

# Virumaa Kolledž

## Instituudi 2025. aasta teadus- ja arendustegevuse ülevaade

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

\* Keemiatehnoloogiate Kompetentsikeskuse teadurite ja inseneride loodud leiutisele – meetod 2,4-dihüdrosü-3-metüülbensoehappe saamiseks – anti patent EE05883B1. Tegemist on uue ja kaitstud keemilise sünteesimeetodiga, millel on potentsiaalne rakendus keemiatööstuses. Patendi saamine kinnitab Virumaa kolledži teadus- ja arendustöö rakenduslikku suunitlust ning võimekust luua teadmist, millel on selge majandusliku väärtuse loomise potentsiaal.

\* VIDRIKi arendusgrandi toel viidi ellu projekt „Prototüüpseadme arendamine tahke materjali omaduste määramiseks digipildi elementide statistilise jaotusgraafiku abil“ kogumaksumusega 43 208 eurot. Projekti tulemusena töötati välja digipilditöötlusel ja tehisintellektil põhinev prototüüpseade, mis võimaldab tööstuslikes tingimustes määrata põlevkivi kütteväärtust reaajas ilma laboratoorsete analüüsideni ning toetab tootmisprotsesside tõhusamat juhtimist ja optimeerimist põlevkivitööstuses.

\* Virumaa kolledžis toimib 2025. aastal 4 iseseisvat uurimisrühma.

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

- > 1. Uurimisrühmade edukas käivitamine ja koostöö TalTech peamaja ja Virumaa kolledži vahel;
- > 2. teadusinvesteeringute komplekteerimine ja töösse rakendamine; kokku ca 5 miljonit EUR väärtuses;
- > 3. teadlaste, doktorantide kaasamine uurimisrühmadesse;
- > 4. teenuste väljatöötamine ja pakkumine ettevõtluse toetamiseks.

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

#### *Väljakutse*

1. Teadusaparatuuri soetamine.
2. Täiendavate teadlaste ja doktorantide kaasamine
3. Teadusartiklite kirjutamine.
4. Professori valimine.

#### *Täitmine/tulemused*

1. Kaasatud on 4 uut doktoranti 2. Valiti struktuurikeemia professor 3. Hangiti TA taristu seadmeid 2,5 miljonit EUR eest.

### **Olulisemad soetatud seadmed**

1. Gaaskromatograaf - mass-spektromeeter
2. Automaatne seade fraktsioonikoostise määramiseks
3. Veski plastiku jt proovide ettevalmistamiseks
4. Ekstruuder proovide granuleerimiseks
5. Perioodiline rõhureaktor, 100 ml
6. Pidev rõhuraktor, 1.0 x 25 cm
7. Pulber röntgendifraktomeeter (PXRD)
8. ICP-MS
9. HPLC-MS
10. Akustiline resonantssegur
11. Kemosortptsiooni seade
12. High resolution FTIR (infrapunane) spectrophotometer equipped with IR optical microscope
13. Scanning Electron microscope
14. Vurrkattur (Spin Coater) + UV-ozone cleaning and curing system
15. Metallurgical Microscope (high resolution)
16. Potentiostat (materjalide elektrijuhtivusomaduste uurimiseks)
17. Special climate chamber
18. Veepuhastussüsteem + Millipore water
19. Materjalide füüsikaliste ja mehaaniliste omaduste uurimise komplekt
20. Mobiilne robot + manipulaator
21. IoT katse- ja demoseadmed
22. AIoT arendusmoodulid komplektis mõõteseadmetega
23. Trükkpladidradade printer koos juhtarvutiga
24. Elektromeeter elektrilise juhtivuse määramiseks
25. Laservibromeeter
26. trükkplaatide 3D printer
27. drooniplatvormid 3D monitooringuks
28. EEG (electroencephalography, recommend dry- or hybride electrodes)

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

piisav

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

Suur osa TA taristust on täiesti uus. Osaliselt on ka uuendatud ja täiendatud olemasolevat TA taristut.

# 1 Rakenduskeemia uurimisrühm

## Uurimisrühma juht

Allan Niidu, kaasprofessor tenuuris, [allan.niidu@taltech.ee](mailto:allan.niidu@taltech.ee)

## Uurimisrühma liikmed

Allan Niidu, Doktor, kaasprofessor tenuuris  
Bijan Barghi, Magister, doktorant-nooremteadur  
Diana Berseneva, Magister, doktorant-nooremteadur  
Anastassia Raag, Magister, doktorant-nooremteadur  
Moonika Ferschel, Kõrgharidus, laboratooriumi juhataja  
Martin Jürisoo, Rakenduskõrgharidus, keemiainsener  
Dmitri Tsõvarev, Magister, Tööstusdoktorant  
Tanel Mõistlik, Rakenduskõrgharidus, keemiainsener  
Viktorija Mironova, Magister, doktorant-nooremteadur

## Võtmesõnad

### Eesti keeles

metallorgaanilised võrestruktuurid; CO<sub>2</sub> adsorptsioon ja kasutamine (CCSU); heterogeenne katalüüs; adsorptsioon; nanostruktuurid; põlevkivi kui keemiatööstuse toore; mehhanokeemia

### Inglise keeles

metal-organic framework; CO<sub>2</sub> adsorption and utilization (CCSU); heterogeneous and photocatalysis; adsorption; nanomaterials; liquid separation; oil shale as raw material for chemical industry; mechanochemistry

## Uurimisrühma kompetentside tutvustus

### Rühma ülevaade eesti keeles

Käesoleval ajal tegeletakse CO<sub>2</sub> ja põlevkivifenoolide koosväärimisega loomaks katalüsaatoreid ja adsorbente kaasaegse keemiatööstuse tarbeks, lisaks ollakse tegevad ka väävliühendite adsorptsiooni ja oksüdatsiooni valdkonnas. Üheks uurimissuunaks on lisandväärtuse loomine kaevanduse heitvetest väärtuslike metallide eraldamise teel. Koostöös Montpellier' ülikooliga uuritakse mehanokeemilisi bioaktiivsete komplekside moodustumisreaktsioone.

### Rühma ülevaade inglise keeles

The research group's competencies include: • Co-valorization of CO<sub>2</sub> and oil shale into catalysts and adsorbents for chemical industry. • Application of said catalysts to oxidation of organic sulfur and relevant adsorbents to adsorb sulfurous compounds from liquid hydrocarbon streams. • Extracting added value from mining waste and process waters via selective removal of required metals. In cooperation with University Montpellier, mechanochemical formation of API-s and metal salts are studied

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

ÕÜF16 Ringmajanduslik mittefossiilse CO<sub>2</sub> väärimine 2023 - 2029

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/07d6d9cd-2df6-4c01-b532-c422eef7a19f>

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

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

TEM-TA96 CO<sub>2</sub>-st valmistatud süsinikmaterjalid energia salvestamiseks ja tootmiseks 2025 - 2028

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/b5d0da0f-269d-4199-96eb-32b7b2e33fe0>

ÕÜF17 Haruldaste muldmetallide eraldamine, väärimine ja taaskasutus 2023 - 2029

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/d9265521-05fe-4da1-8d61-66844e798c17>

TK228 Strateegilise mineraalse ja süsiniku-põhise ressursi ringmajanduse tippkeskus 2024 - 2030

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/fe0f04f9-9734-4715-8761-2daf92c553e2>

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

Barghi, Bijan; Mõistlik, Tanel; Raag, Anastassia; Volokhova, Maria; Reile, Indrek; Seinberg, Liis; Mikli, Valdek; Niidu, Allan (2024). Deep Oxidative Desulfurization of Planar Compounds Over Functionalized Metal-Organic Framework UiO-66(Zr): An Optimization Study. ACS Omega, 9 (22), 23329–23338. DOI: 10.1021/acsomega.3c09971.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/57e15575-c9f7-43d2-85a4-e64fe3b01886>

Barghi, Bijan; Jürisoo, Martin ; Volokhova, Maria; Seinberg, Liis; Reile, Indrek; Mikli, Valdek; Niidu, Allan (2022). Process Optimization for Catalytic Oxidation of Dibenzothiophene over UiO-66-NH<sub>2</sub> by Using Response Surface Methodology. ACS Omega, 7 (19), 16288–16297. DOI:

10.1021/acsomega.1c05965. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/e9ae1c9b-ff47-4a03-b600-d5d5ff12a199>

Barghi, B.; Mõistlik, T.; Panov, D.; Raag, A.; Järvik, O.; Niidu, A. (2025). Kinetic Modeling of Deep Oxidative Desulfurization over Functionalized UiO-66 from a Model Fuel Using Complex Reaction Theory. ACS Omega, 10 (16), 15947–15958. DOI: 10.1021/acsomega.4c06722.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/c90c5124-cecb-441a-bdac-db98fb08e9f0>

Niidu, A.; Grenman, H.; Muldma, K.; Kaldas, K.; Mikli, V.; Lopp, M. (2022). Behaviour of Estonian oil shale in acidic oxidative conditions. Frontiers in Chemical Engineering, 4. DOI:

10.3389/fceng.2022.590115. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/6633e5bc-baa8-4587-865a-df5fdc49a078>

Parve, J.; Kudryashova, M.; Shalima, T.; Villo, L.; Ferschel, M.; Niidu, A.; Liblikas, I.; Reile, I.; Aav, R.; Gathergood, N.; Vares, L.; Pehk, T.; Parve, O. (2023). Stereoselective Synthesis of  $\gamma$ -(Acyloxy)Carboxylic Acids and  $\gamma$ -Lactones Features the Switch of Stereopreference of CalB Along Sodium  $\gamma$ -Hydroxycarboxylate Homologues. European Journal of Organic Chemistry, 26 (3), e202201329. DOI: 10.1002/ejoc.202201329.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/70a36db7-45aa-4d95-a8da-cccc31668e58>

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

### **Eesti keeles**

2025. a. jätkati ÕÜF16 projektiga ja ka ÕÜF17. Panustati ka Tem-Ta projektidesse (Tem-TA96 ja Tem-TA138) ning Sources-e tippkeskusesse. Avaldati üks teadusartikkel ja üks raamatupeatükk. Rühma esindajad osalesid mitmetel

konverentsidel (Florida Semiconductor Summit, PDAC, Hydrogen Seminar in Aachen, EUCHEMS konverents ja REGWA) nii posterettekannete kui ka suuliste ettekannetega ja külastasid Kyoto Ülikooli, Riikliku magnetite laborit Ameerika Ühendriikides, RWTH Aachenit ja Stralsundi Tehnikakõrkkooli.

### **Inglise keeles**

In 2025, work continued on the ÖÜF16 project as well as ÖÜF17. Contributions were also made to the Tem-TA projects (Tem-TA96 and Tem-TA138) and to the Sources Centre of Excellence. One scientific article and one book chapter were published.

Representatives of the group participated in several conferences (Florida Semiconductor Summit, PDAC, Hydrogen Seminar in Aachen, EUCHEMS Conference, and REGWA), giving both poster presentations and oral presentations. They also visited Kyoto University, the National High Magnetic Field Laboratory in the United States, RWTH Aachen University, and Stralsund University of Applied Sciences.

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

### **Eesti keeles**

2025. a. koostati Rakenduskeemia rühma osalusel kaks Kliimaministeriumi tellitud teekaarti:

1. CO<sub>2</sub> neutraalsed ja vähese heitmega kütused
2. Puidu väärindamine

Varasemalt on meie uurimisrühm on osalenud mitmetes Eestile oluliste uuringute läbiviimises, mis on seotud olnud süvatehnoloogiate hetkeseisu ja tulevikupotentsiaali ning kohalike omavalitsuste ringmajanduse võimekuse kaardistamisega. Samuti on osaletud nii Vesiniku teekaardi kui ka KEVADE juhtkomisjonis.

### **Inglise keeles**

During the year 2025 our research group was part of two teams to work on two different roadmaps commissioned by the Ministry of climate. Firstly, the roadmap for CO2 and low emission fuels and secondly, the roadmap for the wood valorisation.

Previously, the research group has participated in several studies of importance to Estonia, which have been related to the current state and future potential of deep technologies and mapping the circular economy capabilities of local governments.

Previously, the group leader has participated in both the Hydrogen Roadmap and the KEVADE steering committee.

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

### Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas

Puidu biokeemilise väärimise teekaart:

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/a7a462fc-599f-45f7-a87f-3bf314488e05>  
<https://kliimaministeerium.ee/sites/default/files/documents/2025-11/CO2%20vabade%20v%C3%B5i%20v%C3%A4hese%20heitmega%20k%C3%Bctuste%20tootmise%20ja%20tarbimise%20teekaart.pdf><https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/a7a462fc-599f-45f7-a87f-3bf314488e05>

CO2 neutraalsete või vähese heitmega kütuste teekaart:<https://kliimaministeerium.ee/sites/default/files/documents/2025-11/CO2%20vabade%20v%C3%B5i%20v%C3%A4hese%20heitmega%20k%C3%Bctuste%20tootmise%20ja%20tarbimise%20teekaart.pdf>

<https://kliimaministeerium.ee/sites/default/files/documents/2025-11/CO2%20vabade%20v%C3%B5i%20v%C3%A4hese%20heitmega%20k%C3%Bctuste%20tootmise%20ja%20tarbimise%20teekaart.pdf>  
[<https://kliimaministeerium.ee/sites/default/files/documents/2025-11/CO2%20vabade%20v%C3%B5i%20v%C3%A4hese%20heitmega%20k%C3%Bctuste%20tootmise%20ja%20tarbimise%20teekaart.pdf>]

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/a7a462fc-599f-45f7-a87f-3bf314488e05>  
<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/a7a462fc-599f-45f7-a87f-3bf314488e05>

## **Uurimisrühma TA rakenduskompetentsid ettevõtluskoostöök**

Uurimisrühm pakub järgmisi kompetentse:

1. Keemiline analüüs, nii kvalitatiivne kui ka kvantitatiivne
2. Reaktsioonide uurimine
3. Eksperimendi disain
4. Keemiliste tehnoloogiate arendus ja väljatöötamine
5. Materjalide omaduste uurimine
6. Uudsete poorsete materjalide väljatöötamine
7. Tehnilis-majanduslike hinnangute andmine tehnoloogiatele
8. Tahkefaasireaktsioonide uurimine - keskkonnasäästlike tehnoloogiate arendus

## **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Plaanis on liituda Horizonsi konsortsiumiga Waste2H2, eesmärgiga anda sisse taotlus käeoleva aasta kevadises taotlusvoorus. Meie töörühm osaleb RMTL-i kaudu EIT Raw Materials võrgustikus.

Plaanis on tuua 2026. a. 35 kEUR ettevõtluslepinguid.

## **Täiendav info:**

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

- 3. Keskkonnaressursside vääristamine
- 

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

Frascati Manuali teadusvaldkonnad:

- 1.4 Keemiateadused

## 2.4 Keemiatehnika

CERCSi teaduserialad:

P395 Organometalliline keemia

T150 Materjalitehnoloogia

T370 Süsinikukeemia, naftakeemia, kütuste ja lõhkeainete tehnoloogia

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

Hinnang seisundile:

hea

Seisundi selgitus:

Pulberröntgendifraktsiooniseade tahke kristalsete materjalide tuvastamiseks ja faasipuhtuse määramiseks. Kõrgtemperatuurne reaktsioonikamber materjalide stabiilsuse uurimiseks kõrgetel temperatuuridel erinevates gaasilistes atmosfäärides.

Sorptomeeter eripinna ja pooride suuruse jaotuse määramiseks, kolm mõõteporti. Kasutatavad gaasid: N<sub>2</sub>, Ar, Kr, CO<sub>2</sub>.

Kemosorptsiooniseade tahkete materjalide, nt katalüsaatorite või muude poorsete materjalide (tseoliidid, süsinikud) happeliste ja aluseliste tsentrite kvantifitseerimiseks.

HPLC-MS ja GC-MS keemiliste ühendite ja segude koostise kvalitatiivne ja kvantitatiivne analüüs.

TMR spektromeeter prootoni ja süsiniku ning 2D korrelatsioonispektrite mõõtmiseks.

Kõrgtemperatuursed perioodilised Parri rõhureaktorid (50 ja 100 ml) ja Thales Nano pidevreaktor keemiliste tehnoloogiliste protsesside välja töötamiseks ja reaktsioonide uurimiseks.

Kuulveski erinevate adapteritega mehanokeemilisteks katseteks ja materjalide ettevalmistamiseks.

Materials Studio tarkvara materjalide omaduste arvutuslikuks uurimiseks.

**Uurimisrühma liikmete osalus oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös lõppenud aastal**  
Rakenduskeemia töörühma esindaja osaleb Ringmajanduse Tuumiklabori tegevuses juhina. Samuti osaleb rühma juht aktiivselt vesinikutehnoloogiate standardimist

puudutavates tegevustes TK-80 juhina ja ringmajanduse standardimises TK-83 liikmena. Professor Allan Niidu on Eesti Keemiaseltsi, Ameerika Keemiaseltsi ja Kuningliku keemiaseltsi liige. EUCHEMS-i töös osaleb ta Mehanokeemia töörühma liikmena.

Meie rühmast on ka TalTechi esindaja Eesti Vesinikutehnoloogiate ühingu juures ja Eesti Vesinikuoru toetusrühmas.

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

#### **Välispartnerid:**

- Montpellier Ülikool, Prantsusmaa, Prof. Evelina Colacino
- Kyoto Ülikool, professor Ken-ichi Otake
- Stavangeri Ülikool, Norra, Prof. Sachin M. Chavan; NTNU, Norra, Professor Andrei Lobov; RTU, Läti, Professor Maris Turks: Central Mining Institute, Poland, Senior researcher Boguslaw Michalik

#### **Eesti partnerid:**

- KBFI, Martin Jakoobi, Raivo Stern, Kerli Liivand, Sander Ratso, Indrek Reile
- Tartu Ülikool, Professor Marco Kirm, Vanemteadur Ove Oll
- Eesti Vesinikutehnoloogiate ühing; Eesti Vesinikuorg; Eesti Energia; Civitta

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

<https://www.err.ee/1609571065/allan-niidu-ringmajandus-vajab-stabiilset-poliitilist-raamistikku>

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

#### **Riiklikud:**

#### **Rahvusvahelised:**

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

Rakenduskeemia rühma juht oli 2025 a Eesti Energia nõukogu liige.

[Uurimisrühma veebilehe aadress](#)

**Eesti keeles**

**Inglise keeles**

## 2 Kütuste tehnoloogia teadus- ja katselabor

### Uurimisrühma juht

Olga Pihl, teadur, [olga.pihl@taltech.ee](mailto:olga.pihl@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Olga Pihl, Doktor, teadur  
Hella Riisalu, Teaduste kandidaat, vanemteadur  
Viktoria Petrova, Kõrgharidus, keemiainsener  
Maria Tšepelevitš, Kõrgharidus, keemiainsener  
Larissa Kruglenkova, Kõrgharidus, keemiainsener  
Dmitri Suštšik, Magister, vaneminsener  
Larisa Grigorieva, Teaduste kandidaat, teadur  
Jelena Upan, Magister, keemiainsener  
Aleksei Penežko, Doktor, teadur  
Olga Suštšik, Magister, keemiainsener  
Nadežda Merkulova, kutseharidus kesktase, spetsialist  
Julia Kravetskaja, Magister, keemiainsener  
Aleksandr Nossov, Rakenduskõrgharidus, keemiainsener  
Eduard Pihl, Kesk, tehnik  
Olga Kornõljeva, Rakenduskõrgharidus, keemiainsener

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

jäätmekütused; jäätmed; koospürolüüs; pürolüüs; kaheastmeline pürolüüs; hüdrogeenimine; poolkoksistamine; destillatsioon; süngaas; vesinik; tahke ja vedelkütused; vee ja gaasi analüüs; fenoolid; standardimine

#### Inglise keeles

waste fuels; waste; pyrolysis; co-pyrolysis; two-stage pyrolysis; hydrogenation; semi-coking; distillation; syngas; solid and liquid fuels; water and gas analysis; phenols; standardization

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Kütuste tehnoloogia teadus- ja katselabor teostab nii eksperimentaalseid uuringuid kui ka analüüsiteenuseid ning tegeleb meetodikate välja töötamisega. Labori põhiliseks uurimissuunaks on orgaanilist ainet sisaldavate materjalide (sh jäätmete, plastide, rehvide, RDF, SRF) termiline ümbertöötlemine (pürolüüs, kaheastmeline pürolüüs, hüdrogeenimine) erinevatel temperatuuridel ja tingimustel, ning saadud produktide tehnoloogiliste omaduste ja koostise määramine. Fookuses on erinevate materjalide koostöötlemine/ümbertöötlemine keemikaalide saamise eesmärgiga. Teisese toorme koostöötlemine juba ladestatud põlevkivitöötlemise jääkidega omab häid eeldusi olla taaskasutatute jäätmete ringlussevõtu tööstusliku tehnoloogia väljatöötamise aluseks. Labori kompetentside hulka kuuluvad tahkete ja vedelkütuste kvaliteedi määramine vastavalt standarditele ning gaaside ja vedelike proovide komponentkoostise määramine kromatograafiliste ja massispektromeetria meetoditega. Kütuste tehnoloogia teadus- ja katselabor on akrediteeritud vastavalt standardi EVS-EN

ISO/ IEC 17025:2017 nõuetele. Labor osaleb Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskuse EVS/TK 57 "Põlevkivi ja põlevkiviproduktide töötlemine" töörühmas.

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

The Laboratory of Fuel Technology conducts experimental research, provides analytical services, and is also engaged in method development. The research group's main directions include the thermal processing of materials containing organic matter (including waste, plastics, tyres, RDF, and SRF) through pyrolysis, two-stage pyrolysis, and hydrogenation under various temperatures and conditions. The group focuses on the analysis of technological properties and the composition of the resulting products. Particular attention is paid to the co-processing of different materials for the production of chemicals. The co-processing of waste with stored oil shale ash shows strong potential as a basis for the development of industrial technologies for recycling non-recyclable waste. The research group's competencies include the determination of the quality of solid and liquid fuels in accordance with relevant standards, as well as the determination of the component composition of gas and liquid samples using chromatographic and mass spectrometric methods.

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

ÕÜF18 Keemilise ringlussevõtu protsessi arendamine mehaaniliseks ringlussevõtuks mittesobivatele jäätmetele 2023 - 2029 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/ea056a01-8909-47c3-994a-da66b2480e5c>

TK228 Strateegilise mineraalse ja süsiniku-põhise ressursi ringmajanduse tippkeskus 2024 - 2030 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/fe0f04f9-9734-4715-8761-2daf92c553e2>

LEVEE25007 Katalüsaatori tootmine 2025 - 2025 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/78e92f47-a54b-4427-bb16-ef07fe77350e>

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

Penezko, A.; Pihl, O.; Sustsik, D.; Nossov, A.; Khaskhachikh, V. (2025). Production of hydrogen from packaging wastes by two-stage pyrolysis. Waste Management, 206, #115068. DOI: 10.1016/j.wasman.2025.115068. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/62c7766c-e00a-45ee-a17f-7915a7b6beac>

Niidu, A.; Kers, J.; Pihl, O.; Prigorchenko, E.; Tasane, H.; Tuisk, T. (2025). Tehnoloogia teekaart: CO<sub>2</sub> vabade või vähese heitega kütuste tootmine ja tarbimine : Uuringu aruanne. 1–106. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/7a822665-dba9-426b-8e46-b42d6a2888aa>

Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

Eesti keeles

## Inglise keeles

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

#### Eesti keeles

Euroopa Liit on võtnud eesmärgiks ülemineku kõrge ressursitõhususega ringmajandusele. Olemasolev jäätmekäitlussüsteem tagab, et ainult umbes 40% kasutatud jäätmetest võetakse mehaaniliselt ringlusse ning ülejäänu suunatakse ladestamiseks prügilasse või põletatakse jäätmekütusena, mis toob kaasa kõrge CO<sub>2</sub> heite. Mehaaniliseks ringlussevõtuks mittesobivate jäätmete ringlussevõtmise üheks võimaluseks on nende keemiline ringlussevõtt kemikaalide saamise eesmärgil.

Uurimisrühma fookuses on uuringud, mis koosnevad kahest peamisest uuringusuunast: 1. Uuringud laboratoorsete stendikatsete tasemel reaalsete jäätmete toormevaruna ringlusse võtmiseks.

2. Eel- ja rakendusuuringud vedelate ja gaasiliste termilise töötamise saaduste erinevate väärimisvõimaluste sobivuse ja hindamismetoodika väljatöötamiseks kemikaalide saamise eesmärgil. Tulemuseks on olemasolevate tehnoloogiate rakendamine ja uute tehnoloogiate kasutuselevõtmine ringmajanduse edendamisel.

#### Inglise keeles

The European Union has set a goal to transition towards a circular economy with high resource efficiency. The current waste management system mechanically recycles only about 40% of used waste, while the remaining portion is either sent to landfills for disposal or incinerated as spent fuel, leading to significant CO<sub>2</sub> emissions. One viable method for processing waste unsuitable for mechanical recycling is its chemical transformation to extract valuable chemicals.

The focal point of the research team lies in investigations that encompass two primary research directions:

1. Research on the processing of actual waste into raw materials at the level of laboratory bench tests.

2. Preliminary and applied research concerning the development of methodologies for assessing suitability and evaluating various options for refining liquid and gaseous products resulting from thermal treatment to obtain chemicals. The outcome involves the application of existing technologies and the introduction of new technologies to advance the closed-loop economy.

### Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

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

Labori teadus- ja arendustegevuse tulemusi on rakendatud ettevõtluses kütuste ja jäätmete töötlemisega seotud tehnoloogiate arendamisel ning optimeerimisel.

Uurimistulemused toetavad ressursitõhusamate ja keskkonnasäästlikumate lahenduste väljatöötamist, aidates kaasa ringmajanduse põhimõtete rakendamisele.

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

1. Orgaanikat sisaldavate materjalide termiline ümbertöötlemine.
2. Termilise ümbertöötlemise saaduste väärindamine, sh hüdrogeenimine.
3. Kütuste kvantitatiivne ja kvalitatiivne analüüs.
4. Jäätmete kvantitatiivne ja kvalitatiivne analüüs.
5. Metallide sisalduse määramine erinevates proovides.
6. Osakeste jaotuse määramine (alates 10 nm) tahketes materjalidas.
7. TGA analüüs.
8. IP-spektromeetria.
9. MS-GC analüüs.
10. GC analüüs.

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

TA lepingute maht vähemalt 200000 eurot aastas teise toorme ringlussevõtmisega seotud sektorites.

### **Täiendav info:**

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

- 3. Keskkonnaressursside vääristamine
- 3. Keskkonnaressursside vääristamine

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

Frascati Manuaali teadusvaldkonnad:

2.4 Keemiatehnika

1.4 Keemiateadused

CERCSi teaduserialad:

T350 Keemiatehnoloogia ja -masinaehitus

T370 Süsinikukeemia, naftakeemia, kütuste ja lõhkeainete tehnoloogia

P305 Keskkonnakeemia

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

Hinnang seisundile:

väga hea

Seisundi selgitus:

Uurimisrühma taristu sobib termilise töötlemisega seotud uuringute põhjalikuks läbiviimiseks.

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

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

**Välispartnerid:**

- Attarat Mining Company
- Unibuild Materials, FZE
- 

**Eesti partnerid:**

- Enefit Industry OÜ
- ENTEH ENGINEERING AS
- VKG Plastic OÜ; Elcogen AS

**Rühma liikmete TA populariseerimisega seotud tegevused**

**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/kestlike-keemiatehnoloogiate-kompetentsikeskus>

**Inglise keeles**

<https://taltech.ee/en/oil-shale-competence-center/services>

## 3 Rakendusmehaanika ja jätkusuutliku energiatehnoloogia uurimisrühm

### Uurimisrühma juht

Veroonika Shirokova, vanemlektor, [veroonika.shirokova@taltech.ee](mailto:veroonika.shirokova@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Veroonika Shirokova, Doktor, vanemlektor

Tatjana Baraškova, Doktor, vanemlektor

Karolina Kudelina, , teadur

Sergei Bereznev, Doktor, dotsent

Elizaveta Shmagina, Doktor, teadur

### Võttesõnad

#### Eesti keeles

nanokomposiitmaterjalid; korrosioonivastased katted; taastuvenergeetika; päikesepaneelid; jätkusuutliku mõõtmised; seadmete diagnostika; materjalide füüsikalised ja mehaanilised omadused

#### Inglise keeles

Nanocomposite materials; anti-corrosion coatings; renewable energy; solar panels; sustainability measurements; equipment diagnostics; Physical and mechanical properties of materials

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Uurimisrühma teadustegevus on keskendunud järgmistele tegevustele:

1. uudsete taastuvenergiatehnoloogiate (nt päikesepaneelid, tuuleelektrijaamad, mikrokoostootmine jms.) rakendamine elektrisüsteemis;
2. uudsete salvestustehnoloogiate (nt vesinikutehnoloogiad, sh ammoniaagi ja sünteesgaasi tootmine ja salvestamine, Li-Ion akud jms) integreerimine elektrisüsteemi;
3. uudsete paindlikustehnoloogiate (nt tööstuslike protsessides vaheladude, soojuse ja õhu salvestamise võimaluste uurimine paindlikusteenuste pakkumiseks) kasutusele võtmine;
4. digitaalsete ning tehisintellektil põhinevate lahenduste (nt energia tootmise, salvestamise ja tarbimise analüüs, prognoosimine, juhtimine, kaitse ja turvalahendused, seiresüsteemid) rakendamine energiasüsteemides;
5. väike- ning kogukonnaenergeetika lahendused ja rakendamine;
6. kaasaegsed materjalid energiaefektiivuse tagamiseks, nimelt polümeersete nanokomposiitkaitse- ja termoemissiooni kilede uurimine päikese- ja vesinikuenergeetika jaoks;
7. universaalsed korrosioonivastased katted polümeersete nanokomposiitide baasil laia kasutusvaldkonna jaoks tööstuses;
8. jätkusuutlikud mõõtmiste tehnoloogiad (LIDAR-tehnoloogiad, objektide mõõtmine materjalikulu ning kvaliteedi määramiseks, vibratsiooni mõõtmised ja analüüs).

9. seadmete/mootorite diagnostika (enneaegne rikkete tuvastamine, sh ka völlides, laagrites, rihmades). Tehnoloogiliste protsesside jälgimine reaalajas. Vibratsiooni mõõtmised;
10. erineva päritolu ja koostisega materjalide füüsikaliste ja mehaaniliste omaduste eksperimentaalne uurimine, nimelt mikro- ja nanokõvaduse, mikrostruktuuri, pinnakareduse ja kulumiskindluse analüüsiga ning viib läbi tõmbe-, surve- ja muud tüüpi mehaanilisi katseid, et hinnata materjalide töökindlust ja sobivust erinevates rakendustes.

### **Rühma ülevaade inglise keeles**

The research group's scientific activities focus on the following areas:

- \* Implementation of innovative renewable energy technologies (such as solar panels, wind power plants, micro-cogeneration, etc.) in the electricity system;
- \* Integration of novel storage technologies (such as hydrogen technologies, including the production and storage of ammonia and synthesis gas, Li-Ion batteries, etc.) into the electricity system;
- \* Adoption of advanced flexibility technologies (such as examining storage options in industrial processes, including heat and air storage, for offering flexibility services);
- \* Application of digital and AI-based solutions (e.g., analysis, forecasting, management, protection, security solutions, and monitoring systems for energy production, storage, and consumption) in energy systems;
- \* Solutions and implementation of small-scale and community-based energy;
- \* Advanced materials to ensure energy efficiency, specifically researching polymer nanocomposite protective and thermoemission films for solar and hydrogen energy;
- \* Universal anti-corrosion coatings based on polymer nanocomposites for broad industrial applications;
- \* Sustainable measurement technologies (LIDAR technologies, object measurement for material consumption and quality assessment, vibration measurements, and analysis);
- \* Equipment/drivers diagnostics (early fault detection, including in shafts, bearings, belts). Real-time monitoring of technological processes. Vibration measurements;
- \* Experimental investigation of the physical and mechanical properties of materials with different origins and compositions, including the analysis of micro- and nanohardness, microstructure, surface roughness, and wear resistance. The research also involves tensile, compression, and other

mechanical tests to assess the durability and suitability of materials for various engineering applications.

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

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

Baraškova, Tatjana; Kudelina, Karolina; Shirokova, Veronika (2024). New Opportunities in Real-Time Diagnostics of Induction Machines. *Energies*, 17 (13), #3265. DOI: 10.3390/en17133265.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/a166a23f-4690-4213-b3c9-6c72de21355c>

Barashkova, Tatjana; Shirokova, Veronika (2023). Efficiency of diagnosing the condition of rolling bearings in real time. *Ukrainian Metrological Journal*, 4, 34–38. DOI: 10.24027/2306-

7039.4.2022.276322 . <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/0afe2f94-badd-47aa-9d2e-d52f2a0af4f8>

Shmagina, Elizaveta; Antonov, Maksim; Kasikov, Aarne; Volobujeva, Olga; Khabushev, Eldar M.; Kallio, Tanja; Bereznev, Sergei (2024). Structural, Mechanical, and Optical Properties of Laminate-Type Thin Film SWCNT/SiOxNy Composites. *Nanomaterials*, 14, 22, #1806. DOI:

10.3390/nano14221806. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/ba70b019-757c-41e8-a471-3cba035db52e>

Shmagina, E.; Volobujeva, O.; Nasibulin, A.G.; Bereznev, S. (2024). Fabrication of novel SiOxNy/SWCNT laminate-type composite protective coating using low-temperature approach. *Ceramics International*, 50, 18, 34312–34320. DOI: 10.1016/j.ceramint.2024.06.250.

<https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/4bf4a997-0c11-408c-bfcd-4b775137091f>

## Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

### **Eesti keeles**

Aruandeaastal jätkas uurimisrühm aktiivset teadus- ja arendustegevust nanokomposiitmaterjalide rakendamisel taastuvenergeetikas ja energiasalvestustehnoloogiates, elektriajamite töörežiimide analüüsis ning vibratsiooni- ja riketediagnostika arendamisel. Samuti panustati mehaaniliste süsteemide projekteerimise ja diagnostikameetodite edasiarendamisse.

Hangitud teadusaparatuur on aktiivses kasutuses ning võimaldas pakkuda ettevõtetele teaduspõhiseid analüüsi- ja arendusteenuseid. Näiteks rakendati FTIR-spektromeetrit laagrite määrdeainete ja kulumisproduktide uuringutes, toetades ettevõtete tehniliste lahenduste töökindluse hindamist.

Oluline osa tööst oli seotud nanokomposiitsete kaitse- ja antifriktsioonkatete arendamisega ning keemilisi eritingimusi nõudvate teadusseadmete töölerakendamisega. Tulemusi rakendati nii rakendusuuringutes kui ka ettevõtetega tehtavas koostöös.

Aasta jooksul panustati aktiivselt teaduspublikatsioonide ettevalmistamisse ning rahvusvahelise teaduskoostöö arendamisse. Lisaks kujunes välja uus

uurimissuund: Üliõhukeste polüsilasaani/grafeeni hübriidsete hõõrdumisvastaste katete väljatöötamine ja triboloogilise toimivuse uuring. Antud suunale on plaanis võtta ka doktorandi aastal 2026

### **Inglise keeles**

In 2025, the research group systematically developed and implemented new research and development capabilities in nanocomposite materials for renewable energy and energy storage technologies. During this period, a full set of planned scientific equipment was acquired and put into operation, enabling the establishment of the Sustainable Energy Materials Technology Laboratory.

The new infrastructure is actively used in research, education, and industrial collaboration, supporting master's theses and providing analytical and technical services to regional companies. The group delivered several applied research and expert assessment services for industry, demonstrating practical impact and strengthening cooperation with enterprises.

Scientific output during the period includes eight publications addressing machine diagnostics, vibration analysis, nanocomposite and thin-film materials, and energy-related material applications. A new research direction focusing on ultrathin nanocomposite antifriction coatings has been launched, forming the basis for future doctoral research and international cooperation.

The project also strengthened human resources through recruitment of new researchers and a doctoral student, ensuring sustainable development of the research group and reinforcing the role of Virumaa College as a regional R&D competence center.

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

### **Eesti keeles**

Uurimisrühm tegeleb ühiskonnas aktuaalsete ja tulevikus olulisteks muutuvate probleemidega, pakkudes teadus- ja arendustegevuse kaudu lahendusi mitmes valdkonnas. Meie fookus on energeetika ja materjalitehnoloogia innovatsioonil, tööstusprotsesside optimeerimisel ning seadmete töökindluse ja tõhususe parandamisel.

Rühm keskendub järgmistele uurimis- ja arendustegevustele:

\* Päikesepaneelide termoemissiooni kaitsekilede uurimine ja arendamine, sealhulgas kilede korrosioonikaitse analüüs, et suurendada päikesepaneelide vastupidavust ja efektiivsust;

\* Paindlikkustehnoloogiate kasutamine energeetikasektoris, et optimeerida

energia tootmist ja salvestamist vastavalt muutuvatele tingimustele;

\* Elektriagamite töörežiimi parameetrite analüüs ja tulemuste tõlgendamine, et parandada ajamite töökindlust ja energiatõhusust;

\* Seadmete ja rajatiste 3D skaneerimine LIDAR-tehnoloogia abil, sealhulgas kvaliteedi ja materjalikulu määramine, mis võimaldab täpsemaid mõõtmisi ja ressursisäästu tööstuses;

\* Vibratsiooni mõõtmine ja analüüs, sh välitingimustes, et hinnata konstruktsioonide ja seadmete töökindlust ning ennetada võimalikke rikkeid;

\* Mehaaniliste sõlmede ja süsteemide projekteerimine, et arendada innovaatilisi ja tõhusaid tehnilisi lahendusi;

\* Mehaaniliste rikete tuvastamine, prognoosimine ja ennetamise ekspertiis, mis aitab ennetada seadmete ootamatuid rikkeid ja pikendada nende tööiga;

\* Materjalitehnoloogia laboriteenused, mis põhinevad laboriseadmete tehnilistel karakteristikutel ja toetavad erinevaid tööstus- ja teadusprojekte.

Uurimisrühm panustab aktiivselt innovatsiooni, arendades uusi tehnoloogiaid ja meetodeid, mis aitavad lahendada nii tänaseid kui ka tuleviku väljakutseid energeetikas ja inseneerias.

### **Inglise keeles**

The research group addresses current and future societal challenges by providing solutions through research and development activities. Our focus is on innovation in energy and materials technology, optimization of industrial processes, and improving the reliability and efficiency of equipment.

The group specializes in the following research and development activities:

\* Investigation and development of thermoemission protective films for solar panels, including corrosion protection analysis, to enhance the durability and efficiency of solar panels;

\* Exploration of flexibility technologies in the energy sector, to optimize energy production and storage in response to changing conditions;

\* Analysis of operating parameters of electric drives and interpretation of results, to improve the reliability and energy efficiency of drive systems;

\* 3D scanning of equipment and structures using LIDAR technology, including quality and material consumption assessment, enabling more precise measurements and resource savings in the industry;

\* Vibration measurement and analysis, including in outdoor environments, to evaluate the reliability of structures and equipment and prevent potential failures;

\* Design of mechanical assemblies and systems, to develop innovative and efficient technical solutions;

\* Detection, prediction, and prevention of mechanical failures, helping to avoid unexpected equipment breakdowns and extend service life;

\* Material technology laboratory services, based on the technical

characteristics of laboratory equipment, supporting various industrial and scientific projects.

The research group actively contributes to innovation by developing new technologies and methodologies that address both current and future challenges in energy and engineering.

### Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

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

2025. aastal osutati ettevõtetele rakendusuuringute ja tehnilise eksperthinnangu teenuseid, sh tööstusahju tööparameetrite ja keskkonnamõju analüüs ettevõttele Sel Technology OÜ ning konveierirullikute laagrite töökindluse hindamine koostöös NB Service OÜ-ga. Lisaks toetati Avelors Pluss OÜ tootmiseadmete rekonstrueerimist tehniliste lahenduste valikul.

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

##### JÄTKUSUUTLIKU ENERGEETIKA TEHNOLOOGIATE TEADUS- JA KATSELABORI KOMPETENTSID

- \* Päikesepaneelide termoemissiooni kaitsekilede uurimine ja arendamine, sh kilede korrosioonikaitse uurimine;
- \* Paindlikustehnoloogiate kasutamine energeetikasektoris uurimine ja arendus;
- \* El ajamite töörežiimi parameetrite analüüs ja tulemite tõlgendamine;
- \* Seadmete ja rajatiste mõõtmine 3D skaneerimine LIDAR tehnoloogiaga, sh kvaliteedi ja materjalikulu määramine;
- \* Vibratsiooni mõõtmine ja analüüs, sh välitingimustes;
- \* Mehaaniliste sõlmede ja süsteemide projekteerimine,
- \* Mehaaniliste rikete tuvastamine, prognoosimine ning ennetamise ekspertiis;
- \* Muud materjalitehnoloogia laboriteenused lähtuvalt laboriseadmete tehnoloogilistest karakteristikutest.

#### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Uurimisrühm näeb potentsiaali oma teadus- ja arendustegevuse rakendamisel tööstussektoris, sealhulgas koostöös eraettevõtete, teadusasutuste ja rahvusvaheliste konsortsiumitega. Võimalikud koostöövormid ja suunad hõlmavad

järgmist:

\* Laboriteenuste mahu suurendamine, pakkudes täiendavaid mõõte- ja analüüsilahendusi ettevõtetele, kes tegutsevad energeetika, masinaehituse ja materjalitehnoloogia valdkonnas.

\* Teadus- ja arendustöö tellimused alates 500 EUR + KM, pakkudes insener-tehnilisi analüüse, materjalide ja süsteemide katsetamist ning insenerlahenduste väljatöötamist.

\* Uurimisrühma leiutiste ja arenduste komertsialiseerimine, sealhulgas võimalik intellektuaalomandi litsentsimine tööstusettevõtetele.

\* Liitumine Horizon Europe konsortiumidega, et laiendada rahvusvahelist teaduskoostööd ja kaasata rahastust innovaatiliste projektide arendamiseks.

\* Koostöö ettevõtlussektoriga, eelkõige tööstusettevõtete ja tehnoloogiaarenduskeskustega, sealhulgas energeetika- ja tootmisettevõtted, kes vajavad optimeeritud mehaanilisi ja elektroonilisi süsteeme.

\* Potentsiaalsed koostööpartnerid ja sektorid: taastuenergeetika (päikesepaneelide ja tuuleenergiasektor), tööstusseadmete tootjad, elektriajamite ja automaatikalahenduste arendajad, täppismõõtmisteenuseid vajavad ettevõtted (nt LIDAR-tehnoloogia kasutajad ehitus- ja infrastruktuurivaldkonnas).

Uurimisrühm on avatud koostööle ettevõtetega, kes vajavad insener-tehnilist tuge, laborianalüüse ja tootearendust, et arendada uusi ja efektiivseid lahendusi energeetikas, mehaanikas ja materjalitehnoloogias.

## Täiendav info:

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

- 1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad
- 1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad

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

Frascati Manuaali teadusvaldkonnad:

2.3 Mehaanika / masinaehitus

2.10 Nanotehnoloogia

CERCSi teaduserialad:

T150 Materjalitehnoloogia

T210 Masinaehitus, hüdraulika, vaakumtehnoloogia, vibratsioonakustiline tehnoloogia

T140 Energeetika

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

Hinnang seisundile:

väga hea

Seisundi selgitus:

2025. aastal hangiti ja võeti kasutusele planeeritud teadusaparatuur, sh FTIR-spektromeeter, SEM, invertmikroskoop, nanokõvadusemõõtja, 3D optiline profilomeeter, vurrkattur, osoonipuhastussüsteem, kliima- ja kuivatamisseadmed, veepuhastussüsteemid, potentiostaat ning katsekehade valmistamise seadmed. Selle tulemusel loodi ja rakendati praktilisse töösse Jätkusuutliku energeetika materjalitehnoloogia labor, mida kasutatakse aktiivselt teadus- ja arendustöös ning ettevõtluskoostöös. Kaks seadet on veel seadistamisel ning nende lõplik kasutuselevõtt koos kasutajakoolitustega toimub 2026. aasta alguses.

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

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

- 
- 
- 

**Eesti partnerid:**

- 
- 
- 

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

Aruandeperioodil toimusid kohtumised piirkonna ettevõtete esindajatega, mille käigus tutvustati uurimisrühma tegevussuundi, labori teadus- ja arendusteenuste võimekust ning näidati laboritaristut, et soodustada koostöövõimaluste teket ning teaduspõhiste lahenduste rakendamist ettevõtluses.

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

**Rahvusvahelised:**

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

Rühma liikmete osalemine TA tegevusega seotud ettevõtete nõustamises

2025 aasta jaanuari alguses koostati hinnapakkumine ettevõttele Sel Technology OÜ nõustamisteenuse osutamiseks. Teenuse käigus analüüsiti ettevõtte ahju tehniliste jooniste põhjal seadme võimsust, köetava ruumi mõõtmeid, soojenemisaega töötemperatuurini, ahju tõhusust, keskkonnamõju (sh heitgaaside kogust) ning hinnati ahju tuleohutust. Ettevõtluslepingu maht oli 2100 EUR + käibemaks.

2025 aasta oktoobris koostati hinnapakkumine ettevõttele NB Service OÜ, mille eesmärgiks on anda TalTech Virumaa kolledži eksperthinnang RULMECA Germany GmbH konveierirullikute laagrite määrimiskeemi kohta. Hindamine tugineb teadus- ja tehnilisele kirjandusele, tootja arvutustele ning täiendavatele analüüsidele. Ettevõttele on esitatud esmane tulemuste aruanne ning töö jätkub praktiliste eksperimentidega. Ettevõtluslepingu maht on 2100 EUR + käibemaks.

2025 aasta sügisel osutati ettevõttele Avelors Pluss OÜ mitterahalist nõustamisteenust, mille käigus anti tehniline tugi mootori ja reduktori valikul suurte mahutite kokkupaneku stendi rekonstrueerimiseks.

## **[Uurimisrühma veebilehe aadress](#)**

**Eesti keeles**

**Inglise keeles**

## 4 Robot-inimene koosloome arendamise töörühm

### Uurimisrühma juht

Olga Dunajeva, vanemlektor, [olga.dunajeva@taltech.ee](mailto:olga.dunajeva@taltech.ee)

### Uurimisrühma liikmed

Olga Dunajeva, Doktor, vanemlektor  
Mati Mõttus, Doktor, teadur  
Sónia Cláudia Da Costa Sousa, Doktor, vanemteadur  
Mustafa Can Özdemir, Magister, arendusinsener  
Žanna Gratšjova, Magister, lektor  
Mare Roosileht, Teadusmagister, direktor  
Rivo Lemmik, Doktor, lektor  
Jüri Majak, Doktor, täisprofessor tenuuris  
Sergei Pavlov, Magister, lektor  
Avar Pentel, Magister, lektor  
Oleg Shvets, Kõrgharidus, lektor  
Siarhei Autsou, Doktor, teadur  
Kadri Kristjuhan-Ling, Magister, ekspert  
Viktor Rjabtšikov, doktor, lektor  
Monika Kiik, Rakenduskõrgharidus, õppetöö assistent

### Võtmesõnad

#### Eesti keeles

inimese-roboti koostoime; modelleerimine; testimine; tehisintellekt; tootmisprotsesside robotiseerimine; robotiseeritud töökoha disain; riskide hindamine ja analüüs; kasutajate usaldus

#### Inglise keeles

human-robot interaction; modelling; testing; artificial intelligence; robotisation of production processes; robotic workplace design; risk assessment and analysis; user trust

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus

#### Rühma ülevaade eesti keeles

Töörühm keskendub koostöörobotika teemadele. Uurimissuunad on inimese-roboti koostoime (IRK) sotsiaalsete ja psühholoogiliste aspektide uurimine, IRK modelleerimine, mõjutegurite ja riskide hindamine ning analüüs, kasutajate usaldus robotiseeritud süsteemide vastu, robotiseeritud töökoha disain . Eesmärgiks on meetodika ja valideeritud inimese-roboti koostoime mudelite, mõjutegurite ja riskide hinnangute välja arendamine; kasutajakesksete disainilahenduste teenuste pakkumine.

#### Rühma ülevaade inglise keeles

The working group is focusing on collaborative robotics. Research areas include the social and psychological aspects of human-robot interaction (HRI), HRI

modelling, assessment and analysis of impact factors and risks, user trust in robotic systems, robotic workplace design.

The goal is developing methodologies and validated human-robot interaction models, impact factors and risk assessments; providing user-centred design services.

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

ÕÜF9 RIKT- Robot-inimene koosloome arendamine tööstuses 2023 - 2029

<https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/cf8e1e93-e102-4536-9d7e-b31288afb88f>

TF23059 Ida-Viru täiendkoolituse mahu suurendamine ning uute tasemeõppe õppekavade arendamine ja käivitamine 2023 - 2029 <https://www.etis.ee/Portal/Projects/Display/951ab10a-5d60-4f9c-8583-5dbfe4f85155>

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

Autsou, Siarhei; Dunajeva, Olga; Pentel, Avar; Shvets, Oleg; Roosileht, Mare (2025). Application of Fuzzy Logic for Collaborative Robot Control. *Electronics*, 14 (20, 4029), 1–27. DOI: 10.3390/electronics14204029. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/d3f2b929-c20b-4148-abe4-89cbb8b8ae04>

Matsulevitš, Johannes; Majak, Jüri; Eerme, Martin; Sarkans, Martinš; Dunajeva, Olga; Kristjuhan-Ling, Kadri; Raamets, Tõnis; Kekšin, Vjatšeslav (2025). Human-robot interaction: a conceptual framework for safety/risk analysis. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 74 (2), 137–142. DOI: 10.3176/proc.2025.2.09. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/f993ac8e-bcad-4b3a-9513-4dd7ac6f8e2d>

Raamets, Tõnis; Karjust, Kristo; Majak, Jüri; Hermaste, Aigar (2025). Implementing an AI-Based Digital Twin Analysis System for Real-Time Decision Support in a Custom-Made Sportswear SME. *Applied Sciences*, 15, 14, #7952. DOI: 10.3390/app15147952 . <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/659d6901-38e4-4148-9b4a-07513e64de21>

Özdemir, Mustafa Can; Kiik, Monika; Kristjuhan-Ling, Kadri; Mõttus, Mati; Dunajeva, Olga; Kangur, Katrin; Claudia da Costa Sousa, Sonia (2025). Designing Robotized Aid Experience in Elderly Home. <i>ECCE &#39;25 : Proceedings of the 36th Annual Conference of the European Association of Cognitive Ergonomics.</i> ACM, #49. DOI: 10.1145/3746175.3746221. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/4258e068-817e-45b3-b750-9fb4ab4d0265>

Kelpman, K.; Karjust, K.; Majak, J. (2025). An overview of smart workplace solutions and potential improvement areas. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 74, 2, 155–159. DOI: 10.3176/proc.2025.2.13. <https://www.etis.ee/Portal/Publications/Display/d14ca072-e987-46ca-a2be-660b5246caad>

Uurimisrühma lõppenud aasta rahvusvahelisel tasemel väljapaistvad teadustulemused

**Eesti keeles**

Uurimisrühma peamiseks tulemuseks on inimese-roboti interaktsiooni labori loomine Ida-Virumaal. 2024. aastal esitati riigihanke taotlus labori seadmete soetamiseks. 2025. aastal viidi hanked lõpule ja labor varustati seadmetega (EDR/EDA, PPG, EEG sensorid, eye tracking seadmed, VR/XR lahendused, iMotions Lab tarkvara biomeetriliste andmete kogumiseks ja analüüsimiseks). Labori ruum planeeriti ja sisustus telliti. Kolm projektirühma liiget läbisid 5-päevase iMotions Academy koolituse tarkvara efektiivseks kasutamiseks. 2025. aastal viidi läbi esimesed kasutajauuringud Virumaa kolledžis ning koostöös Pihlakodu AS pilootuuring hooldekodude personali valmisoleku hindamiseks sotsiaalsete robotite kasutamisel hooldustöös. Tulemuseks avaldati 3.1 artikkel: Designing Robotized Aid Experience in Elderly Home <https://doi.org/10.1145/3746175.3746221>.

Labori fookus on uuringud inimese-roboti interaktsiooni valdkonnas, rõhuasetusega Ida-Virumaa tööstuse erivajadustele ja väljakutsetele. Loodud labor võimaldab uurida ja modelleerida inimene-masin koosloome psühholoogilisi aspekte, töökoha disaini ning seadmete ja süsteemide adapteeruvust tootmise protsessidesse. Uuritakse kuidas kvalifitseerida mõjusid sõltuvalt kasutaja on sisemiselt ja väliselt motiveeritud, samuti usaldatavuse konstruktsioonide mõju sõltuvalt Inimese-roboti koostöö (IRK) süsteemi käitumisest. Uurimisrühma poolt on välja töötatud esmane teenuste pakett, et pakkuda ettevõtetele võimalusi hariduseks, innovatsiooniks ja koostööks inimese-roboti interaktsioonis Ida-Virumaa piirkonnas, et toetada ja edendada kohalikke tööstusharusid. IRK labori teenuste pakett on edastatud avaldamiseks ETISes. Projektirühm viis läbi kohtumisi potentsiaalsete partneritega ning osales seminaridel, et tutvustada ettevõtjatele oma võimalusi.

Uurimisrühma üheks eesmärgiks on Virumaa kolledžis töötavate inimeste teadusvõimekuse tõstmine. 2025. aasta lõpuks kuulus uurimisrühma 13 Virumaa kolledži töötajat, neist 5 on doktorandid. 2025. aastal üks doktorant kaitses oma doktorikraadi. Samuti 2025. aastal liitus rühmaga üks Jätkusuutlik tööstus õppekava magistrant, kes plaanib kaitsta magistrikraadi kevadel 2026 ja jätkata doktoriõpingutega projektirühma raames. Kõik Virumaa kolledži töötajad on seotud teadusartiklite kirjutamisega uurimisrühma teemadel: 2025. aastal avaldati 6 × 1.1- artiklit ja 1 × 3.1 artikkel.

### **Inglise keeles**

The main outcome of the research group is the establishment of a Human–Robot Interaction (HRI) laboratory in Ida-Virumaa. In 2024, a public procurement application was submitted for acquiring laboratory equipment. In 2025, the procurements were completed, and the laboratory was equipped with devices (EDR/EDA, PPG, EEG sensors, eye-tracking equipment, VR/XR solutions, and the iMotions Lab software for collecting and analysing biometric data). The laboratory space was planned, and the interior was ordered. Three members of the project team completed a 5-day iMotions Academy training to enable effective use

of the software. In 2025, the first user studies were carried out at Virumaa College, and a pilot study was conducted in cooperation with Pihlakodu AS to assess the readiness of care-home staff to use social robots in care work. This resulted in the publication of a 3.1 article: Designing Robotized Aid Experience in Elderly Home <https://doi.org/10.1145/3746175.3746221>.

The focus of the laboratory is research in the field of human–robot interaction, with emphasis on the specific needs and challenges of industry in Ida-Virumaa. The laboratory enables the investigation and modelling of the psychological aspects of human-machine collaboration, human-centred workplace design, trust-related constructs, and the adaptability of devices and systems within production processes. The research group has developed an initial service package to offer companies opportunities for education, innovation, and collaboration in human–robot interaction in the Ida-Virumaa region, supporting and promoting local industrial sectors. The HRI laboratory service package has been submitted for publication in ETIS. The project team held meetings with potential partners and participated in seminars to introduce its capabilities to businesses.

One of the goals of the research group is to strengthen the research capacity of staff working at Virumaa College. By the end of 2025, the research group included 13 employees from Virumaa College, 5 of whom were doctoral students. In 2025, one doctoral student defended their PhD. In addition, in 2025, one master's student from the Sustainable Industry Master's programme joined the group and plans to defend their thesis in spring 2026 and continue doctoral studies within the project team. All employees of Virumaa College are involved in writing scientific articles on the research group's topics: in 2025, a total of 6 × 1.1 articles and 1 × 3.1 article were published.

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

### Eesti keeles

Uurimisrühm panustab Virumaa kolledži õppekavade arendamisse. Uue magistriõppekava Jätkusuutlik tööstus peamine eesmärk on tootmise efektiivistamine ja paindlikumaks muutmine. Mitmed õppekava õppeained on otseselt seotud uurimisrühma teemadega ning nende õpetamisel kasutatakse uurimisrühmaga seotud katselabori võimekust. Õpetamisele ja õppematerjalide loomisele on kaasatud uurimisrühma spetsialistid. Õppekava õppeainetes on kombineeritud kaasaegsed infotehnoloogilised lähenemised ja meetodikad, nagu IoT, tehisintellekt, suurandmed, tööstusrobotid jms, mis teeb õppekava unikaalseks ning loob eeldused kõrgetasemeliste tippspetsialistide väljaõppeks. Antud õppekava lõpetajaid vajavad kõik Ida-Virumaa ettevõtted, kuna väljundiks on keskastme juhid (tulevikus tippjuhid), kes tunnevad uusi jätkusuutliku tööstuse juhtimis-, arendus- ja tootmismudeleid.

Samuti uurimisrühm panustab rakenduskõrghariduse õppekavade Arukad süsteemid ja rakendusinfotehnoloogia ning Masinaehitus- ja energiatehnoloogia protsesside juhtimine arendamisse ja uuendamisse: õpetamisele ning õppematerjalide loomisele ja uuendamisele on kaasatud uurimisrühma spetsialistid.

Uurimisrühm teeb koostööd IVKHK Inseneeriakadeemiaga, tutvustades projekti raames loodud laborite võimekust, et tagada tulevaste tudengite ja spetsialistide järelkasv.

Uurimisrühma Inimese-roboti koostöö labor ning Tööstus 5.0 katselabor tervikuna koos tehtud investeeringutega muudavad Virumaa kolledži piirkonna teadus- ja innovatsioonikeskuseks, mis meelitab Ida-Virumaale uusi teadlasi ja insenere. 2026. aasta veebruaris on plaanis avada projektirühmaga seotud järeldoktori positsioon. Avalduste esitamise periood lõppes 01.12.2025, laekus 31 tugevat kandidaati, kellest tuleb valida üks.

2026. aastal hakkab uurimisrühm pakkuma oma teenuseid, konsultatsioone ja täiendkoolitusi regionaalsetele ettevõtetele ja elanikele. See loob võimaluse tootmisprotsesside efektiivistamiseks, piirkonna elanike tööhõivevõimaluste suurendamiseks ning aitab kohaneda tööstuse muutustega.

### **Inglise keeles**

The research group contributes actively to the development of the study programmes at Virumaa College. The primary goal of the new master's programme Sustainable Industry is to increase the efficiency and flexibility of production. Several courses within the curriculum are directly connected to the research group's topics, and the experimental laboratory created by the group in frame of the JTF project is used in teaching. Specialists from the research group are involved in teaching and in the development of learning materials. The study programme combines modern information technology approaches and methodologies—such as IoT, artificial intelligence, big data, and industrial robotics—which makes the programme unique and provides a strong foundation for training highly qualified specialists. Graduates of this programme are needed by all companies in Ida-Virumaa, as it prepares middle-level managers (and future top managers) familiar with new sustainable industry management, development, and production models.

The research group also contributes to the development and renewal of the applied higher education programmes Smart Systems and Applied Information Technology and Mechanical Engineering and Energy Technology Processes Control: specialists from the research group are involved in teaching as well as in creating and updating learning materials.

The research group collaborates with the IVKHK Engineering Academy by introducing the laboratory capabilities developed within the project, helping to ensure the future pipeline of students and specialists.

The Human–Robot Interaction Laboratory and the Industry 5.0 Laboratory, together with the investments made, position Virumaa College as a regional research and innovation centre that attracts new researchers and engineers to Ida-Virumaa. In February 2026, the project team plans to open a postdoctoral researcher position. The application period ended on 1 December 2025, with 31 strong candidates applying, from whom one will be selected.

In 2026, the research group will begin offering its services, consultations, and professional training to regional companies and residents. This will create opportunities to increase the efficiency of production processes, improve employment opportunities for local residents, and support adaptation to changes in industry.

## Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga TA kohta

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

Sõlmitud ettevõtluslepinguid veel ei ole. 2024. aastal töötas uurimisrühm potentsiaalsete teenuste paketi väljatöötamise suunas. ÕÜF projekti toetusel katselabori loomise käigus koguti potentsiaalsete partnerettevõtete kontaktid ning koostati arendatava labori baasil kavandatavate teenuste loetelu.

2025. aastal täpsustati võimalike teenuste hulk ning määrati uurimisrühmast vastutavad isikud ja teenuste osutajad. Viidi läbi kohtumisi potentsiaalsete partneritega, et kaardistada nende vajadusi ja tutvustada uurimisrühma võimalikke teenuseid: Hanza Mechanics, Baltic Connexions, ASG Robotics, FINEST, Tallinn City, AIRE jt.

2025. aasta novembris osales uurimisrühm Õiglaste Ülemineku Foorumis ning veebruaris tutvustas ettevõtjatele Virumaa kolledžis toimunud koostööseminaril "AI revolutsioon tootmises: mida ettevõtjad peavad teadma" oma võimalusi. Selgus, et regionaalsetel ettevõtetel on huvi projekti teemade vastu, kuid sageli puuduvad vahendid teenuste ostmiseks.

ÕÜF projekti raames loodud Inimese-roboti interaktsiooni labori teenused on suunatud 2025. aastal ETISesse avaldamiseks, neist peamised on:

- AI tööriistade rakendamine HRI-s liikumiste optimeerimiseks
- HRI riskitegurite analüüs

- Kasutajatestimine HRI-s

- Arvutitunnetuse kasutamine HRI-s.

2025. aastal viidi koostöös Pihlakodu AS läbi pilootuuring hooldekodude personali valmisoleku uurimiseks sotsiaalsete robotite kasutamiseks hooldustöös. Tulemuseks avaldas uurimisrühm 3.1 artikli "Designing Robotized Aid Experience in Elderly Home" <https://doi.org/10.1145/3746175.3746221>

2026. aastal on plaanis jätkata arutelusid potentsiaalsete partneritega. Plaanis on ettevõtete külastusi mobiilse labori demonstratsioonidega. Ettevõtete esindajad on oodatud täiendkoolitustele:

- AI meetodid ja tööriistad inseneerias

- Funktsionaalsuste kaardistamine toote/teenuse arendamisel

- Kasutajakeskne disain ja kasutajatestimise meetodid HRI-süsteemide hindamiseks

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

\* Inimene-robot koostoime optimeerimise parimate meetodite leidmine.

\* Arvutitunnetuse elementid HRI's: Psühhofüsioloogial põhinevate kontseptsioonide valideerimine.

\* Kasutajatestimine: Inimfaktoriga arvestamine inimese-roboti koostöös.

\* Kasutajatestimine inimkeskses interaktsioonidisainis: inimkasutajale suunatud interaktiivsete toodete ja teenuste arendus.

\* Funktsionaalsuste kaardistamine toote/teenuse arendamisel: kasutajavajaduste analüüs, kasutajakeskne disain

\* Konsultatsioon ja soovitusel inimfaktori osas inimese ja roboti suhtluses (näiteks ohutuse ja usalduse teemadel).

\* Koolitused/töötoad teemadel: kasutajatestimise meetodid HRI-süsteemide hindamiseks reaalses kasutuskontekstis.

\* Konsultatsioonid robotiseeritud töökoha mõjutegurite ja riskide hindamise ning analüüsi teemal.

\* HRI riskitegurite analüüs ja MCDM-põhine riskide prioriseerimine

### **Ettevõtluskoostöö eesmärk**

Uurimisrühma fookus on tööstuse automatiseerimisel ja inimese-roboti koostööl, mis aitab kaasa kaasaegsema ja efektiivsema tootmisprotsessi väljatöötamisele Ida-Virumaal.

2026. aastal hakkab projektirühm pakkuma oma teenuseid, konsultatsioone ja täiendkoolitusi regionaalsetele ettevõtetele ja elanikele. See loob võimaluse tootmisprotsesside efektiivistamiseks, piirkonna elanike tööhõivevõimaluste suurendamiseks ning aitab kohaneda tööstuse muutustega.

2026. aastal projektirühm viib läbi läbirääkimisi erinevate partneritega (Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Mongolian University of Science and Technology, FINEST jt) ning planeerib projektiga seotud uurimistöö jätkamiseks rahastuse taotlemist vähemalt ühe rahastusprogrammi kaudu (ETAG, Horizon Europe, Erasmus+ CBHE, MSCA Staff Exchanges) liitudes konsortsiumiga eesmärgiga luua ühine kompetentsikeskus inimese-roboti koostöö valdkonna teenuste pakkumiseks, propageerimiseks ja arendamiseks.

### **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 Manuaali teadusvaldkonnad:

2.2 Elektrotehnika, elektroonika, infotehnika

1.2 Arvutiteadus ja informaatika

CERCSi teaduserialad:

T125 Automatiseerimine, robotika, control engineering

P176 Tehisintellekt

T500 Tööhutustehnoloogia

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

Hinnang seisundile:

väga hea

Seisundi selgitus:

2025. aastal viidi lõpule seadmete hanked ja Inimese-roboti koostöö labor varustati seadmetega robotikasüsteemide testimiseks kasutajatega ja inimfaktori uuringuteks: EDR/EDA, PPG, EEG sensorid, eye tracking seadmed, VR/XR lahendused, iMotions Lab tarkvara biomeetriliste andmete kogumiseks ja analüüsimiseks. Kolm projektirühma liiget läbisid 5-päevase iMotions Academy koolituse tarkvara efektiivselt kasutamiseks. Rajatav taristu on mõeldud toetama rühma uurimissuunaga seotud teadus- ja arendustööd. Loodava labori baasil on eesmärgiks pakkuda teenuseid ettevõtetele, viia läbi koolitusi ning teostada koostööprojekte.

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

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

- Martin Luther University Halle-Wittenberg Just Transition Center JTC
- iMotions Software company in Copenhagen, Denmark
- 

#### **Eesti partnerid:**

- Virumaa digi- ja rohetehnoloogiate innovatsioonikeskus
- Tallinna Ülikool, Digitehnoloogiate instituut
- 

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

2025. aasta novembris osales uurimisrühm Õiglase Ülemineku Foorumis ning veebruaris tutvustas ettevõtjatele Virumaa kolledžis toimunud koostööseminaril

"AI revolutsioon tootmises: mida ettevõtjad peavad teadma" oma võimalusi.  
Uurimisrühm teeb koostööd IVKHK Inseneeriakadeemiaga, tutvustades projekti raames loodud laborite võimekust, et tagada tulevaste tudengite ja spetsialistide järelkasv.

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

**Rahvusvahelised:**

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

[Uurimisrühma veebilehe aadress](#)

**Eesti keeles**

**Inglise keeles**