

## *Mehaanika ja tööstustehnika instituudi 2017. a teadus- ja arendustegevuse aruanne*

Mehaanika ja tööstustehnika instituut  
Department of Mechanical and Industrial Engineering

**Kristo Karjust**

[kristo.karjust@ttu.ee](mailto:kristo.karjust@ttu.ee), +372 620 3260

Instituudi töötajate arv on 103, kellest lektoreid 7, assistente 2, dotsente 11, professoreid 9, doktorant-nooremteadureid 21, teadureid 8, vanemteadureid 12, juhtivteadurit 1, juhiabi 1, insenere 18, spetsialiste 1, õppeinfosüsteemi spetsialiste 2, peaspetsialiste 3, projekti eksperte 1, ettevõtlusspetsialiste 1 ja tehnikuid 5.

Instituudi struktuuri kuuluvad: tarkade tootmistehnoloogiate ja robotika teaduskeskus; materjalitehnika teaduskeskus; logistika ja transpordi teaduskeskus; mehaanika ja metroloogia katselabor; Eesti inseneripedagoogika keskus.

### Instituudis tegutsevad järgmised uurimisrühmad:

- Kermiste arendus
- Nutikad ja multifunktsionaalsed komposiitmaterjalid: projekteerimine ja valmistamine
- Nutiks tootmine
- Ennetava hoolduse ja reaalajas tootmise monitooringu mudelite arendus
- Autonoomne isejuhtiv sõiduk
- Tööstusrobotitele põhinev kiiresti ümberseadistatav tootmine
- Kõrgtehnoloogiliste materjalide, konstruktsioonide ja toodete väljatöötamine
- Innovatiivsete süsteemide tööstuslikud rakendused
- Triboloogia ja ümbertöötlemine
- Pinnatehnika arendus
- Akustika arendus
- Logistika ja transpordi uurimisgrupp
- Toodete ja teenussüsteemide disain

### The Department conducts research within next research groups:

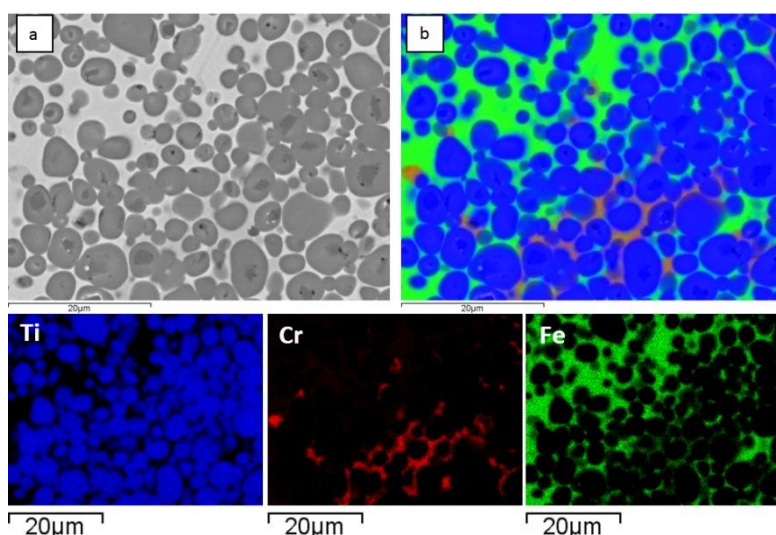
- Cermets Research
- Smart and Multifunctional Composites: Design and Manufacturing
- Smart Industry
- Real-time production monitoring and prediction models development
- Autonomous Self-driving Vehicles
- Reconfigurable Manufacturing Based on Industrial Robots
- Design optimization of advanced materials, structures and products
- Innovative Systems for Industrial Applications
- Tribology and Recycling
- Surface Technology Development
- Acoustic Research
- Research Group of Logistics and Transport
- Product and Service Systems Design

# 1. Teadus- ja arendustegevuse ülevaade uurimisrühmade<sup>1</sup> lõikes

## 2.1. Kermiste arendus/Cermets Research

**Kirjeldus:** Uurimistöö on suunatud (a) kulumis- ja korrosioonikindlate komposiitide keraamika-metall ja keraamika-keraamika, mis baseeruvad karbiididel, oksikarbiididel, karbonitriididel ja nitriididel väljatöötamisele, (b) nende materjalide talitusomaduste määramisele ja (c) seoste leidmisele materjalide omaduste, koostise, struktuuri ja valmistustehnoloogia vahel. Käimasolevad uuringud on peamiselt seotud titaankarbiidil, titaanoksikarbiidil ja titaannitriidil ( vastavalt TiC,  $TiC_xO_y$  ja TiN), kroomkarbiidil ( $Cr_3C_2$ ) ning volframkarbiidil (WC) põhinevate keraamika- baasil komposiitmaterjalidega.

**Description:** The research of the group is focused on (a) development of wear and corrosion resistant ceramic-metal and ceramic-ceramic composites based on carbides, oxycarbides, carbonitrides, nitrides, (b) characterization of these materials and (c) establishment of the generic relationships between materials performance, structure and processing route. Ongoing research and development is mostly focused on titanium carbide, titanium oxycarbide, titanium nitride (TiC,  $TiC_xO_y$  and TiN respectively ), chromium carbide ( $Cr_3C_2$ ) and tungsten carbide (WC) based composites.



Joonis 1. Suure kroomisisaldusega keraamilis-metallsete komposiitide TiC-teras430L (paagutatud 1500 °C, 30 min) mikrostruktuuri ja keemiliste elementide jaotuse uuringud elektronmikroskoobil (SEM): Ti – sinine; Cr – kroom; Fe – raud.

Figure 1. SEM image (a) and EDS mapping results of TiC-430L high chromium steel cermets sintered at 1500 °C during 30 min (b): blue – titanium, red – chromium and green – iron

**Uurimisgrupp:** Töötajad: Jakob Kübarsepp (professor), Kristjan Juhani (vanemteadur), Mart Viljus (vanemteadur), Fjodor Sergejev (dotsent), Andres Laansoo (lektor), Rainer Traksmäa (vanemteadur), Lembit Kommel (vanemteadur).

Doktorandid: Marek Tarraste, Märt Kolnes, Mart Kolnes, Mihhail Petrov

**Group members:** Faculty: Jakob Kübarsepp (professor), Kristjan Juhani (research scientist), Mart Viljus (research scientist), Fjodor Sergejev (assoc. professor), Andres Laansoo (lecturer), Rainer Traksmäa (research scientist), Lembit Kommel ( research scientist ).

PhD students: Marek Tarraste, Märt Kolnes, Mart Kolnes, Mihhail Petrov

<sup>1</sup> Oma uurimisvaldkonnas teadusprojekte/-lepinguid teostav teadlaste ja/või õppejõudude kooslus, mis võib hõlmata liikmeid mitmest struktuuriüksusest. Viimasel juhul näidatakse tulemused kõigi uurimisgrupis osalevate struktuuriüksuste aruannetes.

**Projektid:**

- Mitmeastmeliselt struktureeritud keraamika-baasil komposiitmaterjalid kasutamiseks ekstreemitingimustes (Institutsionaalne uurimistoetus 2014-2019, HTM, IUT19-29,)
- Ni- ja Co-vabade kermiste ja keraamika arendus (T&A leping TTÜ– Swatch Group R&D Ltd, 2017-2018)
- Ni- ja Co-vabade TiC-baasil kermiste arendus (T&A leping TTÜ– Swatch Group R&D Ltd, 2015-2016)
- NanoCom – Nanogeomeetria ja struktuurne põimumine kõrgete talitusomadustega keraamika-baasil nanokomposiitide disainimisel ja prototüüpimisel (Riikliku Materjalitehnoloogia Programmi projekt, 2013-2015)

**Projects:**

- Multi-scale structured ceramic-based composites for extreme applications (Targeted financing of Estonian Ministry of Education and Research 2014-2019, IUT19-29)
- Development of Ni- and Co-free cermets and ceramics (R&D agreement with the Swatch Group R&D Ltd, 2017-2018)
- Development of Ni- and Co-free TiC-based cermets (R&D agreement with the Swatch Group R&D Ltd, 2015-2016)
- Nano-geometry and entanglement for design and prototyping of ceramic-based high-performance nanocomposites (National R&D Program “Materials Technology” project, 2013-2015)

**Valitud publikatsioone/ Selected publications:**

- Kolnes, M.; Pirso, J.; Kübarsepp, J.; Viljus, M.; Traksmäa, R. (2016). Structure formation and characteristics of chromium carbide–iron–titanium cermets. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 65 (2), 138–143.
- Kübarsepp, J.; Pirso, J.; Juhani, K. (2014). Developments in cermet design, technology and performance. International Journal of Materials & Product Technology, 49, 160–179.
- Klaasen, H.; Kübarsepp, J.; Tšinjan, A.; Sergejev, F. (2011). Performance of carbide composites in cyclic loading wear conditions. Wear, 271, 837–841.10.1016/j.wear.2011.03.005.

**Kontakt/Contact information:** Prof. Jakob Kübarsepp ([jakob.kubarsepp@ttu.ee](mailto:jakob.kubarsepp@ttu.ee))

## **2.2. Nutikad ja multifunktsionaalsed komposiitmaterjalid: projekteerimine ja valmistamine**

### **Smart and Multifunctional Composites: Design and Manufacturing**

**Kirjeldus:** Peamised uurimisteemad on järgmised:

- multifunktsionaalsete etteantud mehaanikaliste omaduste, heli ja vibratsioonide summutuse võimekusega klaaslaminaatpaneelide projekteerimine,
- nutikate komposiitmaterjalide projekteerimine, mis omavad võimekust koguda ja töödelda informatsiooni struktuuri seisundi ja keskkonna tingimuste kohta,
- numbriliste meetodite arendamine komposiit- ja nanostruktuuride analüüsiks
- optimeerimismeetodite arendamine ja kohandamine komposiit- ja nanostruktuuride projekteerimiseks.

**Description:** The research of the group is focused on

- analysis and design of multi-functional laminated glass composite panels with advanced sound and vibration attenuation properties and predefined stiffness/strength characteristics.

- development of design of smart composites with the ability to sense and process information about the structural health and environmental conditions,
- development of numerical methods for analysis of composite and nanostructures
- development and adaption of optimization methods and techniques for design of composite and nanostructures.

**Uurimisgrupp:** Inseneriteaduskond: Jüri Majak (juhtivteadur), Martin Eerme (professor), Kristo Karjust (dotsent), Meelis Pohlak (vanemteadur), Hans Rämmal (dotsent), Fabio Auriemma (teadur), Ernst Tungel (dotsent).

IT teaduskond: Toomas Lepikult (dotsent).

Doktorandid: Maarjus Kirs, Madis Mikola, Anti Haavajõe, Marko Paavel, Sergei Kaganski, Pavel Tsukrejev, Kaur Väer, Erko Õunapuu.

### **Group members:**

Engineering Faculty: Jüri Majak (lead researcher), Martin Eerme (professor), Kristo Karjust (assoc. professor), Meelis Pohlak (senior researcher), Hans Rämmal (assoc. professor), Fabio Auriemma (researcher), Ernst Tungel (assoc. professor).

IT faculty: Toomas Lepikult (assoc. professor).

PhD students: Maarjus Kirs, Madis Mikola, Anti Haavajõe, Marko Paavel, Sergei Kaganski, Pavel Tsukrejev, Kaur Väer, Erko Õunapuu.

### **Projektid (käesolevad):**

- Teadmistepõhise ehituse tippkeskus. (2015-2023, projekt TAR16012).
- Numbrilised meetodid ja algoritmid kaasaegsete komposiit- ja nanostruktuuride projekteerimiseks (2016-2019, projekt PUT1300).
- Tarkade tootmis- ja materjalitehnoloogiate arenduskeskus (2015-2022, projekt F15027).
- Nutika tootmise tuumiktaristu (2017-2018, projekt AR16077).

### **Projects (ongoing):**

- Zero energy and resource efficient smart buildings and districts. (2015-2023, Top Centre project TAR16012).
- Numerical methods and algorithms for design of advanced composite and nanostructures 2016-2019, PUT1300).
- Smart manufacturing and materials technologies competence centre (2015-2022, project F15027).
- Smart Industry Centre(2017-2018, project AR16077).

### **Valitud publikatsioone/ Selected publications:**

- Majak, J.; Kirs, M.; Eerme, M.; Tungel, E.; Lepikult, T. (2017). Design optimization of graphene laminates for maximum fundamental frequency. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 66 (4), 354–362.10.3176/proc.2017.4.08.
- Auriemma, F. (2017). Acoustic performance of micro-grooved elements. Applied Acoustics, 122 (July), 128–137.10.1016/j.apacoust.2017.02.019.

**Kontakt/Contact information:** Juhtivtead. Jüri Majak ([juri.majak@ttu.ee](mailto:juri.majak@ttu.ee))

## **2.3. Nutikas tootmine**

### **Smart Industry**

**Kirjeldus:** Uurimisrühm tegeleb nutika tootmise kontseptsiooni arendamisega digitaalselt jagatud infrastruktuuri suunal nii (a) strateegilisel Euroopa tasandil, (b) Eesti tasandil (koos Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudiga), ning (c) digitaalsete kaksikute arendamisega labori/tootmisraku tasandil.

Digitaalsete kaksikute (DK) kontseptsiooni osas luuakse reaalse tootmise digitaalne mudel koos juhtimiseks vajaliku infoga, mida on võimalik optimeerimis- ja simulatsioonivahendeid kasutades kiirelt ümber konfigureerida ning saadud andmeid kasutada reaalse tootmise juhtimiseks. Uuringutel kavandatakse eri tasemtel eksperimente, tulemused analüüsitakse ja modelleeritakse nende põhjal koostöö- ja ohutusmudelid, mis on jaotatud infrastruktuuri/virtuaalse ettevõtte jaoks elulised. Ohutusmudelid on osaks juht- ja monitooringusüsteemidele ja koosnevad erinevatest anduritest ja mikrokontrollerist, mis on ühilduvad küber-füüsikalise tootmissüsteemiga. Need juht- ja monitooringumeetodid ja protsessid on eksperimentaalselt rakendatud vabavaralise robotite operatsioonisüsteemi ROS abil, kasutades ABB roboteid. Reaalse keskkonna digitaalne mudel on jälgitav liit- ja virtuaalreaalsuse vahenditega reaalsele vastavas mõõtkavas digiruumis ja digiteeritud tehnoloogiaseadmetega. Tootmisrakkude digimodelite loomiseks kasutati Unity3D tarkvara (Joonis.1.). Kaamera liikumise sisend saadakse klaviatuurilt või tehisreaalsuse peakomplektilt, kasutades geneerilist avatari, millel on isiku digimaailmas kohaloleku simulatsiooniks lisatud mahulise võrkumodeli simulatsioon.

Tootmise modelleerimise ja simulatsiooniga osutus võimalikuks kirjeldada muutuste mõju ning hinnata erinevaid arengustsenaariume. Virtuaaltootmise mudel ja selle tehisreaalsuses simulatsiooni tulemused annavad tootmisoperatsioonide kohta kasulikku infot. Laboritingimustes hinnati vana paindootmissüsteemi andur- ja juhtsüsteemi moderniseerimise mõju tootlikkusele, virtualiseerimiseks kasutati Visual Components Pro tarkvara, nagu näidatud Joonis. 2. Nutika tootmise tuumiktaristu arendusel pöörati rõhku tootmissüsteemide jaotatud kasutamisele: metalli 3D printimissüsteem SLM280 2.0 TTÜ-s (Tallinn) ja metalli 3D kompuutertomograaf Yxlon FF35 CT EMÜ-s (Tartu) paigaldati koostöömivalt, ja arendatakse edasi nende kasutamist ja juhtimist digitaalseid kaksikutena (Joonis. 3).

IoT-baasil monitooringusüsteem võimaldab vähendada riske, samuti suurendada moodustuva virtuaalkoosluse kasulikkust.

Eesti masinatööstuse VKE-de baasil viidi läbi robotika uuring, millega kaardistati nutika tootmise ja tööstusrobotika hetkeseisu ja tulevikuperspektiive. Tulemusi tutvustati nii I4MS konverentsil Madriidis, EL Cybersec konverentsil Wroclawis rahvusvaheliselt, ka nutika tootmise seminaridel Eestis. Nutikas tootmine oli põhiteema ka Euroopa tootmises strateegiliste investeeringute globaalsete väljakutsete võitmise suunal, arenguid vaeti EL konverentsil Manufuture, mis korraldati H2020 projekti raames TTÜ-s oktoobris 2017 <http://manufuture2017.eu>. Tulemuseks valmib 2018 a-l uurimisraport Euroopa Komisjoni teadusuuringute ja innovatsiooni peadirektoraadile DG Research.

**Description.** The research of the group is focused on development of concept of smart manufacturing regarding digitally distributed infrastructures, both on (a) strategic European and (b) Estonian levels (including Estonian University of Life Sciences), and (c) development of digital twins on laboratory/workshop level.

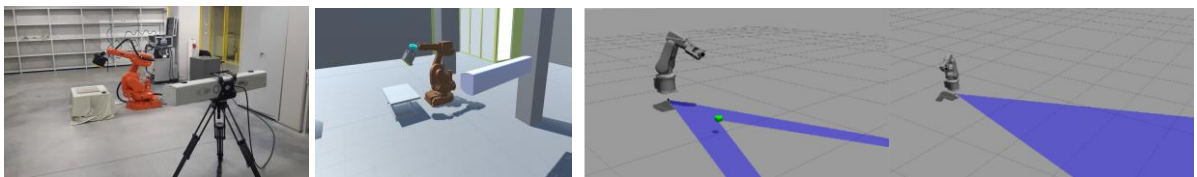
The concept of Digital Twin (DT) is creating and maintaining a digital representation of the real world of the factory and supporting its management and reconfiguration by the means of optimization and simulation tools, which are fed with real and updated factory data. The main aim of this research was to design experiments, analyse, and model the collaborative work and safety systems, thus making distributed infrastructures viable. Developed safety multi-level system, as a part of the control and monitoring online system consist of different types of sensors and a microcontroller that can be attached to the Cyber Physical Production System (CPPS). Those control and monitoring methods and processes were implemented in experimental setup in Robot Operating System (ROS). The experiment was done using ROS and ABB robots. The main components of the real environment were reproduced in the digital model while considering a proper scale of the room and of the related equipment. The digital model of the robotic cell was developed using Unity3D software tool (Fig.1). Input for the movement of the camera is gathered from the keyboard, joysticks or from the virtual/augmented reality (VR/AR) headsets/tactile tools, with the usage of the generic avatar, which have the solid mesh for simulation of the person presence in the digital world.

With help of manufacturing modelling and simulation we can depict the impact of changes and to validate the current scenarios. A virtual manufacturing model and its simulation results provide useful information about the operations. Case study of improving productivity by modernising

sensor and control systems of an old FMS, virtualised in Visual Components Pro is described on Fig. 2.

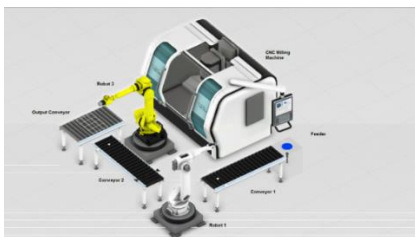
In ongoing research also distributed manufacturing systems: metal 3D printing system SLM280 2.0 at TTÜ (Tallinn) and metal 3D computer tomography system Yxlon FF35 CT at partnering EMÜ (Tartu) are installed and developed as digital twins (see Fig. 3). New research lab ProtoLab at TTÜ and Computed Tomography Lab at EMÜ were established to develop a demonstrator.

IoT-based monitoring framework was established to mitigate the risk, also to improve the overall performance of virtual enterprise. An electronic survey on Estonian manufacturing SMEs was carried out during December 2016-April 2017 to analyse the current situation in robotics. This is planned to be a continuous process of involving SMEs by mapping their current situation in the field of smart manufacturing. Results of the survey were introduced at the Smart Industry (SmartIC) Robotics work-shop (21.02.2017), I4MS DIH onference in Madrid, and EU conference Cybersec in Wroclaw. Smart manufacturing was a main topic in terms of planning strategic investments in European manufacturing to win global challenges, the development was discussed at EU conference Manufuture organized at TTÜ in October 2017 <http://manufuture2017.eu>. As a result a position paper of Manufuture2017 for DG Research is prepared by 2018.



Joonis 1. Robottootmisrakk realses ja tehismaailmas, koos väljaarendatud virtuaalse ohutussüsteemiga

Fig. 1 Robot cell in real and virtual world, and with virtual safety system



Joonis 2. Paindtootmisraku simulatsioon Tööstus 4.0 digiteerimist võimaldava andur- ja juhtsüsteemiga

Fig 2. Simulated FMS after sensor/control system modernization



Joonis 3. Nutika tootmise tuumiktaristu virtualiseerimine arendusprojekt: digitaalsete kaksikute arendus

Fig 3. Ongoing distributed smart manufacturing system development

**Uurimisgrupp.** Töötajad: Tauno Otto (professor), Jüri Riives (professor), Jüri Majak (juhtivteadur), Lauri Kollo (vanemteadur), Eduard Ševtšenko (vanemteadur), Marek Jõeleht (insener), Tatjana Karaulova (teadur), Fjodor Sergejev (dotsent), Kristo Karjust (dotsent), Toivo Tähemaa (dotsent), Martinš Sarkans (dotsent), Margus Müür (insener), Aigar Hermaste (lektor).

Eesti Maaülikool: Jüri Olt (professor), Tõnu Leemet (teadur), Margus Arak (direktor), Alexander Liyvapuu (dots).

IMECC: Kaia Lõun (infojuht)

Doktorandid: Kashif Mahmood (TTÜ), Vladimir Kuts (TTÜ), Tavo Kangru (TTÜ), Rivo Lemmik (TTÜ), Mailis Polma (EMÜ), Indrek Virro (EMÜ).

**Group members. Faculty:** Tauno Otto (professor), Jüri Riives (professor), Jüri Majak (lead research scientist), Lauri Kollo (senior research scientist), Eduard Ševtšenko (senior research scientist), Marek Jõelett (engineer), Tatjana Karaulova (research scientist), Fjodor Sergejev (assoc. professor), Kristo Karjust (assoc. professor), Toivo Tähemaa (assoc. professor), Martinš Sarkans (assoc. professor), Margus Müür (engineer), Aigar Hermaste (lecturer).

Estonian University of Life Sciences: Jüri Olt (professor), Tõnu Leemet (research scientist), Margus Arak (department head), Alexander Liyvapuu (assoc. professor).

IMECC: Kaia Lõun (communication and financial manager)

PhD students: Kashif Mahmood (TTÜ), Vladimir Kuts (TTÜ), Tavo Kangru (TTÜ), Rivo Lemmik (TTÜ), Mailis Polma (EMÜ), Indrek Virro (EMÜ).

#### **Projektid:**

- VA16047 "Digitaalse tootmise regionaalne innovatsioonikeskus (2016–2017)", I4MS projekt.
- VFP17063 "Strateegilised investeeringud Euroopa tootmises globaalsete väljakutsete võitmiseks (2016–2018)", Horizon 2020 projekt.
- AR16077 Nutika tootmise tuumiktaristu (SmartIC) (2017–2018)", Eesti teaduse teekaardi investeeringuprojekt.

#### **Projects:**

- VA16047 "Regional Digital Innovation Hub in Robotics in Estonia (2016–2017)", Tauno Otto, Tallinn University of Technology, Department of Mechanical and Industrial Engineering, Chair of Production Engineering.
- VFP17063 "Strategic investments in European manufacturing to win global challenges (2016–2018)", Horizon 2020 project.
- AR16077 "Smart Industry Centre (2017–2018)", National Research Infrastructures Roadmap Project.

#### **Valitud publikatsioone/ Selected publications**

- Mahmood, K.; Shevtshenko, E.; Karaulova, T.; Otto, T. Risk assessment approach for a virtual enterprise of small and medium-sized enterprises. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 67 (1), 17–27.10.3176/proc.2017.4.27 .
- Kuts, V.; Sarkans, M.; Otto, T.; Tähemaa, T. Collaborative work between human and industrial robot in manufacturing by advanced safety monitoring system. Toim: B. Katalinic (Ed.). DAAAM International (0996–1001). Vienna, Austria: Curran Proceedings.10.2507/28th.daaam.proceedings.138 [aktsepteeritud].
- Kuts, V.; Modoni, G. E.; Terkaj, W.; Tähemaa, T.; Sacco, M.; Otto, T. Exploiting factory telemetry to support Virtual Reality simulation in robotics cell. Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics, 1: 4th International Conference, AVR 2017, Ugento, Italy, June 12-15, 2017. Toim. L. Tommaso De Paolis, P. Bourdot , A. Mongelli. Springer, 212–221. (Lecture Notes in Computer Science; 10324).10.1007/978-3-319-60922-5\_16.
- Mahmood, K.; Karaulova, T.; Otto, T.; Shevtshenko, E. Performance Analysis of a Flexible Manufacturing System (FMS). Procedia CIRP, 63 (The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems, May 3rd – 5th, 2017, Taichung City, Taiwan), 424–429.10.1016/j.procir.2017.03.123...
- Holovenko, Y.; Antonov, M.; Kollo, L.; Hussainova, I. Friction studies of metal surfaces with various 3D printed patterns tested in dry sliding conditions. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology, 1–11.10.1177/1350650117738920

**Kontakt/Contact information:** Prof. Tauno Otto (tauno.otto@ttu.ee)

## **2.4. Ennetava hoolduse ja reaalaajas tootmise monitooringu mudelite arendus/** **Real-time production monitoring and prediction models development**

**Kirjeldus.** Tootmise monitooringu ja prognoosimise süsteemi eesmärgiks on tööpinkide ja seadmete hõivatus ja koormatavuse jälgimine reaalaajas. Süsteem toob välja tööpingi tööajad, seisakud ja tootlikkuse valitud ajaperioodil ning aitab leida tootmisliini kitsaskohti ja pudelikaelu. Süsteem võimaldab ka prognoosida seadmete, komponentide ja kasutatavate tööriistade tööiga läbi ennetava hoolduse soovitusi. Lisaks tootmise reaalaajas jälgimisele arendatakse ka ennetava hoolduse süsteemi, mis kergendab hooldustöötajate tööd läbi detailse seadmete ja komponentide ülevaate ja analüüsi erinevate tööpinkide varuosadest ja komponentidest ning nende reaalsest ja prognoositavast elueast, mis võimaldab ettevõtetel hoida kokku hoolduskuludelt ja suurendada tootmiseseadmete tootlikkust.

**Description.** The main objective of the research is to study and develop a Production Monitoring System (PMS) with Predictive functionality that operates in near real time, focusing on SMEs. The main activities of the research are: development of PMS concept; system prototyping; model predictive control development. The advanced Production Monitoring and Prediction System is detecting, measuring and monitoring the variables, events and situations which affect the performance and reliability of manufacturing systems and processes. Efficient, real-time feed of information for production control and monitoring includes data acquisition about state of equipment, production orders, flow of materials, quality of products, process data and other necessary data which are used for making the proper and optimised decisions, regarding manufacturing planning, improved use of available resources, planning of equipment maintenance etc.



Joonis 1. Reaalaajas tootmise monitooringu ja prognoosimise süsteem

Figure 1. Developed real-time production monitoring system and black sensor box in manufacturing unit

**Uurimisgrupp:** Töötajad: Kristo Karjust (dotsent), Raivo Sell (vanemteadur), Jüri Majak (juhtivateadur), Tauno Otto (professor), Jüri Riives (professor), Allan Aari (insener), Riho Uusjärv (insener), Aigar Hermaste (lektor).

Doktorandid: Marko Paavel, Sergei Kaganski, Rivo Lemmik, Pavel Tsukrejev

**Group members:** Faculty: Kristo Karjust (assoc. professor), Raivo Sell (senior researcher), Jüri Majak (lead researcher), Tauno Otto (professor), Jüri Riives (professor), Allan Aari (engineer), Riho Uusjärv (engineer), Aigar Hermaste (lecturer).

PhD students: Marko Paavel, Sergei Kaganski, Rivo Lemmik, Pavel Tsukrejev

**Projektid:**



- F15027 "Tarkade tootmis- ja materjalitehnoloogiate arenduskeskus (1.09.2015–31.12.2022)", Kristo Karjust, Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Mehaanika ja tööstustehnika instituut.
- AR16077 "Nutika tootmise tuumiktaristu (1.01.2017–31.12.2018)", Tauno Otto, Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Mehaanika ja tööstustehnika instituut
- VIR16048 "Nutika transpordilogistika arendus (1.09.2016–31.08.2019)", Kati Kõrbe Kaare, Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Mehaanika ja tööstustehnika instituut.

### Projects:

- F15027 "Smart manufacturing and materials technologies competence centre (1.09.2015–31.12.2022)", Kristo Karjust, Tallinn University of Technology , School of Engineering, Department of Mechanical and Industrial Engineering
- AR16077 "Smart Industry Centre (1.01.2017–31.12.2018)", Tauno Otto, Tallinn University of Technology , School of Engineering, Department of Mechanical and Industrial Engineering
- VIR16048 "Smart Logistics and Freight Villages Initiative (1.09.2016–31.08.2019)", Kati Kõrbe Kaare, Tallinn University of Technology , School of Engineering, Department of Mechanical and Industrial Engineering .

### Valitud publikatsioone/ Selected publications

- Eiskop, T.; Snatkin, A.; Karjust, K. (2017). Production monitoring system with predictive functionality. *Journal of Engineering Science and Technology*, 12 (9), 2410–2425.
- Paavel, M.; Karjust, K.; Majak, J. (2017). Development of a product lifecycle management model based on the fuzzy analytic hierarchy process. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 66 (3), 279–286.10.3176/proc.2017.3.05 .
- Paavel, M.; Karjust, K.; Majak, J. (2017). PLM Maturity model development and implementation in SME. *Procedia CIRP*, 63: The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems, Taiwan, 3-5 May. Ed. Tseng, M. Elsevier , 651–657.10.1016/j.procir.2017.03.144.
- Kaganski, S.; Majak, J.; Karjust, K.; Toompalu, S. (2017). Implementation of key performance indicators selection model as part of the Enterprise Analysis Model. *Procedia CIRP*, 63: The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems (CMS). 03.05-05.05 Taichung City, Taiwan. Elsevier, 283–288.10.1016/j.procir.2017.03.143.

**Kontakt/Contact information:** dots. Kristo Karjust ([kristo.karjust@ttu.ee](mailto:kristo.karjust@ttu.ee))

## 2.5. Autonomne isejuhtiv sõiduk

### Autonomous Self-driving Vehicles

**Kirjeldus:** Teadusgrupp tegeleb isejuhtivate sõidukite ja autonoomsete süsteemide arenduse ja rakendamisega. Uurimigrupi fookuses on lokaliseerimine ja missiooni planeerimine, liikumisparameetrid ja teekonna jälgimine, objektide tuvastus ja nendest hoidumine, andurite integratsioon ja simulatsioonid. Laiem visioon ja eesmärk autonoomsete sõidukite arendamisel on luua nutika linnaruumi ja intelligentse transpordi keskkond, kus on võimalik arendada ja testida uudseid teenuseid ja funktsionaalsust, mis hõlmavad sõidukitevahelist V2V ja sõidukite ning taristuelementidevahelist V2I kommunikatsioonilahendusi. Pikemas perspektiivis on eesmärgiks luua teadus ja hariduse testplatvorm, mis võimaldab teostada eksperimente sõidukite ja kogu muu võrgu V2X kommunikatsiooni vallas.

**Description:** The research group is working on development and implementation of self-driving vehicles and autonomous systems, in particular a localization and mission planning, motion parameters and path following, object detection and obstacle avoidance, sensor fusion and simulations. In addition the research group is dealing with wider smart city concept and intelligent transportation. Autonomous system realistic testbed is under the development including test

platform for V2V and V2I communications and interactions. In longer turn the complete solution a scientific and educational test platform will be developed for providing the experiments for V2X solutions.

**Uurimisgrupp:** Uurimisgrupp on dünaamiline ja koondab liikmeid erinevatest teaduskondadest ja instituutidest. Võtmeisikud: Raivo Sell (vanemteadur, uurimisgrupi juht), Eero Väljaots (insener), Khuldoon Bukhari (insener), Juhan-Peep Ernits (dotsent, Tarkvarateaduse instituut), Mairo Leier (teadur, Arvutisüsteemide instituut).

PhD tudengid: Martin Jürise

**Group members:** The research group is dynamic team from different faculties and departments. Key persons are: Raivo Sell (Senior Research Scientist, team leader), Eero Väljaots (Engineer), Khuldoon Bukhari (Engineer), Juhan-Peep Ernits (assoc. Professor, Department of Software Science), Mairo Leier (Research Scientist, Department of Computer Systems).

PhD students: Martin Jürise

**Projektid/Projects:**

- Self-driving car (Iseauto), Joint financing by university and industry, 2017-2018
- Model Based Design of Embedded Systems and Autonomous Navigation, ETF8652, 2011-2014
- Mobil robotic platform for navigation algorithms, BF121, 2009-2010
- Applied curricula in space exploration and intelligent robotic systems / APPLE, Erasmus+ VERT17079, 20016-2019

**Valitud publikatsioone/ Selected publications:**

- Väljaots, E.; Sell, R.; Rimasauskas, M. (2016). Unmanned Ground Vehicle Energy Efficiency Validation in Territory Surveillance Mission. In: I. Skiedraite, E. Dragašius and L. Zubrickaitė (Ed.). Mechatronic Systems and Materials VII (164–170). Trans Tech Publications Ltd. (Solid State Phenomena; 251).10.4028/www.scientific.net/SSP.251.164.
- Väljaots, E.; Sell, R.; Kaeeli, M. (2015). Motion and Energy Efficiency Parameters of Unmanned Ground Vehicle. In: A. V. Valiulis, O. Černašėjus, V. Mokšin (Ed.). Mechatronic Systems and Materials VI (934–939). Trans Tech Publications Ltd. (Solid State Phenomena; 220-221).10.4028/www.scientific.net/SSP.220-221.934.
- Väljaots, E.; Sell, R. (2014). Unmanned Ground Vehicle SysML Navigation Model Conducted by Energy Efficiency. In: B.Gan, Y. Gan, Y. Yu (Ed.). Advances in Applied Materials and Electronics Engineering III (443–447).. Trans Tech Publications Ltd. (Advanced Materials Research; 905).10.4028/www.scientific.net/AMR.905.443.
- Sell, Raivo; Petritsenko, Andres (2013). Early design and simulation toolkit for mobile robot platforms. International Journal of Product Development, 18, 2, 168–192.10.1504/IJPD.2013.053499.

**Kontakt/Contact information:** van.tead. Raivo Sell ([raivo.sell@ttu.ee](mailto:raivo.sell@ttu.ee))

## **2.6. Tööstusrobotitele põhinev kiiresti ümberseadistatav tootmine** **Reconfigurable Manufacturing Based on Industrial Robots**

**Kirjeldus.** Tänapäevasele globaalsele maailmale on iseloomulik üha kiirenevad muutused nii tootmises kui ka ühiskonnas. Suure konkurentsi tingimustes töötavale ettevõttele on tüüpilised neli märksõna: partii suurus 1, lühike tarneaeg, väike toote maksumus ja kõrge kvaliteet. See nõuab tootjatelt suurt paindlikkust, kõrget tootlikkust ning protsesside integreeritust ja digitaalsust. Siit tulenevalt tööstusrobotika valdkonna peamiseks märksõnadeks on küber-füüsikalised süsteemid (CPS), asjade internet (IoT), suurandmed ja pilvelahendused ning kindlasti ka tööstusrobotika arendused erinevates valdkondades (tööstuslogistika, koostamine, seadmete teenindamine,

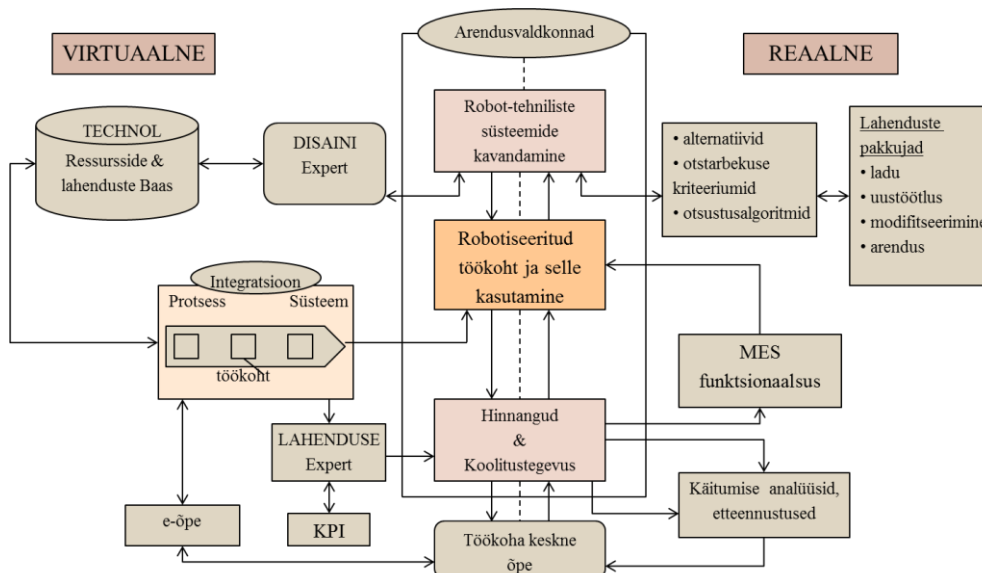
keevitamine, mõõtmine ja kontroll). Tervikuna arendustegevus on vahetut seotud nn „tarkade tehaste“ (*smart factories*) kontseptsiooniga.

Käsitleva ainevaldkonna küsimustega tegelemine toimub väga tihedas koostöös TTÜ Mehhaanika ja tööstustehnika instituudi ning Teadus-arenduskeskusega IMECC. Selles koostöös on tugev integratsioon ja sünergia.

**Description:** The importance of manufacturing systems development, robotization and role of intelligent manufacturing systems is rapidly increasing due to the developments of Industry 4.0 with its basic technologies: cyber physical systems (CPS), robotics, industrial internet (IoT), machine to machine connections (M2M), warehouse management systems (WMS), cloud computing, big data and data analytics, etc.

The basic R&D areas are: design of robot-cell development processes for different applications (inbound logistics, robot-welding, robot-assembly, loading-unloading, etc), the principles of selection the components for robot-cell; modelling the features of the system and determining the most suitable operating rules inside a workplace and in integrated production system (see Fig1).

The research and development activities, development of use-cases and practical implementation in companies are executed in tight cooperation between IMECC and Institute of Mechanics and Production Engineering.



Joonis 1. Tööstusrobotika arenduse kontseptuaalne mudel

Figure 1. Conceptual model of reconfigurable manufacturing based on industrial robots

**Uurimisgrupp:** Töötajad: Jüri Riives (professor), Tauno Otto (professor), Kristo Karjust (dotsent), Vladimir Kuts (doktorant-nooremteadur), Margus Müür (insener), Martins Šarkans (dotsent), IMECC: Kaia Lõun (PhD), Juhan Anvelt (MSc), Priit Saaremets (MSc); Tallinna Tehnikakõrgkool: Tavo Kangro (MSc), Madis Moor (MSc). Tihe koostöö uurimisgruppidega: VTT, MTC Turku, Fastems Oy.

**Group members:** Faculty: Jüri Riives (professor), Vladimir Kutz (PhD), Margus Müür (MSc), Martins Sarkans (PhD); IMECC: Kaia Lõun (PhD), Juhan Anvelt (MSc), Priit Saaremets (MSc); Tallinn University of Applied Sciences: Tavo Kangro (MSc), Madis Moor (MSc). Very tight cooperation is also with organisations from Finland: VTT, MTC Turku, Fastems Oy.

#### Projektid/Projects:

- Logistics for Manufacturing SME-s – L4MS (Horizon 2020, 2017-2021)
- Integrated Smart Education in Robotics – INSMER (ERASMUS+, 2016-2018)
- SmartIC Robotics i4MS (Horizon 2020, 2016-2017)
- Smart Reconfigurable Manufacturing Model (EU48685 subproject PR2.1, 01.09.15. – 31.12.17.)

- Modular Multi-functional Robot-Cell Design and Implementation (EU48685 subproject PR2.2.1, 01.07.16. – 31.12.19.)
- Automated Stock Solutions for Robot-Cell Services (EU48685 subproject PR2.3, 01.09.15. – 31.12.18.)

**Kontakt/Contact information:** Prof. Jüri Riives ([jyri.riives@gmail.com](mailto:jyri.riives@gmail.com))

## **2.7. Kõrgtehnoloogiliste materjalide, konstruktsioonide ja toodete väljatöötamine**

### **Design optimization of advanced materials, structures and products**

**Kirjeldus:** Uurimisgrupi peamine eesmärk on välja töötada uuenduslikke tootearenduse meetodid ja vahendid, mis võimaldaks kiiremini luua uusi tooteid ning kiiremini ja odavamalt toota eritellimusena kohandatud lahendusi.

**Description:** The main objective of the research is to develop innovative product design methods and tools to deliver a new product rapidly, to produce customer-driven customized designs, which can be quickly and cheaply produced.

**Uurimisgrupp:** Martin Eerme (Professor), Kristo Karjust (dotsent, direktor), Jüri Majak (juhtiv teadur), Tarmo Velsker (insener), Kaimo Sonk (lektor), Toivo Tähemaa (dotsent)

Doktorandid: Maarjus Kirs, Kaur Väer

**Group members:** Faculty: Martin Eerme (Professor), Kristo Karjust (Associate Professor, Director), Jüri Majak (Lead Research Scientist), Tarmo Velsker (Engineer), Kaimo Sonk (lecturer), Toivo Tähemaa (associate professor).

PhD students: Maarjus Kirs, Kaur Väer

#### **Projektid:**

- Targa ühistoote prototüübi võimaluste analüüs ja piloteerimine Bestnet OÜ näitel (2017)
- Tarkade tootmis- ja materjalitehnoloogiate arenduskeskus (2015 – 2022)
- EmerEEG - Kaasaskantav seade, mida kasutatakse reanimobiilides traumaatiliste ajukahjustuste varajaseks avastamiseks ja raviks, vältimaks hilisemaid tõsiseid terviseprobleeme. (2013 – 2015)
- Lennukite saba-osa teenindussüsteemi disainilahenduse väljatöötamine ning kaasnevad konsultatsiooni teenused (2011 – 2012)

#### **Projects:**

- Analysis and joint piloting of smart product – Bestnet case (2017)
- Smart manufacturing and materials technologies competence centre (2015 – 2022)
- EmerEEG - A portable device for Early detection and treatment of Traumatic Brain Injury based on advanced qEEG and HD-TES to prevent major Health problems and specially for use in emergencies and telemedicine. (2013 – 2015)
- Elaboration of design project and strength calculations of Tallinn Lennart Meri Airport aircraft maintenance hangar of rear maintenance platforms (2011 – 2012)

#### **Valitud publikatsioone/ Selected publications:**

- Majak, J.; Kirs, M.; Eerme, M.; Tungel, E.; Lepikult, T. (2017). Design optimization of graphene laminates for maximum fundamental frequency. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 66 (4), 354–362.10.3176/proc.2017.4.08 .

- Väer, K.; Anton, J.; Klauson, A.; Eerme, M.; Õunapuu, E.; Tšukrejev, P. (2017). Material Characterization for Laminated Glass Composite Panel. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 81 (1), 11–17.10.5604/01.3001.0010.2032.

**Kontakt/Contact information:** Prof. Martin Eerme ([martin.eerme@ttu.ee](mailto:martin.eerme@ttu.ee))

## **2.8. Innovatiivsete süsteemide tööstuslikud rakendused** **Innovative Systems for Industrial Applications**

**Kirjeldus:** Uurimisgrupp keskendub kolmele omavahel seotud uurimissuunale : (a) hierarhiliselt struktureeritud multifunktsionaalsed komposiidid, (b) kõrgtemperatuurised tribokomposiidid ,(c) keraamika- baasil pulbrid selektiivseks laserpaagutamiseks ( SLS ) kihtlisandustehnoloogias. Käimasolevad uuringud on lühidalt kirjeldatud alljärgnevas tabelis:

<b>Multifunktsionaalsed komposiidid</b>	Elektrijuhtivusega keraamilised materjalid; anisotroopsed keraamika- põhised funktsinaalgradientmaterjalid; hierarhiliselt struktureeritud komposiidid; bioloogiliselt inspireeritud konstruktsioonmaterjalid; Mesoporsed materjalid; Keraamilised nanokiud; grafeenitud nanokiududega komposiitmaterjalid ; Keraamilised membraanid.
<b>Tribokomposiidid</b>	ZrC, BN, BC, TiC, WC, TiB <sub>2</sub> , MoSi <sub>2</sub> – baasil kõrgtemperatuurised tribokomposiidid; süsinikusaldusega isemäärivad komposiidid.
<b>Materjalid kihtlisandustehnoloogias</b>	gradientstruktureeritud pulbrid ja komposiitpulbrid keraamika – põhiste komposiitide selektiivseks laserpaagutamiseks ( MoSi <sub>2</sub> /Si, TiSi <sub>2</sub> /Si, TiB <sub>2</sub> /Si, TiB <sub>2</sub> / Ti, intermetalliidid) ; iselevikõrgtemperatuursüntees ( SHS ) ; mehaaniline legerimine; funktsionaliseerimine ; termotöötlus.

**Description:** The research of the group is broadly subdivided into 3 main interconnected and highly interdisciplinary directions focused on (a) hierarchically structured multi-functional composites, (b) high-temperature damage-tolerant tribo-composites, and (c) ceramic-based powders for additive manufacturing through selective laser sintering (SLS). The ongoing research activities are briefly described in the following Table:

<b>Multi-functional composites</b>	Electroconductive ceramics; Functionally graded and anisotropic ceramic-based composites; Hierarchically structured composites; Bioinspired structural materials; Mesoporous ceramics; Ceramic nanofibers; Graphene added bulks and graphenated nanofillers; Ceramic membranes
<b>Tribo-composites</b>	High-temperature damage-tolerant tribo-composites based on ZrC, BN, BC, TiC, WC, TiB <sub>2</sub> , MoSi <sub>2</sub> ; Self-lubrication in carbon added composites
<b>Materials for SLS</b>	Core-shell structured powders and powders of special applications for SLS of ceramic-based composites (MoSi <sub>2</sub> /Si; TiSi <sub>2</sub> /Si; TiB <sub>2</sub> /Si; TiB <sub>2</sub> /Ti; intermetallics); Self-propagating High-temperature Synthesis (SHS); Wet-combustion; Mechanical alloying; Functionalization; Heat treatment

**Uurimisgrupp:** Töötajad: Irina Hussainova (professor); vanemteadur: Sofiya Aydynyan, Mart Viljus, Maksim Antonov, Lauri Kollo, Rocío Rojas Hernandez; teadur: Marina Aghayan, Rainer Traksmäa, Roman Ivanov, Maria Drozdova.

Doktorandid: Tatevik Minasyan, Le Liu, Nikhil Kumar Kamboj, Ali Saffar Shamshirgar, Janis Baronins, Masoud Taleb, Dmitri Gomon

**Group members:** Faculty: Irina Hussainova (professor); Senior research scientists: Sofiya Aydiyanyan, Mart Viljus, Maksim Antonov, Lauri Kollo, Rocío Rojas Hernandez; Research scientists: Marina Aghayan, Rainer Traksmäa, Roman Ivanov, Maria Drozdova.

**PhD students:** Tatevik Minasyan, Le Liu, Nikhil Kumar Kamboj, Ali Saffar Shamshirgar, Janis Baronins, Masoud Taleb, Dmitri Gomon

### Projektid:

- Mitmeastmeliselt struktureeritud keraamika-baasil komposiitmaterjalid kasutamiseks ekstreemtingimustes 2014-2019, IUT19-29)
- Keraamika kiudude nanovõrgustik sihitute funktsioonidega (I. Hussainova, PUT 1063, 2016 - 2019)
- Põlemisega sünteeseritud uued materjalid otsetootmisprotsessi jaoks. (Archimedes, 2017–2019)
- Nano-geometry and entanglement for design and prototyping of ceramic-based high-performance nanocomposites (National R&D Program “Materials Technology “, 2013-2015)
- Projects under PROTOTRON scheme for the innovations: ViroGAIN – substrate for virology (2016-17); ULTRINIA – a material and method for performing express analysis of biological fluids (2014-15); and NICAT - Prototyping of nickel-based catalyst for methane steam reforming and carbon dioxide methanation (2016 – 17)

### Projects:

- Multi-scale structured ceramic-based composites for extreme applications (Targeted financing of Estonian Ministry of Education and Research 2014-2019, IUT19-29)
- Nanonet of ceramic fibers with targeted functionalities (Estonian Science Foundation, Personal grant to I. Hussainova, PUT 1063, 2016 - 2019)
- Combustion synthesized new materials for additive manufacturing (Archimedes, 2017–2019)
- Nano-geometry and entanglement for design and prototyping of ceramic-based high-performance nanocomposites (National R&D Program “Materials Technology “, 2013-2015)
- Projects under PROTOTRON scheme for the innovations: ViroGAIN – substrate for virology (2016-17); ULTRINIA – a material and method for performing express analysis of biological fluids (2014-15); and NICAT - Prototyping of nickel-based catalyst for methane steam reforming and carbon dioxide methanation (2016 – 17)

### Valitud publikatsioonid/ Selected publications:

- Aghayan, M.; Potemkin, D.I.; Rubio-Marcos, F.; Uskov, S.I.; Snytnikov, P.V.; Hussainova, I. The template-assisted wet-combustion synthesis of fibrous nickel-based catalyst for carbon dioxide methanation and methane steam reforming. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2017, 9, 50, pp. 43553 – 43562
- Taleb, M.; Ivanov, R.; Bereznev, S.; Kazemi, S; Hussainova, I. Graphene encapsulated alumina nanofibers for ultra-sensitive simultaneous determination of dopamine, uric and ascorbic acids. *Microchim. Acta*, 2017, 184, 4603-4610
- Hussainova, I.; Drozdova, M.; Pérez-Coll, D.; Rubio-Marcos, F.; Jasiuk, I.; Soares, J.A.; Rodríguez, M.A. Hierarchically structured zirconia reinforced by hybrid graphene/alumina nanofibers. *ECERS*, 2017, 37, pp. 3713 - 3719
- Hussainova, I.; Baronins, J.; Antonov, M.; Drozdova, M. Wear performance of hierarchically structured alumina reinforced by graphene encapsulated nanofibers. *Wear*, 2016, 368-369, pp. 287-295
- Kazantseva J.; Ivanov, R.; Gasik, M.; Neuman, T.; Hussainova, I. Graphene-augmented nanofiber scaffolds demonstrate new features in cells behavior. *Nature: Scientific reports*, 2016, 6, 30150

- Hussainova, I.; Ivanov, R.; Stamatina, S.N.; Anoshkin, I.V.; Skou, E.M.; Nasibulin, A.G. A few-layered graphene on alumina nanofibers for electrochemical energy conversion. *Carbon*, 2015, 88, p. 157 – 164

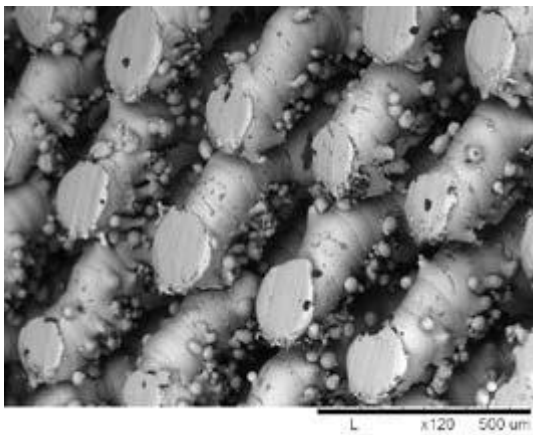
**Kontakt/Contact information: Prof. Irina Hussainova (irina.hussainova@ttu.ee)**

## **2.9. Triboloogia ja ümbertöötlemine**

### **Tribology and Recycling**

**Kirjeldus:** Rühma tegevus keskendub a) tribomaterjalide ja tribosüsteemide testimisele ja arendamisele, (b) kaasaegsete materjalide korduvkasutuse (sealhulgas purustamise ja eraldamise) tehnoloogiate arendamisele erinevates tööstusharudes (elektroonika, kulumiskindlad materjalid, pehmed ja väga kõvad materjalid). Uurimistöö hõlmab kõiki materjalide rühmi, sealhulgas metallid, sulamid, metallkeraamika, metallmetallid, komposiidid, plastid, kummid, pindid. Hiljuti laiendati uuringut 3D-printimistehnoloogia abil toodetud erinevate materjalidega. Saadaval on mitukümmend standardset ja eri- katsemeetodit kulumise, hõõrdumise, määrimise ja korduvkasutuse uurimiseks.

**Description:** The research of the group is focused on (a) testing and improvement of tribomaterials and tribosystems, (b) providing of reliable recycling (including crushing and separation) technology for various industry segments (electronics, wear resistant materials, soft and extremely hard materials). The scope of research covers all material groups including metals, alloys, cermets, hardmetals, composites, plastics, rubbers, coatings. Recently, the research was extended by various materials produced by 3D printing technology. Standard and customized test methods to study wear, friction and lubrication (more than 20 methods) and recycling (more than 10 methods) are available.



**Uurimisgrupp: Teadustöötajad:** M. Antonov, D. Goljandin, J. Kübarsepp, P. Kulu, I. Hussainova, F. Sergejev, V. Podgurski, A. Bogatov.

**Doktorandid:** J. Baroninš; R. Rahmaniahranjani; D. Gomon; Y. Holovenko; M. Yashin; F. J. Casesnoves Granada.

**Group members: Faculty:** M. Antonov, D. Goljandin, J. Kübarsepp, P. Kulu, I. Hussainova, F. Sergejev, V. Podgurski, A. Bogatov.

**PhD students:** J. Baroninš; R. Rahmaniahranjani; D. Gomon; Y. Holovenko; M. Yashin; F. J. Casesnoves Granada.

#### **Projektid:**

- Innovatiivsed polükristallilisest teemandist kuluvasad pehme pinnase tunneli puurimisseadmete tarbeks (HTM, 2016-2019, B56).
- Uued tehnoloogiad tunneli- ja kaevandustööde jaoks (EL, FP7, Grant 280712, 2012-2017, VFP566).

- Isesobituvad adaptiivsed tribomaterjalid mineraalide baasil (ETAG, 2011-2014, ETF8850).
- Mitmeastmeliselt struktureeritud keraamika-baasil komposiitmaterjalid kasutamiseks ekstreemtingimustes (HTM, 2014-2019, IUT19-29).
- Erinevad kõvasulamite, elektroonika, loodusmaterjalide baasil ehitusmaterjalide, kaubanduslike jäätmete jms korduvkasutamise uurimisprojektid.

#### Projects:

- Innovative polycrystalline diamond (PDC) drag bit for soft ground tunnel boring machines (Est. Min. Ed. and Res., 2016-2019, B56).
- New Technologies for Tunnelling and Underground works (EU, FP7, Grant 280712, 2012-2017, VFP566).
- Self-organisation of minerals based adaptive tribomaterials (ESF, 2011-2014, ETF8850).
- Multi-scale structured ceramic-based composites for extreme applications (Est. Min. Ed. and Res. 2014-2019, IUT19-29).
- Several research projects on recycling of hardmetals, electronics, biobased building materials, commercial wastes, etc.

#### Valitud publikatsioone/ Selected publications:

- Holovenko, Y, Antonov, M, Kollo, L, Hussainova, I (2017). Friction studies of metal surfaces with various 3D printed patterns tested in dry sliding conditions. Part J: Journal of Eng. Trib.
- Antonov, M, Asfari, H, Baronins, J, Adoberg, E, Hussainova, I. (2017). Mapping the effect of temperature and sliding velocity on friction of AlCrN PVD coating tested against Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> and ZrO<sub>2</sub>. Trib. Int.
- Hussainova, I, Baronins, J, Antonov, M, Drozdova, M. (2016). Wear performance of hierarchically structured alumina reinforced by hybrid graphene encapsulated alumina nanofibers. Wear, 368-369.
- Zhao, G, Hussainova, I, Antonov, M, Wang, Q, Wang, T, Yung, D.-L. (2015). Effect of temperature on sliding and erosive wear of fiber reinforced polyimide hybrids. Trib. Int, 82, 525–533.
- Antonov, M, Veinthal, R, Yung, D-L, Katušin, D, Hussainova, I. (2015). Mapping of impact-abrasive wear performance of WC–Co cemented carbides. Wear, 332-333.

**Kontakt/Contact information:** Van. tead.M. Antonov ([Maksim.Antonov@ttu.ee](mailto:Maksim.Antonov@ttu.ee)) – Triboloogia Tead. D. Goljandin ([Dmitri.Goljandin@ttu.ee](mailto:Dmitri.Goljandin@ttu.ee)) – Taaskasutus ([www.ttu.ee/tribo](http://www.ttu.ee/tribo))

## **2.10. Pinnatehnika arendus**

### **Surface Technology Development**

**Kirjeldus.** Õhukeste kõvapinnete valdkonnas tegeldakse füüsilise aursadestamise (*PVD*) ja keemilise aursadestamise (*CVD*) tehnoloogiatega, täpsemalt kõvapinnete (mono-, mitmekihilised, gradient-, nanokomposiitpinded) struktuuri ja omaduste arendamise ja karakteriseerimisega. Uurimisgruppi poolt on arendamisel uued teemant – ja oksiidpinded. Pinnete karakteriseerimine hõlmab triboloogiliste ja mehaaniliste omaduste uurimist, nanoindenteerimis- ja kriipekatseid toa – ja kõrgel temperatuuril, samuti pinna morfoloogia ning keemilise koostise uurimist. Teemantpinde pinna morfoloogia muutub liugekulumistestide jooksul.

Teadustöö paksude pinnete valdkonnas on fokuseeritud Ni- või Fe-baasil maatriksiga ja karbiidide (WC/W<sub>2</sub>C) ning kermiste (WC-Co, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-Ni, TiC-NiMo) osakestega armeeritud komposiitkõvapinnetele. Kõvafaasiks on ka kasutatud kõvasulamist desintegraatorjahvatamise teel valmistatud pulber. Pinded on mõeldud tööks erinevais abrasiivkulumise tingimustes (abrasioon, erosioon, abrasiivlöökkulumine) laias temperatuurivahemikus (20...650 °C). Pindeid valmistatakse kiirleekpihustuse (*HVOFS*) ja plasmakaarkeevitusega (*PTAW*). On saavutatud toatemperatuuril (20 °C) abrasiivkulumiskindluse kasv kuni 2,1 korda (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-Ni osakestega armeeritud Fe-sulamist



kiirleekpihustatud pinne) ja kõrgel temperatuuril (650 °C) erosioonkulumiskindluse kasv kuni 2,5 korda (WC-Co osakestega armeeritud Fe-sulamist kiirleekpihustatud pinne). Peale selle uuritakse veel kiirleekpihustuspindeid mehhaanika aktiveeritud termosünteesiga (*mechanically activated thermal synthesis*) valmistatud kermispulbriest ning reaktiivtermopihustamise (*reactive thermal spraying*) teel kermispinnete saamist.

**Description.** Research in the field of thin hard coatings deals with all aspects of physical vapor deposition (PVD) and chemical vapor deposition (CVD) technologies. Structure and properties of a broad spectrum of hard coatings (monoblock, multilayered, gradient, nanocomposites), fabricated by PVD and CVD techniques, are developed and characterised. The advanced diamond and oxide coatings are under development. The coatings characterization include investigation of tribological properties (room/high temperatures), mechanical properties by nanoindentation and nanoscratch (room/high temperatures), surface morphology and chemical composition, etc. The surface of diamond films underwent morphological changes during the sliding tests.

Research in the field of thick coatings is focused on composite hardfacings with a nickel- or iron-based matrix, reinforced by carbide (WC/W<sub>2</sub>C) and carbide-based (WC-Co, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-Ni, TiC-NiMo) particles. As the hardphase, powders produced by disintegrator milling of hardmetal scrap are used, as well. Hardfacings are, foreseen for different abrasive wear conditions (abrasion, erosion, abrasive-impact wear) in a broad range of temperatures (20–650 °C). Hardfacings are manufactured by high velocity oxy-fuel spraying (HVOFS) or plasma transferred arc welding (PTAW). Up to 2.1 times increase of abrasive wear resistance under room temperature (20 °C; Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-Ni particles reinforced Fe-based HVOFS hardfacing) and up to 2.5 times increase of erosive wear resistance under the elevated temperature (650 °C; WC-Co particles reinforced Fe-based HVOFS hardfacing) have been achieved. Apart from that, HVOFS hardfacings from cermet powders, produced by mechanically activated thermal synthesis (MATS), as well as HVOFS hardfacings, produced by reactive thermal spraying (RTS), are studied.

**Uurimisgrupp:** Vitali Podgurski, Priit Kulu (vanemteadurid), Dmitri Goljandin (teadur), Andrei Surženkov (assistent), Andrei Bogatov (insener); Heinar Vagiström (tehnik). Doktorandid: Maxim Yashin, Asad Alamgir Shaikh, Taavi Simson, Dmytro Tkachivskyi.

**Group Members:** Vitali Podgurski, Priit Kulu (senior researchers), Dmitri Goljandin (research scientist), Andrei Surženkov (teaching assistant), Andrei Bogatov (engineer), Heinar Vagiström (technician). PhD students: Maxim Yashin, Asad Alamgir Shaikh, Taavi Simson, Dmytro Tkachivskyi.

**Projektid:**

- Mitmeastmeliselt struktureeritud keraamika-baasil komposiitmaterjalid kasutamiseks ekstreemtingimustes (institutsionaalne uurimistoetus IUT19-29, 2014–2019);
- Teemantpinnete adaptatsioonimehhanismid kuivhõõrdekulumisel (personaalne uurimistoetus PUT13-69, 2017–2020).

**Projects:**

- Multi-scale structured ceramic-based composites for extreme applications (Institutional Research Funding IUT19-29, 2014–2019);
- Adaptation mechanisms of diamond films in dry sliding wear (Personal Research Funding PUT13-69, 2017–2020).

**Valitud publikatsioone/ Selected publications:**

- Yashin, M.; Baronins, J.; Menezes, P.; Viljus, M.; Raadik, T.; Bogatov, A.; Antonov, M.; Podgurski, V. (2017) Wear Rate of Nanocrystalline Diamond Coating Under High Temperature Sliding Conditions. *Solid State Phenomena*, **267**, 219–223; doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.267.219.
- Sarjas, H.; Surzhenkov, A.; Juhani, K.; Antonov, M.; Adoberg, E.; Kulu, P.; Viljus, M.; Traksmäa, R.; Matikainen, V.; Vuoristo, P. (2017) Abrasive-Erosive Wear of Thermally

**Kontakt/Contact information:** Van. tead. Vitali Podgurski (vitali.podgurski@ttu.ee), Van. tead. Priit Kulu (priit.kulu@ttu.ee).

## **2.11. Akustika arendus** **Acoustic Research**

**Kirjeldus:** Uuringute põhieesmärk on arendada välja kõrgtehnoloogilised, tõhusad, laialdaseks rakendusteks sobivad akustilised materjalid. Kõvapindsed mittekiulised mikrostruktuursed materjalid, näiteks mikroperforeeritud paneelid (MPP), mikro-poorsed paneelid (MGE), metalsed vahud ja akustilised metamaterjalid (AMM) on asendamas traditsioonilisi poorseid materjale, kuid nende helineelduvuse füüsikalist mehhanismi tuleb veel täpsemalt uurida ja optimeerida. Teine uurimissuund käsitleb energia saamist jääenergiast, muu hulgas ka vibratsioonenergiast. Kasutades akustilise ja vibrosüsteemi mittelineaarsust, saab süsteemist koguda energiat ja muuta see nt elektrienergiaks. Sellised süsteemid vajavad täpset optimeerimist, et energiaväljund oleks piisavalt efektiivne.

**Description:** The main objective of the investigations is to develop and improve high-effective and high-tech acoustic materials for a wide field of applications: micro-perforated panels (MPP), micro-grooved elements (MGE), metal foams and acoustic meta-materials (AMM). The second task is vibration-based energy harvesting, the scavenging of power from existing vibro-acoustic source and its conversion to useful electrical power. The design of energy harvesting devices shall be optimized to produce the maximum output for given ambient conditions.

**Grupi liikmed:** Juht: Jüri Lavrentjev (professor), Hans Rämmal (dotsent), Fabio Auriemma (teadur), Heiki Tiikoja (teadur).

PhD tudeng: Reza Moezzi.

**Group members:** Faculty: Jüri Lavrentjev (professor), Hans Rämmal (assoc. professor), Fabio Auriemma (research scientist), Heiki Tiikoja (research scientist).

PhD students: Reza Moezzi.

### **Projektid:**

- TAR16012 "Teadmistepõhise ehituse tippkeskus (1.10.2015–1.03.2023)", Jarek Kurnitski, Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond, Ehitiste projekteerimise instituut, Ehitusfüüsika ja energiatõhususe õppetool.
- F15027 "Tarkade tootmis- ja materjalitehnoloogiate arenduskeskus (1.09.2015–31.12.2022)", Kristo Karjust, Tallinna Tehnikaülikool, Mehaanikateaduskond, Mehaanika ja tööstustehnika instituut.

### **Projects:**

- TAR16012 "Zero energy and resource efficient smart buildings and districts (1.10.2015–1.03.2023)", Jarek Kurnitski, Tallinn University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Department of Structural Design, Chair of Building Physics and Energy Efficiency.
- F15027 "Smart manufacturing and materials technologies competence centre (1.09.2015–31.12.2022)", Kristo Karjust, Tallinn University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical and Industrial Engineering.

**Valitud publikatsioone/ Selected publications:**

- Auriemma, F. (2017). Acoustic performance of micro-grooved elements. Applied Acoustics, 122 (July), 128–137.
- Rämmal, H.; Lavrentjev, J. (2017). Reliability Study of Micro-Perforated Elements in Small Engine Silencer Application. In: SAE (Ed.). SAE Technical Paper (1–6). SAE - Society of Automotive Engineers . (2017-32-0075).

**Kontakt/Contact information:** Prof. Jüri Lavrentjev ([juri.lavrentjev@ttu.ee](mailto:juri.lavrentjev@ttu.ee))

**2.12. Logistika ja transpordi uurimisgrupp****Research Group of Logistics and Transport**

**Kirjeldus:** Uurimisgrupi uurimistöö on keskendunud järgmistele suundadele:

- Keskkonnasäästlikud sõidukid. Kontakt: Jüri Lavrentjev  
Uurimistöö selles alamvaldkonnas on suunatud sõidukite keskkonnakahjulikkuse vähendamisele. Peamine uurimisobjekt on sõidukite poolt genereeritud müra nii üksiksõiduki kui liiklusvoo poolt tekitatuna. Üksiksõiduki konstruktsioonis uuritakse uute ja efektiivsemate mürasummutusmaterjalide loomise ja kasutuselevõtu võimalusi. Rakendusuuringutasemel on fookuses ka uued vedelkütusetüübid, nende tehnilised ja majanduslikud probleemid.
- Transpordiplaneerimine ja liiklus. Kontakt: Dago Antov  
Transpordiplaneerimise alased uuringud on seotud turvalise, sujuva ning säästliku liiklemise võimalustega, linnalogistika ning transpordi ja ruumikasutuse omavaheliste seoste uurimisega. Eelnimetatu kõrval on märksõnadeks säästlik liikuvus ja jätkusuutlik transport, sealhulgas ühistranspordi korraldamine linnas, regioonis, riigis ja rahvusvaheliselt, liikluse prognoosimine, transpordiuuringud, liikuvuskavad. transpordivõrgu analüüs ja transpordisüsteemi planeerimine, liiklusohutus ja -järelevalve.
- Logistika. Kontakt: Kati Kõrbe Kaare  
Logistikaalased uuringud on seotud nutika transpordilogistika, veoseohutuse, transpordi hinnakujunduse ja võrguettevõtetes tulemuslikkuse mõõtmisega.
- Tarneahela juhtimine. Kontakt: Eduard Ševtšenko  
Tarneahela juhtimise alased uuringud on seotud väärtusahela analüüsi, tarneahela koostöö, jätkusuutliku tarneahela ja nõudluse prognoosimise valdkondadega.

**Description:** Research group focuses on the following research directions:

- Eco-friendly vehicles. Contact: Jüri Lavrentjev  
Research in this sub-area aims at reducing the environmental impact of vehicles. The main research object is vehicle-generated noise generated by both an individual vehicle and a traffic flow. The design of an individual vehicle explores the possibilities for creating and deploying new and more effective noise absorbing materials. In the applied research, new types of liquid fuel, their technical and economic problems are also focused.
- Transport and traffic planning. Contact: Dago Antov  
Transport planning studies relate to the possibilities of safe, seamless and sustainable mobility, the study of the interlinkages between urban logistics and transport and space use. Beside the aforementioned, keywords include sustainable mobility and sustainable transport, including public transport in the city, region, country and internationally, traffic forecasting, transport studies, mobility schemes. transport network analysis and transport system planning, road safety and surveillance.
- Logistics. Contact: Kati Kõrbe Kaare  
Logistics research relates to smart logistics, freight security, transport pricing and network performance measurement.
- Supply chain engineering. Contact: Eduard Shevchenko

Supply chain management studies are related to value chain analysis, supply chain collaboration, sustainable supply chain and demand forecasting.

**Uurimisgrupp:** Dago Antov (professor), Jüri Lavrentjev (professor), Kati Kõrbe Kaare (dotsent), Hans Rämmal (dotsent), Ott Koppel (külalislektor), Eduard Shevtshenko (dotsent)  
Doktorandid: Kristjan Kuhi, Imre Antso, Juri Ess, Allan Nõmmik, Jelizaveta Janno, Eva Branten

**Group members:** Dago Antov (professor), Jüri Lavrentjev (professor), Kati Kõrbe Kaare (associate professor), Hans Rämmal (associate professor), Ott Koppel (guest lecturer), Eduard Shevtshenko (associate professor)

Doctoral students: Kristjan Kuhi, Imre Antso, Juri Ess, Allan Nõmmik, Jelizaveta Janno, Eva Branten

**Projektid:**

- Eesti teadustaristu teekaardi objekt: Infotehnoloogiline mobiilsusobservatoorium (IMO) <http://www.etag.ee/rahastamine/infrastruktuuritoetused/teadustaristu-teekaart/>
- Lokaalselt resonantsed mikro-perforeeritud akustilised metamaterjalid: uudne kombineeritud lahendus müra summutuseks
- Nutika transpordilogistika arendus (SmartLog)
- Liiklusohutuse kultuur ja ohutussüsteemne lähenemisviis, kultuuriliste muutuste uuring ja liiklusohutuse innovatsioonikava (TraSaCu)
- Roheline kuluefektiivne pakend Ericsson tootele

**Projects:**

- The object of the Estonian Scientific Research roadmap: Information Technology Mobility Observatory (IMO) <http://www.etag.ee/finantee/infrastruktuuritoetused/teadustaristutiteekaart/>
- Locally Resonant Micro Perforated Acoustic Metamaterials: An Innovative Combined Solution for Noise Reduction
- Smart Logogue Development (SmartLog)
- Road safety culture and safety system approach, study on cultural change and Road Safety Action Plan (TraSaCu)
- Green cost-effective packaging for the Ericsson product

**Valitud publikatsioone/ Selected publications:**

- Nežerenko, O.; Koppel, O.; Tuisk, T. (2017). Cluster approach in organization of transportation in the Baltic Sea Region. *Transport*, 32 (2), 167–179.10.3846/16484142.2014.994225.
- Rämmal, H.; Lavrentjev, J. (2017). Reliability Study of Micro-Perforated Elements in Small Engine Silencer Application. In: SAE (Ed.). SAE Technical Paper (1–6). [www.papers.sae.org](http://www.papers.sae.org): SAE - Society of Automotive Engineers . (2017-32-0075).
- Mahmood, K.; Shevtshenko, E.; Karaulova, T.; Otto, T. (2018). Risk assessment approach for a virtual enterprise of small and medium-sized enterprises. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 67 (1), 17–27.10.3176/proc.2017.4.27 .
- Ess, J.; Antov, D. (2016). Unified Methodology for Estimating Efficiency of Traffic Calming Measures – Example of Estonia. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 11, 259–265.

**Kontakt/Contact information:** Prof. Dago Antov (dago.antov@ttu.ee)

## **2.13. Toodete ja teenussüsteemide disain** **Product and Service Systems Design Group**

**Kirjeldus:** Grupi teadustegevus keskendub disainist juhitud arenduse praktikate väljatöötamisele ja rakendamisele, et (a) mõista kompleksseid probleeme, situatsioone ja võrgustikke ning luua strateegiaid arendusvõimaluste väljatöötamiseks uute toote- ja teenusesüsteemide disainimiseks ja (b) loovate strateegiate ning lähtekohtade väljatöötamisele tehnoloogia arenduseks toote- ja teenusekontseptsioonideks.

**Description:** The research of the group is focused on developing the methodology of design-driven innovation through practice-based research which is (a) exploring complex problem situations to sketch out various solutions, scenarios and visions for new product-service system design, (b) developing creative strategies and guidelines for technology development for reaching tech-intensive new product-service system concepts.

**Uurimisgrupp:** Töötajad: Martin Pärn (professor), Ruth-Helene Melioranski (insener), Janno Nõu (insener)

**Group members:** Faculty: Martin Pärn (professor), Ruth-Helene Melioranski (engineer), Janno Nõu (engineer)

### **Projektid**

- VIR16037 "Balti regiooni ettevõtete toetamine innovatiivsete, kodus elavate vanuritele mugavate ja turvaliste lahenduste leidmisel tootearenduses (20.11.2015–31.07.2019)", Ruth-Helene Melioranski, Tallinna Tehnikaülikool, Inseneriteaduskond, Mehaanika ja tööstustehnika instituut

### **Projects:**

- VIR16037 "Innovative solutions to support BSR enterprises in product development aimed at raising comfort and safety of seniors home living (20.11.2015–31.07.2019)", Ruth-Helene Melioranski, Tallinn University of Technology, School of Engineering, Department of Mechanical and Industrial Engineering

**Kontakt/Contact information:** Prof. Martin Pärn (martin.parn@ttu.ee)