

# Tarkvarateaduse instituut

## Instituudi 2024. aasta teadus- ja arendustegevuse ülevaade

### Instituudi 2024. aasta kuni 3 kõige olulisemat edulugu

#### Publikatsioonid

2024. aastal ilmus 78 kõrgetasemelist (1.1.) publikatsiooni.

18. - 20. jaanuaril toimus IEEE Third International Conference on Power, Control and Computing Technologies, (ICPC<sup>2</sup>T –2024), kus Juri Belikovi kaasautorluses artikkel pälvis IEEE konverentsi parima artikli auhinna.

#### Projektid

2024. aastal moodustati pikaajalise arengustrateegia eesmärkide saavutamiseks 10 tippkeskust, mis kestavad 7 aastat ja selleks on eraldatud 70 miljonit eurot.

Tarkvaraarenduse tippkeskus on kaastatud kahte tippkeskusesse: Energiatõhususe tippkeskus, kuhu on kaasatud Juri Belikov; ja Eesti tehisintellekti tippkeskus, kuhu on kaasatud Pawel Maria Sobocinski, Rain Ottis, Tanel Alumäe ja Tanel Tammet.

TEMTA rprojktide taotlemisel olid tarkvaraarendus instituut väga edukas: Instituudist juhitakse kahte projekti: Innar Liiv „Masinõpe targema andmekasutuse jaoks“ ja Rain Ottis „Tehisintellekt küberturbes“. , lisaks osaleb Gunar Piho töögrupp TERVE Ühiskonna digiterivishoiu projektis.

2024. aastal algas Sven Nõmme juhitud suurem rühmagrant „Interpreteeritava tehisintellekti põhine peen- ja jämemotoorika testide analüüs inimese mootorsete ja kognitiivsete funktsioonide hindamiseks“.

Tarkvaraarenduse instituudi professor Tanel Alumäe osaleb mitmes projektis, mis on rahastatud riiklikest programmide. Koos Tartu Ülikooliga viiakse kahe aasta jooksul ellu projekti "Eesti L2 häälduse verifitseerija loomine ja mobiilirakenduse SayEst arendamine" ja „Eesti keele toetus suurtes generatiivsetes vabavaralistes keelemudelites“. Lisaks arendas Tanel Alumäe tööühm projekti "Kõnetuvastus: mudelid ja liidesed" edasi nende laboris välja töötatud kõnetuvastusmudeleid ja kõnetuvastusliideseid.

SekMo ehk sekortitevahelise mobiilsuse toetuse raames alustas 1. septembrist instituudis tööd Jaak Kütt, kelle ülesandeks on arendada välja personaalne üliõpilasassistent Taltechis.

Advanced Research+Innovation Agency (ARIA), UK Safeguarded AI programmist rahastati kaks kompositsiooniliste süsteemide ja meetodite laboratoorium teadlaste projekti: Pawel Sobocinski "String Diagrammatic Probabilistic Logic" ja Amar Hadzihasanovici "Syntax and Semantics For Multimodal Petri Nets"

21. novembril 2024 avati ametlikult eID Kompetentsikeskus, mis hakkab tegutsema Tallinna Tehnikaülikooli (TalTech) Infotehnoloogia teaduskonna tarkvarateaduse instituudi struktuuris, digiriigi tehnoloogiad ja arhitektuuri uurimisrühma ning infosüsteemide töörühma ühisel juhendamisel.

2024 alustas Taltechis tööd 6 fookustippkeskust, millest ühe – Tehinsintellekti fookusutippkeskuse tööd hakkab juhtima Sven Nõmm.

Talve ja suvekoolid:

8.-19. jaanuaril toimus teist korda talvekool CYBERUS: Erasmus Mundus Joint Master in Cybersecurity.

05.-09.02.24 Next Generation Digital Government mikrokraadi talvekool  
Next Generation Digital Government mikrokraadi talvekool Tallinna Tehnikaülikoolis on kokku toonud 14 rahvusvahelist tudengit, kes alustasid oma mikrokraadi omandamise teekonda juba septembri kuus. Eestis kohapeal toimuv talvekool on 5-päevane intensiivprogramm, mis hõlmab õppetööd koos külalistustega erinevatesse ettevõtetesse ja riigiasutustesse.  
8.-26. juulini võõrustas küberkriminalistika ja küberjulgeoleku keskus TalTechi Citateli suvekoolis gruppi üliõpilasi Lõuna-Carolina sõjaväekolledžist ja .

4. - 7. märts toimus Viinistus pärast kolmeaastast Covidi-pausi 26. Eesti arvutiteaduse talvekool. TTÜ poolseteks korraldajateks olid Monika Perkmann ja Tarmo Uustalu.

TalTech digiriigi tehnoloogiate ja -arhitektuuri uurimisrühmast prof Ingrid Pappel, Silvia Lips, Engel-Mari Mölder, Tanel Kerikmäe ja Markko Liutkevicius ning Strathmore University Business School koostöös Eesti Rahvusvahelise Arengukeskusega (ESTDEV) korraldasid 5.-7. märts Keenias e-valitsemise konverentsi: E-Governance Conference 2024.

Nagu igal aastal osales TalTech küberkriminalistika ja küberjulgeoleku keskus aktiivselt 22.-25.mail toimunud küberkaitse harjutusel LOCKED SHIELDS harjutusel Tallinnas.

Koostöös Avatud Ülikooli ning digiriigi tehnoloogiate ja arhitektuuri uurimisrühmaga toimus 4.–15. augustil 2024 juba traditsiooniks saanud rahvusvaheline suvekool „Next Generation Digital Government“,

Konverentsid:

Tallinna Tehnikaülikool korraldas 24.-25. jaanuaril koostöös Kaitseväe Akadeemia ja Eesti Kaitseministeeriumiga rahvusvaheline kaitsekonverentsi EstMil.tech 2024, Military Technologies: Challenges for Small States. Teiste peaesinejate seas tegi konverentsil ettekande küberkriminalistika ja küberjulgeoleku keskusest prof Rain Ottis teemal „From Science Fiction to Science Fact:

Information Technology and the Modern Battlefield“. Konverentsi teisel päeval tutvus ca 15 eelregistreerunud delegaati Rakendusliku tehismõistuse töörühmaga ja Proaktiivtehnoloogiate laboratooriumiga.

Rahvusvaheline konverents Foneetika päevad (The 36th Finnic Phonetics Symposium) toimus 25.-26. aprillil 2024 Tallinnas keeletehnoloogia laboratooriumi korraldusel.

06.-12.07.24 toimus ühendkonverents ICALP/LiCS/FSCD 2024. ICALP on Euroopa Teoreetilise Arvutiteaduse Assotsiatsiooni (EATCS) tähtsaim konverents ja ühtlasi ka aastakoosolek. ICALP 2024 korraldas TalTechi Kompositsiooniliste süsteemide ja meetodite laboratoorium koostöös Euroopa Teoreetilise Arvutiteaduse Assotsiatsiooniga (EATCS).

Lisaks suurematele konverentsidele toimus mitmeid projektide raames korraldatud seminare, töötubasid ja kohtumisi.

Doktoritööde kaitsmine:

2024. aastal kaitses Tarkvaraarenduse instituudis oma kraadi järgmised doktorandid:

- \* Minakshi Kaushik, juhendaja Dirk Draheim
- \* Chad Mitchell Nester, juhendaja Pawel Maria Sobocinski
- \* Chahinez Ounoughi, juhendaja Sadok Ben Yahia
- \* Nathan Joseph Haydon, juhendaja Adrian Nicholas Venables
- \* Antonio Carlo, juhendaja Adrian Nicholas Venables
- \* Richard Michael Dreyling III, juhendajad: prof Ingrid Pappel and prof Tanel Tammet
- \* Mahtab Shahin, juhendajad prof Dirk Draheim, kaasjuhendajad dr Tara Ghasempouri ja dr Syed Attique Shah
- \* Nzamba Bignoumba, juhendaja Sadok Ben Yahia
- \* Markko Liutkevičius, juhendaja Sadok Ben Yahia ja kaasjuhendaja Innar Liiv.
- \* Eric Blake Jackson, juhendajad prof Ingrid Pappel, prof Sadok Ben Yahia and prof Dirk Draheim.
- \* Abiodun Emmanuel Onile, juhendaja prof Juri Belikov ja kaasjuhendaja prof Eduard Petlenkov.

Populariseerimine

Mitmete artiklitega esinesid avalikus meedias (Postimees, Delfi, Digigeenius, IT Uudised, Novaator, ETV, err.ee jt) Tanel Tammet, Tanel Alumäe, Rain Ottis, Ago Luberg, Adrian Venables, Einar Meister jt Mitmed teadlased esinesid oma arvamuste, teadustöö tulemustega ülikooli meedias (Trialoog, taskuhäälring), näiteks Adrian Venables, Elli Valla, Pawel Sobocinski.

Teadlaste öö IT-teaduskonnas toimus 27.septembril, mida külastas 150 - 170 inimest. Tarkvarateaduse instituudist andsid oma panuse Teadlaste öö toimumisse doktorant-nooremteadur Elli Valla inspiratsioonikõnega: „Miks õppida IT-d?“. Tugevalt tagatud tarkvara laboratooriumi professori Sven Nõmme demo: LaineTeisik. Keeletehnoloogia laboratooriumi doktorant-nooremteadur Joonas Kalda lühiloenguga: „Arvutile Eesti keele õpetamine“. Ning prof Innar Liiv koos Birgy Lorenz, Doris Põld, Urve Mets, Martin Kuustikuga paneeldiskussioonis: „Kas karjäär IT-sektoris on endiselt särav võimalus või varisemisohtlik valik“.

#### Tunnustused

Mittelineaarsete juhtimissüsteemide töörühma juhtivteadur Ülle Kotta-t tunnustati „Mente et Manu“ teenetemedaliga.

Elli Valla pälvis Ustus Aguri nimelise stipendiumi, stipendium on IKT-sektori kõrgeim tunnustus doktoriõppe valdkonnas. Lisaks sain Elli valla Andres Keevalliku nimelise stipendiumi.

Innar Liiv ja Ago Luber pälvisid „Fidelis Professor“ nimelise tunnustuse.

#### **TA valdkonna väljakutsed 2025. aastaks**

Suurim väljakutse on järelkasvu ja töörühmade võimekuse kasvatamine. Mitmed edukad ja lisandunud projektid andsid võimaluse värvata juurde doktorante, järel doktorante ja teadusgruppide assistente. Suurim väljakutse on olnud sobivate kandidaatide leidmine. Mõned konkursid on õnnestunud hästi, aga mõnede kohtadele ei ole sobilikke kandidaate leitud ja otsingud jätkuvad. Ühte professuuri kohta ei ole õnnestunud täita ja otsingud sobiva kandidaadi leidmiseks jätkuvad.

2025. aastal seisab ees IKT maja teise korruse väljaehitamine ja küberneetika majas tegutsevate töörühmade kui ka sealolevate laborite kolimine uutele pindadele. Kuna ehitustöö ja hanked võivad minna pikemaks kui planeeritud, on oluline võimalikult sujuvalt tagada teadlastele keskkond, töörütm ja sisseelamine.

#### **TA valdkonna 2024. aasta väljakutsed ja nende tulemused**

### *Väljakutse*

Suurim väljakutse on järelkasvu ja töörühmade võimekuse kasvatamine. Sel aastal lahkus kaks rühmajuhti ja mõned teadlased teistesse ülikoolidesse. Eesmärgiks on selle lünga täitmine uute akadeemiliselt tugevate teadlastega.

Kui mitmed esitatud projektitaotlused on edukad, peame kiirelt leidma juurde nii doktorante kui järeldoktooreid, et kasvatada kriitilist massi, mis on vaja nii projektide täitmiseks kui ka töörühma võimekuse kasvatamiseks ja järjepidevuse tagamiseks.

2024. aastal seisab ees IKT maja teise korruse väljaehitamine ja küberneetika majas tegutsevate töörühmade kui ka sealolevate laborite kolimine uutele pindadele. Kuna ehitustöö ja hanked võivad minna pikemaks kui planeeritud, on oluline võimalikult sujuvalt tagada teadlastele keskkond, tööruum ja sisseelamine.

### *Täitmine/tulemused*

Eelmise aasta üheks väljakutseks oli järelkasvu ja töörühmade võimekuse kasvatamine. Selle täitmiseks on abiks kaks suuremat projekti: Innar Liiv „Masinõpe targema andmekasutuse jaoks“ ja Rain Ottis „Tehisintellekt küberturbes“, kuhu kaastakse 7 uut doktoranti, kellest 5 on juba tööle hakanud. Samuti aitab andmetele suunatud projekt taastada vahepeal võimakuse kaotanud andmeteaduse töögrupi, kuhu on plaanis kaasata lähimal võimalikul ajal tippteadlane. Teine probleem, IKT maja teise korruse väljaehitamine on jõudnud ehitusjärku. Sellele eelnes pikk hankeprotsess nii projekteerimiseks kui ehitamiseks, mis on edukalt lõpule jõudnud.

### **Olulisemad soetatud seadmed**

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

hea

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

# 1 Proaktiivtehnoloogiate laboratoorium

## Uurimisrühma juht

Jaanus Kaugerand, teadur, [jaanus.kaugerand@taltech.ee](mailto:jaanus.kaugerand@taltech.ee)

## Uurimisrühma liikmed

Jaanus Kaugerand, Doktor, teadur  
Raul Savimaa, Doktor, teadur  
Andres Udal, Doktor, vanemteadur  
Andri Riid, Doktor, vanemteadur  
Merik Meriste, Teaduste kandidaat, modelleerimise ja süsteemitehnika konsultant  
Taivo Kangilaski, Doktor, vanemteadur  
Tõnu Näks, Teadusmagister, lektor  
Kalev Rannat, Doktor, vanemteadur  
Leo Mõtus, Doktor, Emeriitprofessor  
Hannes Keernik, Doktor, analüütik  
Rene Pihlak, Magister, doktorant-nooremteadur  
Sergei Astapov, Doktor, teadur  
Konstantin Bilozor, Magister, tööstusdoktorant  
Lizaveta Miasayedava, Magister, doktorant-nooremteadur  
Jüri Helekivi, Kõrgharidus, insener  
Johannes Ehala, Kõrgharidus, analüütik  
Igor Astrov, Doktor, vanemteadur  
Tõnu Martma, , vanemteadur

## Võtmesõnad

### Eesti keeles

küberfüüsikalised-süsteemid; spontaansed sensorvõrgud; uduarvutus; deep learning; riigiülese tervikliku olukorrateadlikkuse võimekus; olukorrateadlikkuse ja mentaalsete mudelite modelleerimine

### Inglise keeles

cyber-physical-systems; spontaneous sensor networks; fog computing; the capability of comprehensive situational awareness across countries; situational awareness and modelling of mental models; deep learning

## Uurimisrühma kompetentside tutvustus

### Rühma ülevaade eesti keeles

Proaktiivtehnoloogiate uurimislabori põhitegevuseks on võrgustatud küber-füüsikaliste-süsteemide õpetamine üliõpilastele ning teoreetiliste ja praktiliste probleemide uurimine/lahendamine – näiteks arendatakse küberfüüsikaliste süsteemide magistrikursust, lepingute toetusel ehitatakse ja rakendatakse spontaanseid sensorvõrke, teoreetiliselt uuritakse uduarvutust ja selleks kasutatavat proaktiivset vahevara (ProWare) ja osaletakse tervikliku olukorrateadlikkuse võimekuse uurimisel riigikaitse rakendustele. Lisaks teostab ProLab konvolutsiooniliste närvivõrkude abil uuringuid klassifitseerimise, semantilise segmenteerimise ja objektide tuvastamise kohta. Metoodikat on rakendatud fotopiltidele, punktpilvekogudele ja helisalvestistele. vt ka

<https://taltech.ee/en/laboratory-of-proactive-technologies>

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

The laboratory focuses on the theoretical and practical study of networked systems built from stationary and/or mobile software-intensive (proactive) components. Typical components are pervasive computing systems. The research is partitioned into three threads: (1) modeling and verification of situation-aware interaction-centered computation; (2) methods and technologies for acquiring situational information; (3) methods for interpretation of situational information for (proactive) decision making. The long-term goal of the laboratory is the ability to detect and partially control the emergent behaviour in pervasive computing systems. In addition, ProLab performs research on classification, semantic segmentation and object detection using convolutional neural networks. The methodology has been applied to photographic images, point cloud collections and sound recordings.

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

LITAV21117 Kohapealsete vaatlusandmete kogumine ja töötlemine, 2. osa: juurdepääs lähte- ja võrdlusvõrkude vaatlustele ning põhjalikele ülemise õhu vaatlustele 2021 - 2025

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/64aaeb4c-afe6-484c-9274-74504df05182>

VEU23002 2022 - 2025 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/aaf435d6-e3ac-48c4-bd82-dad1ad1b476b>

AR20013 Targa linna tippkeskus 2020 - 2023

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/dfbba7ba-fee5-41ea-a0fd-fd1971b455ec>

ÕÜF11 AIoT\*5G - Tehisintellekt, andmete servtöötlus ja IoT lahendused hajussüsteemides 2023 - 2029 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/463da0fc-ac48-4d5c-82e4-9250cad6f243>

LITEE20122 Intelligentised Targa Linna ja Kriitilise Infrastruktuuri Toimepidevuse Tehnoloogiad II 2020 - 2022 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/96569b7f-a42a-422f-bd8f-97cbb3a483b1>

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

Miasayedava, Lizaveta; Kaugerand, Jaanus; Tuhtan, Jeffrey A. (2023). Lightweight open data assimilation of Pan-European urban air quality. IEEE Access, 11, 84670–84688. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3302348. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/0f637e51-c3fa-4544-b11c-21f15209b317>

Rannat, Kalev; Keernik, Hannes; Madonna, Fabio (2023). The Novel Copernicus Global Dataset of Atmospheric Total Water Vapour Content with Related Uncertainties from GNSS Observations. Remote Sensing, 15 (21), Art. no. 5150; 22 pp. DOI: 10.3390/rs15215150. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/7d64eb4c-8982-4d73-88e7-c9b973b29d9c>

Teichmann, Mare; Kaugerand, Jaanus; Ehala, Johannes; Meriste, Merik; Rannat, Kalev (2024). Effects of culture on public behavior patterns in crisis situations. Proceedings of Conference on Cognitive and Computational Aspects of Situation Management 2023 (CogSIMA 2023). Ed. Baclawski,

Kenneth; Kozak, Michael; Bellman, Kirstie; D'Aniello, Giuseppe; Ruvinsky, Alicia; Da Silva Ferreira Barreto, Candida. EasyChair, 66–79. (EPiC Series in Computing; 102). DOI: 10.29007/r4p9.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/d7f4f6b2-8341-4eea-80ad-30e925c498fa>

Udal, Andres; Sell, Raivo; Kalda, Krister; Antov, Dago (2024). A predictive compact model of effective travel time considering the implementation of first-mile autonomous mini-buses in smart suburbs. Smart Cities, 7, 6, 3914–3935. DOI: 10.3390/smartcities7060151.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/eabad7fb-8824-4b46-a10d-7827751d0cc0>

Udal, Andres; Kaugerand, Jaanus; Mölder, Heigo; Astrov, Igor; Bauk, Sanja (2024). Modeling the trajectory tracking accuracy of an autonomous catamaran patrol vessel under different positional data disturbance conditions. MT '24 : 10th International Conference on Maritime Transport, Barcelona, June 5-7, 2024. Universitat Politècnica de Catalunya, 1–15. DOI: 10.5821/mt.13165.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/f5d0c31d-88e1-4ad2-a1d6-034649cff902>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### Eesti keeles

2024 kevadel kaitses oma doktoritöö Lizaveta Miasayedava teemal „Open Environmental Data Assimilation Under Unknown Uncertainty and Multiple Spatio-Temporal Scales“. Juhendajad: Jeffrey Andrew Tuhtan ja Jaanus Kaugerand. See töö oli inspireeritud varasematest Proaktiivtehnoloogiate laboratooriumi projektidest SmENeTe 2 ja ISC2PT II, mis on loonud ligikaudu 900 sõlmega andurivõrgu Tallinna keskkonnas. Doktoritöö panustab andmeteaduse ja asjade interneti (IoT) anduritest saadud andmete töötlemisse koos modelleerimisega.

### Inglise keeles

In 2024 spring Lizaveta Miasayedava defended her doctoral thesis on the topic of: „Open Environmental Data Assimilation Under Unknown Uncertainty and Multiple Spatio-Temporal Scales“. This work was inspired by earlier projects by Laboratory of Proactive Technologies, SmENeTe 2 and ISC2PT II that together have provided a ca 900 node sensor network in Tallinn Environment. The thesis contributes to data science and IoT sensor data processing in combination with modelling.

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

### Eesti keeles

ProLab on olnud väga aktiivne riigikaitse ja kriisiohje valdkondades. Mõlemad teemad on praegu ühiskonnas väga olulised. 2024. aastal oleme töötanud mitmete ideede kallal. Eelkõige oleme uurinud, kuidas modelleerida ja ennustada inimkäitumise mustreid küber-füüsikalises-sotsiaalsetes süsteemides. Lisaks oleme välja töötanud raamistiku, mis aitab nii üksikisikutel kui ka tehisintellektil



arvesse võtta nii väliseid kui ka sisemisi tegureid, mis mõjutavad ja põhjustavad käitumismustrite muutusi sotsiaalsetes valdkondades. Sel teemal esitati teadusartikkel pealkirjaga „Let’s Put A Person Back into Cyber-Physical-Social Research: Public Mental Models Framework“ ajakirjale Journal of Frontiers in Neuroergonomics erinumbriks pealkirjaga "New Frontiers in Cognitive Situation Management with Neuroergonomics."

### **Inglise keeles**

ProLab has been very active in the fields of national defense and crisis management. Both topics are currently of great importance to society. In 2024, we have worked on several ideas. Specifically, we have investigated how to model and predict human behavior patterns within Cyber-Physical-Social Systems. Additionally, we have developed a framework to assist both individuals and AI in considering both external and internal factors that influence and lead to changes in behavior patterns related to social domains. On this topic, an academic paper, titled „Let’s Put A Person Back into Cyber-Physical-Social Research: Public Mental Models Framework“, was submitted to the Journal of Frontiers in Neuroergonomics for a special issue titled "New Frontiers in Cognitive Situation Management with Neuroergonomics."

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

**Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas**

### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöös**

\*

\* Masinõppel põhinev andmeanalüüs, semantiline segmenteerimine, klassifitseerimine ja objektide tuvastamine

\* Väikese võimsusega tajusüsteemid

\* Statistiline analüüs ja määramatuse kvantifitseerimine

\* Modelleerimine ja simulatsioon otsuse tegija olukorrateadlikkuse suurendamiseks

\* Digitaalsete kaksikute disain reaalmaailmast pärinevate andmete baasil

## **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:

- 1.2 Arvutiteadus ja informaatika

CERCSi teaduserialad:

- P170 Arvutiteadus, arvutusmeetodid, süsteemid, juhtimine (automaatjuhtimisteooria)
- T125 Automatiseerimine, robotika, control engineering
- T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia

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

Hinnang seisundile:

Seisundi selgitus:

Andmebaas mis jooksvalt täieneb andmetega Tallinna tänavatel asuv targa linna andurite võrgust. Nimetatud võrk koosneb ligi 900 andurist. Andurid koguvad statistilisi andmeid nii võrgu töö kohta kui ka liiklustiheduse mürataseme ja õhukvaliteedi kohta. Nimetatud andmebaas kogub andmeid alates aastast 2019.

**Uurimisrühma liikmete osalus oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös lõppenud aastal**  
Jaanus Kaugerand osaleb NATO Teadus- ja tehnoloogiaorganisatsiooni töös.

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

- CogSIMA konverentsi korralduskomitee
- Loughborough Ülikool, UK
- Norra Teaduse ja Tehnoloogia Ülikool (NTNU)

**Eesti partnerid:**

- Kaitseministeerium
- Kaitseväge ühendatud õppeasutus, Rakendusüuringute osakond
- Justiitsministeerium, Vanglate osakond; Thinnect OÜ; Defforce OÜ

**Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

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

TalTech's best development work of the year, 2023: „Hoone energiatõhususe ja sisekliima audit - DigiAudit“. Jaanus Kaugerand, Taivo Kangilaski.

**Rahvusvahelised:**

IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society Award: „2023 IEEE Most Active SMC Technical Committee Award“. Leo Mõtus.

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

Justiitsministeeriumi Vanglate osakond. Jaanus Kaugerand ja Raul Savimaa

osalevad

projekti "Vanglate turvalisuse tõhustamiseks läbiotsimistehnoloogia katsetamine" juhtkomisjoni töös.

**Uurimisrühma veebilehe aadress**

**Eesti keeles**

<https://taltech.ee/en/laboratory-of-proactive-technologies>

**Inglise keeles**

## 2 Keeletehnoloogia laboratoorium

### Uurimisrühma juht

Tanel Alumäe, kaasprofessor teneuris, [tanel.alumae@taltech.ee](mailto:tanel.alumae@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Tanel Alumäe, Doktor, kaasprofessor teneuris  
Einar Meister, Doktor, vanemteadur  
Lya Meister, Doktor, teadur  
Joonas Kalda, Magister, doktorant-nooremteadur  
Aivo Olev, Magister, doktorant-nooremteadur  
Tiia Sildam, Kõrgharidus, tarkvaraarendaja  
Andra Velve, Kõrgharidus, tarkvaraarendaja  
Daniil Rõbnikov, Kesk, tarkvaraarendaja  
Henry Härm, , tarkvaraarendaja  
Aleksandr Žavoronkov, Kõrgharidus, noorem tarkvaraarendaja  
Artem Fedorchenko, Muu, noorem tarkvaraarendaja  
Erik Illaste, Kõrgharidus, tarkvaraarendaja  
Helena Grete Lillepalu, Kõrgharidus, tarkvaraarendaja

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

kõnetehnoloogia; foneetika; kõnekorpused

#### Inglise keeles

speech technology; phonetics; speech corpora

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Keeletehnoloogia laboratoorium keskendub järgmisetele teemadele: • Kõnetuvastus  
• Kõneleja, kõneldava keele ja aktsendi identifitseerimine • Kõnekorpused •  
Foneetika (eesti keele prosodia, L2 kõne) • Mitmesugused loomuliku keele  
töötamise alateemad Labori üheks väljapaistvamaks tegevuseks on eesti keele  
kõnetuvastuse arendus ning avalikult kättesaadavate kõnetuvastusteenuste  
loomine. Kuigi labor keskendub arendustööle eesti keelele, on enamik laboris  
loodud meetodeid ja tehnoloogiaid keelest sõltumatud. Laboris välja töötatud  
tarkvara on saadaval vaba tarkvara litsentsi alusel. vt ka  
<https://taltech.ee/en/laboratory-language-technology>

#### Rühma ülevaade inglise keeles

The Language Technology Laboratory focuses on the following topics: • Speech  
recognition • Speaker, spoken language and accent identification • Speech  
corpora • Phonetics (Estonian language prosody and vocal system, L2 speech) •  
Various sub-topics of natural language processing One of the important  
activities is the creation of speech technology applications targeted at society  
as a whole. This includes applications of end-user speech recognition as well as

the key integration components that are easy to integrate. Although the focus is on speech recognition in Estonian, most of the software created in the laboratory is not specific to Estonian. The laboratory is a solid open source free software supporter.

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

EKTB104 Eesti keele toetus suurtes generatiivsetes vabavaralistes keelemudelites 2024 - 2025  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/a420f147-a693-4e0e-ad9f-0570862d6a9f>

EKTB93 Kõnetuvastus: mudelid ja liidesed 2024 - 2024  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/5e3c0c11-4317-4843-90f4-2739c538f049>

TK213 Eesti Tehisintellekti Tippkeskus 2024 - 2030  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/97213ae6-cd28-4f84-84c2-ac61f7658670>

EKTB77 Eesti ja mitmekeelne kõnetõlge 2023 - 2024  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/689d1e76-1094-43ee-a792-c67f0ed8f24b>

EKTB56 Eesti teksti sisukokkuvõtja 2022 - 2024  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/ddfacad7-df25-42f6-bcc3-69d937741641>

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

Olev, Aivo; Alumäe, Tanel (2024). Open source platform for Estonian speech transcription. Language Resources and Evaluation, 1–18. DOI: 10.1007/s10579-024-09777-1.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/f3ae029b-4778-48be-aa2b-7837133866c6>

Kalda, Joonas; Pagés, Clément; Marxer, Ricard; Alumäe, Tanel; Bredin, Hervé (2024). PixIT: joint training of speaker diarization and speech separation from real-world multi-speaker recordings. The Speaker and Language Recognition Workshop (Odyssey 2024), 18-21 June 2024, Quebec City, Canada. ISCA, 115–122. DOI: 10.21437/odyssey.2024-17.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/538eb394-9da1-4edd-a67f-dd1c2ef5f1db>

Vurma, Allan; Meister, Einar; Meister, Lya; Ross, Jaan; Raju, Marju; Kala, Veeda; Dede, Tuuri (2023). The intensities of vowels and plosive bursts and their impact on text intelligibility in singing. The Journal of the Acoustical Society of America, 154 (4), 2653–2664. DOI: 10.1121/10.0021968.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/4ffc8e54-f7a8-4f60-9b8c-8a4ca3b47b46>

Alumäe, Tanel; Koenecke, Allison (2025). Striving for open-source and equitable speech-to-speech translation. Nature, 637 (8046), 551–553. DOI: 10.1038/d41586-024-04095-6.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/6fd8a100-98c1-4a0a-b307-e340621050b6>

Alumäe, Tanel; Kukk, Kunnar; Le, Viet-Bac; Barras, Claude; Messaoudi, Abdel; Ben Kheder, Waad (2023). Exploring the impact of pretrained models and web-scraped data for the 2022 NIST Language Recognition Evaluation. INTERSPEECH 2023, 20-24 August 2023, Dublin, Ireland. ISCA, 516–520. DOI: 10.21437/Interspeech.2023-1790. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/bbc6d767-fe45-45f8-bd53-20ce8434e349>

Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

**Eesti keeles**

Koostöös Toulouse'i ja Touloni teadlastega arendati välja meetod PixIT, mis võimaldab ühe mikroniga salvestatud kõnesalvestusest leida erinevatele kõnelejatele kuuluvad kõnesegmendid (speaker diarizatuon) ning samaaegse kõne puhul ka eraldada iga kõneleja kõnesignaali. Meetodit kirjeldav artikkel sai konverentsil Speaker Odyssey 2024 parima tudengiartikli auhinna.

Koostöös Toulouse'i ja Touloni teadlastega osaleti konverentsi Interspeech 2024 raames läbiviidud võistlusel DISPLACE Challenge, mille eesmärk oli mitme aktsendiga kõnelejaga salvestusest leida erinevatele kõnelejatele kuuluvad kõnesegmendid ning need ka kõneldava keele põhjal klassifitseerida. Meie meeskond sai võistlusel esimese koha.

Osalesime konverentsi ICASSP 2025 võistlusel LIMMITS, mis hindas erinevate meeskondade loodud kõnesünteesisüsteeme india keelele, mis on loodud väheste treeningressurssidega. Meie loodud süsteem saavutas erinevates kategooriates head tulemused ning avaldasime konverentsil kutsutud artikli meie lähenemisest.

### **Inglise keeles**

In collaboration with scientists from Toulouse and Toulon, a method called PixIT was developed, which enables speaker diarization (finding speech segments belonging to different speakers) from speech recordings made with a single microphone, and in cases of simultaneous speech, it can also separate each speaker's speech signal. The paper describing this method won the best student paper award at the Speaker Odyssey 2024 conference.

In collaboration with scientists from Toulouse and Toulon, we participated in the DISPLACE Challenge held as part of the Interspeech 2024 conference. The challenge's goal was to evaluate methods that find speech segments belonging to different speakers from recordings with multiple accented speakers and classify them based on the spoken language. Our team won first place in the competition.

We participated in the LIMMITS challenge at the ICASSP 2025 conference, which evaluated speech synthesis systems created by different teams for Indian languages using limited training resources. Our system achieved good results in various categories, and we published an invited paper about our approach at the conference.

[\*\*Rühma TA seotus ühiskonnas aktuaalsete probleemidega ning neile lahenduste pakkumisega\*\*](#)

**Eesti keeles**

Viimasel ajal suuri edusamme teinud generatiivne tehisintellekt (a la ChatGPT) põhineb suurtel keelemudelitel, millega uurimisrühmas on juba pikalt tegeletud ning seetõttu on rühma juht Tanel Alumäe kujunenud oluliseks kõneisikuks antud teemal.

Keeletehnoloogial on oluline roll teenustel põhineva majanduse ning valitsussektori efektiivsuse suurenamisel. Uurimisrühmas välja töötatud kõnetehnoloogiat kasutavad juba praegu paljud ettevõtted ja institutsioonid. Üheks lähiaastate suuremaks väljakutseks, saab olema vabalt levitatavate (open source) eesti keele toega suurte keelemodelite loomine, mida saaks kasutada paljude rutiinsete tekstipõhiste tööde automatiseerimiseks. Uurimisgrupil on konkreetsed plaanid selle väljakutse lahendamiseks ja siin tehakse aktiivset koostööd teiste Eesti ja rahvusvaheliste partneritega.

Keeletehnoloogial on ka potentsiaalselt oluline roll Eesti kaitsevõime suurenamisel, sest keeletehnoloogia võimaldab kiiresti töödelda suurt hulka mitmekeelseid kõne- ja tekstiandmeid ning otsida sealt olulisi teemasid ja kõnelejaid. Laboril on suur kogemus selliste tehnoloogiate konkurentsivõimelisel rakendamisel.

### **Inglise keeles**

Recently, generative artificial intelligence (like ChatGPT), which is based on large language models, has made significant progress. The research group, led by Tanel Alumäe, has been involved in this area for a long time, making him an important spokesperson on the subject.

Language technology plays a crucial role in enhancing the efficiency of service-based economies and the government sector. Many companies and institutions are already using the speech technology developed by the research group. One of the major challenges in the coming years will be the development of freely available open source large language models with support for the Estonian language, which can be used to automate many routine text-based tasks. The research group has specific plans to address this challenge and is actively collaborating with other Estonian and international partners.

Language technology also potentially plays an important role in enhancing Estonia's defense capabilities, as it enables the rapid processing of large volumes of multilingual speech and text data, and the identification of key themes and speakers. The lab has extensive experience in competitively applying such technologies.

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

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

Uurimisgrupis on rakendusliku väljundiga TA tegevus olulisel kohal. Projekti "EKTb24 - Kõnetuvastus" raames töötatakse välja kõnetuvastusmudelid eesti keelele nii offline kui ka nn. streaming kõnetuvastuseks. Seda tehnoloogiat kasutavad paljud Eesti ettevõtted ja institutsioonid (näit. ERR, Postimehe ja Delfi meediagrupid, meediamonitooringufirmad). Laboris välja töötatud kõnetuvastusmudeleid kasutatakse Riigikogus, PERHis ja Eesti kohtutes. Labori avalikku ja tasuta kõnetuvastusüsteemi tekstiks.ee kasutavad paljud ajakirjanikud ja teadlased intervjuude transkribeerimiseks. ERR kasutab kõnetuvastust (Kiirkirjutaja) ETV ja ETV2 eestikeelsetele saadetele reaalaajaliste vaegnägijaile mõeldud subtitrite loomiseks.

### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostööks**

\* Kõnetehnoloogia-alane arendustöö (näit. kõnetuvastus spetsiifilistes valdkondades nii eesti kui ka muudes keeltes)

\* Kõne analüüs ja märgendamine

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Laboris välja töötatud kõnetuvastustehnoloogiat kasutavad juba praegu paljud ettevõtted ja institutsioonid (ERR, Riigikogu, Delfi, Postimees, PERH, kohtud).

Tanel Alumäe on osaline RIA IT- ja andmeteaduse ühishankes koos Tartu Ülikooli, NET Groupi ja Tildega.

## Täiendav info:

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

- 2. Usaldusväärsed IT lahendused
- 4. Innovaatilised ettevõtted ja tulevikku vaatav riigivalitsemine



**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:

P176 Tehisintellekt

H351 Foneetika, fonoloogia

T121 Signaalitöötlus

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

Hinnang seisundile:

Seisundi selgitus:

Uurimisgrupil on salvestusstuudio, mis võimaldab salvestada kõrge kvaliteediga kõnekorpuseid. Stuudios on olemas mitmekesine aparatuur kõnesalvestusteks (8 kanaliga mikseripult, digitaalsed diktofonid, erineva otstarbega mikrofoniid), artikulatsioonuuringuteks (elektromagneetiline artikulograaf, palatograaf, larüngograaf) ja tajutestide läbiviimiseks (kõlarid, kõrvaklapid).

Uurimisgrupp on Linguistic Data Consortiumi liige, mis tagab juurdepääsu suurele

hulgale kõne- ja multimeediakorpustele, mida saab kasutada mitmesuguseks keeletehnoloogia-alaseks uurimistööks.

Kõige suuremaks probleemiks ligipääsetavus arvutusressursile (eriti GPUdega serveritele). Ülikoolil on küll mitme GPU serveriga HPC, aga selle GPU-dega serverid on tihti täielikult hõivatud. Uurimisrühmal on ka ligipääs LUMI HPC-le, aga selle varustatus AMD GPU-dega teeb seal AI-mudelite treenimise tihti ülimalt ebaefektiivseks, tööjõukulukaks ja kokkuvõttes kalliks.

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

Tanel Alumäe on Põhjamaade Keeletehnoloogia Assotsiatsiooni nõukogu sekretär

Tanel Alumäe oli konverentsi Interspeech 2024 teemajuht (Area Chair)

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

- Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT, Prantsusmaa)
- Vocapia Research (Prantsusmaa)
- Ida-Soome Ülikool

**Eesti partnerid:**

- Tartu Ülikool, keeletehnoloogia õppetool
- Eesti Muusika- ja Teatriakadeemiamuusikateaduse uurimisrühm
- Tallinna Ülikool, eesti viipekeele uurimisrühm (EVKUR)

**Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

Tanel Alumäe osales ETAGi teaduspoliitika konverentsil ettekandega "Kas üldine tehisintellekt on lähedal ja mida see meie jaoks tähendab?"

Tanel Alumäe rääkis mitmes raadiosaates ja podcastis suurte keelemudlite ja tehisintellekti teemadel, näiteks:

- Levila

podcast <https://www.levila.ee/raadio/tuhi-eeter/kumb-on-arukam-kas-inimaru-voi-tehisaru>

- ETV

hommikuprogramm <https://novaator.err.ee/1608942929/keeletehnoloog-eestikeelse-tehispettuse-voimalus-pusib-esialgu-vaike>

Labori ja EMTA ühisprojektist kirjutas ERRi teadusportaal

Novaator: <https://novaator.err.ee/1609171642/uudne-teadustoo-pakub-nippe-aariate-arusaadavamaks-muutmiseks>

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

**Rahvusvahelised:**

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

Tanel Alumäe osaleb haridusministri töörühmas, mis kaardistab tehisintellekti mõju haridusele.

**Uurimisrühma veebilehe aadress****Eesti keeles**

<https://taltech.ee/en/laboratory-language-technology>

**Inglise keeles**

## 3 Kompositsiooniliste süsteemide ja meetodite labor

### Uurimisrühma juht

Pawel Maria Sobocinski, täisprofessor teneuris, [pawel.sobocinski@taltech.ee](mailto:pawel.sobocinski@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Pawel Maria Sobocinski, Doktor, täisprofessor teneuris

Fosco Loregian, Doktor, teadur

Amar Hadzihanovic, Doktor, nooremprofessor

Matthew David Earnshaw, Magister, doktorant-nooremteadur

Diana-Maria Kessler, Magister, doktorant-nooremteadur

Ekaterina Zhuchko, Magister, doktorant-nooremteadur

Clémence Chanavat, Magister, doktorant-nooremteadur

Ioannis Andreou, magister, doktorant-nooremteadur

Arianna Sofia Jater, Kõrgharidus, projekti assistent

Eigil Fjeldgren Rischel, Magister, teaduskonsultant

Priyaa Varshinee Srinivasan, Doktor, järeldoktor

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

compositionality; open systems; applied category theory; programming languages; trustworthy software; diagrammatic reasoning; string diagrams; logic in computer science; relational methods; quantum computing

#### Inglise keeles

compositionality; open systems; applied category theory; programming languages; trustworthy software; diagrammatic reasoning; string diagrams; logic in computer science; relational methods; quantum computing

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

The group's goal is to study compositional techniques in the context of models of computation, understood broadly. Compositionality means that syntactic descriptions for (open) systems are designed to be compatible with their semantics. While the examples motivating the research come from a broad section of scientific disciplines (logic, control theory, formal language theory, control theory, business processes, game theory, economics, machine learning), we have identified common principles for reasoning about open systems, guided by category theory. These including a semantic universe based on relations rather than functions, and the use of the diagrammatic syntax of string diagrams. String diagrams provide an intuitive calculus for computations via diagrammatic reasoning, and fine-grained control over resources, which is important for faithful descriptions of open systems. Our big questions/challenges are 1) design a next generation of programming/specification languages that will be more suited for compositional (and therefore, more trustworthy and reliable) descriptions of systems, 2) use compositionality to improve the analysis of systems, including the design of new techniques and algorithms, and 3) design

and implement tools for working with string diagrams, fast-tracking the passage from theory to practice. see more <https://compose.ioc.ee/>

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

The group's goal is to study compositional techniques in the context of models of computation, understood broadly. Compositionality means that syntactic descriptions for (open) systems are designed to be compatible with their semantics. While the examples motivating the research come from a broad section of scientific disciplines (logic, control theory, formal language theory, control theory, business processes, game theory, economics, machine learning), we have identified common principles for reasoning about open systems, guided by category theory. These including a semantic universe based on relations rather than functions, and the use of the diagrammatic syntax of string diagrams. String diagrams provide an intuitive calculus for computations via diagrammatic reasoning, and fine-grained control over resources, which is important for faithful descriptions of open systems. The group's big questions/challenges are: 1) design a next generation of programming/specification languages that will be more suited for compositional (and therefore, more trustworthy and reliable) descriptions of systems, 2) use compositionality to improve the analysis of systems, including the design of new techniques and algorithms, and 3) design and implement tools for working with string diagrams, fast-tracking the passage from theory to practice.

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

TK213 Eesti Tehisintellekti Tippkeskus 2024 - 2030

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/97213ae6-cd28-4f84-84c2-ac61f7658670>

TEM-TA5 Tehisintellekt küberturbes 2024 - 2028

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/9d6ddfd9-a9ed-4deb-9207-11f2cd3e16f5>

VA24038 Stringdiagrammatiline tõenäosusloogika: spetsifikatsiooni- ja modelleerimiskeeled 2024 -

2025 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/07e0458c-ad23-424d-844f-9ea651a3c3c6>

VA24045 Multimodaalsete Petri võrkude süntaks ja semantika 2024 - 2025

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/86c93049-3481-41ac-858b-439538aefcd3>

MOB3JD1227 Konkurentse kvantprogrammeerimise alused 2024 - 2026

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/b57bb330-e001-4d2d-b839-9479dda6cdef>

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

Bonchi, Filippo; Di Giorgio, Alessandro; Haydon, Nathan; Sobocinski, Pawel (2024). Diagrammatic algebra of first order logic. Proceedings of the 39th Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS 2024). New York: ACM, Art. 16. DOI: 10.1145/3661814.3662078.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/0e9e5416-8b06-4c26-bfd5-9409e04c79e1>

Earnshaw, Matthew; Sobociński, Paweł (2022). Regular monoidal languages. 47th International Symposium on Mathematical Foundations of Computer Science, MFCS 2022, August 22-26, 2022, Vienna, Austria, proceedings. Dagstuhl Publishing, 44:1–44:14. (Leibniz International Proceedings in Informatics). DOI: 10.4230/lipics.mfcs.2022.44.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/664cfd98-d447-493c-bba4-50b0117f4d89>

Veanes, Margus; Ball, Thomas; Ebner, Gabriel; Zhuchko, Ekaterina (2025). Symbolic automata:  $\omega$ -regularity modulo theories. Proceedings of the ACM on Programming Languages, 9 (POPL) [ilummas]. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/5f9bbf72-8a1d-45e2-bd2d-fe4d04c7a536>

Zhuchko, Ekaterina; Veanes, Margus; Ebner, Gabriel (2024). Lean formalization of extended regular expression matching with lookarounds. CPP '24 : Proceedings of the 13th ACM SIGPLAN International Conference on Certified Programs and Proofs, January 15-16, 2024, London, UK. Ed. Timany, A.; Traytel, D.; Pientka, B.; Blazy, S. New York: ACM, 118–131. DOI: 10.1145/3636501.3636959. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/2199abb6-ccdf-49cc-9c9a-e3156eafc04c>

Earnshaw, Matt; Hefford, James; Román, Mario (2024). The produoidal algebra of process decomposition. 32nd EACSL Annual Conference on Computer Science Logic, CSL 2024, February 19–23, 2024, Naples, Italy. Ed. Murano, Aniello; Silva, Alexandra. Saarbrücken/Wadern: Schloss Dagstuhl, 25:1–25:19. (Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs); 288). DOI: 10.4230/LIPIcs.CSL.2024.25. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/d4c81218-2ba3-4e27-8bdf-551b619de0c2>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### Eesti keeles

### Inglise keeles

Sobocinski published a paper at the flagship A\* conference LiCS 2024. Zhuchko published a paper at the flagship A\* conference PoPL 2025. Hadzihasanovic completed a 337pg book available at <https://arxiv.org/abs/2404.07273>

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

### Eesti keeles

Sobocinski ja Hadzihasanovic on juhtivteadurid kahes eraldi projektis, mida rahastab Arenenud Teadusuuringute ja Leiutiste Agentuur (ARIA UK), töötades projekti „Safeguarding AI“ kallal, mille raames arendatakse spetsifikatsioonikeeli, et tagada transformeerivate tehisintellekti rakenduste turvalisus.

### **Inglise keeles**

Sobocinski and Hadzihasanovic are PIs in two separate projects funded by the Advanced Research and Invention Agency (ARIA UK), working on the project Safeguarding AI, developing specification languages to ensure the safety of transformative AI applications.

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

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

Members of the group (Nester and Sobocinski) are working with Cybernetica on the modelling of cryptographic protocols as part of the CHER project.

Sobocinski is involved in the new Artificial Intelligence in Cybersecurity project.

### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöös**

#### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

The group is represented in Horizon consortium CHER, with the involvement of Cybernetica and Guardtime.

### **Täiendav info:**

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

- 2. Usaldusväärsed IT lahendused
- 

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

Frascati Manuaali teadusvaldkonnad:

1.2 Arvutiteadus ja informaatika

1.1 Matemaatika

CERCSi teaduserialad:

P170 Arvutiteadus, arvutusmeetodid, süsteemid, juhtimine (automaatjuhtimistooria)

P110 Matemaatiline loogika, hulgateooria, kombinatoorika

P175 Informaatika, süsteemiteooria

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

Hinnang seisundile:

Seisundi selgitus:

N/A

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

Sobocinski chaired the Polish NCN (National Science Center) Computer Science Panel, Autumn 2024

Sobocinski continues to be a member of IFIP WG1.3 and IFIP WG2.2. Sobocinski organise the meeting of IFIP WG2.2 in Tallinn at Õpetajate Maja on July 3-5 2024.

Sobocinski is associate editor of Compositionality, Mathematical Structures in Computer Science and Logical Methods in Computer Science journals. The group organised the LiCS/ICALP/FSCD conference in Tallinn in July 2024, with ~500 participants from all over the world



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

#### **Välispartnerid:**

- University of Pisa, Italy, Department of Computer Science, (Filippo Bonchi)
- Masaryk University, Czechia, Department of Computer Science, (Antonin Kucera, CHES project)
- Quantinuum Ltd, UK (Hadzihasanovic consultant); Planting Space, Switzerland (Loregian consultant)

#### **Eesti partnerid:**

- Tartu Ülikool, EXAI Estonian Center of Excellence in Artificial Intelligence, Meelis Kull
- Cybernetica AS, Niels Voorneveld (CHES project)
- 

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

SOBOCINSKI PRESENTED AT THE 2024 TALTECH INNOVATION FESTIVAL.

SOBOCINSKI WAS A PANELIST AT THE LATITUDE 59 EVENT, 2024.

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

#### **Rahvusvahelised:**

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

Hadzihasanovic is a consultant for Quantinum in the area of quantum computing.

Loregian is a consultant for Planting Space in the area of category theory and compositional modelling.

**Uurimisrühma veebilehe aadress**

**Eesti keeles**

<https://compose.ioc.ee/>

**Inglise keeles**

## 4 Äriinfotehnoloogia töörühm

### Uurimisrühma juht

Gunnar Piho, vanemlektor, [gunnar.piho@taltech.ee](mailto:gunnar.piho@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Gunnar Piho, Doktor, vanemlektor  
Viljam Puusep, Magister, lektor  
Kristiina Hiie, Magister, lektor  
Liisa Jõgiste, Magister, lektor  
Inna Švartsman, Magister, lektor  
Tarvo Treier, Magister, lektor  
Kristina Murtazin, Magister, lektor  
Oleg Shvets, Kõrgharidus, lektor  
Erki Eessaar, Doktor, dotsent  
Karl-Erik Karu, Kõrgharidus, lektor  
Jelena Vendelin, Teaduste kandidaat, lektor  
Zhe Deng, Magister, doktorant-nooremteadur  
Ants Torim, Doktor, lektor  
Ahti Lohk, Doktor, lektor  
Epp Immato, Kõrgharidus, lektor  
Heiko Vainsalu, Magister, lektor  
Igor Bossenko, Teadusmagister, doktorant-nooremteadur  
Indrek Hiie, Kõrgharidus, lektor  
Kristian Juha Ismo Kankainen, Magister, doktorant-nooremteadur  
Marten Kask, Magister, doktorant-nooremteadur  
Olga Vovk, Magister, doktorant-nooremteadur  
, Kõrgharidus, keeleteimetaja  
, Magister, lektor  
Toomas Klementi, Kõrgharidus, doktorant-nooremteadur

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

professionaalne tarkvara; töökindlad; koostalitlusvõimelised ja evolutsiooniliselt muudetavad ettevõtterakendused; äritarkvara; tuleviku spetsialistid; erialane haridus

#### Inglise keeles

professional applications; dependable; interoperable and evolutionarily changeable enterprise applications; business software; future professionals; professional education

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Äriinfotehnoloogia rühma põhitegevuseks on äriinfotehnoloogia lahenduste arendamine ja analüüsimine, usaldusväärsete, koostoimivate ja arenevate rakenduste teooriad ja praktilised lahendused, tulevikuspetsialistide hariduse tõstmine. Uurimisrühm alustas tegevust 2020 teises pooles. Rühma peamiseks uurimisvaldkonnaks on ettevõtte infosüsteemide kavandamise, arendamise ja ülalhoiuga seonduvad meetodikad, tööriistad, mudelid ja paremad praktikad. Praegu keskendutakse eelkõige haridus- ja tervishoiuvaldkonna infosüsteemides

kasutatavatele mudelitele, nende mudelite valideerimisele ja nende mudelite kasutamise metoodikatele.

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

The research of the Business Information Technology Group is focused on a theory and practice of dependable, interoperable and evolutionarily changeable enterprise applications and on the education of a future specialists in the field.

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

PRG2629 Düsliptideemia patsientide ravisoostumus ja ravi efektiivsus ning ravi tulemustele orienteeritud uudne patsiendi digitaalne tugirakendus 2025 - 2029

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/575c079c-1ced-4a54-8cba-6ea64c042504>

TEM-TA105 Terve Ühiskonna Digiterivishoid 2024 - 2028

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/8ad3d5f4-2390-4ce6-b37b-4e9cd819ea64>

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

Klementi, Toomas; Piho, Gunnar; Ross, Peeter (2024). A reference architecture for personal health data spaces using decentralized content-addressable storage networks. *Frontiers in Medicine*, 11, Art. no. 1411013; 22 pp. DOI: 10.3389/fmed.2024.1411013.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/4140c51c-4a8b-4c68-ae9c-90162a0ffae5>

Treier, Tarvo; Düüna, Kristjan (2024). Identifying and solving a vulnerability in the Estonian internet voting process: subverting ballot integrity without detection. *IEEE Access*, 12, 197766–197782. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3521337. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/128d2bb1-fae3-4247-ac55-01be250e9a82>

Bossenko, Igor; Piho, Gunnar; Ivanova, Marina; Ross, Peeter (2024). TermX: The semantic interoperability, knowledge management and sharing platform. *SoftwareX*, 27, Art. no. 101839; 7 pp. DOI: 10.1016/j.softx.2024.101839. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/10d2d5e3-da9e-4baa-a9c7-318706c9c2ec>

Bossenko, Igor; Randmaa, Rainer; Piho, Gunnar; Ross, Peeter (2024). Interoperability of health data using FHIR Mapping Language: transforming HL7 CDA to FHIR with reusable visual components. *Frontiers in Digital Health*, 6, Art. no. 1480600; 25 pp. DOI: 10.3389/fdgth.2024.1480600. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/8c3032dc-1115-42a8-8cd9-0198baee1685>

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

### **Eesti keeles**

Äriinfotehnoloogia grupil oli 2024 edukas aasta. Doktorant Igor Bossenko esitas doktoritöö, doktorant Toomas Klement esitas patenditaotluse ning grupi liikmed publitseerisid mitmeid artikleid tugevates ajakirjades. Näiteks Klementi, Piho ja Ross avaldasid artikli ajakirjas *Frontiers in Medicine*; Treier ja Düüna ajakirjas *IEEE Access*; ning Bossenko ja teised

ajakirjades SoftwareX ning Frontiers in Digital Health. Lisaks teaduslikele publikatsioonidele publitseeris Epp Immato raamatu „IT-projektid äriarenduses”, mis võtab kokku umbes kümne aasta õpetamiskogemused äriIT magistrikaval ja on edaspidi kasutatav nii õpikuna üliõpilastele kui ka lugemiseks valdkonna spetsialistidele.

Grupp osales aktiivselt ka EFMI (Euroopa Meditsiiniinformaatika Föderatsiooni) tegevustes, eesmärgiga luua institutsionaalseid kontakte ja tuua Tallinna MIE (Medical Informatics Europe) 2027 konverents. Lisaks osaleti kahe eduka teadusprojekti rahastustaotluse kirjutamisel: terve ühiskonna digitervishoid ning digitaalse tugirakenduse mõju düslepideemia ravisoostumusele. Samuti said rahastust kaks AIRE projekti: tehisintellektil põhineva tarkvararoboti prototüübi loomine koostöös Aktaprint OÜ-ga ja meditsiinilise loomuliku keele struktureerimise tarkvararoboti loomine koostöös SmartEHR Technologies OÜ-ga.

### **Inglise keeles**

The Business Information Technology group had a successful year in 2024. Doctoral candidate Igor Bossenko submitted his doctoral thesis, doctoral candidate Toomas Klement filed a patent application, and group members published several papers in prestigious journals. For example, Klementi et al published a paper in Frontiers in Medicine; Treier and Düüna in IEEE Access; and Bossenko et al in SoftwareX and Frontiers in Digital Health. In addition to scientific papers, Epp Immato published the book "IT-projektid äriarenduses" (IT-projects to support business), which compiles approximately ten years of teaching experience in the Business Information Technology master's programme and will be used in the future both as a textbook for students and for reading by domain experts.

The group was also actively involved in the activities of EFMI (European Federation for Medical Informatics), aiming to establish institutional contacts and to bring the MIE (Medical Informatics Europe) 2027 conference to Tallinn. Additionally, the group participated in writing two successful project proposals: digital health for a healthy society and the impact of digital support applications on the treatment of dyslipidemia. Furthermore, two AIRE projects received funding: the development of a prototype for an AI-based software robot for the automatic modelling, planning, and optimisation of manufacturing processes in collaboration with Aktaprint OÜ, and the creation of a medical natural language processing software robot in collaboration with SmartEHR Technologies OÜ.

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

### **Eesti keeles**

Üliõpilaste koolitamise ning uurimistöö, arendustegevuse ja konsultatsiooniga ettevõtte infosüsteemide ja meditsiini- ja terviseinformaatika vallas panustab grupp Eesti majanduse jätkusuutlikku tulevikku.

### **Inglise keeles**

The group contributes to the sustainable future of the Estonian economy through training students and engaging in research, development activities, and consulting in the field of enterprise information systems and medical and health informatics.

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

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

Kaks AIRE projekti said rahastuse:

Demoprojekt "Tehisintellektil põhineva, tootmisprotsesside automaatse modelleerimise, planeerimise ja optimeerimise tarkvararoboti prototüübi loomine ja valideerimine Aktaprint OÜs", ETIS

[<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/b362fa53-3211-47a1-86eb-c95c8b445a2d>]

SmartEHR Technologies OÜ, põhitõitja Ahti Lohk

Erinevate ettevõtete reaalsetel projektidel põhinevate bakalaureuse ja magistritööde juhendamine.

#### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöös**

Ettevõtte infosüsteemidega ja andmetega (sealhulgas meditsiiniinfosüsteemid ja andmed) seonduv kompetents: andmeanalüüs, infosüsteemide kavandamine; andmemudelid; eksperthinnangud; koolitus; konsultatsioonid.

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Teemad üliõpilaste bakalaureuse ja magistritööde ning meeskondlike projektide jaoks (rohkem infot [kristina.murtazin@taltech.ee](mailto:kristina.murtazin@taltech.ee)).

Kõikvõimalikud ühised projektid ja projektitaotlused (RUP, Horizon, EIC, EIT, ...) meditsiini- ja terviseinformaatika ning ettevõtete digitaliseerimise, andmete ja infosüsteemide teemadel ([gunnar.piho@taltech.ee](mailto:gunnar.piho@taltech.ee)).

Kõikvõimalikud meditsiini- ja terviseinformaatika ning ettevõtete digitaliseerimise, andmete ja infosüsteemidega seonduvad reaalsed teemad tööstusdoktorantidele ([gunnar.piho@taltech.ee](mailto:gunnar.piho@taltech.ee) [<mailto:gunnar.piho@taltech.ee>]).

### Täiendav info:

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

- 2. Usaldusväärsed IT lahendused
- 

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

Frascati Manuali teadusvaldkonnad:

- 1.2 Arvutiteadus ja informaatika
- 5.3 Haridusteadused

CERCSi teaduserialad:

- P175 Informaatika, süsteemiteooria
- S270 Pedagoogika ja didaktika
- P170 Arvutiteadus, arvutusmeetodid, süsteemid, juhtimine (automaatjuhtimisteooria)

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

Hinnang seisundile:

Seisundi selgitus:

Grupil on piisav võimekus ja kompetents kõikvõimalike testkeskkondade seadistamiseks nii ülikooli serverites kui ka pilves.

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

Aktiivne tegevus EFMI suunal (EFMI – European Federation for Medical Informatics  
[<https://efmi.org/>])

Vaata siit: Institutional Members – EFMI

[<https://efmi.org/institutional-members-2/>]

Eesmärgiga tuua MIE (<https://mie2025.efmi.org/>) 2027 Tallinna (taotlus on edastatud).

Grupp osaleb Q1 ajakirja eriväljaande (Pushing Boundaries in EHR Implementation and Innovation through Advanced Digital Health

Technologies, <https://www.frontiersin.org/research-topics/68331/pushing-boundaries-in-ehr-implementation-and-innovation-through-advanced-digital-health-technologies>) toimetamisel.

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

- VU Amsterdam, Prof. Dr. Martijn Meeter
- Western Norway University of Applied Science, Department of Computing, Mathematics, and Physics, Prof. Dr. Yngve Lamo
- University of Lübeck, Institute for Software Engineering and Programming Languages, Prof. Dr. Martin Leucker; Business Information Technology, Ansbach University of Applied Sciences, Prof. Dr. Wolf Knüpffer

### **Eesti partnerid:**

- SmartEhr Technologies OÜ, AktaprintOÜ
- AS Medisoft (koostöö meditsiinitarkvaraga tegeleva ettevõttega)
- Eesti Energia; Telia (üliõpilaste lõputööde ja projektide juhendamine)

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

<https://trialoog.taltech.ee/terviseandmete-tagasitee-kui-tervishoiu-edasitee/>

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

### **Rahvusvahelised:**



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

Gunnar Piho, AS Medisoft nõukogu liige

**Uurimisrühma veebilehe aadress**

**Eesti keeles**

<https://taltech.ee/et/tarkvarateaduse-instituut/koostoo/ariinfotehnoloogia-tooruhm>

**Inglise keeles**

<https://taltech.ee/et/tarkvarateaduse-instituut/koostoo/ariinfotehnoloogia-tooruhm>

## 5 Küberkriminalistika ja küberjulgeoleku keskus

### Uurimisrühma juht

Rain Ottis, kaasprofessor tenuuris, [rain.ottis@taltech.ee](mailto:rain.ottis@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Olaf Manuel Maennel, Doktor, kaasatud professor  
Rain Ottis, Doktor, kaasprofessor tenuuris  
Ahto Buldas, Doktor, täisprofessor tenuuris  
Hayretdin Bahsi, Doktor, sihtrahastusega professor  
Stefan Sütterlin, Doktor, kaasatud professor  
Matthew James Sorell, Doktor, kaasatud professor  
Adrian Nicholas Venables, Doktor, vanemlektor  
Risto Vaarandi, Doktor, kaasprofessor tenuuris  
Toomas Lepik, Teadusmagister, küberturbe analüütik  
Pavel Tšikul, Magister, doktorant-nooremteadur  
Dan Heering, Magister, doktorant-nooremteadur  
Andrew James Roberts, Magister, doktorant-nooremteadur  
Seyed Mohammad Hadi Mirsadeghi, Magister, doktorant-nooremteadur  
Sten Mäses, Doktor, teadur  
Eneken Tikk, Doktor, vanemteadur  
Shaymaa Mamdouh Mohammed Radwan Khalil, Magister, doktorant-nooremteadur  
Jaan Priisalu, Teadusmagister, analüütik  
Tiia Sõmer, Doktor, teadur  
Marko Arik, Magister, tööstusdoktorant  
Kaur Kullman, Magister, tööstusdoktorant  
Sille Laks, Magister, tööstusdoktorant  
Nikita Snetkov, Magister, tööstusdoktorant  
Gabor Visky, Magister, tööstusdoktorant  
Muaan Ur Rehman, Magister, doktorant-nooremteadur  
Valerii Gakh, , doktorant-nooremteadur  
Vladimir Rostok, Magister, doktorant-nooremteadur

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

küberkaitse; digitaalne ekspertiis; krüptograafia

#### Inglise keeles

cyber security; digital forensics; cryptography

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

TalTechi küberkriminalistika ja küberjulgeoleku keskus on multidistsiplinaarne ja mitmekülgne uurimisrühm. Rühma tegevus hõlmab võrguturbe, digitaalse ekspertiisi, küberoperatsioonide, krüptograafia, küberturbealase hariduse ja inimaspektide, küberjulgeoleku õiguslike aspektide ja merenduse küberjulgeoleku uurimisvaldkondi. TalTech küberkriminalistika ja küberjulgeoleku keskuse eesmärk on Eesti küberjulgeoleku kompetentsi ja võimekuse tõstmine haridus-, teadus- ja arendustegevuse abil. Keskuse peamised uurimissuunad on: elutähtsa infotaristu

kaitse (fookusega e-valitsemise ja transpordisektoritel), krüptograafia, võrgumonitoring, digitaalne ekspertiis, haridusteadus ning küberjulgeoleku strateegilised küsimused. Olulisematest teadustulemustest võib välja tuua professor Buldase plokiahela teemalist uurimistööd koostöös ettevõttega Guardtime, millest on avaldatud kõrgetasemelisi publikatsioone. vt ka <https://taltech.ee/en/centre-for-digital-forensics-cyber-security>

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

The Centre for Digital Forensics and Cyber Security is a multi-disciplinary and diverse research group. The Centre works towards enhancing the competence and ability of Estonian computer security field through education, research and development. The Centre's research covers areas in network security, digital forensics, cyber operations, cryptography, cybersecurity education & human aspects, legal aspects of cyber security and maritime cybersecurity. A number of large-scale projects are ongoing, including cooperation on the creation of a European network of Cybersecurity centres and competence Hub for innovation and Operations (ECHO), which delivers an organized and coordinated approach to improve proactive cyber defence of the European Union, through effective and efficient multi-sector collaboration; and the MariCybERA project, which will lead to establishing new multidisciplinary Centre for Maritime Cyber Security at TalTech:

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

TK213 Eesti Tehisintellekti Tippkeskus 2024 - 2030

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/97213ae6-cd28-4f84-84c2-ac61f7658670>

VFP20050 ERA Chair in Maritime Cyber Security at Tallinn University of Technology - MariCybERA

2021 - 2025 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/820aea14-b251-47bf-b3e6-ffd1e1e48c62>

TEM-TA5 Tehisintellekt küberturbes 2024 - 2028

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/9d6ddfd9-a9ed-4deb-9207-11f2cd3e16f5>

LITEE20113 Õngitsusrünnete vastupanuvõime suurendamine Smart-ID teenuses 2020 - 2021

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/0904bae5-00ec-4868-9b79-173ff2eee606>

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

Vaarandi, Risto; Guerra-Manzanares, Alejandro (2024). Stream clustering guided supervised learning for classifying NIDS alerts. Future Generation Computer Systems, 155, 231–244. DOI:

10.1016/j.future.2024.01.032. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/73d80b48-7df6-478b-bb2e-7ab44c446061>

Khalil, Shaymaa Mamdouh; Bahsi, Hayretadin; Dola, Henry Ochieng'; Korotko, Tarmo; McLaughlin, Kieran; Kotkas, Vahur (2023). Threat modeling of cyber-physical systems - A case study of a microgrid system. Computers & Security, 124, ARTN 102950–16 pp. DOI:

10.1016/j.cose.2022.102950. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/7e2e6350-1d03-4fea-b3b1-da4cc7ec0422>

Vaarandi, Risto; Guerra-Manzanares, Alejandro (2024). Network IDS alert classification with active learning techniques. Journal of Information Security and Applications, 81, Art 103687–14 pp. DOI: 10.1016/j.jisa.2023.103687. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/869fcd30-3db1-4cce-a5ed-1238f91ece79>

Kalakoti, Rajesh; Bahsi, Hayretadin; Nömm, Sven (2024). Improving IoT security with explainable AI: quantitative evaluation of explainability for IoT botnet detection. IEEE Internet of Things Journal, 11 (10), 18237–18254. DOI: 10.1109/JIOT.2024.3360626. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/a0842753-e267-435b-8f51-c02dc2e58e36>

Buldas, Ahto; Draheim, Dirk; Gault, Mike; Laanoja, Risto; Nagumo, Takehiko; Saarepera, Märt; Shah, Syed Attique; Simm, Joosep; Steiner, Jamie; Tammet, Tanel; Truu, Ahto (2022). An ultra-scalable blockchain platform for universal asset tokenization: design and implementation. IEEE Access, 10, 77284–77322. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3192837. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/808abf56-e65c-455a-aa44-c2b5d9190b5f>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### Eesti keeles

Üheks 2024.aasta tulemuseks on turvaoperatsioonide keskuseid puudutav uurimistöö, mille fookuses on ründetuvastussüsteemide alarmide automatiseeritud klassifitseerimine pooljuhendatud masinõppe meetodite abil. Selle töö ühe osana oleme uurinud meetodeid juhendamata masinõppe kombineerimiseks juhendatud masinõppe mudelitega, mida on treenitud väikestel märgendatud andmekogudel. Samuti oleme uurinud aktiivõppe meetodeid, mis võimaldavad juhendatud masinõppe kasutamist vähesel märgendamisalase tööga.

Laiendasime oma uurimistööd suurte keelemudelite (LLM) rakendamisega erinevatele küberturbeprobleemidele, nagu turvalogi analüüs ja tarkvara haavatavuse tuvastamine. Oleme teinud olulisi edusamme seletatava tehisintellekti valdkonnas ja avaldanud oma uurimistulemused seletatava AI rakendamise kohta võrku sissetungi tuvastamisel. Viimase aasta jooksul saavutasime oma esialgsed tulemused masinõppe ja LLM-põhiste süsteemide turvalise arendamise alal.

### Inglise keeles

One of the research achievements of 2024 is the research on using semi-supervised machine learning methods for automated classification of network IDS alerts in SOC (Security Operations Center) environments. In particular, we have studied methods for combining unsupervised machine learning methods with supervised classifiers trained on small labeled data sets. In addition, we have also studied active learning which allows to train supervised classifiers with greatly reduced labeling effort from human analysts.

We expanded our research with the application of LLMs to various cyber security problems such as security log analysis and software vulnerability detection. We

have made significant progress on the explainable AI front and published our research findings regarding applying explainable AI to network intrusion detection in various papers. Over the past year, we achieved our initial outcomes in the secure development of machine learning and LLM-based systems.

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

### Eesti keeles

Keskuse esindajad võtavad osa MKM riikliku küberturvalisuse poliitika nõukoja ning Eesti Infotehnoloogia ja Telekommunikatsiooni Liidu (ITL) infoturbe toimkonna tööst.

### Inglise keeles

Members of the research group participate in Ministry of Economic Affairs and Communication council on cyber security policy and in Estonian Information Technology and Telecommunications Union (ITL) work.

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

### Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas

Professor Buldase uurimistöö on leidnud rakendust nii Eesti riigi kui ka ettevõtete lahendustes. Esile võib tuua näiteks Guardtime plokiahela põhiseid teenuseid ning SK ID Solutions poolt pakutavat Smart-ID teenust.

Professor Ottise juhtimisel on viidud läbi mitmeid küberturbe kriisiõppuseid Eesti ettevõtetele ning asutustele.

### Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostööks

Küberturbe alane konsultatsioon, rakendusuringud ja koolitus

**Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Toetada ettevõtteid uute küberturbe valdkonna toodete ja teenuste arendamisel ning töötajate küberturbe teadmiste ja teadlikkuse tõstmisel.

**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:

- 1.2 Arvutiteadus ja informaatika
- 5.3 Haridusteadused

CERCSi teaduserialad:

- P175 Informaatika, süsteemiteooria
- P170 Arvutiteadus, arvutusmeetodid, süsteemid, juhtimine (automaatjuhtimisteooria)
- T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia

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

Hinnang seisundile:

Seisundi selgitus:

Oleme loonud mitu küberturbe andmekogu ning töö selles valdkonnas jätkub.

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

Keskuse teadlased on mitmete erialaste ajakirjade ja konverentside programmkomiteede liikmed.

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

### **Välispartnerid:**

- Adelaide Ülikool, elektri ja elektroonika instituut, Austraalia
- NTNU, infoturbe ja kommunikatsiooni instituut, Norra
- Masaryki Ülikool, arvutiteaduse instituut, Tšehhi

### **Eesti partnerid:**

- Tartu Ülikool, arvutiteaduse instituut
- AS Cybernetica
- NATO CCDCOE

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

Keskuse teadlased ja õppejõud on andnud intervjuusid ja kommentaare oma valdkonna kohta. Nt. TEM-TA5 projekti tutvustamine Eesti meediale, intervjuu Jaapani telekanali NHK dokumentaalsaatele ning intervjuu KuKu raadiole.

Lisaks on keskuse teadlased esinenud mitteakadeemilistel konverentsidel, seminaridel ja töötubades. Nt. Advanced Cybersecurity Exploration Conference (Taiwan), Riia Cyber Bazaar, Tallinn Cyber Diplomacy suvekool, rahvusvaheline reservohvitseride konverents, RIA CyberMeetup, ESTMILTECH konverents, CyCon2024 ja STRATCOM Dialogue.

Keskus korraldab regulaarselt küberturbe suve- ja talvekoole.

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

### **Riiklikud:**

### **Rahvusvahelised:**

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

Keskuse esindajad võtavad osa MKM riikliku küberturvalisuse poliitika nõukoja ning Eesti Infotehnoloogia ja Telekommunikatsiooni Liidu (ITL) infoturbe toimkonna tööst.

Uurimisrühma veebilehe aadress

**Eesti keeles**

<https://taltech.ee/en/centre-for-digital-forensics-cyber-security>

**Inglise keeles**



## 6 Tugevalt tagatud tarkvara laboratoorium

### Uurimisrühma juht

Tarmo Uustalu, juhtivteadur, [tarmo.uustalu@taltech.ee](mailto:tarmo.uustalu@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Tarmo Uustalu, Doktor, juhtivteadur  
Jüri Vain, Teaduste kandidaat, kaasprofessor teneuris  
Juhan-Peep Ernits, Doktor, arendusjuht  
Evelin Halling, Doktor, vanemlektor  
Leonidas Tsiopoulos, Doktor, sihtrahastusega vanemteadur  
Silvio Capobianco, Doktor, vanemteadur  
Hellis Tamm, Doktor, vanemteadur  
Sven Nõmm, Doktor, kaasprofessor teneuris  
Niccolò Veltri, Doktor, nooremprofessor  
Denis Firsov, Doktor, teadur  
Gert Kanter, Doktor, vanemlektor  
Elli Valla, Magister, doktorant-nooremteadur  
Hendrik Maarand, Doktor, teadur  
Cheng-Syuan Wan, Magister, doktorant-nooremteadur  
Martin Simon, Magister, doktorant-nooremteadur  
Rajesh Kalakoti, Magister, doktorant-nooremteadur  
Michele De Pascalis, Magister, doktorant-nooremteadur  
Philipp Joram, Magister, doktorant-nooremteadur  
Exequiel Matias Rivas Gadda, Doktor, vanemteadur  
Ian Erik Varatalu, Magister, doktorant-nooremteadur  
Norman Kuusik, Magister, noorem tarkvaraarendaja  
Aboubaker Seddiq Benterki, Magister, doktorant-nooremteadur  
Andrea Laretto, Magister, doktorant-nooremteadur  
Nathanael Arkor, doktor, järeldoktor-teadur  
Ioannis Andreou, magister, doktorant-nooremteadur  
Bryce Clarke, Doktor, järeldoktor-teadur  
Jaak Kütt, Kõrgharidus, tarkvaraarendaja  
Lulof Ludovicus Pirée, Magister, doktorant-nooremteadur  
Mihhail Daniljuk, Magister, doktorant-nooremteadur

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

funktsionaalne ja sõltuvalt tüübitud programmeerimine; tarkvara verifitseerimine ja testimine; formaliseeritud programmeerimisteooria

#### Inglise keeles

functional and dependently-typed programming; software verification and testing; formalized programming theory

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Labor on moodustatud loogika ja semantika ning formaalmeetodide rühmadest (juhid T. Uustalu ja J. Vain), uurib tugevalt tagatud tarkvara arendamise teooriaid, meetodeid ja tööriistu,

spetsialiseerudes nii tõestustele (sertifitseeritud tarkvara) kui ka testimisele. Viimastel aastatel on eraldi uurimisvaldkonnaks kujunenud rakenduslik masinõpe (juht S. Nõmm).

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

Built of the logic and semantics and the formal methods groups (led by T. Uustalu and J. Vain), the lab conducts research into theories, methods and tools for developing high-assurance software, specializing on both proofs (certified software) and testing. In recent years, applied machine learning became a distinct research area of the lab (led by S. Nõmm).

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

PSG749 Saavutatavate funktorite terminaalsed koalgebrad tüübiteoorias 2022 - 2025  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/5629156c-7f1e-4f4c-a7e9-11024faa79fb>

PRG2100 Interpreteeritava tehisintellekti põhine peen- ja jämemotoorika testide analüüs inimese mootorsete ja kognitiivsete funktsioonide hindamiseks 2024 - 2028  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/0fcfd090-5e3e-4ea3-92fe-5d691c857f0c>

PRG1210 Automaadid: õppimine, interaktsioon ja konkurentsus (ALICE) 2021 - 2025  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/1cd198f1-5c1d-4fab-9ffc-f499f3c62699>

VEU23081 Kosmosepõhise ISR (luure-, seire- ja jälgimis) võimekuse loomine Euroopa kaitse tudevdamiseks 2023 - 2026 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/191ae8f3-5afe-4e07-9303-063efa2f7f18>

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

Arkor, Nathanael; McDermott, Dylan (2024). The formal theory of relative monads. Journal of Pure and Applied Algebra, 228 (9), Art. no. 107676; 107 pp. DOI: 10.1016/j.jpaa.2024.107676.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/93491a52-9ed0-4831-84d3-9bdfd27d342b>

Rivas, Exequiel; Uustalu, Tarmo (2024). Concurrent monads for shared state. Proceedings of the 26th International Symposium on Principles and Practice of Declarative Programming (PPDP '24), 10-11 September 2024, Milan, Italy. Ed. Bruni, Alessandro; Momigliano, Alberto; Pradella, Matteo; Rossi, Matteo. New York: ACM Press, art. 19; 13 pp. (ACM International Conference Proceeding Series). DOI: 10.1145/3678232.3678249 . <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/9466cea5-1d35-4cfe-b97d-c6a0d0fe6423>

Annus, Tavo; Joram, Philipp (2024). Term search in Rust. Proceedings of the 9th ACM SIGPLAN International Workshop on Type-Driven Development (TyDe '24), September 6, 2024, Milan, Italy. New York: ACM, 62–73. DOI: 10.1145/3678000.3678210.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/4032f252-d583-4f6b-9656-ff6610a90d24>

Wang, Xuechao; Huang, Junqing; Chatzakou, Marianna; Medijainen, Kadri; Toomela, Aaro; Nõmm, Sven; Ruzhansky, Michael (2024). LSTM-CNN: An efficient diagnostic network for Parkinson's disease utilizing dynamic handwriting analysis. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 247, Art.

108066; 9 pp. DOI: 10.1016/j.cmpb.2024.108066.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/da51f85b-23b3-478b-8774-483a83ac837c>

Kalakoti, Rajesh; Bahsi, Hayretдин; Nõmm, Sven (2024). Improving IoT security with explainable AI: quantitative evaluation of explainability for IoT botnet detection. IEEE Internet of Things Journal, 11 (10), 18237–18254. DOI: 10.1109/JIOT.2024.3360626.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/a0842753-e267-435b-8f51-c02dc2e58e36>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### Eesti keeles

N. Arkor koos D. McDermottiga töötasid välja relatiivsete monaadide formaalse teooria. E. Rivas ja T. Uustalu töötasid välja konkurentsete monaadide teooria; need on monaadide spetsialisatsioon, mis aksiomatiseerivad arvutuste rööpkompositsiooni samadel alustel jadakompositsiooniga. Oma magistritöös arendas T. Annus koos juhendaja P. Joramiga välja tüübipõhise termiotsimise algoritmi programmeerimiskeelele Rust; see funktsionaalsus kaasati Rusti standardtoe hulka.

S. Nõmm koos A. Toomela ja K. Medijaineniga arendasid välja Parkinsoni tõve diagnoosija käekirja analüüsi põhjal. R. Kalakoti ja S. Nõmm koos H. Bahsiga hindasid asjade interneti botnettide avastamise tehisarude seletavust.

### Inglise keeles

N. Arkor with D. McDermott developed a formal version of the theory of relative monads. E. Rivas and T. Uustalu developed a theory of concurrent monads; those are a specialization of monads that axiomatize parallel composition of computations on par with sequential composition. In his MSc thesis work T. Annus with his supervisor P. Joram developed a type-based term search algorithm for the Rust programming language. This functionality was included into its standard support environment.

S. Nõmm with A. Toomela and K. Medijainen developed a diagnosis method for Parkinson's disease based on handwriting analysis. R. Kalakoti and S. Nõmm with H. Bahsi evaluated the explainability of internet-of-things botnet detection AI.

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

### Eesti keeles

### Inglise keeles

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

### Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas

T. Annuse ja P. Jorami tüübipõhine termiotsija kaasati Rust-keele ametlikku keeleserverisse rust-analyzer.

I. E. Varatalu regulaaravaldiste sobitaja RE# elemendid integreeriti Microsofti .NET platvormi.

### Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostööks

Algoritmide ja protokollide verifitseerimismeetodite valik ja rakendamine, krüpto alal, autonoomsete ja ajakriitiliste süsteemide alal;

masinõppe meetodite valik ja rakendamine, eriti inim-masinsüsteemide ja meditsiini alal.

### Ettevõtluskoostöö eesmärk

### Täiendav info:

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

- 2. Usaldusväärsed IT lahendused
- 4. Innovaatilised ettevõtted ja tulevikku vaatav riigivalitsemine

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

Frascati Manuali teadusvaldkonnad:

1.2 Arvutiteadus ja informaatika

CERCSi teaduserialad:

P110 Matemaatiline loogika, hulgateooria, kombinatoorika

P170 Arvutiteadus, arvutusmeetodid, süsteemid, juhtimine (automaatjuhtimisteooria)

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

Hinnang seisundile:

Seisundi selgitus:

Taristu koosneb peale tavapärase arvutipargi robotikaseadmetest, samuti on meile oluline instituudi raamatukogu teaduskirjanduse kogu.

Inimeste peenmotoorika uurimiseks on labori teadlaste kasutuses 3 andmekogu (erinevate testide tulemused, anonümiseeritud).

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

T. Uustalu osales IFIPi töörühma WG 2.1 (Algorithmic Languages and Calculi) tegevustes, töötas konverentside ja töötubade sarjade FICS, ICTAC, MSFP, MPC juhttoimkondades, konverentside ja töötubade CMCS '24, TyDe '24, ICTAC '24 programmitoimkondades. Ta on 2025 Reykjavíkis toimuva konverentsi FroCoS/ITP/TABLEAUX '25 korraldustoimkonna esimees ja juhib ka konverentsi TABLEAUX '25 programmitoimkonda.

S. Capobianco osales konverentsi ALIFE '24 programmitoimkonnas.

N. Veltri töötas konverentsisarja PPDP juhttoimkonnas, juhtis Tallinnas toimunud konverentsi FSCD '24 korraldamist.

B. Clarke osales konverentsi ACT '24 programmitoimkonnas, korraldas virtuaalse töötoa 2nd Virtual Workshop on Double Categories (2024), toimetab ajakirja Appl. Categ. Struct. eriväljaannet Robert Paré 80. juubeliks.

J. Vain töötas töötoa ITEQS '24 programmitoimkonnas.

S. Nõmm on IFACi rahvusliku komitee kontaktisik ja TC 4.1 (Human-Machine Systems) liige. Töötas konverentsi IEEE CSR '24 programmitoimkonnas. AI. 5.2024 on ta TTÜ AI fookustippkeskuse juht.

G. Kanter osaleb konverentsi ECSEE '25 programmitoimkonnas.

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

- Åbo Akademi, infotehnoloogia osakond
- Reykjavíki Ülikool, arvutiteaduse osakond
- Minho Ülikool, matemaatikaosakond; Ghenti ülikooli analüüsi ja PDEde keskus

**Eesti partnerid:**

- Tartu Ülikool, arvutiteaduse instituut
- Cybernetica AS, infoturbe instituut
- TLÜ loodus- ja tervisteaduste instituut

**Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

S. Nõmm avaldas kaks artiklit portaalides Digigeenius ja Trialoog.

G. Kanter osales Robotexi TalTech AI võistluse žüriis.

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

S. Capobianco pälvis 2024. a e-kursuse kvaliteedimärgi kursuse "Matemaatika arvutiteaduses" eest.

D. Firsov pälvis ülikooli IT-teaduskonna 2024. a parima teadusartikli preemia.

S. Nõmm pälvis ülikooli 2024. a aasta õppejõu tiitli.

R. Kalakoti ja S. Nõmm pälvisid ülikooli 2024. a parima teadusartikli preemia tehnika ja tehnoloogia valdkonnas.

E. Valla pälvis Harno Ustus Aguri stipendiumi ja TTÜ arengufondi Andres Keevalliku fondi stipendiumi.

**Rahvusvahelised:**

T. Uustalu oli kutsutud ettekandja töötoas Structure Meets Power '24.

N. Veltri oli kutsutud ettekandja töötoas CMCS '24 ning lektor suvekoolis Adjoint School '24; C.-S. Wan assisteeris teda.

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

S. Nõmm andis loenguid täiskasvanuhariduse arendamise ja mitteformaalsete õppimisvõimaluste pakkumise (programm VÕTI) raames.

**Uurimisrühma veebilehe aadress**

**Eesti keeles**

<https://cs.ioc.ee/lsg/>

**Inglise keeles**

## 7 Infosüsteemide töörühm

### Uurimisrühma juht

Dirk Draheim, täisprofessor tenuuris, [dirk.draheim@taltech.ee](mailto:dirk.draheim@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Dirk Draheim, Doktor, täisprofessor tenuuris  
Jaak Tepandi, teaduste kandidaat, ekspert/emeriitprofessor  
Enn Õunapuu, teaduste kandidaat, emeriitdotsent  
Minakshi Kaushik, Magister, doktorant-nooremteadur  
Rahul Sharma, Doktorikraad, teadur  
Sidra Azmat Butt, Doktor, doktorant-nooremteadur  
Sijo Arakkal Peious, Magister, doktorant-nooremteadur  
Silvia Lips, Doktor, teadur  
Mahtab Shahin, Magister, doktorant-nooremteadur  
Ermo Täks, Doktor, dotsent

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

infosüsteemid; E-valitsus; E-riigi tehnoloogiad; e-tervis; andmeteadus

#### Inglise keeles

information systems; e-government; e-governance; e-health; data science

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Eestil on rahvusvahelisel tasandil digiühiskonna tehnoloogiate liidri maine. Selle professuuri missiooniks on panustada tehnikaülikooli liidri rolli saavutamisse ja hoidmisesse uue põlvkonna digiühiskonna IKT süsteemide arhitektuuris ja kujundamises, sealhulgas suuremahulistes IKT süsteemides, IKT süsteemide maastikul, IKT ökosüsteemides ja infovahetuse platvormides. Uurimisgrupp on keskendunud teadustööle „infosüsteemitehnoloogiate“ valdkonnas, mis võimaldab tuleviku infoühiskonda hajutatud andmetöötluse (sealhulgas pilvetehnoloogiad, tarkvara määratletud võrgud, asjade Internet, plokiahela tehnoloogia) ja uue põlvkonna andmetehnoloogiate (sealhulgas andmevahetus platvormid, automatiseeritud masinõppe platvormid, äriteabe platvormid, kollektiivse intelligentsuse platvormid) teelahkmel. vt ka <https://taltech.ee/en/is>

#### Rühma ülevaade inglise keeles

Estonia has an international reputation as a leader in digital society technologies. The mission of this professorship is to contribute to TalTech in further gaining and keeping a leading role in ICT system architecture and design of the next generation of digital society ICT including large-scale ICT systems, ICT system landscapes, ICT ecosystems, and information exchange platforms. The research group conducts research in information system technologies that enable



the future information society at the crossroads of distributed computing (including cloud technologies, software-defined networks, Internet of Things, blockchain technology) and next-generation data technologies (including data exchange platforms, automatic machine learning platforms, business intelligence platforms, collective intelligence platforms).

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

TEM-TA141 Masinõpe targema andmekasutuse jaoks 2024 - 2028

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/3183e698-ad87-480d-ac03-203613c5bfdd>

EITSA18020 IT Akadeemia programmi IKT teaduse toetusmeede perioodiks 2018-2022:

Tehisintellekt ja masinõppimine; Andmeteadus ja suurandmed; Robotite-inimeste koostöö ja asjade internet tööstuse protsessides. 2018 - 2023

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/5c855a0c-74e9-4af3-9cc9-5b13c4cd6e0b>

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

Bertl, Markus; Bignoumba, Nzamba; Ross, Peeter; Ben Yahia, Sadok; Draheim, Dirk (2024).

Evaluation of deep learning-based depression detection using medical claims data. Artificial Intelligence in Medicine, 147, Art. 102745; 16 pp. DOI: 10.1016/j.artmed.2023.102745.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/5e8d5f3f-7517-4a02-b0c3-e21158c4ccb9>

Khalid, Mizna; Hameed, Sufian; Qadir, Abdul; Shah, Syed Attique; Draheim, Dirk (2023). Towards SDN-based smart contract solution for IoT access control. Computer Communications, 198, 1–31.

DOI: 10.1016/j.comcom.2022.11.007. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/6c42b6b4-4e29-4d3c-9f50-6aa297d2a2f2>

Bhayo, Jalal; Shah, Syed Attique; Hameed, Sufian; Ahmed, Awais; Nasir, Jamal; Draheim, Dirk (2023). Towards a machine learning-based framework for DDOS attack detection in software-defined IoT (SD-IoT) networks. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 123 (C), ARTN 106432–17 pp.

DOI: 10.1016/j.engappai.2023.106432. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/9789d47a-68a8-4b85-8f5f-040cf863b454>

Buldas, Ahto; Draheim, Dirk; Saarepera, Märt (2023). A theory of secure and efficient implementation of electronic money. SN Computer Science, 4 (6), Art. 861; 25 pp. DOI:

10.1007/s42979-023-02232-y. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/79301154-736a-42a2-be9a-cc1a441be30c>

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

### **Eesti keeles**

Oleme andnud oma panuse plokiahela, asjade interneti (Internet of Things) ja SDNi (Software-Defined Networking) integreerimise alustele, töötades välja konkreetseid projekte ja pakkudes neile erinevaid prototüüpe. Oleme välja töötanud digitaalse valitsuse arhitektuuri (DGA) raamistiku, et aidata suuremahulisi digitaalse valitsuse projekteerimisalgatusi ebaõnnestumise vältimiseks ning edukate e-valitsuse püüdluste tõhususe, tulemuslikkuse ja vastuvõtmise suurendamiseks i) probleemide eraldamise kaudu asjakohaste arhitektuurikomponentide osas ja ii) kavandatavate digitaalsete ümberkorralduste

teostatavuse parema hindamise kaudu. Raamistik loob silla IT-süsteemide arhitektuuri ja institutsionaalse ökonoomika teadmiste vahel ning avab nende ühise potentsiaali (Oliver Williamsoni institutsionaalse analüüsi raamistik on meie DGA raamistiku teoreetiliseks taustaks).

### **Inglise keeles**

We have contributed to the foundations of integrating blockchain, IoT (Internet of Things), and SDN (Software-Defined Networking) via elaborating concrete designs and providing various prototypes for those. We have elaborated a digital government architecture (DGA) framework in order to help large-scale digital government design initiatives to prevent failure and to increase efficiency, effectiveness and adoption of successful e-government endeavors through (i) separation of concerns in terms of appropriate architectural components, and (ii) a better assessment of the feasibility of envisioned digital transformations. The framework builds a bridge between the body of knowledge of IT systems architecture and the body of knowledge of institutional economics and unlocks their joint potential (the institutional analysis framework of Oliver Williamson serves as theoretical background of our DGA framework).

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

### **Eesti keeles**

Estonia has an international reputation as a leader in digital society technologies. The mission of this professorship is to contribute to TalTech in further gaining and keeping a leading role in ICT system architecture and design of the next generation of digital society ICT including large-scale ICT systems, ICT system landscapes, ICT ecosystems, and information exchange platforms. One group member participated in the "Estonian eID Coordination Board" led by the Police and Boarder Guard Board (PBGB) and the Estonian Information System Authority (RIA). One group member acted as the Estonian eIDAS SPoC (single point of contact) at RIA. She also participated in the EU eIDAS Cooperation Network on behalf of RIA. She also participated in the eIDAS revision process on behalf of RIA. The group was present at the panel of Fintech Forum 2023 of Eesti Pank.

### **Inglise keeles**

Estonia has an international reputation as a leader in digital society technologies. The mission of this professorship is to contribute to TalTech in further gaining and keeping a leading role in ICT system architecture and design of the next generation of digital society ICT including large-scale ICT systems, ICT system landscapes, ICT ecosystems, and information exchange platforms. One group member participated in the "Estonian eID Coordination Board" led by the Police and Boarder Guard Board (PBGB) and the Estonian Information System Authority (RIA). One group member acted as the Estonian eIDAS SPoC (single point of contact) at RIA. She also participated in the EU eIDAS Cooperation Network on behalf of RIA. She also participated in the eIDAS revision process on behalf of RIA. The group was present at the panel of Fintech Forum 2023 of Eesti Pank.

### Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

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

We conducted Action Design Research with the manufacturer Elme Messer Gaas.

Elme Messer Gaas consists of three companies in Estonia, Latvia and Lithuania as a Joint Venture of Elme (belonging to BLTR Grupp: largest Estonian corporate) and Messer (second largest gas manufacturer world-wide after Linde). The project is a large-scale by its complexity and number of project members involved.

Project target is process reengineering of the whole CRM process down to the manufacturing process plus renovation/consolidation of the involved ICT system landscape. With the results, there is a high potential for a startup.

#### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöös**

Enterprise Architecture (TOGAF), Business Process Modeling (BPMN), Software Systems Modeling (UML), Large-Scale System Design (blockchain, IoT, SDN)

#### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

minimum indicative possible volume of the R&D contract: 500.000 EUR; business sector in which cooperation potential is seen: banking, insurances, manufacturing, logistics

### Täiendav info:

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

- 4. Innovaatilised ettevõtted ja tulevikku vaatav riigivalitsemine
- 2. Usaldusväärsed IT lahendused

**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:

P175 Informaatika, süsteemiteooria

P170 Arvutiteadus, arvutusmeetodid, süsteemid, juhtimine (automaatjuhtimisteooria)

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

Hinnang seisundile:

Seisundi selgitus:

Taltech Supercomputer, Apache Spark

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

Dirk Draheim is member of the working group WG 8.5 - Information Systems in Public Administration of IFIP (International Federation for Information Processing)

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

- TU Delft, Chair of ICT and Governance, the Netherlands, Prof. Marijn Janssen

- University of Innsbruck, Austria, Distributed and Parallel Systems Group, Prof. Thomas Fahringer
- Mitsubishi UFJ Research and Consulting, Senior Managing Executive Officer Prof. Takehiko Nagumo; Kyoto University Graduate School of Management, adjunct professor in strategic management Prof. Takehiko Nagumo,

**Eesti partnerid:**

- TalTech, Centre for Digital Forensics and Cyber Security
- TalTech, Applied Artificial Intelligence Group
- e-Governance Academy, eGA

**Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

The group was present at the panel of Fintech Forum 2023 of Eesti Pank.

**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**

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

**Inglise keeles**

## 8 Rakendusliku tehismõistuse tööruhm

### Uurimisrühma juht

Vahur Kotkas, tarkvara arendusjuht, [vahur.kotkas@taltech.ee](mailto:vahur.kotkas@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Vahur Kotkas, Teadusmagister, tarkvara arendusjuht  
Tanel Tammet, Doktor, täisprofessor teneuris  
Irina Astrova, Doktor, vanemteadur  
Riina Maigre, Doktor, teadur  
Ago Luberg, Doktor, vanemlektor  
Martin Verrev, Magister, lektor  
Kristiina Kindel, Teadusmagister, insener  
Karl Ivory Pappel, Keskeri, tarkvaraarendaja  
Bahdan Yanovich, Kõrgharidus, tarkvarasüsteemide arendaja  
Priit Järv, Doktor, teadur  
Siim Rebane, Kõrgharidus, veebitehnoloogia ekspert  
Rein Süld, Magister, süsteemi ja arhitektuuri ekspert  
Hele-Mai Haav, Doktor, ontoloogia ja koostalitusvõime ekspert  
Enrico Vompa, Magister, doktorant-nooremteadur  
, Magister, doktorant-nooremteadur  
Mohit Vaishnav,,

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

modelipõhine masinõpe; automatiseeritud inimlaadne arutus; ontoloogiapõhine arutus; soovitusüsteemid; loogikapõhised tarkvarasüsteemid; keeruliste süsteemide modelleerimine ja simulatsioonid

#### Inglise keeles

(model-based) machine learning; automated commonsense reasoning; ontology based reasoning; recommender systems; logic-based software systems; complex systems modelling and simulations

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Rakendusliku tehismõistuse grupp keskendub oma uurimistöös tehismõistuse meetoditele, arendades ja rakendades neid erinevates valdkondades. Keskendutakse peamiselt masinõppe, ontoloogiapõhise arutluse, automaatse teoreemitõestamise, teadmuse loomise jt tehismõistuse meetodite juurutamisele tööstuse ja avaliku sektori rakendustes. Lisaks tegeldakse uuringutega loomuliku keele mõistmise ja automatiseeritud inimlaadse arutluse valdkondades. Uurimistöö mitmete dekaadide vältel on loodud mitmeid rakendusi, mis võimaldavad tehismõistuse tehnikaid rakendada. Praegusel ajal on neist kasutusel või arendusjärgus järgmised: • CoCoViLa – visuaalne modelipõhine automaatset programmisünteesi pakkuv tarkvaraarenduskeskkond - <http://cocovila.github.io/> • WhiteDB – kiire NoSQL andmebaasiohjur - <http://whitedb.org/> • GKC – arutlusvahend tööks (väga) suurtel teadmusbaasidel - <https://github.com/tammet/gkc> Käesoleval ajal on grupi keskseteks teemadeks tehismõistuse meetodite rakendamine ruumiandmeanalüüsil,

masinõppe rakendamine e-kaubanduse ja avaliku sektori riskihalduses ning loomulikult keelel baseeruvate suhtlussüsteemide arendus.

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

The Applied AI Group conducts research in application of AI methods in various fields and systems. The group investigates applicability of machine learning, ontology based reasoning, automated theorem provers, knowledge discovery and other AI methods for solving digitalisation problems of different industrial and governmental stakeholders. The group also develops novel methods and systems for core natural language understanding and common-sense reasoning.

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

TK213 Eesti Tehisintellekti Tippkeskus 2024 - 2030

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/97213ae6-cd28-4f84-84c2-ac61f7658670>

PRG1919 Nutika ühiskonna avaram ümbermõtestamine: targa maalisuse koosloome vananeva elanikkonnaga piirkondades 2023-2027 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/f049df8a-b280-4ade-a99d-250cfce1355c>

VEU22046 Koostööalgatus standarditel põhineva digitaalse tootepassi loomiseks tooteandmete huvipooltepõhiseks jagamiseks ringmajanduse jaoks 2022 - 2024 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/673b033a-f718-4ccf-ba12-eca41b6e4a8c>

AR20013EE; AR20013IT2; AR20013TCR Energiavajaduse vähendamine mikrovõrkude ja energiasalvestite abil 2021 - 2023 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/313b3603-64de-43b4-83bc-1ec45405eb36>

EITSA18020 IT Akadeemia programmi IKT teaduse toetusmeede perioodiks 2018-2022: Tehisintellekt ja masinõppimine; Andmeteadus ja suurandmed; Robotite-inimeste koostöö ja asjade internet tööstuse protsessides. 2018 - 2023 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/5c855a0c-74e9-4af3-9cc9-5b13c4cd6e0b>

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

Järv, Priit; Tammet, Tanel; Verrev, Martin; Draheim, Dirk (2023). Large-scale commonsense knowledge for default logic reasoning. SN Computer Science, 4 (550), 14 pp. DOI: 10.1007/s42979-023-01963-2. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/65cc9466-1a16-4a48-b288-e0611cac7fb2>

Tammet, Tanel; Järv, Priit; Verrev, Martin; Draheim, Dirk (2023). An experimental pipeline for automated reasoning in natural language (short paper). In: Pientka, Brigitte; Tinelli, Cesare (Ed.). Automated Deduction – CADE 29 : 29th International Conference on Automated Deduction, Rome, Italy, July 1–4, 2023, Proceedings. (509–521). Cham: Springer. (Lecture Notes in Computer Science; 14132). DOI: 10.1007/978-3-031-38499-8\_29. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/a0bc6c55-dafc-43f4-9119-0440e904007c>

Järv, Priit; Tammet, Tanel; Verrev, Martin; Draheim, Dirk (2022). Knowledge integration for commonsense reasoning with default logic. Proceedings of the 14th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management (IC3K 2022), October

24-26, 2022, Valletta, Malta, Vol. 2. Ed. Aveiro, David; Dietz, Jan; Filipe, Joaquim. SciTePress, 148–155. DOI: 10.5220/0000165700003335.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/395d02b7-1a7f-43c1-8aee-673096af0d88>

Dreyling III, Richard; Tammet, Tanel; Pappel, Ingrid (2024). Technology push in AI-enabled services: how to master technology integration in case of Bürokratt. SN Computer Science, 5 (6), Art. no. 738; 12 pp. DOI: 10.1007/s42979-024-03064-0.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/e46b8963-69cc-4cf2-8b1c-5d532fd92c3f>

Khalil, Shaymaa Mamdouh; Bahsi, Hayretadin; Dola, Henry Ochieng'; Korotko, Tarmo; McLaughlin, Kieran; Kotkas, Vahur (2023). Threat modeling of cyber-physical systems - A case study of a microgrid system. Computers & Security, 124, ARTN 102950–16 pp. DOI:

10.1016/j.cose.2022.102950. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/7e2e6350-1d03-4fea-b3b1-da4cc7ec0422>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### Eesti keeles

Oleme ehitanud eksperimentaalsüsteemi tavamõtlemise automatiseerimiseks, eesmärgiga uurida ja katsetada võimalusi masinõppesüsteemide – eeskätt suurte keelemudelite (LLM) – integreerimiseks otsingupõhiste reegli- ja loogikasüsteemidega, ning loonud selle jaoks algoritmid loogikajärelduste süsteemi laiendamiseks erandite ja tõenäosustega. Osaleme toodete digipassi väljatöötamise HORIZON europrojektis CIRPASS-2. Digipassi eesmärk on suuremahulise ringmajanduse toetamine.

### Inglise keeles

We have built an experimental system for automating commonsense reasoning, with the goal to explore and experiment with different approaches of integrating machine learning – in particular, large language models (LLMs) – with search-based algorithms using rules and logic. For the latter we have designed and built algorithms for extending logic with exceptions and probabilities.

We participate in the HORIZON project CIRPASS-2 to develop an European digital passport for products' circular economy.

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

### Eesti keeles

Rakendusliku tehismõistuse töörühm

[<https://taltech.ee/tarkvarateaduse-instituut/uurimisruhmad#p22608>] tegeleb

tehisintellekti meetodite rakendamisega erinevates valdkondades. Peamiselt

keskendume masinõppe, ontoloogiapõhiste arutluse, automatiseeritud teoreemide



tõestamise, teadmuse loome jt tehismõistuse meetodite loomisele ning juurutamisele tööstuse ja avaliku sektori digitaliseerimisprobleemide lahendamisel. Samuti töötame välja uudseid meetodeid ja süsteeme loomuliku keele mõistmise ja automatiseeritud inimlaadse arutluse valdkondades.

### **Inglise keeles**

The Applied AI Group conducts research in application of AI methods in various fields and systems. The group investigates applicability of machine learning, ontology based reasoning, automated theorem provers, knowledge discovery and other AI methods for solving digitalisation problems of different industrial and governmental stakeholders. The group also develops novel methods and systems for core natural language understanding and common-sense reasoning.

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

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

Meie rakendusliku sisuga TA tegevus on peamiselt ajendatud koostööst ettevõtetega.

2024 aastal toimus koostöö peamiselt kahe ettevõttega: VizTrack OÜ ja ThinFacility OÜ.

VizTrack-iga alustasine AIRE/EDIH demoprojekti raames läbi rakendusuuringut leidmaks võimalusi visuaalodomeetriia jt sensorite fusiooni teel orienteerumiseks RO-RO tüüpi laevades.

Koostöös ThinFacilityga loome raamistikku masinõppemudelite treenimiseks ja kasutamiseks kütte- ja ventilatsioonilahendustes.

### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostööks**

Loengud ja praktilised harjutused tehisintellekti meetoditest, nende rakendatavusest, usaldusväärsusest ja sellega seonduvast.

AI tehnoloogiate tundmine ja rakendamine

Kompleksne süsteemianalüüs ja tehisintellektipõhiste lahenduste arendamine  
Ekspertmeeskond, kellel on reaalse elu projektide kogemus

Tarkvarakvaliteedi hindamine.

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Ettevõtluskoostöö eemärgiks on Eesti ettevõtete aitamine võimaldamaks nende tegevuse tõhusamaks muutumist. Selline tegevus annab samas teadlastele nõu kontakti "reaalse maailmaga" ja selguse, millised on ettevõtluses lahendamist vajavad aktuaalsed probleemid.

2023 aastal toimus koostöö peamiselt kahe ettevõttega. Krah pipes OÜ ja AS Eesti Post.

Krah-Pipesiga viisime AIRE/EDIH demoprojekti raames läbi rakendusürituse leidmaks võimalusi proaktiivse tagasisidestuse leidmiseks tootmisparameetrite alusel, mis võimaldaks juba tootmise ajal valitud tootmisparameetritest prognoosida potentsiaalsed kvaliteediprobleemide tekke valmikutel.

Koos paljude ettevõtetega osaleme HORIZON europrojektis CIRPASS ning selle mahukamas jätkuprojektis CIRPASS-2, algusega 2024, eesmärgiga on suuremahulise ringmajanduse toetamise jaoks vajaliku IT-infrastruktuuri väljatöötamine, mis sobiks standardiseerimiseks euroopa liidus.

### 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
- 5.3 Haridusteadused

CERCSi teaduserialad:

- P176 Tehisintellekt
- T125 Automatiseerimine, robotika, control engineering

**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**

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

- Czech Technical University in Prague, CIIRC
- University of Groningen, Faculty of Arts. Digital Systems and Integrated
- Circuits Department of the Alternative and Atomic Energies Agency of France

**Eesti partnerid:**

- Cybernetica AS
- Tartu Ülikool, Arvutiteaduse instituut Andmeteaduse õppetool

- Tartu Ülikool, Loodus- ja täppisteaduste valdkond, ökoloogia ja maateaduste instituut; Krah pipes OÜ; AS Eesti Post

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

Tanel Tammet on üks Tallinna Tehnikaülikooli kõneisikuid IT teemadel, ning on temaatiliste avalike meedikajastuste (59) järgi Tehnikaülikooli meediakajastuste kogupingereas kaheksas.

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

**Riiklikud:**

**Rahvusvahelised:**

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

AS Eesti Post-le pakkusime konsultatsiooniteenust logistika planeerimise töövahendi hankeprotsessi läbiviimisel.

T. Tammet kuulub AS GuardTime nõukogusse.

#### **Uurimisrühma veebilehe aadress**

**Eesti keeles**

**Inglise keeles**

## 9 Digiriigi tehnoloogiad ja arhitektuur

### Uurimisrühma juht

Ingrid Pappel, kaasprofessor, [ingrid.pappel@taltech.ee](mailto:ingrid.pappel@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Ingrid Pappel, Doktor, kaasprofessor

Regina Erlenheim, Doktor, lektor

Richard Michael Dreyling III, Magister, doktorant-nooremteadur

Alena Labanava, Magister, doktorant-nooremteadur

Teona Gelashvili, Magister, doktorant-nooremteadur

Eric Blake Jackson, Doktorikraad, lektor

Mihkel Lauk, Magister, doktorant-nooremteadur

Josephine Adhiambo Lusi, Magister, doktorant-nooremteadur

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

avaliku sektori digitaalne transformatsioon; avalike teenuste arendus; andmevahetusplatvormid ja automatiseerimine

#### Inglise keeles

public sector digital transformation; development of public services; automation and data exchange platforms

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Uurimisrühm tegeleb küsimustega, kuidas riik saaks tehnoloogiatega rahuldada oma kodanike praeguseid ja tulevaseid vajadusi. Keskendutakse valitsuse digitaalsetele ökosüsteemidele, uurides tehnoloogiaid, mis toetavad digitaalset transformatsiooni, innovatsiooni ja rakendamist. Uurimisrühm teeb koostööd Eesti ja rahvusvaheliste avaliku sektori asutuste, ministeeriumide ja osakondadega järgmise põlvkonna riigi tehnoloogia arendamisel. Tegeletakse tiptasemel uurimisteemadega, mis keskenduvad tehisintellekti arhitektuurile, nõuete väljatöötamisele, andmeanalüütikale ja tehnoloogia rakendamise sotsiaal-majanduslike mõjude mõistmisele ning rakendamisele. Rühma visioon on positiivselt mõjutada ja kujundada järgmise põlvkonna globaalse digitaalse valitsemise ökosüsteeme. Pakutakse tiptasemel interdistsiplinaarset praktilist ja teoreetilist uurimistööd, mis võimaldab digiriigi lahenduste ja poliitika edukat rakendamist. Rohkem infot: <https://egov.ee/nextgen-group/>

#### Rühma ülevaade inglise keeles

The Next Gen Digital State (NGDS) research group addresses the technological complexities of how governments can satisfy the current and future needs of their citizens. The group focuses on digital government ecosystems by investigating technologies that support digital transformation, innovation and

implementation. NGDS research group collaborates with Estonian and international public sector agencies, ministries, and departments for developing next generation government technology through cutting edge research topics focused on artificial intelligence architecture, requirements engineering, data analytics, and understanding the socio-economic effects of technological implementation. The research group's vision is to positively influence and shape the next generation of global digital governance ecosystems. The members of the group offer top-level interdisciplinary practical and theoretical research that enables successful implementation of digital government solutions and policies.

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

VEU21011 Magistriõppe programm „Tehisintellekti rakendamine avalikes teenustes“ 2021 - 2024  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/67113d3c-db39-4435-a590-e1a8605e4786>

MINV21083 „E-riigi alase magistriõppekava arendamise nõustamine ning e-valitsemise teadlikkuse tõstmine IKT lahenduste kasutamisel Keenias“ 2021 - 2024  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/99526925-8259-45e0-be52-d4725988106f>

EITSA18020 IT Akadeemia programmi IKT teaduse toetusmeede perioodiks 2018-2022: Tehisintellekt ja masinõppimine; Andmeteadus ja suurandmed; Robotite-inimeste koostöö ja asjade internet tööstuse protsessides. 2018 - 2023  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/5c855a0c-74e9-4af3-9cc9-5b13c4cd6e0b>

VERT21030 Upgrade2Europe 2020 - 2023 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/700df940-bdfa-45cb-8e56-7a2da10cfa9d>

VERT24023 EGov4Youth - Noorte mõjuvõimu suurendamine e-valitsuse kaudu: kaasamise ja digitaalse valitsemise ühendamise 2024 - 2026  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/3fe549e6-0346-4a63-8b9a-283aa57a0356>

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

Dreyling III, Richard; Tammet, Tanel; Pappel, Ingrid (2024). Technology push in AI-enabled services: how to master technology integration in case of Bürokratt. SN Computer Science, 5 (6), Art. no. 738; 12 pp. DOI: 10.1007/s42979-024-03064-0.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/e46b8963-69cc-4cf2-8b1c-5d532fd92c3f>

Dreyling, Richard; Lemmik, Juhani; Tammet, Tanel; Pappel, Ingrid (2024). An artificial intelligence maturity model for the public sector: a design science approach. TalTech Journal of European Studies, 14 (2), 217–239. DOI: 10.2478/bjes-2024-0023.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/a5d2732e-28ed-403f-960a-1a35c717e3f4>

Lauk, Mihkel; Linros, Janar; Paevere, Ragner; Tapupere, Madis; Pappel, Ingrid (2024). Revitalizing technology governance for the post-COVID era: a strategic framework. Human Factors, Business Management and Society : Proceedings of 15th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences, Nice, France, 24-27 July 2024. AHFE International, 33–42. (AHFE Open Access; 135). DOI: 10.54941/ahfe1004928.  
<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/adeff7b3-394b-45c9-ad2d-931d975952cb>

Weck, Marina; Jackson, Eric Blake; Sihvonen, Markus; Pappel, Ingrid (2022). Building smart living environments for ageing societies: Decision support for cross-border e-services between Estonia and

Finland. Technology in Society, 71 (November 2022), 102066–13 pp. DOI: 10.1016/j.techsoc.2022.102066. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/0c933bf8-cc18-4933-aa54-880cb081a796>

Butt, Sidra Azmat; Lips, Silvia; Sharma, Rahul; Pappel, Ingrid; Draheim, Dirk (2023). Barriers to Digital Transformation of the Silver Economy: Challenges to Adopting Digital Skills by the Silver Generation. Human Factors, Business Management and Society: 14th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2023), San Francisco Marriott Marquis, California, USA July 20-24, 2023. Ed. Vesa Salminen. AHFE, 151–163. (AHFE International; 97). DOI: 10.54941/ahfe1003892. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/e4824e65-a5b4-4ec6-85b6-4638952f879f>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### Eesti keeles

#### 1. Ametnike koolitamine koostöös Riia Tehnikaülikooliga (RTU):

“Information Society Principles: Towards e-Governance” kursuse läbiviimine kahes etapis (11.-14.12.2024 ja 27.-30.11.2024) RTU-s, mille jooksul koolitati välja 16 avaliku sektori esindajat. Kursus oli mõeldud poliitikakujundajatele ja valitsuse ametnikele, kes olid huvitatud avaliku sektori digitaliseerimisest, transformatsioonist ja e-valitsemisest. Kursuse eesmärk oli, et osalejad mõistaksid ja analüüsiks infosüsteemi ja digitaalse valitsemise põhimõtteid, samal ajal näidates teadlikkust erinevatest tehnilistest, sotsiaalsetest ja õiguslikest aspektidest, mis kaasnevad digiteenuste arendamise ja avaliku sektori transformatsiooniga.

#### 2. eGov4Youth projekt:

Projekti elluviijana edukas projekti käivitamine, eesmärgiga suurendada noorte mõjuvõimu e-valitsuse kaudu: kaasamise ja digitaalse valitsemise ühendamine. eGov4Youth konsortsium viib läbi Euroopa uuringu (PR1) noorte osalemise kohta kohalikes e-valitsemise protsessides. Uuring keskendub kahele põhiaspektile: noorte vaatenurgale (e-valitsemise alased teadmised, oskused, turvalisus, läbipaistvus, huvi online-osalemise vastu jne) ja avaliku halduse vaatenurgale (e-valitsemise teenuste haldamine, väljakutsed, oskused, kavandatavad algatused, parandusettepanekud jne), andes selge panuse prioriteeti „Poliitika, teadusuuringute ja praktika vaheliste sidemete tugevdamine“.

(<https://www.egov4youth.eu/>)

Antud projekti raames toimus 30.oktoober.2024 noortele suunatud rahvusvaheline veebinar teemal „The Future of Democracy: Youth Engagement in a Digital World“, millel osales 166 inimest.

#### 3. eKabineti implementeerimine Djiboutis:

Projekti eesmärk oli toetada Aafrika Sarve piirkonna riike – Djibouti, Keeniat ja Somaaliat – avalike teenuste digitaliseerimise ja turvaliste digikanalite loomise kaudu. Projekti keskmes oli e-valitsuse platvormi arendamine GovStacki meetodika abil, mille kaudu luuakse korduvkasutatavad digitaalsed lahendused (nt autentimine, digitaallkirjad, andmebaasid).

eKabineti töötoa (7.-17.oktoober.2024) raames viidi läbi praktiline koolitus Djibouti ministeeriumide töötajatele, seadistati ja juurutati e-valitsuse WebDesktop platvorm ning loodi süsteemi toimimise tagamiseks tugiprotsessid.

Töötoa tulemusena said osalejad oskused platvormi kasutamiseks ja haldamiseks, mis toetab edasist digitaalset riigivalitsemist piirkonnas.

-----

#### 4. ITU Akadeemia koolitus:

ITU Akadeemia on peamine veebipõhine värav ITU(International Telecommunication Union) võimekuse arendamise tegevustesse. Tuues ühe katuse alla laia valiku koolitusüritusi ja teadmusressursse infotehnoloogia (IKT) ja digiarengu valdkonnas üle maailma. ITU Akadeemia partnerina pakkusime koolituskataloogis aastal 2024 rahvusvahelist koolitust "Information Society Principles: Towards e-Governance", kuhu kandideeris 30 inimest, avalikust-; erasektorist kui ka akadeemiast. Suurendades Tallinna Tehnikaülikooli nähtavust ja võimekust IKT valdkonnas. \*Tulenevalt koolituse suurest huvist ja nõudlusest siis on antud koolitus planeeritud ka aastaks 2025.

(<https://academy.itu.int/training-courses/full-catalogue/information-society-principles-towards-e-governance-1>)

-----

#### 5. Koostöö suurendamine Jaapani suunal:

Global e-Desingner programmi raames toimus 23.-25.aprill.2024 kohtumine Tohoku Ülikooli üliõpilaste, Sendai linnavalitsuse ametnike ja Sendai piirkonna ettevõtetega, et arutada ja kaaluda Sendai linna ja Tohoku regiooni digitaalse ühiskonna tuleviku suunda ja lähenemist. Eesmärk oli tutvuda digiriigi kontseptsiooni ja mõtteviisiga Eestis ning anda mõista, et digitaalse ühiskonna loomine ei nõua mitte ainult üleminekut digitaalsetele tehnoloogiatele, vaid ka „inimeste elu“ arvestamist erinevatest aspektidest. Uurimisrühma koostöö arendamine Jaapani ülikoolide ja teadusasutustega pakub tulevikus akadeemilistele ringkondadele võimalusi teadusvahetuseks, uute teadusuuringute läbiviimiseks ja innovatsiooniks, mis võib rikastada mõlema riigi teadusmaastikku. Lisaks laiendab see tudengite vahetusprogramme (talve- ja suvekoolid) ja praktilisi õppevõimalusi, suurendades seekaudu kultuuridevahelist mõistmist ja koostööd.

### Inglise keeles

#### 1. Training of officials in cooperation with Riga Technical University (RTU):

Delivery of the "Information Society Principles: Towards e-Governance" course in two stages (December 11-14, 2024 and November 27-30, 2024) at RTU, during which 16 public sector representatives were trained. The course was aimed at policymakers and government officials interested in the digitalization, transformation, and e-Governance of the public sector. The course aimed for participants to understand and analyze the principles of information society and digital governance, while demonstrating awareness of various technical, social, and legal aspects associated with the development of digital services and public sector transformation.

-----

#### 2. eGov4Youth Project:

As the lead partner, the project has been successfully launched with the goal of empowering youth through e-governance by connecting engagement with digital governance. The eGov4Youth consortium conducts a European survey (PR1) on youth



participation in local e-governance processes. The survey focuses on two key aspects:

The youth perspective (knowledge and skills related to e-governance, security, transparency, interest in online participation, etc.) The public administration perspective (management of e-governance services, challenges, skills, planned initiatives, suggestions for improvement, etc.)

This effort makes a clear contribution to the priority of "Strengthening the links between policy, research, and practice." (<https://www.egov4youth.eu/>)

As part of this project, an international webinar aimed at youth was held on October 30, 2024, on the topic "The Future of Democracy: Youth Engagement in a Digital World," with 166 participants.

---

### 3. eCabinet implementation in Djibouti:

The project's goal was to support the countries in the Horn of Africa region – Djibouti, Kenya, and Somalia – in the digitalization of public services and the creation of secure digital channels. The focus of the project was the development of an e-government platform using the GovStack methodology, through which reusable digital solutions (e.g., authentication, digital signatures, databases) are created. As part of the eCabinet workshop (October 7-17, 2024), practical training was conducted for employees of Djibouti's ministries, the e-government WebDesktop platform was set up and deployed, and support processes were created to ensure the system's functionality. As a result of the workshop, participants acquired skills to use and manage the platform, supporting further digital governance in the region.

---

### 4. ITU Academy Training:

The ITU Academy is the main online gateway to ITU (International Telecommunication Union) capacity development activities, bringing together a wide range of training events and knowledge resources in the field of information technology (ICT) and digital development worldwide. As a partner of the ITU Academy, we offered the international training course "Information Society Principles: Towards e-Governance" in the 2024 training catalog, which attracted 30 applicants from the public and private sectors as well as academia. This increased the visibility and capacity of Tallinn University of Technology in the ICT field. \*Due to the high interest and demand for the training, it is also planned for 2025.

(<https://academy.itu.int/training-courses/full-catalogue/information-society-principles-towards-e-governance-1>)

---

### 5. Increasing cooperation with Japan:

As part of the Global e-Designer program, a meeting took place from April 23-25, 2024, with students from Tohoku University, officials from Sendai City Hall, and companies from the Sendai area to discuss and consider the future direction and approach to the digital society in Sendai City and the Tohoku region. The goal was to explore the concept and mindset of the digital state in Estonia and

convey that creating a digital society requires not only transitioning to digital technologies but also considering "people's lives" from various aspects. Developing collaborative research groups with Japanese universities and research institutions will offer future opportunities for academic exchanges, conducting new research, and fostering innovation, enriching the research landscape in both countries. Additionally, it will expand student exchange programs (winter and summer schools) and practical learning opportunities, thereby increasing intercultural understanding and cooperation

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

### Eesti keeles

#### 1. GovStack projekt:

Ingrid Pappel panustab aktiivselt rahvusvaheliselt digiriigi eksperdina GovStacki projektis, kus ta töötab naiste rolli tugevdamise nimel digiriigi arendustes ja arhitektuuride loomisel. GovStack on avatud lähtekoodiga kogukond, mis juhib ülemaailmselt avaliku sektori infrastruktuuri digitaliseerimise tööriistakomplekti loomist. (<https://www.govstack.global/>).

-----

#### 2. eGov4Youth projekt:

Marginaliseerunud noorte osalemine ühiskonnaelus on kogu maailma poliitilistes tegevuskavades kesksel kohal. Viimasel ajal on see muutunud veelgi olulisemaks seoses pandeemiaga, mis on aga soodustanud ka avalike teenuste digitaliseerimise kiirendamist. EGOV4YOUTH püüab neid väljakutseid lahendada, luues kohaliku arengu jaoks E-GOV-oskusi ja -vahendeid, mille eesmärk on hõlbustada noorte ja riigiasutuste koostööd otsuste tegemisel. (<https://egov.ee/portfolio/egov4youth/>)

-----

#### 3. Täienduskoolituste pakkumine täiskasvanutele riikliku koolitustellimuse raames:

Koostöös Haridus-ja Teadusministeeriumiga pakkusime kahte tasuta täiendkoolitust riikliku koolitustellimuse (RKT) tegevuse "Täiskasvanuhariduse edendamine ja õppimisvõimaluste avardamine" raames:

(1) „Andmed avalikus sektoris“ (2.-23.oktoober.2024);

- kursuse eesmärk on rahuldada üha suurenevat vajadust teadmistest IT ja andmete järele avalikus sektori lahendustes. Pakkuda sissejuhatust andmetega seotud mõistetest, et saada aru andmete kogumise, analüüsimise, info lahtimõtestamise ja kommunikeerimise võimalustest ning automatiseerimisest avalikes teenustes.

(2) „Äriprotsesside automatiseerimine avalikus sektoris“ (6.-27.november.2024)

-kursuse jooksul tutvuti lähemalt erinevate äriprotsessidega avalikus sektoris ning iga osaleja analüüsis ühte konkreetset äriprotsessi, millele pakuti lahendus ning kirjeldati antud protsessi. Esitati mõõdikud, infovahetuse dokumendid ja esialgne tegevuskava.

Koolituste sihtrühmadeks (ESF VÕTI) olid erialase tasemehariduseta või aegunud oskustega täiskasvanud. VÕTI tegevused võimaldavad inimestel omandada uusi teadmisi, liikudes sujuvalt haridustasemetest ja -liikide vahel ning võimaldades

ühildada õppimine ja töötamine.

-----

#### 4. eID kompetentsikeskus:

Elektroonilise identiteedi (eID) lahenduste kompetentsikeskuse kontseptsiooni välja arendamine ning projekti tegevusplaani paika panemine aastaks 2025, koondamaks kokku TalTech-i eID valdkonda toetavad kompetentsid, kasutades teaduskondade-, uurimisgruppide- ja keskuste ülese koostöö võimalusi. eID kompetentsikeskuse eesmärk on olla oluliseks partneriks avaliku sektori ning erasektori asutustele:

- erinevate eID lahenduste väljatöötamisel, kasutusele võtmisel ja rakendamisel;
- eID lahenduste piiriülese sujuva kasutamise võimaldamisel;
- eID valdkonna õigusaktide, standardite ja strateegiate väljatöötamisel.

20.05.2024 jõustus Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrus (EL) 2024/1183, 11. aprill 2024, millega muudetakse määrust (EL) nr 910/2014 seoses Euroopa digiidentiteedi raamistiku kehtestamisega<sup>1</sup>, millega võetakse Euroopa kasutusele digiidentiteedikukkur (wallet). Arvestades Eesti inimeste sõltuvust digilahendustest, on oluline uurida erinevate uute lahenduste kasutuselevõtmisega kaasnevaid mõjusid ning panustada teadlikult nende väljatöötamisse ja arendamisse.

### Inglise keeles

#### 1. GovStack Project:

Ingrid Pappel actively contributes as an international e-government expert to the GovStack project, where she works to strengthen the role of women in e-government developments and architecture design. GovStack is an open-source community that is globally leading the creation of a toolkit for the digitalization of public sector infrastructure. (<https://www.govstack.global/>)

-----

#### 2. eGov4Youth Project:

The participation of marginalized youth in societal life is a central focus in political agendas worldwide. Recently, this has become even more significant due to the pandemic, which has also accelerated the digitalization of public services. EGOV4YOUTH aims to address these challenges by developing E-GOV skills and tools for local development, with the goal of facilitating collaboration between youth and public authorities in decision-making processes. (<https://egov.ee/portfolio/egov4youth/>)

-----

#### 3. Provision of Continuing Education for Adults Under the National Training Order:

In cooperation with the Ministry of Education and Research, we offered two free continuing education courses as part of the national training order (RKT) activity "Promoting Adult Education and Expanding Learning Opportunities":  
(1)"Data in the Public Sector" (October 2-23, 2024):

- The course aimed to meet the growing need for knowledge about IT and data in

public sector solutions. It provided an introduction to data-related concepts to enhance understanding of data collection, analysis, interpretation, communication, and automation opportunities in public services.

(2) "Business Process Automation in the Public Sector" (November 6-27, 2024):

During the course, participants explored various business processes in the public sector in detail. Each participant analyzed a specific business process, proposed a solution, and described the process. Metrics, information exchange documents, and an initial action plan were presented.

The target groups for these courses (funded by the ESF VÕTI program) were adults without formal professional education or with outdated skills. VÕTI activities enable individuals to acquire new knowledge, facilitating smooth transitions between education levels and types while allowing the combination of learning and working.

#### 4. eID Competence Center:

The concept of establishing a competence center for electronic identity (eID) solutions has been developed, along with setting the project's action plan for 2025. The center aims to consolidate TalTech's competencies in the eID field by leveraging collaboration across faculties, research groups, and centers. The goal of the eID Competence Center is to be a key partner for public and private sector organizations by:

- Developing, implementing, and applying various eID solutions;
- Enabling seamless cross-border use of eID solutions;
- Contributing to the development of legislation, standards, and strategies in the eID field.

On May 20, 2024, the European Parliament and Council Regulation (EU) 2024/1183 of April 11, 2024, amending Regulation (EU) No 910/2014, came into force, establishing the European Digital Identity Framework. This introduced the European Digital Identity Wallet. Considering Estonia's reliance on digital solutions, it is crucial to study the impacts of adopting new solutions and actively contribute to their development and implementation.

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

### Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas

1. Keenia e-valitsemise algatuste ja digipädevuse tugevdamine ning demokraatia soodustamine.

(<https://digi.geenius.ee/blogi/teadus-ja-tulevik/taltech-aitas-keenias-e-riiki-ules-ehitada/>)

2. Naiste digipädevuste suurendamine ühiskonnas. GovStacki ja TalTechi koostöös loodud haridusprogramm „Women in GovTech Challenge“ lõpetasid enam kui 100 naisterahvast 59-st riigist.

(<https://trialoog.taltech.ee/eestlaste-abiga-koolitati-59-riigi-naised-digitargaks/>)

3. EGOV4YOUTH projekt täidab ühiskonna ja majanduse vaates kaht olulist eesmärki. Ühiskondlikus plaanis edendab projekt noorte aktiivset rolli ja kodanikku kaasatust, pakkudes neile, eriti sotsiaalse tõrjutuse ohus olevatele noortele, oskusi ja vahendeid, et osaleda teadlikult otsustusprotsessides. See on kooskõlas Euroopa Noortestrategiaga 2019–2027 ning toetab kaasavat ja demokraatlikku osalust. Majanduslikus vaates aitab projekt kaasa avalike teenuste moderniseerimisele ja digilõhe vähendamisele, toetades e-valitsemise infrastruktuuri kasutuselevõttu. Noorte digitaalsete oskuste arendamine ja nende koostöö ametiasutustega loob aluse kohaliku arengu edendamiseks ning avalike teenuste uuendamiseks ja jätkusuutlikuks kasvuks.  
(<https://egov.ee/portfolio/egov4youth/>)

### **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostööks**

1. eID kompetentsikeskus: toetada digitaalse identiteedi ja elektroonilise autentimise valdkonna arengut Eestis ja laiemalt. Kompetentsikeskus keskendub innovatsiooni ja teadustöö edendamisele, pakkudes platvormi uute tehnoloogiate ja lahenduste arendamiseks ning rakendamiseks Tallinna Tehnikaülikoolis kui väljaspool seda.

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

\*eID kompetentsikeskusega koostöös uudsete innovatsioonilahenduste arendamine ning rakendamine elektroonilise autentimise valdkonnas;

\*suurendamaks tööstusmagistrantuuri võimalusi tulevikus (tagades praktilisema väärtusega teadus- ja lõputööd) ning võimendada akadeemilist järelkasvu akadeemias;

\*teadmusvahetus ja võrgustiku laiendamine, et toetada erinevate ürituste, koolituste ja konverentside korraldamist/planeerimist, aidates vajadusel leida konkreetse valdkonna spetsialiste oma edulugude või ekspertteadmiste jagamiseks;

\*liitumine Horizon'i konsortsiumiga, et tugevdada rahvusvahelist koostööd ja osaleda teadus- ja arendusprojektides, mis edendavad innovatsiooni ning jagavad väärtuslikke teadmisi;

\*uuringute ja arendustegevuste suunamine turuvajadustele: koostöö ettevõtetega aitab paremini mõista turu vajadusi ja suunata uurimistööd selliselt, et see vastaks ühiskonna ja majanduse ootustele;

### Täiendav info:

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

- 2. Usaldusväärsed IT lahendused
- 4. Innovaatilised ettevõtted ja tulevikku vaatav riigivalitsemine

**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
- 5.2 Majandusteadus ja ärimus

CERCSi teaduserialad:

- P170 Arvutiteadus, arvutusmeetodid, süsteemid, juhtimine (automaatjuhtimisteooria)

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

Hinnang seisundile:

Seisundi selgitus:

Vajaminev taristu igapäeva uurimisrühmaga seotud teadusarenduseks on olemas või vajadusel kättesaadav koostööpartnerite käest.

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

1. Euroopa Komisjon. (partnerülikoolid- UPM; Polimi; FAU)

AI4Gov kompetentsiraamistiku väljatöötamine: TalTech töopaketi oli välja töötada 2023 aastaks universaalne kompetentside standard, mis määratleb ära funktsionaalse spetsialisti tingimused, kelle kompetents on vastav tehisintellekti rakendamiseks avalikes teenustes.

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

### **Välispartnerid:**

- GovStack (<https://www.govstack.global/about/>)
- ITU Academy (<https://academy.itu.int/>)
- Riga Technical University

### **Eesti partnerid:**

- Justiits- ja Digiministeerium
- ITL klaster
- eGa; ESTDEV

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

### **1. Rahvusvaheliste delegatsioonidega kohtumised:**

Aastasse 2024 jäi mitmed kohtumised rahvusvaheliste delegatsioonidega, näiteks delegatsioonid Malaisiast, Rumeeniast, Keeniast, Jaapanist ja kohtumine UNICEF GIGA liikmetega.

Kohtumised võimaldavad jagada uurimistulemusi ja edulugusid, luues uusi koostöövõimalusi teadlaste, ettevõtete ja institutsioonidega üle maailma. Lisaks toetavad need kultuuridevahelist teadmusvahetust ja aitavad tõsta teadlikkust Eesti teadustöö kvaliteedist ja rakendusvõimalustest. Delegatsioonide kaudu levib info rühma saavutuste kohta laiemalt, suurendades seeläbi teadustöö mõjukust ja partnerlussuhteid.

### **2. Uurimisrühma uuendatud kodulehekülg (<https://egov.ee/>):**

Uuendatud koduleht tõstab uurimisrühma liikmete teadus- ja arendustegevuse (TA) nähtavust nii akadeemilises ringkonnas kui ka laiemas avalikkuses. See annab potentsiaalsetele partneritele ja rahastajatele parema ülevaate rühma tegevustest ja saavutustest. Koduleht saab olla platvormiks, kus esitleda rühma liikmete teadustöid, projekte, publitseeritud artikleid, konverentsiettekandeid ja edulugusid. See aitab tõsta rühma liikmete töö väärtust ja mõjukust.

### **3. Kodumaisete kui rahvusvahelistel konverentsidel osalemine:**

Käesoleval aastal sai osaletud mitmel kodumaisel konverentsil nagu: „AI praktikute aastakonverents 2024“; „eGa konverents 2024- Unlocking Digital Success“;

ja mitmel rahvusvahelisel konverentsil: „AHFE conference 2024“ (üle online); ITU Digital Skills Forum 2024;

Need konverentsid loovad võimalusi teadmusvahetuseks, uute koostööpartnerite leidmiseks ja innovaatiliste ideede arutamiseks.

### **4. RAHVUSVAHELISTE SUVE-JA TALVEKOOLIDE PAKKUMINE:**

SUVE-JA TALVEKOOLID TOOVAD KOKKU VÄGA ERITAUSTAGA INIMESI ÜLE MAAILMA NING ANNAB VÕIMALUSE UURIMISRÜHMA LIIKMETEL JAGADA OMA TEADMISI JA PRAKTILISI KOGEMUSI, LUUA UUSI KONTAKTE NING TUTVUSTADA TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOI PAKUTAVAD

VÕIMALUSI. KOOSTÖÖS AVATUD ÜLIKOOLOGIGA TOIMUS MÖÖDUNUD AASTAL „SECURE E-GOVERNANCE“ SUVEKOOL 5.-14.08.2024 JA „DIGIGOV MICRODEGREE“ TALVEKOOL 5.-9.02.2024.

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

**Rahvusvahelised:**

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

Akadeemiline nõustamine Kratikava 2024+ tegevuskava (13.10.2023) koostamisel Eesti ülikoolidega. Kohtumise korraldaja oli Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, eesmärgiks oli kaasata Tallinna Tehnikaülikooli, Tallinna Ülikooli ja Tartu ülikooli uue Kratikava eesmärkide kaardistamiseks ning olemasolevate probleemide lahendamiseks ning kuidas ülikoolid saaksid panustada projekti arengusse.

Karl Storz Video Endoscopy Estonia OÜ tööstusmagistrantuuri koostöövormi edendamine, ühiste uurimisteemade kaudu, mis on seotud tugi/põhiprotsesside digitaliseerimisega ja automatiseerimisega.

Euroopa Komisjoni nõustamine IFRAG ekspertgrupi kaudu: Euroopa Komisjoni IFRAG (Innovation Friendly Regulation Advisory Group) ekspertgrupp, mille fookuseks on arenevad digitehnoloogiad avalikus sektoris. Eesmärk oli anda ekspertnõu uute digitaaltehnoloogiate kohta ning teha ettepanekuid innovatsioonisõbraliku poliitika kujundamise hõlbustamiseks Euroopa Liidus.

Strathmore Ülikooli nõustamine: E-riigi alase magistriõppekava arendamise nõustamine ning e-valitsemise teadlikkuse tõstmine IKT lahenduste kasutamisel Keenias. Projekti põhieesmärk on keskenduda koostöös Keenia Strathmore Business Schooliga (SBS) ülikooliga digipädevusi ja e-valitsemist kajastava interdistsiplinaarse õppekava väljatöötamisele. Arendustegevuste käigus viiakse läbi töötoad tutvustamiseks Eesti kaasusi. Toimuvad koolitusprogrammid SBS õppejõududele, kes on seotud õppekava arendusega läbi ühise teadmiste platvormi.

Väikeste ja keskmiste suurustega ettevõtete nõustamine Upgrade2Europe projekti kaudu: Projekti eesmärk on toetada väikseid ja keskmise suurusega ettevõtteid Euroopa turule minekuga. Projekti raames pakutakse haridusasutustele, VKEdele ja SMOdele vajalikke materjale, et töötada välja ja rakendada oma Euroopa Liidu



strateegia, tõhustades seeläbi oma tegevust Euroopas piiriüleselt.

Uurimisrühma veebilehe aadress

**Eesti keeles**

<https://egov.ee/nextgen-group/>

**Inglise keeles**

## 10 Mittelineaarsete juhtimissüsteemide töörühm

### Uurimisrühma juht

Juri Belikov, kaasprofessor tenuuris, [juri.belikov@taltech.ee](mailto:juri.belikov@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Juri Belikov, Doktor, kaasprofessor tenuuris

Ülle Kotta, Doktor, juhtivteadur

Arvo Kaldmäe, Doktor, teadur

Vadim Kaparin, Doktor, teadur

Abiodun Emmanuel Onile, Magister, doktorant-nooremteadur

Maris Tõnso, Doktor, teadur

Amna Rahmatullah, Magister, doktorant-nooremteadur

Maris Tõnso, Doktor, teadur

Svyatoslav Demin, ,

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

mittelineaarsed juhtimissüsteemid; energiasüsteemid; algebralised meetodid

#### Inglise keeles

non-linear control systems; algebraic methods; power systems

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Töörühm on Eesti juhtiv uurimisüksus automaatjuhtimise valdkonnas, keskendudes mittelineaarsetele juhtimissüsteemidele sh mittesiledatele, hübriidsetele ja ajas hilistuvatele süsteemidele. Rühm on oluliselt panustanud konstruktiivsete algebraliste meetodite arendamisele. Välja on arendatud universaalne algebraline meetoodika, mis lihtsustab erinevate mittelineaarsete juhtimissüsteemidega seotud probleemide uurimist ühildatud vaatenurgast. Kuigi arendatakse valdavalt rakendustest sõltumatuid üldisi meetodeid, mille rakendatavus sõltub pigem matemaatiliste mudelite dünaamilistest omadustest, on rühm hiljuti keskendunud mõnele hoolikalt valitud rakendusele. Nimelt, tegeletakse autonoomsete allveerobotite ja ionjuhitavate elektroaktiivsete polümeertäiturmehhanismide juhtimisega. Viimaste aastate jooksul on erilist tähelepanu pööratud energeetika valdkonnaga seotud praktilistele probleemidele, mis on modelleeritud mittelineaarsete juhtimissüsteemidena. Täpsemalt, uuritakse taastuvenergiaallikate võrku integreerimise fundamentaalseid piire ning, kasutades meetodeid optimaaljuhtimisteooriast, madala inertsiga energiasüsteemides asuvate jaotatud energiasalvestusseadmete võimalikke kitsendusi. Lisaks sellele arendab ja edendab rühm jätkuvalt infotehnoloogia laialdast levikut energiavaldkonnas. Rühma unikaalset pädevust ning teoreetilisi tulemusi on võimalik rakendada erinevates valdkondades, sealhulgas (a) robotikas, (b) tööstusprotsesside juhtimises, (c) elektrotehnikas ja energeetikas. vt ka <https://cc.ioc.ee/dokuwiki/doku.php?id=et:start>

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

The group is a leading Estonian research unit in automatic control, focusing on nonlinear control systems, including also hybrid and time-delay systems. The group has made a significant contribution to the development of constructive algebraic methods. A universal algebraic methodology has been developed that simplifies the study of very different problems for nonlinear control systems from unified perspective. Although the group is developing predominantly application-independent general methods determined by the dynamic properties of the mathematical models, , The group has been recently focused on a few carefully selected applications. These include control of autonomous underwater vehicles and ionic polymer-metal composite actuators. Within the last few years, special attention has been paid to the study of practical problems arising in the limits of renewable energy integration, and determining the possible limitations of distributed energy storage devices in low inertia power systems utilizing methods from optimal control theory. In addition to the above, the group continues to develop and promote the wide spread of IT in the energy field.

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

TF24019IT Energiatõhususe tippkeskus 2024 - 2030

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/d12bb7c4-955d-4903-b833-111da7f7a6c6>

PRG1463 Madala inertsusega süsteemide modelleerimine ja juhtimine (LINES) 2022 - 2026

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/fda80a86-4d3e-4497-aa46-36b697754d75>

PSG833 Häiringute hindamise meetodite arendus mittelineaarsetele juhtimissüsteemidele 2023 -

2027 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/3060914e-f7be-4b27-88db-caae00f77560>

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

Simha, Ashutosh; Kaparin, Vadim; Mullari, Tanel; Kotta, Ülle (2024). Extended observer forms for submersive discrete-time systems. IEEE Transactions on Automatic Control, 69 (4), 2684–2688. DOI: 10.1109/TAC.2023.3336253. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/83c1b5a7-57c9-4b14-95c6-e0acedd4a9f6>

Machlev, R.; Heistrene, L.; Perl, M.; Levy, K.Y.; Belikov, J.; Mannor, S.; Levron, Y. (2022). Explainable Artificial Intelligence (XAI) techniques for energy and power systems: review, challenges and opportunities. Energy and AI, 9, 100169–13 pp. DOI: 10.1016/j.egyai.2022.100169.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/686b8a4a-1803-4fbc-a618-07d4572ebdfa>

Onile, Abiodun E.; Belikov, Juri; Levron, Yoash; Petlenkov, Eduard (2023). Energy efficient behavior modeling for demand side recommender system in solar microgrid applications using multi-agent reinforcement learning model. Sustainable Cities and Society, 90, Art. no. 104392–20 pp. DOI:

10.1016/j.scs.2023.104392. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/12f6f73c-4e65-4cba-8bc2-3e0736cdd44a>

Hokmabad, Hossein Nouroollahi; Husev, Oleksandr; Vinnikov, Dmitri; Belikov, Juri; Petlenkov, Eduard (2023). Day ahead PV output power forecasting utilizing boosting recursive LightGBM-LSTM framework. Proceedings of 2023 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-EUROPE), Grenoble, France, 23-26 October, 2023. IEEE, 1–5. DOI: 10.1109/ISGTEUROPE56780.2023.10408090.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/b622dd83-8526-42f3-b104-20e321e80bda>

Kaldmäe, Arvo; Kotta Ülle (2024). An algorithm to transform discrete-time state equations into the extended observer form. Automatica, 163, Art. no. 111598; 8 pp. DOI:

10.1016/j.automatica.2024.111598. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/cfca4131-6aa8-4c03-b19b-c7859825a0cb>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### Eesti keeles

Põhitulemused on seotud mittelineaarsete diskreetaja olekuvõrrandite teisendamisega üldistatud olekutaastaja kujule kasutades parametrizeeritud olekuteisendust. Üldistus tähendab seda, et mittelineaarsed liikmed sisaldavad peale sisendi ja väljundi ka nende ajalisi nihkeid, mis võimaldab oluliselt leevendada klassikalisi lahenduvustingimusi. Antud teemal on publitseeritud 2 ajakirjaartiklit, 1 on esitatud ja 2 valmimas. Erinevates artiklites on lähtutud erinevatest probleemipüstitustest, eeldustest juhtimissüsteemile ning on kasutatud erinevat matemaatilist aparatuuri. Lisaks on võrreldud erinevaid lähenemisi. Antud tulemused võimaldavad konstrueerida olekutaastaja, kus oleku vea dünaamika on lineaarne. Ka on näidatud, et erinevalt pidevatest süsteemidest on diskreetaja mittelineaarne süsteem alati viidav üldistatud olekutaastaja kujule.

Lisaks eespool nimetatule uurime jätkuvalt erinevaid rakendusi väljatöötatud teooriale energeetika- ja hoonetevaldkonnas. Konkreetselt töötasime välja mitmeid optimaalse juhtimise meetodeid (MPC ja LQR variatsioonid) singulaarsete süsteemide jaoks - süsteemide jaoks, mida saab kirjeldada nii algebraliste kui ka diferentsiaalvõrrandite abil. Need on väga levinud meditsiinis, energiasüsteemides ja majandusrakendustes. Lisaks arendasime edasi arukate võrkude hübriidse digitaalsete kaksikute raamistikku ja rakendasime seda nõudluspoolsel soovitusel osutamise probleemile. Jätkasime seletava tehisintellektipõhiste meetodite arendamist.

### Inglise keeles

The main results are related to the transformation of nonlinear discrete state equations into a generalized state vector representation using a parametrized state representation. The generalization implies that the nonlinear members contain not only their input and output but also their time shifts, which allows a significant relaxation of the classical solvability conditions. On this topic, 2 journal articles have been published, 1 has been submitted, and 2 are in

preparation. Different problem statements, assumptions for the control system, and different mathematical apparatus have been used in the different articles. In addition, different approaches have been compared. The results obtained allow the construction of an observer with linear state error dynamics. It is also shown that, unlike continuous systems, a discrete nonlinear system is always reducible to a generalized observer.

In addition to the mentioned above, we keep exploring various applications of the developed theory in energy and building domains. Specifically, we developed several optimal control techniques (variations of MPC and LQR) for the singular systems—systems that can be described by both algebraic and differential equations. They are very common in medical, power systems, and economic applications. Furthermore, we further developed the hybrid digital twins framework of the smart grids and applied it to the problem of demand-side recommendation service provision. We continued developing explainable AI-based methods.

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

### Eesti keeles

<https://teadus.postimees.ee/8099095/eesti-tehisaru-teadlased-tulevikus-moistab-maja-elaniku-motteid-ja-soove>

### Inglise keeles

<https://teadus.postimees.ee/8099095/eesti-tehisaru-teadlased-tulevikus-moistab-maja-elaniku-motteid-ja-soove>

Nonlinear Control Systems Group is actively looking for applications of the developed methods in various domains. Specifically, we are now focused on problems rising from Cognitive Buildings-the concept that promises to revolutionise the entire domain. It requires innovations on all levels primary driven by ICT.

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

### Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas

<https://taltech.ee/uudised/taltech-magistri-uurimistoost-haaras-kinni-tehnoloogiaettevõtte>

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/635cdcda-d47a-4e42-b761-1e05c72cbd45>

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/e6f65fbf-e674-4740-b217-18f38990bcb9>

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/24a57b6a-d63a-45c1-8754-7ce545e6678b>

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/58fa25ee-246b-4c89-afd5-13c4f9d75844>

<https://trialoog.taltech.ee/hea-koostoo-paistab-labi-hea-koostoo-paistab-katte/>

[<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/58fa25ee-246b-4c89-afd5-13c4f9d75844>]

[<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/24a57b6a-d63a-45c1-8754-7ce545e6678b>]

### Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostööks

\* Juhtimissüsteemide analüüs, disain ja süntees

\* Energiainformaatika

\* Andmeanalüüsi ja tehisintellekti rakendused energeetika valdkonnas

### Ettevõtluskoostöö eesmärk

### Täiendav info:

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

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

**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
- 2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

CERCSi teaduserialad:

P170 Arvutiteadus, arvutusmeetodid, süsteemid, juhtimine (automaatjuhtimisteooria)

**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**

\* IEEE robustsete ja keerukate süsteemide töörühma liige / Member of the IEEE

TC on Robust and Complex Systems

\* IFAC'i mittelineaarsete juhtimissüsteemide töörühma liige / Member of the

IFAC Technical Committee on Non-Linear Control Systems

\* IEEE Ad-hoc Educational committee

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

**Välispartnerid:**

- The Viterbi Faculty of Electrical Engineering, Technion, Israel, Prof. Y. Levron
- Bialystok University of Technology, Poland, Faculty of Computer Science, Prof. Z. Bartosiewicz
- Shamoon College of Engineering, Dr. D. Baimel

**Eesti partnerid:**

- TalTech, School of IT, Prof. E. Petlenkov
- TalTech, School of Engineering, Leading researcher, D. Vinnikov
- R8Technologies, Estonia, Dr. A. Köse

**Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

\* <https://teadus.postimees.ee/8099095/eesti-tehisaru-teadlased-tulevikus-moistab-maja-elaniku-motteid-ja-soove>

\* <https://novaator.err.ee/1609405705/hajusa-elektritootmise-populaarsus-voib-tougata-elektrivorgud-surmaspiraali>

\* <https://taltech.ee/uudised/elektrivorgu-surmaspiraal-kas-teoreetiline-kontseptsioon-voi-reaalsus>

\* <https://trialoog.taltech.ee/hea-koostoo-paistab-labi-hea-koostoo-paistab-katte/>

\* <https://trialoog.taltech.ee/uus-aeg-nouab-uusi-uurimisvaldkondi-kas-energiainformaatika-viib-eesti-majanduse-ueele-tousule/>

\* <https://www.rup.ee/ajakirja-lood/tehisintellekt-rohepoorde-eesmarkide-teenistuses>

\* <https://www.eurekalert.org/news-releases/1056520>

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

Ü. Kotta, Tallinna Tehnikaülikooli teenetemedal 'Mente et Manu'

**Rahvusvahelised:**

Rahvusvahelise konverentsi International Conference on Power, Control, and Computing Technologies parima artikli auhind, "Evaluating model performance through a user-centric explainable framework for probabilistic load forecasting models" by R. Robin, L. Heistrene, J. Belikov, D. Baimel, and Y. Levron

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

**Uurimisrühma veebilehe aadress**

**Eesti keeles**

<https://cc.ioc.ee/dokuwiki/doku.php?id=et:start>

**Inglise keeles**