

# MEHAANIKA – LÕPUTU HULK UUSI PROBLEEME

Jüri Engelbrecht

Tallinna Tehnikaülikooli Küberneetika Instituut

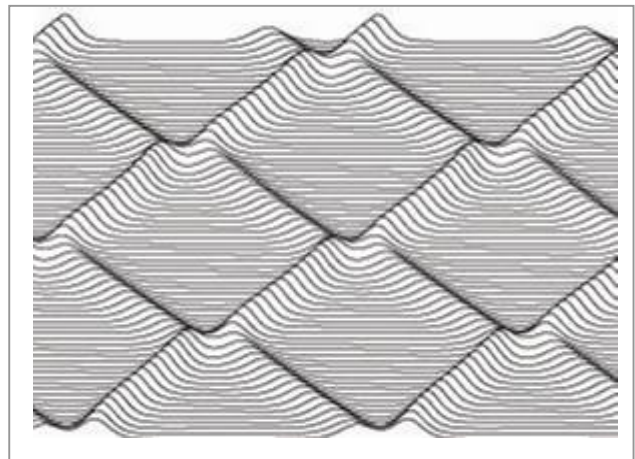
Tänapäeva mehaanikauuringud on seotud põnevate probleemidega ning tundub, et tegemist on Pandora laekaga, mille rikkus ikka ja jälle üllatusi pakub. Mehaanika põhiseoste ja meetodite varasaly on olnud hindamatuks abimeheks naaberdistipliinide väljakujunemisel. Alljärgnevalt on lühidalt kirjas ideed ja tulemused autori poolt juhitud uurimisgruppide tööst Tallinna Tehnikaülikooli Küberneetika Instituudis.

Pikem uuringute ajalugu on leidnud kirjeldamist varem [1], siin saab vaid paari põnevat probleemi lahata. Ometi tuleb alguses üldist tausta kirjeldada. Viimasel poolsajandil on kõigi mehaanika jäävuseaduste, formalismide, üldistuste jm kõrval esile kerkinud üks oluline võtmesõna – “mittelineaarsus”. See aditiivsuse hülgamist iseloomustav mõiste on rikastanud oluliselt arusaamist füüsikalistest protsessidest. Solitoni (üksiklaine) avastamine ja kolme keha (Päike, Maa, Kuu) liikumisülesande lahendamine on olnud aluseks mittelineaarsetele dünaamikale ja nüüd mõistame, mis on kaos, fraktal, perioodi kahendumine jne, jne.

On hea meel, et Nikolai Alumäe rajatud Küberneetika Instituudi mehaanikaosakond oli teadusmõtete arengu mõttes laia maailmaga samal teel. Mittelineaarsete lainelevi alased uuringud intensiivistusid viimase kümnendi jooksul. Mõnedki kokkuvõtted pärinevad sellest perioodist [2, 3]. Et uuringuid tõhustada, tekkis idee kõik sellelaadsed uuringud Eestis ühendada sünergeetiliseks tervikuks – Mittelineaarsete protsesside analüüsi keskuseks (Centre for Nonlinear Studies – CENS). Keskus tegutseb TTÜ Küberneetika Instituudi juures ning Kubi vastavate uurimisgruppide kõrval haarab ka mereteadust (Eesti Mereinstituudi üks rühm), signaalitöötlust (TTÜ biomeditsiinitehnika keskuse üks rühm) ja matemaatikat (TÜ puhta matemaatika instituudi geometria õppetool). CENSil on Rahvusvaheline nõukoda tuntud teadlastest ja tema aastaaruanded on aadressil <http://cens.ioc.ee> kergesti saadaval. Haridus- ja Tea-

dusministeerium tunnistas novembris 2002 CENS-i üheks teaduse tippkeskuseks Eestis ning korralisel evalvatsioonil said põhirühmad samuti kõrged hinnangud.

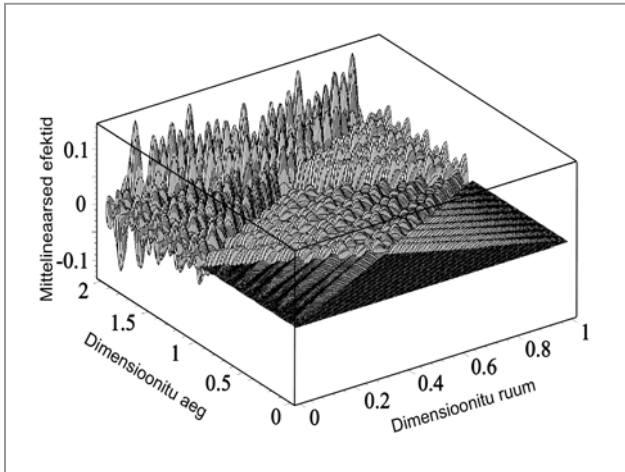
Nüüd aga probleemidest ja tulemustest. Solitonid teatavasti on ühed põnevad lained ning väärivad tähelepanu nii oma füüsikalise sisu kui ka lahendusmeetodite elegantsiga. Lained vee pinnal, lained disperseerivate omadustega materjalides (sulamid), jm kuuluvad siia klassi. Me oleme avastanud nn peidetud (virtuaalsed) solitonid [3], mis lisajõudude mõjul võivad võimenduda, oleme näidanud, millised on trajektoorie interaktsioonimustrid klassikalises mudelülesandes [5]. Oleme tuvastanud solitonide tekkemehhanismi keeruka mittelineaarsete potentsiaali ja kõrgemat järku dispersiooni korral. Joonis 1 kujutab ühte huvitavat solitonide võimendumisprotsessi, kus jõuvälja mõjul solitonide jada asemel levivad vaid üksiksolitonid. Õnnestunud on näidata, millised on kahedimensionaalsete solitonide interaktsioonil



Joonis 1.

Solitonide formeerumine jõuväljas; horisontaalteljel – ruumikoordinaat, vertikaalteljel – aeg, profiilid erinevatel ajahetkedel näitavad solitonide levi ja interaktsiooni.

tekkivate interaktsioonisolitonide omadused [6] ja kuidas lahendada pöördülesannet (teades interaktsioonimustrit määrata lainete amplituudid ja kiirused). Viimane probleem seob meid selgelt Eesti Me-reinstituudi uuringutega.

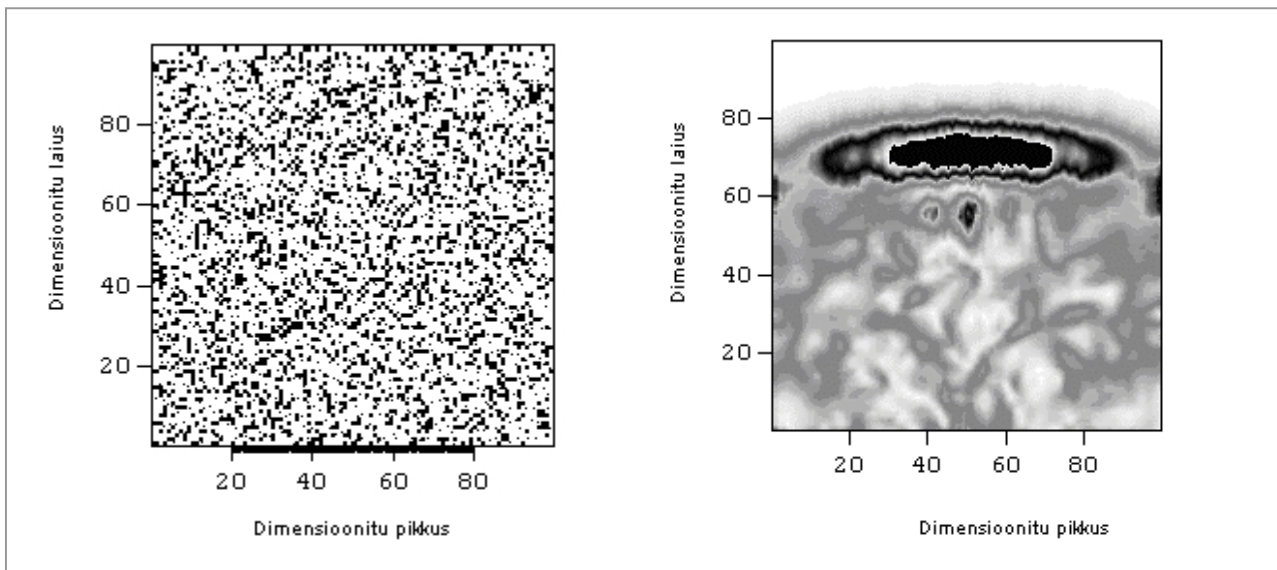


Joonis 2.  
Teise harmooniku käitumine kahe harmoonilise laine interaktsioonil.

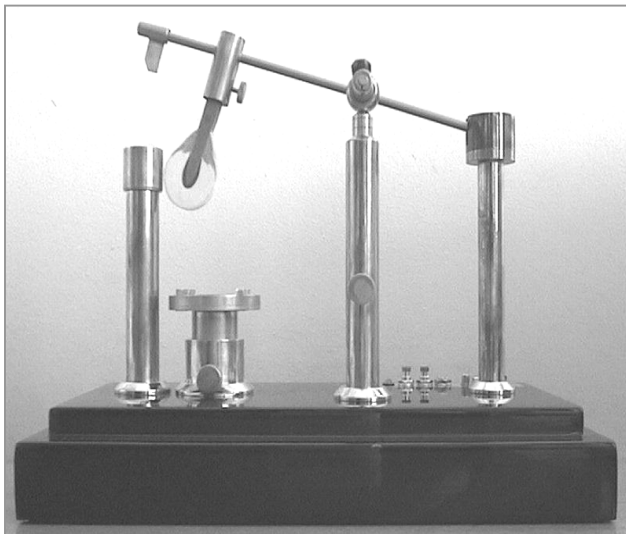
Me oleme koostanud algoritme materjalide omaduste akustodiagnostikaks [7, 8]. Uudne meetod, mis põhineb kahe sondeeriva laine interaktsiooni mõõtmisel, avab täiesti uued võimalused akustodiagnostikaks keerulise struktuuriga materjalide puhul. Joonis 2 näitab, kuidas areneb teine harmoonik kahe harmoonilise laine interaktsioonil (alghetkel eksisteerib vaid esimene harmoonik).

Tänapäeva materjalid on tihti iseloomustatud mikrostruktuuri ja faasiüleminekutega. Mikrostruktuuri modelleerimiseks on kasutatud sisemuutujate formalismi [9], faasiüleminekute mehhanismi iseloomustamiseks aga kontaktmuutujaid [10], mis täpsemini kui teised tuntud meetodid kirjeldavad termodünaamikat faasi piiri vahetus läheduses. Numbriline meetod paistab silma oma täpsusega [11] ja laiema kasutusvaldkonnaga – rakendus mikrostruktuuriga materjalide puhul (“functionally graded materials”) annab häid tulemusi [12]. Lainevälja ebaregulaarsused on selgelt tuvastatavad, nagu demonstreerib joonis 3.

Oleme uurinud koostöös Tallinna Klaverivabrikuga klaverihaamrite dünaamikat. Uus vilthaamri matemaatiline mudel [13] ning originaalne katseseade [14] (joonis 4) lubavad määrata klaverihaamrite karakteristikuid (joonis 5). Tulemused on äratanud suurt huvi.



Joonis 3.  
Lainelevi mikrostruktuuriga keskkonnas: vasakul – materjali jaotus, paremal – pikilaine väli.



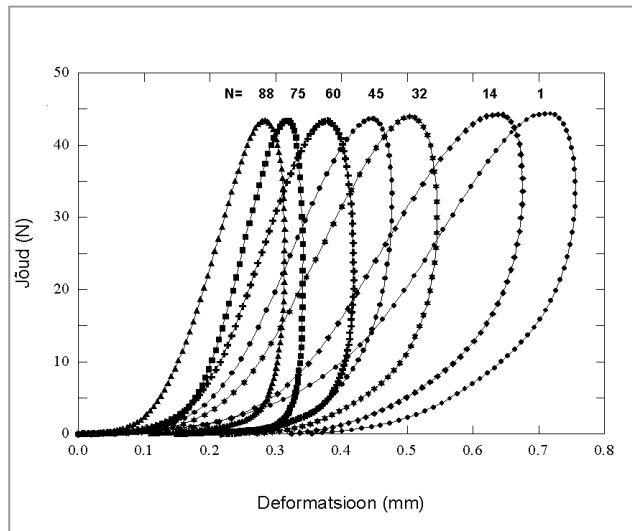
Joonis 4.

Klaverihaamri testimise seade.

Mehaanika on tihedalt seotud bioloogiliste protsessidega. Meie esialgsed ideed närviimpulsi modelleerimisel [15] on arendatud südamerütmide analüüsil [16]. On saanud selgeks, et pinged südamelihases sõltuvad oluliselt rakusisestest protsessidest. Sellalased uuringud *in silico* (s.o arvutis) on andnud suurepäraseid tulemusi, seostades makronäitajad (pinge, deformatsioon) südamelihase rakkude energiatarbimisega [17, 18]. Samal ajal saab fraktalite teooria meetodeid rakendada mõõdetud signaalide analüüsil, antud kontekstis just EKG signaalide analüüsil [19]. Lisateave tõhustab loomulikult diagnostikameetodeid.

Viimased näited iseloomustasid eriti selgelt mehaanika, füüsika ja bioloogia piirimaid. Pole ime, et seal tekkivad põnevad probleemid, mis lausa nõuavad lahendusi – turbulentsi kirjeldamine [20], eneseafiinsete pindade analüüs [21] jpm.

Tegemist on seega ülimalt põnevate probleemidega [22]. Osa nendest on jõudnud ka õppekirjandusse, seda just kaootiliste protsesside maailma kirjeldamisel [22, 23]. Loengukonspekte on ridamisi, oleme eriti hoolikalt suhtunud mehaanika süvaalustesse ning kursus “Pideva keskkonna mehaanika” saab järjest lihvi. Kuid ka solitonide seminar, faasiüleminiku protsesside lühikursus, matemaatilise modelleerimise alused jm on õppematerjalidega kaetud.



Joonis 5.

Abeli tüüpi klaverihaamrite koormuskõverad, N – haamri number.

Samuti koostame aeg-ajalt Eesti Teaduste Akadeemia Toimetiste erinumbreid, nii probleemikeskseid kui ka konverentsikeskseid.

CENS tunnetab enda vastutust mitut moodi – nii kraadiõppes kui ka rahvusvahelises koostöös, nii teadmiste edastamisel Eestis kui ka teadusorganisatsioonilises elus. On väga hea meel, et meil on säravate silmadega noored inimesed, on hea meel, et meil on järjepidevus, on hea meel, et ideedest napust pole. See viimane väide pole loomulikult üllatav, sest vaja ju ainult lahtiste silmadega ringi vaadata.

Koostöös Eesti Mereinstituudi ja Twente Ülikooliga mõtleme näiteks, kuidas kiirlaevade lained interakteeruvad Tallinna lahes, Euroopa Teadusfondi programmi “NATEMIS” raames mõtleme, milline võiks olla mesoskoopiliste materjalide akustodiagnostika, koos KBFI ja Grenoble’i Ülikooliga mõtleme rakuenergeetika mehhanismidele jne. Järge ootavad mitmed artiklid, monograafiad ja õpperaamatud. Ühte pole me veel välja mõelnud – kuidas ööpäeva pikendada...

Ma ei nimetanud siin nimesid, viited annavad teatud ülevaate anno 2002. Juba järgmisel aastal oleks sellises ülevaates uusi nimesid, sest kraadiõppurid töötavad usinalt.

## VIIDATUD KIRJANDUS

1. Kutser, M. Mechanics at the Institute of Cybernetics. Proc. Eston. Acad. Sci. Eng., 2000, 6, 235-251.
2. Engelbrecht, J. An Introduction to Asymmetric Solitary Waves. Longman, Harlow, 1991.
3. Engelbrecht, J. Nonlinear Wave Dynamics: Complexity and Simplicity. Kluwer, Dordrecht, 1997.
4. Salupere, A., Maugin, G.A., Engelbrecht, J. Korteweg- de Vries soliton detection from a harmonic input. Phys. Lett. A, 1994, 19, 9-23.
5. Salupere, A., Engelbrecht, J., Peterson, P. Long-time behaviour of soliton ensembles. Chaos, Solitons & Fractals, Part I, 2002, 14, 1413-1424; Part II, 2003, 15, 29-40.
6. Peterson, P., Groesen, E. van. A direct and inverse problem for wave crests modelled by interactions of two solitons. Physica D, 2000, 141, 316-322.
7. Ravasoo, A. Nonlinear waves in characterization of inhomogeneous elastic material. Mech. Materials, 1999, 31, 205-213.
8. Ravasoo, A., Janno, J. Nondestructive characterization of materials with variable properties. Acta Mechanica, 2001, 151, 217-233.
9. Engelbrecht, J., Cermelli, P., Pastrone, F. Wave hierarchy in microstructured solids. Maugin, G.A. (ed). Geometry, Continua and Microstructure. Hermann Publ., Paris, 1999, 99-111.
10. Maugin, G.A., Berezovski, A. Material formulation of finite-strain thermoelasticity and applications. J. Thermal Stresses, 1999, 22, 421-449.
11. Berezovski, A., Maugin, G.A. Simulation of thermoelastic wave propagation by means of a composite wave-propagation algorithm. J. Comput. Phys., 2001, 168, 249-264.
12. Berezovski, A., Engelbrecht, J., Maugin, G.A. Numerical simulation of two-dimensional wave propagation in functionally graded materials. Eur. J. Mech. A/Solids (submitted).
13. Stulov, A. Hysteretic model of the grand piano hammer felt. J. Acoust. Soc. Amer., 1995, 97, 2577-2585.
14. Stulov, A., Mägi, A. Piano hammer testing device. Proc. Eston. Acad. Sci. Eng., 2000, 6, 259-267.
15. Engelbrecht, J. On theory of pulse transmission in a nerve fibre. Proc. Roy. Soc. London, 1981, A 375, 195-209.
16. Kongas, O., Herten, R. von, Engelbrecht, J. Bifurcation structure of a periodically driven nerve pulse equation modelling cardiac conduction. Chaos, Solitons & Fractals, 1999, 10, 119-136.
17. Vendelin, M., Kongas, O., Saks, V. Regulation of mitochondrial respiration in heart cells analyzed by reaction-diffusion model of energy transfer. Am. J. Physiol. Cell Physiol., 2000, 278, C747-C764.
18. Vendelin, M., Bovendeerd, P.H.M., Arts, T., Engelbrecht, J., Campen, D.H. van. Cardiac mechanoenergetics replicated by cross-bridge model. Ann. Biomed. Eng., 2000, 28, 629-640.
19. Kalda, J., Säkki, M., Vainu, M., Laan, M. The methods of nonlinear dynamics in the analysis of heart rate variability for children. Med. Biol. Eng. and Comp., 1997, 37, Suppl. 1, 27-32.
20. Kalda, J. Simple model of intermittent passive scalar turbulence. Phys. Rev. Lett., 2000, 84, 471-474.
21. Kalda, J. Description of random Gaussian surfaces by a four-vertex model. Phys. Rev. E, 2001, 64, 020101(R).
22. Engelbrecht, J. Beautiful dynamics. Proc. Eston. Acad. Sci. Phys. Math., 1995, 44, 108-119.
23. Engelbrecht, J., Uus, A. Mittelineaarne dünaamika ja kaos. Tallinn, Tartu: TA Kirjastus, 1993.
24. Lepik, Ü., Engelbrecht, J. Kaoseraamat. Tallinn: TA Kirjastus, 1999.