

# Küberneetika instituut, 2016. aasta teadus- ja arendustegevuse aruanne

## 1. Struktuuriüksuse struktuur 2017. a

Küberneetika instituut

Department of Cybernetics

Andrus Salupere, [andrus.salupere@ttu.ee](mailto:andrus.salupere@ttu.ee), +372 620 4152

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

2.1 Struktuuriüksusesse kuuluvad uurimisrühmad (kooskõlastatult struktuuriüksuse direktoriga).

1. uurimisrühm

### 2.1 Lainetuse dünaamika labor

- uurimisrühma nimetus inglise keeles;

Wave Engineering Laboratory

- uurimisrühma juhi nimi, ametikoht

Tarmo Soomere, juhtivateadur, lainetuse dünaamika labori juhataja

- uurimisrühma liikmed (nimi, ametikoht ja allüksus; täpsustatakse, kui on doktorant, magistrant);

- Nicole Delpeche, PhD, teadur / Research Scientist, lainetuse dünaamika labor
- Maris Eelsalu, MSc, nooremteadur / Early Stage Researcher, lainetuse dünaamika labor, doktorant (emapuhkusel)
- Andrea Giudici, PhD, teadur / Research Scientist, lainetuse dünaamika labor
- Nadezhda Kudryavtseva, PhD, vanemteadur / Senior Research Scientist, lainetuse dünaamika
- Rain Männikus, MSc, nooremteadur / Early Stage Researcher, lainetuse dünaamika labor, doktorant
- Irina Nikolkina, Cand.Sci. & PhD, teadur / Research Scientist, lainetuse dünaamika labor (emapuhkusel)
- Maarika Org, BSc, tehnik / Technician, lainetuse dünaamika labor, magistrant
- Katri Pindsoo, MSc, nooremteadur / Early Stage Researcher, lainetuse dünaamika labor, doktorant
- Andrus Räämet, PhD, teadur / Research Scientist, lainetuse dünaamika labor (osakoormusega)
- Tarmo Soomere, Dr. Math., juhtivateadur, labori juhataja / Laboratory Manager, Lead Research Scientist, lainetuse dünaamika labor (vt. ülal)
- Tomas Torsvik, PhD, vanemteadur / Senior Research Scientist, lainetuse dünaamika labor (osakoormusega)
- Bert Viikmäe, PhD, teadur / Research Scientist, lainetuse dünaamika labor

- uurimisrühma teadustöö ülevaade (kokku kuni 1,5 lehekülge eesti ja inglise keeles), sh:

- teadustöö lühikirjeldus (tuua välja, millistele sisulistele uurimisvaldkondadele/-temaatikale on uurimisrühma T&A keskendunud)

Lainetuse dünaamika labor (algse asukohaga Küberneetika Instituudis, [wavelab.ioc.ee](http://wavelab.ioc.ee)) loodi 2009.a tagamaks adekvaatne täppisteaduslik tugi rannikutehnika-alasele teadus- ja õppetööle ning rakendustele. Sihiks on sulandada tervikuks merelainete dünaamika, lainetuse klimatoloogia ning teiste rannikupiirkonda mõjutavate protsesside uuringud.

Labor keskendub komplekssetele ja mittelineaarsetele nähtustele pinna- ja siselainete dünaamikas ja rannikutehnikas ning matemaatiliste meetodite rakendamisele neis valdkondades.

Peamised töösuunad: pinnalainete modelleerimine, lainekliima ja inimtekkeliste (laeva)lainete uuringud, ekstreemsete üksiklainete (hiidlainete), lainetuse tingimuste ja veetasemete problemaatika, lainetusega seotud nähtused rannikutehnikas (laineaju, lainerünnak), veemasside ja rannasetete dünaamika

---

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

Lagrange'i vaatekohast, rannikute funktsioneerimise teooria, rannikupiirkonna integreeritud haldus, merelt lähtuvate ohtude kvantifitseerimine ja minimeerimine.

[Sama, inglise keeles:](#)

The laboratory (wavelab.ioc.ee) was formed on 01.01.2009 to promote and provide a structure for research in water waves and coastal engineering within the Department of Mechanics and Applied Mathematics, Institute of Cybernetics and now is one of the core labs of the Department of Cybernetics.

The team focuses on complex and nonlinear phenomena in wave dynamics and coastal engineering, and the applications of mathematical methods in wave studies. The scope of research involves, but is not limited to, long wave theory and applications (with emphasize on fast-ferry waves, shallow-water solitons, set-up and run-up phenomena, tsunami research, and generic aspects of coastal hazards), surface wave modelling, wave climate studies, and wave-driven phenomena in coastal engineering, with application to integrated coastal zone management. Rapidly emerging new foci are the use of Lagrangian transport of different substances in marine environment for marine and maritime spatial planning, adequate description of hydrodynamic (wave and water level) extremes, and preventive methods for mitigation of marine-induced hazards.

- [uurimisgrupi T&A ühiskondlik mõjukus \(seostatus aktuaalsete majanduse, keskkonna, ühiskondlike probleemide lahendamisega\)](#)

Uurimisrühma juht Tarmo Soomere osutus Eesti Päevalehe mõjukaimate loetelus mõjukuselt teiseks isikuks hariduse ja teaduse valdkonnas. Aruandeaastal avaldati ca 15 arvamuskirjat erinevates ajalehtedes ja anti ca 20 kommentaari erinevatele ajalehtedele, raadio- ja televisiooniprogrammidele mereteaduse, rannikuteaduse, keskkonnateaduse ning klimatoloogia valdkonnas ja Eesti teaduspoliitikat puudutavatest küsimustest. Regulaarselt nõustatakse riigiasutusi ja eraettevõtteid rannikuteaduse erinevate küsimuste osas. Ülevaade ilmunud artiklitest ja antud kommentaaridest vt. aruande lõpus.

- [aruandeaastal saadud kõige olulisemad märkimist vääriavad teadustulemused](#)

Esitati põhjalik ülevaade Läänemere lainetuse kliimast alates 1940ndatest aastatest, sh ekstreemsetest lainetuse tingimustest ning lainekliima ja selle muutust ajalis-ruumilistest mustritest. Demonstreeriti, et satelliitlõimeetria mõõtmistest tuletatud lainekõrguste hinnangud on adekvaatsed suures osas Läänemerest ning heas kooskõlas kohapeal mõõdetud lainekõrgustega.

Tõdeti, et laevade tekitatud solitonilaadsed üksikud väga lainevaod sügavad lainevaod, mis on iseloomulikud laevade liikumisel ühes (Malamocco–Marghera) Veneetsia laguuni kanalitest ning mis levivad sealt kuni kilomeetri kaugusele laguuni, üldiselt ei teki teistes laguuni läbivates kanalites seilavate laevade puhul.

Näidati, et lokaalsete tormiajude maksimumid on viimase 40 aasta vältel püsivad praktiliselt muutumatuina Läänemere avaosa idarannikul, kuid kasvanud kuni 5–7 mm aastas Soome lahe ja Liivi lahe idaosas. Taoline muster viitab Läänemere kohal puhuvate tugevaimate tuulte suuna pöördumisele.

Näidati, et süvaveekerke (apvellingu) käigus pinnale kerkinud veemasside liikumise muster ei järgi klassikalise Ekmani triivi omadusi, kusjuures algselt pinnal paiknenud vee liikumine aeglustub tunduvalt. Kvantifitseeriti Lagrange'i hoovustranspordi ajaskaalad ja tõenäosused, et Soome lahe keskosas paikeval laevateel merre sattunud reostus jõuaks rannavööndisse. Nii vastav ajamastaap kui ka reostuse randa jõudmise tõenäosus on püsivad põhiosas muutumatuina neljakümne aasta vältel (1965–2004). Töötati välja ja testiti pinnakihi liikumisi jälgivate triipode aju-kontrollseadme uudne lahendus.

[Sama, inglise keeles:](#)

A comprehensive overview has been presented about the Baltic Sea wave climate, its extremes and spatio-temporal variations since the 1940s. Significant wave heights extracted from altimetry data from all existing satellites are cross-validated against available in situ wave measurements in the Baltic Sea.

Vessel-generated very deep asymmetric depression waves, similar to Riemann waves, with a depth up to 2.5 m often occur in one of the channels (the Malamocco–Marghera channel) in the Venice Lagoon and propagate large distances into the shallow lagoon. By contrast, depression waves associated with large ships in other (the Lido and Giudecca) channels are much smaller (~0.3–0.4 m).

The slopes of trends for maxima of local storm surge heights vary from almost zero for the open Baltic Proper coast up to 5–7 cm/decade in the eastern Gulf of Finland and Gulf of Riga, suggesting a rotation of wind direction in strong storms in the Baltic Sea basin.

The presence of an upwelling event may override the classic Ekman-type drift of the surface layer and considerably slow down surface currents of surrounding water. Temporal scales of current-driven Lagrangian transport and the probability for the hits to the nearshore by pollution originating from a major fairway in the Gulf of Finland are evaluated using three-dimensional velocity fields for 1965–2004. An extensible, low-cost drifter control unit is designed and tested for use in inland water bodies or near-coast regions.

- [loetelu uurimisrühma liikmete aruandeaastal juhitud olulisematest projektidest/lepingutest;](#)

The European Economic Area Financial Instrument 2009–2014 Programme “National Climate Policy”, Small Grants Scheme Project “Effects of Climate Changes on Biodiversity in the Coastal Shelves of the Baltic Sea” 2015–2016: EEA grant No. 2/EEZLV02/14/GS/022 (Läti/Eesti, T.Soomere).

MARE/2014/09 „Lot 3 Baltic” Growth and innovation in the ocean economy: Baltic Sea Checkpoint (T. Soomere).

ERA.Net RUS Plus The impact of extreme events of future climates on the marine ecosystem in the Baltic and Barents Sea (EXOSYSTEM), Grandileping nr 4-8/16/1, 22.02.2016 (T.Soomere).

Tempus SESREMO project “Strengthening education in space-based remote sensing for monitoring of eco systems in Israel, Azerbaijan, Kazakhstan” (543720-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPCR, 01.11.2013–31.10.2016; pikendatud kuni 31.10.2017).

Mitmesugused rakenduslepingud, nt Setete transpordi hindamine ning heljumi leviku modelleerimine Merirahu sadama lähistel (R.Männikus), Veetasemete ekstreemumid ja korduvusperioodid Eesti rannikul (T.Soomere)

Labor osaleb Eesti teadustaristu teekaardi objektis Infotehnoloogiline Mobiilsusobservatoorium

- [uurimisrühma liikmete koostöö teiste T&A asutuste ja ettevõtetega \(sh välisriikidest\);](#)

Koostöö Veneetsia laguunis esinevate ebatavaliste laevalainete (pikaealiste üksikute lainevagude) mõõtmise ja analüüsi vallas: ühispublikatsioon, kaasautorid Kevin E. Parnell (James Cook University, Townsville, Austraalia), Luca Zaggia ja Giuliano Lorenzetti (Institute of Marine Sciences, National Research Council, Venice, Italy) ning Gian Marco Scarpa (Università Ca’ Foscari, Venice, Italy).

EEA granti 2/EEZLV02/14/GS/022 raames koostöö: Institute of Aquatic Ecology (Latvia).

Projekti MARE/2014/09 „Lot 3 Baltic” raames koostöö järgmiste asutuste ja ettevõtetega: Danish Meteorological Institute (Denmark), Technical University of Denmark, ETT SpA (Italy), EuroGOOS AISBL (Belgium), Finnish Meteorological Institute, Klaipeda University (Lithuania), Swedish Maritime Agency, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Grontmij A/S, (Denmark).

Projekti EXOSYSTEM raames: Alfred Wegener Institute Helmholtz Centre for Polar and Marine Research (Germany), P.P.Shirshov Institute of Oceanology, Academy of Sciences of Russia, Finnish Meteorological Institute.

Projekti SESREMO raames: Technische Universität Berlin (Germany), University of Twente (The Netherlands); Engineering, Consulting and Management Office (Germany); National Aviation Academy (Azerbaijan); Sumgait State University (Azerbaijan); Baku State University (Azerbaijan); Tel-Aviv University (Israel); Israel Institute of Technology (Israel); Jerusalem College of Engineering (Israel); Al-Farabi Kazakh National University (Kazakhstan); L.N.Gumilev Eurasian National University (Kazakhstan); Korkyt Ata Kyzylorda State University (Kazakhstan); Centre for Remote Sensing and GIS TERRA (Kazakhstan); U.Sultangazin Space Research Institute (Kazakhstan); EkoSfera Social-Ecological Center (Azerbaijan); Ministry of Education & Science of the Republic of Kazakhstan; Israeli Space Agency at Ministry of Science; Ministry of Education of the Republic of Azerbaijan; Ministry of Environmental Protection of Israel.

- [uurimisrühma liikmete kuni 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit \(ETISE klassifikaator 1.1, erandjuhul 3.1\);](#)

1. Soomere T., Pindsoo K. 2016. Spatial variability in the trends in extreme storm surges and weekly-scale high water levels in the eastern Baltic Sea. *Continental Shelf Research*, 115, 53–64, doi: 10.1016/j.csr.2015.12.016

2. Delpeche-Ellmann N.C., Torsvik T., Soomere T. 2016. A comparison of the motions of surface drifters with offshore wind properties in the Gulf of Finland, the Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 172, 154–164, doi: 10.1016/j.ecss.2016.02.009
3. Viikmäe B., Soomere T. 2016. Temporal scales for nearshore hits of current-driven pollution in the Gulf of Finland. *Marine Pollution Bulletin*, 106, 77–86, doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.03.025

- uurimisrühma liikmete (kaas)autorsuses ilmunud monograafiad (ETISE klassifikaator 2.1).

2016.a. uurimisrühma liikmete kaasautorsuses monograafiaid ei ilmunud

## 2.2 Loetelu uurimisrühma töötajate olulisematest sise- ja välisriiklikest T&A-ga seotud tunnustustest (töötaja nimi, allüksus ning tunnustus).

Tarmo Soomere, lainetuse dünaamika labor: Eesti Päevalehe mõjukaimate loetelus mõjukuselt teine hariduse ja teaduse valdkonnas.

## 2.3 Loetelu uurimisgrupi liikmetest, kes on riiklike T&A-ga seotud otsustuskogude liikmed (töötaja nimi, ametikoht ning otsustuskogu nimetus ja positsioon otsustuskogus).

Tarmo Soomere, juhtivteadur, labori juhataja:

Teadus- ja Arendusnõukogu, liige

Eesti Teaduste Akadeemia, president

Eesti riiklike teaduspreemiate komisjon, esimees

Ühtekuuluvuspoliitika 2014–2020 rakenduskava seirekomisjon, liige

Tõukefondide 2014–2020 prioriteetsete suundade „Teadus- ja arendustegevuse inimressursi arendamine“ ja „Eesti TA konkurentsivõime tugevdamine teadusprogrammide ja kõrgkoolide ning teadusasutuste kaasajastamise kaudu“ juhtkomisjon, liige

Majanduse valdkondlik komisjon „Ühtekuuluvuspoliitika fondide rakenduskava 2014-2020“ prioriteetsete suundade 4 ja 5 järgmiste eesmärkide alla kuuluvate meetmete tulemuslikumaks juhtimiseks, liige

Struktuurifondidest rahastatava meetme “Institutsionaalse arendusprogrammi teadus- ja arendusasutustele ja kõrgkoolidele” (ASTRA) hindamiskomisjon, liige

## 2.4 Loetelu uurimisgrupi liikmetest, kes on välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste T&A-ga seotud välisorganisatsioonide liikmed (töötaja nimi, allüksus ning välisakadeemia või muu olulise T&A-ga seotud välisorganisatsiooni nimetus).

Tarmo Soomere, juhtivteadur, labori juhataja:

Euroopa Merekomitee (European Marine Board) aseesimees

Läti Teaduste Akadeemia, välisliige

EASAC (European Academies Scientific Advisory Council – Euroopa Akadeemiate Teadusnõukoda)

Keskonnapaneeel (Environment Steering Panel), asutajaliige

Eesti esindaja Euroopa Liidu riikide valitsuste teadusnõustajate võrgustikus

## 2.5 Uurimisgrupis osalenud järel doktorite ning TTÜ-st järel doktorantuuri suundunud uurimisgrupi töötajate loetelu (nii ETIS-e kaudu esitatud taotluste kui muude meetmete alusel näidates ära järel doktori nime, päritolumaa ja asutuse, järel doktorantuuri perioodi ning meetme, mille alusel järel doktorit rahastatakse).

Aruandeperioodil järel doktoriteid ei kaasatud

Soovi korral esitatakse muu informatsioon aruandeaasta T&A kohta, sh saadud T&A-ga seotud tunnustused (va punktis 2.2 nimetatud), ülevaade teaduskorralduslikust tegevusest, teadlasmobiilsusest vmt.

Muidugi soovime esitada järgmised andmed:

### ***Avaldati mitmeid populaarteaduslikke lugusid; samuti arvamusi ja kommentaare ajakirjanduses ja muudes perioodilistes väljaannetes***

Soomere, T. Eesti oma Horisont. – Horisont, 1/2016, 1.

Soomere, T. Teadusseltsid ja õpetatud seltsid nähtavamaks. – Eesti Geograafia Seltsi Aastaraamat, 41. Eesti Geograafia Selts, Tallinn, 2016, 7-10.

- Soomere, T. Läänemere ekstreemsete veetasemete põnev maailm. – Eesti statistika kvartalikirj 2/2016, 128-133.
- Soomere, T. Intriguing world of extreme water levels in the Baltic Sea. – Quarterly Bulletin of Statistics Estonia, 2/2016, 134-137.
- Soomere, T. Teaduspreemiate komisjoni esimehe tervitus, laureaate tutvustus. – Eesti Vabariigi preemiad 2016. Eesti Teaduste Akadeemia, Tallinn 2016, 12-21.
- Soomere, T. Nähtav transport ja nähtamatud tõkked Läänemere idarannikul. – Nemliher R., Nirgi, T., Amon-Veskimeister L. (toim). Meri. Schola Geologica XII. Eesti Loodusuurijate Selts, Tartu, 2016, 15-23.
- Soomere, T., Veinthal, R. Akadeemiline sullerlus kui akadeemilise vabaduse kuritarvitamine. – Sirp, 6(6(3576)), 12.02.2016, 36-37.
- Soomere, T., Varblane, U. Rikkus maapõues: esivanemate pärandus või laen lastelt. – Postimees. Arvamus. Kultuur), 106(7702), 07.05.2016, 2-3.
- Soomere, T. Luukered kapis ehk milline on meie presidentide akadeemiline taust. – Postimees Online, 10.05.2016 18:18.
- Soomere, T. Kliimateaduse saamatus on vesi poliitilise kempluse veskile. – Postimees Online, 22.07.2016, 19:34.
- Pilt, E., Soomere, T. 2016. Mis oleks, ... kui me kuuleksime Higgsi bosonit? Kunsti ja teaduse koostööst. – Sirp, 39(3609), 30.09.2016, 23.
- Soomere, T. Kas ja kuidas töötab teadus majanduse mootorina? – Postimees. Arvamus. Kultuur, 229(7825), 01.10.2016, 9.
- Soomere, T. Kuidas mõistlikkus võidab laamendamise kiuste. – Postimees. Arvamus. Kultuur, 265(7861), 12.11.2016, 6-7.
- Soomere, T. Kuidas külm ja kauge Lõunaookean meie kliimat säilitab? – Postimees. Arvamus. Kultuur, 265(7861), 03.12.2016, 12.
- Soomere, T. Piiramatute arvamuste vabadus võib olla informatsiooniline eutanaasia. – Postimees Online, 12.12.2016, 18:13.
- Soomere, T. Haridussüsteemi uued astmed ehk õppimine ilma õpetajata. – Sirp, 50(3620), 16.12.2016, 16-17.
- Pilt E., Soomere, T., Teaduse populariseerimise kiiresti muutuv kunst. – Õpetajate Leht, 41, 16.12.2016, 14.
- Soomere, T. 2016. Kas füüsikud ja lüüririkud sobivad kokku? – Sakala, 252, 31.12.2016, 11.

***Peeti rida populaarteaduslike loenguid; võeti sõna mitmetel teaduslikel ja teaduspoliitika konverentsidel***

1. Avalik loeng *Eesti Teaduste Akadeemia muutuval teadusmaastikul ja lühiloeng Selle suve ilm: globaalsete muutuste peegeldus?* Palmse hotellis, 15.01.2016.
2. Loeng *Läänemere ekstreemsete veetasemete põnev matemaatika*, Eesti Kindlustusseltside Liit, Tallinn, 29.01.2016.
3. Loeng *Extracting the signal of rotation of wind directions from water level extremes at the eastern Baltic Sea coast*, MARUM, Bremeni ülikool, Saksamaa, 10.03.2016.
4. Ettekanne *Future extreme events: chlorophyll, water level, waves and current-driven convergence* ERA-NET RUS+ võrgustiku EXOSYSTEM avakoosolekul, Alfred-Wegener Institut für Polarforschung, Bremerhaven, Saksamaa, 10.03.2016.
5. Loeng *Extracting the signal of rotation of wind directions from water level extremes at the eastern Baltic Sea coast* Institute for Coastal Research, Geesthacht, Saksamaa, 14.03.2016.
6. Avalik loeng *Meri kõneleb. Ka kliimamuutustest*, Rahvusraamatukogu, Tallinn, 30.03.2016.
7. Avasõnad ja ettekanne *Rahutu rannikumeri* konverentsil „Eesti mereteadus ja merekultuur“, Meremuuseum, Tallinn, 01.04.2016.
8. Ettekanne *Läänemere ekstreemsete veetasemete põnev maailm* Eesti statistikasüsteemi 95. aastapäeva konverentsil „Riiklik statistika muutuvas maailmas“, Tallinn Estonia teatrisaal, 25.04.2016.

9. Ettekanne *Rikkus maapõues: esivanemate pärandus või laen lastelt* maapõue strateegia konverents „Hea peremees ühisele varale“, Tallinn, Sokos Hotel Viru, 26.04.2016.
10. Peaettekannet *Sediment transport along the eastern Baltic Sea coast under changing forcing conditions* EEA granti „Climate change impact on biodiversity of Baltic Sea coastal reefs“ (Project No. 2/EZLVO2/14/GS/O22) lõpuseminaril, Islande Hotel, Riia, Läti, 29.04.2016.
11. Loeng *Challenges in R&D organization yet to solve in Estonia* Tallinna Tehnikaülikooli kraadiõppuritele, 04.05.2016.
12. Avalik loeng *Läänemere rahutud rannikud* Muuseumiöö 2016 raames, TTÜ Särghaua õppekeskus, 14.05.2016
13. Loeng gümnaasiumiõpilastele *Meremuusika Eesti rannikutel*, Keskraamatukogu, Tallinn, 16.05.2016
14. Loeng-vestlus *Akadeemilisi variatsioone tõsisel teemal: Rikkus maapõues – vanemate pärandus või kiirraen lastelt* Eesti Väliskaubanduse Liidu (International Chamber of Commerce, Estonia) poolt korraldatud Kella Kuue Klubi üritusel, Tallinn, Neitsitorn, 25.05.2016
15. Külalisettekannet *Mere(äärse)riigi rahutu rannikumeri* Vabaerakonna üldkogul 05.06.2016.
16. Teaduse populariseerimise infoseminar ja näpunäited lühiloengute ettevalmistamiseks ja esitlemiseks, Tallinna Tehnikaülikool, 8.06.2016.
17. Loeng-vestlus *Rahutu rannikumeri* Teaduste Akadeemia saalis kohtumisel Pärnu õpetajate ja poliitikutega, 09.06.2016.
18. Loeng *Smart use of currents for environmental management of maritime activities*, Department of Civil and Environmental Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA, 05.08.2016.
19. Loeng *Smart use of currents for environmental management of maritime activities*, Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Kanada, 15.08.2016.
20. Loeng *Wave-driven sediment transport and wave climate change in the Baltic Sea*, Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER), Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Kanada, 18.08.2016.
21. Ettekanded kolme minuti loengute konkursil osalejate koolitusel, Tallinn 29.08.2016; Tartu 30.08.2016.
22. Loeng-vestlus *Kliimamuutuste nägemine lihtsalt õigesti vaadates* Tallinna reaalkooli 8. ja 9. klassi õpilastele Meremuseumi aasta ja projekti Art/Mosphere raames, Meremuuseum, Suur Tõll, 09.09.2016.
23. Ettekanne *On the rapid increase in water level extremes on some sections of the Baltic Sea coast* ERA-NET RUS+ võrgustiku EXOSYSTEM seminaril, Soome Meteoroloogia Instituut, 12.–13.10.2016 (13.10.2016).
24. Avasõnad teaduspoliitika konverentsil "Teadus kui Eesti arengumootor III – ühisosa otsides", Riigikogu konverentsisaal, 14.10.2016.
25. Ettekanne *Nähtav transport ja nähtamatud tõkked Läänemere idarannikul* XII geoloogia sügiskoolis (Roosta, 14.–16.10.2016), 14.10.2016.
26. Ettekanne *Faktijärgne poliitika ehk kuidas mõistlikkus võidab laamendamise kiuste* Postimehe Trehvunks, Tallinn, 02.11.2016.
27. Sõnavõtt Eesti Kultuuri Koja aastakonverentsi "Kultuur, haridus ja haritus" (Tartu, 04–05.11.2016) esimeses peapaneelis "Haridus kui kultuurikandja", Tartu, ERM, 04.11.2016.
28. Loeng-vestlus *Mere(äärse)riigi rahutu rannikumeri* ja vestlus Teaduste Akadeemiast ja Eesti teaduse seisust, Jõhvi meesteklubi KARRU ja Ida-Viru riigitoetajate klubi ühine koosolek, 09.11.2016.
29. Loeng poolsuletud merede lainekliima ja rannikuprotsesside spetsiifikast al-Farabi-nimelise Kasahstani riikliku ülikooli mehaanika osakonnas Euroopa Liidu Tempuse projekti SESREMO meistriklasse raames, Almaty, 14.11.2016.
30. Loengud teemal "Approximate solutions of inverse problems of pollution propagation for environmental management of maritime activities" Euroopa Liidu Tempuse projekti SESREMO meistriklasse raames Astanas L.N. Gumiljovi nimelise Euraasia riikliku ülikooli kosmosetehnika ja -tehnoloogia osakonnas, 16.–18.11.2016.

31. Ettekanne *Inimlik teaduskommunikatsioon – kas see on võimalik?* teaduskommunikatsiooni konverentsil 2016 "Teadus meediastunud maailmas", Tartu, ERM, 23.11.2016.
32. Esinemine paneeldiskussioonis seminaril "Kuidas anname majandusele uue hoo?", Teaduste Akadeemia, 30.11.2016.
33. Loeng *Marine science reveals hidden signals of climate change* Tallinna Kesklinna vene gümnaasiumis õpilastele Kreekast, Türgist, Prantsusmaalt, Rumeeniast, Itaaliast ja Portugalist Erasmus+ rahvusvahelises ökoloogilises õppeprojektis osalejatele, 30.11.2016.
34. Loeng *Eesti rannikumeri rahututel aegadel* Eesti teadusliku seltsi poolt Rootsis korraldatud eestikeelse ülikooli 97. aastapäeva pidulikul aktusel Stockholmi Eesti majas, 01.12.2016.
35. Ettekanne *Mobiilsus ja selle ekstreemumid merel ja rannas* Infotehnoloogilise Mobiilsusobservatooriumi seminaril, Teaduste Akadeemia, 06.12.2016.
36. Sõnavõtt Inimõiguste aastakonverentsi 2016 "Mustvalged väärtused polariseerivas maailmas" arutelupaneelil "Sõnavabadus multikultuurses Euroopas", Tallinn, 09.12.2016.
37. Ettekanne *Teaduskoostöö arengud kaasajal* konverentsil "Teadussidemete arendamine nüüdisajal: dialoog ja koostöö" (Bakuu, 19.–20.12.2016), 19.12.2016.

### ***Mere- ja rannikuteaduse probleematika kajastamine meedias***

1. Esinemine kommentaariga algava merekultuuri aasta kohta Eesti Kontserdi ja Hennessy uusaastakontserdi vaheajal Eesti Televisiooni otseülekandes, 01.01.2016.
2. Helen Michelson, Teaduste Akadeemia saab „väikevenna“; sisaldab T.Soomere kommentaari Noorte Teadlaste Akadeemia loomise printsiipide kohta, *Postimees Online*, 07.01.2016, 11:52
3. Rein Perens, Nabala kaitsjad vaatavad faktidest mööda; sisaldab T. Soomere kommentaari vastava analüüsi kohta, *Postimees Online*, 08.01.2016, 19:07.
4. Jaan-Juhan Oidermaa, Akadeemikute raport: maailmamere olukord vajab uuringuid ja kiiret reageerimist (T. Soomere kommentaaride alusel EASAC-i raporti "Merete ja ookeanide jätkusuutlikkus muutuste ajastul" kontekstis). *ERR Novaator*, 27.01.2016, 14:04.
5. Intervjuu Kanal 2 saates Reporter "Eesti uus tegelikkus: külmad suved, tormid ja rängad lumesajud?" 28.01.2016.
6. Esinemine Vikerraadio saates *Labor* EASAC-i raporti "Merete ja ookeanide jätkusuutlikkus muutuste ajastul" teemal: viis nõuannet Euroopa merenduspoliitika kujundajatele, 07.02.2016.
7. Rainer Kerge, Tarmo Soomere: inimkonna arengut hakkab piirama vesi. *Õhtuleht*, 13.02.2016, 18–19.
8. Lühiintervjuu Eesti Televisioonile teadusest ja teadlastest vabariigi presidendi vastuvõtu otseülekande raames, 24.02.2016.
9. Margus Maidla, Teadus ühiskonna arengukiirendina [Eesti Teaduste Akadeemia president püüab hoida selget piiri nõustamise ja lobitöö vahel ning esitada üksnes sisuliselt põhjendatud arvamusi]. *Sirp*, 16(3586), 22.04.2016, 7-9.
10. Riin Aljas, Soomere: kasutame ookeani ressursse nagu saiast rosinaid sonkivad lapsed, *Postimees Online*, 25.04.2016, 17:41
11. Kairi Ervald, Tarmo Soomere: Maavarade arutu kasutamine on karuteene meie lastele. *Pealinn*, 26.04.2016.
12. Karl Kello, Eesti maavarade saaga: adekvaatse info lünklikkus toidab populismi (põhineb T. Soomere intervjuul). *Õpetajate Leht*, 20, 27.05.2016, 9.
13. Karl Kello, Globaalprobleemid – need on eelkõige suure tähega Maa terviseprobleemid (põhineb T. Soomere intervjuul). *Õpetajate Leht*, 22, 10.06.2016, 9.
14. Vikerraadio *Labori* saates kordusena eetris kommentaar avalikust teadusest, 10.07.2016.
15. Tiit Kändler, Miks Eesti randades leidub nii vähe merevaiku? (kajastab lainetuse dünaamika labori teadustööd). *Maaleht*, 28(1501), 14.07.2016, 32.
16. Risto Berendsen, Väikese väina tammi avad jäävad ära, *Postimees* 218(7814), 19.09.2016; käsitleb keskkonnaministri juures toimunud mereteadlaste nõupidamise ning selle soovitude materjali; kajastatud ka juhtkirjas „Kodanikualgatusi tuleb tõsiselt võtta“ (samas lk. 2).

17. Virgo Siil, Läänemere tormiveed tõusevad kordades kiiremini kui maailmaookeani tase. *ERR Novaator*, 19.09.2016, 12:02.
18. Georgi Beltadze, Galerii: madalas merevees on süüdi tugevad ida- ja kirdetuuled. *Postimees Online*, 06.10.2016, 22:00.
19. Avasõnad teaduspoliitika konverentsil "Teadus kui Eesti arengumootor III – ühisosa otsides" (14.10.2016, Riigikogu konverentsisaalis); kajastus Aktuaalses Kaameras, 15.10.2016: Eesti vajab teaduse maaklereid.
20. Kommentaar kõrgharidus- ja teadusmaastiku konsolideerimise ajakava suhtes pärast arutelu Riigikogu kultuurikomisjonis, Aktuaalne Kaamera, 25.10.2016.
21. Vestlus õiguskantsler Ülle Madisega *Kuku Raadio* saates "Õigus ja Õiglus" tõest ja õigusest, karmidest faktidest, meelt lahutavast silmamoondest ja paljust muust, 27.11.2016.
22. Marta Jaakson, Tarmo Soomere: teadlased ei suuda ise nii kõvasti karjuda, et ühiskond kuuleks. *Eesti Päevaleht*, 238, 7.12.2016, 4.
23. Villu Päärt, Tõde on liiga keeruline (Eesti Ekspressi suur intervjuu T.Soomerega), *Eesti Ekspress*, 51(1411), 21.12.2016, 24–27.
24. Kommentaar Vikerraadio teadussaates *Labor* teadusaasta 2016 tähtsaavutuste kohta, 27.12.2016.

## 2. uurimisrühm

- uurimisrühma nimetus;
  - [Süsteemibioloogia laboratoorium](#);
- uurimisrühma nimetus inglise keeles;
  - [Laboratory of Systems Biology](#);
- uurimisrühma juhi nimi, ametikoht;
  - Marko Vendelin, vanemteadur, Süsteemibioloogia laboratoorium;
- uurimisrühma liikmed (nimi, ametikoht ja allüksus; täpsustatakse, kui on doktorant, magistrant);
  - Rikke Birkedal, vanemteadur, Süsteemibioloogia laboratoorium
  - Mari Kalda, teadur, Süsteemibioloogia laboratoorium
  - Martin Laasmaa, teadur, Süsteemibioloogia laboratoorium
  - Niina Karro, insener, Süsteemibioloogia laboratoorium
  - Jelena Branovets, doktorant, Süsteemibioloogia laboratoorium
  - Päivo Simson, doktorant, Süsteemibioloogia laboratoorium
  - Svetlana Jugai, doktorant, Süsteemibioloogia laboratoorium
- uurimisrühma teadustöö ülevaade (kokku kuni 1,5 lehekülge eesti ja inglise keeles), sh:
  - teadustöö lühikirjeldus (tuua välja, millistele sisulistele uurimisvaldkondadele/-temaatikale on uurimisrühma T&A keskendunud)
  - uurimisgrupi T&A ühiskondlik mõjukus (seostatus aktuaalsete majanduse, keskkonna, ühiskondlike probleemide lahendamisega)
  - aruandeaastal saadud kõige olulisemad märkimist vääriavad teadustulemused

Süsteemibioloogia laboratoorium tegutseb biofüüsika ning bioenergeetika vallas, keskendudes südamerakus toimuvate protsesside uurimisele. Kasutades nii eksperimentaaltööd kui matemaatilist modelleerimist uuritakse rakusisest kompartmentatsiooni ning difusioonitakistusi ning nende mõju rakuenergeetikale; mitokondrite funktsionaalse struktuuri mõju rakuhingamisele; energia ülekande mehhanisme rakkudes ning südameraku mehaanika ning energeetika omavaheline seost.

Rakusisene energia ülekande on südame talituses üliolulisel kohal. On teada, et südamelihaskiirakus on kaht tüüpi difusioonitakistusi, mis tõkestavad energia ülekannet ATP-d tootvate mitokondrite ja seda tarbivate ATP-aaside vahel. Sellisteks takistuseks võivad olla tsütoplasmaatilised difusioonibarjäärid ja mitokondri välismembraan. Arvatavalt mängivad need difusioonitakistused suurt rolli energia ülekandes, signaliseerimises, apoptootiliste faktorite ja reaktiivsete hapniku radikaalide jaotuses. Töö eesmärgiks on selliste difusioonitakistuste tuvastamine ja jaotuse määramine südamelihaskiirakus. Selleks stimuleeriti roti



permeabiliseeritud südamelihasku mitokondriaalset hingamist rakku ümbritseva lahuse ADP kontsentratsiooni muutmise teel ning mõõdeti samaaegselt NADH autofluorestsentsi, mis on sõltuvuses hingamismäärast. Katseandmete matemaatilise modelleerimise tulemusena leiti, et roti permeabiliseeritud südamelihaskudes moodustab mitokondrite välismembraan poole üldisest difusioonitakistusest ning teine pool üldisest difusioonitakistusest asetseb mitokondrite välismembraani ja raku välise lahuse vahel.

Südamelihaskus mängib kesksel rollil kaltsium, mille kontsentratsiooni muutus elektromehaanilise sidestuse ajal reguleerib raku kokkutõmbumist ja lõõgastumist. Muutused rakusiseses kaltsiumi kontsentratsioonis on tingitud erinevatest kaltsiumvoogudest, mis on omavahel ülimalt täpselt tasakaalustatud. Kuid südamehaiguse korral on see tasakaal muutunud, mis põhjustab näiteks südame väiksemat tootlikust. Töötasime välja meetodi, mille abil on võimalik määrata erinevate kaltsiumvoogude dünaamikat ja panust kaltsiumi kontsentratsiooni muutusse südame elektromehaanilise sidestuse jooksul. Selle tarvis loodi kaltsiumi tasakaalu matemaatiline mudel, mis kombineerib rakumembraani läbivate kaltsiumvoogude elektrofüsioloogilisi mõõtmisi aktsioonipotentsiaali vältel ja nende mõju kaltsiumi poolt vahendatud fluorestsentsi signaalile. Selle uude meetodi abil määrati erinevate kaltsiumvoogude kineetika ja panus vikerforelli südamelihaskus elektromehaanilise sidestuse ajal.

### English

The main aim of the laboratory is to study regulation of intracellular processes and understand functional influences of intracellular interactions. For this, a mixture of experimental and theoretical approaches are used.

Our main research results in 2015

In cardiac excitation-contraction coupling (ECC), calcium enters the cytosol via L-type  $\text{Ca}^{2+}$  channels (LTCC) and reverse  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ -exchange ( $\text{NCX}_{\text{rev}}$ ), or is released from the sarcoplasmic reticulum (SR) by  $\text{Ca}^{2+}$ -induced  $\text{Ca}^{2+}$ -release (CICR). The magnitude of  $\text{Ca}^{2+}$  influx via the different pathways varies with the state of the cell and is difficult to assess quantitatively, because changes in  $\text{Ca}^{2+}$  influx through one pathway affect the others. In our laboratory, we developed a method to quantify the  $\text{Ca}^{2+}$  influx pathways. The novelty of our method lies in the mathematical analysis of measured transsarcolemmal  $\text{Ca}^{2+}$  currents and their impact on the corresponding  $\text{Ca}^{2+}$  transient during gradual inhibition of the currents in action potential (AP) clamp. We tested the developed method using an excitation-contraction model and showed that the method was able to recover calcium fluxes from noisy synthetic data. We applied the approach to trout ventricular myocytes and quantified the relative contributions of different  $\text{Ca}^{2+}$  influx pathways in ECC and determined the kinetics of these fluxes. In summary, the developed method resolves the major problem how to separate highly interconnected fluxes in AP clamp and allows to study  $\text{Ca}^{2+}$  fluxes in cardiomyocytes under conditions close to *in vivo*.

Adequate intracellular energy transfer is crucial for proper cardiac function. In energy starved failing hearts, partial restoration of energy transfer can rescue mechanical performance. There are two types of diffusion obstacles that interfere with energy transfer from mitochondria to ATPases: mitochondrial outer membrane (MOM) with voltage-dependent anion channel (VDAC) permeable to small hydrophilic molecules and cytoplasmic diffusion barriers grouping ATP-producers and -consumers. So far, there is no method developed to clearly distinguish the contributions of cytoplasmic barriers and MOM to the overall diffusion restriction. Furthermore, the number of open VDACS *in vivo* remains unknown. The aim of our work was to establish the partitioning of intracellular diffusion obstacles in cardiomyocytes. We studied the response of mitochondrial oxidative phosphorylation of permeabilized rat cardiomyocytes to changes in extracellular ADP by recording 3D image stacks of NADH autofluorescence. Using cell-specific mathematical models, we determined the permeability of MOM and cytoplasmic barriers. We found that only ~ 2% of VDACS are accessible to cytosolic ADP and cytoplasmic diffusion barriers reduce the apparent diffusion coefficient by 6–10 ×. In cardiomyocytes, diffusion barriers in the cytoplasm and by the MOM restrict ADP/ATP diffusion to similar extents suggesting a major role of both barriers in energy transfer and other intracellular processes.

In 2015, one PhD thesis was defended leading to promotion of Martin Laasmaa.

- [loetelu uurimisrühma liikmete aruandeaastal juhitud olulisematest projektidest/lepingutest;](#)

IUT33-7: Mikrostruktuuri, energiametabolismi ja sooritusvõime vahelised seosed südames

- [uurimisrühma liikmete koostöö teiste T&A asutuste ja ettevõtetega \(sh välisriikidest\);](#)

Craig Lygate, Division of Cardiovascular Medicine, Radcliffe Department of Medicine. Wellcome Trust Centre for Human Genetics, University of Oxford, Oxford, United Kingdom.

European Union Framework Programme Horizon 2020 COST Action CA15203: Mitochondrial mapping: Evolution - Age - Gender - Lifestyle – Environment. Marko Vendelin – member of Management Committee and co-leader of one of the workgroups.

- [uurimisrühma liikmete kuni 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit \(ETISE klassifikaator 1.1, erandjuhul 3.1\);](#)

1. Laasmaa, M., Birkedal, R., & Vendelin, M. (2016). Revealing calcium fluxes by analyzing inhibition dynamics in action potential clamp. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, 100, 93–108. <https://doi.org/10.1016/j.yjmcc.2016.08.015>

2. Simson, P., Jepihina, N., Laasmaa, M., Peterson, P., Birkedal, R., & Vendelin, M. (2016). Restricted ADP movement in cardiomyocytes: Cytosolic diffusion obstacles are complemented with a small number of open mitochondrial voltage-dependent anion channels. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, 97, 197–203. <https://doi.org/10.1016/j.yjmcc.2016.04.012>

### 3. uurimisrühm

- uurimisrühma nimetus;

[Pooljuhtide füüsika grupp](#)

- uurimisrühma nimetus inglise keeles;

[Semiconductor physics group](#)

- uurimisrühma juhi nimi, ametikoht;

Jüri Krustok, professor, Küberneetika instituut (Füüsika osakond)

- uurimisrühma liikmed (nimi, ametikoht ja allüksus; täpsustatakse, kui on doktorant, magistrant);

Arvo Mere, dotsent, Küberneetika instituut (Füüsika osakond)

Raavo Josepson, dotsent, Küberneetika instituut (Füüsika osakond)

Erkki Kask, nooremteadur, Küberneetika instituut (Füüsika osakond)

Veljo Sinivee, teadur, Küberneetika instituut (Füüsika osakond)

- [uurimisrühma teadustöö ülevaade \(kokku kuni 1,5 lehekülge eesti ja inglise keeles\), sh:](#)

- teadustöö lühikirjeldus (tuua välja, millistele sisulistele uurimisvaldkondadele/-temaatikale on uurimisrühma T&A keskendunud)

Pooljuhtide füüsika grupi teadustöö on põhiliselt seotud pooljuhtide füüsikaga tihedas koostöös Materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituudiga. Enamus töid sisaldavad päikesepatareide absorbermaterjalide elektrilisi ning optilisi uuringuid ning uute pooljuhtmaterjalide otsinguid. Põhilised uurimismeetodid on madalatemperatuurne fotoluminestsents, Raman spektroskoopia, XRD, XPS, Halli efekt, mahtuvusspektroskoopia ja modulatsioonspektroskoopia. Uuritud materjalideks on  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_4$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CuInSe}_2$ ,  $\text{MoSe}_2$ ,  $\text{SnS}$ ,  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ,  $\text{CdTe}$ .

Research topics in the Semiconductor physics group are mainly related to semiconductor physics in close collaboration with department of Materials and environmental technology. Most studies involve optical and electrical characterization of absorber materials for solar cells and search of new semiconductor materials. Low temperature photoluminescence spectroscopy, Raman spectroscopy, XRD, XPS, Hall effect, capacitance spectroscopy and modulation spectroscopy are the main experimental methods. Studied materials include  $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_4$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CuInSe}_2$ ,  $\text{MoSe}_2$ ,  $\text{SnS}$ ,  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ,  $\text{CdTe}$ .

- uurimisgrupi T&A ühiskondlik mõjukus (seostatus aktuaalsete majanduse, keskkonna, ühiskondlike probleemide lahendamisega)
- aruandeaastal saadud kõige olulisemad märkimist vääriavad teadustulemused

**Kõige olulisem tulemus on tekstis tehtud punaseks.**

Koostöös Barcelona teadlastega uurisime nende valmistatud õhukesekihiliste CZTSe päikesepatareide elektrilisi omadusi erinevatel temperatuuridel. Näitasime, kuidas piirpindade olekud mõjutavad madaltemperatuurilisi impedantsmõõtmisi ja kuidas neid oleks võimalik iseloomustada kaasates CPE elemendi ekvivalentskeemi.

Northumbria ülikooli teadlastega koostöös uurisime erinevate seleeni käsitluste mõju õhukesekihiliste CZTSe materjalide fotoluminesentsi omadustele ja defektstruktuurile. Leidsime esmakordselt materjali, mille kiirgusspektris võis märgata nn. BB riba temperatuuridel  $T=6-300\text{K}$ .

Sel aastal pöördusime korraks ka tagasi suhteliselt ammu uuritud  $\text{CuInSe}_2$  juurde ning koostöös Strachclyde ülikooli teadlastega püüdsime uurida vesiniku ionidega pommitamise mõju monokristalli defektstruktuurile. Kiirgusribad nihkusid vesiniku doosi kasvades spektri punasema osa poole ning potentsiaalfluktuatsioonide keskmine sügavus kasvas samuti.

**Koostöös mitme ülikooliga alustasime uuringuid ka  $\text{MoSe}_2$  monokihtidega, mis olid valmistatud  $\text{Si/SiO}_2$  alustele CVD meetodil Rice Ülikoolis USA-s. Näitasime esmakordselt, et  $\text{MoSe}_2$  monokihid muudavad aasta möödudes oma omadusi kardinaalselt, kuigi enne seda loeti neid monokihte stabiilseteks. Vananemise tagajärjel muutus pind karedamaks ning tuntud eksitonide ribad nihkusid spektri punasemasse piirkonda. Nihkumise suurus oli umbes 70 meV. Näitasime, et sellist käitumist põhjustavad lokaalsed pinged monokihis, mis omakorda põhjustab eksitonide lokaliseerumist. Eksitonide sellist käitumist õnnestus teoreetiliselt kirjeldada mudeliga, mis pärineb aastast 2005 ning mida seni monokihtide juures pole keegi rakendanud.**

Pihustuspürolüüsi meetodiga kasvatatud  $\text{TiO}_2\text{:Zr}$  kiledes uuriti nii faasikoostist kui ka muid omadusi sõltuvalt Zr kontsentratsioonist ning kilede valmistamise režiimidest. Näitasime, et suhteliselt odava pihustuspürolüüsi meetodiga valmistatud kiled on valmis konkureerima palju kallimate meetoditega valmistatud kiledega.

Koostöös Tartu ülikooliga sai uuritud ka kulla nanoosakeste mõju  $\text{TiO}_2$  omadustele- plasmon efekti. Resonantsi märgati lainepikkusel 550 nm, kuid see lainepikkus nihkus 610 nm juurde, kui nanoosakesed kaeti uue  $\text{TiO}_2$  kihiga.

Õnnestus kasvatada ka kuubilisi  $\text{SnS}$  kilesid pihustuspürolüüsi meetodil. Uuriti erinevate kasvatusrežiimide mõju  $\text{SnS}$  kilede füüsikalistele omadustele.

#### Main results:

Thin film CZTSe solar cells from Barcelona were studied by measuring temperature dependent electrical properties. We showed how grain boundary states affect impedance measurements and how we can obtain useful information from low temperature impedance data by using CPE element in the ordinary equivalent circuit of solar cell.

The role of different Se treatments on defect structure and PL properties of CZTSe thin films were studied together with researchers from Northumbria University. We discovered material where so-called BB band was visible at temperatures  $T=6-300\text{K}$  for the first time.

In 2016 we also studied a role of H ion implantation on defect structure of  $\text{CuInSe}_2$  single crystals grown at Strachclyde University. PL bands showed a red-shift and the average depth of potential fluctuations was increasing with increasing H dose.

We also started a new study of CVD grown MoSe<sub>2</sub> monolayers from Rice University in close co-operation with different universities. It was shown that so-called aged MoSe<sub>2</sub> monolayers, which were considered to be extremely stable in ambient conditions, are not stable at all and their properties change after about 1 year.

We discovered that the surface roughness was increased and exciton PL peaks were red-shifted of about 70 meV in aged monolayers. Such a behavior was explained by a local tensile strain and exciton localization. Theoretical model of localized excitons, published in 2005 was applied for the first time on CVD grown monolayers.

TiO<sub>2</sub>:Zr thin films were grown by chemical spray pyrolysis (CSP) method and the phase composition and properties of films with different Zr concentration were studied. The results indicate that CSP is a suitable and relatively cheap method to deposit Zr-doped TiO<sub>2</sub> films for electronic, incl. photocatalytic and photovoltaic applications.

Gold nanoparticles were distributed by spray pyrolysis technique on bare glass substrates and on glass covered by titanium dioxide thin films grown by atomic layer deposition, and were embedded in titanium dioxide layers. Plasmonic absorption was detected in the visible spectral range. The particles deposited on glass and on 80 nm thick titanium dioxide film resulted in appearance of an absorption band peaking at 550 nm. The plasmonic absorption maxima shifted towards longer wavelengths after embedding the particles into a top TiO<sub>2</sub> layer.

SnS films were grown in air by chemical spray pyrolysis method using aqueous solutions containing SnCl<sub>2</sub> and SC(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> at molar ratios of 1:1 and 1:8 and a substrate temperature of 200°C. All samples were studied using X-ray diffractometry, Raman spectroscopy, energy-dispersive X-ray analysis, and ultraviolet-visible spectroscopy.

- [loetelu uurimisrühma liikmete aruandeaastal juhitud olulisematest projektidest/lepingutest;](#)
- [uurimisrühma liikmete koostöö teiste T&A asutuste ja ettevõtetega \(sh välisriikidest\);](#)
  1. Department of Physics and Electrical Engineering, Northumbria University, Newcastle upon Tyne NE1 8ST, UK
  2. Department of Physics, SUPA, University of Strathclyde, Glasgow G4 0NG, UK
  3. Ural Federal University, Ekaterinburg 620002, Russia
  4. Institute of Solid State Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg 620990, Russia
  5. Scientific-Practical Material Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus, P.Brovki 19, Minsk 220072, Belarus
  6. Catalonia Institute for Energy Research, Jardins de les Dones de Negro 1, Sant Adria de Besos, Spain
  7. Institute of Physics, University of Tartu, W. Ostwaldi 1, 50411 Tartu, Estonia
  8. Department of Applied Physics, Aalto University, P.O. Box 11100, 00076 Aalto, Finland
  9. Department of Mechanical Engineering, Villanova University, 800 Lancaster Avenue, Villanova, Pennsylvania 19085, USA
  10. Department of Chemistry, Rice University, Houston, Texas 77005, USA
- [uurimisrühma liikmete kuni 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit \(ETISE klassifikaator 1.1, erandjuhul 3.1\);](#)
  - J. Márquez-Prieto, M.V. Yakushev, I. Forbes, J. Krustok, P.R. Edwards, V.D. Zhivulko, O.M. Borodavchenko, A.V. Mudryi, M. Dimitrievska, V. Izquierdo-Roca, N.M. Pearsall, and R.W. Martin. Impact of the selenisation temperature on the structural and optical properties of CZTSe absorbers. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, **152** (2016) 42-50.
  - J. Krustok, T. Raadik, R. Jaaniso, V. Kiisk, I. Sildos, M. Marandi, H.-P. Komsa, B. Li, X. Zhang, Y. Gong, and P. M. Ajayan. Optical study of local strain related disordering in CVD-grown MoSe<sub>2</sub> monolayers. **Appl. Phys. Lett.** **109**, 253106 (2016).
  - Tamm, A., Acik, I.O., Arroval, T., Kasikov, A., Seemen, H., Marandi, M., Krunks, M., Mere, A., Kukli, K., Aarik, J. Plasmon resonance effect caused by gold nanoparticles formed on titanium oxide films (2016) **Thin Solid Films**, 616, pp. 449-455.

#### 4. uurimisrühm

##### uurimisrühma nimetus;

Teoreetilise füüsika uurimisrühm.

##### uurimisrühma nimetus inglise keeles;

Research group of theoretical physics

##### uurimisrühma juhi nimi, ametikoht;

Jaan Kalda, professor, füüsika osakonna juhataja, Küberneetika instituut (Füüsika osakond)

##### uurimisrühma liikmed

Mihhail Klopov, dotsent, Küberneetika instituut (Füüsika osakond)

Tanel Mullari, dotsent, Küberneetika instituut (Füüsika osakond)

Vladislav-Veniamin Pustõnski, dotsent, Küberneetika instituut (Füüsika osakond)

Pavel Suurvarik, dotsent, Küberneetika instituut (Füüsika osakond)

Rein-Karl Loide, teadur, emeriitprofessor

Siim Ainsaar, insener, Küberneetika instituut (Füüsika osakond), doktorant

Mihkel Heidelberg, Küberneetika instituut (Füüsika osakond), doktorant

Stephanie Rendon, Küberneetika instituut (Füüsika osakond), doktorant

##### uurimisrühma teadustöö ülevaade

*Fotogalvaanilised materjalid.* Päikesepatarei kui ökoloogiline ja taastuvenergia allikas on muutunud eriti oluliseks viimastel aastatel. Seosega sellega tuleb esiplaanile odavate ja efektiivsete fotogalvaaniliste materjalide omaduste uurimine ja nende valmistamine. Antud teadusteema raames arutati uute fotogalvaaniliste materjalide (hübriid-perovskiiit ja CZTS) põhilised füüsikalised parameetrid arvutil modelleerimise teel (kvant-keemilise ja tihedus-funktsionaali teooria põhineb arvutuslikel meetoditel).

*Lokaliseeritud võnkumised tahkises.* Eesmärgiks on lahendada aktuaalseid ILM-i (Intrinsic Localized Modes) ja LLM-i (Linear Localized Modes) polarisatsiooniga seotud probleeme ning ILM-i ja LLM-i tekitamise tingimusi erinevates kolmemõõtmelistes kristallides reaalsete vastastikmõju potentsiaalidega, võrdlemaks teooriat eksperimendiga.

*Dünaamiliste süsteemide vektoralgebra.* Üldistati homogeensele ajaskaalale pideva aja dünaamikas kasutatav vektorvälja Lie tuletise mõiste süsteemidünaamika suhtes. Väljatöötatud matemaatilise aparaadi abil tuletati ajaskaalaga süsteemi ligipäasetavuse tingimused vektorväljade keeles.

*Kuupinna fotogrammeetria.* Apollo 12 kuuekspeditsiooni maandumiskoha kaardistamine meeskonna poolt tehtud piltide alusel: 3D stseeni konstrueerimine fotode järgi. Määrati suure täpsusega astronautide poolt kuupinnale jäetud ALSEP instrumentide, kuumooduli ja Surveyor III automaatse sondi positsioonid, suurte kivide ja kraatrite asukohad, Surveyor kraatri geomeetrilised parameetrid.

*Osalus Ülikooli nanosatelliidi (CubeSat) projektis.* Orbitaaltegevuste modelleerimine ja planeerimine. On valminud satelliidi päikeseenergia bilansi esialgne mudel, on alustatud tööd kommunikatsiooniakende ennustamiseks (akna algus ja lõpp, satelliidi trajektoor ja kaugus maajaama suhtes).

*Superspinniga relativistlikud lainevõrrandid.* Uuriti massiga superspinnide võrrandeid, mis võivad olla olulised tänapäeva massiga gravitatsiooni teooriates.

*SO(1,4) Superalgebrad.* Uuriti SO(1,4) superalgebrate olemasolu ja näidati, et eksisteerib vähemalt üks selline algebra.

*Turbulentne segunemine.* Täiendasime materiaalsete elementide venitusstatistikat kirjeldavat Fokker-Planck'i võrrandit täiendava liikmega, mis kirjeldab reaalsete (ajas korreleeritud) kiirusväljade ja ideaalsete, ajas delta-korreleeritud kiirusväljade erinevust ning sidusime võrrandi parameetrid statistiliste Lagrange'i dünaamika invariantidega; kontrollisime võrrandit numbriliselt. Koostöös lainedünaamika laboriga koostasime uudse mudeli kirjeldamiseks merepinnal edasikanduvate osakeste klasteriseerumist võttes arvesse veevoolu ja tuule koosmõju.

*Majandusfüüsika.* Uurisime Eesti majandussidemete võrgustiku mastaabivabu omadusi tuginedes Swedbanki rahaülekannete andmetebaasile. Näitasime, et selles võrgustikus võib tähele panna sõlmpunktide (ettevõtete) grupeerumist alamklastritesse, nn klikidesse, millel on märkimisväärne seos

tööstusvaldkondadega. Samuti näitasime, Eesti majandussidemete võrgustikul on multifraktaalsed omadused.

### **Overview of the studies of the research group**

*Photovoltaic materials.* The sunlight presents a global and practically inexhaustible source of ecological and renewable energy. Therefore the wide use of solid-state solar elements as a sunlight-to-electricity conversion unit may effectively enhance the total energetic power generation. We have been studying the basic physical properties (stability, electronic and optical properties) of such novel photovoltaic materials (hybrid-perovskite and CZTS) by using quantum chemical and density functional theory based computational methods.

*Localized oscillations in solids.* Our efforts have been focused on solving the key issues regarding the ILM-s (Intrinsic Localized Modes) and LLM-s (Intrinsic Localized Modes) polarization and conditions of excitation of ILM-, as well as and LLM-s in different 3-D crystals with long-range interactions. The research results have been compared with experimental data.

*Algebraic formalism of dynamical systems.* The aim of our research was to create an algebraic formalism for researching the properties of homogeneous time scale dynamical systems (accessibility, linearizability etc.), based on the vector fields. For this purpose the concept of Lie derivative of vector fields with respect to the dynamics of the continuous-time systems is generalized to the homogenous time scale case. With the help of developed apparatus, the accessibility conditions of a time scale system are formulated in terms of vector fields.

*Lunar surface photogrammetry.* Our target has been mapping the Apollo 12 lunar expedition landing site with the use of photographs made in situ by the crew. A 3D scene based on 299 individual photos was completed. Locations and attitudes of artefacts on the lunar surface (Lunar Module, ALSEP instrument package, earlier landed Surveyor 3 automatic probe) was determined together with positions and sizes of natural landscape features.

*Participation in the program of the University nanosatellite (CubeSat).* Our task has been orbital modeling and planning. A preliminary model of solar energy balance was completed, works on communication window predictions were initiated.

*Wave equations for superspins.* The studies of relativistic wave equations for arbitrary superspins were continued. The studies treated massive superspin equations, which could be important in current massive gravity theories.

*SO(1,4) Superalgebras.* We investigated the existence of SO(1,4) superalgebras, and showed that at least one such algebra exists.

*Turbulent mixing.* We complemented the Fokker-Planck equation describing the Lagrangean statistics of material elements with a term describing the effect of finite time correlations of real turbulent flows, and related the parameter values to the statistical integral of motion of Lagrangean dynamics; the equation has been tested numerically. In collaboration with the Laboratory of Wave Dynamics, a novel model has been constructed to describe the formation of patchiness in marine environment as a result of coupling between the water flow and wind drag.

*Econophysics.* The scale-free properties of the Estonian economical network have been studied based on the database of wire transfers of Swedbank. It has been shown that there is a clustering of vertices (companies) into sub-groups, so called cliques or communities, which appear to have a considerable correlation with the industry attributes. Also, we demonstrated that the Estonian economical network is multifractal.

### **uurimisgrupi T&A ühiskondlik mõjukus (seostatus aktuaalsete majanduse, keskkonna, ühiskondlike probleemide lahendamisega).**

Fotogalvaaniliste materjalide uurimine panustab nutikasse spetsialiseerumisse aidates välja töötada efektiivsemaid päikesepaneelid. Eesti majandussidemete topoloogia tundmaõppimisel on samuti väljund nutikasse spetsialiseerumisse, majandussidemete mudeli baasil on võimalik välja töötada IT lahendusi majandusarengu stabiilsuse tagamiseks. Turbulentse segunemise uurimine on oluline keskkonnakaitse seisukohast ja uurimistulemused aitavad ennetada merepinnal leviva reostuse tekitatavat kahju.

### Socio-economical impact of the research.

The studies of photovoltaic materials contribute to smart specialization by developing new and more efficient solar panels. The topological model of Estonian has also an output to smart specialization: it makes possible to develop IT solutions for making the growth of the Estonian economy more stable. The studies of turbulent mixing are important from the point of view of pollution propagation, our results make it possible to develop schemes for prevention minimization of environmental damage.

### aruandeaastal saadud kõige olulisemad märkimist vääriavad teadustulemused

- Hübriidarvutust kasutades arvutati CZTS-*Se* kristalli keeluriba laius sõltuvuses segunemisparameetrist.
- Arvutati välja rist-ILM-i omadused siksakilise aatomite ahela ja Ge kristalli jaoks reaalse interaktsioonipotentsiaali puhul.
- Kasutades vektorväljade Lie tuletise mõistet tuletati ajaskaalaga süsteemi ligipäasetavuse tingimused vektorväljade keeles
- Tuletati uudne Fokker-Planck'i võrrand kirjeldamaks Lagrange'i statistikat reaalses turbulentses kiirusväljades
- Näidati, et Eesti majandussidemete võrgustik on multifraktaalne
- Fotoseeria põhjal koostati Apollo 12 kuuekspeditsiooni maandumiskoha 3D mudel.
- Tuletati uus superalgebra, milles Poincare algebra asemel on de'Sitteri  $SO(1,4)$  algebra,

### The most notable research results obtained during 2016.

- Investigated the dependence of the band gap (CZTS-*Se* crystal ) from the mixing parameter in the hybrid calculations.
- Studied the properties of the transversal ILM moving along the zigzag chain of atoms and Ge crystal with real interaction potential.
- Using the concept of Lie der

### Koostööpartnerid:

1. Tartu Ülikool, Füüsika Instituut, tahkisefüüsika labor (Vladimir Hižnjakov)
2. Tartu Ülikool, Füüsika Instituut, väljateooria labor (Aleksandr Pishtshev, Teet Örd)
3. Tartu Ülikool, Füüsika Instituut, füüsikalise optika labor (Peeter Saari, Heli Lukner)
4. Tartu Ülikool, Füüsika Instituut, plasmafüüsika labor (Matti Laan)
5. Institute for Energy Technology (Kjeller, Norway), Solar Energy Department (Dr. Karazhanov Smagul)
6. Bialystok University of Technology, Poland (Zbigniew Bartosiewicz, Malgorzata Wyrwas and Ewa Pawluszevicz)
7. IRPHE, University of Marseille, France (Emmanuel Villermaux)

### Collaboration partners

- 1, Laboratory of Solid State Theory, Institute of Physics, University of Tartu, Estonia (Vladimir Hižnjakov).
2. Laboratory of Field Physics, Institute of Physics, University of Tartu, Estonia (Aleksandr Pishtshev, Teet Örd)
3. Laboratory of Physical Optics, Institute of Physics, University of Tartu, Estonia (Peeter Saari, Heli Lukner)
4. Laboratory Plasma Physics, Institute of Physics, University of Tartu, Estonia (Matti Laan)
5. Institute for Energy Technology (Kjeller, Norway), Solar Energy Department (Dr. Karazhanov Smagul)
6. Bialystok University of Technology, Poland (Zbigniew Bartosiewicz, Malgorzata Wyrwas and Ewa Pawluszevicz)
7. IRPHE, University of Marseille, France (Emmanuel Villermaux)

### uurimisrühma liikmete kuni 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit

1. Hizhnyakov, V.; Klopov, M.; Shelkan, A. (2016). Transverse intrinsic localized modes in monatomic chain and in graphene. *Physics Letters A*, 380, 1075–1081, [10.1016/j.physleta.2016.01.011](https://doi.org/10.1016/j.physleta.2016.01.011)
2. Bartosiewicz, Z.; Kotta, Ü.; Mullari, T.; Tönso, M.; Wyrwas, M. (2016). On accessibility conditions for state space nonlinear control systems on homogeneous time scales. *Systems & Control Letters*, 98, 8--13
3. Rendón de la Torre, Stephanie; Kalda, Jaan; Kitt, Robert; Engelbrecht, Jüri (2016). On the topologic structure of economic complex networks: Empirical evidence from large scale payment network of Estonia. *Chaos, Solitons & Fractals*, 90, 18--27.

### Loetelu uurimisgrupi liikmetest, kes on välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste T&A-ga seotud välisorganisatsioonide liikmed

J. Kalda - Euroopa Teaduste ja Kunstide Akadeemia liige

### 5. uurimisrühm

nimetus eesti keeles: [Matemaatiline analüüs](#)

nimetus inglise keeles: [Mathematical analysis](#)

juhi nimi: Gert Tamberg, vanemteadur, matemaatika osakond, küberneetika instituut;

liikmed:

Olga Orlova, doktorant

#### Teadustöö kirjeldus:

Me uurime üldistatud Shannoni valimoperaatoreid, mis võimaldavad esitada funktsioone rittaarendusena, kus kordajateks on funktsiooni väärtused sõlmedes ning baasifunktsioonid saadakse teatud tuumafunktsiooni nihetena. Me defineerisime Kantorovichi-tüüpi valimread, kus me arenduse kordajateks võtame funktsiooni väärtuste asemel sõlmedes selle funktsiooni väärtuste kaalutud keskmised vastava sõlm mingis ümbruses, mida esitame Fejer-i singulaarsete integraalidega.

Me uurime valimoperaatorite rakendusi signaalitöötluses, eelkõige pildinduses, kus piltide suurendamise ja vähendamise algoritme on loomulik esitada valimridade abil. Me uurime samuti valimridade rakendusvõimalusi suure dunaamilise ulatusega piltide esitamisel. Me uurime valimoperaatorite rakendusi aegridade analüüsis ning lühiajaliste prognooside teostamisel.

Me uurime üldistatud summerimismenetlusi, mille korral jada elemendid kuuluvad Banachi ruumi ning maatriksi elemendid on lineaarsed tõkestatud operaatorid. Menetluste koonduvuskiiruse hinnangud on olulised, kui soovime neid praktiliste probleemide lahendamisel kasutada. Eriti aktuaalne on iteratsiooniprotsesside koonduvuse kiirendamine. Me tõestame jääkliikmega Tauberi teoreeme üldistatud summerimismenetluste korral.

We study the generalized Shannon sampling operators that mean the representations of functions in terms of series, where the expansion coefficients are its samples and expansion functions are translates of certain kernel function. In the case of Kantorovich-type sampling operators we take instead of point estimates some local averages as Fejer-type singular integrals.

We study applications of the generalized sampling operators in Signal Processing, especially in imaging applications, where the generalized sampling operators are a natural tool for image resampling. We also study applications in HDR imaging. We study the applications of sampling operators in time series analysis and linear prediction.

We study the generalized summability methods that mean the case if the elements of the sequence belong to the Banach space and the elements of the matrix are linear bounded operators. The estimations of the rapidity of the convergence are essential if we use the computational techniques. In particular, actual are the problems of convergence acceleration. We prove the Tauberian remainder theorems in the case of the generalized methods of summability.

#### Põhitulemused 2016:

Me uurisime piiratud ribaga tuumaga valimoperaatoreid. Me üldistasime Kantorovichi-tüüpi valimoperaatoreid, kasutades Fejeri singulaarseid integraale, mis võimaldas saavutada parema



koonduvuskiiruse siledade funktsioonide korral. Me hindasime Kantorovichi-tüüpi valimoperaatorite norme ja uurisime valimoperaatoritega lähendamise kiirusi tõkestatud variatsiooniga funktsioonide korral.

Me tõestasime jääkliikmega Tauberi teoreeme üldistatud summerimismenetluste korral ning nõrgendasime Tauberi tingimusi teatud üldistatud summerimismenetluste korral.

Ma kasutasime valimridadel põhinevaid piltide suurendamise algoritme superresolutsiooni algoritmides algjärgi leidmisel.

Me alustasime valimridade kasutusvõimaluste uurimist aegridade analüüsis ning lühiajaliste prognooside tegemisel.

We considered sampling operators, defined using an even band-limited kernel function. We studied approximation properties of generalized sampling operators in Lebesgue spaces. We generalized the Kantorovich-type sampling operators. We used Fejer-type singular integrals, which allowed us to estimate the order of approximation via a modulus of smoothness of higher order. We also estimated norms of generalized Kantorovich-type sampling operators and studied the approximation properties of generalized sampling operators in the case of functions with bounded variation.

We used image-resampling algorithms, based on sampling operators in super resolution algorithms. We started studies about possibilities to apply sampling operators in time series analysis and linear prediction.

We proved the Tauberian remainder theorems in the case of the generalized methods of summability. We weakened the Tauberian conditions in the case of the generalized methods of summability.

#### **Koostöö teiste TA asutuste ja ettevõtetelega:**

Valimridade rakenduste osas on alustatud koostööd järgmiste uurimisrühmadega: iCV Research Group, Tartu Ülikool (Dr. Gholamreza Anbarjafari), Institut Mines-Telecom, Telecom ParisTech, Paris, France (Dr. Cagri Ozcinar), Visual Analysis of People Laboratory, Aalborg University, Denmark (Thomas B. Moeslund), Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut, TTÜ (prof. Yannick Le Moullec)

#### **Publikatsioonid 2016:**

##### 1.1

Orlova, O.; Tamberg, G. (2016). On approximation properties of generalized Kantorovich-type sampling operators. *Journal of Approximation Theory*, 201 (1), 73–86, [10.1016/j.jat.2015.10.001](https://doi.org/10.1016/j.jat.2015.10.001).

##### 3.1

Rasti, Pejman; Orlova, Olga; Tamberg, Gert; Ozcinar, Cagri; Nasrollahi, Kamal; Moeslund, Thomas B.; Anbarjafari, Gholamreza (2017). Improved Interpolation Kernels for Super resolution Algorithms. *International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications, Oulu, Finland, December 2016: International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications, Oulu, Finland, December 2016*.

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). [ilmumas].

#### **2.4 Tamberg, G: member of**

American Mathematical Society,

European Mathematical Society,

Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM),

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) and IEEE SPS.

G. Tamberg on juulis 2017 Tallinnas toimuva konverentsi SampTA2017 põhikorraaldajaid.

-----

## 6. uurimisrühm

Uurimisrühm: Rühma- ja poolrühmateooria  
Group and semigroup theory

Juht: Peeter Puusemp

Liikmed: Peeter Puusemp, professor, küberneetika instituut, matemaatika osakond;

Alar Leibak, dotsent, küberneetika instituut, matemaatika osakond;

Piret Puusemp, assistent, küberneetika instituut, matemaatika osakond;

Maksim Budnitski, tehnilise füüsika magistrant, juhendaja Alar Leibak.

### Teadustöö ülevaade:

Uurimisrühm on keskendunud rühmade ja nende endomorfismipoolrühmade vaheliste seoste ning rühmateooria rakenduste uurimisele. Eesmärk on anda tuntud lõplike rühmade klasside jaoks nende kirjeldused endomorfismipoolrühmade kaudu ja uurida nende määratavust endomorfismide abil kõigi rühmade klassis. Olulisemad tulemused 2016. aastal:

- Näidati, et kõik lõplikud 32-ndat järku rühmad (neid on 51 tükki) on täielikult määratud oma endomorfismipoolrühmadega kõigi rühmade klassis.
- Lõplikke rühmi järguga 36 on 14 tükki. Näidati, et ainult kolm neist pole määratud oma endomorfismipoolrühmaga kõigi rühmade klassis. Kirjeldati kõik rühmad, mille endomorfismipoolrühm on isomorfne mingi 36-ndat järku rühma endomorfismipoolrühmaga.
- Näidati, et kolme ja enam kasutaja korral ei ole lõplikul tsükliisel rühmal põhineva Diffie-Hellmani võtmevahetuse ühisvõtmed ühtlase jaotusega.

Uuringud jagunevad

- fundamentaaluuringuteks, millel puudub otsene majanduslik rakendus,
- rakendusuuringuteks, mille tulemusi saab kasutada infoturbes.

The research is focused on

- the study of the connection between groups and their endomorphism semigroups,
- the applications of group theory.

The aim is to describe some well-known classes of finite groups by their endomorphism semigroups and to decide whether a group is determined by its endomorphism semigroup in the class of all groups or not. The main results in 2016 are:

- It was proved that all 51 finite groups of order 32 are determined by their endomorphism semigroups in the class of all groups.
- There exist exactly 14 non-isomorphic groups of order 36. It is proved that three of them are not determined by their endomorphism semigroups in the class of all groups. All groups that have an endomorphism semigroup isomorphic to the endomorphism semigroup of a group of order 36 are described.
- The distribution of the multi-party Diffie-Hellman common secret keys were studied if the platform group is an arbitrary finite cyclic group. As a result, it was proved that the secret keys are not uniformly distributed.

### Publikatsioonid:

- Puusemp, Piret; Puusemp, Peeter (2016). On endomorphisms of groups of order 32 with maximal subgroups  $C_{24}$  and  $C_{42}$ . Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 65 (1), 1–14.
- Leibak, A.; Puusemp, Peeter (2016). On endomorphisms of groups of order 36. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 65 (3), 237-254.

Koostöö:

Šauliai Ülikooli matemaatikaosakond, prof. Roma Kacinskaite

Muu:

Alar Leibak osaleb Mektory satelliidiprogrammis matemaatilise konsultandina (Maa magnetvälja mudeli arvutamine, täheatlase kasutamine satelliidi asukoha määramiseks, kvaternioonide rakendamine asendikontrollis).

## 7. uurimisrühm

**Uurimisrühm:** *Pöördülesanded ja stohhastilised meetodid*

*Inverse problems and stochastic methods*

Juht: Jaan Janno, professor

Liikmed: Lassi Päivärinta, külalisprofessor

Margus Pihlak, dotsent

Lassi Roininen, teadur, kuni 29.02.2016

Durga Challa, teadur, kuni 29.02.2016

Janne Tamminen, teadur, kuni 29.02.2016

Kairi Kasemets, assistent

Natalia Kinash, nooremteadur (doktorant)

Kolm järel doktorit olid matemaatikainstituudis,

Teiste töökoht on nüüd Küberneetika instituut, matemaatika osakond

### Teadustöö ülevaade:

Lühikirjeldus: teaduses ja tehnoloogias esinevate pöördülesannete analüüs; stohhastiliste meetodite väljatöötamine pöördülesannete jt rakenduste jaoks.

Ühiskondlik mõjukus: meditsiiniline ja tööstuslik tomograafia, materjalitehnoloogia, keskkonnatehnoloogia

Peamised tulemused 2016.a:

- Alustati üldistatud murdtuletisi sisaldavate paraboolset tüüpi diferentsiaalvõrranditele püstitatud pöördülesannete uurimist. Esmalt käsitleti juhtu, kui võrrandis sisaldub klassikalise murdtuletise nn perturbatsioon (so tuletist määrava integraali alla on lisatud negatiivse astendajaga astmefunktsiooni konvolutsioon teatava tuumaga). Tõestati tuuma ja tuletise järgu määramise pöördülesande lahendi olemasolu, ühesus ja stabiilsus. Tööd jätkati üldisema pöördülesandega, milles otsitavaks suuruseks on üldistatud murdtuletist määrava integraali all olev suvaline positiivne ja kahanev funktsioon. Vastav päripidiülesanne formuleeriti ekvivalentse, integraalse evolutsioonivõrrandi kujul. Tõestati pöördülesande lahendi ühesus ja tuletati piisavad tingimused lahendi olemasolu ja stabiilsuse jaoks. (J. Janno, K. Kasemets, N. Kinash)
- Koos P. Piironeniga (Helsingi Ülikool) uuriti Fraktsionaalset Browni liikumist (FBM) Bayesi meetoditega. Kontsentreeruti küsimusele: millist informatsiooni on võimalik saada Hursti parameetri  $H$  kohta suvalistest FBM realisatsioonide valimistest. Statistilise pööramise abil tõestati mitmed suurte arvude seadused eesmärgiga näidata, et posterioorse jaotuse keskväärtnus koondub peale lõpliku valimi eraldamist optimaalselt  $H$  täpseks väärtuseks ja vastavaks piirjaotuseks on normaaljaotus. Koos J. Christinaga (Lausanne) tõestati, et on võimalik leida alamtõke tausta meetrika  $g$  ja muutkonna  $M$  sisalduvusmeetrika vahe jaoks. (L. Päivärinta)
- Jätkus koos Eesti Keskkonna agentuuriga. Selle koostöö raames rakendati erinevaid mitteparameetrisi meetodeid hindamaks Eesti metastuse osakaalu. Samuti konstrueeriti uusi metsakasvu mudeleid. (M. Pihlak)

Short description: analysis on inverse problems in science and technology; development of stochastic methods for inverse problems and other applications.

Social impact: medical and industrial tomography, material technology, environmental technology

Main results in 2016:

- Investigation of inverse problems for parabolic differential equations containing generalized fractional derivatives was started. Firstly the case when the equation contains a perturbation of a classical fractional derivative (e.g. integral defining the derivative is complemented by a convolution of a power function with a negative exponent by a certain kernel). Existence, uniqueness and stability of a solution of an inverse problem to determine the order of the derivative and the kernel was proved. Next a more general inverse problem was taken into consideration. There the unknown is an arbitrary positive and decreasing function under an integral defining the generalized fractional derivative. A corresponding inverse problem was formulated in an equivalent form of an evolutionary integral equation. The uniqueness of the solution was proved and sufficient conditions for the existence and stability were established. (J. Janno, K. Kasemets, N. Kinash)
- Jointly with P. Piironen (University of Helsinki) the Fractional Brownian Motion from Bayesian methods was studied. Especially the question, what kind of information from the unknown Hurst parameter  $H$ , one can retrieve by sampling one, but arbitrary, realisation of the FBM, was in the focus. By using statistical inversion several laws of large numbers were proved in order to show that the expectation of the posterior distribution after finite sampling converges optimally to the true value of  $H$  and the limit distribution is normal. Moreover, jointly with J. Christiina (Lausanne), it was proved that it is possible to derive a lower bound for the difference of the background metric  $g$  and the inclusion metric on a manifold  $M$ . (L. Päivärinta)
- The cooperation continued with the Estonian Environment Agency. In the frame of this cooperation were applied different nonparametric methods on estimation of Estonian forestry proportion. Also different forestry growth models were composed. (M. Pihlak)

**Projektid:**

- ERC advanced grant 267700 "Inverse problems", projekti juht Lassi Päivärinta (kuni 29.02.2016)
- PUT568 „Pöördülesanded murdtuletisi sisaldavatele parabolsetele diferentsiaalvõrranditele“, projekti juht Jaan Janno
- PUT1093 „Stohhastilised meetodid pöördülesannete käsitlemisel rõhuasetusega fraktsionaalse difusiooni mudelitele“, projekti juht Lassi Päivärinta

**Koostöö:**

Rahvusvaheline koostöö: M. Sini (RICAM), K. Astala (University of Orleans), M. Lassas, P. Piironen (University of Helsinki), J. Christiina (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne)

**Tähtsamad publikatsioonid:**

- 1) Alsaedi, A.; Alzahrani, F.; Challa, D. P.; Kirane, M.; Sini, M. (2016). Extraction of the index of refraction by embedding multiple and close small inclusions. *Inverse Problems*, 32 (4, 045004), 1–18.
- 2) Janno, J. (2016). Determination of the order of fractional derivative and a kernel in an inverse problem for a generalized time fractional diffusion equation. *Electronic Journal of Differential Equations*, 2016 (199), 1–28.
- 3) Astala, K.; Lassas, M.; Päivärinta, L. (2016). The borderlines of invisibility and visibility in Calderón's inverse problem. *Analysis & PDE*, 9 (1), 43–98.

2.2 puudub

2.3 puudub

2.4

- L. Päivärinta on Soome Teaduste Akadeemia (Suomalainen tiedeakatemia) liige ning matemaatika ja arvutiteaduse sektsiooni juht (chairman of the Section of Mathematics and Computer Science of The Finnish Academy of Science and Letters).

- L. Päivärinta on Soome Pöördülesannete Seltsi (Finnish Inverse Problems Society) asutajaliige.

#### 2.5 Uurimisrühmas osalenud järeldoktorid:

- Durga Challa, matemaatikainstituut, teadur, 30.03.2015 – 29.02.2016, Austria, RICAM, ERC advanced grant nr GA267700,
- Janne Tamminen, matemaatikainstituut, teadur, 1.03.2015 – 29.02.2016, Soome, Helsingi Ülikool, ERC advanced grant nr GA267700,
- Lassi Roininen, matemaatikainstituut, teadur, 1.06.2015 – 29.02.2016, Soome, Oulu Ülikool, ERC advanced grant nr GA267700,

#### **8. uurimisrühm**

Nimetus eesti keeles: [Komposiitide reoloogia](#)

nimetus inglise keeles: [Rheology of composites](#)

Juhi nimi, ametikoht ja allüksus: **Heiko Herrmann**, vanemteadur, Küberneetika instituut, tahkistemehaanika labor

People involved:

Oksana Goidyk, nooremteadur, Küberneetika instituut, tahkistemehaanika labor, doktorant (PhD student since 9/2016)

Andres Braunbrück, insener, Küberneetika instituut, tahkistemehaanika labor

Maria Kreamsreiter (Erasmus+ intern, MSc student visiting from TU Chemnitz, Germany, 19.9.-23.12.2016)

- [teadustöö lühikirjeldus \(eesti ja inglise keeles\)](#),
- Peamine rakendusvaldkond on teraskiud-betoon, mis ehitusmaterjalina on leidmas aina laialdasemat kasutust. Kiudbetooni mehaanikalised omadused sõltuvad suuresti kiudude orientatsioonist, mis omakorda on mõjutatud tootmisprotsessist. Täpsemalt määratleb kiudude orientatsiooni betoonivalu, kuhu on teraskiud sisse segatud. Sellega seoses on arendatud stereoskoopilist osaliselt-ümbritsetud 3D visualiseerimise uuringuid (virtuaalne reaalsus), mida tehakse omarajatud süsteemil „Kyb3“.
- The research topic is concerned with the mechanical properties of composites containing short fibres. The main application is steel fiber reinforced concrete, a construction material, whose use is gaining momentum in the building industry. The mechanical properties largely depend on the orientation of the short fibers, which in turn is influenced by the production process of the parts. In particular the flow of the fresh concrete mass, which is mixed with the fibers, determines the fiber orientations. Connected to this is the research on stereoscopic semi-immersive 3D visualization (virtual reality), which is conducted on the self developed „Kyb3“ system.

One of the most important factors to determine the mechanical properties of a fibre composite material is the orientation of the fibres in the matrix. Their orientation might differ in distinct parts of the structural element as dependent from the casting techniques and mould materials.

Three main results have been obtained:

- 1) For the use in load bearing structures, a constitutive mapping is necessary to calculate the design load and to predict cracking behaviour. A constitutive mapping based on the use of isotropic tensor functions of the strain tensor and the orientation tensor has been proposed. The model solves some issues of other approaches.
- 2) An algorithm to retrieve the single fibre's orientation information out of SFRC samples scanned through a  $\mu$ CT scanner has been developed. The software implemented with the algorithm includes a data filtering component to remove the noise from the datasets and prepare them correctly for the analysis.
- 3) Numerical simulations of the flow of fiber concrete show that the surface quality (slipperiness) of the formwork should have an influence on the fiber orientations. The experimental setup for the casting experiments with polymers (Carbopol, Stabilize) as replacement matrix is set up and experiments are being performed.

Projektid

Heiko Herrmann, PUT1146 "Kiudbetoon-komposiidi reoloogia ja selle mõju pragude käitumisele (1.01.2016–31.12.2019)",

PUT1146 "Rheology of short fibre reinforced cementitious composites and influence on fracture behaviour (1.01.2016–31.12.2019)", Heiko Herrmann, Tallinn University of Technology, Institute of Cybernetics at TUT, Tallinn University of Technology, School of Science, Department of Cybernetics.

Cooperation with:

- Inseneriteaduskond, Ehituse ja arhitektuuri instituut, Ehitusprotsessi uurimisrühm / School of Engineering, Department of Civil Engineering and Architecture, Building Lifecycle Research Group
- Physics Department at TU Chemnitz

most important papers (selection):

- Heiko Herrmann. Generalized Continua as Models for Classical and Advanced Materials, chapter An Improved Constitutive Model for Short Fibre Reinforced Cementitious Composites (SFRC) Based on the Orientation Tensor, pages 213-227. Springer International Publishing, Cham, 2016.
- Heiko Herrmann, Emiliano Pastorelli, Aki Kallonen, and Jussi-Petteri Suuronen. Methods for fibre orientation analysis of x-ray tomography images of steel fibre reinforced concrete (sfrc). Journal of Materials Science, 51(8):3772-3783, April 2016.

**9. uurimisrühm**

- nimetus eesti keeles: [Fotoelastsuse uurimisrühm](#)
- nimetus inglise keeles: [Photoelasticity](#)

Juht: Johan Anton, vanemteadur, Küberneetika instituut, Tahkismetehaanika labor

Liikmed:

Pearu Peterson, vanemteadur

Hillar Aben, konsultant

[Teadustöö ülevaade:](#)

Lühikirjeldus eesti keeles:

Fotoelastsuse laboratooriumis on rohkem kui 50 aasta jooksul välja töötatud teooria, meetodika ja mõõtmistehnoloogia jääkpingete määramiseks keeruka kujuga klaastoodetes. See tehnoloogia, fotoelastsustomograafia, on realiseeritud automaatpolariskoobis AP, mis on varustatud intelligentsete algoritmidega jääkpingete mõõtmiseks joogiklaasides, pudelites, elektrilampides, optiliste kiudude toorikutes, meditsiinilistes ampullides jne. Jääkpingete mõõtmiseks arhitektuurilistes klaasides ja autoklaasides on välja töötatud hajunud valguse meetodil baseeruv polariskoop SCALP. Laboratooriumi baasil loodud OÜ Glasstress vahendusel kasutavad loodud mõõtmistehnoloogiat kümned klaasitehased üle kogu maailma. Tänapäevaks on klaasi pingete mõõtmise polariskoobe müüdnud rohkem kui sada eksemplari.

[Lühikirjeldus inglise keeles:](#)

In more than 50 years the Laboratory of Photoelasticity has developed theory, methods and measurement technology for determining residual stresses in glass articles of complicated shapes. This technology, photoelastic tomography, is implemented in the automated polariscope AP, accompanied with intelligent algorithms for measuring residual stresses in drinking glasses, bottles, electric lamps, optical fibre preforms, cathode-ray tubes, etc. To measure residual stresses in architectural glass panels and automotive glazing a polariscope SCALP, based on the scattered light method, has been developed. This measurement methodology is used in many glass factories all over the world provided by the company created on the basis of the laboratory, [GlasStress Ltd.](#) By now over a hundred polariscopes measuring residual stresses in glass have been sold.

### *Olulisemad teadustulemused eesti keeles:*

Aruandeaasta märkimist väärivad teadustulemused on pingete analüüs prints Ruperti tilkades ja uue meetodi väljatöötamine pingete määramiseks keemiliselt tugevdatud klaasis.

Prints Ruperti tilgad (PRT) leiutati 17-nda sajandi alguses. PRT on tehtud kõrge termilise paisuvuse koefitsendiga silikaatklaasist ja sellel on konnakullesse kuju. Tüüpilise PRT pea diameeter on vahemikus 5-15 mm ja saba diameeter on vahemikus 0.5-3.0 mm. PRT on eriline oma tugevuse karakteristikutega: PRT pea talub väikese haamri lööki või siis suurt survet ca 15 kN, kuid selle saba võib murda sõrmede vahel, mille tagajärjeks on PRT katastroofiline lagunemine. Meie uurimus näitab, et PRT kõrge tugevus on tingitud suurest pinna survepingest vahemikus 400-700 MPa, mis on määratud integraalse fotoelastusmeetodiga. Pinna survepinged suruvad alla Hertzi pragunemise koonuse, mis tekib väikse haamri löögist või survestamisest pressiga. Kui survejõud PRT-le on väga suur, siis PRT-s tekib plastsus, mis lõpuks viib tilga lagunemisele suureneva koormuse korral.

On väljatöötatud uus mittepurustav murdumisnäitaja gradiendiga hajuva valguse meetod mikronimastaabis pingeprofiilide mõõtmiseks keemiliselt tugevdatud klaasis. Esimest korda on mõõdetud mittepurustavalt keemiliselt karastatud klaasi pinnakihi (<100 µm) pingeid. Selleks suunatakse peenike laserikiir klaasi pinnakihti märkimisväärselt suure nurga all 81.9°. Murdumisnäitaja gradiendiga hajuva valguse meetod põhineb hariliku ja ebahariliku kiire optilise käiguvahe jaotuse arvutamisel keemiliselt karastatud klaasis. Eksperimendis salvestatakse hajunud valguse intensiivsus, mille põhjal arvutatakse optilise käiguvahe jaotus. Eksperimendi protseduur on täis automaatne ja mõõtmiseaeg on vähem kui 10 s.

### *Olulisemad teadustulemused inglise keeles*

Most remarkable results obtained during the reporting year are the stress analysis in Prints Rupert drops and the development of a new method for measuring stress in chemically strengthened glass.

Prince Rupert's drops (PRDs), also known as Batavian tears, have been in existence since the early 17th century. They are made of a silicate glass of a high thermal expansion coefficient and have the shape of a tadpole. Typically, the diameter of the head of a PRD is in the range of 5-15 mm and that of the tail is 0.5 to 3.0 mm. PRDs have exceptional strength properties: the head of a PRD can withstand impact with a small hammer, or compression between tungsten carbide platens to high loads of ~15 000 N, but the tail can be broken with just finger pressure leading to catastrophic disintegration of the PRD. We show here that the high strength of a PRD comes from large surface compressive stresses in the range of 400-700 MPa, determined using techniques of integrated photoelasticity. The surface compressive stresses can suppress Hertzian cone cracking during impact with a small hammer or compression between platens. Finally, it is argued that when the compressive force on a PRD is very high, plasticity in the PRD occurs, which leads to its eventual destruction with increasing load.

A new non-destructive gradient scattered light method is presented for micron-scale stress profile measurement in chemically strengthened (chemically tempered, ion exchanged) glass. Direct non-destructive stress measurement in the surface layer (<100 µm) of chemically strengthened glass is reported for the first time. This is accomplished by passing a narrow laser beam through the surface layer of the glass at a considerably large incidence angle of 81.9°. The theory of gradient scattered light method is based on the ray tracing of ordinary and extraordinary rays in chemically strengthened glass and calculating the optical retardation distribution along the curved ray path. The experimental approach relies on recording the scattered light intensity and calculating the optical retardation distribution from it. The experimental procedure is developed to the level of full automation and the measurement time is less than 10 s.

- *uurimisrühma liikmete koostöö teiste T&A asutuste ja ettevõtetega (sh välisriikidest);*

Fotoelastuse laboratooriumi koostöö partnerid:

1. Prof. C. R. Kurkjian, South Maine Ülikool, USA
2. Prof. S. Chandrasekar, Purdue Ülikool, USA
3. Prof. S. Yoshida, Shiga Prefecture Ülikool, Jaapan
4. Nippon Electric Glass Ltd, Jaapan
5. Prof. D. Lochegnies, Valenciennes Ülikool, Prantsusmaa
6. Siim Hödemann, Füüsika instituut, Tartu Ülikool, Eesti
7. GlasStress OÜ, Tallinn, Eesti

- *uurimisrühma liikmete kuni 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit (ETISE klassifikaator 1.1, erandjuhul 3.1);*

1. **Aben, H.; Anton, J.;** Õis, M.; Viswanathan, K.; Chandrasekar, S.; Chaudhri, M.M. (2016). On the extraordinary strength of Prince Rupert's drops. Applied Physics Letters, 109, 231903-1–231903-4.
2. Hödemann, Siim; Valdmann, Andreas; **Anton, Johan;** Murata, Takashi (2016). Gradient scattered light method for non-destructive stress profile determination in chemically strengthened glass. Journal of Materials Science, 51 (12), 5962–5978.

*Loetelu uurimisgrupi liikmetest, kes on välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste T&A-ga seotud välisorganisatsioonide liikmed (töötaja nimi, allüksus ning välisakadeemia või muu olulise T&A-ga seotud välisorganisatsiooni nimetus).*

1. **H. Aben**, Euroopa Teaduse ja Kunstide Akadeemia (peakorter Salzburgis), liige.
2. **H. Aben**, Euroopa Teaduste Akadeemia (peakorter Brüsselis), liige.
3. **H. Aben**, Soome Tehnikateaduste Akadeemia, liige.
4. **H. Aben**, Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik, liige.
5. **H. Aben**, European Mechanics Society, liige.
6. **H. Aben**, Society for Experimental Mechanics (USA), liige.
7. **H. Aben**, Deutsche Glastechnische Gesellschaft, liige.

Lisaks

Hillar Abeni ja Johan Antoni eestvedamisel viidi läbi 16. rahvusvaheline klaasi pingete suvekool, Nordic Hotel Forum, Tallinn, 25.-26. mai, 2016.

-----

## 10. uurimisrühm

- [uurimisrühma nimetus;](#)

Mittelineaarne lainelevi

- [uurimisrühma nimetus inglise keeles;](#)

Nolinear Wave Dynamics

[uurimisrühma juhi nimi, ametikoht;](#)

Andrus Salupere, professor, küberneetika instituut, tahkistemehaanika labor

- [uurimisrühma liikmed \(nimi, ametikoht ja allüksus; täpsustatakse, kui on doktorant, magistrant\);](#)

Arkadi Berezovski, vanemteadur,

Tanel Peets, teadur

Kert Tamm, teadur

Dmitri Kartofelev, teadur

Jüri Engelbrecht, konsultant

Martin Lints, nooremteadur, doktorant,

PhD student

Mart Ratas, nooremteadur, doktorant,

PhD student



- uurimisrühma teadustöö ülevaade (kokku kuni 1,5 lehekülge eesti ja inglise keeles), sh:
  - teadustöö lühikirjeldus (tuua välja, millistele sisulistele uurimisvaldkondadele/-temaatikale on uurimisrühma T&A keskendunud)

Mittelineaarse lainelevi uurimisrühm on keskendunud järgmistele uurimisprobleemidele.

1. Lainelevi analüüs mikrostruktuuriga tahkistes. Analüüsitakse dispersiivsete ja mittelineaarsete efektide mõju lainete evolutsioonile hierarhilise mikrostruktuuriga tahkistes.
2. Solitonide ja üksiklainete analüüs. Uuritakse solitonide formeerumise protsesse keerulise dispersiooniolukorraga materjalides. Rakendatakse nii Boussinesq-tüüpi (kahe laine) kui KdV-tüüpi (ühe laine) mudeleid, mis kirjeldavad deformatsioonilaineid mikrostruktuuriga tahkistes ja mehaaniliste lainete levi biomembraanides.
3. Pideva keskkonna mehaanika ja sisemuutujate teooria raames on uurimistöö keskendunud materjalide sisemist struktuuri kirjeldamisele väljade abil. Vastavad matemaatilised mudelid võtavad arvesse mittelineaarseid, dispersiivseid ning temperatuuri efekte ja lisaks on võimalik kirjeldada ka mitme erineva skaalaga mikrostruktuuride koosmõju mehaaniliste lainete levile.
4. Materjalide mittepurustav testimine. Töötatakse välja meetodeid mittehomoogeensete materjalide (k.a. lamineeritud materjalid) mehaaniliste omaduste määramiseks ja defektide tuvastamiseks.

#### Inglise keeles

1. Analysis of waves in microstructured solids. The large-scale analysis of dispersive and nonlinear effects are studied to reveal mechanisms of wave profile distortions, including waves in hierarchical microstructured solids.
2. Solitons and solitary waves. The mechanisms of emergence of soliton ensembles and solitonic structures are examined for cases with complicated dispersion. The emergence of solitons is analyzed making use of Boussinesq-type (two-wave) models and KdV-type (one-wave) models which describe waves in microstructured solids and mechanical waves in biomembranes.
3. Theory of continua and internal variables. The description of the internal structure of materials is considered using internal fields. The corresponding mathematical models of wave motion in microstructured solids take consistently into account nonlinear, dispersive and temperature effects and possible multiscale of a microstructure.
4. Nondestructive testing of materials. Nonhomogeneous materials (including laminated materials) are under consideration. Methods for determination of mechanical properties of materials and for detection of defects in laminated objects are worked out.

- uurimisgrupi T&A ühiskondlik mõjukus (seostatus aktuaalsete majanduse, keskkonna, ühiskondlike probleemide lahendamisega)
- aruandeaastal saadud kõige olulisemad märkimist vääriivad teadustulemused

Materjalide mittepurustava testimise jaoks on välja töötatud uus originaalne signaalitöötlusmeetod (inglise keeles: delayed Time Reversal Nonlinear Elastic Wave Spectroscopy). Seda meetodit saab kasutada signaali võimendamiseks testitava materjali mõnes piirkonnas, sest ta võimaldab optimeerida ja muuta kuju fokuseeritud lainel, kas siis tehes fokuseerimist teravamaks vähendades külghõlmu või muutes teda laiemaks. Samuti on võimalik kasutada fokuseeritud signaale kui baasi, mille abil konstrueerida meelevaldse mähkijaga signaale või vähendada fokuseeritud signaali külghõlmu. Meetodi valiidsust on kinnitanud nii simulatsioonid kui füüsikalised eksperimendid.

Uuriti elastsete lainete peegeldumist ja ülekannet kahe erineva mikromorfse keskkonna eralduspiiril. Mikrostruktuuri mõju keskkonna makro-liikumisele on selgitatud kasutades duaalsete sisemuutujate teooriat. On näidatud, et peegeldumis ja ülekande koefitsendid sõltuvad makro- ja mikroliikumise sidustusest ja mikrostruktuurisest interaktsioonist keskkondade eralduspiiril.

Et kirjeldada soojusjuhtivust mikrostruktuurses tahkises on rakendatud duaalsete sisemuutujate teooriat. Mikrot temperatuuri on siin vaadeldud kui makrot temperatuuri fluktuatsiooni. On leitud, et makrotasemel kirjeldab soojusjuhtivust paraboolne võrrand, mis on sidustuses hüperboolse võrrandiga

mikrotemperatuuri jaoks. Numbriliste simulatsioonide abil on näidatud termoelastsete lainete formeerumist ja levi termiliselt mõjutatud tahkistes.

On tuletatud sidustatud mudel, aksonis liikuva närviimpulsiga kaasneva mehaanilise laine levi kirjeldamiseks. Mudel seob elektriliste signaalide levi kirjeldava FitzHugh-Nagumo võrrandi ja mehaaniliste lainete levi kirjeldava Boussinesqi-tüüpi võrrandi. Esimesed numbrilised simulatsioonid näitavad, et meelavaldse kujuga sisendist võivad formeeruda solitoni sarnased lained.

Reflection and transmission of elastic waves at the interface between two distinct micromorphic media are considered in the one-dimensional setting. A dual internal variable approach is used for the description of the influence of the microstructure on the global motion. It is shown that reflection and transition coefficients for plane waves depend on the coupling between macro- and micro-motions as well as on the choice of the microstructural interaction at the interface.

Description of heat conduction in microstructured solids is presented in the framework of the dual internal variables. The microtemperature is considered as a macrotemperature fluctuation. The macroscale heat conduction is described by a parabolic equation which is coupled with the hyperbolic equation for the microtemperature. Numerical simulations demonstrate the formation and propagation of thermoelastic waves in microstructured solids under thermal loading.

A coupled model is derived for describing the propagation of mechanical wave that accompanies the (electrical) nerve pulse during its propagation along the nerve axon. The model results in system of equations that combine the FitzHugh-Nagumo equations for electrical signals and a Boussinesq-type equation for description of propagation of mechanical waves. First numerical experiments demonstrate soliton-like waves can be formed from arbitrary inputs.

An original signal processing method called delayed Time Reversal-Nonlinear Elastic Wave Spectroscopy is worked out. The method could be used to amplify signal in certain regions of the material under Non Destructive Testing. It allows to optimize and change the shape of the received focused wave in the material, either by making the focusing sharper by decreasing the side lobes or making it wider by modifying the actual focusing peak. It is also possible to use the focused signal as a delta-basis to construct a signal with arbitrary envelope or reduce the side lobes of the focused signal. These concepts are shown to work well in the simulations and the physical experiments.

- [loetelu uurimisrühma liikmete aruandeaastal juhitud olulisematest projektidest/lepingutest;](#)

A. Berezovski, PUT434, "Wave energy redistribution in solids with microstructure"

(Laineenergia ümberjagamine mikrostruktuuriga tahkistes), 2014–2017.

A. Salupere, IUT 33-24, "Wave propagation in complex media and applications" (Lainelevi komplekssetes keskkondades ja rakendused), 2015-2020.

- [uurimisrühma liikmete koostöö teiste T&A asutuste ja ettevõtetega \(sh välisriikidest\);](#)

Institute of Thermodynamics, Academy of Sciences of the Czech Republic

Institute of Mechanics, Otto-von-Guericke University, Magdeburg, Germany

International Research Center for Mathematics & Mechanics of Complex Systems, Cisterna di Latina, Italy

Wigner Research Centre for Physics, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary

Embry-Riddle Aeronautical University, Daytona Beach, Florida, USA

- uurimisrühma liikmete kuni 3 olulisemat aruandeaastal ilmunud artiklit (ETISE klassifikaator 1.1, erandjuhul 3.1);

1. Berezovski, A., Giorgio, I., & Della Corte, A. Interfaces in micromorphic materials: Wave transmission and reflection with numerical simulations. *Mathematics and Mechanics of Solids* (2016) 21(1): 37-51. <http://dx.doi.org/10.1177/1081286515572244>
2. M. Lints, S. Dos Santos, A. Salupere, Solitary waves for Non-Destructive Testing applications: Delayed nonlinear time reversal signal processing optimization, *Wave Motion*, Available online 14 July 2016, ISSN 0165-2125, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wavemoti.2016.07.001>.
3. Tanel Peets, Kert Tamm, Jüri Engelbrecht, On the role of nonlinearities in the Boussinesq-type wave equations, *Wave Motion*, Available online 20 April 2016, ISSN 0165-2125, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wavemoti.2016.04.003>.

- uurimisrühma liikmete (kaas)autorsuses ilmunud monograafiad (ETISE klassifikaator 2.1).

ei ole

2.6 Loetelu uurimisrühma töötajate olulisematest sise- ja välisriiklikest T&A-ga seotud tunnustustest (töötaja nimi, allüksus ning tunnustus).

2.7 Loetelu uurimisgrupi liikmetest, kes on riiklike T&A-ga seotud otsustuskogude liikmed (töötaja nimi, ametikoht ning otsustuskogu nimetus ja positsioon otsustuskogus).

2.8 Loetelu uurimisgrupi liikmetest, kes on välisriikide akadeemiate ja/või muude oluliste T&A-ga seotud välisorganisatsioonide liikmed (töötaja nimi, allüksus ning välisakadeemia või muu olulise T&A-ga seotud välisorganisatsiooni nimetus).

A. Berezovski, Nordic Association for Computational Mechanics, member of executive committee

A. Berezovski, J. Engelbrecht, A. Salupere,  
EUROMECH – European Mechanics Society, members

A. Salupere, IUTAM – International Union of Theoretical and Applied Mechanics, member of the General Assembly

J. Engelbrecht,

WAAS – World Academy of Arts and Science, trustee, member of the nomination committee

Euroopa Teaduste ja Kunstide Akadeemia liige

Läti Teaduste Akadeemia välisliige

Ungari Teaduste Akadeemia auliige

Göteborgi Kuningliku Teadus- ja Kunstiühingu välisliige

Budapesti Tehnikaülikooli audoktor

Academia Europaea liige

Bulgaaria Teaduste Akadeemia välisliige

2.9 Uurimisgrupis osalenud järel doktorite ning TTÜ-st järel doktorantuuri suundunud uurimisgrupi töötajate loetelu (nii ETIS-e kaudu esitatud taotluste kui muude meetmete alusel näidates ära järel doktorit nime, päritolumaa ja asutuse, järel doktorantuuri perioodi ning meetme, mille alusel järel doktorit rahastatakse).

Soovi korral esitatakse muu informatsioon aruandeaasta T&A kohta, sh saadud T&A-ga seotud tunnustused (va punktis 2.2 nimetatud), ülevaade teaduskorralduslikust tegevusest, teadlasmobiilsusest vmt.

#### Populariseerimine

1. Kartofelev D. Relationship between music and mathematics: fractal music, Theory of Knowledge Week 25, April 28, 2016 Audentes School, Tallinn.  
<https://audentes.ee/uudis/audentes-ib-s-toimub-theory-of-knowledge-tok-nadal/>
2. Kartofelev D. Muusika läbi füüsiku silmade: fraktaalne muusika (Music through the eyes of a physicist: fractal music), Kohtumissari: Looduse ja teaduse muusika, March 18, 2016, Kännukuke library, Tallinn.
3. Kartofelev D. Muusika läbi matemaatiku silmade: fraktaalne muusika, (Music through the eyes of a mathematician: fractal music), Science week at Tallinna Saksa Gümnaasium, 11-15 April 2016, Tallinn. <http://saksa.tln.edu.ee/kokkuvote-loodus-ja-reaalainete-nadalast/>
4. J.Engelbrecht. Mittelineaarne dünaamika ja kompleksüsteemid (Nonlinear dynamics and complex systems). Eesti Teaduste Akadeemia aastaraamat 2015 XXI (48), Tallinn, 2016, 80-86.
5. J.Engelbrecht. Eesti Teaduse Tippkeskuste Nõukogu (Council of the Estonian Centres of Excellence in Research), Ibid, 40-41.
6. J.Engelbrecht. Tagasivaade 2016.aastale akadeemiku pilgu läbi (Past year 2016 by an academic). Postimees online, 31.12.2016.