

# MÄRATSEV MERI KUI VESI TUNGIB PEALE

TARMO SOOMERE

Eelmises, märtsikuu Horisondis käsitlesime juhtumeid, mil meri näitab end tõelise kiskjana, saates maismaale mitmekümne meetri kõrguseid hiidlaineid – tsunamisid. Neid sünnitavad enamasti sügaval mere põhjas toimunud maavärinad või vulkaanipursked, mistõttu säärase lainete prognoosimine on sisuliselt võimatu ning nende eest hoiatamine keerukas ja kulukas.

Seekord räägime atmosfääri ja mere vastastikustest mõjudest ja hädadest, mida ootamatult merelt tulvav vesi randlastele võib kaasa tuua. Pärnu, Haapsalu ja Häädemeeste kurvad jaanuarisündmused meil värskena veel meeles, analüüsime, kas neid saanuks ette näha ning kas need võivad korduda.



**P**aljudes kohtades, nii avaookeani kui sisemere rannikul, ollakse harjunud sellega, et meri tõuseb ja mõõnab kindlas rütmis. Tõusu- ja mõõnalaineid ehk loodeid, pikimaid laineid, mis Maa ookeanides regulaarselt esinevad, põhjustab Maa asendi muutumine Päikese ja Kuu suhtes. Kui kogu meie planeeti kataks vaid vesi, oleks nende pikus pool Maa ümbermõõdust ehk kuni 20 000 kilomeetrit. Mandrid ei lase aga nii pikki laineid tekkida ning tõusu-mõõnalainete pikkus avaookeanis on mõni tuhat kilomeetrit.

Tõusu ja mõõna käitumine on üksikasjadeni tuntud. Kõrgeimat ja madalaimat veeseisu ning nende saabumise aegu osatakse üsna täpselt välja arvutada. Kohtades, kus veetase märgavalt muutub, on nende prognoosimine igapäevane rutiin ning vastav informatsioon teadetatavatel kõrvuti buss- ja rongisõiduplaaniga. Kuigi tõusu-mõõna amplituud võib mõnes kohas olla suurem kui veetõus kõige hüllemates üleujutustes või enamuse tsunamide kõrgus, ei saa nähtused, mille põhjused ning käitumine nii ajas kui ruumis on täpselt teada, olla mõistlike olendite jaoks katastroofide põhjuseks.

Küll aga on ohtlik see, et igapäevane tuul ja õhurõhk võivad muidu rahulikus rütmis hingava veepinna vahel kiskja kombel käituma panna. Nende koostõul tungib meri peale vaikselt, kuid veel hirmsamal moel kui maavärina järel. Tsunami surmatoovat mõju leevendab, kui nii tohib öelda, asjaolu, et vesi tulvab maale vaid loetud minutite kestel. Seetõttu on tema eest võimalik põgeneda ka täiesti tasasel rannikul. Paljud õnnesärgis sündinud inimesed pääsevad tsunami käest vaid märjaksamisega, kuna saavad rutata kuiva ja

sooja kohta niipea, kui veetulv on peatunud. Üleujutuse korral tungib vesi sisemaale pikaks ajaks ning ellujäämise šansid on märksa väiksemad ka siis, kui veetase on palju madalam tsunami kõrgusest. Läheduses lihtsalt ei pruugi olla kuiva kohta, kuhu põgeneda. Ja juba meetrisügavune vesi tapab pea kõik kuivamaa olevused.

## KÕRGE VESI SISEMAAL JA RANNA ÄÄRES

Mere poolt tulvav vesi on seotud ennekoike pinnalainete tekkimist võimaldava fundamentaalse omadusega – veepinna võimega oma asendit muuta. Ent rannäärsete alade ulatuslik üleujutus sünnib siiski mitmete mõjurite haruldase kombinatsiooni korral. Palju sagedamini tuleb uputusi ette hoopis sisemaal ning seetõttu, et vesi ei jõua vabalt merre. Kuigi see on juba teine teema, on huvitav tõdeda, et jõgede üleujutus juhib alalt samad füüsikaseadused, mis vähendavad tsunami ohtlikkust sisemaal. Vee voolamist ebatasasel alal dikteerivad nimelt hüdraulika seadused. Nende tõttu on voolamise kiirus nii maale paiskuvast tsunamis kui ka merre suubuvast jões palju väiksem lainelevi kiirusest.

Katastroofilise üleujutuse haarav, kuid füüsikaliselt kohati küsitav kirjeldus on Jules Verne'i "Kapten Granti lastes". Sealne tulvavesi meenutab pigem tsunamit või veehoidla tammi purunemisel tekkivat lainet. Aga õige on tähelepanek, et tasandikul on tulvavee eest väga raske põgeneda, sest üle on ujutatud paljude kilomeetrite laiune ala. Sellest ka astronoomilised hukkunute arvud. Suurte Hiina jõgede puhul ületavad need kujutusvõime piirid. Erinevad hinnangud annavad 1887. ja 1931. aasta Huang He üleujutuste ohvrite arvuks vastavalt 0,9–2 miljonit ning 0,85–4 miljonit.

Euroopa on väike maailmajagu suhteliselt lühikeste-kitsaste jõgedega ja enamasti ka väikeste õnnetustega. Ometi oli kolme aasta eest,



12. juuli 2004. Bangladeshis elanikud ootamas pääsemist ühes üleujutatud külas Dhaca lähistel.

augustis 2002, ka Kesk-Euroopas kohaliku mõiste järgi katastroofiline üleujutus, mis nõudis 109 inimest. Sellise hukkunute arvuga üleujutused on mõnes muus maailmanurgas peaaegu et igapäevased.

## BANGLADESH – SAGEDANE TULVAVEE OHVER

Katastroofilised üleujutused on sagedased Bangladeshis (kuni 1971. aastani Ida-Pakistan). Bengali laht on loodusõnnestuste vaatekohast üks õnnetu piirkond. Miljonid inimesed elavad Gangese deltas, mis ulatub vaid paar meetrit üle tõusu maksimumi. Seetõttu on väga ohtlikud juba kaks kuni kolm meetrit üle tavalise taseme ulatuvad veetõusud. Vähemalt sama suur oht ähvardab Gangese üleujutuste näol. Lisaks on see piirkond veel seismiliselt aktiivne.

Kohutava katastroofi tekitas Bangladeshis üleujutus 13. novembril 1970. Ametlike allikate järgi oli hukkunuid 150 000 ning teadmata kadunuid 100 000. Ekspertide hinnanguil oli ohvreid tõenäoliselt ligikaudu pool miljonit. Süüdlaseks oli nn Bhola tsüklon, üks 20. sajandi tugevamaid. See tõi 12. novembri

õhtul Bangladeshis rannikule erakordselt kõrge, 5–6 meetrit üle tõusu maksimumi ulatunud veetaseme. Veetulv jõudis sissemaale varahommikul, mil inimesed magasid. Paljud jäid oma kodudes lõksu.

Teine laastav tsüklon viis seal 29. aprillil 1991 hauda rohkem kui 130 000 inimest. Aastail 1960–1994 ulatus tulvavesi kõrgemale kui kolm meetrit veel kümnel korral, ja iga kord hukkus tuhandeid inimesi.

## ÜLEUJUTUSED EUROOPA SUURLINNADES

Merevee tõusuga ühe kuni kahe meetri võrra üle tavalise taseme on hästi kohanenud Veneetsia. Seal ehitatakse tänavatele ja väljakutele hämmastava kiirusega kerged jalakäijate sillad ning elu jätkub, nagu polekski midagi lahti. Vaid hoonete seintele jätab kõrge vesi – *aqua alta*, nagu teda kohalikud hüüavad – oma märgid kahjustatud krohvi näol.

Merevee tõusust põhjustatud üleujutused ohustavad vahel ka merest suhteliselt kaugel paiknevaid alasid. Hamburg, mis asub Elbe suudmest sadakond kilomeetrit ülesvoolu, on justkui kahe tule vahel. Linna uputavad vaheldumisi

Elbe suurvesi ning Põhjamere tormidest põhjustatud veetõusud. 1962. aastal lõhkus tulvavesi mõnes kohas kaitsetammid ning üle kolmesaja inimese hukkus. Viimati tõusis vesi seal ohtlikult kõrgele (5,86 m üle tavapärase tõusu maksimumi) 3. detsembril 1999.

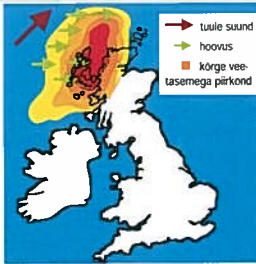
Ka London jääb mõnikord tulvaveele jalgu. Eelmise sajandi algupoolel, 6.–7. jaanuaril 1928, tõstis põhjatorm Thamesi vee nii kõrgele, et suur osa Londoni madalatest piirkondadest jäi vee alla. Keskklinnas tuli vesi mitmel pool üle kallaste. Lambethi silla lähistel purunes kaldakindlustus ning vesi tulvas lähedalasuvate majade keldritesse nii kiiresti, et inimesed ei suutnud õigeaegselt põgeneda ning 14 inimest uppus.

## SUURBRITANNIA

### JA HOLLAND MERE MEELEVALLAS

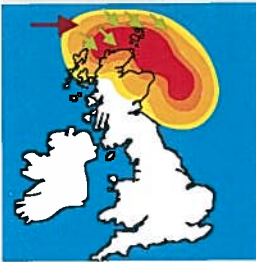
Möödunud sajandi ohvriterohkeim merevee kõrgest tasemest põhjustatud katastroof Euroopas sündis Põhjamerel 1953. aastal ööl vastu 1. veebruari. Siis kombineerus kõrge tõusulaine omapäras trajektoori mööda liikunud tugeva madalrõhkonna poolt põhjustatud kõrge vee-

## SUURBRITANNIA MERE MEELEVALLAS



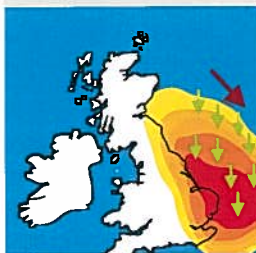
Atlandi ookeanilt Šotimaa loodeosa suunas liikuva tsükloni kagu-poolses sektoris puhuvad edela-tuuled tekitavad hoovuse, mis Coriolisi jõu mõjul liigub ida suunas ning põhjustab

veetaseme tõusu Šotimaa loodeosas.



Kõrge veetasemega piirkonna edasist käitumist dikteerivad samad seadused, mis juhivad tõusumõõnalaine käitumist. Tekib pikk laine, mis levib piki Šotimaa rannikut algul ida, seejärel kagu

suunas. Kui tuule suund ei muutu, sumbub laine õige pea. Kui aga tsüklon liigub edasi ida poole, jõuab kõrge veetasemega ala lähisteleva tsükloni lõunapoolne sektor. Selles domineerivad läänetuuled tekitavad kagusuunalise hoovuse, mille mõjul jätkub vee kuhjumine Šotimaa rannikule.



Üldiselt jätkub tsükloni teekond ida suunas ning selle poolt tekitatud laine edaspidi siiski sumbub. Kui aga tsüklon peaks ebasobival hetkel suunduma edelasse, nagu juhtus

1953. aastal, hakkavad tekkinud laine kohal puhuma tsükloni edelaosas valitsevad loode-tuuled. Nende tekitatud hoovus jätkab vee kuhjamist Suurbritannia ranniku lähisteleva ning hoiab lainet endiselt kõrgena. Põhjamere lõunaosas vee sügavus väheneb, mistõttu, nagu eelmises Horisondis selgitatud, tulvavee kõrgus suureneb veelgi.

taseme ning sellega kaasnenud tormiajuga.

Veetase tõusis Suurbritannias Southendis (Essex) 2,74 meetrit ehk peaaegu sama kõrgele nagu küündis veetõus möödunud jaanuarikuus Pärnus. King's Lynn'is (Norfolk) ületas vesi tõusu maksimumi tookord 2,97 meetri võrra. Meri tulvas sisemaale 1600 kilomeetri pikkusel rannalõigul ning ujutas üle ligikaudu 1000

ruutkilomeetrit maismaad. Evakueerida tuli 30 000 inimest ning 24 000 majapidamist said tõsiselt kannatada. Maismaal kaotas elu 307 inimest. Lisaks hukkus vähemalt 230 inimest sama tormi põhjustatud laevaõnnetustes. Tuntuim neist juhtus praamiga Princess Victoria, mis viis Stranraeri lähistel endaga märga hauda 132 inimest. Õnnetuse, mis oli võrdlemisi sarnane Estonia hukuga, põhjustas võõriluugi ebapiisav tugevus ning võimatus autotekile tunginud vett välja pumbata.

Hollandis tõusis maksimaalne veetase 3,36 meetrit üle tavapärase tõusuvee maksimumi, seega vaid 60 sentimeetrit kõrgemale kui hiljuti Pärnus või Haapsalus. Sellist veetõusu ei suutnud kaitsetammid ohjeldada. Vesi tungis kaugele sisemaale, võttis 1835 inimeselt elu ning kattis peaaegu kümnendiku riigi haritavast põllumaast. Umbes kümme tuhat karilooma hukkus ning 4500 hoonet purustati. Kui Eestis oleks niiviisi juhtunud, oleks tõenäoliselt otsa saanud kümneid või isegi sadu inimesi.

Hukkunute arv Suurbritannias ja Hollandis oli tookord nii väike ainult seetõttu, et harukordset veetõusu suudeti enam-vähem õigeaegselt prognoosida. Vastavad hoiatused anti mitu tundi varem. Suur osa ohvritest asus piirkondades, millega telefoniühenduse torm katkestas ning kuhu hoiatus ei jõudnud pärale.

Mitmed allikad (nt Mark Soosaar. Aeg teha merega vaherahu. Eesti Ekspress, Kohver. 23.02.2005) räägivad palju suuremast hukkunute arvust. Sageli väidetakse ohvrite olevat 13 000, kuid siin on tegemist ilmse liialdusega. Tõenäoliselt aetakse 1953. aasta üleujutus sassi 18. novembril 1421 toimunuga, mil hukkus üle 10 000 inimese. Hollandis meenu-tatakse suuremaid üleujutusi veel aastaist 1570, 1825, 1894 ja 1916.

Endast lugupidav riik loomulikult reageerib taoliste katastroofidele. Suurbritannias täiustati rannakindlustusi põhjalikult. Mõni aeg hiljem valmis Thamesi jõel tõkettamm, mis kaitseb Londoni kesklinna võimaliku tulvavee eest. Hollandis käivitus ambitsioonikas projekt "Delta Works", mille põhjal valminud rajatist peetakse üheks seitsmest nüüdis-aegselt maailmaimemist ning mille kõrval, ütlevad asjatundjad, olevat Baikali-Amuuri magistraali ehitamine päris keskpärane ettevõtmine. Mereäärsete luidete kõrgust tõsteti viie meetri võrra. Zeelandi maakonna saarte vahele ehitati hulgaliselt tammisid ja vesivärvaid. Praegusaja rannikutehnika tippsaavutus on Oosterscheldekerering'i vesivärvatega tamm.

Paljud ehitised pretendeerivad maailmaime nimetusele. Ameerika Ehitusinseneride Seltsi (ASCE) arvates on seitse nüüdisaegset ehitusimet Panama kanal, seesama Delta Works, Itaipu tamm Brasiilias ja Paraguays, Kuldvärava (Golden



Oosterscheldekerering'i vesivärvatega tamm Hollandis.

Gate) sild San Franciscos, Empire State Building New Yorgis, La Manche'i tunnel ning 553 meetri kõrgune Toronto tele-torn, mis tuntud ka Kanada Rahvustorni nime all.

## EESTIL JA SOOMEL ON VEDANUD

Eesti on merevee tõusu suhtes üsna õnnelikus olukorras, sest maakoor siinkandis tasapisi tõuseb. Läänemere põhjaosas ollakse sellega tegelikult lausa hädas, kuna sadamatesse jääb järjest vähem vett. Taani ja Madalmaad ning Suurbritannia kaguosa on sandimas seisus. Seal kipub maapind tasapisi vajuma.

Kuigi 1950. aastatel tugevdati ja kõrgendati olemasolevaid kaitserajatisi Põhjamerele ning ehitati uusi, on praeguseks need vananemas. Sellega lisandub järjest tiheneva asustusega rannapiirkondades seonduv risk. Põhjamere-äärsete riikide eksperdid peavad 1953. aasta tormi puhul aset leidnud tegurite kombinatsiooni kordumist lähemas tulevikus üsna tõenäoliseks. Väidetavalt tekib seal 1,5-meetrine või kõrgem veeseis ligikaudu üks kord 120 aasta jooksul. Maakoore vajumine, ookeani veetaseme eeldatav tõus ning termide sageduse suuremine tähendab aga, et 2080. aasta paiku tuleb nii kõrge veega arvestada keskmiselt üks kord iga seitsme aasta jooksul.

Eesti rannikul on tõusu-mööna amplituud mõned sentimeetrid, mistõttu veetaseme mõõtmisel lähtutakse tavaliselt pikaajalisest keskmisest veeseisust. Vanemad allikad kasutavad selle sünonüümina nn Kroonlinna nullile vastavat veetaset. Et Eesti erinevad osad kerkivad isemoodi ning Kroonlinna null on samuti vaid kokkuleppeline, on tegelik keskmine veetase ajas muutuv. Teatava osa selle muutumisest annavad Läänemerele valitsevad edelatuuled, mille tõttu keskmine veetase on Soome lahes mõnevõrra kõrgem kui Läänemere edelaosas. Piirkondades, kus maapinna tõus märksa kiirem, näiteks Soome rannikul, lähtutakse mõne või mõnekümne viimase aasta keskmisest veetasemest.

Rannikul, kus tõusu-mööna amplituud on märgatav, kõneldakse üleujutuste puhul maksimaalse tõusuvee kõrgust ületavast veetasemest. Kõige ohtlikum on tulvavesi, mis saabub koos kõrge tõusuga. Sügava mööna ajal saabuv tulvavesi enamasti ei tekita erilisi kahjusid ning võib jääda lausa märkamata.

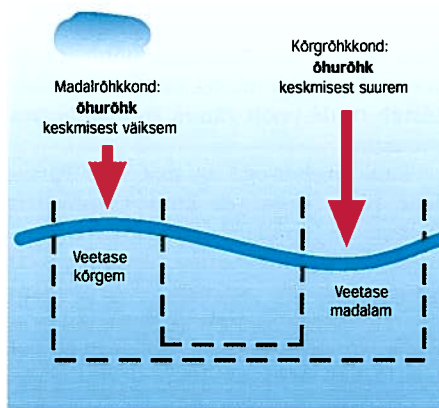
## ÜLEUJUTUSE PROGNOOS ON KLASSIKALINE HÜDRODÜNAAMIKA ÜLESANNE

Ligikaudu võrdsetel intervallidel katastroofiliste tsunamite ning üleujutuste vahel pole mingit pistmist numeroloogia või saatusega. Maakoor ja atmosfäär toimivad oma seaduste järgi. Veetõusu või laine klassifitseerimine katastroofiks on

## TSUNAMI JA ÜLEUJUTUSE OMADUSTE VÕRDLU

	TSUNAMI	ÜLEUJUTUS RANNAS
Tekkepõhjus	Üksik vähetõenäoline sündmus: maavärin merepõhja all, maalihe või asteroid	Kombinatsioon tuuletingimustest ja õhurõhust, mis sobitub täpselt konkreetse rannaosa geometriaga ning tõusu ja mööna faasiga
Tüüpiline kestvus	Mõnikümmend minutit, erandjuhtudel mõned tunnid	Mitmed tunnid, erandjuhtudel üks-kaks päeva
Mõju	Purustused võimalikud tekke-kohast väga kaugel	Üle ujutatakse vaid konkreetse tsükloni teel olev rannaosa
Prognoositavus	Epitsentri lähistel praktiliselt võimatu; enamasti mõnikümmend minutit ja maksimaalselt mõned tunnid varem	Mõned päevad varem, detailid palju tunde varem

## VEETASE ERINEVA ÕHURÕHUGA PIIRKONDADES



inimlik vaatepunkt asjadele, mis ühes või teises kohas nagunii sünniks. Selliste sündmuste puhul ongi loogiline, et neid lahutab mitu aastakümnet, mille jooksul inimeste muljed tuhmuvad. Kui ohtlik veetõus ründaks mingit piirkonda sagedamini, nagu tõus ja mööna iga päev või igakevadine üleujutus jõelammil, ei asuks inimesed sinna elama.

Purustavate tsunamite ja üleujutuste harukordsuse põhjused on põhimõtteliselt erinevad. Tsunami sünnib veemasside reaktsioonina harvaesinevatele sündmustele. Üleujutused tekivad aga sageli suhteliselt tavapäraste ilmastikutingimuste haruldase kombinatsiooni korral. Nii juhtus ka möödunud talve 7.–9. jaanuari tormis, mida Põhjamerele nimetati Erwiniks ning Skandinaavias Gudruniks. Selle ükski parameeter polnud rekordiline, kuid veetaseme rekordid löödi praktiliselt kõikjal Eesti rannaveses.

Üleujutuses kombineeruvad mitmed

tegurid. Otseselt tõstavad veepinda õhurõhu langus, ranna suunas puhuv tuul ning väga pikad lained, nagu tõus ja mööna ning mere omavõnkumised. Kaudselt löövad kaasa tormilained, tõstes veetaseme murdlaine võõndist ranna pool. Ebatavaliste omadustega pikki laineid võib tekitada tsükloni kui terviku liikumine ning tuule ajalis-ruumiline muster võib võimendada mere omavõnkumisi. Mingit osa mängib kindlasti rannajoone liigendatus. Enamus neist tegureist andis oma panuse ka Gudruni saavutatud rekorditesse.

## MERI ON SUUR BAROMEETER

Kui Maa oleks maailmaruumis üksik ning atmosfäär oleks tasakaaluasendis, oleks õhurõhk merepinna kõrgusel ligikaudu 760 millimeetrit elavhõbedasammast (mm Hg) ehk 1013 millibaari (mb). Veetase oleks sel juhul konstantne ning kujundatud Maa gravitatsioonijõu poolt. Aurumise, jäätumise, sulamise, jõgede voolu ning põhjavee liikumise poolt kohti põhjustatud veetaseme muutumine on rannal praktiliselt märkamatu. Märgatavat mõju veetasemele avaldavad atmosfääris kogu aeg sündivad, tiirutavad ning kaduvad madal- ja kõrgrõhkkonnad. Nende mõjul hakkab vesi liikuma nii, nagu ta teeb seda ühendatud anumates, vajudes ära kõrgrõhkkondade alt ning kogunedes madalrõhkkondade alla. Gudrun langetas õhurõhu Eesti ran-

**IGAPÄEVANE TUUL JA ÕHURÕHK VÕIVAD MUIDU MÕISTLIKUS RÜTMIS HINGAVA VEEPINNA VAHEL KISKJA KOMBEL KÄITUMA PANNA.**

navetes ligikaudu 970–980 millibaarini, mistõttu vesi võinuks tõusta maksimaalselt 40 sentimeetri võrra.

Madalaim merepinnal fikseeritud õhurõhk (870 mb ehk 652,5 mm Hg, mis tõstnuks vee 1,4 m tavalisest kõrgemale) mõõdeti 12. oktoobril 1979 Guamis Vaiksel ookeanil, taifuuni Tip tsentris. Kõrgeim enam-vähem merepinna tasemele vastav rõhk (1083,8 mb, mis viinuks veepinna 70 cm allapoole) mõõdeti Ahhaatjärvel (66°53'N, 93°28'E) Siberis 31. detsembril 1968 merepinnast 263 m kõrgusel. ENE sellekohased andmed (kõrgeim õhurõhk merepinna tasemel 808,7 mm Hg ning madalaim 684 mm Hg) vajaksid ajakohastamist.

Veepinna topograafia muutused saavad kiiresti realiseeruda vaid siis, kui "toru" anumate vahel on piisavalt suur. Ookeanis on toru rollis kogu veemass pinnast põhjani ning rõhkkondade tekitatud häiritused levivad lainena. Seetõttu on merepinna reaktsioon õhurõhu muutumisele mõõtmatult kiirem veosakeste liikumise kiirusest.

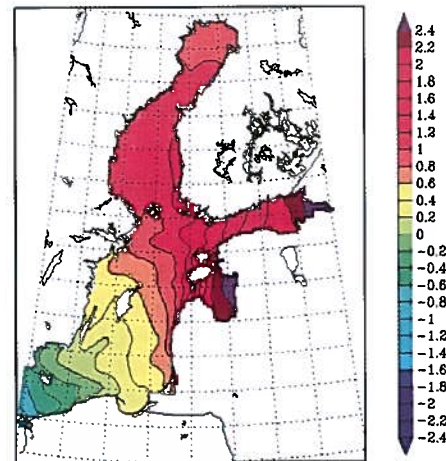
Poolsuletud meredes on veetaseme muutused piiratud väinade läbilaskevõimega. Ka madala vee kohal kiiresti muutuvates tingimustes ei pruugi veepind õhurõhu muutustega kaasas käia. Selleks, et Läänemeres tervikuna vesi tsükloni saabudes tõuseks, peab vajalik hulk vett Taani väinadest läbi pääsema. Vee kogud, mille mõõtmised on väiksemad tsüklonite ning antitsüklonite mõõtmetest, praktiliselt ei reageeri õhurõhu muutustele. Vesi lihtsalt ei saa seal kuhugi liikuda.

Ühendatud anumate vahelises torus liikuva vee (aga ka jõe voolu) maksimaalse kiiruse annab Torricelli valem  $\sqrt{2g\Delta H}$ , kus  $g$  on gravitatsioonikiirendus ja  $\Delta H$  on veetasemete vahe. Kui rõhud  $p_1$  ja  $p_2$  anumate veepinnal on antud millibaarides, siis veetasemete vahe meetrites on  $(p_2 - p_1)/100$ . Saja millibaari suurune erinevus õhurõhus ehk ühemeetrine kõrguste vahe paneb vee liikuma kiirusega kuni 4,5 m/s. Õhurõhu muutuste tõttu tekkitavate lainete pikkus on samas suurusjärgus tsüklonite mõõtmetega ehk sadu ja tuhandeid kilomeetreid. Nende levimise kiirus avaookeanis sügavusega  $H$  on, nagu tsunamilgi, ligikaudu  $\sqrt{gH}$  ehk lähedane reaktiivlennuki kiirusele.

## TUUL JA LAINED LÜKKAVAD BULDOOSERINA

Tsükloniga käib ikka kaasas tuuline ilm. Kui tuule tekitatud hoovus on suunatud ranna poole, kipub vesi ranna lähistel kuhjuma. Ühendatud anumate paralleeli tarvitades tuul justkui kogu aeg tõtaks tasapisi vett "avamere" anumast "rannalähedasse" anumasse. Püsiva tuule korral tõuseb vesi ranna lähistel seni, kuni veetaseme erinevustest põhjustatud voolamine sügavamates kihtides tasakaalustab tuule poolt ranna suunas aetava veemassi.

Tuul tugevusega 25 m/s võib Pärnu lahe päras tõsta vee kuni 1,6 meetrit kõrgemale Liivi lahe keskmisest (vt joonist). Ebasoodsaim suund Pärnu jaoks on lõuna-edel ehk ligikaudu 220°. Taani meteoroloogia instituudi hinnangul oli tuule suund Gudruni külaskäigu ajal Liivi lahel veidi soodsam: tormi algul

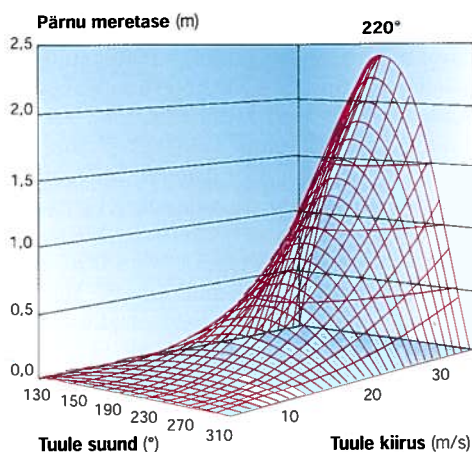


## VEETASEME KÕRGUS MEETRIDES LÄÄNEMERES PIKAAJALISE KESKMISE SUHTES.

9. jaanuar 2005 kell 8 Eesti aja järgi Taani meteoroloogia instituudi arvutimudeli alusel.

ligikaudu suunast 240° ning lõppfaasis täpselt läänest. Otseselt tuule poolt põhjustatud veetõus Pärnus Liivi lahe veetaseme suhtes oli tõenäoliselt 1–1,2 meetri ringis. Veepind oli nii Liivi lahes kui ka Soome lahes tõepoolest kõvasti kaldu (vt joonist).

Hoovuste tööle aitavad jõudumööda kaasa ka tavalised tuulelained. Harilikult arvatakse, et lained tulevad ja lähevad, aga vesi jääb paigale. Madalas vees aga muutuvad lained järsemaks ning murdlained kannavad edasi märkimisväärse hulga vett. Tuulelainete roll vee-



Andmed: Ülo Suursaar ja Tiit Kullas, Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituut.

**VEETASEME MAKSIMAALNE TÕUS PÄRNUS  
SÕLTUVALT TUULE KIIRUSEST JA SUUNAST.**  
Tuule suund on antud kraadides päripäeva põhjasuunast (lõunatuul puhub suunast 180° ning läänetuul suunast 270°).



Torm ja maru uputasid käesoleva aasta 9. jaanuaril eriti Pärnut.

JÜRI VLASSOV

## ● LOKSUMINE VANNIS

Kui nüüd üks torm on Läänemere veemassi mere ühte serva kuhjanud, hakkab vesi raskusjõu mõjul liikuma tasakaaluasendi poole nii nagu tsüklonite lahkumisel või hajumisel nende poolt tekitatud kõrgendikes paiknev vesi. Tormiaju ulatus on enamasti kümneid või sadu kilomeetreid ehk mitukümmend korda enam Läänemere sügavusest, mistõttu tekib kiirusega  $\sqrt{gH}$  liikuv pikk laine. Kui Skandinaaviat ees poleks, hajuks selle energia Atlandi ookeani avarustes.

Väiksemates poolsuletud ja suletud veekogudes peegeldub, nagu eelmises Horisondis selgitatud, enamasti osa pikast lainest teiselt rannalt tagasi. Sageli tekib vee loksumine mere ühest servast teise nagu tavalises vannis. Selliseid loksumisi hüütakse omavõnkumisteks ehk seišideks. Nende perioodid Läänemeres on kuni 40 tundi ning Liivi lahes ligikaudu 5 tundi. Üleujutuste puhul võib eelmise tormi poolt tekitatud seiš, kui see jõuab kohale just järgmise tormi ajal, oluliselt suurendada veetaseme tõusu.

Suurtes järvedes ja sisemeredes modifitseerib selliste lainete liikumist – nii nagu tõusumõõnalaine liikumist ookeanides – mere geomeetria ning Coriolisi jõu koosmõju. Põhja-poolkeral suunab Coriolisi jõud veeosakesi paremale, mistõttu lained liiguvad vastupäeva ning laine hari on ranna lähistel kõrgem kui avamerel. Seda tüüpi laineid hüütakse Kelvini laineteks. Kõrge veetasemega piirkonna levimine Kelvini lainena on üks peamisi põhjusi, miks edelast või läänest puhuva tormi korral on Soome lõunarannikul maksimaalsed veetasemed praktiliselt alati väiksemad kui Eesti rannikul. Kui tugevaimad tuuled puhuksid idast ja tsüklonid saabusid samuti sealpoolt, oleks olukord vastupidine.

taseme tõusus on suurim siis, kui lained liiguvad täpselt ranna suunas. Suhteliselt väikese kaldega rannas on lainete tekitatud veetaseme tõus rannajoonel ligikaudu 1/5 lainete kõrgusest vahetult enne murdumist. Gudrun tõi oletatavasti Pärnu lahe avaosas üle kahe meetri kõrgused lained, mis vahetult murdumise eel ulatusid kolme meetrini. Seega võis mõnedes rannalõikudes murdlainete mõjul tõusta veetase kuni 60 sentimeetrit. Tõus 30 cm ringis oli tõenäoline kogu Pärnu lahe idaosas.

## PÄRNU PÄASES KERGE EHMATUSEGA

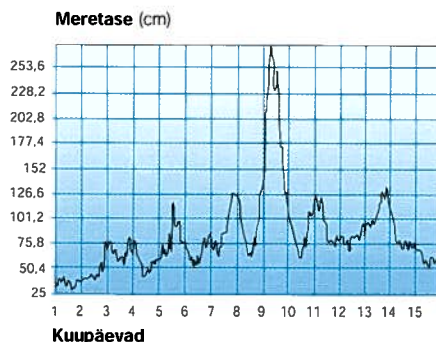
Kui nüüd lüüa kokku veetõusu erinevad komponendid (tuul 100–120 cm, õhurõhk 40 cm, murdlained 30–60 cm), suutuks Gudrun veetaset Pärnu ümbruses tõsta 1,7–2,2 meetrit. Tegelikult mõõdeti 2,74 meetrit. Puuduval komponendil, mis põhjustas lõviosa pahandustest ning katastroofihõngulise olukorra kogu Lääne-Eesti rannikul, on banaalne selgitus. Gudrun saabus nimelt hetkel, mil Läänemere veetase oli tänu eelmistele tormidele väga kõrge – Pärnu kandis ligikaudu 70–80 cm üle pikaajalise keskmise. Selles osas pole põhjust isegi rääkida prognoosist – võinuks lihtsalt internetist vaadata veetaset Pärnu sadamas tormieelsel nädalal.

Aga ikkagi olid seekord taevased väed Eesti poolel. Tuul puhus Pärnu jaoks suhteliselt soodsast suunast. Kui tuul oleks ebasobival hetkel pööranud veidi



## VEETASEME MUUTUS PÄRNAS 1967. AASTA OKTOOBRI.

Koostanud Ülo Suursaar ja Tarmo Kõuts



## VEETASE PÄRNAS

### 2005. AASTA JAANUARIS KÕRGVEE AJAL.

Andmed Pärnu sadama kodulehelt  
<http://www.transcom.ee>

## TULEVIKUS VÕIB MÕNI GUDRUNI KAKSIKÕDE KÕIGI EBASOODSATE ASJAOLUDE KOKKULANGEMISEL TÕSTA VEETASEME PÄRNAS PEEAEGU NELJA MEETRINI.



rohkem lõuna poole, oleks Tahkuranna rahvas võib-olla pääsenud natuke kergemalt, kuid Pärnus võinuks lisanduda veetõusule veel 30–40 cm otseselt tuule arvel ning 10–20 cm kõrgemate ning veidi teisest suunast saabuvalte lainete tõttu. Pärnus läks hästi ka selles mõttes, et Liivi lahe seišide mõju veetasemele oli seekord üsna tagasihoidlik.

Kõige enam vedas aga Peterburi linnal. Gudrun liikus täpselt piki Soome lahe telge (vt <http://www.ilm.ee/index.php?41329>), kuid õnneks mõnevõrra nobedamini kui pikad lained Soome lahes. Liikunuks ta veidi aeglasemalt, tekitanuks ta kõrge üksiklaine ehk solitoni nõnda nagu kanalis sobiva kiirusega sõitev laev seda teeb. Sellised lained võivad põhjustada, vähemalt teoreetiliselt, kõige ulatuslikumaid üleujutusi Soome lahe idaosas. Aga neist kõneleme mõni teine kord.

Järgmises tormis ei pruugi olukord enam nõnda soodne olla. Läänemere keskmine veetase võib tormistel perioodidel ulatuda peaaegu ühe meetri võrra üle pikaajalise keskmise. Läänetuulte tugevnemine tähendab, et keskmine veetase Eesti rannavetes võib üldse kümnekonna sentimeetri võrra tõusta. Sobiva tuule mustri korral lisavad Liivi lahe omavõnkumised vahetevahel maksimaalsele veetõusule päris mitukümmend sentimeetrit.

Toodud arvud hoiatavad, et mõni Gudruni kaksikõde võib kõigi ebasoodsate asjaolude kokkulangemisel tõsta veetaseme Pärnas peaaegu nelja meetrini. Praeguste klimatoloogiliste tingimuste korral on võimalikud ka mõnevõrra tugevamad tormid, nii et tegelikult on veetõusul ruumi veel päris palju.

## SENI ON EKSPERDID ARVANUD, ET ERAKORDSELT KÕRGE VEETASE EESTI RANNAVETES ON SUHTELISELT KIIRESTI MÕÖDUV SÜNDMUS. GUDRUNI TEOD SUNNIVAD SEDA ARUSAAMA KORRIGEERIMA.

Veel üks Gudruni saavutus väärrib tähelepanu. Kui veetase püstitas 1967. aasta augustis eelmise rekordi, oli vesi kõrge vaid paar tundi. Seekord püsis kõrgvesi oma pool päeva. Varasem rekord meenutab üksikut laineharja, mis analoogiliselt madalamat sorti tsunamiga teeb märjaks ja hirmutab, aga tugevat ja tervet inimest ei tapa. Gudrun tekitas aga palju tunde püsinud kriitilise olukorra, kus mere meeleva jäänud inimeste suurim oht oli alajahtumine. Seni on eksperdid arvanud, et erakordselt kõrge veetase Eesti rannavetes on suhteliselt kiiresti möödunud sündmus. Gudruni teod sunnivad seda arusaama korrigeerima.

### OLUKORD KONTROLLI ALLA

Tsüklonite liikumist ning nende poolt tekitatud tuuli on nüüdisajal võimalik üsna täpselt prognoosida, seega ka veepinna tõusu või langust mitmeid päevi ette näha. Nagu tsunamide puhul, on veetõusu prognoosil oluline roll nii lainete omadustel kui ka konkreetse mereala geomeetrial. Peamine probleem on mitte niivõrd tulvavee kõrguse hindamine, vaid vee meeleva sattuva täpse koha määramine. Elanike evakueerimine ja strateegiliste objektide ajutine kaitsmine tulvavee eest on üsna kallis. Ning inimesed tahaksid päris kindlad olla, et meri just nende kodu ohustab. ■

#### LOE VEEL

Ü. Suursaar. Meie ja meie meri: silm silma vastu. "Lehed ja tähed". MTÜ Loodusajakiri 2003, lk 10–25.  
Ü. Suursaar, T. Kullas, M. Otsmann. Hoovused ja veetaseme kõikumised Lääne-Eesti rannikumeres. Estonia Maritima 6/2004, lk 5–26.  
T. Soomere, Estonia got storm warning from newspapers, The Scandinavian Shipping Gazette, 4/2005, lk 26–29.  
Ülevaade Gudruni vägitegudest on esitatud aruandes Guy Carpenter & Company Ltd., Windstorm Erwin / Gudrun – January 2005, <http://www.dmi.dk/dmi/8januarstormguycarprapport.pdf>.  
Läänemere operatiivokeanograafia hetkeseisu peegeldab veebisait [www.boos.org](http://www.boos.org).

TARMO SOOMERE (1957) on Tallinna Tehnikaülikooli Küberneetika Instituudi vanemteadur, matemaatika-doktor.

### HEA ÕPETUND

Rannäärsete alade kaitseks tsunamide ja tulvavee eest on investeeritud astronoomilisi summasid. Põhimõtteliselt saab valida kahe lahenduse vahel. Ohustatud alad püütakse sageli kaitsta kõrgete tammidega. Neid on mõtet rajada juhul, kui maksimaalne veetase on hästi teada ning kaitstav ala on kompaktne. Pärnus pole kumbki tingimus täidetud.

Kui tammidele orienteerumine on liiga riskantne (ja tammide purunemine on mõistagi eriti ohtlik, sest siis ei pruugi evakatsioon enam õnnestuda), ehitatakse elutähtsad objektid nii kõrgetele alustele, et tulvavesi nendeni ei ulatu, ning ollakse valmis evakueeruma. Ka Pärnus tundub olevat loogiline orienteeruda strateegiliste objektide kaitsmisele või modifitseerimisele, madalamates piirkondades paiknevate ehitiste kohta käivate normide täpsustamisele ning vajadusel efektiivsele evakatsioonile.

Jaanuaritorm andis hea õppetunni selle kohta, et adekvaatne prognoos saab tugineda ainult korralikelt algandmetel. Kuigi veetaseme mõõtmine Pärnus on kestnud alates 1893. aastast ning Pärnu sadama vastavad andmed on juba mitmes aasta reaalajas igamehele nähtavad nende veebilehel, on usaldatava prognoosi jaoks tarvilik operatiivne teave märksa laiemalt merealalt. Seetõttu on igati tervitatav keskkonnainvesteeringute keskuse hiljutine otsus toetada Eesti rannikumeres veetaseme operatiivse jälgimise süsteemi loomist. Nii teoreetiline baas kui ka valmidus osaleda sellise süsteemi käivitamises on olemas mitmes teaduskollektiivis. Vaba veepinna dünaamika ja pikkade lainete teooria on üks TTÜ Küberneetika Instituudi mehaanikateadlaste prioriteete. Liivi lahe ja Väinamere dünaamikat on põhjalikult analüüsinud nii TÜ Eesti Mereinstituudis kui ka TTÜ Meresüsteemide Instituudis; viimane osaleb juba aastaid Läänemere operatiivokeanograafia koostöövõrgustikus.



2005. aasta 9. jaanuaril voolas vesi ka Haapsalu vanalinnas.

ARVO TARMULA