

**MEHAANIKATEADUSKOND**  
**TEADUS- JA ARENDUSTEGEVUSE AASTAARUANNE 2015**

**1. Teaduskonna/asutuse (edaspidi struktuurüksus) struktuur** *(seisuga 31. detsember)*

**MEHAANIKATEADUSKOND**  
**FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING**

Dekaan: Professor Tauno Otto  
+372 620 3266  
tauno.otto@ttu.ee

**Masinaehituse instituut**  
**Department of Machinery**

Direktor: Dotsent Kristo Karjust, kristo.karjust@ttu.ee, +372 620 3260

Autotehnika õppetool/Chair of Automotive Engineering

Professor Jüri Lavrentjev, juri.lavrentjev@ttu.ee, +372 620 3262

Disaini õppetool/Chair of Design

Külalisprofessor Martin Pärn, martin.parn@ttu.ee, +372 620 3250

Tootearenduse õppetool/Chair of Product Development

Professor Martin Eerme, martin.eerme@ttu.ee, +372 620 3270

Tootmissüsteemide õppetool/Chair of Manufacturing Systems

Professor Jüri Riives, jyri.riives@gmail.com, +372 620 3256

Tootmistehnika õppetool/Chair of Production Engineering

Professor Tauno Otto, tauno.otto@ttu.ee, +372 620 3266

**Materjalitehnika instituut**  
**Department of Materials Engineering**

Direktori kt: Dotsent Fjodor Sergejev (alates 01.09), fjodor.sergejev@ttu.ee, +372 620 3346

Materjaliõpetuse õppetool/Chair of Materials Science

Professor Irina Hussainova, irina.hussainova@ttu.ee, +372 620 3371

Metallide tehnoloogia õppetool/Chair of Metals Engineering

Dotsent Fjodor Sergejev, fjodor.sergejev@ttu.ee, +372 620 3346

Pulbertehnoloogia teaduslaboratoorium/Research Laboratory of Powder Technology

Vanemteadur Lauri Kollo, lauri.kollo@ttu.ee, +372 620 3356

Triboloogia ja materjali katsetuste teaduslaboratoorium/Research Laboratory of Tribology and Materials Testing

Vanemteadur Maksim Antonov, maksim.antonov@ttu.ee, +372 620 3355

Materjalide taaskasutuse teadus- ja katselabor/Research and Testing Laboratory of Materials Recycling

Teadur Dmitri Goljandin, dmitri.goljandin@ttu.ee, +372 620 3349

**Mehhatroonikainstituut**  
**Department of Mechatronics**

Direktor: Professor Mart Tamre, mart.tamre@ttu.ee, +372 620 3202

Kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool/Chair of Quality Engineering and Metrology

Professor Toomas Kūbarsepp, toomas.kubarsepp@ttu.ee, +372 620 3211

Mehhanosüsteemide komponentide õppetool/Chair of Mechanosystem Components

Mehhatroonikasüsteemide õppetool/Chair of Mechatronics Systems

Professor Mart Tamre, mart.tamre@ttu.ee, +372 620 3202

Mehhatroonika-, mehhanosüsteemide ja mõõtesüsteemide teadus- ja katselaboratoorium/Laboratory for Mechatronics, Mechano and Measurement Systems

Assistent Leo Teder, leo.teder@ttu.ee, +372 620 3305

**Soojustehnika instituut****Department of Thermal Engineering**

Direktor: Professor Andres Siirde, andres.siirde@ttu.ee, +372 620 3902

Soojusenergeetika õppetool/Chair of Thermal Power Engineering

Professor Aadu Paist, aadu.paist@ttu.ee, +372 620 3638

Soojusjõuseadmete õppetool/Chair of Thermal Power Equipment

Professor Andres Siirde, andres.siirde@ttu.ee, +372 620 3902

Tööstusliku soojustehnika õppetool/Chair of Heat Engineering

Professor Ivan Klevtsov, ivan.klevtsov@ttu.ee, + 372 620 3914

**Mehaanika ja metroloogia katselaboratoorium****Laboratory of Mechanical Testing and Metrology**

Juhataja: Priidu Peetsalu, priidu.peetsalu@ttu.ee, +372 620 3342

**2. Teadus- ja arendustegevuse (edaspidi T&A) iseloomustus****2.1.1 Masinaehituse instituut**Urimisrühm 1**Kaasaegsete materjalide ja konstruktsioonide optimaalne projekteerimine****Design optimization of advanced materials and structures**

Juht: Jüri Majak, juhtivteadur, tootmistehnika õppetool.

Liikmed:

Martin Eerme, professor, tootearenduse õppetool;

Kristo Karjust, dotsent; tootmistehnika õppetool;

Meelis Pohlak, vanemteadur, tootearenduse õppetool;

Henrik Herranen, teadur tootearenduse õppetool;

Ott Pabut, doktorant;

Maarjus Kirs, doktorant, nooremteadur tootearenduse õppetool;

Henri Lend, doktorant; nooremteadur tootearenduse õppetool;

Aleksei Snatkin, doktorant;

Madis Mikola; doktorant;

Anti Haavajõe, doktorant;

Tanel Eiskop, doktorant;

Erko Õnapuu; doktorant;

Samo Saarts, doktorant.

Teadustöö ülevaade:

Jätkati FP7 projekti „EmerEEG - kaasaskantav seade, mida kasutatakse reanimobiilides traumaatiliste ajukahjustuste varajaseks avastamiseks ja raviks, vältimaks hilisemaid tõsiseid terviseprobleeme“ täitmist. Antud töögrupi peamiseks tegevuseks oli hüperelastse membraani, korpuse ja raami projekteerimine mõõtesadmele (traumaatiliste ajukahjustuste varaseks avastamiseks).

Eelmise projektiga mõnevõrra sarnase projekti „Targad komposiitmaterjalid: projekteerimine ja valmistamine“ töö jätkamine. Struktuuri seisundit jälgida võimaldavate tarkade komposiitmaterjalide disain ja projekteerimine. Arendati mikrostruktuuri mõju arvestavaid LEM mudeleid tarkade komposiitmaterjalide simuleerimiseks. Neid mudeleid testiti/valideeriti katseliselt. Arendati akustilise emissiooni, mehaanilise pinge, vibratsiooni ja pöörivoolu mõõtmisel põhinevaid meetodeid (koostöös TTÜ elektroonikainstituudiga). Hinnati eksperimentaalselt nende meetodite võimekust ja kasutatavust.

FGM ja sandwich struktuuride, samuti nanostruktuuride arvutusteks vajalike numbriliste mudelite arendamine. LEM mudelite ja lainikute (wavelet) kasutamisel põhinevate diskretiseerimismeetodite arendamine. Analüütiliste koonduvuskiiruse hinnangute tuletamine Haari lainikute kasutusel

põhinevate diskretiseerimismeetodite jaoks. Funktsioonide aproksiimeerimine Haari lainikute abil. Otsese arenduse täpsus ja koonduvuskiirus osutus ebapiisavaks. Täpsemate ja kiiremini koonduvate lähenduste väljatöötamine. Arendatud numbriliste meetodite ja mudelite võrdlus lõplike vahede meetodiga (LVM), analüüs. Haari lainikute meetod osutus täpsemaks kui LVM kõigi realiseeritud rakenduste korral, eriti märgatav oli täpsuse vahe väikese arvutusvõrgu korral.

Toimus koostöö K.Karjusti uurimisgrupiga, mille eesmärgiks oli tootmisprotsessi monitooringu süsteemide väljatöötamine väikese ja keskmise suurusega ettevõtete jaoks. Vaadeldava koostöö raames kohandati globaalse optimeerimise algoritme tööpingi/tootmisliini hooldusaja minimeerimiseks ning töötati välja tööriista purunemist ennetav mudel.

Jätkati uurimistööd multikriteeriaalsete optimeerimismeetodite arendamise ja rakendamise valdkonnas. Üheks rakenduseks oli ettevõtte Goliath Wind OÜ tuulegeneraatorite kargstruktuuril põhineva generaatori (üsna harukordne tuuliku konstruktsioon) massi ja hinna minimeerimine ning jäikuse ja efektiivsuse maksimeerimine. Lõpptulemuseks saadav hinnavõit oli suhteliselt väike (~3%), kuid lahenduses oli põhirõhk seatud kõrgema turvalisusele tagamisele.

Alustati uurimistööd multifunktsionaalsete laminaat klaaskomposiitpaneelide projekteerimise ja analüüsi valdkonnas TAK projekti „Tarkade tootmis- ja materjalitehnoloogiate arenduskeskus“ raames. Antud uurimisgrupi alamteemaks on laminaat klaaskomposiitpaneelide struktuurianalüüs ja optimeerimine, katseline jäikuse/ tugevuse hindamine. Koostööd tehakse Fabio Auriemma ja Jüri Lavrentjevi uurimisgruppidega kelle ülekandeks on akustika valdkonna probleemid (heli summutamine jne). Esimesteks tulemusteks on sobivate mudelite valik heli summutavate vahekihtide kirjeldamiseks ja akustika laboratooriumi esialgne projekt.

#### Teadustöö lühikirjeldus (eesti keeles)

Uute numbriliste meetodite arendamine komposiitmaterjalist konstruktsioonide struktuuri-analüüsiks, nende koonduvuskiiruse ja täpsuse hindamine [1-2].

Hierarhiline multikriteeriaalsete optimeerimisalgoritmide koostamine, dekompositsioonimeetodite rakendamine lähteülesannete keerukuse vähendamiseks, rakendusnäiteks Goliath Wind OÜ tuulegeneraatorite kargstruktuuril põhineva generaatori optimeerimine. Hüperelastse membraani, korpuse ja raami projekteerimine FP7 projekti „EmerEEG“ mõteseadme jaoks.

#### Teadustöö lühikirjeldus (inglise keeles)

Development and evaluation of new numerical methods for structural analysis of composite structures, convergence analysis, derivation of analytical error estimates [1-2].

Development and adaption of hierarchical multicriterial optimization algorithm and techniques, application of decomposition methods for simplifying initial problem, sample application – optimal design of the lattice structure based generator for Goliath wind OÜ [3]. Design of hyperelastic membrane, structural frame for measuring device (FP7 project „EmerEEG“).

#### Aruandeaastal saadud kõige olulisemad teadustulemused (eesti keeles)

Koonduvusteoreemid ja analüütilised vah hinnangud Haari lainikute meetodi jaoks [1-2]. Üldine strateegia ja multikriteeriaalne optimeerimise algoritm kargstruktuuril põhineva generaatori optimeerimiseks (Goliath Wind OÜ). FP7 projekti „EmerEEG“ mõteseadme prototüüp, optimeerimise protseduur.

#### Aruandeaastal saadud kõige olulisemad teadustulemused (inglise keeles)

Convergence theorems and analytical error estimates for Haar wavelet method [1-2]. General strategy and multicriterial optimization algorithm for optimal design of lattice structure based generator (Goliath wind OÜ). Prototype of FP7 project „EmerEEG“ measuring device, design procedure.

#### Koostöö<sup>1</sup> teiste TA asutuste ja ettevõtetega (sh välisriikidest)

SmartBrain, Norway (Haldor Sjaheim), Cardiff University, UK (Bruno Albert),

---

<sup>1</sup> Koostöö all peetakse silmas ühiseid teadusuuringuid, tulemuste publitseerimist jmt., mitte ainult lepingulise tellimustöö täitmist

neuroConn GmbH, Germany (Klaus Schellhorn), STIFTELSEN SINTEF ICT, Norway (Frode Strisland), Tuscia University Viterbo, Italy (C.Cattani)  
 TTÜ elektroonikainstituut, TTÜ Küberneetika Instituut, IMECC, Goliath Wind OÜ, Luksusjaht AS, jne.

### 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit:

1. Majak, J.; Shvartsman, B.; Kirs, M.; Pohlak, M.; Herranen, H. (2015). Convergence theorem for the Haar wavelet based discretization method. *Composite Structures*, 126, 227–232, 10.1016/j.compstruct.2015.02.050.
2. Majak, J.; Shvartsman, B.; Karjust, K.; Mikola, M.; Haavajõe, A.; Pohlak, M. (2015). On the accuracy of the Haar wavelet discretization method. *Composites Part B: Engineering*, 80, 321–327.
3. Pabut, O.; Eerme, M.; Kallaste, A.; Vaimann, T. (2015). Multi-Criteria Design Optimization of Ultra Large Diameter Permanent Magnet Generator. *Elektronika ir Elektrotehnika*, 21 (3), 42–48, 10.5755/j01.eee.21.3.10278.

### Uurimisrühm 2

#### **Tarkade tootmis- ja materjalitehnoloogiate arenduskeskus (F15027) Smart manufacturing and materials technologies competence centre**

Juht: Kristo Karjust, dotsent, tootmistehnika õppetool

Liikmed:

Tauno Otto, professor, tootmistehnika õppetool;  
 Jüri Majak, juhtivteadur, tootmistehnika õppetool;  
 Jüri Lavrentjev, professor, autotehnika õppetool;  
 Martin Eerme, professor, tootearenduse õppetool;  
 Hans Rämmal, vanemteadur, autotehnika õppetool;  
 Meelis Pohlak, vanemteadur, tootearenduse õppetool;  
 Henrik Herranen, teadur, tootearenduse õppetool;  
 Aigar Hermaste, lektor, tootmistehnika õppetool;  
 Rivo Lemmik, insener;  
 Allan Aari, tarkvaraarendaja/insener;  
 Toivo Tähemaa, dotsent, tootearenduse õppetool;  
 Tatjana Karaulova, teadur, tootmistehnika õppetool;  
 Maarjus Kirs, nooremteadur, doktorant, tootmistehnika õppetool;  
 Henri Lend, nooremteadur, doktorant, tootearenduse õppetool;  
 Aleksei Snatkin, doktorant;  
 Tanel Eiskop, doktorant;  
 Sergei Kaganski, doktorant;  
 Marko Paavel, doktorant.

### Teadustöö ülevaade

EAS ja Euroopa Regionaalarengu Fondi kaasrahastamise abiga loodud arenduskeskuse projektid on jaotatud kolme põhilisse strateegilisse arenguvaldkonda (strategic development areas – SDA), milleks on: Strateegiline arenguvaldkond SDA1 – Integreeritavad süsteemid ja targad tootmistehnoloogiad (Integrated Systems and Smart Manufacturing Technologies). Strateegilise arenguvaldkonna SDA1 peamiseks eesmärgiks on tarkade tootmistehnoloogiate arendamine (reaalajas monitoring, tootmisvõimsuse tõstmine intelligentsete protsesside abil, virtuaalkeskond tellimuste haldamiseks võrktootmises ning tootmisprotsesside registreerimine nutikale tehasele) ja rakendamine integreeritud tootmises vastavalt erinevate valdkondade nagu masinatööstus, mehhatroonika, logistika, elektroonika-, mööbli- ja toiduainetööstus vajadustest lähtuvalt. Need

tehnoloogiad kasutavad tootmise efektiivsuse kasvatamiseks, tulemuslikkuse tõstmiseks ning parema kvaliteedi saamiseks veebipõhist reaajas toimivat kontrollfunktsiooni, mis võimaldab pidevast monitooringust, simulatsioonist ja protsesside analüüsimisest saadavate andmete abil teha äriprotsessides paremaid otsuseid. Strateegiline arenguvaldkond SDA2 – Robotsüsteemidel põhinev ümberseadistatav nutikas tootmine (Intelligent Reconfigurable Manufacturing Based on Robot-cells). Kaasaegsed tööstusrobotid ja nende tehnilised lahendused (tarkvara, programmeerimise paindlikkus, mõõtmisvõimekus) võimaldavad kiiresti luua programme (kasutades 3D virtuaalkeskkonda) ning rakendada neid lihtsasti tootmises. Koos keskkonna monitoorimise ja nutikate otsustusprotsessidega on võimalik lühendada ebavajalike tegevuste eemaldamisega tsüklite kestust. Tootmisprotsessid, milledes robotitel on oluline mõju, on: viimistlus (lihvimine, poleerimine, kraatide eemaldamine, värvimine), koostamine (komponentide all-koostud, punkt-keevitus, liimimine) ja keevitus (MIG/MAG protsess, TIG keevitus). Nutikate robotsüsteemide areng on oluline osa sellest strateegilisest arenguvaldkonnast. Strateegiline arenguvaldkond SDA3 – Uudsed mitmeotstarbelised materjalid masinaehituses (Design Optimization of Multifunctional Engineering Structures). Arenguvaldkonna SDA3 peamiseks eesmärgiks on arendada uudseid multifunktsionaalseid materjale, mis vastaksid IMECCi ja tööstuspartnerite tänapäevastele vajadustele ja tulevikuootustele. Peamiseks uurimisvaldkonnaks on tugevdatud mehaanilise- ja helikindlusega lamineeritud klaas.

#### Teadustöö lühikirjeldus (inglise keeles)

SDA1: Integrated Systems and Smart Manufacturing Technologies. The general objective of the SDA1 is to develop and implement smart manufacturing technologies (advanced monitoring, manufacturing capability enhancement through raising process intelligence, virtual environment for simulation of customer order management in networked manufacturing, and manufacturing execution environment for smart factories) for integrated manufacturing in the field of mechanical engineering, mechatronics, transport, electronics, furniture, and food industries. These technologies will help to increase overall productivity, production efficiency and quality with developing and implementing web-based real time optimal control functions for making informed business decisions for manufacturing systems and customized products, using continuous monitoring, simulation and analysis of machine and process performance data. SDA2: Intelligent Reconfigurable Manufacturing Based on Robot-cells The modern industrial robots and their technical solutions (software, programming flexibility, measuring ability) enable to create production programs rapidly (using 3D virtual environment) and to implement them quickly into production. Through monitoring the environment and using intelligent decision making there is possible to decrease the cycle times due to eliminating the non-value adding activities. The production processes where the robots have the great impact are following: finishing (grinding, polishing, deburring, painting), assembling (compose sub-assemblies, tack welding, gluing) and welding (MIG/MAG process, TIG welding). Intelligent robot cells development is important part of this SDA. SDA3: Design Optimization of Multifunctional Engineering Structures. An aim of the activities of SDA3 is to develop novel multifunctional structures according to the current needs and future vision of the industry partners and IMECC. The main types of multifunctional structures are structures with structural health monitoring capabilities and laminated glass structures with improved mechanical and sound attenuation properties. Due to multidisciplinary character of the research topic (mechanics, optimization, ICT, electronics, material science) cooperation with Competence Centre ELIKO and four Institutes of TUT has been foreseen. The activities of the research group are focused on mechanical engineering (structural analysis and design optimization), ICT (numerical algorithms and procedures) and numerical methods (discretization of governing equations of the structure).

#### Aruandeaastal saadud kõige olulisemad teadustulemused (eesti keeles)

Projekt algas 01.09.2015 ning projekti esimese nelja kuuga teostati valdkonna analüüs ja tootmise monitooringu süsteemi prototüübi arendus.

#### Aruandeaastal saadud kõige olulisemad teadustulemused (inglise keeles)

Project started 01.09.2015 and with first four months there was made overview of the research area and analyse of the production monitoring and real time management systems. Production monitoring system prototype development was carried out.

### Koostöö<sup>2</sup> teiste TA asutuste ja ettevõtetega (sh välisriikidest)

Kungliga Tekniska Hoegskolan (KTH, Thomas Lundholm), Consiglio Nazionale Delle Ricerche (ITIA-CNR, Marco Sacco), Harju Elekter Elektrotehnika AS, Sumar Tools OÜ, ELI OÜ, Pro-Step OÜ, Norcar BSB Eesti AS, Temeko Metall OÜ

### 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit

1. Snatkin, A.; Eiskop, T.; Karjust, K.; Majak, J. (2015). Production monitoring system development and modification. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 64, 567–580.
2. Kukushkin, M.; Otto, T.; Howard, T. (2015). Value-centric business development: descriptive and prescriptive research into five different companies;. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 65 (4S), 543–543, 10.3176/proc.2015.4S.02.
3. Sahno, J.; Shevtshenko, E.; Karaulova, T.; Tahera, K. (2015). Framework for continuous improvement of production processes. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 26, 2, 169–180, 10.5755/j01.ee.26.2.6969.

### Uurimisrühm 3

#### **Mikro-perforeeritud lokaalselt resonantsed akustilised meta-materjalid: kombineeritud lähenemine müra kontrolliks**

#### **Micro-Perforated Locally Resonant Acoustic Metamaterials: a combined approach for noise control**

Juht: Fabio Aurieremma, teadur, masinaehituse instituut; autotehnika õppetool

Liikmed: Heiki Tiikoja, teadur, autotehnika õppetool

#### Teadustöö ülevaade:

Antud uurimisprojekti eesmärgiks on uurida ja arendada uusi akustilisi meta-materjale, kasutades õhukest hüperelastset membraani, mis on varustatud nõuetekohaselt projekteeritud mikroavaustega (või raskustega millel on mikroavaused) elemendi pinnal. Sellise materjali akustilised omadused on kombinatsioon mikro-perforatsioonist (MPE) ja mittelineaarse membraani resonantsest käitumisest, mille tulemusena on võimalik saada parendatud summutusnäitajatega akustiline meta-materjal. Edaspidi on antud materjalile viidatud kui õhukese membraani ja mikro-perforeeritud, lokaalselt resonantsele akustilisele meta-materjalile (MPAM).

Kuna perforeeritud elemendi ja elastse membraani omadusi tuleb uurida eraldi ning seejärel kombineerida lõpliku disain juures, on uue MPAM arendamine jagatud kolme põhietappi.

Seni tehtud uuringud:

- 1. etapp: Siseavadega (perforeeritud) materjalide akustiliste omaduste uurimine, mida kasutatakse ka MPAM lõpliku disaini juures. See hõlmab ka uute mikro-soontega elementide disainimist (MGE) [1]-[3].

Käesolevalt uurimisrühm tegeleb:

- 2. etapp: Õhukese, sisemiste avadeta, hüper-elastse membraani akustiliste omaduste uurimine, kasutades membraanile kinnitatud väikeseid masspunkte. See hõlmab ka nn. energia ülekandmise (TET) uurimist. Antud nähtust uuritakse, kombineerides mittelineaarne ostsillaator (nt. õhuke hüper-elastne membraan) lineaarse primaarsüsteemiga (nt. sirge toru

<sup>2</sup> Koostöö all peetakse silmas ühiseid teadusuuringuid, tulemuste publitseerimist jmt., mitte ainult lepingulise tellimustöö täitmist

milles levib akustiline tasapinnaline laine). Sellisel juhul toimub vibratsiooni energia ülekandmine lineaarselt süsteemilt mittelinearsele, kus energia lõpuks sumbub.

Viimses etapis teostatakse:

- 3. etapp: Sisemiste avade ja täiendavate masside koosmõju uurimine õhukeste, hüper-elastsete membraanide korral.

Lisaks:

- Etapis 1 viidi läbi ka uuring helilainete leviku ja sumbuuse kohta turbulentses õhuvoolu tingimustes. Sellest tingituna oli vaja täiendada katsesadet ning parandada katseseadme mõõteprotsessi täpsust, kuna oli vaja täpselt mõõta akustilise tasalaine levimine õhuvoolu olemasolu korral kanalil [4].
- Lähikuudele on planeeritud ka koostöö prof. Irina Hussainova uurimisgrupiga, mille eesmärk on testida hiljuti välja töötatud komposiitvarjestusmaterjali akustilisi omadusi. Sellisel materjalil on nii peegeldavad kui ka neelduvad omadused, et parandada varjestuse efektiivsust. Antud juhul on tegemist seest sfääriliste õõnsustega poorse materjaliga mis on kaetud nanostruktuuri kihiga nagu süsinik nanotorud, grafeen, grafeeni helbed, metallid ja sulamid, orgaanilise või anorgaanilise maatriksiga ning mikro- ja/või nanosuuruste tugevduselementidega.

### Teadustöö lühikirjeldus (inglise keeles)

The objective of this research project is to study and develop a new acoustic meta-material made by hyper-elastic thin membrane provided with properly designed micro-apertures (or micro-perforated masses) on the element surface. The properties of this material derive from the combination of the acoustic properties of micro-perforated elements (MPE) and the resonant behaviour of non-linear membrane, resulting in an acoustic meta-material with enhanced absorption properties. This material is referred to as thin-membrane micro-perforated locally resonant acoustic meta-material (MPAM). The development of the new MPAM requires three main stages since the effect of the apertures and the elastic properties of the membrane must be studied separately and then combined in the final design.

The investigations carried out so far are related to the:

- Stage 1: Studying the acoustic behaviour of rigid acoustic materials provided with inner apertures which will be used also in the final MPAM. This involved the design of the new Micro-Grooved Element (MGE) [1]-[3].

Currently the research group is focusing on the:

- Stage 2: Studying the acoustic behaviour of thin, hyper-elastic membranes, without inner apertures, with and without the presence of small masses attached. It involves the study of the so called Targeted Energy Transfer (TET), also known as energy pumping. It is a phenomenon that we observe by combining a pure nonlinear oscillator (such as a thin hyper-elastic membrane) with a linear primary system (such as a straight duct with propagating acoustic plane waves). It corresponds to an almost irreversible transfer of vibration energy from the linear system to the auxiliary nonlinear one, where the energy is finally dissipated.

The final step will regard the:

- Stage 3: Studying the combined effects of inner apertures and/or additional masses in thin, hyper-elastic membranes.

Moreover:

- During the stage 1, a study about the damping of the acoustic waves travelling in a turbulent flow has been performed. This allowed improving the test rig facilities since it required an extremely accurate measurement of the acoustic pressure in presence of mean flow [4].
- In the upcoming months cooperation with the research group of prof. Irina Hussainova is planned, aiming to test the acoustic properties of newly developed composite shielding material. Such material possesses both reflective and absorptive properties to improve shielding effectiveness. It is in the form of synthetic foam comprising spherical or spherical-

like particles coated with a layer of nanostructures such as carbon nanotubes, graphene, graphene flakes, metals and alloys, organic or inorganic matrix, and micro and/or nano-sized reinforcement elements.

### Aruandeaastal saadud kõige olulisemad teadustulemused

Projekti esimeses etapis uuriti erinevaid jäikadest plaatidest ja sisemiste mikrokanalitega varustatud lahenduste, sh mikro-perforeeritud elementide (MPE), akustilisi omadusi. Lisaks on välja töötatud uudne metallist akustiline materjal, mikro-soontega element (MGE).

Uus MGE on kahe kihiline element kus avade kuju ja pikkust on võimalik muuta kihte asendades, ning mida on võimalik efektiivselt valmistada kasutades nt. freesimist või pinnakarestamist. MGE peamine eelis seisneb erineva kuju ja pikkusega avade kiires valmistamises, mis on vajalik ka antud projektis uuringute teostamisel. Publikatsioonid [1]-[3] kirjeldavad etapis 1 saavutatud tulemisi.

During the first stage of the project, several configurations of rigid plates provided with inner micro-channels have been studied, including micro-perforated elements (MPE). A novel metal acoustic material has been developed already in this stage, the new micro-grooved element (MGE).

The new MGEs is a double layer element where the shape and the length of the apertures could be changed by replacing one of the two layers, which could be manufactured by using cost effective burr removal process such as the traditional milling or also punching. The MGEs present valuable advantages especially when different shapes and lengths of the apertures must be produced quickly, as needed in this project in order to perform our investigations. The papers [1], [2] and [3] are focused on the findings of the Stage 1.

### 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit:

1. Auriemma, F.; Tiikoja, H. (2015). On the Acoustic Impedance of a Fibreless Sound Absorptive Element. *SAE International Journal of Engines*, 8(5), 1 - 8.
2. Auriemma, F.; Tiikoja, H. (2015). Non-linear Impedance of a New Sound Absorptive Fibreless Material. *Proceedings of the 2nd International Conference on Modelling, Identification and Control*, 195 - 199.
3. Auriemma, F.; Rammal, H.; Lavrentjev, J. On the On the Acoustic Mechanism of Sound Absorptive Micro-Grooved Elements. (Submitted to *Applied Acoustics*, Elsevier).
4. Tiikoja, H; Auriemma, F., Damping of acoustic waves in straight ducts and turbulent flow conditions (Submitted to *Applied Acoustics*, SAE Paper).

### Uurimisrühm 4

#### **Tehniline akustika ja vibratsioonid**

#### **Technical acoustics and vibrations**

Juht: Jüri Lavrentjev, professor, autotehnika õppetool

#### Liikmed:

Hans Rämmal, vanemteadur, autotehnika õppetool ;

Raimo Kabral, doktorant, autotehnika õppetool;

Marko Püü, doktorant, autotehnika õppetool;

Samo Saarts, doktorant, autotehnika õppetool.

### Teadustöö ülevaade

Oluliseks probleemiks traditsiooniliste mürasummutusmaterjalide kasutamisel on suurte gabariitmõtmete vajadus (eelkõige materjali kihi paksus) kõrgema summutusvõime saavutamiseks, eriti madalasagedusliku müra summutamisel. Lisaks esineb enamikul kiudmaterjalidest



summutuselementidel füüsikaliste omaduste halvenemist ajas. Uurimisgrupi töö eesmärgiks käesoleval aruandeaastal on uurida ja välja töötada innovatiivseid akustilisi materjale efektiivseks rakenduseks summutuselementidena. Peamiseks uurimisvaldkonnaks on erineva perforeerituse ja mikropoorse struktuuriga materjalid. Perspektiivseks materjaliks, mille uuringuid äsja alustati, on aerogeelid - eelkõige orgaaniline aerogeel. Madala tiheduse ja ülikõrge poorsusega struktuuri tõttu võib see asendada paljusid traditsioonilisi laialt levinud poorseid mürasummutusmaterjale. Aruandeaasta lõpus fookusseeruti uuele uurimistemaatikale, mis käsitleb komposiitpaneelide vibroakustilisi omadusi ja nende parendamise võimalusi. Aruandeaastasse jääb ka koostöö alustamine ABB-ga eksperimentaalsete uuringute ja koolituste vormis, eesmärgiga parandada tööstusgeneraatorite vibroakustilisi omadusi. Aruandeaastal viidi uurimisgrupis eduka kaitsmiseni üks doktoritöö.

#### Teadustöö lühikirjeldus (inglise keeles)

A major issue with the use of traditional noise cancellation panels is that the effectiveness of the panels is primarily proportional to the dimensions (particularly the thickness) and the mass of the elements, especially when aiming low frequency performance. Additionally, the deterioration of physical and acoustical performance of the traditional fibrous materials is often reported during the service time. The main objective of the research group is to study and develop innovative acoustic materials for effective applications in noise control elements. Various acoustic panels with perforated- and microporous structures are the main objectives in the survey. A perspective material solution, recently focused on, are aerogels – in particular an organic aerogel. With supremely low density and high porosity, this material can substitute a wide range of traditional porous materials used for noise cancellation purposes. Recently a new research topic – the enhancement of vibroacoustic performance for composite panels was initiated. The activities of research group additionally include cooperation with industry (ABB) in the form of experimental studies and personnel trainings aiming to improve the vibroacoustic performance of commercial generators. Furthermore, the following doctoral thesis was successfully published.

#### Aruandeaastal saadud kõige olulisemad teadustulemused (eesti keeles)

Olulisima tulemusena tõestati, et uudsed mikroperforeeritud paneelid võivad efektiivselt asendada traditsioonilisi poorseid villmaterjale paljudes mürasummutus-rakendustes. Lisaks leiti teoreetiline põhjendus orgaaniliste aerogeelide kasutamiseks mürasummutuslahendustes.

#### Aruandeaastal saadud kõige olulisemad teadustulemused (inglise keeles)

Novel micro-perforated panels developed were validated to be a successful substitution for traditional porous and fibrous materials in noise control applications. The acoustic effectiveness of organic aerogels was theoretically proven.

#### Koostöö<sup>3</sup> teiste TA asutuste ja ettevõtetega (sh välisriikidest)

TTÜ Keemia instituut, Kuningliku Tehnoloogiainstituut (Rootsi)

#### Uurimisrühm 5

#### **Intelligentne otsuste toetamise süsteem Intelligent Decision Support Systems**

Juht: Eduard Ševtšenko, vanemteadur, tootmistehnika õppetool;

Liikmed:

Tatjana Karaulova, teadur, tootmistehnik õppetool;

Taivo Kangilaski, vanemteadur, informaatika instituut;

Kashif Mahmood, insener;

---

<sup>3</sup> Koostöö all peetakse silmas ühiseid teadusuuringuid, tulemuste publitseerimist jmt., mitte ainult lepingulise tellimustöö täitmist

Jevgeni Sahno, doktorant;  
 Igor Poljantšikov, doktorant;  
 Viktoria Baškite, doktorant;  
 Kirill Zaitsev, magistrant (E-profiil);  
 Rauno Pihlak, magistrant, informaatika instituut.

### Teadustöö ülevaade

- parendatud partnerite valiku raamistik VE (Virtuaalse Ettevõtte) moodustamise jaoks
  - arendatud mudel koostööprojektide realiseerimiseks jätkusuutlikus partnervõrgustikus (JPN)
  - koostöös Apeco OÜ ja Eesti Energia Tehnoloogiatööstus AS-ga on väljatöötatud järgmised standardprotsessid: Hankimine, Koostamine, Müük, Transport, Ladustamine, 3D kontseptsiooni loomine, 2D kontseptsiooni loomine
  - kirjeldatud VE organisatsiooni loomise protsess
  - väljatöötatud on kriteeriumid partnerite valikuks
  - loodud on Partnerite valiku vahend JPN jaoks. Partnerite valiku vahend on realiseeritud hägusloogika, Pugh'i maatriksi, AHP ja TOPSIS meetodi baasil. Loodud vahend on kontrollitud reaalses töös ning kontrolli tulemid on esitatud ajakirja publitseerimiseks
  - Uuringu tulemused on kontrollitud reaalses tööolukorras. Reaalses koostööprojektis kontrolliti loodud kontseptsiooni partnervõrgustiku loomiseks, VE formeerimiseks ning samuti kontrolliti partneri valiku algoritmi tööd.
- Reaalses koostööprojektis osalesid uurimisprojekti tulemuste kontrollimisel:

Põhitegija: Densel Baltic OÜ;

disaini partnerid: Apeco OÜ, ANK Technology OÜ, Eesti Energia Tehnoloogiatööstus AS;

tootmispartnerid: Finest Steel OÜ, OÜ ERALD NORDIC, RGR Airon OÜ

- Virtuaalettevõtte tegevuse hindamise eeluuring SPN-s
- Riskide juhtimise eeluuring SPN-s (Skoop ja hindamine)
- Efektiivsuse mõõtmine SPN-s (EVM meetodi abil)

### Teadustöö lühikirjeldus (inglise keeles)

- Improved the partner selection framework for VE (Virtual Enterprise) formation
- Developed the model for collaborative project realisation in Sustainable Partner Network (SPN)
- Developed the Procurement, Assembly, Sales, Transport, Warehousing, Make 3D concept, Make 2D concept Subprocesses for PN Network in collaboration with Apeco and Eesti Energia Tehnoloogiatööstus enterprises
- Described the VE organisation establishment process
- Analysed the criteria for partner Selection
- Developed the Partner selection tool for SPN. The partner selection tool is relied on fuzzy set theory, Pugh matrix, AHP and TOPSIS methods. The tool is verified by case study and the results are submitted to the journal publication
- Research results were verified by case study. The purpose of the case study is to verify the developed concept of the partner network initiation, VE forming and collaborative partner's selection algorithm. Following participants took a part in the research project results verification:
- Focal Player FP: Densel Baltic OÜ; Design partners: Apeco OÜ, ANK Technology OÜ, Eesti Energia Tehnoloogia Tööstus OÜ, Production partners: Finest steel OÜ, OÜ ERALD NORDIC, RGR Airon OÜ.
- Pre-study for Evaluation Framework for Virtual Enterprise in SPN
- Pre-study of risk management in SPN (Scope and assessment)
- Pre-study - performance monitoring of SPN by EVM technique

### Aruandeaastal saadud kõige olulisemad teadustulemused (eesti keeles)

Loodi lahendus, mis võimaldab läbi viia Ericsson raadiote testitulemuste statistilist analüüsi. Määrati seosed vigade ja korrigeerimismeetmete vahel. Projekt sisaldab järgmisi tegevusi:

1. Olemasoleva remonditööde andmebaasi struktuuri analüüsimine

2. Raadiote testtulemuste statistilist analüüsimine
3. Vigade ja korrigeerimismeetmete seoste analüüsimine
4. Põhjuste ja korrigeerimismeetmete analüüsimine
5. Olemasoleva andmebaasi struktuuri muutmine või arendamine lähtuvalt analüüsi tulemustest.

### Aruandeaastal saadud kõige olulisemad teadustulemused (inglise keeles)

#### Lep15017 Statistical analysis of Test results

To develop the solution that enables the statistical analysis of radio testing for Ericsson. To define the relationship between failures and corrective actions. Project include the following activities:

1. Analysis of existing repair database structure
2. Statistical analysis of test results from Radio testing
3. Analysis of relationships between failure and causes
4. Analysis of causes and corrective actions.
5. Development or modification of existing database structure based on analysis results.

### 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit

1. Sahnó, J.; Shevtshenko, E.; Karaulova, T.; Tahera, K. Framework for continuous improvement of production processes. *Engineering Economics*, 26(2), 169-180
2. V.Bashkite, T. Karaulova. Decision-making Framework for Used Industrial Equipment. (*Accepted for publication in Engineering Economics journal*).
3. Shevtshenko.E, Poljantchikov.I, Mahmood. K.,Kangilaski, Nortá A. Collaborative Project Management Framework for Partner Network Initiation. *Procedia Engineering*. 100, 159-168 ("International DAAAM symposium on Intelligent Manufacturing & Automation" Best Poster Award".)

### Uurimisrühm 6

#### **Tööstus 4.0/ Industry 4.0**

Juht: Tauno Otto, professor, tootmistehnika õppetool;

Liikmed:

Jüri Riives, professor, tootmissüsteemide õppetool;  
 Kristo Karjust, dotsent, tootmistehnika õppetool;  
 Rein Küttner, emeriitprofessor, tootmistehnika õppetool;  
 Jüri Majak, juhtivteadur, tootmistehnika õppetool;  
 Tatjana Karaulova, teadur, tootmistehnika õppetool;  
 Eduard Ševtšenko, vanemteadur, tootmistehnika õppetool;  
 Martinš Sarkans, dotsent, tootmissüsteemide õppetool;  
 Kaimo Sonk, doktorant; lektor, tootearenduse õppetool;  
 Kashif Mahmood, doktorant; insener;  
 Aigar Hermaste, doktorant; lektor, tootmistehnika õppetool;  
 Vladimir Kuts, doktorant;  
 Kati Kõrbe Kaare, doktorant;  
 Tanel Aruväli, doktorant;  
 Jaak Lavin, doktorant;  
 Rivo Lemmik, doktorant; insener.

### Teadustöö ülevaade:

Uurimisrühm keskendub Tööstus 4.0 suunas tootmistehnika, tarneahelate juhtimise ja IT sünergias tootlikkuse tõstmisele. Uuritud on töökoha tulemuslikkuse analüüsi ja välja töötatud veebipõhine töökoha tulemuslikkuse jälgimise lahenduse prototüüp. Välja on akutud uudne kontseptsioon digitaalse objektimälu integreerimiseks detaili ja selle töötuse automaatseks reaajaliseks monitooringuks ja saadud andmete salvestamiseks. Lisaks võimaldab objektimälu kasutusele võtmine töötuse monitooringus pakkuda automaatset kvaliteedikontrolli, mis seotakse füüsilise tootega kogu selle elutsükliks. Loodud on meetod

funktsionaalsete vajaduste kasutamiseks toote, protsessi ja firma mudeli loomiseks. Selle mudeli abil on võimalik kiiremini, lihtsamalt ning vähema töökoormusega teada saada firma tootmise võimekus ning leida optimaalseim tootmistehnoloogia. Eriti sobib see optimaalse tootmistehnoloogia leidmiseks kihtlisandustootmise masinate hulgast, kasutades funktsionaalseid vajadusi. See meetod samuti kiirendab, lihtsustab ja vähendab inseneri töökoormust selle protsessi juures.

12.-13.05.2015 korraldati TTÜ-s rahvusvaheline teaduskonverents 10th DAAAM Baltic – Industrial Engineering. Konverentsi peateemadeks olid Industry 4.0, tarneahela juhtimine, tootmistehnika ja -juhtimine ning mehhatroonikasüsteemid. Kuulati 50 ettekannet, osalejaid oli kokku 94. Suurima delegatsiooniga (52 osalejat) oli esindatud Aalto Ülikool Soomest. Lisaks osalesid Lätist Riia Tehnikaülikool; Venemaalt Peterburi Riiklik Infotehnoloogia, Mehaanika ja Optika Ülikool; Tšehhist Lääne-Bohemia Ülikool; Saksamaalt Humbolti Ülikool, Hamburgi Tehnikaülikool ning Wismari Tehnikakõrgkool. Eestist võtsid osa Maaülikool, Tartu Ülikool, ja TTÜ töötajad ning doktorandid. Konverentsi lõpetas ümarlaud, kus arutleti Baltimaade teaduskoostööd. Konverents toimus tehnoloogiaädala „ICT Week“ raames. Avaldati eelretsenseeritud artiklite kogumik „Proceedings of the 10th International Conference of DAAAM Baltic, INDUSTRIAL ENGINEERING, 12-13 May 2015, Tallinn, Estonia” (<http://innomet.ttu.ee/daaam15/>).

Koostöös Kaunase Tehnikaülikooli, Riia Tehnikaülikooli ning Fraunhoferi Instituudiga arendati Balti infrastruktuuri uute funktsionaalsete kaasaegsete materjalid ja nendega seotud tootmistehnoloogiate teadusuuringute, tehnoloogia ja innovatsiooni platvorm (BIRTI platvorm), mis koondab ressursse Balti riikides, et tagada teadmusteenuusepõhiseid lahendusi. BIRTI tulemusel valmistati ette jätkutegevused, sh NordPlus projekt digitaalse tootmise edendamiseks BIRTI partnerluses.

#### Teadustöö lühikirjeldus (inglise keeles)

The research group connects production engineering, ICT and supply chain management into synergy towards productivity enhancement. A web-based workplace performance improvement system was developed for managing real-time manufacturing processes and the level of execution of the production tasks at workplaces. The system's web aspect provides significant advantages, as the system is distributed through inter-operable, cross-platform, and highly pluggable web-service components. It is possible to estimate the effectiveness of the production process at the workplace through different key performance indicators. The system was developed in cooperation with Fujitsu Services Estonia, and it is possible to integrate it with the human resources managing system PERSONA (Fujitsu Services). A new concept was developed to integrate the digital object memory (DOMe) into part and machining quality automatic real-time monitoring and data storage. Intelligent environment uses the on-board G-code with smart cutting tool based in-process signals to evaluate tool condition, part quality and cutting mode. The new approach of machinery monitoring system gives instructions for the system reasoned implementation in SMEs. It enables to start with smaller cost that has been the main obstacle for many companies so far. Additionally, digital object memory implementation in monitoring system enables to make automated quality control and reuse the physical product-related information through the product lifecycle. A method for using functional requirements to model products, processes and companies was created. It enables determining the optimal manufacturing technology, e.g., in the field of additive. This method also speeds up, simplifies and reduces the engineer's workload of the whole process. In addition this method reduces the level of know-how required on the part of the customer.

12.-13.05.2015 was organised at Tallinn University of Technology International 10th DAAAM Baltic – Industrial Engineering. The main topics included Industry 4.0, supply chain management, production engineering and management, and mechatronic systems. There was 50 live presentations, involving altogether 94 participants. The largest number foreign scientists were from Aalto University, but also participated Riga Technical University, ITMO, West Bohemia University, Humbolt University, Hamburg University of Technology, and Wismar University of Applied Science. st Riia Tehnikaülikool; Venemaalt Peterburi Riiklik Infotehnoloogia, Mehaanika ja Optika Ülikool; Tšehhist Lääne-Bohemia Ülikool; Saksamaalt Humbolti Ülikool, Hamburgi Tehnikaülikool ning Wismari Tehnikakõrgkool. From Estonia participated besides TUT University of Tartu and Estonian University of Life Sciences. The event was concluded with round table discussion about Baltic scientific cooperation. The conference was organised in terms of annual ICT Week. As a result

was published „Proceedings of the 10th International Conference of DAAAM Baltic, INDUSTRIAL ENGINEERING, 12-13 May 2015, Tallinn, Estonia” (<http://innomet.ttu.ee/daaam15/>).

The BIRTI platform for technology-based new product design and development research and innovation was developed in cooperation with Kaunas University of Technology, Riga Technical University, and Fraunhofer Institute. BIRTI platform concentrates resources in the Baltics to ensure service-based solutions; interact between different innovation players and sometimes, conversant partners, to help them find common, innovative solution; to create environment for new joint and / or functional modern materials and their related technologies. Established platform works at the same time as a network, supervisor and mediator for all partners. As a first result a NordPlus Project of digital manufacturing involving BIRTI partners was prepared.

#### Aruandeaastal saadud kõige olulisemad teadustulemused (eesti keeles)

Doktoritöö kaitsesid Tanel Aruväli (Wireless Real-time Monitoring of Machining Processes) ja Kaimo Sonk (Development of Additive Manufacturing Based on Functional Requirements). Korraldati Industry 4.0 teemal teaduskonverents DAAAM Baltic ning avaldati konverentsikogumik kogumik „Proceedings of the 10th International Conference of DAAAM Baltic, INDUSTRIAL ENGINEERING, 12-13 May 2015, Tallinn, Estonia” (<http://innomet.ttu.ee/daaam15/>). Käivitati BIRTI tehnoloogiaplattform.

#### Aruandeaastal saadud kõige olulisemad teadustulemused (inglise keeles)

Tanel Aruväli and Kaimo Sonk defended their PhD thesis, correspondingly „Wireless Real-time Monitoring of Machining Processes“ and „Development of Additive Manufacturing Based on Functional Requirements“ An scientific conference was organised and corresponding „Proceedings of the 10th International Conference of DAAAM Baltic, INDUSTRIAL ENGINEERING, 12-13 May 2015, Tallinn, Estonia” (<http://innomet.ttu.ee/daaam15/>) were published. A BIRTI technology platform was established.

#### 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit

Lavin, J.; Riives, J.; Kaganski, S.; Lemmik, R.; Paavel, M.; Koov, K. Workplace performance analysis: methods and a system; Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 2015, 64, 4S, 558–566.

Kõrbe Kaare, K.; Otto, T. Smart Health Care Monitoring Technologies to Improve Employee Performance in Manufacturing. Elsevier, Procedia Engineering, 100, 2015, 826–833.

Karaulova, T.; Shevtshenko, E. Work-Cells Concept Development for High Mix Low Volume Market Conditions, Procedia Engineering, 90–99.

### **2.1.2 Materjalitehnika instituut.**

#### Uurimisrühm 1

#### **Tribomaterjalid kasutamiseks laias temperatuurivahemiku**

#### **Tribo-Materials for a Wide Range of Temperatures**

Juht: Jakob Kübarsepp, professor, metallide tehnoloogia õppetool.

#### Liikmed:

Lauri Kollo, vanemteadur, metallide tehnoloogia õppetool;

Jüri Pirso, vanemteadur, metallide tehnoloogia õppetool;

Lembit Kommel, vanemteadur, metallide tehnoloogia õppetool;

Mart Viljus, vanemteadur, materjaliuuringute teaduskeskus;

Fjodor Sergejev, dotsent, metallide tehnoloogia õppetool;

Kristjan Juhani, teadur, metallide tehnoloogia õppetool;

Rainer Traksmäa, teadur, materjaliuuringute teaduskeskus;

Andres Laansoo, lektor metallide tehnoloogia õppetool;

Aare Aruniit, insener, metallide tehnoloogia õppetool, doktorant;  
 Marek Jõelet, insener, metallide tehnoloogia õppetool, doktorant;  
 Märt Kolnes, insener, metallide tehnoloogia õppetool, doktorant;  
 Mihhail Petrov, insener, metallide tehnoloogia õppetool, doktorant;  
 Marek Tarraste, insener, metallide tehnoloogia õppetool, doktorant.

Teadustöö ülevaade:

Põhilised tulemused on:

1. Korrosioonikindlad Co- ja Ni-vabad keraamilis- metallsed komposiidid. Fookuses olid nii WC- kui TiC- baasil FeCr sideainetega suure kroomisisaldusega kõvasulamite ja kermiste koostise ja tehnoloogia arendamine. Selgitati legeerivate elementide (Mo, Si jt) mõju struktuuri formeerumisele, korrosioonikindlusele (NaCl lahuses) ja mehaanilistele karakteristikutele (purunemissitikus ja kõvadus). Tehnoloogia arendamise valdkonnas selgitati eelkõige paagutustingimuste (temperatuur, keskkond, temperatuuri tõstmise kiirus jne) mõju struktuurile (poorsus, karbiiditera suurus, metallsideaine jaotus jms) ning omadustele;
2. Karbiidkomposiitide (kermiste) kontaktväsimus. Fookuses oli komposiitide (WC-, TiC- ja Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>- baasil) keemilise koostise ja kontaktväsimuse vaheline seos. Uurimistulemused kinnitasid, et vähima struktuuritundlikkusega on TiC-baasil kermised. Selgitati seose olemasolu indenteerimisel määratava elastse töö ja kontaktväsimuse vahel, samuti kontaktväsimuspurunemise mehhanism;
3. Ülikõvade (HV > 40 GPa) BCN-baasil kergkomposiitide tehnoloogia. Fookuses olid termostabiilsed komposiidid kasutamiseks laias temperatuurivahemikus. Kergkomposiitide arendamisel kasutati erinevaid pulbermaterjalide tehnoloogiaid sh SHS, SPS-N, HIP-N, uue arendusena kombineeritud SHS – keemiline söövitus – SPS-N tehnoloogiat jms;
4. Ülikõrgtemperatuursete komposiitide (UHTC – *ultra-high temperature composite*) tehnoloogia. Fookuses olid komposiitide ZrC-Mo, TiC-ZrC, ZrC-ZrO<sub>2</sub> tehnoloogiate (HIP, vaakumpaagutus, plasmaaktiveeritud paagutus (SPS – *spark plasma sintering*)) arendus. Arendati ZrC valmistamise mehaaniliselt aktiveeritud sünteesi ning esmakordselt töötati välja ZrC-TiC binaarse karbiidi kombineeritud sool-geel ja karbotermilise sünteesi tehnoloogia. Selgitati, et grafeeni- sisaldusega ZrC-TiC komposiite iseloomustab kõrgendatud purunemissitikus kuid väiksem kõvadus grafeenisalduseta komposiitidega võrreldes.

The main research areas included into the sub-project and results are as following:

1. Corrosion resistant Co- and Ni-free metal-ceramic composites. A new field of development and characterization of biocompatible Ni – and Co- free composites with high amount of chromium has focused on WC- and TiC-based with FeCr binder compositions. The impact of the alloying elements (Mo, Si and others) on microstructure formation, mechanical characteristics (fracture toughness and hardness) and corrosion resistance (in NaCl solution) was studied. In the field of technological development of composites fabrication, the effect of the sintering conditions (temperature, environment, heating rate etc) on the structure (porosity, grain size of carbide phase, binder contiguity and others) and properties of the composites has been clarified;
2. The surface fatigue of carbide composites (cermets). The relationship between surface fatigue properties and composition of carbide composites (WC-, TiC- and Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>- based) was studied. The results confirmed that the TiC-based cermets are of the lowest structural sensitivity. The contact fracture mechanisms were studied and link between elastic work during indentation and surface fatigue was clarified;

3. Development of technology for BCN-based ultrahigh hardness ( $HV > 40$  GPa) lightweight composites fabrication. Work was focused on the use of thermostable composites in the wide range of working temperatures. Different powder metallurgy technologies, like SHS, SPS-N, HIP-N and newly developed combined SHS-chemical etching – SPS-N technology, were used for fabrication of lightweight composites;

4. Technology of ultra-high-temperature composites (UHTC) fabrication. Focused on the development of ZrC-Mo, TiC-ZrC, ZrC-ZrO<sub>2</sub> composites fabrication technologies (HIP, vacuum sintering, SPS). The ZrC-TiC binary carbide composites were firstly synthesised by combining the sol-gel and carbothermal syntheses technologies. The positive effect of the graphene addition to ZrC-TiC composite on the fracture toughness was shown, at lower hardness levels compared to graphene free composite.

### 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit

1. Tarraste, M.; Juhani, K.; Pirso, J.; Viljus, M. (2015). Reactive Sintering of Bimodal WC-Co Hardmetals. *Materials Science (Medžiagotyra)*, 21 (3), 382–385.

2. Kolnes, M.; Pirso, J.; Kübarsepp, J.; Viljus, M.; Traksmäa, R. (2015). Structure formation and characteristics of chromium carbide-iron-titanium cermets. *Key Engineering Materials*, 674, -- [ilmumas].

3. Tarraste, M.; Juhani, K.; Kübarsepp, J.; Pirso, J.; Mikli, V. (2015). The Effect of Cr and C on the Characteristics of WC-FeCr Hardmetals. In: *Euro PM2015 Congress Exhibition proceedings: Euro PM2015 Congress Exhibition, Reims*, Prantsusmaa, oktoober 2015. European Powder Metallurgy Association, [ilmumas].

### Uurimisrühm 2

#### **Multimaterjalide süsteemid**

#### **Multi-Materials Systems**

Juht: Priit Kulu, professor (alates 01.09 valitud vanemteaduriks), materjaliõpetuse õppetool.

#### Liikmed:

Vitali Podgurski, vanemteadur, materjaliõpetuse õppetool;

Dmitri Goljandin, vanemteadur, materjaliõpetuse õppetool;

Mart Saarna, dotsent, materjaliõpetuse õppetool;

Eduard Kimmari, dotsent, materjaliõpetuse õppetool;

Eron Adoberg, teadur, materjaliõpetuse õppetool;

Andrei Surženkov, teadur, materjaliõpetuse õppetool;

Riho Tarbe, assistent, materjaliõpetuse õppetool;

Liina Lind, assistent, materjaliõpetuse õppetool;

Andrei Bogatov, insener, materjaliõpetuse õppetool;

Taavi Simson, nooremteadur, materjaliõpetuse õppetool.

#### Teadustöö ülevaade:

Uuringute peamised suunad ja tulemused paksude ja õhukeste kõvapinnete valdkonnas on:

Paksud kõvapinded

1. PM-meetodil saadud kõvasulamarmatuuriga komposiitpinded. Fookuses oli armeeritud komposiitpinnete abrasiiv- ja erosioonkulumiskindluse suurendamine. Armatuuri optimaalseks koguseks osutus 50 mahu% (~ 60 massi%);
2. Kiirleekpihustatud (HVOF) komposiitpinded. Fookuses oli Ni- ja Fe-baasil kõvasulam- või kermisarmatuuriga (WC-Co, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-Ni, TiC-NiMo) pinnete kõrgtemperatuurne abrasiiv-erosioonkulumine. Parimat kulumiskindlust demonstreeris FeCrSiB + 25 massi% ( 15 mahu% ) WC-Co komposiitpinne. Selgitati HVOF komposiitpinnete kulumismehhanism kõrgtemperatuurse abrasiiv-erosioonkulumise tingimustes;
3. Plasmapealesulatatud (PTA) pinded. Fookuses olid WC/W<sub>2</sub>C armatuuriga tugevdatud, austeniitterasest maatriksiga pinded;

#### Õhukesed kõvapinded

4. Nanokristalsest teemandist (NCD – *nanocrystalline diamond*) pinded. Fookuses oli teemantpinnete PE-CVD (*plasma-enhanced chemical vapor deposition*) tehnoloogia arendamine nanokristalsest teemandist pinnete saamiseks. Uurimistöö tulemusena paranes arusaam, kuidas kontrollida saadavate pinnete (sh mitmekihiliste pinnete) karedust, morfoloogiat, nakkumist alusmaterjalidega saavutamaks paremad triboloogilised karakteristikud. Uurimistöö tulemused võimaldasid optimeerida pinna morfoloogiat konkreetseid rakendusi silmas pidades;
5. Õhukeste keraamiliste pinnete karakteristikud. Fookuses olid AlCrN ja TiAlN pinded. Uuriti pinnete oksüdeerumiskindlust temperatuurivahemikus 500–1000 °C ning hõõrdkulumiskindlust (erinevatest materjalidest – ZrO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – kuule kasutades) temperatuurini kuni 1000 °C. Selgitati pinnete alusmaterjali (WC-Co, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-Ni, terased AISI-316, C45, Hardox 400) mõju tribokarakteristikutele;
6. Katseseadmete ja -metoodika arendus. Töötati välja rakis ja uurimismetoodika õhukeste pinnete kohesiooni ja adhesiooni hindamiseks kasutades ristuva kraape meetodit.

#### In the area of thick coatings development, the following studies have been conducted:

1. Hardmetal reinforced composite coatings fabrication by PM technology. Focused on increase of abrasive-erosion wear resistance of reinforced composite coatings. The optimal reinforcement phase content is 60 vol% (~50 wt%);
2. High velocity oxygen fuel (HVOF) composite coatings. Focused on high temperature abrasive-erosion wear of Ni- and Fe-based hardmetal or ceramic reinforcement (WC-Co, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-Ni, TiC-NiMo). The highest wear resistance has shown FeCrSiB + 25 wt% ( 15 vol% ) WC-Co composite coating. The wear mechanisms of HVOF composite coatings were clarified in high temperature abrasive-erosion wear conditions;
3. Production of plasma transferred arc (PTA) hardfacings. Focused on the development of austenite steel matrix thick coatings reinforced with WC/W<sub>2</sub>C;

#### In the area of thin tribo-coatings development and studying, the following can be reported:

4. Nanocrystalline diamond (NCD) coatings. Focused on the development of plasma-enhanced chemical vapor deposition (PE-CVD) technology for fabrication of nanocrystalline diamond coatings. The research work results improved understanding of the achievement of control on coatings (incl. multilayers) surface roughness, morphology, adhesion with substrate for



achievement of better tribological characteristics. Research results allows to optimise coating surface morphology in regard of needed application;

5. The characteristics of thin ceramic coatings. Focused on AlCrN and TiAlN coatings. The oxidation of coatings was studied for the temperature range 500–1000 °C and sliding wear resistance (using balls made from different materials - ZrO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) up to 1000 °C. The effect of substrate (WC-Co, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-Ni, steels AISI-316, C45, Hardox 400) on the tribological characteristics of coatings was studied;
6. Development of experimental techniques and methods. The testing rig and experimental technique were developed for the investigation of the cohesion and adhesion of coatings with a use of crossing scratches.

### 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit :

1. Kulu, P.; Tarbe, R.; Saarna, M.; Surzenkov, A.; Peetsalu, P.; Talviste, K. (2015). Wear resistance and selection of steels, hardmetals and hardfacings for abrasive wear conditions. *International Journal of Microstructure and Materials Properties*, 10 (2), 101–113.

2. Podgursky, V.; Bogatov, A.; Sedov, V.; Sildos, I.; Mere, A.; Viljus, M.; Buijnsters, J.; Ralchenko, V. (2015). Growth dynamics of nanocrystalline diamond films produced by microwave plasma enhanced chemical vapor deposition in methane/ hydrogen/air mixture: Scaling analysis of surface morphology. *Diamond and Related Materials*, 58, 172–179.

3. Surzhenkov, A.; Goljandin, D.; Traksmaa, R.; Viljus, M.; Talviste, K.; Aruniit, A.; Latokartano, J.; Kulu, P. (2015). High Temperature Erosion Wear of Cermet Particles Reinforced Self-Fluxing Alloy HVOF Sprayed Coatings. *Materials Science (Medžiagotyra)*, 21 (3), 386–390.

### Monograafia:

Goljandin, D.; Kulu, P. (2015). *Disintegrators and Disintegrator Treatment of Materials*. Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing.

### Uurimisrühm 3

#### **Hierarhiliselt struktureeritud multifunktsionaalsed komposiidid**

#### **Hierarchically Structured Multifunctional Composites**

Juht: Irina Hussainova, juhtivteadur (alates 01.09 on valitud metalliõpetuse professoriks), metallide tehnoloogia õppetool.

#### Liikmed :

Renno Veinthal, professor, materjaliõpetuse õppetool;

Maksim Antonov, vanemteadur, metallide tehnoloogia õppetool;

Marina Aghayan, nooremteadur, metallide tehnoloogia õppetool, doktorant;

Maria Drozdova, nooremteadur, metallide tehnoloogia õppetool, doktorant;

Roman Ivanov, nooremteadur, metallide tehnoloogia õppetool, doktorant;

Masoud Taleb, nooremteadur, doktorant;

Der-Liang Yung, nooremteadur, metallide tehnoloogia õppetool, doktorant.

#### Uuringute peamised suunad ja tulemused:

1. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-nanokiudude funktsionaliseerimine keraamiliste kihtidega. Fookuses oli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-nanokiudude pindamine keraamiliste, sh Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ja ZrO<sub>2</sub> kihtidega CLD (*chemical liquid deposition*) ning aatomkihtsadestuse (ALD – *atomic layer deposition*) meetodeid rakendades. Uuriti saadud kihtide morfoloogiat;
2. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-nanokiudude katmine grafeeniga ja elektrijuhtivusega keraamikamaatrikskomposiidid. Fookuses oli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-nanokiudude funktsionaliseerimine grafeeniga keraamika-baasil komposiitide mehaaniliste omaduste ja elektrijuhtivuse parandamiseks. Arendati nanokiudude mitmekihilise grafeeniga kontrollitava pindamise tehnoloogiat keemilist aursadestuspindamist (CVD) rakendades. Saavutati Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-keraamika elektrijuhtivuse 13 kordne kasv grafeeniga pinnatud (funktsionaliseeritud) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-nanokiudude 3 massi% sisalduse juures;
3. ZrC-baasil keraamikamaatrikskomposiidid. Fookuses olid tetragonaalse ZrO<sub>2</sub> sisaldusega (tagamaks transformatiivne sitkenemine) ZrC-baasil ülikõrgtemperatuursete komposiitide tehnoloogia ja karakteristikud. Praktiliselt täistihedusega materjalid valmistati plasmaaktiveeritud paagutustehnoloogiat (SPS – *spark plasma sintering*) kasutades;
4. Modelleerimine. Töötati välja loomult habraste keraamiliste materjalide transformatiivse sitkenemise mudel. Mudel võimaldab hinnata ZrO<sub>2</sub> osakeste kriitilist raadiust tagamaks maksimaalne sitkuse suurenemine.

The main directions and results of the research are as following:

1. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-nanofibers functionalization with ceramic layers. Focused on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-nanofibers layering with ceramic layers, including Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and ZrO<sub>2</sub> layers, using chemical liquid deposition (CLD) and atomic layer deposition (ALD) methods. The morphology of received layers was studied;
2. Electrically conductive ceramic matrix composites and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-nanofibers modification by graphene layering. Focused on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-nanofibers functionalization by graphene to improve mechanical properties and electrical conductivity of ceramic-based composites. The controlled chemical vapor deposition (CVD) based layering technology was developed for fabrication of the multi-layered graphene coatings on nanofibers. Obtained results show 13 times increase in electrical conductivity of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics covered (functionalized) by graphene with content of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-nanofibers at the level of 3 wt%;
3. ZrC-based ceramic matrix composites. Focused on the technology and characteristics of ultra-high temperature ZrC-based composites with content of tetragonal ZrO<sub>2</sub> (to ensure transformation toughening). Practically full sintered materials were fabricate using spark plasma sintering (SPS) technology;
4. Modelling. The transformation-toughening model was developed for naturally brittle ceramic materials. Model allows assessing the critical radius of ZrO<sub>2</sub> particles to achieve maximum increase in toughness.

### 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit

1. Hussainova, I.; Ivanov, R.; Stamatina, S.N.; Anoshkin, I.V.; Skou, E.M.; Nasibulin, A.G. (2015). A few-layered graphene on alumina nanofibers for electrochemical energy conversion. *Carbon*, 88, 157–164.
2. Aghayan, M.; Gasik, M.; Hussainova, I.; Rubio-Marcos, F.; Kollo, L.; Kubarsepp, J. (2015). Thermal and microstructural analysis of doped alumina nanofibers. *Thermochimica Acta*, 602,

43–48.

3. Filippov, R.A.; Freidin, A.B.; Hussainova, I.; Vil'chevskaya, E.N. (2015). Critical radius of zirconia inclusions I transformation toughening of ceramics. *Physical Mesomechanics*, 18 (1), 1–10.

#### Uurimisrühm 4

### **Kõrgtehnoloogiliste õhukeste pinnete rakendamine tööriistade kulumiskindluse tõstmisel (Hardcoat)**

#### **Advanced Thin Hard Coatings in Tooling (Hardcoat)**

Juht: Priidu Peetsalu, teadur (al. 01.09.2015 peaspetsialist), materjaliõpetuse õppetool.

#### Liikmed:

Maksim Antonov, vanemteadur, metallide tehnoloogia õppetool;

Meelis Pohlak, vanemteadur, tootearenduse õppetool;

Vitali Podgurski, vanemteadur, materjaliõpetuse õppetool;

Alexander Ryabchikov, dotsent, EMÜ metsandus- ja maehitusinstituut;

Mart Saarna, dotsent, materjaliõpetuse õppetool;

Fjodor Sergejev, dotsent, metallide tehnoloogia õppetool;

Eron Adoberg, teadur, materjaliõpetuse õppetool;

Tõnu Leemet, teadur, EMÜ tehnikainstituut;

Marten Madissoo, EMÜ tehnikainstituut, doktorant;

Liina Lind, assistent, materjaliõpetuse õppetool;

Tiiu Mürk, insener, materjaliõpetuse õppetool, doktorant;

Liisa Kurissoo, materjalitehnika instituut, magistrant;

Renno Reitsnik, spetsialist, EMÜ metsandus- ja maehitusinstituut, doktorant;

Adolf Talkop, AS Norma;

Jüri Beilmann, , AS Norma;

Viljar Kasemets, AS Kitman Thulema;

Indrek Tamberg, AS Kitman Thulema;

Helmut Geršman, AS Metaprint;

Marko Aja, AS Metaprint;

Tarvo Raag, Terätoimitus Eesti OÜ.

#### Teadustöö ülevaade

#### Teadustöö lühikirjeldus

Projekti eesmärgiks on välja arendatud kõrgtehnoloogiliste PVD ja CVD pinnete rakendamine tööriistade eluea tõstmiseks. Pikem eluiga saavutatakse läbi sobiva tööriista eel- ja järeltöötamise, pinde valiku ning kulumismehhanismi uurimise. Tegevused (alateemad): - Pinde valiku meetodika loomine konkreetsetele tööriistade gruppidele. - Tööriistade kulumise mehhanismi kirjeldamine konkreetsetes tööstusrakendustes eesmärgiga töötada välja meetmed kulumise vähendamiseks. - Sobiva tööriista alusmaterjali valiku meetodika välja töötamine konkreetsetes tööstusrakendustes. Antud rakendusühe väljundiks on soovitusel tööstusele usaldusväärse tööriista valmistamise marsruuti koos PVD pinne osas valimiseks. Partnerite juures teostatud tööstuskatsetused tõestasid et tööriista püsivuse suurendamine on seotud õige alusmaterjali, eel- ja järeltöötamise ning pinde valikuga uuritud rakenduses. PVD pinned olid kasutatud kõige oluliste valdkondadega seotud tööriistadel – silestantsimine, CNC stantsimine, vormimine, tavastantsimine, lõiketöötlemine ja freesimine.

General objective of the project is to implement PVD and CVD coatings with different architecture for increasing working reliability of cutting tools by studying processes of advanced coatings pre- and post-treatment and wear mechanisms.

Topics:

- Creating principles for the selection of the proper architecture of coatings for specific tooling applications.
- Establishing an understanding of wear mechanisms of advanced coatings in specific industrial application with aim to develop counter-measures against wear of the tools.
- Selection of the proper substrate material for the specific tooling application. Current applied science research project output is instructions for industry to choose reliable tool production route with proper PVD coating. Industrial tests with partners proved increase in tool lifetime if right substrate material, pre-treatment, coating and post treatment are used for the studied application. PVD coatings were applied on the tools where it is most essential nowadays – fineblanking, CNC blanking, forming, conventional blanking, cutting and milling tools.

Koostöö teiste TA asutuste ja ettevõtetega (sh välisriikidest):

Eesti Maaülikool, Kitman Thulema AS, AS Metaprint, AS Norma, Teräatoimituse Eesti OÜ.

3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit

- 1.Lind, L.; Peetsalu, P.; Sergejev, F. (2015). Wear of Different PVD Coatings at Industrial Fine-blanking Field Tests. *Materials Science (Medžiagotyra)*, 21 (3), 343–348.
- 2.Veinthal, R.; Peetsalu, P.; Saarna, M.; Sergejev, F. (2015). Punch lifetime in fine-blanking with optimum combination of mechanical properties. In: *Proceedings - European Conference on Heat Treatment and 22st IFHTSE Congress* (1–7). Venice, Italy: Associazione Italiana di Metallurgia (AIM).

Sama uurimisrühma liikmete poolt on teostamisel projekt koostöös AS Norma-ga:

**Isotermkarastuse ja silelöike stantsimisega seotud materjali analüüs**  
**Material Analysis Involved with Austempering and Fineblanking**

Uurimisrühm 5

**Nanogeomeetria ja struktuurne põimumine kõrgete talitusomadustega keraamika-baasil nanokomposiitide disainimisel ja prototüüpimisel (Nanocom)**  
**Nano-Geometry and Entanglement for Design and Prototyping of Ceramic-Based High-Performance Nano-Composites (Nanocom)**

Juht: Jakob Kübarsepp, professor, metallide tehnoloogia õppetool.

Liikmed:

- Irina Hussainova, juhtivteadur, metallide tehnoloogia õppetool;
- Maksim Antonov, vanemteadur, metallide tehnoloogia õppetool;
- Arkadi Berezovski, vanemteadur, mittelineaarse dünaamika laboratoorium;
- Jaan Kalda, vanemteadur, mittelineaarse dünaamika laboratoorium;
- Urve Kallavus, vanemteadur, materjaliuuringute õppetool;
- Lauri Kollo, vanemteadur, metallide tehnoloogia õppetool;
- Valdek Mikli, vanemteadur, pooljuhtmaterjalide tehnoloogia õppetool;
- Mart Viljus, vanemteadur, materjaliuuringute teaduskeskus;

Rainer Traksmäa, teadur, materjaliuuringute teaduskeskus;  
 Eduard Kimmari, dotsent, materjaliõpetuse õppetool;  
 Marina Aghayan, nooremteadur, metallide tehnoloogia õppetool, doktorant;  
 Der-Liang Yung, nooremteadur, metallide tehnoloogia õppetool, doktorant.

### Teadustöö ülevaade

Uudsete, tööstuslikke vajadusi rahuldavate materjalide – monoliitse keraamika puudustest (loomupärane haprus, madal töökindlus) vaba keraamika-baasil, nanokiududega ja süsinik-nanotorudega armeeritud komposiitide – väljatöötamine.

Tegevused:

- Keraamika-baasil komposiitide koostisosade väljatöötamine
- Eelduste loomine konsolideerimiseks – segamine, jahvatus ja koostisosade funktsionaliseerimine
- Koostisosade konsolideerimine.
- Väljatöötatud komposiitide krakteriseerimine. Uus sünteesi meetod nimetusega lahuse põletamine on kasutatud funktsionaliseerimise lisamiseks nanokiududele. Antud meetod oli kasutatud homogeensete CuO, NiO, CeO<sub>2</sub> kihtide sadestamiseks nanokiud pinnale. Sadestatud kihi keemiline kompositsioon ja paksus põletamise protsessi käigus oli kontrollitud kütteaine kontsentratsiooni kaudu.

Sol-infiltreerimise meetod on tunnustatud optimaalseks Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanokiu tugevdatud ZrO<sub>2</sub> –baasil komposiidi sünteesimiseks. Sünteesitud komposiitide mikrostruktuur oli uuritud SEM-FIB, TEM, Raman ja teiste meetodite abil.

### Objectives:

Elaboration of novel materials based on industry's needs – the ceramic-based composites to overcome the intrinsic brittleness and mechanical unreliability of monolithic ceramics by using ceramic fibers and carbon nanotubes as the reinforcements. TOPICS: - Elaboration of constituents of ceramic-based composites - Precursors: mixing, milling and functionalisation of components - Consolidation of the constituents - Characterization of elaborated composites. The novel synthesis technique called solution combustion is used for adding functionality to nanofibers. This method was used for deposition of homogeneous CuO, NiO, CeO<sub>2</sub> layers to the surface of the nanofiber. The chemical composition and thickness of the deposited layers was checked through the concentration of the fuel during the process.

The sol-infiltration method was determined as the optimal one for synthesis of the ZrO<sub>2</sub> based composite reinforced by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofibers. The microstructural studies of the synthesised composites are conducted using SEM-FIB, TEM, Raman and other techniques.

- koostöö teiste TA asutuste ja ettevõtete (sh välisriikidest);

Tartu Ülikool, Aalto University, University of Latvia Eesti Nanotehnoloogiarenduskeskuse AS, Eesti Materjalitehnoloogiarenduskeskuse AS (MATECC).

- kuni 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit (ETIS klassifikaatori alusel 1.1, erandjuhul 3.1). Eraldi tuuakse välja monograafiad. Publikatsioonid peavad olema kajastatud ETIS-es.

1. Umalas, M.; Hussainova, I.; Reedo, V.; Young, DL.; Cura, E.; Hannula, SP.; Lõhmus, R.; Lõhmus, A. (2015). Combined sol-gel and carbothermal synthesis of ZrC and TiC powders for composites. *Materials Chemistry and Physics*, 153, 301–306.

2. Zhao, G.; Hussainova, I.; Antonov, M.; Wang, Q.; Wang, T.; Yung, DL. (2015). Effect of temperature on the tribological properties of the polyimide composites reinforced with different fibers in sliding and erosive conditions. *Tribology International*, 82, 525–533.
3. Ivanov, R.; Hussainova, I.; Aghayan, M.; Drozdova, M.; Perez-Coll, D.; Rodriguez, M.A.; Rubio-Marcos, F. (2015). Graphene encapsulated oxide nanofibers as a novel type of nanofillers for electroconductive ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 35, 4017–4021.

## Uurimisrühm 6

### **Püsिमagnetid jätkusuutliku energeetika rakendustes (Magmat)**

#### **Permanent Magnets for Sustainable Energy Application (Magmat)**

Juht: Renno Veinthal, professor, materjaliõpetuse õppetool.

Liikmed:

Anouar Belahcen, professor, elektrimasinate õppetool;

Lauri Kollo, vanemteadur, metallide tehnoloogia õppetool;

Lembit Kommel, vanemteadur, metallide tehnoloogia õppetool;

Mart Viljus, vanemteadur, materjaliuuringute teaduskeskus;

Ants Kallaste, vanemteadur, elektrimasinate õppetool;

Aleksander Kilk, dotsent, elektrimasinate õppetool;

Toomas Vaimann, vanemteadur, elektrimasinate õppetool;

Kaspar Kallip, insener, metallide tehnoloogia õppetool, doktorant;

Zorjana Mural, nooremteadur, materjaliõpetuse õppetool, doktorant;

Jane Paju, Molycorp Silmets AS.

#### Teadustöö ülevaade

Projekti eesmärgiks on NdFeB magnetite alase kompetentsi arendamine. Arendatakse odavamaid ja väiksema keskkonnamõjuga magnetmaterjale, mille omadused oleksid paremad või vähemalt samal tasemel hetkel saadavalolevate materjalidega ning valikukriteeriume erinevatesse rakendustesse sobivate magnetmaterjalide valikuks. Tegevused (alateemad): - Stabiilse mikrostruktuuri ja koostisega magnetsulamite valmistamine induktsioonsulatuse ja ribavalumeetodi abil; - Parendatud omadustega magnetite arendamine kõrgetemperatuursetesse rakendustesse (kuni 150 °C ) ja mõõdukalt korrosiivsetesse keskkondadesse; - Nd ja Dy asendamine odavamate alternatiividega; - Uute magnetmaterjalide disain tuulegeneraatoritesse.

NdFeB magnetite katsekehade valmistamisvõime laboratoorsel tasemel on laiendatud võttes kontrolli alla tundlike metallide pulbrite hapnikuga saastamist iga tehnoloogilise protsessi sammu ajal. Uus magneetiliste pulbrite kõrgeenergeetiline jahvatamise tehnoloogia, mis on arendatud vaakum atriitori baasil, on rakendatud ja patenteeritud. TiC baasil nanopulbrid on uuritud kui efektiivne mikrolegeer lisand ja tera kasvu inhibiitor NdFeB magnetite paagutamisel. Säde plasma paagutus (SPS) tehnoloogia oli uuritud kui uus meetod ultrapeenmikrostruktuuriga ja kõrge termilise stabiilsusega NdFeB magnetite valmistamiseks. Magneetiliste materjalide töötlemise aspektide tehnoloogiline know-how oli levitatud ettevõtetus partnerite vahel. Aeglasekäigulise püsिमagnetiga uurdevaba generaatori optimaalne disain oli esitatud.

The general goal of the project is to gain deeper insights into the magnetic properties of NdFeB magnets and develop criteria's for the selection of suitable alloy compositions and microstructures;

to design materials with comparable or even better magnetic properties to materials commercially available today but with reduced cost and impact on the environment. Topics: - Development PM alloys with controlled composition and microstructure based on NdFeB induction melting and melt-spinning; - Development magnets with improved performance at high operation temperatures (up to 150 °C) and/or combined mildly corrosive environments; - Prototyping of several new grades of permanent magnets with reduced content of Nd and Dy providing alternatives to those of manufactured by conventional compositions and methods; - Design of new materials and grades for wind generators.

Laboratory scale capability for production of NdFeB magnet samples was extended by obtaining control over the contamination of oxygen sensitive reactive metal powders during all processing steps. Novel high-energy milling technology for magnetic powders based on vacuum attritor was implemented and patented. TiC based nanopowders were studied as effective micro-alloying additives and grain growth inhibitors for NdFeB magnets during sintering. Spark-plasma-sintering (SPS) was studied as a novel method for sintering of NdFeB magnets with ultrafine microstructure and increased thermal stability. Technological know-how on the specific aspects of processing of magnetic materials was disseminated with industrial project partners. Optimized design of slotless slow-speed electrical machine was proposed.

Sama uurimisrühma liikmete poolt oli teostamisel rakendusuuring:

**Kõrgtehnoloogilised ioonvedeliku/nanoosakeste komposiidil baseeruva kulumiskindlad kattekihid tööstuslikeks rakendusteks**

**High-Tech Anti-Wear Coatings Based on Nanoparticles/Ionic Liquid Combination for Metal and Engineering Industries (TRIBOFILM)).**

Koostöö teiste TA asutuste ja ettevõtetega (sh välisriikidest):

Molycorp Silmets AS, ABB Estonia AS.

Olulisem aruandeaastal ilmunud artikkel

I. Kallaste, A.; Belahcen, A.; Vaimann, T. (2015). Effect of PM parameters variability on the operation quantities of a wind generator. In: *2015 IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis: WEMDCD, Torino, Italy 26-27 March, 2015*. IEEE, 242–247.

Uurimisrühm 7

**Uued tehnoloogiad tunneli- ja kaevandustööde jaoks (Nettun)**

**New Technologies for Tunnelling and Underground Works (Nettun)**

Juht: Renno Veinthal, professor, materjaliõpetuse õppetool.

Liikmed :

Irina Hussainova, juhtivteadur, metallide tehnoloogia õppetool;

Maksim Antonov, vanemteadur, metallide tehnoloogia õppetool;

Dmitri Katušin, insener, mehhanosüsteemide komponentide õppetool, doktorant.

Teadustöö ülevaade:

NeTTUN projekti eesmärgiks on ulatuslike uuanduste sisseviimine tunnelite ehituses, haldamises ja hoolduses. NeTTUn sisaldab mitmeid tööpakette (WP) millest olulisemad on järgmiste teaduslike ja

tehniliste probleemide lahendamiseks: (i) kaasaegne paljusensoriline pinnaseradar mis võimaldab suure tundlikkuse ja täpsusega uurida puuritava pinnase omadusi; (ii) usaldusväärse ja töökindla konstruktsiooniga robotiseeritud hooldussüsteem mis võimaldab automatiseerida rutiinseid operatsioone (puurimiselementide vahetus ja seisundi hindamine); (iii) puuri lõikeorgani tööea suurendamine; (iv) uudne süsteem tunneliprojektiga seotud riskide hindamiseks (hindamiseks ja juhtimaks suurt hulka raskesti määrat(let)avaid tegureid, mis võivad ilmned tunneli puurimisel; (v) tervet hulka süsteeme tunneli mõju modelleerimiseks ja seega tunneli mõju eelnevaks hindamiseks maapealsetele ja maa-alustele tehisobjektidele; (vi) intelligentse otsustuse tugisüsteemi arendamine tunnelite hoolduse kavandamiseks. Kõik nimetatud tegevused võimaldavad oluliselt suurendada kõikide tunneli ehituse ja kasutamise seotud tegevuste efektiivsust. TTÜ uurimisgrupp osaleb WP7.2 ja WP7.3 elluviimises (kuluvosade arendus ja kulumisega seotud uuringud)

NeTTUN will enable groundbreaking change in the construction, management and maintenance of tunnels in pursuit of the goals of NMP.2011.4.0-2. This is to be realised via a set of focussed WPs addressing key scientific and technical challenges: (i) an advanced multi-sensor ground prediction system for TBMs to enable fast, frequent and effective look-ahead during boring; (ii) a robust robotic maintenance system that enables the automation of routine tasks (e.g. inspection and exchange of drag bits and disc cutters); (iii) the design of cutter tools with effective increased lifetime; (iv) a novel system for modelling of global risks on tunnel projects in order to quantify and manage the many uncertainties faced during tunnelling; (v) a suite of systems for modelling and thus controlling the impact of tunnelling on surrounding structures; (vi) the creation of a Decision Support system for tunnel maintenance management. Together, the improvements enabled by this complementary work programme will dramatically enhance every aspect of the lifecycle of tunnelling: from design, to construction, and maintenance of Europe's already very extensive tunnel legacy. Research group of TUT will participate in WP7.2 and WP 7.3 (wear research and development of wear resistant drag bits).

Koostöö teiste TA asutuste ja ettevõtetega (sh välisriikidest):

Ecole Centrale de Lyon (ECL), Tribology and System Dynamics Laboratory (LTDS), NFM Technologies, METC, Razel-Bec Fayat (RAZ).

## Uurimisrühm 8

### **Kergsoomuspaneelid transpordivahendite soomustamiseks Light-Weight Hard Armour Panels for Armoured**

Juht: Jaan Kers, professor, puidutöötlemise õppetool.

Liikmed :

Jüri Pirso, vanemteadur, metallide tehnoloogia õppetool;

Kristjan Juhani, teadur, metallide tehnoloogia õppetool;

Dmitri Goljandin, vanemteadur, materjaliõpetuse õppetool;

Aare Aruniit, insener, metallide tehnoloogia õppetool, doktorant;

Marek Jõelet, insener, metallide tehnoloogia õppetool, doktorant;

Teadustöö ülevaade:

Keraamilis-metallsete komposiitmaterjalide (kermiste) väljatöötamine TiC baasil. uute kermiste välja töötamine. Kermiste omaduste uurimine ja kõvaduse, sitkuse ning purunemissitkuse



arendamine. Tehnoloogilise protsessi välja arendamine uute kermiste valmistamiseks. Polümeerkomposiitmaterjalist paneelide valmistustehnoloogia välja töötamine ja katsetamine. Kergsoomuspaneelide välja töötamine transpordivahendite kaitsmiseks. Komposiitpaneelide vananemise uurimine.

Development of composite materials (cermets) for hard armor panels. Elaboration of new cermets. Study of the properties of cermets, the aim is to achieve best combination of hardness, toughness and tenacity. Development of technological process for new cermets preparation. Development of polymermatrix composite panels manufacturing technology and testing. Development of hard-armor panels for vehicles protection. Study of the artificial weathering of composite materials.

#### Olulisemad aruandeaastal ilmunud artiklid

1. Jõelet, M.; Pirso, J.; Juhani, K.; Viljus, M.; Traksmä, R. (2015). The influence of high energy milling and sintering parameters on reactive sintered (Ti, Mo)C–Ni cermets. *Journal of Alloys and Compounds*, 636, 381–386.

2. Jõelet, M.; Pirso, J.; Juhani, K., Viljus, M. (2015). The Influence of Carbon and Molybdenum in Reactive Sintered Ti(Mo)C-NiCr Cermets. *Materials Science (Medžiagotyra)*, [ilmumas].

### **2.2.3 Mehhatroonikainstituut**

#### Uurimisrühm 1

#### **Metroloogia ja kvaliteeditehnika Metrology and Quality Engineering**

Juht: Toomas Kübarsepp, professor, kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool

#### Liikmed:

Andrei Pokatilov, teadur, kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool;

Edi Kulderknup, dotsent, kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool;

Meelis-Mait Sildoja, teadur, kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool;

Tiia Tammaru, teadur, kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool;

Andres Kiitam, teadur, kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool;

Martin Parker, nooremteadur, kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool, doktorant;

Klodian Dhoska, insener, kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool, doktorant.

#### Teadustöö ülevaade:

Uurimistöö on suunatud kolmele mõõtmiste fundamentaalaspektile: elektrilise juhtivuse mõõteseadmed; optiliste suuruste ja pikkusmõõtmete määramine. Need kolm suunda on tihedalt omavahel põimunud mõõtemetoodikate ja mõõtetehnika kaudu ja üheks põhieesmärgiks on nende suundade teoreetilise baasi koherentsuse uuringud. On täiustatud mõõtemetodeid (elektrilise juhtivuse mõõtmised tasapinnaliste mähistega) ja on töötatud välja unikaalne kõrgtehnoloogiline mõõtesead (fotodetektorid madaltihedusega footonite voo mõõtmisteks – mõnest kuni mõne tuhande footonini). Uurimisgrupil on tihedad sidemed teiste EU ülikoolide ja uurimisrühmadega ning organisatsioonidega (PTB, AALTO, MIKES, EURAMET ao.). Heaks koostööprojekti näiteks on EU Metroloogia programmi EMRP projekt NEWSTAR - New Primary Standards and Traceability for Radiometry (EURAMET JRP SIB57 project) ja külalisuuringute läbiviimine teaduri poolt PTB-s, Saksamaal.

Paralleelselt toimus töö maailma Kvaliteeditehnika organisatsioonides ja nende organisatsioonide juhtkomiteedes. Eesti Kvaliteediühingu töös osalemine ja kvaliteedikoolituste läbiviimine oli üks osa sellest tööst.

Main research is connected with the investigations and developments in three directions of fundamentals of measurements: electrical conductivity instrumentation, measurements of dimensional and optical quantities. These three directions are tightly connected from the point of view of measurement methods and measurement technique and one of the goals is focusing on the theoretical basis of the coherency of those fields. Improved measurement methods (electrical conductivity measurements with planar coils) and unique design high-level measurement equipment (photodetectors for accurate measurements of low photon flows – single to some thousand photons). The research group was financed from the TUT R&D project „Metrology in today’s sciences“. There is an active collaboration with other EU universities and research institutions and organizations (PTB, AALTO, MIKES, EURAMET ao.). A good example of this kind of collaboration is work at the EU Metrology programme EMRP project NEWSTAR - New Primary Standards and Traceability for Radiometry (EURAMET JRP SIB57 project) and guest research of a doctoral student at PTB, Germany.

In parallel an intensive work at worldwide Quality Engineering organizations management and administration, level has been carried through. An integral part of this work is Estonian quality engineering training and knowledge dissemination.

#### Olulisemad publikatsioonid:

1. Vaigu, A., Kübarsepp, T., Manoocheri, F., Merimaa, M., Ikonen, E., Compact two-element transmission trap detector for 1550 nm wavelength, *Measurement Science and Technology*, Vol 26, (2015).
2. Dhoska, K; Hofer, H; López, M; Kübarsepp, T; Kück, S. (2015). Alignment position method for SPAD detector calibration and homogeneity. *International Journal of Scientific Reports*, 1, 271–274.
3. Gribkov, V.A.; Paduch, M.; Zielinska, E.; Laas, T.; Shirokova, V.; Väli, B.; Paju, J.; Pimenov, V.N.; Demina, E.V.; Latyshev, S.V.; Niemela, J.; Crespo, M.-L.; Cicuttin, A.; Talab, A.A.; Pokatilov, A.; Parker, M. (2015). Parallel investigation of double forged pure tungsten samples irradiated in three DPF devices. *Journal of Nuclear Materials*, 463, 341–346.

#### Uurimisrühm 1

#### **Kehade süsteemi dünaamika ja mehaanika komponendid Multybody System Dynamics and Mechanical Components**

Juht: Trieu Minh Vu, professor, mehhanosüsteemide komponentide õppetool.

#### Liikmed:

Priit Põdra, dotsent, mehhanosüsteemide komponentide õppetool;

Igor Penkov, dotsent, mehhanosüsteemide komponentide õppetool;

Alina Sivitski, assistent, mehhanosüsteemide komponentide õppetool;

Dmitri Katušin, nooremteadur, mehhanosüsteemide komponentide õppetool, doktorant;

Dmitri Rõbak, mehhanosüsteemide komponentide õppetool, doktorant;

Anton Veršenko, mehhanosüsteemide komponentide õppetool, doktorant;

Sergei Žigailov, mehhanosüsteemide komponentide õppetool, doktorant.

#### Teadustöö ülevaade:

Teadustöö põhifookus on suunatud kehade süsteemi dünaamilise käitumise uurimisele tänapäeva masinate näitel, samuti selliste süsteemide diagnostikale ja monitooringule. Saadavaid andmeid kasutatakse masinate süsteemide modelleerimisel ja optimeerimisel ja samuti inimkeha liikumise dünaamika uurimisel mudelite baasil. Uurimistöö lahutamatu osa on arukate sensorite ja täiturite rakendamine masina juhtimise kaugteadlikkuse tõstmiseks ja see on omakorda tihedalt seotud süsteemi mudeli täpsustamisega. Uus süsteem aitab nii täpsustada ja prognoosida ka süsteemi

olekut kirjeldavaid andmeid ning täpsustada keskkonna olekut puudutavaid otsustusi. Töö käigus on testitud läbi mitmeid tehnoloogilisi lahendusi just autonoomsete ja hübriidsõidukite valdkonnas, mis võiks tõsta selliste lahenduste kasutamispotentsiaali ja rakendatavust igapäevaelus. Uue tehnoloogia lahenduse fookus on suunatud autonoomse juhtimise ja komplitseeritud manööverduvõime tõstmisele ning hübriidajamite ning nende komponentide suurema efektiivsuse saavutamisele. Teine suund on hübriidajamite energeetilise efektiivsuse tõstmine uute juhtimisalgoritmide kasutamisega. Lahendustes on kasutusel multimodaalsed liidesed sensorika ja operaatori maksimaalse võimekuse sümbioosi saavutamiseks. Hübriidsõidukid ja –masinad (HEV) on tänapäeval saavutanud sama klassi masinatest parima võimekuse ja energiatarbe suhte. Kaasaegne HEV saab salvestada energiat, mis tekitatakse tööprotsessis (näiteks pidurdusenergia, vibratsioonienergia jms.). Elektrisõidukid ja –masinad on tulevikus ühendatud võrkstruktuuri (GRID), mille osaks on ka tuule- ja päikesenergiaallikad jms. Akumulaatorite laadimisaeg on tänapäeval vähenenud 8 h kuni paari tunnini ja isegi kuni 10 min-ni. Hübriidtehnoloogia on viimasel ajal laienenud ühiskondlikku transporti ja kodulahendustesse. Töögrupi poolt on välja töötatud uus ennustava juhtimise (MPC – model predictive control) strateegia HEV seadmetele. MPC on suuteline lahendama optimeerimisprobleeme online režiimis nii lineaarsetes kui ka mittelineaarsetes süsteemides ja MPC on suuteline samuti käsitlema piiranguid lahtise kontuuriga optimaaljuhtimise probleemide puhul. MPC on suuteline leidma reaalaajalise lahenduse piirangutega ebalineaarsele mudelile. Väljatöötatu võimaldab hübriidsõidukite ja –masinate võimekust oluliselt tõsta. On näidatud, et MPC võimekust on võimalik oluliselt tõsta sobivad ennustusvahemikud ja kaalude väärtused. MPC kontrollid võivad toimida online režiimis nii optimaalse võimsuse kui ka momentide süsteemi juhtelemendina. Väljatöötatud MPC skeemid tagavad süsteemi robustsuse ka piirangute korral. Töö toimub tihedas koostöös International Federation of Automatic Control (IFAC) on Automotive Control tehnilise komitee tegevusega.

#### Teadustöö ülevaade (inglise keeles):

The focus in the research is on multibody system dynamics, behavior diagnostics and monitoring targeted on modelling, and optimization of dynamic systems both machines (vehicles and technology machines) and human body dynamic performance characteristics using model based approach. The development of intelligent sensors and actuators is an inherent part and important to enhance the remote awareness for the machine operators and is tightly connected with the modeling approach. The new systems help to interpret the sensing data, to improve the judgments about the remote environments and give required feedback to adjust the system level models. Several innovative technologies have been investigated to enhance autonomous and/or hybrid vehicle technology and improve the potential of this technology applicability in everyday life. The new technology focus is in improving autonomous driving and especially complicated maneuvering capabilities of future cars and in optimization of hybrid drive assemblies and their components to reduce energy consumption. The other focus in this direction is optimization of the energy use for advanced hybrid drives using optimized control algorithms. The technology is combined with multimodal interfaces to provide multiple sensory channels and enhance the controller and operator performance symbiosis. As a main type of hybrid vehicle, HEVs (hybrid electric vehicle) have achieved better fuel economy and performances. Modern HEV can also improve the efficiency by using the energy from braking and bring other potential environmental benefits. The electric vehicle charging stations can use the low cost and green energy sources from GRID, wind and solar. Due to rapid development in battery technology, the normal electric recharging time has been reducing significantly from 8 h to less than 2 h. The fast recharging time for a modern electric vehicle is now reduced to less than 10 min. Hybrid electric vehicle technology has been applied now not only for the passenger cars but also for all heavy buses and trucks. The new modeling and control strategy for HEV using MPC (model predictive control) has been developed. Reason for using this new control strategy is that, firstly, MPC can solve the optimization problems online with both linear and nonlinear systems, and secondly, MPC can deal with the constraints in the open-loop optimal control problems. MPC can find real-time solution for general constrained nonlinear models over a finite predictive horizon length. Therefore, the performances of the hybrid vehicle can be significantly improved. The MPC performance can also be considerably improved when we select some appropriate prediction lengths and the values of the

weighting values. MPC controller can provide online the optimal control actions subject to the input voltages and output torque constraints. The MPC modified schemes can improve the system performance robustness if some output torque constraints can be softened or turned into the constrained regions.

The work is performed in tight collaboration with Technical Committee (TC) of International Federation of Automatic Control (IFAC) on Automotive Control.

#### Olulisemad publikatsioonid:

1. Vu, Trieu Minh; Tamre, Mart; Musalimov, Victor; Valeri, Altunin. (2015). Development of a Wireless Sensor Network Combining MATLAB and Embedded Microcontrollers. *Sensor Letters*, 13 (12), 1–6., 3.1.2015
2. Vu, Trieu Minh; Sivitski, Alina; Tamre, Mart; Penkov, Igor (2015). Modeling and Control Strategy for Hybrid Electrical Vehicle. In: Not (1–20). *InTech - Open Access Publisher*.
3. Strizhak, V; Penkov, I. (2015). Precision of Thread Manufacturing and its Influence on Durability of Screws with Different Thread Profiles. *Machines, Technologies, Materials*, 7, 47–51.

#### Uurimisrühm 3

### **Mehhatroonikasüsteemid Mechatronics Systems**

Juht: Mart Tamre, professor, mehhatroonikasüsteemide õppetool

#### Liikmed:

Maido Hiiemaa, teadur, mehhatroonikasüsteemide õppetool;  
 Dmitri Shvarts, teadur, mehhatroonikasüsteemide õppetool;  
 Robert Hudjakov, teadur, mehhatroonikasüsteemide õppetool;  
 Leo Teder, assistent, mehhatroonikasüsteemide õppetool;  
 Ahti Põlder, nooremteadur, mehhatroonikasüsteemide õppetool, doktorant;  
 Märt Juurma, nooremteadur, mehhatroonikasüsteemide õppetool, doktorant;  
 Dhanushka Chamara Liyanage, insener, mehhatroonikasüsteemide õppetool;  
 Oliver Mets, mehhatroonikasüsteemide õppetool, doktorant;  
 Kristjan Tiimus, mehhatroonikasüsteemide õppetool, doktorant;  
 Ervin Piigli, mehhatroonikasüsteemide õppetool, doktorant;  
 Rivo Õpik, mehhatroonikasüsteemide õppetool, doktorant;  
 Martin Jürise, mehhatroonikasüsteemide õppetool, doktorant.

#### Teadustöö ülevaade:

Teadustöö põhisuund on arukate masinate juhtsüsteemid ja –algoritmid, arukate tajurisüsteemide väljatöötamine ja robotsüsteemide rakendused tööstuses ja igapäeva automatiseerimislahendustes. Tegevus on kontsentreeritud tööstuslikele proaktiivsetele süsteemidele ja selliste süsteemide arukale võrkstruktuuri juhtimisele. Pro- ja inter- ja hüperaktiivsüsteemide toimimise testidel kasutatakse mitmeid tajurite ja masinnägemise lahendusi, AI ja süvaõppimise (deep learning) algoritme, mille baasil on arendatud välja uued arukal masinnägemisel põhinevad tööstuslikud juhtsüsteemid ja ka tervisoius kasutatavad lahendused. Kasutatakse mitmeid 3D visualiseerimise, visuaaltaju ja virtuaalreaalsuse meetodikaid. Üheks rakenduseks on olnud jäätmematerjalide detekteerimismeetodite väljaarendamine ning nende rakendamine uute kõrgefektiivsete paberi, plasti ja ehitusjäätmete sorteerimisel. Uuritud meetodites kasutatakse erinevaid elektromagnetkiirguse ja valguse lainespektreid (IR ja UV ning hüperspektraal tehnoloogiad). Väljatöötatud meetodikate puhul on vaatluse all kogu tootmise ja logistika ahela etapid, kus on võimalik uusi arukaid monitooringu ja detekteerimisrakendusi kasutada. Paralleelselt on käimas teadustööd inimsõbralike ja arukate roboti juhtimisalgoritmide täiustamiseks nii tööstuslahendustes (eriti inim-robot liides arendamine) kui ka vabal maastikul ja siseruumides autonoomsete liikursüsteemide juhtimiseks ning

multi-robot süsteemide optimaalseks juhtimiseks (UGV ja UAV koostöö). Erilise tähelepanu all on missiooni/ülesande planeerimine ohukriitilise ja energiamahuka olukorra jaoks ja vastavate lahenduste väljatöötamine.

The research is focused on control of smart machines, smart sensing systems and robotic systems for production and service automation. Activity is concentrated on proactive industrial hardware systems and on smart control capable to work in networked systems. Proactive system behavior have been investigated on the example of the several different sensing principles focusing on the machine vision and AI applications for the new smart vision applications for the industrial control and healthcare. 3D visualization, visual perception and virtual reality approaches for smart machines and technology applications have been investigated. One of the focus has been methodologies for waste materials detection and respective applications to develop high efficiency new waste sorting technologies for paper, plastic and construction waste materials. Different electromagnetic and light spectra have been used incl IR and UV and new hyperspectral technologies were implemented for materials detection. Different logistics and transportation stages in whole production chain were also investigated to introduce new smart monitoring technologies utilizing today's mobile and sustainability technologies. In parallel to abovementioned reconfigurable robot control and smart algorithms have been investigated and new solutions proposed both for industrial applications (especially human-machine high effective interaction and control) and for unmanned autonomous control of vehicular systems for open air terrain and indoor industrial applications, incl. multi-robot collaboration (UGV and UAV case) where the control optimization and mission planning from the safety critical and energy consumption viewpoint is of interest.

#### Olulisemad publikatsioonid:

1. Tiimus, Kristjan, Tamre, Mart (2015). Modular Multi-Rotor Helicopter Platforms. In: A. V. Valiulis, O. Černašėjus, V. Mokšin (Ed.). *Mechatronic Systems and Materials VI* (110–115). Trans Tech Publications Ltd. (Solid State Phenomena; 220-221), 2015
2. Tiimus, Kristjan; Murumäe, Mikk; Väljaots, Eero; Tamre, Mart (2015). High-Efficiency Internal Combustion Engine Used in the Unmanned Aircraft. In: A. V. Valiulis, O. Černašėjus, V. Mokšin (Ed.). *Mechatronic Systems and Materials VI* (928–933). Trans Tech Publications Ltd. (Solid State Phenomena; 220-221).

## **2.2.4 Soojustehnika instituut**

### Uurimisrühm 1

#### **Kütuste ja õhu analüüsid (statsionaarsete saasteallikate õhuheitmete) ja soojustehnilised katsetused**

#### **Fuel and Air Analyzes (stationary sources of air emissions) and Thermal Testing**

Juht: Alar Konist, vanemteadur, soojusjõuseadmete õppetool

#### Liikmed:

Jüri Loosaar, vanemteadur, soojusenergeetika õppetool;

Siim Link, vanemteadur, soojusenergeetika õppetool;

Teet Parve, teadur, tööstusliku soojustehnika õppetool;

Maaris Nuutre, keemiainsener, soojustehnika instituut

Illar Viilmann, insener, soojustehnika instituut

Lauri Loo, teadur (doktorant), soojusjõuseadmete õppetool;

Birgit Maaten, teadur (doktorant), soojusjõuseadmete õppetool;

#### Teadustöö lühikirjeldus:

Antud teadusgrupi käsituses on akrediteeritud teaduslaboratoorium, mis võimaldab välja anda sertifitseeritud analüüsitulemusi erinevate kliente toodud erinevate iseloomudega proovidele. Samuti tegeleb rühm lendtuha parema iseloomustamisega, et võimaldada tuha, mis on moodustunud hapniku ja CO<sub>2</sub> põlemise tingimustest. Eesmärgina leida tuhale tõhusamat kasutamist. NN "orgaanilised ja anorgaanilised" (süsinik) osa tuhast on edu võti, mis aitaks leida palju uusi kasutamise skeme.

Uuritakse tuhade sorptsioonilisi omadusi ja käitumist an/orgaanilise aine tuhade proovidest, et aidata leida uusi kasutusvõimalusi. Uuringutesse on rakendatud tänapäevane infrastruktuur: 60kW CFB katseseade, TGA / DSC-MS, LA-ICP-MS, WD-röntgenanalüsaatoril, gaasi adsorptsioon analüsaatori (Chemi ja physisorption mikro- ja mesopoorsete), elementanalüsaatoreid (CHNS ja O), semi- EDS / WDS jne.

Accredited laboratory group provides accredited sample analyses for various customers. Also the group deals with better characterization of the fly ash, in order to enable more effective use of the ash that is formed under oxyfuel combustion conditions. The "organic and inorganic" (carbon) portion of the ash is key to success in many new utilization schemes.

A broad-based scientific investigation is taken of the form, sorptive properties and behavior of the in/organic material in ash samples in order to help identify new commercial opportunities. Modern infrastructure is applied: 60kW CFB test facility, TGA/DSC-MS, LA-ICP-MS, WD-XRF, Gas Adsorption Analyser (chemi and physisorption with micro- and mesopore), Elemental Analyzer (CHNS and O), SEM-EDS/WDS, etc.

#### Olulisemad ilmunud artiklid:

1.1 Konist, A.; Valtsev, A.; Loo, L.; Pihu, T.; Liira, M.; Kirsimäe, K. (2015). Influence of oxy-fuel combustion of Ca-rich oil shale fuel on carbonate stability and ash composition. Fuel, 139, 671–677, 10.1016/j.fuel.2014.09.050.

#### Uurimisrühm 2

##### **2.1.18 Põlemisprotsesside teadusuuringute laboratoorium Research Laboratory of Combustion Processes**

Juht: Andres Siirde, professor, Soojusjõuseadmete õppetool.

#### Liikmed:

Tõnu Pihu, juhtivteadur, soojusjõuseadmete õppetool;  
Alar Konist, vanemteadur, soojusjõuseadmete õppetool;  
Dmitri Nešumajev, vanemteadur, tööstusliku soojustehnika õppetool;  
Indrek Külaots, vanemteadur, soojusjõuseadmete õppetool;  
Eduard Latõsov, insener, soojusjõuseadmete õppetool;  
Sulev Soosaar, insener, soojusjõuseadmete õppetool;  
Meelis Eldermann, doktorant  
Lauri Loo, teadur (doktorant), soojusjõuseadmete õppetool;  
Birgit Maaten, teadur (doktorant), soojusjõuseadmete õppetool;  
Martin Maidre, insener (magistrant), soojusjõuseadmete õppetool.

#### Teadustöö lühikirjeldus:

Grupp tegeleb uute põlevkivi ja teiste kohalike kütuste tõhusa ja keskkonnasõbraliku kasutamise uurimisega. Teemad hõlmavad järgmisi alus- ja rakendusuuringuid:

Keskkonnaalaselt ja majanduslikult konkurentsivõimeline uute tehnoloogiate madala kvaliteediga kütuse põhinev energia tootmine - Clean Eesti Põlevkivi; Kohalikel kütustel töötavate jõuallikate ohutus, usaldusväärsus ja keskkonnaprobleemid; Kombineeritud kasutamine (gaasistamine) põlevkivi ja biomassi energia tootmiseks.

Peamised tulemused on: tehnoloogia alusteadmised põlevkivi põletamisel hapniku rikkas keskkonnas. Tagada Eesti elektri ja soojuste tootmise usaldusväärsus, konkurentsivõime tõus, ökoloogilise jalajälje vähendamine. Efektiivsuse suurendamine energia seadmete konvektiivküttepidade suurendamisega. Alused põlevkiviõli ja elektrienergia tootmise optimeerimisest. Põhiteadmised kohalike biokütuste gaasistamise ja pürolüüsi kaudu. Järjepidevuse tagamine professionaalsele teaduse personalile.

Group deals with investigation of new opportunities for oil shale and other local fuels efficient and environment friendly utilisation. The topics involve following basic and applied research: Environmentally and economically competitive new technologies of low grade fuel based energy production – Clean Estonian Oil Shale; Local fuels fired power units safety, reliability and environmental problems; Combined utilization (gasification) of oil shale and biomass for energy production.

The main results will be: technology basis for oil shale combustion in oxygen rich environment. Ensuring Estonian electricity and heat production reliability, increase in competitiveness, environmental footprint reduction. Increase of effectiveness of energy equipment by augmentation of convective heat transfer. Fundamentals for Shale oil and power production optimization. Basic knowledge of local biofuels enhancement through gasification and pyrolysis. Consistency of professional science personnel.

2015 aastal toimunud “7th Baltic Heat Transfer Conference” korraldamine.  
<http://www.ttu.ee/projects/bhtc2015/>

Olulisemad ilmunud artiklid:

1.1 Loo, L.; Maaten, B.; Siirde, A.; Pihu, T.; Konist, A. (2015). Experimental analysis of the combustion characteristics of Estonian oil shale in air and oxy-fuel atmospheres. *Fuel Processing Technology*, 134, 317–324.

Uurimisrühm 3

**Nutikad kaugkütelahendused ja kasvuhoonegaaside emissioonide keskkonnamõju integreeritud hindamine**

**Smart District Heating systems and Integrated Assessment Analysis of Greenhouse Gases Emissions**

Juht: Andres Siirde, professor, soojusjõuseadmete õppetool

Liikmed:

Eduard Latõsov, insener, soojusjõuseadmete õppetool

Sulev Soosaar, insener, soojusjõuseadmete õppetool

Julija Gušča, Külalisdotsent, soojustehnika instituut.

Vladisav Mašatin, doktorant

Meelis Eldermann, doktorant

Teadustöö lühikirjeldus:

Teadusrühm tegeleb uute tehniliste lahenduste väljatöötamisega selleks, et liikuda nutika, kõrge efektiivsusega ja taastuvenergia varustusega kaugküte kontsepti suunas ning kasvuhoonegaaside emissioonide keskkonnamõju integreeritud hindamisega. Kaasaaegsed kaugküte süsteemid vähendavad energia tarbimist ja CO<sub>2</sub> emissiooni. Teadusrühma poolt on käsitletud ja uuritud tehnilised tingimused kaugküte süsteemide arendamiseks ja energiaefektiivsuse parandamiseks. Seega, kaugküttes toimivate protsessid on kirjeldatud ja optimeeritud, kus selle aluseks on vastavad

tööttingimused ja kehtivad regulatsioonid. Soojuse tootmise, edastamise ja tarbimise kombineeritud optimeerimine annab olulist primaarenergia säästu.

Group deals with developing new technical solutions for the transition of district heating (DH) systems towards an intelligent, highly efficient and regenerative energy supply concept and with integrated assessment analysis of greenhouse gases emissions. Modern DH reduces energy consumptions and CO<sub>2</sub> emissions. Transition measures and technical solutions for DH systems are researched for enhancing its energy efficiency. Therefore, processes characterising DH systems are analysed and optimised, taking relevant operational boundary conditions and legal frameworks into account. Optimising the heat generation, distribution and consumption within DH systems, the primary energy use is improved.

#### Olulisemad teadustulemused:

Uurimisrühm on 2015. aasta uurimissuunana tegevuses analüüsinud kaugkütelahenduste temaatikat ja keskkonna jalajälge.

#### Koostöö teiste TA asutuste ja ettevõtetega:

Jätkus töögruppi aktiivne osalemine *BI-NET: Baltic Innovation Network for District Heating* projektis kui konsortsiumi liige, kuhu kuuluvad teadusasutused ja ettevõtted Saksamaalt, Rootsist, Taanist, Lätist ja Leedust.

Bi-Net projekti raames koostöös partneritega said koostatud Horisont 2020 raames rahastamisaotlused projektidele:

– "*FlexHeat - The Enthusiastic District Heating System*" (teemad: EE-11-2015 ja EE-13-2015).

TTÜ Soojustehnika instituudi põhiline roll projektis on seotud madalatemperatuuri soojusvõrku kirjeldamisega ja modelleerimisega ja vastava tööpaketi juhtimisega.

– "*FEST – a Flexible Energy Strategy Tool for Europe*" (teema: EE-21-2015). TTÜ Soojustehnika instituudi põhiline roll projektis on seotud energiamajanduse planeerimise protsessi kirjeldusega Eestis ja valitud EL riikide (projekti koostööpartnerite riigid) energiamajanduse planeerimise kogemusega seonduva informatsiooni hankimise ja süstematiseerimise tööpaketi juhtimisega.

Projekt FEST ületas künnise, kuid jäi konkursi eelarveliste vahendite ammendumise tõttu rahastuseta.

Veel üks taotlus "*GoLowEx - New Technologies for transformation towards high efficient, low-exergy heating and cooling systems*" (teemad: EE-04-2016-2017 "New heating and cooling solutions using low grade sources of thermal energy") 2015. aasta seisuga oli koostamisel (sai esitatud jaanuaris 2016).

Positiivseks koostöö kogemuseks võib pidada tellimustöö „*Kaugkütte kaalumisteguri määramine sõltuvalt soojuse tootmisviisist ja kasutatavatest kütustest, selle kasutamine energiatõhususe miinimumnõuete arvutamisel ja soojuse paralleeltarbimise mõju kaugkütte efektiivsusele*“ (leping sõlmitud aastal 2015) läbiviimine tihedas koostöös TTÜ Soojustehnika instituudi ja Ehitiste projekteerimise instituuti vahel. Tellimustöö tulemuste baasil on planeeritud avaldada rida artikleid (üks artikkel ja abstrakt on juba esitatud).

#### Olulisemad ilmunud artiklid:

1. Gusca, J.; Siirde, A.; Eldermann, M. (2015). Life Cycle Assessment of Enhanced Oil Shale Burning Technology. *X Iberoamerican Conference on Phase Equilibria and Fluid Properties for Process Design EQUIFASE 2015*, Alicante (Spain), 28 June to 1 July 2015. Elsevier.

2. Mašatin, V.; Latššov, E.; Volkova, A. Evaluation factor for district heating network heat loss with respect to network geometry. In: *Energy Procedia: International Conference of Environmental and Climate Technologies - CONECT 2015*. Elsevier, 0–8.



Uurimisrühm 4**Põlevkivikatelde katsetuste ja õhuheitmete määramise uurimisgrupp**  
**Oil Shale Boilers tests and air emissions research group**

Juht: Tõnu Pihu, juhtivteadur, soojusjõuseadmete õppetool

Liikmed:

Alar Konist, vanemteadur, soojusjõuseadmete õppetool;

Dmitri Nešumajev, vanemteadur, tööstusliku soojustehnika õppetool;

Teet Parve, teadur, tööstusliku soojustehnika õppetool;

Jüri Loosaar, vanemteadur, soojusenergeetika õppetool.

Teadustöö lühikirjeldus:

Grupp tegeleb põlevkivi ja teiste kohalike kütuste tõhusa ja keskkonnasõbraliku kasutamise uurimisega.

Viimasel ajal on uuritud biomassi ning põlevkivi koospõletamist CFB kateldes. Peamine probleem on siin olnud võimalik konvektiivküttepindade saastumine lendtuha omaduste muutumise tõttu. Analüüsidest tuhka ja sadestiste omadusi on tõestanud, et koospõletamine on võimalik kuni 15% massist ilma suuremate muutusteta CFB katla töötingimustes eeldusel, et biomassi niiskuse on 40-50%. Katsed biomassi suhtes kuni 30% kavatakse lähitulevikus.

Uuringud erinevate põlevkivi katelde PM 2,5 ja PM 10 heitmete tulemusetes järeldub, et umbes pool eraldunud osakesed kuuluvad PM<sub>2,5</sub> klassi ja peente osakeste heitkoguste pärineb CFB katlalt. Katsed Narva Elektri jaamades vanadel tolmpõlevkivi kateldel jätkub eesmärgiga vähendada NO<sub>x</sub> emissiooni nõutavale tasemele.

Suitsugaaside ringlussevõtt ja kaheastmelised põletid uttegaasi põletamiseks katla 2A võimaldab alandada NO<sub>x</sub> taset. Uttegaasi osatähtsus oli kuni 40% primaarenergiast. Töökindluse probleeme suitsugaaside tsirkulatsiooni ventilatoritel tuleks edaspidi lahendada.

Fortum DeNO<sub>x</sub> süsteemi katsed ilma urea pritseta katla 3B tõestas süsteemi kindlust, et olla usaldusväärne. NO<sub>x</sub> kontsentratsiooni allpool piirväärtust 200 mg / Nm<sup>3</sup> olid saavutatud erinevatel põlevkivi kütteväärtusel ja koormused. Aastal 2015 sarnane süsteem on paigaldatud ja testitud energiablokkidel 5, 6 ja 4.

Kivisüsi ja põlevkivi koospõletamise on CFB katlal (11) teisiti. Peamine probleem oli palju suurem NO<sub>x</sub> emissiooni (> 500 mg / Nm<sup>3</sup>), sest kivisüsi on suurem lämmastikusisaldus, ja ka kõrgemal temperatuurid (~ 20 ° C) koldes ja suitsugaasidel.

Group deals with investigation of new opportunities for oil shale and other local fuels efficient and environment friendly utilisation.

Co-firing of bio mass and oil shale in CFB boilers have been investigated lately. The main concern here was possible fouling of convective heat transfer surfaces because of changed fly ash properties. Analyzing the ash and deposits properties has proved that co-firing of biomass with 40-50% moisture up to 15% by mass is possible without major changes in CFB boiler operation conditions. Tests with bio mass ratio up to 30% are planned to near future.

Investigations of different oil shale fired boilers PM 2,5 and PM 10 emissions resulted to conclusions, that approximately half of emitted particulates belong to PM<sub>2,5</sub> grade and the finest particulate emissions comes from CFB boiler.

Tests at Narva Power Plants old pulverized oil shale fired boilers proceeded with the aim of decreasing NO<sub>x</sub> emissions to the acceptable level.

Flue gas recycling and two stage burners for retort gas firing at boiler 2A makes possible to lower NO<sub>x</sub> levels. Retort gas share was up to 40% from primary energy. Operational reliability problems of flue gas recycling fans should be solved by the solution deliverer ENTEH Ltd.

Fortum DeNO<sub>x</sub> system tests without urea injection at boiler 3B proved the system to be reliable and NO<sub>x</sub> concentration below the limit value of 200 mg/nm<sup>3</sup> were reached at different oil shale fuels and loads. During 2015 similar system will be installed and tested at Power Units 5, 6 and 4.

Hard coal and oil shale co-firing at CFB boiler (11 A) was tested. Main problem was much higher NO<sub>x</sub> emission (>500 mg/Nm<sup>3</sup>) because of hard coal higher nitrogen content, but also elevated temperature (~20 oC) level in furnace and flue gas.

Olulisem ilmunud artikkel:

1.1 Kaljuvee, T.; Trass, O.; Pihu, T.; Konist, A.; Kuusik, R. (2015). Activation and reactivity of Estonian oil shale cyclone ash towards SO<sub>2</sub> binding. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 121 (1), 19–28, 10.1007/s10973-014-4308-z.

Uurimisrühm 5

**Enefit-280 õlithase termiliste ja keemiliste protsesside uurimisgrupp**  
**Enefit-280 Shale Oil Factory Thermal and Chemical Process Research Group**

Juht: Dmitri Nešumajev, vanemteadur, tööstusliku soojustehnika õppetool

Liikmed:

Alar Konist, vanemteadur, soojusjõuseadmete õppetool;

Tõnu Pihu, juhtivateadur, soojusjõuseadmete õppetool;

Andres Siirde, professor, soojusjõuseadmete õppetool;

Aleksandr Valtsev, doktorant.

*Uurimisgrupi teadustöö on SALAJANE.*

*The research work of this group is CONFIDENTIAL.*

Uurimisrühm 6

**Surveseadmete ohutu käit**  
**Safety operation of high pressure equipment**

Juht: Ivan Klevtsov, professor, tööstusliku soojustehnika õppetool

Liikmed:

Andrei Dedov, dotsent, tööstusliku soojustehnika õppetool

Toomas Lausmaa, insener, tööstusliku soojustehnika õppetool

Tatjana Bojarinova, insener, soojustehnika instituut

Teadustöö lühikirjeldus:

Elektrijaamade kõrgrõhul seadmete diagnostika ja töökindlus - Diagnostics and reliability of high pressure equipment of power plants – Ivan Klevtsov

Eestis toodetakse 95 % elektrist soojuselektrijaamades, mis töötavad põhiliselt põlevkivil, kohalikul madala kütteväärtusega kütusel. Enamik Narva soojuselektrijaamade seadmetest on ehitatud umbes 50 aastat tagasi ja nad kõik on ületanud oma projekteeritud tööea. Nende edasine käitamine on lubatav ainult energiablokkide põhiseadmete metalli seisundi pideva ning hoolika monitooringu korral. 2015. a. uuriti TTÜ STI uurimisgrupi poolt Eesti EJ energiablokkide nr. 2, 3, 5 ja 6 põhikomponentide metalli seisundit. Nendeks komponentideks on primaarauru ja vaheülekuumendi kuumaauru

torustikud, katla trumlid, turbiinide korpused ja rootorid. Uurimisel kasutati mittepurustava kontrolli meetodeid: kõvaduse mõõtmist, metalli struktuuriuuringut (reeplikad), metalli mehaaniliste omaduste määramist uuritavast objektist väljalõigatud miniatuursetest katsetükkidest valmistatud teimikute abil, turbiini rootorite teljekanalite roomavusdeformatsiooni mõõtmist. Nende uurimiste põhjal määrati metalli järgmise kohustusliku kontrolli tähtaeg.

Oli uuritud ka värske- ning sekundaarauru küttepindade kõrgtemperatuuriline korrosioon ja määratud korrosiooni sügavuse kasv lähitulevikuks.

Tehti Eesti EJ ploki nr. 8 vaheülekuumendi kuumaaurutorustiku tugevusarvutus vedrutugede erinevatel koormustel pingete suhtes optimaalse variandi leidmiseks.

Hinnati Narva EJ turbiinide rootorite seisundit ja nende edasise käidu võimalikku pikkust.

95% of electricity in Estonia is produced at thermal power plants by firing of oil shale, low-grade local fuel. Most of the units of Narva power plants were built about 50 years ago and all of them have exceeded their design lifetime. Further operation of these units is allowable only if careful metal condition monitoring of the blocks main elements is carried out. In 2015 the research of metal condition of the basic components of units 2, 3, 5, and 6 in Eesti Power Plant was carried out by Department of Thermal Engineering. These components were main steam piping; hot reheat steam piping, boiler drums, turbine casings and rotors. The research was performed by NDT methods: hardness measurement, investigation of the metal structure (replication), mechanical properties measurement of the metal using miniature tensile specimens sampled from the components, the measurement of creep deformation of the internal rotor boors. Based on the results of the research it have been issued permission for a certain period of operation till the next mandatory inspection.

The high temperature corrosion of heating surfaces, particularly steam super heaters was also studied. The strength calculation of hot reheat piping of power unit 8 in Eesti Power Plant at various loads on spring supports was carried out to find the variant with minimum stress level.

The condition of turbine rotors in Narva power plants and the duration of their further operation were assessed.

#### Olulisem ilmunud artikkel:

1.1 Dedov A., Klevtsov I., Lausmaa T., Hlebnikov A., Bojarinova T. Corrosion and life assessment of Intrex™ superheater tubes in a CFB oil shale boiler, *Applied Thermal Engineering*, doi:10.1016/j.applthermaleng.2015.12.061

### **2.1.5 Mehaanika ja metroloogia katselaboratoorium**

Struktuuriüksusesse kuuluvad uurimisrühmad:

Metallograafia ja mehaanilised katsetused /Metallography and mechanical tests

#### Uurimisrühm 1

##### Juht:

PhD Priidu Peetsalu

##### Liikmed:

Ljudmilla Homenko metroloogiainsener

Hando Kuuskman tehnik

Endel Mens insener

Riho Päärsoo juhataja asetäitja

Liisa Kurissoo, Magistrant

Tiiu Mürk insener, doktorant

#### Teadustöö ülevaade:

Uurimisgrupi eesmärgiks on tagada ettevõtetele lühemajaline koostööd nende arendustegevuse läbiviimiseks. Uurimusgrupp on rahastatud 100 % ettevõtete tellimustest. Peamiseks teemaks on metallograafilised uuringud ja mehaanilised katsetused seoses ettevõtete toote arenduse ja tootmise

protsesside parendamisega ning ka materjali uuringutega. Üheks olulisemateks tootmise protsessiks on keevitus, kus tehakse pidevat koostööd kvaliteedi kontrolli ja parendamise alasel. Oluliseks kliendiks on ka autotööstuse ohutusvarustusele spetsialiseerunud korporatsioon Autoliv. Teostatakse materjalide kvaliteedi kontrolli ja panustatakse komponentide tootmise ning arendamise alastesse uuringutesse.

Uurimistegevuse väljundiks on olnud mitmed rakendusuuringu projektid ja doktorandid, mida on teostatud läbi instituutide või koostöös kuna labori eesmärgiks ei ole suuremahuline arendustegevus vaid lühemajalised projektid.

Research group aim is to do short term co-operation with enterprises to support research and development. Research group is financed by enterprises only. Main field is metallographic studies and mechanical tests with material studies to support product development and improve production processes. Welding is one of the key production processes that are constantly subject of quality control and improvement with companies. Important client is automotive industry safety system producer and developer Autoliv. Tests and analysis for the product development and improvement of processes to assure the quality of safety system are offered.

Research group output is many applied research projects and doctoral thesis that are realised together with other departments or in other departments. Laboratory main goal is to do short term projects.

Uurimisgrupi tegevusega seotud väljundid  
Results connected with research group

Tööstusdoktorandid ja ettevõtetega koostöös doktoritööd:  
Doctoral studies connected with laboratory and industry

Karli Jaason AS Norma  
Isotermkarastusprotsessi modelleerimine pidevtermotöötuse protsessi korral  
Modelling of the austempering process in the case of the continuous type production

Kaarin Ratas AS Metaprint  
3-osaliste aerosoolpudelite tootmine, kasutades alternatiivseid teraseid ja tugevdamise mehhanisme  
Production of 3-Part Aerosol Cans Using Alternative Steel Grades and Strengthening Mechanisms

Sirli Sepper Paldiski Tsingipada AS  
Loodussäästva kuumtsinkimise tehnoloogia arendus  
Development of the sustainable hot dip galvanizing process

Liina Lind TTÜ, AS Norma  
PVD pinnete kulumine silelõikestantsi templitel  
Wear of PVD Coatings on Fineblanking Punches

Tiiu Mürk TTÜ  
Robotkeevitusel kvaliteedi tagamine arendatud kõrgtugevate teraste vastutusrikastes liidetes  
Advanced high strength steel robotic welding quality in connections with high stresses

Henri Lend TTÜ, AS Metaprint  
Suuregabariidiliste lehtmestallist toodete vormimisprotsessi analüüs ja arendus  
Analysis and development of large parts sheet metal forming process

2015 Projektid, mis on seotud labori tegevuse või algatusega:  
2015 projects connected with laboratory or started from laboratory

Lep 11025 AS Norma  
Isotermkarastuse ja silelõike stantsimisega seotud materjali analüüs  
Material analysis involved with austempering and fineblanking

LEP15115 Elektrilevi OÜ  
Kaetud keskpinge õhuliinijuhtmete uuring  
Analysis of Covered Conductors of Medium Voltage Overhead Lines

AR12134 AS Norma, AS Metaprint, AS Kitman Thulema, OÜ Terätoimitus  
Kõrgtehnoloogiliste õhukeste pinnete rakendamine tööriistade kulumiskindluse tõstmisel.  
Advanced thin hard coatings in tooling.

Lep15078 Elering AS  
Vananevate juhtmete füüsilised omadused  
The physical characteristics of aging overhead line conductors

**2.2 Loetelu struktuuriüksuse töötajate olulisematest siseriiklikest ja välisriiklikest T&A-ga seotud tunnustustest (näidates töötaja nime, allüksuse ja ametikoha ning tunnustuse).**

1. Tiia Tammaru, mehhatroonikainstituudi kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool, teadur, EOQ presidential Georges Borel Award for European achievements 2015

**2.3 Loetelu struktuuriüksuse töötajatest, kes on riiklike T&A-ga seotud otsustuskogude liikmed (näidates töötaja nime, allüksuse ja ametikoha ning otsustuskogu nimetuse).**

1. Jakob Kübarsepp, metallide tehnoloogia õppetool, professor, Eesti Teaduste Akadeemia, Informaatika ja tehnikateaduste osakonna juhataja.

2. Priit Kulu, materjaliõpetuse õppetool, professor, ETAG loodus- ja tehnikateaduste ekspertkomisjon, ekspert.

3. Irina Hussainova, metallide tehnoloogia õppetool, juhtiv teadur, Research Potential (REGPOT-2012-2013-1), FP7, EU: SINTERCER Projekt; Projekti juht Eesti poolt.

**2.3 Loetelu struktuuriüksuse töötajatest, kes on välisriikide akadeemiate või muude oluliste T&A-ga seotud välisorganisatsioonide liikmed (näidates töötaja nime, allüksuse ja ametikoha ning välisakadeemia või muu olulise T&A-ga seotud välisorganisatsiooni nimetuse).**

1. Tauno Otto, masinaehituse instituudi tootmistehnika õppetool, professor

- Rahvusvahelise Inseneriakadeemia Kesk-Euroopa filiaali korrespondentliige / International Academy of Engineering, Central European Branch corresponding member;
- Euroopa Kõrghariduse ja Teaduse Alalise Komitee (HERSC) liige
- Eesti Kõrghariduse Kvaliteediagentuuri (EKKA) kõrghariduse hindamisnõukogu liige
- DAAAM International teaduskomitee liige

2. Irina Hussainova, materjalitehnika instituudi metallide tehnoloogia õppetool, juhtivteadur

- Ekspert-referent, the Research Council of Norway.
- Expert/rapporteur for the European Commission Research Executive Agency REA/C/04 under scheme of the Horizon 2020 - the work programme H2020-LEIT-Space 2014-2015: H2020-

COMPET-2015; H2020-EO-2015; and H2020-PROTEC-2015.

- Ekspert, Swiss National Science Foundation.

3. Toomas Kübarsepp, mehhatroonikainstituudi kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool, professor

- Euroopa innovatsiooni ja teaduse Metroloogiaprogrammi (European Metrology Programme for Innovation and Research, *EMPIR*) täitevkomitee liige

- Euroopa metroloogiainstituutide assotsiatsiooni (*European Association of National Metrology Institutes, EURAMET e.V*) Peaassamblee delegaat

- Metroloogianõukogu liige (EV Majandus- ja Kommunikatsiooni-ministeerium)

3. Tiia Tammaru, mehhatroonikainstituudi kvaliteeditehnika ja metroloogia õppetool, teadur

- European Organization for Quality (EOQ), Eesti Kvaliteediühingu esindaja, Üldassamblee liige

4. Trieu Minh Vu, mehhatroonikainstituudi mehhanosüsteemide komponentide õppetooli professor

- Executive Editor: Global Journal of Technology and Optimization, ISSN: 2229-8711,

<http://www.omicsonline.com/open-access/editorialboardGJTO.php>

- Standing Member: Technical Committee (TC) of International Federation of Automatic Control (IFAC) on Automotive Control, <http://tc.ifac-control.org/7/1/members>

**2.5** Struktuuriüksuses järel doktorina T&A-s osalenud isikute loetelu (nii ETIS-e kaudu esitatud taotluste alusel kui muude meetmete alusel TTÜ-sse saabunud näidates ära järel doktori nime, allüksuse ja ametikoha, perioodi, päritolumaa ja asutuse ning meetme, mille alusel järel doktorit rahastatakse.) Eraldi tuuakse loetelu TTÜ-st järel doktorantuuri suundunud struktuuriüksuse töötajatest (nii ETIS-e kaudu esitatud taotluste alusel kui muude meetmete alusel TTÜ-st välja suundunud näidates ära järel doktori nime, allüksuse ja ametikoha, perioodi, sihtkoha riigi ja asutuse ning meetme, mille alusel järel doktorit rahastatakse.)

Meelis-Mait Sildoja – järel doktorantuur Saksamaal PTB-s, jaanuar-juuli 2015, EU EMRP grant.

Kaspar Kallip – külalisdoktorant uurimisasutuses EMPA – Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology. Juhendajad on Marc Leparoux (Šveits), Lauri Kollo (Eesti).

2015. aastal on materjalitehnika instituudis läbinud stažeerimist järgmised välisdoktorandid (DoRa programmi abil):

1. Andreijs Šiškins, Läti, doktorant, projekti nimetus "Light-weight Metaloceramics Composites". Juhendaja Irina Hussainova, metallide tehnoloogia õppetool, juhtiv teadur;
2. Khachatur Kyrakosyan, Armeenia, doktorant, projekti nimetus „Novel NiO/NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanofibers and oxide doped NiO/NiAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanofibers for NO<sub>x</sub> reduction“. Juhendaja Irina Hussainova, metallide tehnoloogia õppetool, juhtiv teadur;
3. Marina Aghayan, Armeenia, doktorant, projekti nimetus „Multifunctional ceramic nanocomposites“. Juhendaja Irina Hussainova, metallide tehnoloogia õppetool, juhtiv teadur;
4. Sergei Sobolev, Venemaa, doktorant, projekti nimetus „Investigation of tribological properties of diamond like carbon coatings“. Juhendaja Vitali Podgurski, materjaliõpetuse õppetool, vanemteadur;
5. Babak Omranpour Shahreza, Itaalia, doktorant, projekti nimetus „Severe Plastic Deformation of rare earth metals: Niobium and Tantalum“. Juhendaja Lembit Kommel, metallide tehnoloogia õppetool, vanemteadur.

**2.6** Soovi korral esitatakse muu informatsioon aruandeaasta T&A tegevuse kohta, sh saadud T&A-ga seotud tunnustused (va punktis 2.2 toodud tunnustused), ülevaade teaduskorralduslikust tegevusest, teadlasmobiilsusest ning hinnang struktuuriüksuse teadustulemustele, arengukava täitmisele vm.

Patentsed leiutised:

- Meetod ja seade tugitalla valmistamiseks; Omanikud: Tallinna Tehnikaülikool, Gadox AS; Autorid: Mart Tamre, Ahti Põlder, Maido Hiiemaa, Marko Tilk; Prioriteedi number: P201500004; Prioriteedi kuupäev: 30.01.2015.
- GB1521183.2, 1.12.2015, Rahvusvaheline (IPC), A COMPOSITE SHIELDING MATERIAL AND A PROCESS OF MAKING THE SAME, Andrei Shishkin; Tarmo Koppel; Irina Hussainova, TTÜ
- P201500021, 13.05.2015, Rahvusvaheline (IPC), Meetod ja seade pulbermaterjalist toodete valmistamiseks, Lauri Kollo; Kaspar Kallip; Zorjana Mural; Hans Vallner; Renno Veinthal; Märt Kolnes; Marek Tarraste; Marek Jõelet, TTÜ