

# Küberneetika instituut, 2022. aasta teadus- ja arendustegevuse tutvustus

## Struktuur 2022. a

Küberneetika instituut

Department of Cybernetics

Direktor: Jaan Janno, [jaan.janno@taltech.ee](mailto:jaan.janno@taltech.ee), +372 620 3052

Instituudis tegutsevad järgmised uurimisrühmad:

- Lainetuse dünaamika
- Süsteemibioloogia
- Teoreetiline füüsika
- Pöördülesanded ja stohhastilised meetodid
- Matemaatika rakendused telekommunikatsioonis
- Komposiitide reoloogia
- Mittelineaarne lainelevi
- Spin design

The Department conducts research within the following research groups:

- Wave Engineering
- Systems Biology
- Theoretical Physics
- Inverse Problems and Stochastic Methods
- Applications of Mathematics in Telecommunication
- Rheology of Composites
- Nonlinear Wave Dynamics
- Spin Design

## **2022. a edulood**

1. ***Täppispõllumajanduse õpetamise käivitamine Alžeerias.*** Edukalt lõpetati Euroopa Komisjoni Erasmus+ projekt „New Curricula in Precision Agriculture using GIS technologies and sensing data“ (CUPAGIS) kokku 11 partneriga (sh Taltech). Prof. Tarmo Soomere oli projekti üldkoordinaator. Projekti veebileht: <https://www.cupagis.eu/> Tutvustus Postimehes: <https://teadus.postimees.ee/7459764/berliini-restorani-menuus-ei-kajastu-aafrika-naljahada-ja-pollumajanduse-mured>. Projekt ei ole küll otseselt meie ülikooli spetsiifika, kuid näitab meie kogemuse konkurentsivõimet meie valdkonna piiride taga.

2. ***Rahvusvahelise füüsikaolümpiaadi korraldamine.*** 10.07.2022 – 17.07.2022 toimus Šveitsis rahvusvaheline füüsikaolümpiaad. Vt <https://ipho2022.com/about-ipho/academic-committee/>. Prof. Jaan Kalda oli selle olümpiaadi akadeemilise komitee juht.

## Lainetuse dünaamika uurimisrühm

Juht: Tarmo Soomere, rannikutehnika professor, 5028921; tarmo.soomere@ttu.ee

Liikmed: Maris Eelsalu, Nicole Delpeche-Ellmann, Andrea Giudici, Nadezhda Kudryavtseva, Rain Männikus, Fatemeh Najafzadeh, Kevin Ellis Parnell, Katri Pindsoo, Bert Viikmäe

Doktorandid: Mojtaba Barzekhar, Mikolaj Jankowski, Margus Rätsep, Fatemeh Najafzadeh (kaitses 02.12.2022)

Külalisdoktorandid: Kuanysh Kussembayeva, Aigerim Sakhayeva, Meruert Beisembekova, Ilona Šakurova

Võtmesõnad: lainetuse dünaamika, kliimauuringud, rannikuprotsessid, rannikutehnika, lainetuse klimatoloogia, rannikute haldamine, kaugseire

Teadustöö keskendub pinna- ja siselainete dünaamikale, lainetuse rollile rannikuprotsesside käigus ja rannikutehnika ülesannetes ning matemaatiliste meetodite rakendamisele neis valdkondades.

Võtmeprojektid: MOBTT72, EMP480, PRG1129

Peamised töösuunad:

- pinnalainete, lainekliima ja laevalainete uuringud
- ekstreemsete üksiklainete (sh solitonide), lainekliima ja veetasemete problemaatika
- lainetus rannikutehnikas (settetransport, laineaju, lainerünnak)
- veemasside ja rannasetete Lagrange'i dünaamika
- rannikute funktsioneerimise teooria, rannikupiirkonna haldamine
- merelt lähtuvate ohtude kvantifitseerimine ja minimeerimine
- rannas toimuvate muutuste, lainetuse omaduste, meretaseme jms kaugseire

2022. a anti põhjalik ülevaade inimtegevuse mõjust ja selle üksikute aspektide liitumise kumulatiivsetest ilmingutest Läänemere kontekstis. Rakendati Lagrange'i koherentsete struktuuride tehnikat süvavee kergete ja hoovustranspordi kvantifitseerimiseks Gladstone'i piirkonnas Austraalia idarannikul. Selgitati välja, kui palju võib jääkatte kadumine suurendada rannikule jõudva aastase summaarse laineenergia hulka Läänemere kirdeosas ning näidati, et kõige kiiremad lainetuse keskmiste parameetrite muutused toimuvad praegu Soome lahe laiuskraadidel. Näidati, et mistahes suunas puhuvate 15 m/s tormidega tekkivad lained tungivad jäävaba Liivi lahe puhul praktiliselt alati Ringsu sadama akvatooriumisse. Täpsustati Läänemere avaosa veetaseme kõrgusmudelit laevadelt tehtud mõõtmiste ning hüdrodünaamiliste ja geoidi mudelite abil. Töötati välja meetod lainetuse kahemõõtmelise spektri ja integreeritud parameetrite leidmiseks lennukilt tehtud lidarmõõtmiste andmestikust. Avastati spetsiifiline mehhanism, mis stabiliseerib Eesti põhjaranniku liivarandu tänu sellele, et eri suundadest puhuvad lainetega kaasneb süstemaatilisele erinev veetase. Avaldati uuesti põhjalik ülevaade solitonide interaktsioonidest. Formuleeriti Läänemere randade jätkusuutliku haldamise kaasaegsed väljakutsed ja ideed nende lahendamiseks.

URL: [wavelab.ioc.ee](http://wavelab.ioc.ee)

## Täiendav info

*AAK prioriteetsed suunad:* Keskkonnaressursside vääristamine

*Frascati valdkonnad:*

1.5 Maateadused ja nendega seotud keskkonnateadused, 2.1 Ehitusteadused

*CERC valdkonnad:*

P500 Geofüüsika, füüsikaline okeanograafia, meteoroloogia (TÄPSUSTUS: Lainetuse dünaamika ja modelleerimine)

T220 Tsiiviilehitus, Hüdrotehnoloogia, avameretehnoloogia, pinnasemehhaanika (TÄPSUSTUS: Rannikutehnika ja rannikuprotsessid)

P515 Geodeesia

*Rahvusvahelisel ja riiklikul tasemel olulised tunnustused:*

Tarmo Soomere valiti Rahvusvahelise Inseneripedagoogika Ühingu (International Society for Engineering Education IGIP) auliikmeks. Aunimetus inglise keeles: International Engineering Educator Honoris Causa „Ing.Paed.IGIP h.c.“ for outstanding contributions in the field of Engineering Education and for long time dedicated work as engineering educator by International Society for Engineering Education IGIP [HON-035]

*Osalus oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös lõppenud aastal:*

Tarmo Soomere on

- Läti Teaduste Akadeemia välisliige
- Leedu Teaduste Akadeemia välisliige
- Euroopa Merekomitee (European Marine Board) liige.
- Euroopa Teaduste Akadeemiate Teadusnõukoja (EASAC) keskkonnapaneeeli liige.
- Euroopa Liidu riikide peateadurite foorum (European Science Advisors' Forum, ESAF), liige alates 2017; esimees alates 2020
- Rahvusvahelise teadusnõukoja (International Science Council) Euroopa piirkonna eesistuja (alates novembrist 2021)

*Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevuse kohta:*

Osalemine Eesti teadustaristu teekaardi 2014 objekti „Infotehnoloogiline mobiilsusobservatoorium“ (IMO) töös, kuni 31.08.2022, Soome lahe liikumiste ja inimeste liikumiste mustrite sarnasuse ja erinevuse anaüüs

Mobilitas Plus tippteadlase projekt „Rannikuprotsessid ja rannikuvööndi haldamine muutuvates kliimatingimustes“ (Coastal processes and coastal management in a changing climate), MOBTT72, 2018–2022, mitmete praktiliste väljunditega, nt tugisüsteem otsustele rannapiirkonna haldamise valdkonnas.

Erasmus+ projekti „New Curricula in Precision Agriculture using GIS technologies and sensing data (CUPAGIS)“ (10 partnerit Saksamaalt, Tšehhist, Bulgaariast ja Alžeerias, 2018–2022) koordineerimine, sisu: täppispõllumajanduse õpetamise toetamine Alžeerias.

Osalemine Austraalia teadusagentuuri (Australian Research Council, ARC) grantis (Discovery Project) „Understanding pollutant transport in estuaries and coastal rivers“ (DP190103379, 2019–2022), mitmete rakendustega merereostuse tõkestamiseks.

Osalemine Hamburgi tehnikaülikooli (Hamburg University of Technology) projektis BRACER (Baltic ReseArch CoopEration pRoject – COASTal Protection, 2020–2022) koos Szczecini ülikooliga (Tallinna töörühma vastutav täitja Rain Männikus), suunatud ranna erosiooni haldamisele.

Osalemine tehnikaülikooli projektis LEAEE22041 “Kliimaneutraalse piirkonna energiavarustuse ja ehituslahenduste kavandamise digitaalse tööriista rakendusüüring” (1.04.2022–30.09.2023).

Koordineeritakse EEA projekti “Läänemere idaranniku looduslike randade ja rannikuehitiste jätkusuutlik tulevik” (EMP480, 2020–2024, koos Leedu, Läti ja Norra kolleegidega), mis on suunatud ressursside paremale kasutamisele.

Täidetakse Eesti teadusagentuuri rühmagranti “Lainetuse dünaamika ja rannikutehnika Lagrange'i vaatekohast” (Wave dynamics for coastal engineering and management: the advantages and challenge of the Lagrangian perspective), PRG1129, 2021–2025, mitmete praktiliste väljunditega.

*Senised rakendused ettevõtluses, majanduses, ühiskonnas (kirjeldus ning viited projektidele, lepingutele, uudistele vm):*

- Ekstreemsete tuulekiiruste ja nende korduvusperioodide analüüs sõltuvalt tuule suunast kindlustusseltside vajadusteks; teostati 2018–2019.
- Ekstreemsete veetasemete ja nende korduvusperioodide prognoos kindlustusseltside vajadusteks Läti ja Leedu rannikute, teostati 2019–2021, esitleti ja anti üle veebruaris 2021, leping konfidentsiaalne; Leedu kaardimaterjali koostamine lükkus 2023. aastasse.
- Laevalainetega seonduvate ohtude analüüs Blackwateri jõe suudmealas (Ühendkuningriik) seonduvalt planeeritud Bradwell B elektrijaama ehitusega (Vessel wakes in the Blackwater Estuary and approach waters associated with the proposed Bradwell B Power Station), 2020–2021, esitletud ja lõpetatud jaanuaris 2021; leping konfidentsiaalne.
- Koostööleping LTEE21048 (Saarte Liinid AS, 2021–2024), mille kohaselt labori teadur Rain Männikus kontsentreerub kolmel päeval nädalas Saarte Liinid AS sõnastatud ülesannete lahendamisele.

*Käimasolevate projektide/lepingute tulemuste (väljatöötamisel olevad tooted/tehnoloogiad, uudsed lahendused ja kompetentsid) rakendusvõimalused:*

- Ekstreemsete tuulekiiruste ja nende korduvusperioodide analüüsi meetodika sõltuvalt tuule suunast tuule omaduste statistiliste parameetrite alusel.
- Suhteliselt sageli esinevate kõrgete veetasemete järjestikuse esinemise statistika arvutamise meetodika.

*Kolm kõige olulisemat välis- ja kolm kõige olulisemat Eesti koostööpartnerit (ülikooli või muu suurema asutuse puhul tuleks näidata ka alamstruktuuri tase - uurimisrühm/instituut vm):*

Hamburg-Harburgi tehnikaülikool (Saksamaa), Queenslandi tehnikaülikool (Austraalia), Klaipeda ülikool (Leedu);

AS Saarte Liinid, Eesti kindlustusseltside liit, Swedbank (Swedbank P&C Insurance AS, Varakindlustuse riskihindamine).

## Wave Engineering Research Group

Head: Tarmo Soomere, Professor of Coastal Engineering, +372 5028921, tarmo.soomere@ttu.ee

Member: Maris Eelsalu, Nicole Delpeche-Ellmann, Andrea Giudici, Nadezhda Kudryavtseva, Rain Männikus, Fatemeh Najafzadeh, Kevin Ellis Parnell, Katri Pindsoo, Bert Viikmäe

PhD students: Mojtaba Barzekhar, Mikolaj Jankowski, Margus Rätsep, Fatemeh Najafzadeh (defended 02.12.2022)

Visiting PhD students: Kuanysh Kussembayeva, Aigerim Sakhayeva, Meruert Beisembekova, Ilona Šakurova

Keywords: wave dynamics, climate studies, coastal processes, coastal engineering, wave climatology, coastal management, remote sensing

The aim is to promote and provide a structure for research in water waves and coastal engineering. The focus is on complex and nonlinear phenomena, and the applications of mathematical methods in wave dynamics and coastal engineering. The scope involves wave theory and applications, including dynamics of solitons, surface wave modelling, wave climate, and wave-driven phenomena, with application to integrated coastal zone management.

Emerging foci are Lagrangian transport of substances, wave and water level extremes, preventive mitigation of marine-induced hazards, and remote sensing methods.

Core projects: MOBTT72, EMP480, PRG1129

In 2022, we

- provided an in-depth overview of human impacts and their interactions in the Baltic Sea region,
- applied the technique of Lagrangian coherent structures to investigate upwelling and physical process in the Gladstone coastal region on the eastern coast of Australia,
- quantified the effect of ice cover on wave statistics and wave-driven processes in the northern Baltic Sea and identified the fastest changes at the latitudes of the Gulf of Finland,
- demonstrated that refraction may redirect waves around the ice-free island of Ruhnu so that waves directly attack the interior of Port Ringsu during storms from any direction,
- specified the input from ship-based measurements into the development of the model of surface heights of the offshore of the Baltic Sea and integrated hydrodynamic and geoid models into these estimates,

- worked out how to retrieval directional power spectral density and wave parameters from airborne LiDAR point cloud,
- identified a specific mechanism that stabilises sandy beaches on the northern shore of Estonia via synhronisation of water levels and wave approach directions,
- re-published a thorough overview about interactions of solitons,
- formulated challenges and solutions for sustainable management of Baltic Sea shores.

URL: [wavelab.ioc.ee](http://wavelab.ioc.ee)

---

## Süsteemibioloogia uurimisrühm

Juht: Marko Vendelin, professor, [markov@sysbio.ioc.ee](mailto:markov@sysbio.ioc.ee)

Liikmed: Rikke Birkedal, Mari Kalda-Kroon, Martin Laasmaa

Doktorandid: Romain Bernasconi, Jelena Branovets, Hamed Karimi, Irina Česnokova

Võtmesõnad: süda, biofüüsika, bioenergeetika, elektrofüsioloogia, biomehaanika, rakusisene difusioon, fluorestsentsmikroskoopia, fluorestsentsi korrelatsioonispektroskoopia

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.

Südamelihaskrakus on kirjeldatud kaht tüüpi difusioonitakistusi, mis arvatavalt mängivad suurt rolli energia ülekandes, signaliseerimises, apoptoosiliste faktorite ja reaktiivsete hapniku radikaalide jaotuses. Oma uuringutes keskendume nende difusioonitakistuste rolli määramisele nii terves südames kui ka patoloogilistes tingimustes. Selleks on kasutusel muundatud rakuenergeetika süsteemiga geenmuundatud hiireliin, mis võimaldab meil hinnata erinevate ionide ja molekulide voogude mõju ja ka selle kaudu difusioonitakistuste rolli südamerakkudes. Kasutades eelpool mainitud hiiri, näitasime kuidas rakuenergeetikas olulise metaboliidi (kreatiini) puuduslikkus viib rakusiseste kohanemiseni nii energiaülekandesüsteemides kui ka kaltsiumi signaliseerimises. Antud uuringud on baasiks PRG projektile, mis keskendub erinevate protsesside interaktsioonide uurimisele südamelihaskrakus. 2022.a. jooksul keskendusime uute katseprotokollide väljatöötamisele.

Uurimisrühma väljundiks on ka vabatarkvara arendamine rühmas väljatöötatud analüüsitehnikatele nagu näiteks bioloogiliste protsesside kineetika katseandme sisestus- ja töötlusplatvorm, dekonvolutsioon konfokaal mikroskoopia piltide parendamiseks, sarkomeeri pikkuse reaajas määramise algoritm. 2022.a. jooksul arendasime tarkvara geelelektroforeesi tulemuste analüüsiks. Tarkvara on kavas avaldada 2023.a. alguses.

Tähtsamad projektid:

- PRG1127 Energia ülekande kompartmentaliseeritud südamelihase rakkudes
- Uuenduslik digitaalne platvorm varjatud nähtuste avastamiseks bioloogilistes funktsioonides tehisintellekti abil

Veebileht: <https://sysbio.ioc.ee>

## Täiendav info

AAK prioriteetsed suunad: Usaldusväärsed IT-lahendused

Frascati valdkond: 1.6 Bioteadused

## Systems Biology Research Group

Head: Marko Vendelin, professor, [markov@sysbio.ioc.ee](mailto:markov@sysbio.ioc.ee)

Members: Rikke Birkedal, Mari Kalda-Kroon, Martin Laasmaa

PhD students: Romain Bernasconi, Jelena Branovets, Hamed Karimi, Irina Česnokova

Keywords: heart; biophysics; bioenergetics; electrophysiology; biomechanics; intracellular diffusion; fluorescence microscopy; fluorescence correlation spectroscopy

In the Laboratory of Systems Biology, we use interdisciplinary approaches to tackle questions in cardiac physiology. Our team consists of researchers with backgrounds in biophysics, biology, and applied mathematics/physics. As a result, we are able to approach scientific questions on different scales, from organ to molecular level, using combinations of various experimental and theoretical techniques by focusing on the quantitative analysis of the data.

We study diffusion in cardiomyocytes by tracking the movement of fluorescent molecules using extended raster image correlation spectroscopy. Our results suggest that diffusion barriers are arranged in a 3D lattice with relatively small openings. From the analysis of autofluorescence response, we demonstrated that mitochondrial outer membrane and cytosolic diffusion barriers reduce the movement of molecules in a similar extent. We study the effects of creatine deficiency to establish the role of creatine kinase shuttle in the heart. Earlier, we demonstrated how creatine deficiency leads to intracellular adaptations in terms of alternative energy transfer systems changes and an impact on calcium handling of cardiomyocytes. These studies form a basis for our current line of research on interactions between processes in cardiomyocytes. In 2022, we focussed on developing new experimental protocols and approaches that will be used in our studies.

We have been active in developing new techniques and distributing them as open-source tools: deconvolution software for enhancing confocal images, symbolic flux analysis for genome-scale metabolic networks, and real-time sarcomere length estimation techniques. In 2022, we developed a new software for analysis of gel electrophoresis images. Software is prepared for publishing early 2023.

Essential projects:

- PRG1127 Energy transfer in compartmentalized heart muscle cells



- Innovative digital platform tailored for AI-assisted discoveries of hidden phenomena in biological function

URL: <https://sysbio.ioc.ee>

---

## Teoreetilise füüsika uurimisrühm

Juht: Professor Jaan Kalda, kalda@ioc.ee

Liikmed: Raavo Josepson, Mihhail Klopov, Mihkel Kree, Tanel Mullari, Vladislav-Veniamin Pustõnski;

Doktorandid: Eero Uustalu, Marek Vilipuu.

Võtmesõnad: mastaabivabad võrgustikud, turbulents, fotogalvaanilised materjalid, majandusfüüsika, kompleksüsteemid, füüsika õppematerjalid.

### Uurimisrühma peamised kompetentsid:

- Aastail 2020-2022 oli uurimistöõ üheks fookuses viiruse leviku modelleerimine mastaabivabades võrgustikes. Näitasime, et pandeemia algfaasis mängisid superlevitajad seni arvatust olulisemat rolli, vt J. Kalda et al, DOI: 10.21203/rs.3.rs-1167477/v1 (2021). ETAG-i toetatud projekti COVSG22 raames valmis tervet Eesti elanikkonda kattev viiruse levimist kirjeldav stohhastiline mudel, mis võimaldab ennustada erinevate meetmete mõju viiruse leviku kiirusele.
- Majandusfüüsika valdkonnas panime tähele, et tõhusa turu hüpotees toob fundamentaalsel tasemel sisse ajanoole asümmeetria. Keskendusime küsimusele, kas ja mil määral on majanduslikud ajajadad ajas pööratavad, vt J. Andria, G. di Tollo, J. Kalda, *Chaos, Solitons and Fractals* 162,2022,112425.
- Päikesepatareide tehnoloogiaga seonduvalt uuritakse odavate ja efektiivsete fotogalvaaniliste materjalide omadusi (puhas ja dopeeritud). Üheks uurimissuunaks on kvant-keemilisel ja tihedus-funktsionaali teoorial tuginevate mudelite abil uute fotogalvaaniliste materjalide (SnSe ja SnZn) põhiliste füüsikaliste parameetrite arvutamine; mh õnnestus demonstreerida SnSe kilede kiiret ja täielikku inversiooni Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-ks, kasutades skaleeritavat ülalt-alla ionivahetusmeetodit
- Materjalitehnoloogiliste lahenduste jaoks on oluline mõista lokaliseeritud võnkumisi tahkises ja LLM-i (Linear Localized Modes) füüsikalisi mehhanisme. Oleme selgitanud välja ILM-i (Intrinsic Localized Modes) tekitamise tingimusi erinevates kolmemõõtmelistes kristallides ja võrrelnud teooriat eksperimendiga.
- *Planetaarteaduse valdkonnas* töötasime välja meetodi Apollo 12 missiooni käigus tehtud fotode põhjal selle maandumiskoha 3D mudeli loomiseks, vt V.-V. Pustynski, *Planet. Space Sci*, 195, 2021, 105133.
- Tegeletakse füüsika hariduse populariseerimise ja loomingulisust nõudvate probleemide lahendusmeetoditele pühendatud õppematerjalide väljatöötamisega. Lehel <https://www.ioc.ee/~kalda/ipho/> asuvad materjalid on võitnud rahvusvaheliselt suure populaarsuse, keskmine allalaadimiste arv on ca 1000 faili päevas. TFU eestvedamisel algatati Euroopa füüsikaolümpiaad (EuPhO); 2022. a Sloveenias toimunud 6. EuPhO-I osalesid võistkonnad 36 riigist. J. Kalda oli 2022. aastal Šveitsis toimunud Rahvusvahelise Füüsikaolümpiaadi Akadeemilise Komitee esimees.

URL: <https://taltech.ee/kuberneetika-uurimisrühmad>

## Täiendav info

AAK prioriteetsed suunad: Targad ja energiatõhusad keskkonnad , Tulevikku vaatav riigivalitsemine , Innovaatilised väike- ja keskmise suurusega ettevõtted ja digitaalne majandus

Frascati valdkond: 1.3 Füüsikateadused  
CERCS erialad: P190, P240 ja P160.

J. Kalda on Euroopa Füüsikaolümpiaadi president ning kutsuti juhtima 2022. aasta Rahvusvahelise Füüsikaolümpiaadi Akadeemilist Komiteed.

Rahvusvahelised koostööpartnerid

Leibniz University Hannover (Germany), Institut für Didaktik der Mathematik und Physik

Institute for Energy Technology (Norway)

Bialystok University of Technology (Poland), Department of Automatic Control and Robotics

Siseriiklikud koostööpartnerid

Tartu Ülikool, Füüsika Instituut

Tallinna Tehnikaülikool, elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Tallinna Tehnikaülikool, tarkvarateaduse instituut

## Theoretical Physics Research Group

Head: Professor Jaan Kalda, kalda@ioc.ee

Members: Raavo Josepson, Mihhail Klopov, Tanel Mullari, Vladislav-Veniamin Pustõnski

PhD students: Eero Uustalu, Marek Vilipuu

Keywords: scale-free networks, turbulence, photovoltaic materials, econophysics, complex systems, tools for physics education

### Competences:

- In 2020 and 2021, we focused on modeling the spread of the virus in complex scale-free networks. We showed that in the initial phase of a pandemic, superspreaders play a more important role than previously thought, cf. J. Kalda et al, DOI: 10.21203/rs.3.rs-1167477/v1 (2021). Within the framework of the ETAG project COVSG22, a stochastic model describing the spread of the virus covering the entire Estonian population was created, which makes it possible to predict the impact of various measures on the spreading rate of the virus.
- In the field of econophysics, we noticed that the efficient market hypothesis introduces a time asymmetry at a fundamental level. We focused on the question of whether and to what extent economic time series are reversible in time, see J. Andria, G. di Tollo, J. Kalda, *Chaos, Solitons and Fractals* 162, 2022, 112425.

- Solar cell technology has brought to the forefront the problem about the properties of cheap and efficient photovoltaic materials. One of our topics is calculation of basic physical parameters of new photovoltaic materials (SnSe and SnZn) using quantum chemical and density functional theory methods. In particular, we demonstrated the fast and complete inversion of continuous SnSe thin-films to Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> using a scalable top-down ion-exchange approach.
- In material technology, it is important to understand the localized oscillations in solids and the physical mechanisms of LLM (Linear Localized Modes); we determined the conditions of excitation of ILM (Intrinsic Localized Modes) in various three-dimensional crystals and compared theory with experiment.
- In the field of planetary science, we developed a method for creating a 3D model of the landing site of the Apollo 12 mission, based on photographs taken during the mission, cf. V.-V. Pustynski, *Planet. Space Sci*, 195, 2021, 105133.
- We develop *physics study materials*, mostly focusing on methods for solving creative problems, and *popularizing physics education*. Materials available at <https://www.ioc.ee/~kalda/ipho/> have won a great international recognition, with an average download of about 1,000 files per day. TFU initiated the European Physics Olympiad (EuPhO). The 6th EuPhO, held in Slovenia in 2022, attracted teams from 36 countries. J. Kalda was appointed as the Head of the Academic Committee of the 2022 International Physics Olympiad organised by Switzerland.

URL: <https://taltech.ee/en/departament-cybernetics/research-groups>

---

---

## Pöördülesannete ja stohhastiliste meetodite uurimisrühm

Juht: Jaan Janno, professor, e-post: jaan.janno@taltech.ee

Liikmed: Lassi Päivärinta, Margus Pihlak, Kari Kasemets, Emilia Blåsten

Doktorandid: Sadia Sadique, Hany Gerges.

Mitteakadeemiline liige: Nataliia Kinash

Võtmesõnad: pöördülesanded, murruline difusioon ja lainelevi, hajuvus- ja pöördhajuvus, mitteparameetriline statistika

Kompetentside tutvustus:

- *Pöördülesanded murrulisi tuletisi sisaldavatele võrranditele.* Uuritakse pöördülesandeid lineaarsetele ja mittelineaarsetele murruliste tuletistega diferentsiaalvõrranditele. Ülesannetes on otsitavateks suurusteks koefitsiendid, allikafunktsioonid ja üldistatud murrulistes tuletistes sisaduvad tuumad. Taolised ülesanded tekivad difusiooni ja mehaaniliste protsesside modelleerimisel poorsetes, fraktaalsetes ja bioloogilistes keskkondades. Käsitletakse nii teoreetilisi aspekte kui ka lahendusmeetodeid.
- *Hajumise otsesed ja pöördülesanded singulaarsetes ja mittlokaalsetes keskkondades.* Teostatakse uuringuid elektromagnetilise ja akustilise hajumise ja pöördhajumise alal singulaarsusi ja mittlokaalsusi sisaldavates keskkondades. Arendatakse multipoolsete antennide matemaatilist teooriat. Seda suunda täiendavad uuringud signaalitöötamise alal, mis baseeruvad modernsetel numbrilistel meetoditel suureskaalaliste pöördülesannete jaoks. Uuritakse pöördülesandeid mittlokaalsete omadustega keskkondades sisalduvate mittehomogeensuste määramiseks rajapindadel mõõdetud hajunud lainete baasil.
- *Mitteparameetriliste statistiliste meetodite väljatöötamine.* Arendatakse mitteparameetriliste statistiliste meetodite aluseks olevat matemaatilist aparatuuri ja rakendatakse neid meetodeid keskkonna- ja ehitustehnikas.

Viimaste aastate olulisemad projektid:

PUT1093 2016–2019, PRG832 2020 – 2024.

Viimaste aastate olulisemad artiklid:

- Blåsten, E., Pohjola, V. (2022). Cones with convoluted geometry that always scatter or radiate. *Inverse Problems*, 38, 125001.
- Janno, J. (2021). Inverse Problems with Unknown Boundary Conditions and Final Overdetermination for Time Fractional Diffusion-Wave Equations in Cylindrical Domains. *Mathematics*, 9 (20), 2541.

Olulisemad tulemused 2022. a:

- Uuriti fikseeritud energiaga hajuvust koonilistelt potentsiaalidelt, mis omavad irregulaarset ristlõiget. Langev laine võib olla suvaline mittetriviaalne Herglotzi laine.

Näidati, et suur arv selliseid koonilisi potentsiaale hajutavad langevaid laineid selle mõttes, et kaugväli ei hääbu.

- Näidati, et murrulise difusioonivõrrandi ajast või ruumimuutujatest sõltuv allikafunktsioon on üheselt määratav voo mõõtmistulemuste põhjal, mis on tehtud rajapinna alamhulgal lõpphetke kuitahes väikeses ümbruses.

URL: <https://taltech.ee/kuberneetika-uurimisrühmad>

## Täiendav info

AAK prioriteetsed suunad: usaldusväärsed IT-lahendused, keskkonnaressursside vääristamine

Frascati valdkond: 1.1 Matemaatika

CERSi valdkonnad: P130, P160

J. Janno on ECMI (European Consortium for Mathematics in Industry) nõukogu liige.

Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevuse kohta: Tulemused on rakendatavad tomograafia ja kaugseire aparatuuri täiustamisel, antennisüsteemide arendamisel, keskkonna- ja ehitustehnikas.

Koostööpartnerid: Prof. Markku Lehtinen, University of Oulu; Prof. Valter Pohjola, LUT University; Prof. Yavar Kian, Aix-Marseille Université.

## Inverse Problems and Stochastic Methods Research Group

Head: professor Jaan Janno, e-mail: [jaan.janno@taltech.ee](mailto:jaan.janno@taltech.ee)

Members: Lassi Päivärinta, Margus Pihlak, Kari Kasemets, Emilia Blåsten

PhD students: Sadia Sadique, Hany Gerges.

Nonacademic member: Nataliia Kinash

Keywords: inverse problems, fractional diffusion and wave motion, direct and inverse scattering, nonparametric statistics.

Introduction of competencies:

- *Inverse problems for equations containing fractional derivatives.* Inverse problems for linear and nonlinear fractional differential equations are studied. Unknowns to be determined are coefficients, source terms and kernels of generalized fractional time derivatives. Such problems occur in modelling of diffusion and mechanical processes in porous, fractal and biological media. Both theoretical and numerical aspects are treated.
- *Direct and inverse scattering in singular and nonlocal media.* Electromagnetic and acoustic direct and inverse scattering in media with singularities or non-local features is

studied. Mathematical theory of tripole and more general multipole antennas is developed. This branch is complemented by a development of new signal processing on state-of-the-art computational methods for large-scale inverse problems. Inverse problems to reconstruct inhomogeneities of media with non-local properties by means of measurements of scattered acoustic waves at boundaries are investigated.

- *Elaboration of nonparametric statistical methods.* Theory of nonparametric statistical methods is developed and these methods are applied in environmental and building engineering.

Recent grants: PUT1093 2016–2019, PRG832 2020 – 2024.

Recent publications:

- Blåsten, E., Pohjola, V. (2022). Cones with convoluted geometry that always scatter or radiate. *Inverse Problems*, 38, 125001.
- Janno, J. (2021). Inverse Problems with Unknown Boundary Conditions and Final Overdetermination for Time Fractional Diffusion-Wave Equations in Cylindrical Domains. *Mathematics*, 9 (20), 2541.

Main results of 2022:

- A fixed energy scattering from conical potentials having an irregular cross-section was investigated. The incident wave can be an arbitrary non-trivial Herglotz wave. It was shown that a large number of such local conical scatterers scatter all incident waves, meaning that the far-field will always be non-zero.
- It was shown that a source term of a fractional diffusion equation depending on time or space variables is uniquely recoverable by measurements of flux over a portion of boundary in an arbitrarily small neighborhood of a final time value.

URL: <https://taltech.ee/en/department-cybernetics/research-groups>

---

## Matemaatika rakendused telekommunikatsioonis uurimisrühm

Juht: Gert Tamberg, vanemlektor, 620 3056, gert.tamberg@taltech.ee

Liikmed: vanemlektor Alar Leibak, lektor Piret Grauberg

Doktorandid: Olga Graf, Märt Umbleja.

Võtmesõnad: valimoperaatorid, lähendusteooria, signaalitöötlus, rühmateooria, ruutvormide geomeetria, algebra rakendused

Teadustöö põhisuunad:

1. Uuritakse positiivselt määratud ruutvormide geomeetria, kui ruutvormi kordajad on mingist arvukorpusest.
2. Uuritakse positiivselt määratud ruutvormide geomeetria rakendusi krüptograafias.
3. Uuritakse üldistatud Shannoni valimoperaatoreid ning Kantorovichi-tüüpi valimoperaatoreid, nende lähendusomadusi ja võimalikke rakendusi.
4. Uuritakse koosinusoperaatorite abil defineeritud valimoperaatoreid, nende lähendusomadusi ja võimalikke rakendusi.
5. Uuritakse valimoperaatorite ja nende tuletiste rakendusi signaalitöötles.
6. Uuritakse lähendusteooria tulemuste kasutamise võimalusi süvaõppes.

Põhitulemused:

1. Näitasime, et nn. lihtsaimad kuupkorpused on "unit reducible" ja tuletati unaarsete positiivselt määratud ruutvormide taandamispiirkonda määravad võrratused.
2. Meil õnnestus suurendada Shintani taandamisalgoritmi töökiirust üldistades Shintani tõket arvukorpuse täisarvude ringi ühikutele, mis ei ole PV ühikud.
3. Me uurisime valimoperaatorite kasutamist bioimpedantsi-signaalide lähendamisel ja töötlemisel.
4. Kasutasime üldistatud ning Kantorovichi-tüüpi valimoperaatoreid tuletiste lähendamisel.
5. Uurisime koosinusoperaatorite abil defineeritud valimoperaatorite lähendusomadusi.

Projektid: Uurimisrühma juht ning doktorant Olga Graf on vastavalt põhitäitja ja täitja projektis PRG1483 "Innovatiivne impedantspektroskoopia: lahendused ja rakendused" (1.01.2022–31.12.2026)

URL: <https://taltech.ee/kuberneetika-uurimisrühmad>

### Täiendav info

Frascati valdkond 1.1

CERCS: P120, P140, P170

TalTech TA prioriteetse suunad:

1. Targad ja energiatõhusad keskkonnad
2. Usaldusväärsed IT lahendused



G. Tamberg on AMS-i, SIAM-i, SIAM IS-i, IEEE , IEEE SPS ja EMS liige ning IEEE SP/CAS/SSC liit-chapter'i juht Eesti sektsioonis.

Uurimisrühma poolt saadud tulemused on rakendatavad krüptograafias, pilditöötuse tarkvara väljatöötamisel, signaalitöötuse ja IoT riist- ja tarkvara väljatöötamisel. Võimalik on lähendusteooria alaste tulemuste kasutamine süvaõppes.

Olulisemad koostööpartnerid Eestis:

Tallinna Ülikool, Digitehnoloogiade instituut.

Tallinna Tehnikaülikool, Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut.

Tallinna Tehnikaülikool, Mektory kosmosekeskus.

Väliskoostööpartnerid:

Silence Laboratories Pte. Ltd., Singapore.

Technical University of Munich, Unit M15: Applied and Numerical Analysis and Optimization and Data Analysis., Germany

University of Perugia, Research Group of Real Analysis and Approximation Theory and their Applications in Signal and Image Processing (A.R.T.A.S.I.), Italy.

Koostöös Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituudiga on alustatud valimoperaatorite rakendusvõimaluste uurimist impedants-kardiograafia (IKG) signaalide töötlemisel ja analüüsil.

Koostöös Christian Porteriga (Silence Laboratories) uuritakse positiivselt määratud ruutvormide geomeetria rakendusi krüptograafias.

## **Applications of Mathematics in Telecommunication Research Group**

Head: Gert Tamberg, Senior Lecturer, 620 3056, gert.tamberg@taltech.ee

Members: Senior Lecturer Alar Leibak, Lecturer Piret Grauberg

PhD students: Olga Graf, Märt Umbleja

Keywords: sampling operators, approximation theory, signal processing, group theory, endomorphism semigroups, geometry of quadratic forms, applications of algebra

Main directions of research are as follows:

1. We study geometry of positive definite quadratic forms over number fields.
2. We study applications of geometry of quadratic forms in cryptography.
3. We study the generalized Shannon sampling operators and Kantorovich-type sampling operators, their approximation properties and possible applications.
4. We study sampling operators, defined using cosine operator framework, their approximation properties and possible applications.
5. We study applications of the sampling operators and their derivatives in Signal Processing.

6. We study possibilities of applying our approximation-theoretic results in deep learning.

Main results:

1. We showed that the simplest cubic fields are unit reducible.
2. We derived the description of the fundamental domain of positive definite quadratic forms over simplest cubic fields.
3. The speed of Shintani's reduction algorithm was improved by generalizing the Shintani's bound for non PV-units.
4. We studied generalized and Kantorovich-type sampling operators for derivative sampling.
5. We applied sampling operators for approximation of bioimpedance signals.
6. We studied approximation properties of sampling operators, defined using cosine operator framework.

Projects: Head of the group and PhD student Olga Graf are members of research staff of Estonian Research Council grant PRG1483 " Solutions and Applications of Innovative Impedance Spectroscopy" (1.01.2022–31.12.2026).

URL: <https://taltech.ee/en/department-cybernetics/research-groups>

---

## Komposiitide reoloogia uurimisrühm

Uurimisrühma juht: vanemteadur Heiko Herrmann, [heiko.herrmann@taltech.ee](mailto:heiko.herrmann@taltech.ee)

Uurimisrühma liikmed: Andres Braunbrück; doktorant Oksana Goidyk, Mark Heinstein

Võtmesõnad: Materjalimehaanika, pideva keskkonna mehaanika, kiudbetoon, kiudude orientatsioon, arvutuslik reoloogia, kujutiste analüüs, 3D visualiseerimine

Kompetentsid:

Uurimisgrupi kompetents on lai, ulatudes olekuvõrrandite teooriast arvutisimulatsioonide, kujutiste analüüsi ja andmestiku kujutamiseni virtuaalreaalsuses. Teadusteema põhisuund on lühikesekiuliste komposiitide mehaanikaliste omaduste uurimine. Tulemuste peamine rakendusvaldkond on teraskiuga armeeritud betoon – materjal, mis on kogumas populaarsust ehitussektoris. Sellise materjali mehaanikalised omadused sõltuvad suuresti lühikeste kiudude orientatsioonist, mis betoonelementide valmistamisel on omakorda mõjutatud betoonisegu valuprotsessist. Just betoonisegu voolamine ühes sissesegatud kiududega määrab kiudude orientatsiooni. Katsekehade kiudude orientatsioon määratakse röntgenkiirte arvutusliku tomograafiaga, millest saadud tulemuste töötlemise järel saadakse kiudude orientatsioon. Pilditöötlemiseks on uurimisgrupp välja arendanud oma tarkvara. Betoonelementide valuprotsessi arvutis simuleerimiseks kasutatakse arvutusliku vedelikumehaanika (CFD) tarkvara, mis on seotud kiudude orientatsiooni kirjeldava võrrandiga. Valmis katsekehade painde- ja lõhenemise katset simuleeritakse arvutis kasutades materiaalseid punkte simuleerivaid diskreetseid elemente. Teoreetilise poole pealt on uurimisgrupp tuletanud olekuvõrrandid, mis kirjeldavad kiudude orientatsiooni jaotuse mõju kiudbetooni mehaanikalistele ja termilistele omadustele.

Ülalmainituga on seotud uurimistöö stereoskoopse pool-immersiivse 3D visualiseerimise (virtuaalne reaalsus) vallas, mida tehakse enda väljatöötatud süsteemil „Kyb3“. Süsteemi peamine ülesanne on visualiseerida kiudude arvutatud tomograafiat ja CFD simulatsioonide tulemusi. Süsteem võimaldab visuaalselt kontrollida ja võrrelda mõõtmiste ning simulatsioonide tulemusi.

Projektid

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

URL: <https://taltech.ee/kuberneetika-uurimisrühmad>

### Täiendav info

AAK prioriteetsed suunad:

Targad ja energiatõhusad keskkonnad

Keskkonnaressursside väärastamine

Frascati valdkond: 1.1 Matemaatika, 2.1 Ehitusteadused

CERCS: T152 Komposiitmaterjalid, T220 Tsiiviilehitus, T270 Keskkonnatehnoloogia

## Rheology of Composites Research Group

Head of the group: senior researcher Heiko Herrmann, heiko.herrmann@taltech.ee

Members of the group: Andres Braunbrück;

PhD students Oksana Goidyk, Mark Heinstein

Keywords: Mechanics of Materials, Continuum Mechanics, Fiber Concrete, Fiber Orientations, Computational Rheology, Image Analysis, 3D Visualization

Competences:

The competences of the group have a broad range, from constitutive theory over numerical computer simulations and image analysis to virtual reality visualization of scientific data. The main research topic is concerned with the mechanical properties of composites containing short fibres. The core application is steel fibre 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 fibres, which in turn are influenced by the production process of the structural parts made of the fibre concrete. In particular the flow of the fresh concrete mass, which is mixed with the fibres, determines the fibre orientations. Analysis of fibre orientations in experiment samples is done by x-ray computed tomography, fibre orientations are then extracted from the tomography. The group has developed its own software for this purpose. The production process of concrete parts, in particular the casting is simulated using computational fluid dynamics (CFD) coupled to an orientation equation. Further, simulations of bending tests and split tests are performed with particle based discrete element simulations. On the theoretical side, the group has developed constitutive models for the influence of the fibre orientations distribution on the mechanical and thermal properties of the fibre concrete.

Connected to this is the research on stereoscopic semi-immersive 3D visualization (virtual reality), which is conducted on the self developed „Kyb3“ system. The main task of the system is the visualization of the computed tomography of fibre concrete and CFD simulations. It is used to visually inspect measurement and simulation results.

Projects:

Heiko Herrmann, PUT1146 "Rheology of short fibre reinforced cementitious composites and influence on fracture behaviour (1.01.2016–31.12.2019)"

URL: <https://taltech.ee/en/department-cybernetics/research-groups>

---

## Mittelineaarse lainelevi uurimisrühm

**Juht:** prof Andrus Salupere, andrus.salupere@taltech.ee

**Liikmed:** Arkadi Berezovski, Tanel Peets, Kert Tamm, Dmitri Kartofelev, Martin Lints; Mart Ratas; Jüri Engelbrecht  
doktorant Maria Miranda Vuin

### Võtmesõnad:

Pideva keskkonna mehaanika, sisemuutujate teooria, mittelineaarsed lained, solitonid, mittepurustav testimine, laineoptsessid aksonites, heliteke keelpillides, metamaterjalid, numbrilised eksperimendid.

### Uurimisrühma kompetentside tutvustus:

Tegevus on fokuseeritud komplekssetes keskkondades toimuva lainelevi seaduspärasuste selgitamisele.

### Peamised uurimissuunad

- *Pideva keskkonna mehaanika ja sisemuutujate teooria.* Loodavad matemaatilised mudelid võtavad arvesse mittelineaarseid, dispersiivseid ning temperatuuri efekte ja erineva skaalaga mikrostruktuuride koosmõju lainelevile.
- *Solitonide ja üksiklainete analüüs.* Selgitatakse mis tingimustel saavad komplekssetes keskkondades formeeruda solitoni tüüpi lained.
- *Mittelineaarse lainelevi numbriline analüüs.* Keerukate lainestruktuuride käitumise uurimiseks luuakse Fourier' teisendusel ja Haari lainikutel põhinevaid numbrilisi meetodeid.
- *Materjalide mittepurustav testimine.* Luuakse meetodeid komplekssete materjalide omaduste määramiseks ja defektide tuvastamiseks.
- *Metamaterjalide modelleerimine.* Luuakse teoreetilist baasi uute tehismaterjalide loomiseks.
- *Laineoptsessid aksonites.* Selgitatakse närvisignaali levikuga kaasnevaid mehaanilisi ja termilisi efekte.
- *Muusika akustika.* Mittelineaarsete mudelite abil selgitatakse helitekke mehhanisme keelpillides.

### Hiljutisi tulemusi

- On välja pakutud täiendatud matemaatiline mudel kirjeldamaks mehaanilisi pikilaineid müelineeritud aksoni seinas ammutades selleks inspiratsiooni mikrostruktuuriga materjalide mehaanikast.
- Numbrilise analüüsi abil on tuvastatud, kuidas ajas muutuvad rajatingimused mõjutavad elastse laine levikut 2D komposiitlaminaatides.

- Loodi viiulikeele võnkumise mudelid, et kirjeldada keele ja poogna vahelist interaktsiooni läbi kuivhõõrde füüsikalise mudeli. Üks loodud mudeleist simuleerib elastse keele mittetasapinnalist võnkumist olukorras, kus keelel on lubatud pörkuda ja hõõrduda vastu meelevaldse ristlõikega jäika barjääri.
- Materjalide mittepurustava testimise vallas (koostöö PRG737-ga) on väljatöötatud prototüüp ja toimuvad selle katsetused.
- On loodud uusi Haari lainikutel põhinevaid algoritme mittelineaarsete diferentsiaalvõrrandite numbriliseks lahendamiseks.

### Projektid

- PRG1227 Mittelineaarsete laineprotsesside modelleerimine ebakonventsionaalsetes materjalides.

URL: <https://solmech.ioc.ee>

### Täiendav info

#### Seotus TalTech TA fookusteemadega

Targad ja energiatõhusad keskkonnad *smart and energy efficient environments*

Tervisetehnoloogiad *health technologies*

#### Frascati valdkond:

1.1 Matemaatika;

2.5 Materjalitehnika

#### CERCS

T150 Materjalitehnoloogia

P130 Funktsioonid, diferentsiaalvõrrandid

P190 Matemaatiline ja üldine teoreetiline füüsika, klassikaline mehaanika, kvantmehaanika, relatiivsus, gravitatsioon, statistiline füüsika, termodünaamika

#### uurimisrühma liikmete osalus oluliste TA&I-ga seotud välisorganisatsioonide töös lõppenud aastal.

Andrus Salupere on Rahvusvahelise Teoreetilise ja Rakendusmehaanika Ühingu (IUTAM)peaassamblee liige.

Tanel Peets on Põhjamaade Arvutusmehaanika Assotsiatsiooni täitevkomitee liige

Jüri Engelbrecht on mitme välismaise akadeemia välisliige, vt.

<https://www.akadeemia.ee/member/engelbrecht/>

#### Info uurimisrühma rakendusliku väljundiga teadus- ja arendustegevuse kohta:

PRG1227 tulemused on rakendatavad materjalide mittepurustaval testimisel ja vastavate seadmete väljatöötamisel, müratõrjel, muusikainstrumentide ja helisüntesaatorite tootmisel, meditsiinis, uute kunstmaterjalide väljatöötamisel jne.

**Väliskoostöö**

International Research Center for Mathematics & Mechanics of Complex Systems, Università dell'Aquila, Italy

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

Department of Signal Processing and Acoustics, School of Electrical Engineering, Aalto University, Finland

**Eesti koostöö**

TalTech, Mehaanika ja tööstustehnika instituut, kõrgtehnoloogiliste konstruktsioonide ja toodete uurimisrühm

TalTech, Ehituse ja arhitektuuri instituut, Konstruktsiooni- ja vedelikumehaanika uurimisrühm

## Nonlinear Wave Dynamics Research Group

**Nonlinear Wave Dynamics Research Group**

**The Head:** Prof Andrus Salupere, andrus.salupere@taltech.ee

**Members:** Arkadi Berezovski, Tanel Peets, Kert Tamm, Dmitri Kartofelev, Martin Lints, Mart Ratas, Jüri Engelbrecht

PhD student Maria Miranda Vuin

**Keywords:**

Continuum mechanics, internal variables, nonlinear waves, solitons, nondestructive testing, wave processes in axons, sound generation in string instruments, metamaterials, numerical experiments

**Overview of the competencies**

Activities are focused on wave propagation in complex media and corresponding applications.

**Main research directions**

- *Theory of continua and internal variables.* Developed mathematical models take into account nonlinear, dispersive and temperature effects, and multiscale of a microstructure.
- *Solitons and solitary waves.* Conditions for formation of solitonic waves are determined.
- *Numerical analysis of nonlinear wave propagation.* Fourier transform and Haar wavelets related numerical methods are elaborated.

- *Nondestructive testing of materials.* Methods for determining of properties of materials and for detection of defects are worked out.
- *Modelling of metamaterials.* Theoretical basis for creating of advanced materials is developed.
- *Wave processes in axons.* The models to be developed, take into account the mechanical and thermal effects that accompany the propagation of the nerve signal.
- *Musical acoustics.* Nonlinear models that explain the mechanisms of sound generation in different string instruments are created.

### **Some recent results**

- An improved mathematical model for describing longitudinal waves in the myelin sheath of an axon is proposed following the ideas of microstructured continua.
- A numerical analysis has been performed to determine how the time-varying boundary conditions affect elastic wave propagation in 2D composite laminates.
- The distinction between constitutive modeling with single and dual internal variables is demonstrated using examples of gradient elasticity and viscous fluids.
- Violin string vibration models are created, where the bow–string interaction is modelled using a physical dry-sliding friction model. One of the models simulates non-planar vibration of elastic string, where the vibrating string interacts with a static and rigid barrier with arbitrary cross-section profile.
- Activities in the field of non-destructive testing of materials (collaboration with PRG 737) a prototype is worked out.
- New Haar wavelet based algorithms were developed for solving nonlinear ODEs and PDEs numerically.

### **Projects**

- PRG1227 Modelling of nonlinear wave processes in advanced materials.

URL: <https://solmech.ioc.ee>

---



## Spin design laboratoorium

Uurimisgrupi juht: Ago Samoson, juhtivteadur, [ago.samoson@ttu.ee](mailto:ago.samoson@ttu.ee)

Liikmed:

Ats Kaldma, üliõpilane;

Kalju Vanatalu, insener;

Mai-Liis Org, insener, magistrand;

Andres Reinhold, insener;

Meelis Rohtmäe, tehnik;

Liisi Karlep, doktorant.

**Võtmesõnad:** Mikromehhaanika, raadioelektronika, tehniline keraamika, CAD, metabooloomika, alzheimer, NMR, MAS

### 2022 teadustöö aruanne:

Töötasime NMR tehnoloogia ja metaboolse diagnostika arendamisel. Meie poolt eelnevatel aastatel välja arendatud rotatsioonitehnoloogia on avanud tehniliselt uued struktuuranalüüsi võimalused tänu H-tuumade spektrijoonte laiuse drastilisele vähenemisele. Nende võimaluste tegelikuks realiseerimiseks on vaja vastavalt välja töötada ka impulssjärjestused ja polaristatsiooniülekannderajad.

### Tähtsamad tulemused:

Koostöös partneritega Taiwanil ja Poolas uurisime optimaalseid mitmedimensionaalse lahutuse saamise meetodeid ni 15N-1H kui 1H-metüül-1H-amiid süsteemides.

### Publikatsioonid:

**Solid-state heteronuclear multiple-quantum spectroscopy under a magic-angle spinning frequency of 150 kHz**, E. C.-Y. Yuan, P.-W.Chen, S.-J. Huang, M.-L. Org, A. Samoson, J. C. Chan, J. Chin. Chem. Soc.2022,69(8), 1449.<https://doi.org/10.1002/jccs.202200063>

**NMR Assignment of Methyl Groups in Immobilized Proteins Using Multiple-Bond 13C Homonuclear Transfers, Proton Detection, and Very Fast MAS**

Piotr Paluch, Rafal Augustyniak, Mai-Liis Org, Kalju Vanatalu, Ats Kaldma, Ago Samoson, Jan Stanek, Front. Mol. Biosci., 29 March 2022

Sec. Structural Biology, Volume 9 - 2022 | <https://doi.org/10.3389/fmolb.2022.828785>

URL: <https://taltech.ee/kuberneetika-uurimisruhmad>

### Täiendav info

Frascati valdkonnad: 1.3, 2.3

CERSi valdkonnad: P300, B725, T110

## Spin Design Laboratory

Group leader: Ago Samoson, Lead Research Scientist, [ago.samoson@ttu.ee](mailto:ago.samoson@ttu.ee)

Members:

Ats Kaldma, student;

Kalju Vanatalu, insener;

Mai-Liis Org, engineer, masters student;

Andres Reinhold, engineer;

Meelis Rohtmäe, technician;

Liisi Karlep, PhD student.

**Key words:** Micromechanics, radio engineering, technical ceramics, CAD, Alzheimer, NMR, MAS, metabolomics

### Most important results:

Due to our development of MAS NMR Technology we succeeded for the first time to record correlated dispersions of the chemical shifts of  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  in solids. This enabled resolution of crystalline and amorphous fractions of the wood cellulose.

### Selected recent publications:

**Solid-state heteronuclear multiple-quantum spectroscopy under a magic-angle spinning frequency of 150 kHz**, E. C.-Y. Yuan, P.-W. Chen, S.-J. Huang, M.-L. Org, A. Samoson, J. C. C. Chan, *J. Chin. Chem. Soc.* 2022, 69(8), 1449. <https://doi.org/10.1002/jccs.202200063>

### **NMR Assignment of Methyl Groups in Immobilized Proteins Using Multiple-Bond $^{13}\text{C}$ Homonuclear Transfers, Proton Detection, and Very Fast MAS**

Piotr Paluch, Rafal Augustyniak, Mai-Liis Org, Kalju Vanatalu, Ats Kaldma, Ago Samoson, Jan Stanek, *Front. Mol. Biosci.*, 29 March 2022

*Sec. Structural Biology*, Volume 9 - 2022 | <https://doi.org/10.3389/fmolb.2022.82875>

URL: <https://taltech.ee/en/departement-cybernetics/research-groups>

---