft-Error Reliability in BNN Inference Engines," *2021 IFIP/IEEE 29th International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI-SoC)*, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/VLSI-SoC53125.2021.9606981. (3.1 publikatsioon)
- F. A. da Silva, A. Cagri Bagbaba, S. Hamdioui and C. Sauer, "An automated formal-based approach for reducing undetected faults in ISO 26262 hardware compliant designs," *2021 IEEE International Test Conference (ITC)*, 2021, pp. 329-333, doi: 10.1109/ITC50571.2021.00047. (3.1 publikatsioon)
- I. Aleksejev "Got a Xilinx RFSoc? How to test the board?! A satellite case study", Nordic Test Forum 2021, Gothenburg, Sweden, on Nov 30th – Dec 1st, 2021. (3.5 publikatsioon)
- (magistritöö) N. Cherezova (supervisors: A. Jutman and D. Mihhailov) "HLS-based Optimization of Tau Triggering Algorithms for LHC@CERN Application", June 2021.

### Uurimisrühma seotus AAK prioriteetse suunaga:

- Usaldusväärsed IT-lahendused
- Targad ja energiatõhusad keskkonnad

### Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond:

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

### Uurimisrühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused lõppenud aastal:

- Auhind: Parim tudengiartikkel, 2021: A. Balakrishnan, G. C. Medeiros, C. C. Gürsoy, S. Hamdioui, M. Jenihhin and D. Alexandrescu, "Modeling Soft-Error Reliability Under Variability," *2021 IEEE International*

*Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI and Nanotechnology Systems (DFT)*, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/DFT52944.2021.9568295

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

- Prof. Maksim Jenihhin - Programmikomitee juht konverentsil IEEE DDECS 2022
- Prof. Maksim Jenihhin - Täitevkomitee liige DATE 2022
- Dr. Artur Jutman - Täitevkomitee liige Nordic Test Forum 2021

## Embedded AI Research Lab

**Head of the lab:** Mairo Leier, [mairo.leier@taltech.ee](mailto:mairo.leier@taltech.ee)

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

The Embedded AI Research Lab focuses on developing and optimizing machine learning solutions for the embedded systems. 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

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

We have been involved the following **projects during year 2021**

- 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”
- COVSG40 - “Development of hospital carrier robot for the North Estonia Medical Centre”
- 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 2021:

- LIAEE20135 – “Prototype development of sensory of automatic malfunction detection for industry doors”
- LIAEE21030 – “Development of automated remote management device of electric appliances”

**In 2021** the research group has published 2 research papers according to ETIS classifier:  
1 article – 1.1, 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, [mairo.leier@taltech.ee](mailto:mairo.leier@taltech.ee)

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

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

**Võtmesõnad:** sardsüsteemide disain, sardtarkvara masinõppe, signaalitöötlus

Uurimisgrupp osales 2021. aastal järgmistes teadus- ja arendusprojektides:

- VA20069 - “ROROGREEN – RORO laevanduse keskkonnasäästlikkus läbi digitaalse innovatsiooni”
- F21029 – “Laevade eelseadistatud autonoomsete avaveekatssetuste tehnoloogia arendamine”
- AR20013 – “Targa linna tippkeskus”
- COVSG40 - “Haigla transpordiroboti väljatöötamine”
- LITEE20122 – “Intelligentsed Targa Linna ja Kriitilise Infrastruktuuri Toimepidevuse Tehnologiad II”
- AR20013EM – “Tuleviku transpordi ökosüsteemi lahendus”

Uurimisgrupp juhtis 2021. aastal järgmiseid teadus- ja arendusprojekte:

- LIAEE20135 – “Tööstustele automaatse rikke tuvastamise sensoorika väljatöötamine”
- LIAEE21030 – “Elektriliste küttekehade automatiseeritud lülituste arendus”

Uurimisgrupp avaldas **2021. aastal** 2 publikatsiooni ETISE klassifikaatori järgi:  
1 article – 1.1, 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>