

LAINETAV LÄÄNEMERI EESTI TEADLASTE PILGU LÄBI

Tarmo Soomere

Tallinna Tehnikaülikooli küberneetika instituut

MERI TORMAB JA LAINETAB

Viimastel aastatel on meri käitunud väga agressiivselt. Kohe 2006 algul, 11. jaanuaril registreeriti Norra merel Põhja-Atlandi lainekõrguse kõigi aegade rekord (M. Reistad, Norra meteoteenistus, personaalne informatsioon). Oluline lainekõrgus (mis on ligikaudu 1/3 kõrgeimate lainete keskmisest kõrgusest ja väljendab üsna täpselt seda lainekõrgust, mida me merele vaadates lainete tüüpiliselt kõrguseks pakume) oli 17 meetrit ja kõrgeim üksiklaine üle 27 meetri. Inimesed on mere agressiivsusele jõudumööda vastanud – näiteks 2006 kevadtalv läheb annaalistesse Eestit viimasel ajal tabanud suurimate õlireostuste kaudu.

Eelmine (2005) aasta tuletas mitmes maailma paigas meelde, et mere jõud käib inimeste omast üle. Sügistormid Eestis möödusid õnneks suuremate vahejuhtumiteta. Väikesest hirmutamisest hoolimata vesi novembris siiski üle rannajoone ei tulnud. Märksa põnevam oli hoopis haruldaselt tugeva kagutuulega tekkinud lainetuse nähtus Soome lähel Helsingis toimunud kergejõustiku maailmameistrivõistluste ajal. Suvel ja sügisel püstitasid orkaanid Katrina, Wilma ja Rita järjestikku Mehhiko lahe ja Lääne-Atlandi tuule kiiruse rekordeid. Katrina ei osutunudki sisemaale jõudes nii kangeks, kui algul kardeti. Sellest hoolimata lõhkus ta New Orleansi kaitsetammid, tappis üle tuhande inimese ning tekitas astronoomilise materiaalse kahju.

LAINEID ON LÄÄNEMEREL IKKA OLNUD

Märkmeid lainetuse omaduste kohta Tallinna Vanasadamas tehti juba 19. sajandi algul (R. Vahter, personaalne informatsioon). Eesti Meteoroloogia

Katrinale eelnenud poolaastal laekus järjestikku teateid laevu tabanud hiidlainetest [Didenkulova jt, 2007]. Kaks suurt matkalaeva, Grand Voyager (14. veebruaril Vahemerel) ja Norwegian Dawn (16. aprillil Kariibi merel), pääsesid kerge ehmatusega. Esimesel purunesid kaptenisilla aknad ja teisel mitmed veeliinist ligi 20 meetri kõrgusel paiknevad kajutite aknad. Kehvemini läks kaubalaeval Jökulfell, mille lained 7. veebruaril Fääri saarte lähistel kummuli keerasid ja mis viis endaga märga hauda kuus Eesti meremeest. 2004. aasta teisel jõulupühal tappis tsunami India ookeani rannikuil ligikaudu veerand miljonit inimest. Mõni kuu varem, 15. septembril 2004 püstitas orkaan Ivan kõigi aegade olulise lainekõrguse maailmarekordi 17,9 meetrit. Kõrgeim registreeritud üksiklaine oli 27,7 meetri kõrgune [Wang jt, 2005]. Maailmas on haruharva kohatud veel kõrgemaid laineid.

Nende sündmuste taustal tundub kohatu kõneleda Eesti randasid räsivatest tormidest ja nende poolt tekitatud lainetest. Isegi Gudruni-nimelises jaanuaritormis 2005 sai surma vaid üks vanamemm, kes ei tahtnud kodunt ära minna. Merel ei läinud põhja ühtegi laeva. Siiski tõi see torm maailma kindlustusfirmadele aasta neljanda väljamakse (Eesti Ekspress, 10(848), 9.03.2006). Kolm esimest olid eelnimetatud Kariibi mere orkaanid. Et sündmused meie kodusel Läänemerel on võrreldavad maailma suurimate tormidega, ei ole päris tavaline.

ja Hüdroloogia Instituudi mitmes rannikujaamas on aastakümnete jooksul regulaarselt vaadeldud lainetuse omadusi. Möödunud sajandi teisel poolel

koostati lainetuse omaduste atlased Läänemere avaosa ja Soome lahe kohta [Rzheplinsky, Brekhovskikh, 1967]. Lainetuse kohalike omaduste arvu- tusteta (1980ndatel aastatel enamasti Venemaa või Soome teadlaste poolt, edaspidi põhiliselt prof U. Liivi meeskonna poolt) pole teostatud ühtegi suuremat vesiehitusprojekti.

Süsteemaatilised avamerelainetuse omaduste uurin- gud Eestis ning nende tulemuste üldistamine tea- duspublikatsioonide näol algasid viimasel sajandi- vahetusel seoses Saaremaa süvasadama võimalike asukohtade hüdrodünaamilise ja geoloogilise analüüsiga [Elken jt, 2001; Liiv, Liiv, 2001; Soomere, 2001a, 2003b]. Uue sajandi algul kerkisid tähelepanu keskmesse kiirlaevalainetega seondu- vad küsimused [Soomere, Rannat, 2003; Soomere jt, 2003ab; Soomere, Kask, 2003], mille juurest jõuti ühe hiidlaineid tekitava mehhanismi mõist- miseni [Peterson jt, 2003; Soomere 2004, 2006b;

Soomere, Engelbrecht, 2005ab, 2006]. Laevalai- nete spetsiifika mõistmiseks oli kõigepealt tarvis põhjalikult analüüsida kohaliku tuulelainetuse omadusi. Lainetuse ja veetaseme alastele uuringu- tele andis hoogu juurde 2005 jaanuaritorm, mis oluliselt modifitseeris ekspertide arusaamu meie kandis võimalike kõrgeimate veeseisude [Suursaar jt, 2006] ja ekstreemsete lainetuse tingimuste kohta [Soomere, 2006a; Soomere jt, 2006a].

Kuna kõrged lained tekivad vaid tugevate ja so- bivast suunast puhuvate tuultega, piirneb lainetuse uuringutega seeria avamerel puhuvate tuulte ana- lüüsile pühendatud töid [Soomere, Keevallik, 2001, 2003; Keevallik, 2003ab; Soomere, 2001b]. Kaasaegseid lainemudeleid on rakendatud ka lainetuse mõju analüüsil põhjasetete kujunemisele ja liikumisele. Saadud tulemused on esialgu pub- litseeritud konverentsiettekannete tasemel [Elken jt, 2002; Soomere jt, 2006b].

MEIE MERI ON TAVALISELT PÄRIS ARMAS JA RAHULIK

Lainetuse omadusi Eesti rannavetes on seoses 1980. a olümpiamängudega [Orlenko, 1984] ning hiljuti seonduvalt kiirlaevaliikluse problemaati- kaga kõige detailsemalt käsitletud Tallinna lahel [Soomere, 2003, 2005a]. See on üks tavaline Põhja-Eesti laht, mis on varjatud nii meil valit- sevate edelatuulte eest kui ka Soome lahel suhteli- selt sagedasti esinevate ida(kirde) ja läanetuulte eest [Soomere, Keevallik, 2003], kuid praktiliselt avatud loode- ja põhjatuulte jaoks. Just need tuu- led tekitavad tavaliselt põhjaranniku lahtedes kõr- geimaid laineid. Tallinna lahte pääseb Naissaare ja mandri vahelt ka osa Läänemere avaosas tekkinud laineid.

Aasta keskmine oluline lainekõrgus on lahe kesk- osas, ligikaudu Rohuneeme sadama traaversil, üs- na tagasihoidlik, vaid 40 sentimeetrit ehk paras põlvekõrgune loksumine. See on rehkendatud jää- katet ignoreerides. Kui ka jää arvesse võtta, oleks tulemus veel väiksem. Soome lahe keskosas on aasta keskmine oluline lainekõrgus 60 sentimeetri ringis. Samas näitavad arvutimudelid, et ühes kor- ralikus põhjalooode tormis võib oluline lainekõrgus

Tallinna lahe avaosas tõusta üle nelja meetri ning kõrgeimad üksiklained võivad ulatuda 7 meetri kõrguseni [Soomere, 2005a]. Nõnda juhtus tõe- näoliselt 15. novembril 2001, mil Helsingi lähistel mõõdeti oluliseks lainekõrguseks 5,2 meetrit [Pettersson, Boman, 2002].

Ekstreemne lainekõrgus on niisiis ligikaudu küm- me korda suurem keskmisest. See on märksa suu- rem erinevus kui keskmise ja ekstreemse tuule kii- ruse vahel. Aasta keskmine tuulekiirus on näiteks Soome lahel sõltuvalt mõõtekohast 6–8 m/s, kuid korralikus tormis “vaid” 20–25 m/s. Üks kord 100 aasta kohta võib Soome lahel kolme tunni kesk- mine tuulekiirus olla 24–26 m/s [Soomere, Kee- vallik, 2003]. Ülal nimetatud 2001 novembri- tormis ulatus kuue tunni keskmine tuulekiirus Soome lahel 23 m/s (T. Tomson, personaalne informatsioon) ja 2005 jaanuaritormis jäi alla 20 m/s [Suursaar jt, 2006]. Seega on ülitugevas tormis tuulekiirus vaid kolm korda suurem aasta keskmisest tuulekiirusest. Kirjeldatud erinevus peegeldab tõsiasja, et paljudel juhtudel kasvab lainekõrgus võrdeliselt tuulekiiruse ruuduga.

LÄÄNEMERE KÕRGEIMAD LAINED

Kõrgete lainete tekkimiseks peab kõva tuul puhuma suhteliselt suurel merealal üsna pikka aega. Läänemeri on ookeanidest palju väiksem. Meie laiuskraadidel on ka tsüklonid suhteliselt väikesed, mistõttu tormid sageli ei kata Läänemerd tervikuna ühtlase tuulega, vaid erinevatel merealadel puhub tuul erinevatest suundadest. Seetõttu on lained Läänemere avaosas rusikareeglina kaks korda väiksemad kui avaookeanil ning Läänemere suuremates lahtedes (Botnia meri, Soome laht, Riia laht) veel kaks korda väiksemad.

Tormituuled puhuvad meie kandis enamasti edelast või põhjaloodest. Selle taga on põhiosas tsüklonite trajektoori iseärasused, aga natuke ka asjaolu, et Läänemeri on justkui lõunaedela-põhjakirde suunas välja venitatud tänav. Ja eks tuul kipub ikka puhuma piki tänavat. Kõrgeimad lained jõuavad seetõttu üldiselt kas Soome edelarannikule (riivates seejuures Saaremaa ja Hiiumaa rannavesi) või Poola looderannikule.

Läänemere põhjapoolses osas on seni registreeritud suurim oluline lainekõrgus 7,8 m Almagrun-

LAINETAV LÄÄNEMERI 2005 JAANUARIS

Viimase 25 aasta jooksul registreeritud lainetuse andmete foonil tundusid 2005. a 8.–9. jaanuariks antud operatiivsed lainetuse prognoosid esialgu ulmelistena. Saksamaa ilmteenistus prognoosis Soome lahe suudmes oluliseks lainekõrguseks üle 12 meetri. Kõrgeimad üksiklained ulatunuksid üle 20 meetri, mis oleks tähelepanuväärne ka Kariibi mere kõige kangemate orkaanide puhul. Umbes sama kõrgeks hindas tekkivat lainetust ka Taani Meteoroloogia Instituut. Soome Mereinstituut prognoosis Hiiumaa ja Stockholmi vahel oluliseks lainekõrguseks ligi 11 meetrit [Soomere jt, 2006a].

Meie õnneks (ja lõunanaabrite õnnetuseks) liikus torm veidi vähem põhja poole kui algul arvatud ning laastas suurima jõuga Lätimaad, mis jäi pea-aegu ruutkilomeetri võrra väiksemaks [Eberhardts, Saltupe, 2006]. Ventspilsi sadama sissesõidutee sügavus vähenes tormi ajal 17 meetrilt 10–11

detil Rootsi ranniku lähistel ööl vastu 13. jaanuari 1984 [Broman jt, 2006]. Teistes allikates on nimetatud veel väärtusi 7,3 m ja 7,7 m [Kahma jt, 2003]. Samas tormis registreeriti ka 12,75 m kõrgune üksiklaine.

Paar päeva enne Kagu-Aasia tsunamit, 22. detsembril 2004 fikseeriti Hiiumaa ja Stockholmi vahel avamerel oluline lainekõrgus 7,7 m ja uus üksiklaine kõrguse rekord 14 m (Soome Mereinstituut, www.fimr.fi).

Lainekõrgus üle 7 m on Läänemere üsna haruldane. Alates 1978. aastast on seda lisaks märgituule juhtunud veel kahel korral – 1999 detsembris [Kahma jt, 2003] ning viimati 2005 jaanuaritormis [Soomere jt, 2006a]. Tõenäoliselt olid lained väga kõrged ka 1993 jaanuaris; siis aga olid mõtteseadmised rivist väljas [Kahma jt, 2003]. Eksperdid olid varem arvamusel, et oluline lainekõrgus Soome lahes ei tohiks ületada 4 m [Pettersson, 2001]. Ilmataat ei olnud ilmselt sellega kursis ning puhus 2001 novembris välja 5,2 m [Pettersson, Boman, 2002] ja 2005 jaanuaris 4,5 m [Soomere, 2006a].

meetri [Soomere, 2005b]. Väinameri pesti sõna otseses mõttes kaks korda läbi Läänemere avaosas veega [Suursaar jt, 2006]. Kõrgeimad lained esinesid lainemõõturitest eemal, Saaremaast edelas, kus oluline lainekõrgus oli ligi kümme meetrit ja üksiklained võisid olla 17–18 meetri kõrgused [Soomere jt, 2006a]. Mõõdetud olulise lainekõrguse maksimumiks jäi seetõttu “vaid” 7,2 meetrit, mis on viies-kuues tulemus Läänemere kõigi aegade edetabelis.

Selle tormi puhul ei täheldatud erakordset tuulekiirust, mis näiteks Saksamaa ilmteenistuse mudeli alusel ulatus Läänemerele 10 minuti keskmisena veidi üle 29 m/s (A. Behrens, personaalne informatsioon 2005). Ühtlase läänetuulega oli kaetud kogu Läänemere avaosas [Soomere jt, 2006a]. Tavaliselt on tugeva tuulega kaetud ala märksa kitsam ja tuul pigem edelast või loodest. Kuna tuule suund Eesti mandriosas oli edelast, ei osanud

ka paljud kogenud eksperdid Gudruni karta. Kui aga jutt on mere reaktsioonist mingile tormile, olgu siis veetaseme või lainete seisukohalt, on olu-

line just see, mis toimub avamerel. Rannik on lihtsalt koht, kus tuule poolt veemassidele antud energia realiseerub.

SUURUS POLE AINUTÄHTIS, EHK LAINETEL ON PEALE KÕRGUSE VEEL KA PIKKUS

Ägeda maruga võivad lained kasvada küll üsna kõrgeks, kuid pikad lained pole igapäevane nähtus. Selleks peab tugev tuul puhuma ulatuslikul merealal. Pindala poolest väikestes meredes ja järvedes on seetõttu tuulelained alati suhteliselt lühikesed.

Enamasti iseloomustatakse laineid nende perioodi kaudu, mida on märksa lihtsam mõõta kui lainete pikkust. Mida pikemad lained, seda suurem periood. Tallinna lahel on lainete perioodid tavaliselt 2–3 sekundit, tugevates tormides 5–6 sekundit ning vaid ekstreemsetel puhkudel (näiteks 15. novembril 2001) ulatuvad 7–8 sekundini. Ummiklainete periood on vahel 7–8 sekundit ja enamgi, aga samas on nende kõrgus tavaliselt mõnikümne sentimeetrit [Orlenko, 1984; Soomere 2003a, 2005a]. Suuresti kujundavad sellist lainekliimat Naissaar ning madalad alad lahe suudmetes, mis varjavad lahte Läänemere põhjaosast tulevate pikkade ja kõrgete lainete eest. Soome lahel on lainete tüüpilised perioodid ligikaudu sekundi võrra pikemad. Erakordselt pikad olid 2005. aasta jaanuaritormi lained: Soome lahel oli mitme meetri kõrguste lainete periood paljude tundide vältel 11–12 sekundit [Soomere, 2006a]. Lainete jõust selles tormis on vaid kaudseid märke, näiteks lõhutud Aegna muul või Ristna sadam Harjumaal. Lainete pikkus kombineerituna kõrge veeseisuga oli tegelikult põhjuseks, miks paljud väikesadamad nii kõvasti räsida said.

Pikkade lainete tekitamise vallas ei suuda aga tuul võistelda kiir-laevadega. Kõrgeimate kiir-laevalainete perioodid on Tallinna lahel 8–15 sekundit [Soomere, Rannat, 2003], seega märksa suuremad kui tuulelainete perioodid siinkandi kangeimates tormides. Paljudes Tallinna lahe rannavööndi lõikudes ületab üle 8 sekundi perioodiga laevalainete kõrgus iga päev meetri, keskmiselt ulatub see kaks kuni kolm korda päevas üle 80 cm. Aegna lähistel

on päeva kõrgeimate laevalainete periood 10–15 sekundit. Kui 2005 jaanuaritorm välja jätta, võib julgelt öelda, et vähemalt viimase paarisaja aasta jooksul pole Tallinna lahe siseosas niisuguseid laineid olnud. Teisisõnu, need kujutavad endast kvalitatiivselt uut hüdrodünaamilise aktiivsuse komponenti [Soomere jt, 2003ab; Soomere, 2005c].

Kiir-laevalained ei pruugi laevatee lähistel olla sugugi kõrgemad kui tavalaevade lained või tuulelained. Pikad laevalained on avamerel vaevu märgatavad nagu tsunamigi ning ei sega seal kedagi. Nende spetsiifilised jooned avalduvad sageli laevateest kaugemal ning tulenevad pinnalainete üldistest omadustest. Sügavas vees liiguvad pikemad lained märksa kiiremini kui lühemad, mistõttu laevalainete energia hajub üsna kiiresti üha suuremale merealale. Madalas vees levivad erinevad lained aga peaaegu võrdse kiirusega. Pikkus on siin suhteline mõiste – pikad on need lained, mille pikkus on märksa suurem vee sügavusest. Põhiosa kiir-laevalainetest on Tallinna lahe tingimustes väga pikad, mistõttu käigulainete erinevad komponendid liiguvad peaaegu võrdse kiirusega. Seetõttu püsib kiir-laevalainete rühm kaua kompaktsena ning üksikute lainete kõrgus väheneb laevateest eemal üsna aeglaselt.

Teine mehhanism, mis piirab tormilainete kõrgust, on lainete difraktsioon ehk laineharjade pikene-mine. Selle tulemusena jaotub lainete energia jär-jest laiemale merealale. Kõrgeimad kiir-laevalained on ülipikkade, peaaegu sirgete harjadega juba tekkides. Seetõttu mõjutab harjade pikene-mine nende kõrgust märksa vähem. Just selline oli ka Kagu-Aasia tsunami kõrgeim, sirge laineharjaga osa, mis tegi palju pahandust veel Aafrika rannikul (Horisont, 2005, nr 2). Kiir-laevalainete rühmad võivad jõuda ohtlikult kõrgetena märkimis-väärselt kaugel paiknevatele aladele [Soomere,

2005c] ning suurendada seal tunduvalt hüdrodünaamilist aktiivsust. Kiirlaevalained jõuavad rannaaladele kaua aega pärast laeva möödumist, mil supleja või paadimees ei oska enam midagi karta. Rannikumere ja selle ökosüsteemi jaoks on taolised lained sageli midagi väga haruldast, eriti seetõttu, et laevalained tulevad vahel suunast, kust

tormilaineid pole oodata. Sellest ka nende mõju merepõhjale, mis esimeses lähenduses avaldub peeneteraliste setete resuspensioonina, merepõhja erosioonina ning vee kvaliteedi halvenemisena põhjalähedases veekihi [Soomere, Kask, 2003; Erm, Soomere, 2004, 2006].

KIIRLAEVALAINED MÕRVARLAINETE MUDELINA

Möödunud sajandi lõpuni peeti jutustusi hiidlainetest, mis purustavad kõik inimkättega tehtu, osaks meremeeste mütoloogiast. Need lained, mida on sageli hüütud ka mõrvarlaineteks, olevat justkui tapvad veevallid, väidetavalt palju kõrgemad teistest sama tormi lainetest ning seejuures ülimalt järsud. Kuni vastavad instrumentaalselt mõõdetud andmed puudusid, olid eksperdid taoliste lainete osas skeptilised. Laevalt silmaga hinnatud või satelliitidelt kaudsete meetoditega mõõdetud lainekõrgused võivad ju vahel olla üsna ebatäpsed. Tuulelainete parameetrid on aga suhteliselt hästi teada. Üllatusi võivad muidugi pakkuda senistest tugevamad tormid või ebatavalisest suunast puhuvad tuuled.

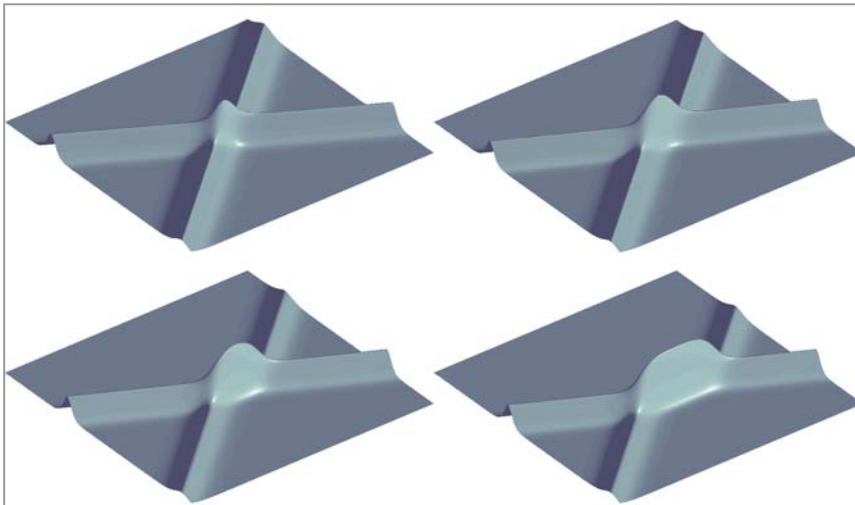
Praeguseks on veendunud, et mõrvarlained on täiesti reaalsed struktuurid. Lõuna-Aafrika lähistel Agulhase hoovuse piirkonnas on tihti kogetud ebanormaalselt kõrgeid ja järsked laineid, mis on lõhkunud hulga laevu [Lavrenov, Porubov, 2006]. Põhjamerel Draupneri naftaplatvormil fikseeriti 1. jaanuaril 1995, vaid mõni kuu pärast Estonia hukkumist, suhteliselt tagasihoidlikus tormis laine, mille hari ulatus merepinnast enam kui 18,5 meetrit kõrgemale. Lainekõrguste klassikalise statistika kohaselt tohiks selliseid laineid esineda vaid kord kümnete tuhandete aastate jooksul [Trulsen, 2007].

Väga kõrgeid laineid võib esineda paljudel põhjustel. Nii hoovused kui ka ebatasane merepõhi võivad koondada laineid ühte kohta nii, nagu suurendusklaas koondab päikesekiiri. Lainekõrgus suureneb märgatavalt, kuid lainepikkus ei muutu – seega on lained märksa järsemad. Agulhase hoovus on üks sellistest paikadest. Taoline ala paikneb ka Undva lähistel Saaremaa rannas, Harilaiust

veidi avamere poole [Soomere, 2001a, 2003b]. Lained võivad liituda ka väikeste saarte alltuulepoolisel küljel, kus seetõttu ei maksa tormivarju otsida.

Sageli registreeritakse aga üksikuid väga kõrgeid laineid, mida ei saa põhjustada ei hoovused ega veealused mäed. Möödunud sajandi keskel märgati, et teatava nurga all lainemurdja poole levivate lainete harjad võivad ulatuda märksa kõrgemale laine kahekordsest kõrgusest. Avamerelt saabuvad lained muutuvad madalas vees sarnaselt tsunamile solitonilaadseiks üksikute veevallidena levivateks laineteks. Saabuva ja peegeldunud laine harjad liituvad lainemurdja lähistel üheks tervikuks. Ühise harja kõrgus on enamasti lähedane lainete kõrguste summale. Kui aga laine kõrgus, selle harja ja lainemurdja vaheline nurk ning vee sügavus juhtuvad olema sobivas vahekorras, võib laine kõrgus tõusta neljakordseks.

Taoline mehhanism, mis on sisuliselt Machi peegelduse analoog, võib veepinna kõrgeks kergitada ka ilma peegeldava seinata. Selleks on tarvis kaht kindla nurga all lõikuvat solitoni. Tormisel merel on solitonilaadsed lained üsna haruldased. Nende lõikumine on eriti ebatavaline, kuna suuremad lained levivad enamasti ühes suunas. Selline protsess on võimalik näiteks üsna madalal Põhjamerel, kus võivad päris sageli kohtuda erinevatest suundadest saabuvad mitme meetri kõrgused lained. Nende interaktsioonil tekkivate struktuuride omadused ei erine kuigi palju Draupneri uusaastalaine omadustest [Soomere, Engelbrecht, 2006]. Kui see protsess avaldub Agulhase hoovuse piirkonnas, kujunevad sealsed lained tõelisteks mõrvariteks [vt viidet autorile töös Lavrenov, Porubov, 2006].



Sobiva nurga all lõikuvatest solitonidest võib moodustuda hoopis muus suunas leviv ohtlikult järsk laine.



Madalas vees tuleb solitoni-laadseid laineid ja nende lõikumist ette palju sagedamini kui oskame oodata. Tuleb vaid õige nurga alt vaadata. Detail Lauri Ilisoni fotost Kauksi rannas [Soomere, Engelbrecht, 2006].

Sel moel tekkinud ülikõrgedained võivad olla pika elueaga. Nendega kohtumise tõenäosus on seega märksa suurem kui võiks arvata sobivate parameetritega solitoni-laadsete lainete tekkimise sageduse alusel. Muidugi ei lahenda ka see suhteliselt madalas, maksimaalselt saja meetri sügavuses vees toimiv mehhanism lõplikult mõrvarlainete tekkimise ja omaduste küsimusi. Avaookeanis toimuvaid nähtusi sellega selgitada ei saa.

Kõrge laine ei pruugi veel ohtlik olla. Solitonide lõikumisel toimib aga veel üks mehhanism, mis teeb olukorra märksa kardetavamaks. Nimelt surutakse veemägi pikisuunas tugevasti kokku, nii et veepinna maksimaalne kalle on kuni kaheksa korda suurem selle kaldest lõikuvates lainetes [Soomere, Engelbrecht, 2005a]. Kohtumine taolise järsu veevalliga võib lõppeda õnnetult isegi nüüdisaegsetele laevadele. Paljudel juhtudel, eriti siis,

kui lõikuvate lainete kõrgused erinevad märgatavalt, muudavad lainete harjad lõikumiskoha lähistel suunda [Soomere, 2004; Soomere, Engelbrecht, 2005b, 2006]. Väiksemat lainet ei pruugi siis laevalt keegi tähelegi panna, kuid suured lained tulevad äkitselt hoopis teisest suunast. Ootamatu löök laeva külje pihta on aga eriti ohtlik.

Tallinna lähel toimivad suurepärase solitonide tekitajatena suured kiirlaevad [Soomere jt, 2005]. Liiklus on nii tihe, et laevade tekitatud lainete energia moodustab Tallinna lahe lainete koguenergiast 5–8% ja lainete koguvõimsusest 18–35%

JALAD JÄISES VEES

Lõpetuseks tuleme veel kord tagasi 2005 jaanuaritormi juurde. Selle kõige vapustavamaks silmaga nähtavaks tulemuseks oli erakordselt kõrge veetaseme praktiliselt kogu Eesti rannikul [Suursaar jt, 2006]. Tavaliselt uputab meri väikest osa Eesti rannikust ning seni on veetaseme rekordid sündinud kas põhja- või läänerrannikul, mitte kunagi aga mõlemas kohas korraga.

Erakordselt kõrge veetaseme tekkimiseks peavad olema kõigepealt täidetud ülalmärgitud tingimused kõrgete lainete tekkimiseks, pluss veel mõned nõuded. Tuule suund peab sobima ranna geometriaga, vähemalt sedavõrd, et tuul puhuks merelt maa poole. Lisaks sellele peab tuul olema kas väga ühtlane (sest ka väikese vaheaja puhul vajub tormi poolt üles aetud ajuline lihtsalt laiali) või siis olema konkreetse mereala jaoks sobiva mustri (näiteks täpselt sobituma eelmise tormi poolt tekitatud veemasside liikumisega). Teisisõnu, korralik üleujutus saab tekkida ainult siis, kui merel on väga kõrged lained ning rahuldatud veel mõned tingimused. Seda mõttekäiku kinnitab ka statistika: kui alates 1978. aastast on oluline lainekõrgus Läänemerele ületanud 7 meetrit viiel-kuuel korral, siis Pärnus on vesi tõusnud üle kriitilise piiri vaid ühel korral.

Seekordne veetõus kestis Pärnus haruldaselt kaua, ligikaudu 12 tundi. Senised rekordid on sündinud lühiajaliste veetõusudena, mille kestuseks paar-kolm tundi [Suursaar jt, 2003]. Üleujutuse kestus

[Soomere jt, 2003ab]. Märgatava osa sellest moodustavad solitonilaadsed lained. Need on osutunud väga põnevateks mudeliks nii hiidlainete tekkimise analüüsil kui ka tsunami purustusjõu hinnangutes [Didenkulova jt, 2006]. Mittelineaarsete omaduste roll laevalainete summaarses mõjus võib sageli olla märkimisväärne [Soomere jt, 2005] ning nende lõikumisel tekkinud struktuurid võivad teha palju pahandust [Soomere, 2006b]. Nõnda on Tallinna lahe kiirlaevaliikluse analüüsist sündinud palju põnevat avamerel mõjuvate ohtude täpsemaks kirjeldamiseks ja vältimiseks.

on üks kriitilisi faktoreid. Kui Kagu-Aasia tsunamis oli tegemist peaaegu vannisooja veega ja maksimalselt mõnekümne minuti pikkuse veetulvaga, kus peamiseks ohuks rusude vahele jäämine, siis paljude tundide pikkuses hulpimises jaanuarikuuises Läänemere vees, isegi kui see ulatub vaid põlvini, on ellujäämise tõenäosus väga väike.

Vale oleks küsida, kas seda tüüpi ulatuslikud veetõusud Eesti rannikul saavad korduda. Tuleb hoopis küsida, millal ja kui kaugelt tuleb vesi sisemaale järgmises tugevas tormis. Vanajumal oli seekord tegelikult armuline. Kui tuule suund oluks vaid 20 kraadi võrra enam lõuna poole, oleks veetaseme Pärnus tõenäoliselt jõudnud 3 meetrini [Suursaar jt, 2006]. Tuul oli Liivi lähel juba natuke nõrgenenud võrreldes Läänemere avaosaga. See võinuks olla ka paari meetri võrra sekundis tugevam. Iga meeter sekundis annab hinnanguliselt 27–30 cm Pärnu veetasemele juurde [Suursaar jt, 2003].

Tuule suuna muutumise ja tugevnemise korral jõudnuksid Pärnu lahte märksa kõrgemad lained, mis omakorda oleks veetõusu vähemalt kümme-kond sentimeetrit panustanud. Kui Pärnu lahes on veetaseme ligi 3 m üle tavalise, saavad seal esineda märksa kõrgemad lained kui tavalistes tormides. Pisemaid põhjusi veetaseme tõusuks on veelgi, nii et praegustes klimatoloogilistes tingimustes tuleb lugeda veetaseme tõusu tehnilise maksimumi ligikaudseks hinnanguks Pärnus Gudruni-taoliste tormide puhul neli meetrit (Horisont, 2005, nr 3).

Ekstreemsete tormide puhul on sageli tegemist sündmustega, mis pole meie mäletamist mööda varem aset leidnud. See aga ei tähenda, et neid ei võiks juba järgmisel tormisel ajal tulla. Gudruni puhul näitasid mudelid juba kaks ja pool päeva varem, et lainekõrgus Läänemeresel saab tõenäoliselt olema kõrgem kõigi aegade mõõdetud maksimumist. Aega ettevalmistusteks, erinevalt Kagu-Aasia tsunamist, oli seega piisavalt. Nende kahe sündmuse võrdlus näitab hämmastavalt palju sarnaseid jooni. Eelmised analoogilised sündmused (Tšiili tsunami 1960, Pärnu üleujutus 1967) leidsid aset ligikaudu 40 aasta eest.

VIITED

- Broman, B., Hammarklint, T., Rannat, K., Soomere, T., Valdmann, A. 2006. Trends and extremes of wave fields in the north-eastern part of the Baltic Proper. *Oceanologia*, 48, S, 165–184.
- Didenkulova, I., Slunyaev, A., Pelinovsky, E., Kharif, Ch. 2007. Freak waves in 2005. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, (submitted).
- Didenkulova, I.I., Zahibo, N., Kurkin, A., Levin, B., Pelinovsky, E., Soomere, T. 2006. Runup of nonlinear deformed waves on a beach. *Doklady Earth Sciences*, 411, 8, 1241-1243.
- Eberhards, G., Saltupe, B. 2006. Hurricane Erwin 2005 coastal erosion in the Gulf of Riga. *The Baltic Sea Geology, The 9th Marine Geological Conference, August 27 – September 3, 2006, Jūrmala, Latvia. Riga*, 19-21.
- Elken, J., Kask, J., Kõuts, T., Liiv, U., Perens, R., Soomere, T. 2001. Hydrodynamical and geological investigations of possible deep harbour sites in north-western Saaremaa Island: Overview and conclusions. *Proc. Estonian Acad. Sci. Eng.*, 7, 2, 85-98.
- Elken, J., Raudsepp, U., Soomere, T. 2002. On the current- and wave-induced sediment redistribution patterns in the Gulf of Riga. *Terra Nostra*, 4, 401-406.
- Mõlema puhul oli tegemist paljude haruldaste omaduste kombinatsiooniga. Mõlemad olid omaaoliste seas pealtnäha teisejärguliste füüsikaliste parameetrite osas (sirge lainehari tsunamil, ebataoline tuule suund ja muster Läänemeresel) teatavas mõttes unikaalsed. Mõlema puhul leiti hiljem, et vastav hoiatussüsteem pidanuks eksisteerima või olema palju efektiivsem. Mõlemas piirkonnas on deklareeritud, et hoiatus- või prognoosisüsteemid luuakse. Hea sõnum on aga see, et kaasageds mudelid on suutelised mere reaktsiooni siinkandi ekstreemsetele tormidele päris adekvaatselt ette nägema [Soomere jt, 2006a].
- Erm, A., Soomere, T. 2004. Influence of fast ship waves on the optical properties of sea water in Tallinn Bay, Baltic Sea. *Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol.*, 53, 3, 161-178.
- Erm, A., Soomere, T. 2006. The impact of fast ferry traffic on underwater optics and sediment resuspension. *Oceanologia* 48, S, 283-301.
- Kahma, K., Pettersson, H., Tuomi, L. 2003. Scatter diagram wave statistics from the northern Baltic Sea. *MERI – Report Series of the Finnish Institute of Marine Research*, 49, 15-32.
- Keevallik, S. 2003a. Tallinna lahe tuuled. *Publications Instituti Geographici Universitatis Tartuensis*, 93, 217-226.
- Keevallik, S. 2003b. Possibilities of reconstruction of the wind regime over Tallinn Bay. *Proc. Estonian Acad. Sci. Eng.*, 9, 3, 209-219.
- Lavrenov, I.V., Porubov, A.V. 2006. Three reasons for freak wave generation in the non-uniform current. *Eur. J. Mech. B Fluids*, 25, 574-585.
- Liiv, T., Liiv, U. 2001. Saaremaa deep harbour layout design and computer simulation of the wave climate and sediment transport. *Proc. Estonian Acad. Sci. Eng.*, 7, 2, 174-192

- Orlenko, L.R. (ed.). 1984. [Studies of the hydro-meteorological regime of Tallinn Bay]. *Gidrometeoizdat*, Leningrad, (vene keeles).
- Peterson, P., Soomere, T., Engelbrecht, J., van Groesen, E. 2003. Interaction soliton as a possible model for extreme waves in shallow water. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 10, 6, 503-510.
- Pettersson, H. 2001. Aaltohavaintoja Suomenlahdelta. Suuntamittauksia 1990-1994. Directional wave statistics from the Gulf of Finland 1990-1994. MERI – Report Series of the Finnish Institute of Marine Research, 44, 37 pp., (soome ja inglise keeles).
- Pettersson, H., Boman, H. 2002. High waves and sea level during the November storm. Annual report 2001, Finnish Institute of Marine Research, Helsinki, 7.
- Rzheplinsky, G.V., Brekhovskikh, Yu.P. (eds.). 1967. [Soome lahe laineatlas]. *Gidrometeoizdat*, Leningrad, (vene keeles).
- Soomere, T. 2001a. Wave regimes and anomalies off north-western Saaremaa Island. *Proc. Estonian Acad. Sci. Eng.*, 7, 2, 157–173.
- Soomere, T. 2001b. Extreme wind speeds and spatially uniform wind events in the Baltic Proper. *Proc. Estonian Acad. Sci. Eng.*, 7, 3, 195–211.
- Soomere, T. 2003a. Tallinna lahe loodusliku lainetuse režiimist. *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis*, 93, 227–241.
- Soomere, T. 2003b. Anisotropy of wind and wave regimes in the Baltic Proper. *J. Sea Res.*, 49, 4, 305-316.
- Soomere, T. 2004. Interaction of Kadomtsev-Petviashvili solitons with unequal amplitudes. *Phys. Lett. A*, 332, 1-2, 74-81.
- Soomere, T. 2005a. Wind wave statistics in Tallinn Bay. *Boreal Env. Res.*, 10, 2, 103-118.
- Soomere, T. 2005b. Estonia got storm warning from newspaper. *Scandinavian Shipping Gazette*, 4, 26-29.
- Soomere, T. 2005c. Fast ferry traffic as a qualitatively new forcing factor of environmental processes in non-tidal sea areas: a case study in Tallinn Bay, Baltic Sea. *Envir. Fluid Mech.*, 5, 4, 293-323.
- Soomere, T. 2006a. Unikaalsed lainetuse tingimused Läänemeresel 2005. a. jaanuaris. *Publicationes Geophysicales Universitatis Tartuensis*, 50, 215-224.
- Soomere, T. 2006b. Nonlinear ship wake waves as a model of rogue waves and a source of danger to the coastal environment: a review. *Oceanologia*, 48, S, 185-202.
- Soomere, T., Behrens, A., Tuomi, L., Nielsen, J. W. 2006a. Wave conditions in the Baltic Proper and in the Gulf of Finland during windstorm Erwin/Gudrun. *Geophys. Res. Abstr.*, 8, Paper 02851.
- Soomere, T., Elken, J., Kask, J., Keevallik, S., Kõuts, T., Metsaveer, J., Peterson, P. 2003a. Fast ferries as a new key forcing factor in Tallinn Bay. *Proc. Estonian Acad. Sci. Eng.*, 9, 3, 220-242.
- Soomere, T., Engelbrecht, J. 2005a. Extreme elevations and slopes of interacting solitons in shallow water. *Wave Motion*, 41, 2, 179-192.
- Soomere, T., Engelbrecht, J. 2005b. Extreme elevations and slopes of interacting Kadomtsev-Petviashvili solitons in shallow water, in *Rogue Waves 2004*. Olagnon, M., Prevosto, M. (eds.). Proc. of a workshop organized by IFREMER and held in Brest, France, 20-22 October 2004 within the SeaTechWeek 2004, IFREMER actes de colloques, 39, Brest, 92-101.
- Soomere, T., Engelbrecht, J. 2006. Weakly two-dimensional interaction of solitons in shallow water. *European J. Mech. B Fluids*, 25, 5, 636-648.
- Soomere, T., Kask, J. 2003. A specific impact of waves of fast ferries on sediment transport processes of Tallinn Bay. *Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol.*, 52, 3, 319–331.

- Soomere, T., Kask, A., Kask, J. 2006b. Modelling of sand transport at Pirita beach and formulation of principles of beach nourishment. The Baltic Sea Geology, The Ninth Marine Geological Conference, August 27 – September 3, 2006, Jūrmala, Latvia. Riga, 93-95.
- Soomere, T., Keevallik, S. 2001. Anisotropy of moderate and strong winds in the Baltic Proper. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 7, 1, 35-49.
- Soomere, T., Keevallik, S. 2003. Directional and extreme wind properties in the Gulf of Finland. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 9, 2, 73-90.
- Soomere, T., Pöder, R., Rannat, K., Kask, A. 2005. Profiles of waves from high-speed ferries in the coastal area. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 11, 3, 245-260.
- Soomere, T., Rannat, K. 2003. An experimental study of wind waves and ship wakes in Tallinn Bay. Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 9, 3, 157-184.
- Soomere, T., Rannat, K., Elken, J., Myrberg, K. 2003b. Natural and anthropogenic wave forcing in the Tallinn Bay, Baltic Sea. Brebbia, C. A., Almorza, D., López-Aguayo. (eds.). Coastal Engineering VI, WIT Press, Southampton, Boston, 273-282.
- Suursaar, Ü., Kullas, T., Otsmann, M., Kõuts, T. 2003. Extreme sea level events in the coastal waters of western Estonia. J. Sea Res., 49, 4, 295-303.
- Suursaar, Ü., Kullas, T., Otsmann, M., Saaremäe, I., Kuik, J., Merilain M. 2006. Hurricane Gudrun and modelling its hydrodynamic consequences in the Estonian coastal waters. Boreal Env. Res., 11, 143-159.
- Trulsen, K. 2007. Weakly nonlinear sea surface waves – freak waves and deterministic forecasting. Springer series in industrial mathematics, (in press).
- Wang, D. W., Mitchell, D. A., Teague, W. J., Jarosz, E., Hulbert, M. S. 2005. Extreme waves under hurricane Ivan. Science, 309, 896.