

# Arvutisüsteemide instituut

## Instituudi 2025. aasta teadus- ja arendustegevuse ülevaade

### **Instituudi 2025. aasta kuni 3 kõige olulisemat edulugu**

#### Lugu 1.

Koostöö CERN-iga.

2025. aastal käivitas TARK-TECH tööühm uue rahvusvahelise koostöö CERN-iga, liitudes DRD7 projekti tööpaketiga 7.2b ning LHCb eksperimendi Muoni alamsüsteemi teadus- ja arendustegevustega. See täiendab instituudi senist koostööd CERNi CMS eksperimendi BRIL-rühmaga (Beam Radiation Instrumentation and Luminosity), laiendades panust tippasemel detektorite, kiirgusmõõtmiste, elektroonika ja andmetötluse lahenduste arendamise ning tugevdades Eesti rolli rahvusvahelises teadustaristus.

#### Lugu 2.

Kiibikeskus ja kiipide alane uurimistöö Taltechis

1. märtsil 2025 käivitus Eesti kiibikeskuse projekt, mille eesmärk on Eesti tööstuse toetamine üleminekul kiipide disainile ja tootmisele. Projekti rahastavad võrdses mahus MKM ja Euroopa Liidu Chips JU. Kiibikeskuse partneriteks on sihtasutus EIS, Metrosert ja Eesti Elektroonikatööstuse Liit ning Taltechi rolliks on spetsialistide väljaõpe. 1. septembrist käivitus ka esimene Eesti osalusega Chips JU RIA uurimisprojekt NextArc. Mõlema projekti juhiks on Taltechi arvutisüsteemide instituudi professor Jaan Raik.

#### Lugu 3.

Fly or Die Drone Hackathoni korraldamine

Fly or Die Drone Hackathon 2025 finaali tõi 1. novembril TalTechi spordihoonesse kokku pea sada drooninduse ja tehnoloogiahuvilist. Kulmineerus kaks nädalat väldanud arendustöö seitsmeteistkümne väljakutse kallal. Korraldajad: TalTechi Sardtehisintellekti labor koostöös TalTechi IT-teaduskonna, kaitse- ja julgeolekutehnoloogiate keskuse ning Eesti Teadusagentuuriga.

Lugu 4.

Kahe suure rahvusvahelise tippkonverentsi korraldamine

Automaatjuhtimise valdkonna tippkonverentsi The 19th IEEE International Conference on Control & Automation (IEEE ICCA 2025) korraldamine Tallinnas 30.06.-03.07.2025.

<https://ieeecss.org/event/19th-ieee-international-conference-control-automation>

Digitaalsüsteemide testimise ja diagnostika valdkonna rahvusvahelise tippkonverentsi 30th IEEE European Test Symposium (ETS25) korraldamine Tallinnas 26.05.-29.05.2025.

<https://ets2025.taltech.ee/>

#### **TA valdkonna väljakutsed 2026. aastaks**

Tagada kõigi teadusgruppide ja teadlaste järjepidev tulemuslikkus ja rahastamine, taotleda uusi projekte, s.h. PRG, PSG ja TemTA. Tugevdada koostööd ettevõtetega, eelkõige Eesti tööstusega, s.h. Eesti Kiibikeskusega. Tihendada teadusgruppide omavahelist koostööd ja sünergiat, samuti koostööd teadusgruppidega teistest instituutidest. Seoses suure arvu uute doktorantide tööle võtmisega tuleb lahendada muuhulgas ka teadlaste töökohtade ja ruumide probleemid, võimalik, et uute rendipindade kaasamisega.

#### **TA valdkonna 2025. aasta väljakutsed ja nende tulemused**

### *Väljakutse*

Säilitada kõigi teadusgruppide ja teadlaste järjepidev tulemuslikkus ja rahastamine.

Suurendada koostööd ja koostööprojekte ettevõtetega, eelkõige Eesti tööstusega.

Leida teadusgruppidesse uusi ja eelkõige eestimaised doktorante.

Tihendada teadusgruppide omavahelist koostööd ja sünergiat.

### *Täitmine/tulemused*

2025.aasta jooksul olid mitmed teadusgruppid väga edukad uute teadusprojektide taotlusvoorudes. Uusi doktorante värvati rekordiline hulk, kuid endiselt on mured eestimaiste doktorantide leidmisel. Kaitsti 8 doktoritööd, korraldati kaks suurt rahvusvahelist konverentsi.

#### **Olulisemad soetatud seadmed**

Toimunud on arvuti- ja seadmepargi regulaarne uuendamine vastavalt vajadustele ja võimalustele. Kuid midagi soetatut hulgast ei muuda taristu üldist pilti, mistõttu loetelu väljatoomine pole otstarbekas.

#### **Koondhinnang instituudis kasutusel oleva taristu seisundi kohta**

hea

#### **Selgitus instituudis kasutusel oleva taristu seisundi kohta**

Taristu on hetkel piisav edukaks teadustegevuseks.

# 1 Riistvara turvalisuse keskus

## Uurimisrühma juht

Levent Aksoy, vanemteadur, [levent.aksoy@taltech.ee](mailto:levent.aksoy@taltech.ee)

## Uurimisrühma liikmed

Levent Aksoy, Doktor, vanemteadur

Mohammad Eslami, Doktor, ekspert

Partha De, Doktor, järeldoktor-teadur

Muhammad Sohaib Munir, Magister, doktorant-nooremteadur

## Võtmesõnad

### Eesti keeles

riistvara turvalisus; usaldatavad kiibid; rakendusspetsiifilised integraallülitused; riistvara krüptomoodulid; integraallülituste hägustamise (obfuskeerimise) meetodid

### Inglise keeles

hardware security; trustworthy integrated circuits; ASICs; crypto hardware; obfuscation

## Uurimisrühma kompetentside tutvustus

### Rühma ülevaade eesti keeles

Riistvara turvalisuse keskus viib läbi uuringuid kõigis riistvara turvalisuse rakenduslikes aspektides: keskuse teadustöö eesmärk on turvalisuse valideerimise tehnikad reaalsetes 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. Keskuse 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 vt ka <https://taltech.ee/en/centre-for-hardware-security>

### Rühma ülevaade inglise keeles

The Centre for Hardware Security conducts research in all applied aspects of hardware security: the 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. Core competences of

the centre are: • 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.

#### **Viimaste aastate olulisemad projektid:**

TEM-TA138 Jätksuutlik nutikas asjade internet (SAIoT) 2024 - 2028

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/ab65871a-a651-4561-baa8-a3e146139cd7>

ETAG24040 EAGER: UA krüptograafiliste standardite riistvaratõhus realiseerimine 2024 - 2026

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/2d62d846-f111-4188-ab8f-46d08b809fc9>

VHE24037 TalTechi võimekuse tõstmine usaldusväärsete ja tõhusate AI-kiipide disainis 2024 - 2027

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/d344eddf-c359-4367-ad56-351e46e21c5d>

#### **Viimaste aastate olulisemad artiklid:**

Almeida, Felipe; Aksoy, Levent; Pagliarini, Samuel; (2025). RESAA: A Removal and Structural Analysis Attack Against Compound Logic Locking. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, 1–13 [ilmumas]. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/40b85fe3-c032-4a25-8b58-679ecccda9f6>

Aksoy, Levent; Yasin, Muhammad; Pagliarini, Samuel (2024). KRATT: QBF-Assisted Removal and Structural Analysis Attack Against Logic Locking. 2024 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE): Valencia Spain, 25-27 March 2024. IEEE, 1–6. DOI: 10.23919/DATE58400.2024.10546552. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/b763ae7d-aafa-4c52-bda8-b74cde78f319>

Aksoy, Levent; Roy, Debapriya Basu; Imran, Malik; Pagliarini, Samuel Nascimento (2024). Multiplierless Design of High-Speed Very Large Constant Multiplications. 2024 29th Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC 2024): 29th Asia and South Pacific Design Automation Conference, Incheon, South Korea, 22–25 Jan. 2024. IEEE Computer Society, 957–962. DOI: 10.1109/ASP-DAC58780.2024.10473954. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/76bc951c-17bd-426a-bb4e-dccce909d70c>

Eslami, Mohammad; Perez, Tiago; Pagliarini, Samuel (2025). SALSy: Security-Aware Layout Synthesis. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 1–1. DOI: 10.1109/TCAD.2025.3607131. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/4e5f6e0c-4ea8-40eb-bf21-01912e4d08cb>

Ul Abideen, Zain; Pagliarini, Samuel; Aksoy, Levent; (2025). Late Breaking Results: Is Reconfigurable-based Obfuscation Secure? Design, Automation and Test in Europe Conference, 1–2 [ilmumas]. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/33686780-6edf-4191-adcc-fb0675d94938>

## **Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused**

### **Eesti keeles**

Riistvara turvalisuse keskuse teadlased avaldasid oma töid mainekatel konverentsidel ja ajakirjades, näiteks Design and Test in Europe Conference (DATE), IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and

Systems (TCAD) ja IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems (TVLSI). Oma DATE'25 artiklis käsitleme tuntud rekonfigureeritavuse-põhise hägustamise tehnika turvalisust ja näitame, et tehnikad, mis ei tugine tõestatavalt turvalistele tehnikatele, on võimalike rünnakute suhtes haavatavad. Oma TCAD artiklis tutvustame meetodikat, mis võtab arvesse turvalisust integraallülituste füüsilise sünteesi ajal. Oma TVLSI artiklis tutvustame esmakordselt eemaldamis- ja struktuurianalüüsi rünnakut liitloogika lukustustehnika vastu, mis põhineb meie DATE'24 artiklis esitatud rünnakul tuntud loogika lukustustehnikate vastu.

Meie doktorant Felipe Almeida kaitses oma väitekirja pealkirjaga „Täiustatud riistvara kaitsemehhanismid: uuring loogikalukustamise ja hägustamise tehnikate kohta“. Samuti kaitses meie bakalaureuseõppe üliõpilane Tommaso Dordoni oma väitekirja pealkirjaga „Kergekaaluliste krüptograafiliste algoritmide tarkvaraline rakendamine sardsüsteemides“.

### **Inglise keeles**

Researchers of the Centre for Hardware Security published in prestigious conferences and journals, such as Design and Test in Europe Conference (DATE), IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems (TCAD), and IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems (TVLSI). In our DATE'25 paper, we discuss the security of the well-known reconfigurable-based obfuscation technique and show that the techniques that do not rely on provably secure techniques are vulnerable to possible attacks. In our TCAD paper, we introduce a methodology that takes into account the security during the physical synthesis of ICs. In our TVLSI paper, we introduce a removal and structural analysis attack against a compound logic locking technique for the first time, which is based on our attack against prominent logic locking techniques presented in our DATE'24 paper.

Our PhD student Felipe Almeida defended his thesis titled “Advanced Hardware Protection Mechanisms: A Study on Logic Locking and Circuit Obfuscation Techniques“. Also, our BSc student Tommaso Dordoni defended his thesis titled “Software Implementation of Lightweight Cryptography Algorithms in Embedded Systems“.

## Rühma TA seotus ühiskonnas aktuaalsete probleemidega ning neile lahenduste pakkumisega

### Eesti keeles

Ukraina krüptograafiastandardid, st plokkšiffer KALYNA ja räsifunktsioon KUPYNA, valiti välja 2015. aastal toimunud riikliku avaliku krüptograafiakonkursi kaudu. Kuigi nende tarkvaratõhusad rakendused on olemas, puuduvad riistvaratõhusad rakendused. Meie uurimisrühm kavandas esmakordselt UA krüptograafiastandardite turvalised riistvaratõhusad rakendused, uurides kompromissi pindala ja latentsuse vahel. Need disainilahendused tehakse ASIC-kiibis.

Kõnnianalüüs, mis tuvastab ebanormaalseid samme, et vältida patsientide kukkumist, on tervishoiurakendustes ülioluline probleem, kus reaalajas nõuded ja servandmetöötluse võimalused on olulised. Meie uurimisrühm rakendas esmakordselt kihtidevahelise koos optimeeritud pika lühiajalise mälu (LSTM) kiirendi riistvaralise disaini. See disain tehakse ASIC-kiibis.

Kerge krüptograafia (LWC) algoritmid on kasutusele võetud seadmete ja rakenduste jaoks, millel on ranged nõuded energia hajumise, jõudluse ja pindala osas, mida tavapärased krüptosüsteemid ei suuda täita. Need kasutavad kergeid riistvaraoperatsioone ja on tõestatud, et need on krüptoanalüüsi rünnakute eest kaitstud. Meie uurimisrühm kavandas uusima NIST-i kerge krüptograafia standardi Ascon perekonna riistvaralise implementatsiooni, uurides kompromissi pindala ja latentsuse vahel.

Globaliseerunud integraallülituste (IC) tootmise tarneahela ajastul on riistvara turvaohud, nagu ületootmine ja piraatlus, põhjustanud IC disainitööstusele tõsist kahju. Paljud nende ohtude leevendamiseks kavandatud tehnikad on ebaõnnestunud, kuna need ei tugine tõestatavalt turvalistele algoritmidele ning krüptograafiaalgoritme kasutavad tehnikad suurendavad riistvara keerukust märkimisväärselt ja on haavatavad eemaldamis- ja võimsusanalüüsi rünnakute suhtes. Meie uurimisrühm tutvustas esmakordselt IC kaitsemehhanisme, mis integreerivad LWC algoritme silmapaistvatesse loogikalukustus- ja riistvara häägustamise tehnikatesse. Kavandatud tehnika vähendab riistvara keerukust märkimisväärselt võrreldes krüptograafiaalgoritme kasutavate tehnikatega ja on vastupidav olemasolevatele rünnakutele.

### Inglise keeles

The Ukrainian cryptography standards, i.e., the block cipher KALYNA and the hash function KUPYNA, were selected through a national public cryptographic

competition in 2015. Although their software-efficient implementations have been introduced, there exist no hardware-efficient implementations. Our research team designed the secure hardware-efficient implementations of UA cryptography standards for the first time, exploring the trade-off between area and latency. These designs will be in an ASIC chip.

Gait analysis, which detects abnormal steps to prevent patients from falling, is a paramount problem in healthcare applications, where real-time requirements and edge computing capabilities are essential. Our research team implemented the hardware design of a cross-layer co-optimized long short-term memory (LSTM) accelerator for the first time. This design will be in an ASIC chip.

The lightweight cryptography (LWC) algorithms have been introduced for devices and applications with strict requirements on power dissipation, performance, and area, which conventional cryptosystems cannot meet. They use lightweight hardware operations and have been proven to be secure against cryptanalysis attacks. Our research team designed the hardware implementation of the latest NIST lightweight cryptography standard Ascon family, exploring the trade-off between area and latency.

In the globalized integrated circuit (IC) manufacturing supply chain era, the hardware security threats, such as overproduction and piracy, have been causing serious damage to the IC design industry. Many techniques proposed to mitigate these threats have been broken since they do not rely on provably secure algorithms, and the ones using cryptography algorithms increase the hardware complexity significantly and have been vulnerable to removal and power analysis attacks. Our research team introduced IC protection mechanisms that integrate LWC algorithms into prominent logic locking and hardware obfuscation techniques for the first time. The proposed technique reduces the hardware complexity significantly when compared to those using cryptography algorithms and are resilient to the existing attacks.

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

### **Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas**

EAGER-projektis viis meie uurimisrühm lõpule UA krüptograafiastandardite KALYNA ja KUPYNA riistvaralise disainiruumi uurimise, tutvustas alternatiivseid disainiarhitektuure, mis arvestavad pindala ja latentsust, töötas välja nende standardite turvalised implementatsioonid külkanali analüüsi ja veasüstimise rünnakute vastu ning pakkus välja kiibi disaini esiotsa koodid.

TEM-TA138 projektis viis meie uurimisrühm lõpule kõnnianalüüsiks kavandatud LSTM-kiirendi riistvaralise disaini, kontrollis selle käitumist simulatsiooni

abil, projekteeris selle tiptaseme ploki, sealhulgas kommunikatsiooni andurite ja EEPROM-iga I2C ja analoogploki kaudu, ning andis kiibi disaini esiootsa koodid. Need uurimistulemused on avaldamiseks vastu võetud. Lisaks viis meie uurimisrühm lõpule uusima NIST-standardi Ascon perekonna disainiruumi uuringu, sealhulgas autentitud krüpteerimise koos seotud andmete ja räsifunktsioonidega, ning pakkus välja alternatiivsed disainiarhitektuurid, võttes arvesse kompromissi pindala ja kellatsüklite arvu vahel. Lisaks töötas meie uurimisrühm välja IC-kaitsemehhanismid piraatluse ja ületootmise tõkestamiseks LWC algoritme kasutades. Need uurimistulemused on avaldamiseks vastu võetud.

E2E SCP projekti raames edastas meie uurimisrühm Euroopa Kosmoseagentuurile uuringu Münchenis asuva Airbusi tiptasemel krüptograafiaalgoritmide kohta ning alustas Sanctuary ja Münchenis ja Bremenis asuva Airbusiga tarneahela kaitse nõuete teststsenaariumide genereerimist.

In the EAGER project, our research team completed the design space exploration of the UA cryptography standards KALYNA and KUPYNA in hardware, introduced alternative design architectures taking into account area and latency, developed secure implementations of these standards against the side-channel analysis and fault injection attacks, and provided the front-end codes for the chip design.

In the TEM-TA138 project, our research team completed the hardware design of the LSTM accelerator proposed for gait analysis, verified its behavior through simulation, designed its top-level block, including the communication with sensors and EEPROM through I2C and the analog block, and provided the front-end codes for the chip design. These research findings have been accepted for publication. Moreover, our research team completed the design space exploration of the latest NIST standard Ascon family, including the authenticated encryption with associated data and hash functions, and proposed alternative design architectures, taking into account the tradeoff between area and number of clock cycles. Furthermore, our research team developed IC protection mechanisms to thwart piracy and overproduction using LWC algorithms. These research findings have been accepted for publication.

In the E2E SCP project, our research team delivered the survey on the state-of-the-art cryptography algorithms with Airbus, Munich to the European Space Agency and started working on the generation of test scenarios for the requirements in the supply chain protection with Sanctuary and Airbus, Munich and Bremen.

### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöök**

Meie uurimisrühmal on sügavad teadmised ja kogemused digitaalsete integraallülituste disaini, riistvara turvalisuse ja krüptograafiaalgoritmide riistvaratõhusa rakendamise alal. Nad pakuvad keerukate digitaalhelate disaini, tehnikaid riistvaraliste turvaohutude vastu ning turvalist ja riistvaratõhusat krüptograafiaalgoritmide disaini.

Our research team has a deep knowledge and expertise in digital IC design, hardware security, and hardware-efficient implementation of cryptography algorithms. It can offer the design of complex digital circuits, techniques against hardware security threats, and secure hardware-efficient design of cryptography algorithms.

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

UA krüptograafiastandardite KALYNA ja KUPYNA riistvaratõhusat rakendamist, uusimat NIST standardite Ascon perekonda ning LSTM kiirendi disaini võib pidada intellektuaalomandiks ja neid saab tööstusega koostöös turustada.

The hardware-efficient implementation of UA cryptography standards KALYNA and KUPYNA, the latest NIST standard Ascon family, and the design of the LSTM accelerator can be regarded as intellectual properties and can be commercialized through a collaboration with the industry.

### **Täiendav info:**

**Uurimisrühma seotus TalTech TA prioriteetse suunaga (kuni kaks olulisemat suunda):**

- 2. Usaldusväärsed IT lahendused
- 1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad

**Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond – kuni 2 alamvaldkonda Frascati Manuaali klassifikaatori alusel ja kuni 3 teaduseriala CERCS klasifikaatori alusel.**

Frascati Manuaali teadusvaldkonnad:

1.2 Arvutiteadus ja informaatika

CERCSi teaduserialad:

T171 Mikroelektronika

T170 Elektronika

T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia

**Hinnang rühma kasutuses olevale TA taristule (sh kollektsioonid ja andmekogud), piisavus ja seisund**

Hinnang seisundile:

Seisundi selgitus:

Pole asjakohane

Not relevant

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

Meie teadur Levent Aksoy oli tehnilise programmitöö komitee liige teemal „Turvalised süsteemid, voluringid ja arhitektuurid“ Design, Automation & Test in Europe konverentsil (DATE).

Meie teadur Levent Aksoy oli retsensent ajakirjadele IEEE Transactions on Information Forensics and Security ja IEEE Transactions on Computer Aided Design of Integrated Circuits and Systems.

Our researcher Levent Aksoy served as a technical programme committee member in the track titled “Secure Systems, Circuits, and Architectures” at the Design, Automation & Test in Europe Conference (DATE).

Our researcher Levent Aksoy served as a reviewer for the IEEE Transactions on Information Forensics and Security and IEEE Transactions on Computer Aided Design of Integrated Circuits and Systems journals.

### **Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit**

#### **Välispartnerid:**

- Airbus, DE.
- V.N.Karazin Kharkiv National University, UA
- Carnegie Mellon University, USA

#### **Eesti partnerid:**

- Testonica Lab OÜ
- Tartu Ülikool
- 

### **Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

Läbiviidud tegevusi ei ole.

No conducted activities.

### **Rühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused lõppenud aastal** **Riiklikud:**

Meie TemTA projekti kiibidisaini tegevuste uudised avaldati aadressil

<https://digi.geenius.ee/ekskusiiv/eesti-teadlased-arendavat-kiipe-kuid-eesmark-pole-voistelda-inteli-ega-nvidiaga/>.

Meie bakalaureuseõppe üliõpilase Tommaso Dordoni lõputöö valiti päeva parimaks küberturvalisuse inseneriprogrammi bakalaureusetööks,

<https://www.facebook.com/TalTechITCollege/posts/-the-best-bachelor-thesis-of-the-cyber-security-engineering-programme-was-softwa/1217192093439047/>.

The news on the chip design activities in our TemTA project was published at

<https://digi.geenius.ee/eksklusiiv/eesti-teadlased-arendavad-kiipe-kuid-eesmark-pole-voistelda-inteli-ega-nvidiaga/>.

Our BSc student Tommaso Dordoni's thesis was selected as the best bachelor

thesis of the Cyber Security Engineering programme of the day,  
<https://www.facebook.com/TalTechITCollege/posts/-the-best-bachelor-thesis-of-the-cyber-security-engineering-programme-was-softwa/1217192093439047/>.

### **Rahvusvahelised:**

Meie teadur Levent Aksoy oli Linköpingi ülikoolis Narges Mohamadi Sarbandi doktoritöö kaitsmise komisjoni liige.

Meie teadur Levent Aksoy pidas ettekande teemal „Komplekteeritud integraallülituste kaitse kerge krüptograafia võime“ ühisel seminaril RWTH Aacheni ülikooli ICE uurimisrühmaga.

Our researcher Levent Aksoy was a PhD defence committee member for the thesis of Narges Mohamadi Sarband at Linköping University.

Our researcher Levent Aksoy gave a talk on “Compound IC Protection with Lightweight Cryptography” in a joint seminar with the ICE research group from RWTH Aachen University.

### **Rühma liikmete osalemine TA tegevusega seondult ettevõtete nõustamistes**

Meie teadlased on teinud koostööd Testonica laboriga E2E SCP projekti raames, pakkudes oma teadmisi ja kogemusi nii tavapärase kui ka postkvantkrüptograafia algoritmide kohta.

Our researchers have been working with the Testonica Lab in the E2E SCP project, providing our knowledge and expertise on the conventional and post-quantum cryptography algorithms.

### **Uurimisrühma veebilehe aadress**

#### **Eesti keeles**

<https://taltech.ee/arvutisusteemide-instituut/uurimisruhmad#p16453>

#### **Inglise keeles**

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

## 2 Töökindla arvutusriistvara keskus (TARK)

### Uurimisrühma juht

Maksim Jenihhin, kaasprofessor tenuuris, [maksim.jenihhin@taltech.ee](mailto:maksim.jenihhin@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Maksim Jenihhin, Doktor, kaasprofessor tenuuris  
Raimund-Johannes Ubar, Doktor, ekspert/emeriitprofessor  
Artur Jutman, Doktor, teadur  
Sergei Devadze, Doktor, teadur  
Anton Tšertov, Doktor, teadur  
Hardi Selg, Magister, insener  
Mahdi Taheri, Doktor, teadur  
Natalia Cherezova, Magister, doktorant-nooremteadur  
Dmitri Mihhailov, Doktor, vaneminsener  
Konstantin Shibin, Magister, insener  
Ahsan Rafiq, Magister, doktorant-nooremteadur  
Rama Mounika Kodamanchili, magister,  
Hafsa Tanveer, magister,  
Ashwin Santhosh -, magister,

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

serva-AI kiirendid; arvutusriistvara projekteerimine; ressursside tõhus arvutus; töökindlus; funktsionaalne ohutus; süsteemi enesetervise teadlikkus; ennustav hooldus; sardsüsteemid; arukad autonoomsed süsteemid; masinõpe

#### Inglise keeles

edge-AI accelerators; hardware design; cost-efficient computing; trust-efficient computing; reliability; functional safety; system health awareness; predictive maintenance; embedded systems; intelligent autonomous systems; machine learning

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Uurimiskeskuse fookuses on serva-AI riistvara ja 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. Keskuse põhikompetentsid on: • arvutusriistvara projekteerimine: VHDL ja Verilog projektid; projekteerimise keskkonnad (Cadence, Siemens-Mentor, Synopsys); rakenduspetsiifilised 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)

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

The Research Centre focuses on edge-AI hardware and 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. The core competences of the group are: • Hardware design o VHDL and Verilog designs o EDA tools (Cadence, Siemens, Synopsys platforms) o Application-specific computing platforms (Unmanned Aerial Vehicles) • FPGA-based solutions and methodologies o FPGA SoCs (Zynq, CycloneV) o EDA tools (Xilinx Vivado, Altera/Intel Quartus, Lattice Diamond) • Software and embedded SW development o Bare-metal applications, bootloaders, Linux drivers and Userspace applications, o Petalinux, Yocto, FreeRTOS and embedded SDKs, ELDK • Cross-layer reliability and fault management o ML-based solutions o Functional Safety (ISO26262) • Test strategy development and troubleshooting instrumentation o JTAG/IJTAG based solutions (standards IEEE-1149.1, IEEE-1149.6, IEEE-1687)

### **Viimaste aastate olulisemad projektid:**

VHE24034 Koolitus ja innovatsioon usaldusväärsete ja efektiivsete serva-AI kiipide disainimisel  
2024 - 2028 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/8e863019-ded6-41f7-9c4d-77900c289474>

VHE24037 TalTechi võimekuse tõstmine usaldusväärsete ja tõhusate AI-kiipide disainis 2024 - 2027  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/8811fb3a-4ae1-42ea-bc1f-02829b93b060>

PRG1467 CRASHLESS – Kihtideülene töökindlus ja enesetervise teadlikkus arukate autonoomsete süsteemide jaoks 2022 - 2026 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/83b77115-901f-47c0-8e1e-d31c54e9b38a>

TARISTU24-TK10 Euroopa Tuumauuringute Keskus 2025 - 2029  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/b7cd8fb4-89c0-4fe4-842e-87fdcf321fba>

TK202U9 Fundamentaalne Universum 2024 - 2030  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/7100ab0c-96e6-42c4-ad8e-d446de0a3f6a>

### **Viimaste aastate olulisemad artiklid:**

Ubar, Raimund; Raik, Jaan; Jenihhin, Maksim; Jutman, Artur (2024). Structural Decision Diagrams in Digital Test. Springer Nature Switzerland AG 2024. DOI: 10.1007/978-3-031-44734-1.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/0b4c9205-fd2c-4fd4-84ec-6b81bc3bbce1>

Taheri, Mahdi; Cherezova, Natalia; Nazari, Samira; Azarpeyvand, Ali; Ghasempouri, Tara; Daneshtalab, Masoud; Raik, Jaan; Jenihhin, Maksim (2024). AdAM: Adaptive Approximate Multiplier for Fault Tolerance in DNN Accelerators. IEEE Transactions on Device and Materials Reliability, 1–11. DOI: 10.1109/TDMR.2024.3523386. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/1523da30-34c8-4ba0-b244-0a0c84e0bf58>

Cherezova, Natalia; Jutman, Artur; Jenihhin, Maksim (2025). FORTALESA: Fault-tolerant reconfigurable systolic array for DNN inference. Microprocessors and Microsystems, 119, 105222. DOI: 10.1016/j.micpro.2025.105222. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/9c509bdf-24b2-4b0c-9ccc-00745a093871>

Auzinger, G.; Bakhshiansohi, H.; Dabrowski, A. E.; Delannoy, A. G.; Dalavi, V.; Dienemann, N.; Dragicevic, M.; Garcia, M. F.; Guthoff, M.; Gyongyosi, B.; Jenihhin, M.; Kadlecik, A.; Kaplon, J.; Karacheban, O.; Korcsmaros, B.; Likhovitskiy, A.; Liu, W. H.; Loos, R.; Mallows, S.; Mihhailov, D. ... Winney, P. D. (2025). The CMS Phase-2 Fast Beam Condition Monitor prototype test with beam. Journal of Instrumentation, 20 (11), ARTN P11008. DOI: 10.1088/1748-0221/20/11/P11008. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/22a28c16-ff68-4d54-975d-c53f6dbf3d9a>

Rahbari, Dadmehr; Daneshtalab, Masoud; Jenihhin, Maksim (2025). Adaptive and efficient federated distillation with selective homomorphic encryption for edge AI. Expert Systems with Applications, 307, 131002. DOI: 10.1016/j.eswa.2025.131002. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/3ced948b-cf8d-45d4-bbbe-5b6be8d9c9ed>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### Eesti keeles

Eelmisel aastal alanud projektides TIRAMISU ja TAICHIP on töö aktiivselt käimas. Nende raames on korraldatud mitmeid suve- ja talvekoole, sealhulgas TAICHIP 1st Summer Workshop TalTechis 3.–5. septembril ning 1st Winter Workshop IHP-s (Leibniz Institute for High Performance Microelectronics) 10.–12. veebruaril 2025. Üritustel osales enamik keskuse töötajaid.

Keskuse liikmed korraldasid koostöös TalTechi Arvutisüsteemide instituudi kolleegidega rahvusvahelise konverentsi ETS25, mis toimus Tallinnas 26.–29. mail 2025.

2025. aastal käivitas TARK-TECH tööühm uue rahvusvahelise koostöö CERN-iga, liitudes DRD7 projekti tööpaketiga 7.2b ning LHCb eksperimendi Muoni alamsüsteemi teadus- ja arendustegevustega. See täiendab instituudi senist koostööd CERNi CMS eksperimendi BRIL-rühmaga (Beam Radiation Instrumentation and Luminosity), laiendades panust tippasemel detektorite, kiirgusmõõtmiste, elektroonika ja andmetöötluse lahenduste arendamise ning tugevdades Eesti rolli rahvusvahelises teadustaristuses.

Mahdi Taheri kaitses 2025. aasta jaanuaris M. Jenihhini ja M. Dahnestlabi juhendamisel oma doktoritöö ning jätkab tööd teadurina.

TIRAMISU projekti raames liitus keskusega kaks uut doktoranti – Ashvin Santosh ja Hafsa Tanveer.

Koos Aacheni ülikooli ICE instituudiga (Institute for Communication Technologies and Embedded Systems) korraldati TalTechis 11. juunil 2025 ühisseminar.

Aasta jooksul avaldati üle 20 kõrgetasemelise publikatsiooni.

### **Inglise keeles**

Work within the TIRAMISU and TAICHIP projects, launched last year, is actively progressing. As part of these activities, several summer and winter schools have been organized, including the TAICHIP 1st Summer Workshop at TalTech on 3–5 September and the 1st Winter Workshop at IHP (Leibniz Institute for High Performance Microelectronics) on 10–12 February 2025. A large share of the centre's staff participated in these events.

Members of the centre, together with colleagues from the TalTech Department of Computer Systems, organized the international conference ETS25, which took place in Tallinn on 26–30 May 2025.

In 2025, TARK-TECH working group launched a new international collaboration with CERN by joining work package 7.2b of the DRD7 project and contributing to research and development activities of the Muon System of the LHCb experiment. This collaboration complements the department's ongoing involvement with the CMS BRIL group (Beam Radiation Instrumentation and Luminosity), expanding the institute's contribution to cutting-edge detector technologies, radiation measurements, electronics, and data processing solutions, and increasing Estonia's visibility within major international research infrastructures.

In January 2025, Mahdi Taheri successfully defended his doctoral thesis under the supervision of M. Jenihhin and M. Dahnestlabi and continues at the institute as a research fellow.

Two new doctoral students – Ashvin Santosh and Hafsa Tanveer – joined the centre within the framework of the TIRAMISU project.

Together with the ICE Institute (Institute for Communication Technologies and Embedded Systems) at RWTH Aachen University, we organised a joint seminar at TalTech on 11 June 2025.

Over the course of the year, more than 20 high-level scientific publications were published.

## Rühma TA seotus ühiskonnas aktuaalsete probleemidega ning neile lahenduste pakkumisega

### Eesti keeles

Täna on nii kiibid kui ka tehisintellekt erakordselt kõrge prioriteediga Eesti ja Euroopa Liidu ühiskonna, majanduse ja teaduse jaoks, mis kajastub ka hiljuti vastu võetud ELi Kiibimääruses ja ELi Tehisintellekti Määruse väljavaates. Lisaks on tehisintellekt ja töökindlate kiipide arendamine Eesti Teadus- ja Arendustegevuse, Innovatsiooni ja Ettevõtluse Strateegias esmatähtsal kohal. Tallinna Tehnikaülikooli Strateegilise Plaani 2021–2025 kohaselt on usaldusväärsed IT lahendused üks viiest strateegilisest arengusuunast. Uurimisrühm TARK toetab nende strateegiatega rakendamist kõrgkvaliteedilise uurimistöö ja oskusliku tööjõu loomise kaudu.

### Inglise keeles

Today, both chips and AI are topics of exceptionally high priority to the European Union's society, economy and science, which is also reflected by the recent adoption of the EU Chips Act and the prospect of the EU AI Act to be adopted by early 2026. Moreover, AI and reliable chip development are top priorities in the Estonian Research and Development, Innovation and Entrepreneurship Strategy. According to Strategic Plan of Tallinn University of Technology 2021–2025, dependable IT solutions are one of the 5 strategic development areas. TECH supports the implementation of these strategies by high-quality research and generation of a skilful workforce.

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

### Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas

Mahdi Taheri osales projektijuhina AIRE projektis Tehisintellektil põhinev plastkottide tootmise kontrolli katsetamine, mille peamine eesmärk oli katsetada tehisintellekti lahendusi parandamiseks toote kvaliteeti, vähendamaks tootmisjäätmeid ja minimeerimaks energiatarbimist nutika automatiseerimise abil.

### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöök**

- \* 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)

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

#### **Täiendav info:**

#### **Uurimisrühma seotus TalTech TA prioriteetse suunaga (kuni kaks olulisemat suunda):**

- 2. Usaldusväärsed IT lahendused
- 1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad

#### **Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond – kuni 2 alamvaldkonda Frascati Manuali klassifikaatori alusel ja kuni 3 teaduseriala CERCS klasifikaatori alusel.**

Frascati Manuali teadusvaldkonnad:

2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

1.2 Arvutiteadus ja informaatika

CERCSi teaduserialad:

T171 Mikroelektronika

T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia

P176 Tehisintellekt

**Hinnang rühma kasutuses olevale TA taristule (sh kollektsioonid ja andmekogud), piisavus ja seisund**

Hinnang seisundile:

Seisundi selgitus:

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

2023–... Juhtkomitee liige - (DDECS) Int. Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems

2022–... TalTech Team Leader CERN CMS

2021–... Euroopa Komisjoni ekspert - Horizon Europe MSCA PF (Postdoctoral Fellowships)

2023–2026 Tudengite tegevuste juht - (ETS) IEEE European Test Symposium

2022– Konverentsi IEEE/EDAA/ACM Design Test and Automation in Europe - Conference and Exhibition (DATE) täitevkomitee liige

2021– Euroopa Komisjoni ekspert - Horizon Europe MSCA PF (Postdoctoral Fellowships)

## **Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit**

### **Välispartnerid:**

- Lyon Institute of Nanotechnology, École Centrale de Lyon, France
- Department of Control and Computer Engineering – DAUIN, Politecnico di Torino,
- Cadence Design Systems, Germany

### **Eesti partnerid:**

- Testonica Lab OÜ, Estonia
- Ericsson Eesti AS, Estonia
- SKYCORP OÜ, Estonia

## **Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

Kohapealse AI kiibid: <https://www.youtube.com/watch?v=zwRH6nBR4Vs>

TAICHIP Vodcast Episode 4 "PhD Studies at TalTech" - with Mahdi Taheri and

Mohammad Hasan Ahmadilivani: <https://www.youtube.com/watch?v=ITdn4SYJ8hI>

Algorütm: Kosmiline kiirus ja serva AI: kuidas Eesti insenerid ehitavad  
usaldusväärseid kiipe: <https://www.youtube.com/watch?v=PJrhFCxA-4c>

## **Rühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused lõppenud aastal Riiklikud:**

### **Rahvusvahelised:**

## **Rühma liikmete osalemine TA tegevusega seonduvalt ettevõtete nõustamistes**

Uurimisrühma veebilehe aadress

**Eesti keeles**

**Inglise keeles**

## 3 Usaldusväärsete arvutisüsteemide keskus

### Uurimisrühma juht

Jaan Raik, täisprofessor tenuuris, [jaan.raik@taltech.ee](mailto:jaan.raik@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Jaan Raik, Doktor, täisprofessor tenuuris  
Gert Jervan, Doktor, täisprofessor tenuuris  
Peeter Ellervee, Doktor, kaasprofessor  
Thomas Hollstein, Doktor, kaasatud professor  
Masoud Daneshtalab, Doktor, kaasatud professor  
Tara Ghasempouri, Doktor, nooremprofessor  
Madis Kerner, Doktor, insener  
Mohammad Hasan Ahmadilivani, Doktor, teadur  
Ali Azarpeyvand, Doktor, järeldoktor-teadur  
Abdul Haseeb, Magister, doktorant-nooremteadur  
Ali Emre Karatopuk, Kõrgharidus, insener  
Marten Roots, Kesk, teadusassistent  
Muhammad Hassan, Magister, doktorant-nooremteadur  
Sharjeel Imtiaz, Magister, doktorant-nooremteadur

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

nanoelektronika projekteerimine; töökindlus; turvalisus; verifitseerimine ja test; mitme- ja paljutuumalised süsteemid; närvivõrkude kiirendid

#### Inglise keeles

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

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

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

Peamised uurimissuunad on järgnevad: • Tehisintellekti-kiibid (koostöö: ETH Zürich, EC Lyon, Bologna Ülikool); • Riistvara turve (koostöö: Delfti TÜ, LIRMM/Montpellier, Airbus, Frankfurt UAS); • Kihülene usaldusväärsus sensorvõrkudes (koostöö: Testonica Lab OÜ); • Verifitseerimine (omaduste kaevandamine) (koostöö: EPFL/Lausanne, TU Hamburg, Saksa kosmosekeskus DLR); Keskus on mitmete üle-Euroopaliste aktsioonide eestvedaja.

#### Rühma ülevaade inglise keeles

The research in 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). The main research activities are the following: • AI Chips (cooperation with ETH Zürich, EC Lyon, University of Bologna); • Hardware security (cooperation with TU Delft, LIRMM/University of Montpellier, Airbus, Frankfurt UAS); • Cross-layer resilience in sensor networks (cooperation with Testonica Lab OÜ); • Verification (assertion mining) (cooperation with EPFL/Lausanne, TU Hamburg, DLR). The centre has been the initiator of several pan-European actions.

#### **Viimaste aastate olulisemad projektid:**

VHE25036 Järgmise põlvkonna avatud uuendused usaldusväärsete sardtehisintellekti arhitektuurides nutikate linnade, mobiilsuse ja logistika jaoks 2025 - 2028

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/fe2268f7-e67b-4813-94cd-77a7c473db08>

PSG837 Tasemete-ülene riistvaralise turvalisuse verifitseerimine poolformaalsete meetoditega 2023 - 2027 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/749e78d8-6e23-4ea6-8c93-38fc0f71cddb>

VFP210311A Tehisintellekti ohtudest teatamise ja intsidentidele reageerimise süsteem 2022 - 2024 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/9c574628-4dcc-4791-9e29-1c79486ff04b>

VEU22026IA3 Automaatne masinnägemisel põhineva koostööroboti programmigeneerimismeetodi testimine 2024 - 2024

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/e0f26d2b-3775-4d6b-a218-ca5f7fd0b726>

VEU22026IA6 Masinnägemisel põhineva detailide kvaliteedikontrolli testimine 2024 - 2025

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/f1cc469a-995e-4d8c-bd96-ad4c7c38d5dd>

#### **Viimaste aastate olulisemad artiklid:**

Ahmadilivani, Mohammad Hasan; Taheri, Mahdi; Raik, Jaan; Daneshtalab, Masoud; Jenihhin, Maksim (2024). A Systematic Literature Review on Hardware Reliability Assessment Methods for Deep Neural Networks. ACM Computing Surveys, 56 (6), 1–39. DOI: 10.1145/3638242.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/cfc7c362-618b-4f9b-a8d0-c8806acada62>

Taheri, Mahdi; Cherezova, Natalia; Nazari, Samira; Azarpeyvand, Ali; Ghasempouri, Tara; Daneshtalab, Masoud; Raik, Jaan; Jenihhin, Maksim (2024). AdAM: Adaptive Approximate Multiplier for Fault Tolerance in DNN Accelerators. IEEE Transactions on Device and Materials Reliability, 1–11.

DOI: 10.1109/TDMR.2024.3523386. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/1523da30-34c8-4ba0-b244-0a0c84e0bf58>

Roberts, Andrew; Heidari Iman, Mohammadreza; Bellone, Mauro; Ghasempouri, Tara; Raik, Jaan; Maennel, Olaf; Hamad, Mohammad; Steinhorst, Sebastian (2024). ADAssure: Debugging Methodology for Autonomous Driving Control Algorithms. 2024 Design, Automation and Test in Europe Conference (DATE): Valencia, Spain, 25-27 March 2024. IEEE, 1–6. DOI:

10.23919/DATE58400.2024.10546519. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/f509fbac-5f88-4685-a159-8776a27ed2d3>

Vihman, Lauri; Raik, Jaan (2023). Adaptive Kalman Filter Based Data Aggregation in Fault-Resilient Underwater Sensor Networks. 2023 24th International Conference on Digital Signal Processing (DSP): Rhodes (Rodos), Greece, 11-13 June 2023. IEEE, 1–5. DOI: 10.1109/DSP58604.2023.10167982.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/469237d0-e737-4128-86be-5eaaf5284e7c>

Ahmadilivani, Mohammad Hasan; Taheri, Mahdi; Raik, Jaan; Daneshtalab, Masoud; Jenihhin, Maksim (2023). DeepVigor: Vulnerability Value Ranges and Factors for DNNs' Reliability Assessment. In: 28th IEEE European Test Symposium (ETS), Venice, Italy, May 22-26, 2023. (1–6). IEEE. DOI: 10.1109/ETS56758.2023.10174133. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/ae9ea735-27b7-40ef-99ac-2888dcd11bf2>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### Eesti keeles

Märtsis asutati Eesti Kiibikompetentsi keskus KIIP. Projekti koordinaatoriks on uurimisrühma juht J. Raik.

Aprillis kaitses doktoritöö M. H. Ahmadilivani, kes jätkab uurimisgrupis teadurina.

Mais korraldati uurimisgrupi juhtimisel Tallinnas rahvusvaheline teaduskonverents IEEE European Test Symposium, mida külastas rohkem kui 240 delegaati.

Septembris alustas Chips JU RIA uurimisprojekt NexTarc, mille vastutavaks täitjaks on J. Raik.

Detsembris töötati teadusgrupi eestvedamisel välja Kiibidisaini mikroraad Taltechis.

Teadusgrupi liikmetele omistati Taltechi aasta teadusartikli ja aasta monograafia tiitel.

### Inglise keeles

In March, the Estonian Chip Competence Center KIIP was founded. The project coordinator is the head of the research group J. Raik.

In April, M. H. Ahmadilivani defended his doctoral thesis and continues as a researcher in the research group.

In May, the international scientific conference IEEE European Test Symposium was organized in Tallinn under the leadership of the research group, which was visited by more than 240 delegates.

In September, the Chips JU RIA research project NexTarc started, the responsible

executor of which is J. Raik.

In December, a micro-degree in Chip Design was developed at Taltech under the leadership of the research group.

The members of the research group were awarded the titles of Taltech's Scientific Article of the Year and Monograph of the Year.

## Rühma TA seotus ühiskonnas aktuaalsete probleemidega ning neile lahenduste pakkumisega

### **Eesti keeles**

Uurimisrühm käsitleb ühiskonna jaoks üliolulisi ajakohaseid väljakutseid nagu kiipide väljatöötamine, usaldusväärne tehisintellekt, süsteemide turve ja tervisetehnoloogiad.

### **Inglise keeles**

The research group addresses contemporary challenges of crucial importance to society, such as chip development, reliable artificial intelligence, system security and health technologies.

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

### **Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas**

Uurimisrühm on loonud intellektuaalomandit avatud lähtekoodiga ja vabavara tarkvaralitsentside kujul:

1) Avatud lähtekoodiga keskkonna SentinelINN süvanärvivõrkude töökindluse parandamiseks.

2) Avatud lähtekoodiga skaleeruvad analüütilised süvanärvivõrkude töökindluse analüüsimeetodid DeepVigor ja DeepVigor+.

3) Alternatiivsed veaparanduskoodid süvanärvivõrkude kiirendite parameetrite mäludele. (Töö toimub koostöös Ühendkuningriigi suurfirma ARMiga).

### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöök**

Uurimisrühma rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöök hõlmavad järgmisi valdkondi:

- \* Kiipide (ASIC) ja programmeeritava loogika (FPGA) disain
- \* Usaldusväärsete sard-tehisintellekti lahenduste väljatöötamine
- \* Arvutisüsteemide riistvara turve
- \* Autonoomsete süsteemide projekteerimine

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Üheks eesmärgiks on uurimisgrupi leiutiste komertsialiseerimine. Siin on peamiseks valdkondadeks tehisintellekt ja tervisetehnoloogiad. Samuti soovib uurimisgrupp saada rakendusi oma teadustööle. Sellega seoses algatati koostöö Ühendkuningriigi suurettevõttega ARM, mille käigus uuritakse viise, kuidas kaitsta tehisintellekti kiipe rikete eest.

## Täiendav info:

### Uurimisrühma seotus TalTech TA prioriteetse suunaga (kuni kaks olulisemat suunda):

- 2. Usaldusväärsed IT lahendused
- 1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad

### Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond – kuni 2 alamvaldkonda Frascati Manuali klassifikaatori alusel ja kuni 3 teaduseriala CERCSi klassifikaatori alusel.

Frascati Manuali teadusvaldkonnad:

- 2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika
- 1.2 Arvutiteadus ja informaatika

CERCSi teaduserialad:

- T171 Mikroelektroonika
- T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia
- P176 Tehisintellekt

### Hinnang rühma kasutuses olevale TA taristule (sh kollektioonid ja andmekogud), piisavus ja seisund

Hinnang seisundile:

hea

Seisundi selgitus:

Uurimisrühmal on juurdepääs maailmatasemel teadusuuringute infrastruktuurile. Ollakse EUROPRACTICE kauaaegne liige ning omatakse nanoelektronika disaini CAD tarkvara kõigilt suurematelt EDA müüjatelt. Käesoleval aastal alustati liitumisprotsessi ARM Academic programmiga, mis laiendab veelgi kasutatavaid kiibitehnoloogiaid ja projekteerimisvahendeid. Uurimisrühm on võimeline tootma nanokiipe ning 2023 a. alustati uue kiibidisaini projektiga TUTAIP, mis kujutab endast innovatiivset tehisintellekti kiirendit.

Samuti on uurimisrühma kasutada neljal identsel töökohal põhinev täiustatud riistvara arenduslabor, mida saab rakendada prototüüpide ehitamiseks ja riistvarakomponentide analüüsimiseks. Iga töökoht on varustatud täiustatud toiteallikate, jootejaamade, segasignaali ostilloskoopide, digitaalsete multimeetrite, programmeeritavate funktsioonigeneraatorite, signaalianalüsaatoritega. Labor on varustatud ka paljude FPGA arendusplaatidega (Xilinx UltraScale+, Zynq, Virtex, Spartan). Samuti on meeskonnal juurdepääs TalTechi HPC-keskusele koos võimsate GPU-serveritega.

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

Olulistemateks saavutusteks oli valdkonna oluliste rahvusvaheliste teaduskonverentside toomine Eestisse. Mais 2025 korraldas uurimisrühm Tallinnas tippkonverentsi ETS, mida külastas rohkem kui 240 delegaati. Prof. J. Raik oli konverentsi kaas-üldjuht.

## **Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit** **Välispartnerid:**

- ARM, Ühendkuningriigid
- Politecnico di Torino; Univ. Verona; Univ. Roma; Bologna Ülikool, Itaalia
- Müncheneri TÜ; Brandenburgi TÜ; Hamburgi TÜ; Univ. Bremen; Siemens; Intel; Infineon; Cadence; IHP, Saksamaa

## **Eesti partnerid:**

- AIRE keskus
- DefSecIntel
- LightCode Photonics

## **Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

Aasta jooksul avaldas uurimisrühma juht, prof. Jaan Raik arvamuskonverentside ning analüüse Eesti väljavaadetest kiipide valdkonna teaduse ning tööstuse vallas ning esines meedias:

- 29. august 2025. Postimees. Arvamuskonverents.

<https://arvamus.postimees.ee/8313767/jaan-raik-raimund-ubar-miks-on-oskus-kiipe--luua-eesti-jaoks-oluline>

[<https://arvamus.postimees.ee/8313767/jaan-raik-raimund-ubar-miks-on-oskus-kiipe-luua-eesti-jaoks-oluline>]

- 25. september 2025. Delfi Ärioleht, Sihitult tipus:

<https://arileht.delfi.ee/artikkel/120405863/sihitult-tipus-eesti-kiibikeskus-aitab-luua-tehnoloogiat-millela-meie-riik-on-kaitsetu>

- 17. jaanuar 2025. Kanal2 Telehommik. J. Raik Tehisintellekti kiipidele rakenduvatest piirangutest

Samuti esines kutsutud Keynote ettekandega rahvusvahelisel teaduskonverentsil:

- 13. juuni 2025. Jaan Raik. Plenary talk: "AI chips. How about safety and security?", MOCAST'25,  
<https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/iee/mocast2025/program/plenary-speakers>

**Rühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused lõppenud aastal**  
**Riiklikud:**

- \* Aasta teadusartikkel, Taltech IT-teaduskond, M. H. Ahmadilivani, J. Raik, M.,  
Daneshtalab
- \* Aasta monograafia, Taltech, J. Raik

**Rahvusvahelised:**

IEEE TTTC G.W. Gordon Award aasta vabatahtlikule, M. H. Ahmadilivani

**Rühma liikmete osalemine TA tegevusega seonduvalt ettevõtete nõustamistes**

Prof. Jaan Raik nõustas Majandus ja Kommunikatsiooniministeeriumi kiipide teemal ning osales OECD ja European Semiconductor Board Eesti esindajana kohtumistel Brüsselis ja Haagis.

**Uurimisrühma veebilehe aadress**

**Eesti keeles**

**Inglise keeles**



## 4 Biorobotika keskus

### Uurimisrühma juht

Maarja Kruusmaa, täisprofessor tenuuris, [maarja.kruusmaa@taltech.ee](mailto:maarja.kruusmaa@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Maarja Kruusmaa, Doktor, täisprofessor tenuuris  
Asko Ristolainen, Doktor, vanemteadur  
Margit Egerer, Doktor, teadur  
Laura Piho, Doktor, teadur  
Elizaveta Dubrovinskaya, Doktor, teadur  
Roza Gkliva, Doktor, teadur  
Simon Pierre Godon, Doktor, teadur  
Jaan Rebane, Magister, insener  
Andres Ernits, Põhi, insener  
Yuya Hamamatsu, Magister, doktorant-nooremteadur  
Bauyrzhan Zhakanov, Magister, doktorant-nooremteadur  
Dimitris Xydianos, Magister, doktorant-nooremteadur  
Pavlo Kupyn, , insener  
Gabrielle Tessa Witt, magister, doktorant- nooremteadur  
Youcef Abdelmoumene Aouf, magister, doktorant- nooremteadur  
Idris Hammouche, Magister, doktorant- nooremteadur

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

allveerobotika ja juhtimismeetodid; veealused andurid; liikumine mitmefaasilistes keskkondades; kaardistamine ja navigeerimine

#### Inglise keeles

underwater robotics and control; underwater sensing; locomotion in multiphase environments; mapping and navigation

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Keskus on spetsialiseerunud veealuse robotika ning andurite teadus-arendustegevusele. 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 (jões, rannikualad jne) Keskuse peamised kompetentsid on: • Veealuste robotplatvormide arendus ja valmistamine • Mitmefaasilistes keskkondades liikurmehanismide arendus ja kontroll • Struktureerimata keskkondades kaardistamine ja navigeerimine • Veealuste sensorite arendus ja rakendused • Eksperimentaalne vedeliku dünaamika

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

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.). Our core competences are: • 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.

### **Viimaste aastate olulisemad projektid:**

VHE24076 Robotika ning tehisintellekti lahendused reoveetaristu seireks ja hooldamiseks 2025 - 2028 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/06dbaa36-5bdc-4a0b-a30a-b48715dd7a4a>

PSG940 Andmete peaaegu reaajas kaardistamine ekstreemsetes keskkondades 2024 - 2028 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/c1ce5764-da89-4051-993e-25aef9e87f10>

MOBJD1212 Rõhuanduril põhinev mereseire 2023 - 2025 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/6df4cfbe-34c9-49a5-8003-27e0e4e8c309>

### **Viimaste aastate olulisemad artiklid:**

Godon, Simon; Prados, Carlos; Chemori, Ahmed; Ristolainen, Asko; Kruusmaa, Maarja (2025). Walking in Mud: Modeling, Control, and Experiments of Quadruped Locomotion. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 1–12. DOI: 10.1109/TMECH.2025.3560588. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/084be298-04cb-4b82-a59e-95773d41829d>

Hamamatsu, Yuya; Remmas, Walid; Rebane, Jaan; Kruusmaa, Maarja; Ristolainen, Asko (2025). Cross-Platform Learning-Based Fault Tolerant Surfacing Controller for Underwater Robots. <i>2025 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)</i> IEEE, 11263–11269. DOI: 10.1109/ICRA55743.2025.11127355. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/324594df-ad93-4ecb-a9e9-2ba2518a1f26>

Hamamatsu, Yuya; Kupyn, Pavlo; Gkliva, Roza; Ristolainen, Asko; Kruusmaa, Maarja (2025). Underwater Soft Fin Flapping Motion with Deep Neural Network Based Surrogate Model. <i>2025 IEEE 8th International Conference on Soft Robotics (RoboSoft)</i> IEEE, 1–6. DOI: 10.1109/RoboSoft63089.2025.11020964. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/41588e03-d10b-447c-b91f-05f158e0f155>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### Eesti keeles

Olulisemad tulemused 2025

Biorobotika keskuse koordineerimisel algas EU projekt PIPEON "Robotika ja tehisintellekt kanalisatsioonitorude kontrollimiseks ja hooldamiseks" (kogurahastus 8 miljonit eurot, <https://cordis.europa.eu/project/id/101189847>). PIPEON arendab robot- ja tehisintellektitehnoloogiaid autonoomseks kanalisatsiooniinspeksiooniks ja hoolduseks, et parandada kanalisatsiooniettevõtete seiresuutlikkust ning vähendada kulusid, võimaldades kanalisatsioonisüsteemi õigeaegset hooldust. Projektis osaleb 12 partnerit seitsmest riigist.

Avaldasime artikli ajakirjas IEEE Transactions on Mechatronics, mis käsitleb jalgadega robotite liikumist mudasel pinnase eesmärgiga suurendada liikumise stabiilsust ning vähendada energiatarvet

Töötasime välja ja avaldasime teadustöid allveedroonide juhtimise teemal. Juhtimismeetodid käsitlevad nii mudelipõhiseid juhtimisalgoritme kui ka andmepõhiseid masinõppemeetodeid, et juhtida manööverdamisvõimelisi allveedroone ning tagada droonide veakindlus.

### Inglise keeles

The EU project PIPEON "Robotics and Artificial Intelligence for Sewer Pipe Inspection and Maintenance" (total funding 8 million euros, <https://cordis.europa.eu/project/id/101189847>) was launched under the coordination of the Biorobotics Centre. PIPEON develops robotic and artificial intelligence technologies for autonomous sewer inspection and maintenance to improve the monitoring capabilities of sewer companies and reduce costs, enabling timely maintenance of the sewer system. The project involves 12 partners from seven countries.

We published an article in the journal IEEE Transactions on Mechatronics, which deals with the movement of legged robots on muddy ground with the aim of increasing the stability of movement and reducing energy consumption

We developed and published research papers on the control of underwater drones. The control methods address both model-based control algorithms and data-driven machine learning methods to control maneuverable underwater drones and ensure the fault tolerance of drones.

## Rühma TA seotus ühiskonnas aktuaalsete probleemidega ning neile lahenduste pakkumisega

### Eesti keeles

Erialgsed tulemused projekti PIPEON raames aitavad tulevikus parandada kanalisatsioonitorude seiret ning võimaldavad nende hooldust õigeaegselt läbi viia.

Uudsed liikumisviisid ja algoritmid robotite juhtimiseks aitavad roboteid tulevikus kasutada keskkondades, kus praegu veel roboteid kasutada ei saa.

### Inglise keeles

Initial results from the PIPEON project will help improve the monitoring of sewer pipes in the future and enable timely maintenance.

Novel movement methods and algorithms for controlling robots will help robots to be used in environments where robots cannot currently be used.

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

**Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas**

**Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöök**

TRL8 tasemel andurid veevoolu mõõtmiseks suure ajalise ja ruumilise lahutusvõimega (sobib rakendusteks näiteks, kui on vaja mõõta vee liikumist sadamate ümburses, rannikumeres, veeviljeluses, jne). Võimalik on kasutada ka andmedide ning pilverakenduses siduda andmetöötlusvooga reaajas, juhul, kui sidelahendust on võimalik kasutada.

Allveerobotite arendamise, juhtimise ning testimise võimekus nii labori- kui välitingimustes.

Robotikalahendused robotite kasutamiseks märjal ja pehmel pinnasel.

Hüdrodünaamiliste signaalide (vee liikumise) ning allveekustika signaalide töötlus ning sündmuste tuvastamine (näiteks laevade ja mereloomade liikumine).

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Laboris väljatöötatud lahenduste komertsialiseerimine, teadusmahukas koostöö, konsultatsioonid.

### **Täiendav info:**

#### **Uurimisrühma seotus TalTech TA prioriteetse suunaga (kuni kaks olulisemat suunda):**

- 2. Usaldusväärsed IT lahendused
- 1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad

#### **Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond – kuni 2 alamvaldkonda Frascati Manuali klassifikaatori alusel ja kuni 3 teaduseriala CERCSi klassifikaatori alusel.**

Frascati Manuali teadusvaldkonnad:

2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

1.5 Maateadused ja nendega seotud keskkonnateadused

CERCSi teaduserialad:

T121 Signaalitöötlus

T125 Automatiseerimine, robotika, control engineering

T181 Kaugseire

## **Hinnang rühma kasutuses olevale TA taristule (sh kollektsioonid ja andmekogud), piisavus ja seisund**

Hinnang seisundile:

Seisundi selgitus:

Flume tank with the working section 0.5 x 0.5 x 1 m with PIV analysis and flow speeds up to 0.5 m/s. Various robotic platforms, electronics and mechanics workshops, fieldwork capability underwater, at sea and in Arctics.

**Uurimisrühma liikmete osalus oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös lõppenud aastal**  
Maarja Kruusmaa on Teaduste Akadeemia Polaaruuringute komisjoni esimees ning Eesti esindaja Euroopa Polaarnõukogus.

### **Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit Välispartnerid:**

- NTNU, Norwegian University of Science and Technology
- Montpellier Ülikool
- Tampere Ülikool; Madridi Polütehnikum; Bergen Ülikool; Oslo Ülikool; Teravmägede ülikoolikeskus

### **Eesti partnerid:**

- AS Tallinna Vesi
- OÜ Watercom
- DefSecIntel OÜ

### **Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

<https://arvamus.postimees.ee/7895282/fookus-odavbootika-levik-muudab-lahinguvalja-ja-relvaturgu>

<https://arvamus.postimees.ee/8370019/maarja-kruusmaa-jaa-ja-joujooned-kuidas-geopoliitika-kujundab-polaarteadust-ja-miks-see-peaks-eestit-huvitama>

<https://arvamus.postimees.ee/8205770/maarja-kruusmaa-kas-tehisaru-areng-toob-kaasa-robotite-imevoimed>

<https://vikerraadio.err.ee/1609865917/labor-sordiloome-tehnika-polaar-eesti/580d041738fafa5c0cd4a295541bae79>

<https://trialoog.taltech.ee/robot-ja-poder-kaivad-uhte-jalga/>

<https://teadus.postimees.ee/8172243/taltech-podrajalgse-roboti-uudis-palvis-maailmas-tahelepanu>

[<https://trialoog.taltech.ee/robot-ja-poder-kaivad-uhte-jalga/>]

[<https://vikerraadio.err.ee/1609865917/labor-sordiloome-tehnika-polaar-eesti/580d041738fafa5c0cd4a295541bae79>]

[<https://arvamus.postimees.ee/8205770/maarja-kruusmaa-kas-tehisaru-areng-toob-kaasa-robotite-imevoimed>]

<https://arvamus.postimees.ee/7895282/fookus-odavrobotika-levik-muudab-lahinguvalja-ja-relvaturgu>

<https://arvamus.postimees.ee/7895282/fookus-odavrobotika-levik-muudab-lahinguvalja-ja-relvaturgu>

<https://arvamus.postimees.ee/7895282/fookus-odavrobotika-levik-muudab-lahinguvalja-ja-relvaturgu>

**Rühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused lõppenud aastal**  
**Riiklikud:**

**Rahvusvahelised:**

**Rühma liikmete osalemine TA tegevusega seonduvalt ettevõtete nõustamistes**  
Maarja Kruusmaa on Eesti Meremuuseumi nõukogu liige.

Uurimisrühma veebilehe aadress

**Eesti keeles**

**Inglise keeles**

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

## 5 Keskkonnaseire tehnoloogiate keskus

### Uurimisrühma juht

Jeffrey Andrew Tuhtan, kaasprofessor tenuuris, [jeffrey.tuhtan@taltech.ee](mailto:jeffrey.tuhtan@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Jeffrey Andrew Tuhtan, Doktor, kaasprofessor tenuuris

Gert Toming, Doktor, teadur

Ali Hassan Khan, Doktor, insener

Konstantin Bilozor, Magister, tööstusdoktorant

Elizaveta Dubrovinskaya, Doktor, teadur

Jaan Rebane, Magister, insener

Andres Ernits, Põhi, insener

Aleksandr Ivanov, Magister, doktorant-nooremteadur

Alexandra Kolosova, Magister, doktorant-nooremteadur

Helena Carmen Udu, Kesk, projekti assistent

Michael James Crooks, Kõrgharidus, tarkvarainsener

Ivan Volkov, bakalaureuse, insener

Kris-Robin Sirge, magister, doktorant- nooremteadur

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

hüdroenergia; allveeseire; arvutinägemine; avatud valitsuse andmed

#### Inglise keeles

hydropower; underwater sensing; computer vision; open government data

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Keskkonnaseire tehnoloogiate keskus on spetsialiseerunud ekstreemsetes keskkondades mõõtmisteks mõeldud vastupidavate multimodaalsete sensorite arendamisele ja kasutamisele, andmepõhisele modelleerimisele ning öko- ja etohüdraulikale. Uurimisrühma põhipädevused on: • 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

#### Rühma ülevaade inglise keeles

The Centre for Environmental Sensing and Intelligence is specialized in the development and deployment of rugged multi-modal sensors for measurements in extreme environments, data-driven modelling and eco- and ethohydraulics. Core

competences of the centre are: • 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.

#### **Viimaste aastate olulisemad projektid:**

TFM23075 OsteoSense: sise- ja välistingimustes toimuva treeningu ning taastusravi ajal inimese luu- ja lihaskonnale langeva koormuse mõõtmise rakendus 2024 - 2025

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/324e1349-6c2f-4472-9377-663d6f82cbe0>

PRG2198 MultiFlow - Mitmemastaabiline looduslike veevoolude mõõtmine rannikualadele ja jõgedele 2024 - 2028 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/e0bb24b0-8e6d-410d-8c93-57deeb7b6866>

VFP19046 Jõevoolude, kalade käitumise ja seisundi haldamine 2020 - 2023

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/48e967f4-2b51-4397-9e48-a25e53babe4f>

LIAAV21092 Kalapääsudel tehtud allveevideotes kalade ja nende liikide automaatse tuvastamise tarkvara arendamine 2021 - 2024 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/669139e4-524b-4562-9aad-a1164b870823>

LIAAV22042 Selgitatav masinõpe kalateede mageveekalade bioloogilise mitmekesisuse klassifitseerimiseks inimese abiga 2022 - 2025

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/79c2c59c-9199-4a50-bca9-6e7265fa3743>

#### **Viimaste aastate olulisemad artiklid:**

Kösters, Wolf Iring; Tuhtan, Jeffrey A.; Efimov, Daniel; Kruusmaa, Maarja; Hoerner, Stefan (2025). An open laboratory blade strike rig to evaluate the risk of injury and mortality to fish and to test passive sensors. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 81 (104427), 1–13. DOI: 10.1016/j.seta.2025.104427.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/cd425c6c-251d-46b7-90bd-d7c852ac58f6>

Motta, F.; Chieffo, C.; Monoli, C.; Tuhtan, J.A.; Galli, M. (2025). Land and Underwater Estimation of Joint Angles Using MOCAP, experimental IMUs and OpenSense. *IEEE Sensors Journal*, 1–8. DOI: 10.1109/JSEN.2025.3565835.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/11b96304-2e7c-4088-91a5-a97f5934d627>

Tuhtan, J.A.; Mockenhaupt, B.; de Schaetzen, F.; Issa, R.W.; Bertaud, A.; Sidler, D.; Müller, H.; Haas, C. (2025). AI video monitoring of aquatic organisms - opportunities, limits and best practice recommendations. *WASSERWIRTSCHAFT*, 115 (11), 54–61. DOI: 10.1007/s35147-025-2583-1.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/777c0e0b-28e5-4b70-8912-82f5c29686f0>

Evans, Oliver; Don, Andrew; Tuhtan, Jeffrey A.; Toming, Gert; Williams, Christopher F.; Price, John C.; Wright, Rosalind M.; Bell, Christopher; Bolland, Jonathan D. (2025). The effectiveness of a fish-friendly pumping station for critically endangered European eel; An assessment using live eels, fish-mounted sensors and passive sensors. *Ecological Engineering*, 213, ARTN 107526. DOI:

10.1016/j.ecoleng.2025.107526. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/0518cddb-c631-4b81-9efb-0efb7e9a51af>

Soom, Jürgen; Boavida, Isabel; Leite, Renan; Costa, Maria João; Toming, Gert; Leier, Mairo; Tuhtan, Jeffrey A. (2025). Open real-time, non-invasive fish detection and size estimation utilizing binocular camera system in a Portuguese river affected by hydropeaking. *Ecological Informatics*, 90, 103196. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2025.103196. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/64390073-627f-4392-bcb7-faf36cc2cb45>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### Eesti keeles

Reaalajas veealuste kaamerasüsteemide loomine ja välitestimine kalaliikide ja rände automatiseeritud jälgimiseks.

Oli peamine osaleja Euroopa suurimas arendusprojektis, mille eesmärk oli uute pumbajaamade projekteerimine kalade ohutuse parandamiseks.

Arendas ja rakendas suuremahulise veealuse seiresüsteemi Saksamaa föderaalse hüdroloogiainstituudi jaoks.

### Inglise keeles

Creation and field testing of real-time underwater camera systems for automated fish species and migration.

Was a main participant in the largest European development project on new pumping station designs to improve fish safety.

Developed and implemented a large-scale underwater monitoring system for the German Federal Institute of Hydrology.

## Rühma TA seotus ühiskonnas aktuaalsete probleemidega ning neile lahenduste pakkumisega

### Eesti keeles

Arvutuslikult kergete algoritmide väljatöötamine, et ühendada linnade õhukvaliteedi globaalsete numbriliste mudelite ja statsionaarsete õhukvaliteedi seireplatvormide andmed. Jätakuvalt täiustatakse vastupidavaid veealuseid andureid, mis võivad asendada elusat kala, et hinnata vigastuste ja suremuse ohtu enam kui 1 miljoni Euroopa jõetõkke läbimisel.

### **Inglise keeles**

Development of computationally lightweight algorithms to combine data from global numerical models of urban air quality and stationary platforms for monitoring air quality. Continued improvement of rugged underwater sensors which can replace live fish to assess the risk of injury and mortality when passing through the more than 1 million European river barriers.

### **Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta**

#### **Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas**

We have commercialized and licensed underwater cameras for freshwater observations up to 30 m water depth. In addition we carry out commercial R&D projects for hydropower companies and pump companies to assess the risk of injury and mortality to fish.

A link to the product is here:

<https://iamhydro.com/en/fischmonitoring/hydrocam/>

We do not request nor advocate for "commercial services" as a research group to be promoted by the university as such, because outside of our group, the personnel of the university are not in any way familiar with our activities and cannot promote them or administer our commercial technologies in a professionally competent or scientifically meaningful way.

#### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöök**

We carry out field work, data processing and reporting for hydropower and pump manufacturing companies to assess the risk of injury and mortality of fish. Minimum contract amount is currently 25k EUR, the maximum contract amount thusfar has been ca. 100k EUR. As Estonia is a negligible market for this type of commercial work due to it's small amount of hydropower and a low need for pumping stations, the research group's focus in Estonia is rather one of a technology developer, where implementation is performed by necessity outside of Estonia.

## **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Luaa sensori füüsilised prototüübid

Arendada sisseehitatud tarkvara kergekaalulise andmetöötuse jaoks

## **Täiendav info:**

**Uurimisrühma seotus TalTech TA prioriteetse suunaga (kuni kaks olulisemat suunda):**

- 2. Usaldusväärsed IT lahendused
- 1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad

**Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond – kuni 2 alamvaldkonda Frascati Manuaali klassifikaatori alusel ja kuni 3 teaduseriala CERCSi klassifikaatori alusel.**

Frascati Manuaali teadusvaldkonnad:

- 1.2 Arvutiteadus ja informaatika
- 1.5 Maateadused ja nendega seotud keskkonnateadused

CERCSi teaduserialad:

- T121 Signaalitöötlus
- T110 Instrumentatsioonitehnoloogia
- T270 Keskkonnatehnoloogia, reostuskontroll

**Hinnang rühma kasutuses olevale TA taristule (sh kollektsioonid ja andmekogud), piisavus ja seisund**

Hinnang seisundile:

väga hea

Seisundi selgitus:

Underwater sensors for measuring water pressure, acceleration, magnetic field intensity and rate of rotation. Our data are a mixture of publicly available scientific research as well as closed data, as they contain proprietary information from large energy providers and cannot be shared or made available online.

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

The PI has been elected to the EU's ETIP Hydropower Governing Board and is also one of three European representatives of the IAHR Ecohydraulics Leadership Team and is also an Estonian EVS representative for ISO / CEN standards related to water quality. Also an advisory board member of the National Offshore Wind Research & Development Consortium (USA).

#### **Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit** **Välispartnerid:**

- Federal Institute of Hydrology, Germany
- IAMHYDRO GmbH, Germany
- University of Grenoble, France

#### **Eesti partnerid:**

- Eesti Maaülikool, Põllumajandus- ja keskkonnainstituut
- RightStep Health OÜ
- ALK-Technic OÜ

#### **Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

LinkedIn posts, media releases in host countries related to our field work.

Featured in Estonian television programme

Osoon <https://arhiiv.err.ee/video/vaata/osoon-1186>

**Rühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused lõppenud aastal**  
**Riiklikud:**

**Rahvusvahelised:**

**Rühma liikmete osalemine TA tegevusega seonduvalt ettevõtete nõustamistes**

We provide expert analysis on fish safety of hydropower turbines and pumping stations. In addition, we also create custom computer vision solutions for underwater cameras for object detection, classification and tracking.

Uurimisrühma veebilehe aadress

**Eesti keeles**

<https://taltech.ee/en/environmental-sensing-and-intelligence-group>

**Inglise keeles**

<https://taltech.ee/en/environmental-sensing-and-intelligence-group>

## 6 Arukate süsteemide keskus

### Uurimisrühma juht

Eduard Petlenkov, täisprofessor tenuuris, [eduard.petlenkov@taltech.ee](mailto:eduard.petlenkov@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Eduard Petlenkov, Doktor, täisprofessor tenuuris  
Kristina Vassiljeva, Doktor, dotsent  
Kadri Umbleja, Doktor, insener  
Aleksi Tepljakov, Doktor, vanemteadur  
Komeil Nosrati, Doktor, teadur  
Azer Ramazanli, Magister, doktorant-nooremteadur  
Vitali Vansovitš, Doktor, lektor  
Hossein Alimohammadi, Magister, insener  
Maksimilian Tarasevich, Magister, tööstusdoktorant  
Ahmet Köse, Doktor, teadur  
Olutosin Ajibola Ademola, Magister, doktorant-nooremteadur  
Saleh Ragheb Saleh Alsaleh, Doktor, insener  
Sofia Vasman, Magister, doktorant-nooremteadur  
Majid Ghorbani, Magister, doktorant-nooremteadur  
Ivan Sukhanov, Magister, tööstusdoktorant  
Konstantin Panfilov, Magister,  
Azad Aliyev, ,  
Mahmoud Ahmed Ali Bakeer, ,

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

juhtimissüsteemid; dünaamiliste süsteemide modelleerimine; tehisintellekti meetodid; masinõpe; adaptiivsed ja iseõppivad süsteemid; liitreaalsus; digitaalsed kaksikud; energiaefektiivne juhtimine

#### Inglise keeles

control; modelling of dynamic systems; computational intelligence; machine learning; adaptive and self-learning systems; extended reality; digital twins; energy efficient control

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

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; • Hajujuhtimissüsteemid; • Andmeanalüüs; • Virtuaal- ja liitreaalsuse rakendused; • Digitaalsed kaksikud; • Energiaefektiivne juhtimine; • Hoonete tehnosüsteemide juhtimine, modelleerimine ja analüüs. Põhifookuseks on uute efektiivsete juhtimismeetodite väljatöötamine ja realiseerimine uue põlvkonna tööstuse (Tööstus 4.0) rakendustes, uurimistöö baseerub klassikaliste tööstuskontrollerite integreerimisel teadmispõhiste meetoditega. Veebileht: <https://is-centre.eu/>

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

The core competences of the Centre for Intelligent Systems 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.

### **Viimaste aastate olulisemad projektid:**

VHE23048 ENFIELD: European Lighthouse to Manifest Trustworthy and Green AI 2023 - 2026  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/d5aa12f0-53fb-43e0-a839-88278a4d413d>

TF24019IA Energiatõhususe tippkeskus 2024 - 2030  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/bcad9ee8-fb35-4c49-9265-14402667119d>

TEM-TA78 Hoonete energiasäästu- ja paindlikustehnoloogiate potentsiaali ning rakendamise mõju andmepõhine hindamine 2024 - 2028 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/12c98a80-9a09-44cb-8efa-3b44808f7556>

PRG658 Arukad juhtimismeetodid Tööstus 4.0 jaoks 2020 - 2024  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/79982ae6-2af4-477d-9909-b056b5771dad>

VERT22015 Läbivad oskused rakenduslikus tehisintellektis 2022 - 2025  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/59b398bb-f9b2-4b98-8094-0c9d52b52897>

### **Viimaste aastate olulisemad artiklid:**

Nosrati, Komeil; Belikov, Juri; Tepljakov, Aleksei; Petlenkov, Eduard (2024). Revisiting LQR problem of singular systems. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 11 (11), 2236–2252. DOI: 10.1109/JAS.2024.124665. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/b4b480c2-2845-4806-852e-2a6e4d855da5>

Nosrati, Komeil; Skiparev, Vjatseslav; Tepljakov, Aleksei; Petlenkov, Eduard; Belikov, Juri (2024). Intelligent frequency control of AC microgrids with communication delay: An online tuning method subject to stabilizing parameters. Energy and AI, 18, Art. 100421; 15 pp. DOI: 10.1016/j.egyai.2024.100421. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/531f801d-636e-4b2e-ab61-6a500251010d>

Ghorbani, Majid; Tepljakov, Aleksei; Petlenkov, Eduard (2024). On Robust Stability of Uncertain Control Systems With Time Delay: An Approach Based on the Overlap of Value Sets. IEEE

Transactions on Automatic Control, 69 (9), 6349–6356. DOI: 10.1109/TAC.2024.3381912.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/34ee4d95-53d3-426b-b57d-20e4b9a9121c>

Ghorbani, Majid; Alagoz, Baris Baykant; Tepljakov, Aleksei; Petlenkov, Eduard (2024). A graphical method to determine robust stabilizing region of FOPID controllers for stable/unstable fractional-order plants with interval uncertainties of a fractional order and model coefficients. International Journal of General Systems, 1–20. DOI: 10.1080/03081079.2024.2375442.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/2f1e792a-1ee2-49f6-8d7a-b8632acc5e3d>

Nosrati, Komeil; Belikov, Juri; Tepljakov, Aleksei; Petlenkov, Eduard (2024). Robust fractional order singular Kalman filter. International Journal of Robust and Nonlinear Control, 34 (1), 602–627. DOI: 10.1002/rnc.6990. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/8ad4fdbd-69ba-4430-a733-9a50359b1539>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### Eesti keeles

Kõige silmapaistvamad teadustulemused on saadud energiatõhusate juhtimissüsteemide valdkonnas. Välja töötatud algoritmid võimaldavad modelleerida ja juhtida keerulisi mittelineaarseid tööstuslike protsesse. Mudeli struktuuri määramiseks on edukalt rakendatud geneetilistel algoritmidel (geneetilisel programmeerimisel) põhinev lähenemine. Väljatöötatud meetodeid katsetatakse nii arvutisüsteemide instituudi arukate süsteemide keskuse teaduslaboris kui ka rakendatakse praktikas koostöös meie tööstuspartneritega.

Välja töötatud algoritmid on tarkvaraliselt realiseeritud ning vabalt kätte saadavad Mathworks File Exchange ja GitHub-is nii MATLAB-i kui ka Python-i jaoks:

- \* <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/66323-fomcon-toolbox-for-matlab>
- \* <https://github.com/outstandn/fomcon>
- \* <https://github.com/extall/fomcon-matlab>

Neid algoritme pidevalt arendatakse, täiendatakse ja uuendatakse.

On välja töötada rakendustarkvara raamistik automaatikainseneridele ja teadlastele, mille esimene versioon on juba kättesaadav vabavarana:

<https://apc-simple.net> [<https://apc-simple.net/>]

### Inglise keeles

The main scientific result of the group are devoted to energy efficient control of complex systems.

The developed algorithms enable the modeling and control of complex nonlinear industrial processes. A genetic algorithm (genetic programming) based approach has been successfully applied to determine the optimal model structure. The

developed methods are tested both in the research laboratory of the Centre for Intelligent Systems at the Department of Computer Systems and applied in practice in cooperation with our industrial partners.

The developed algorithms have been implemented in software and are freely available on MathWorks File Exchange and GitHub for both MATLAB and Python:

<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/66323-fomcon-toolbox-for-matlab>

<https://github.com/outstandn/fomcon>

<https://github.com/extall/fomcon-matlab>

These algorithms are continuously being developed, extended, and updated.

An application software framework for automation engineers and researchers has also been developed, the first version of which is already available as open-source software:

<https://apc-simple.net>

## Rühma TA seotus ühiskonnas aktuaalsete probleemidega ning neile lahenduste pakkumisega

### Eesti keeles

Koostöös ettevõttega R8 Technologies OÜ, uurimisgruppi teadustulemused on rakendatud hoonete tehnosüsteemide energiatõhusaks juhtimiseks 20 euroopa riigis

### Inglise keeles

In cooperation with the company R8 Technologies, research results of the group are applied to energy efficient control of commercial and public buildings in more than 20 countries.

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

### Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas

Tehisintellektil põhineva digitaalsete kaksikute rakenduse suudab ennustada energiatarbimist ning pakkuda tõhusaid lahendusi energia säästmiseks

TalTechi teadlased näitasid Dubais innovatsiooni tippset, Detsember 2023

<https://taltech.ee/uudised/taltech-teadlased-naitasid-dubais-innovatsiooni-tiptaset?fbclid=IwAR3Yh5jG6Gs-YQjTrmE83W0fk25kD9F9Jrzf4Mgd00Wkmo06y4lvwKgJuno>

### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöök**

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.

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Uurimisgrupp teeb koostööd ettevõtluspartneritega. Näiteks, Valmet Automation OY, Eesti Energia, Alexela, R8 Technologies jne.

Alates 2023. aastast osaleb Horizon Europe projektis "ENFIELD: European Lighthouse to Manifest Trustworthy and Green AI", mille partneriteks on rohkem kui 10 ettevõtet üle kogu Euroopa.

Alates 2024. aastast osaleb Tem-Ta78 projektis "Hoonete energiasäästu- ja paindlikkustehnoloogiate potentsiaali ning rakendamise mõju andmepõhine

hindamine", mille partneriteks on üle 10 Eesti ettevõtet, riigiasutust ja erialaliitu.

### Täiendav info:

**Uurimisrühma seotus TalTech TA prioriteetse suunaga (kuni kaks olulisemat suunda):**

- 2. Usaldusväärsed IT lahendused
- 1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad

**Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond – kuni 2 alamvaldkonda Frascati Manuaali klassifikaatori alusel ja kuni 3 teaduseriala CERCSi klassifikaatori alusel.**

Frascati Manuaali teadusvaldkonnad:

2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

CERCSi teaduserialad:

P170 Arvutiteadus, arvutusmeetodid, süsteemid, juhtimine (automaatjuhtimisteooria)

P176 Tehisintellekt

**Hinnang rühma kasutuses olevale TA taristule (sh kollektsioonid ja andmekogud), piisavus ja seisund**

Hinnang seisundile:

Seisundi selgitus:

Uurimisrühma (Artukate süsteemide keskuse) koosseisu kuulud automaatjuhtimise õppe- ja teaduslabor. Taristu regulaarselt uuendatakse. Uurimisgruppi käsutuses on ka teadustöö läbiviimiseks vajalikud andmekogud koostööpartneritelt (tööstus ja eraettevõtted).

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

Eduard Petlenkov on

IFAC (International Federation of Automatic Control) tehnilise komitee  
(Computational Intelligence in Control) liige

Eduard Petlenkov, Aleksei Tepljakov, Ahmet Köse, Saleh Ragheb Saleh Alsaleh,  
Majid Ghordani, Komeil Nosrati, Hossein Alimohammadi on IEEE (Institute of  
Electrical and Electronics Engineers) liikmed.

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

- Norwegian University of Science and Technology, NTNU, Department of Information  
(Security and Communication Technology)
- Israel Institute of Technology, Faculty of Electrical Engineering
- Delft University of Technology, Department of Mechatronic Systems Design, Delft,  
Netherlands

**Eesti partnerid:**

- R8 Technologies OÜ
- Valmet Automation OY
- Kliimaministeerium

**Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

KPMG, 2025

How AI is helping to improve energy efficiency and management in real estate

<https://kpmg.com/xx/en/our-insights/ai-and-technology/how-ai-is-helping-to-improve-energy-efficiency-and-management-in-real-estate.html>

**Rühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused lõppenud aastal  
Riiklikud:**

**Rahvusvahelised:**

**Rühma liikmete osalemine TA tegevusega seonduvalt ettevõtete nõustamistes**

Eduard Petlenkov:

Eesti Teadusagentuuri järeldoktorigrandi ekspertkomisjoni liige

Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus tehnilise komitee EVS/TK 82  
"Tehisintellekt" esimees

IKT Kutsenõukogu liige

IFAC (International Federation of Automatic Control) tehnilise komitee  
(Computational Intelligence in Control) liige

Eesti Süsteemiinseneride Seltsi liige

IEEE liige

Aleksei Tepljakov:

IEEE Estonia Section Education Chapter - aseesimees

IEEE Estonia Section Young Professionals Affinity Group - esimees

Uurimisrühma veebilehe aadress

**Eesti keeles**

<https://cis.ttu.ee/>

**Inglise keeles**

<https://cis.ttu.ee/>



## 7 Sardtehisintellekti labor

### Uurimisrühma juht

Mairo Leier, vanemteadur, [mairo.leier@taltech.ee](mailto:mairo.leier@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Mairo Leier, Doktor, vanemteadur

Uljana Reinsalu, Doktor, teadur

Karl Janson, Doktor, teadur

Olutosin Ajibola Ademola, Magister, doktorant-nooremteadur

Can Ersü, Magister, doktorant-nooremteadur

Tatsuki Ishikawa, Kõrgharidus, doktorant-nooremteadur

Jüri Bogatkin, Magister, insener

Anton Jaštšuk, Kesk, õppetöö assistent

Mohamed Nazrul Mohamed Nazeer, Magister, doktorant-nooremteadur

Jaanika Valdvee, Magister, tarkvaraarendaja

Jüri Kajava, Kesk, insener

Roman Karpenko, Magister, doktorant-nooremteadur

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

sardsüsteemide disain; sardtarkvara masinõpe; signaalitöötlus; äärearvutus; sensori info kokku sidumine; mehitamata õhusõidukid

#### Inglise keeles

embedded machine learning; edge computing; embedded systems design; signal processing; drones

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Sardtehisintellekti labor keskendub masinõppe ja agentsüsteemide arendamisele sardsüsteemides. Labor teeb rahvusvaheliselt koostööd nii merenduse, targa linna, autonoomsete sõidukite (sh õhusõidukite), katsetööstuse ja tööstusautomaatika teadusgruppide ja ettevõtetega. Põhifookus on kaitsetööstuse, merenduse ja mobiilsusega seotud valdkonnad. Põhikompetentsid: • sardriistvara disain ja prototüüpimine, • masinõppemudelite optimeerimine sardriistvarale, • mobiilsete sensorite arvutustehnoloogiad, • pildi- ja videotöötlus sardriistvaral, mitme anduri koostöö.

#### Rühma ülevaade inglise keeles

The Embedded AI Research Lab focuses on developing and optimizing machine learning solutions in the agent-based systems (edge computing). The laboratory collaborates internationally with research teams and companies from the maritime, smart city, autonomous vehicles (including aerial vehicles), defense and industrial automation sectors. Main focus is on defense Industry, 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; multi-sensor data fusion.

**Viimaste aastate olulisemad projektid:**

TF24032TJ "FinEst Targa Linna tippkeskuse tegevuste elluviimine" - UrbanSplash pilootprojekt 2024 - 2027 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/330a9bad-2484-4708-b2fa-3c9094b7b857>

MINM25032 Sõiduki tuuleklaasi kahjude suuruste (mõõtkava) määramine remondisoovituse AI jaoks 2025 - 2027 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/9bda8ccb-a463-4422-b907-6f6c36d26ffa>

**Viimaste aastate olulisemad artiklid:**

Robal, Tarmo; Reinsalu, Uljana (2025). How Do You Ride an Elevator? Passenger In-Cabin Behavior Analysis on a Smart-Elevator Platform. In: Kornyshova, E., Deneckère, R., Brinkkemper, S. (Ed.). Smart Life and Smart Life Engineering : Current State and Future Vision. (209–236). Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-75887-4\_10. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/009a39a5-15a8-46fd-8fc7-8e1e31949833>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### Eesti keeles

Muutused 2025

Lisandus 5 doktoranti

Fly or Die häkathoni korraldamine

Lisandus Smart City Citysense projekt, mille põhitäitja oleme.

Uurimisteemade keskendumine UAV ja UGV lokaliseerimise ja navigeerimise teemadele.

Esmakordselt ETAG grupigrandi kirjutamine, mille rahastus oli küll negatiivne.

Õppeaine Masinõpe Sardsüsteemides kursuse kava uuendamine uuele platvormile.

### Inglise keeles

Added 5 PhD students

Organized the Fly or Die hackathon

Added the Smart City Citysense project, which we are the main implementer of.

Focusing research topics on UAV and UGV localization and navigation.

Writing an ETAG group grant for the first time, the funding of which was negative.

Updating the course syllabus of the Machine Learning in Embedded Systems subject to the new platform.

## Rühma TA seotus ühiskonnas aktuaalsete probleemidega ning neile lahenduste pakkumisega

### **Eesti keeles**

Masinõppe ja senso fusiooni rakendamine pilditöötluses, pilditöötlusel põhineva kauguse tuvastuses, pilditöötlusel ja inertsiaalsetel sensoritel põhineval navigeerimises. Rakendused nii kaitsetööstuse kui ka targa linna projektides.

### **Inglise keeles**

Application of machine learning and sensor fusion in image processing, image-based distance recognition, image processing, and inertial sensor-based navigation. The defense and smart city industry has shown interest, for example.

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

### **Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas**

\* ETAG-i rahastusega projekt "EAGER: Exploratory Research in Robust Machine Learning for Object Detection and Classification"

\* Projekt "SafeWork: Workforce Location Management for Safe Automated Industries"

\* NATO rahastatav projekt "UAV Mosquito Fleet for Smart Swarm Operations"

\* Algas ja lõppes projekt "Laeva süvise automatiseeritud mõõtmine" EAS innovatsiooniosaku raames

\* Algas projekt "Sõiduki tuuleklaasi kahjude suuruste (mõõtkava) määramine remondisoovituse AI jaoks", rahastajaks EAS

\*

#### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöök**

\* sardriistvara disain ja prototüüpimine,

\* masinõppemudelite optimeerimine sardriistvarale,

\* mobiilsete sensorite arvutustehnoloogiad,

\* pildi- ja videotöötlus sardriistvaral

\* radari ja kaamera sensori info kokku sidumine

\* visuaal-inertsiaalsensoritel põhinev lokaliseerimine

#### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Prognoositav TA maht on ca 250-300 tuhat EUR aastas uurimisgrupi kohta.

## Täiendav info:

### Uurimisrühma seotus TalTech TA prioriteetse suunaga (kuni kaks olulisemat suunda):

- 2. Usaldusväärsed IT lahendused
- 1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad

### Uurimisrühma tegevusega seotud teadusvaldkond – kuni 2 alamvaldkonda Frascati Manuali klassifikaatori alusel ja kuni 3 teaduseriala CERCSi klassifikaatori alusel.

Frascati Manuali teadusvaldkonnad:

- 2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika
- 1.2 Arvutiteadus ja informaatika

CERCSi teaduserialad:

- T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia
- P176 Tehisintellekt

### Hinnang rühma kasutuses olevale TA taristule (sh kollektsioonid ja andmekogud), piisavus ja seisund

Hinnang seisundile:

vajab uuendamist

Seisundi selgitus:

\* Manuaalselt kogutud andmekogu erinevat tüüpi sõidukite kohta, mis sisaldab visuaalseid kaamera pilte ja radaripilte. Andmekogu on kasutatav sõidukite klassifitseerimiseks kasutades kaamera+radari infot.

\* Drooni arendusplatvorm, mis sisaldab stereo-kaamerat, near IR kaamerat, RTK GNSS vastuvõtjat, ja inertsiaalsensoreid navigeerimislahenduse arenduseks.

\*

**Uurimisrühma liikmete osalus oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös lõppenud aastal**  
Mairo Leier on fookustippkeskuse "Tark Meri" juhatuse liige.

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

- DFDS
- Ukraina Riiklik Tehnikaülikool, Igor Sikorsky Kiev Polütehniline Instituut
- Mid Sweden University

**Eesti partnerid:**

- Tallinna linn
- Milrem
- Mindchip

**Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

- \* Osalemine eksponaadiga konverentsil "Piirideta piirihaldus"
- \* Osalemine Industry 5.0 konverentsi paneeldiskussioonis
- \* Osalemine Innovatsioonipäeval stendiga
- \* Drooni häkathoni "Fly or Die" läbiviimine

**Rühma liikmete rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused lõppenud aastal**  
**Riiklikud:**

**Rahvusvahelised:**

**Rühma liikmete osalemine TA tegevusega seonduvalt ettevõtete nõustamistes**  
Puudub.

Uurimisrühma veebilehe aadress

**Eesti keeles**

<https://iot.ttu.ee>

**Inglise keeles**

<https://iot.ttu.ee>

