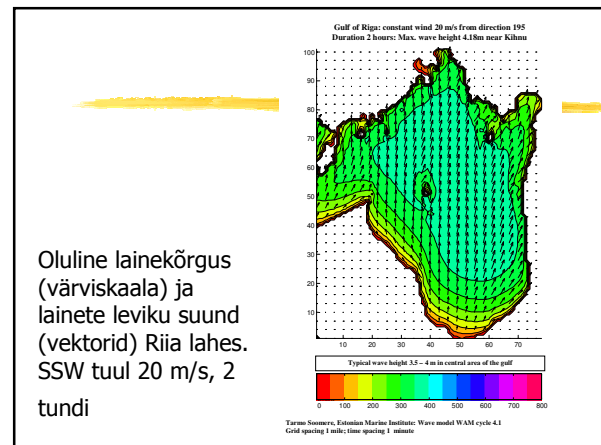
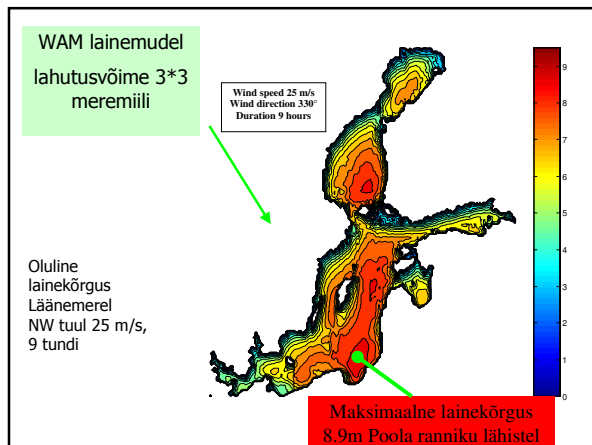


Loeng 10b: Avamerelainete modelleerimine

- lühike sissejuhatus tuulelainete omaduste arvutamisse
- koos harjutustega

Eesmärk:

Teada, st. suuta
ennustada (forecast)
või **taastada** (hindcast)
avamerelainete omadusi
igal ajahetkel
ning **igas mere punktis**



Lainete omadused mingis mere punktis sõltuvad:

- ⌘ tuule kiirusest, suunast **ja nende väärtuste ajalis-ruumilisest jaotusest**
- ⌘ rannajoonest
- ⌘ **merepõhja iseloomust** (sh. lainete ja rannajoone ning merepõhja vastasmõjust)
- ⌘ **lainetevahelisest energiavahetusest**
- ⌘ **hoovustest**
- ⌘ **stratifikatsioonist (suhteliselt vähe)**

Sõnastiku variatsioone ehk milliseid nimesid daab anda lainete omadustele

Täenduslik laine kõrgus (Significant Wave Height),
Maksimaalne laine kõrgus (Maximum Wave Height),
Maksimaalne periood (**Peak Period**),
Keskmine periood (Mean Period),
Nulli läbimise periood (Mean zero crossing period),
Laine energia periood (**Energy Wave period**),
Laine sügavus (Wave Steepness),
Mere pinna ebaregulaarsus (**Irregularity of Sea-state**),
Laine spekter (**Wave spectrum**),
Ajaread (**Time series**).

(R.Tamsalu, vastutav toimetaja, Muuga sadama merekeskkonna seire 2003)

Lainetuse modelleerimise kaks aegkonda:

I **null-põlvkonna** mudelid
ennustavad lainetuse põhiliste parameetrite
käitumist tuule tugevuse, mõjuala jne. alusel,
nn. diagnostilised mudelid

II **1.-3. põlvkonna** mudelid
ennustavad lainevälja detaile,
baseeruvad tegelike füüsikaliste
protsesside analüüsil realselt muutuvates
tingimustes, nn. prognostilised mudelid

Lainetuse modelleerimise verstaposte

TEORIA

- Lainetuse spektri kontseptsioon (Pierson et al. 1955)
- Spektri evolutsiooni võrrand (Gelci et al. 1956, 1957)
- Lainetuse tekkimise uued teooriad (Phillips 1957, Miles 1957)
- Lainetevaheline energiyahetus (Hasselmann 1962)

EKSPERIMENDID

- Vaikse ookeani ummiklaine sumbumise uuringud (Snodgrass et al. 1966)
- JONSWAP (Hasselmann et al 1973)
- Mitsuyasu et al. 1971
- Bight of Abaco mõõtmised (Snyder et al. 1981)

MODELLEERIMINE

- SWAMP (SWAMP group 1985)
- SWIM (SWIM group 1985)
- WAM (WAMDI Group 1988)
- SWAN (~1997)

Oluline lainekõrgus: kaks põhjust kasutada just seda

Ajalugu I: võeti kasutusele II Maailmasõja päevil
avaookeani lainete kõrguste ja perioodide ennustamisel
Ajalugu II: algselt 30%, edaspidi 1/3, kõrgeimate lainete
keskmine kõrgus

PÕHJUS 1: vaatlejate hinnatud lainekõrgus = 20% - 40%
kõrgeimate lainete keskmine kõrgus (Scripps Institution of
Oceanography, Wiegel (1964: p. 198))

PÕHJUS 2: teatavatel
tingimustel on

$$H_s = H_{1/3} = 4\sqrt{\langle z^2(t) \rangle}$$

Seega oluline lainekõrgus tõepoolest ei sõltu ei
interpreteerimise ega mõõtmise viisist.

Tüüpilised lainetuse tingimused

avamerel: enamus lainetest levib enam-vähem
ühes suunas - piisab ühemõõtmelisest spektrist

Lainetuse modelleerimise vanaaeg:

nn. **null-põlvkonna** mudelid - ennustavad
lainetuse põhiliste parameetrite käitumist
eeldusel, et enamus lainetest levib enam-vähem
ühes suunas

Enim kasutatakse nn. parameetriisi mudeleid:

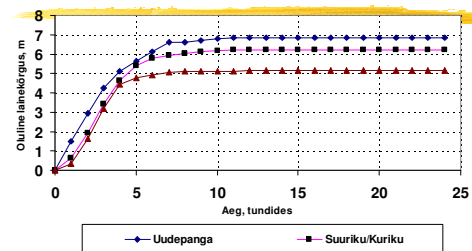
- Pierson-Moskowitz (PM): täielikult väljakujunenud
(küllastunud) lainetus (kirjeldab **üks parameeter**)
- JONSWAP: sõltub tuule mõjualast, **kaks parameetrit**

Kuidas lainetus tekib ehk mis juhtub, kui peegelsileda vee kohal hakkab puhuma tuul

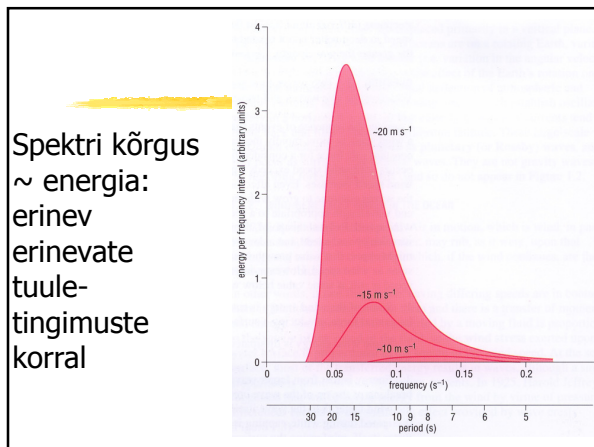
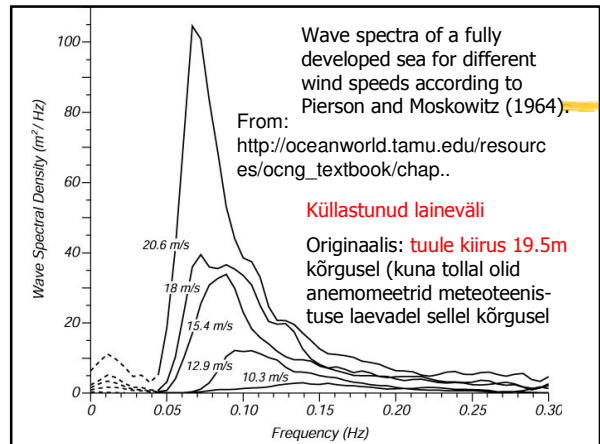
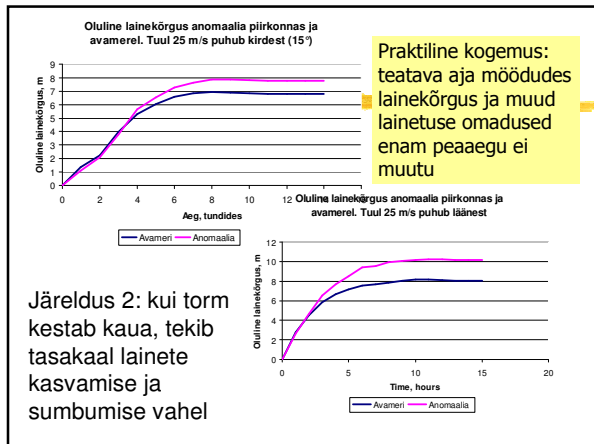
Üksteise järel käivituvad kolm protsessi:

1. Tuule väikesed ebahütlused veepinna lähistel tekitavad lühikesi laineid
(laineikkusega mõni sentimeeter, nn. Phillipsi (1957) mehhanism).
2. Kui tuul puhub väikeste lainetega kaetud veepinna kohal, kasvab juba tekkinud
lainete kõrgus kiiresti - eksponentsiaalselt (Miles, 1957). Tegemist on teatava
positiivse tagasisidemega: mida kõrgemaks laine kasvab, seda suuremaid häiritusi
tuules ta põhjustab ning seda tugevamini tuul laine mõjutab. Kiire kasv kestab
õnneks vaid teatava aja.
3. Kui lained on kasvanud teatava kõrguseni, hakkab olulist osa mängima
lainetevaheline energiyahetus, mis tekitab ühe pikemaid laineid (Hasselmann et
al., 1973). Selle protsessi käigus tekitavad Milesi mehhanismi kaudu tekkinud
lained aina pikemaid laineid, sh. laineid, mis levivad veepinnal tuulest kiiremini
4. Kogu protsessi piirab lainete murdumine ning mererand

Kasvukõverad Läänemerel ehk kuidas lainetus edeneb



Järeldus 1: kõrge lainetuse tekkimiseks on
vaja palju aega



Pierson-Moskovitzi spekter (1964)

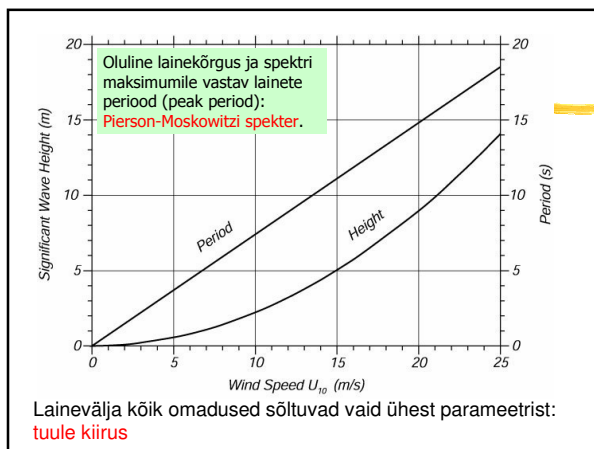
EELDUS:
Tuul puhub konstantse suuna ja kiirusega nii kaua ning nii suurel merealal, et lainete omadused enam ei muutu.

DEFINITSIOON: Sellist lainevälja nimetatakse küllastunuks

Selgitused:
'Kaua' = ca 10 000 laine perioodi ehk ~1 ööpäev aega
'Suur mereala' = ca 5 000 lainepikkust ehk ~1000 km

Kasutati Suurbritannia meteoteenistuse laevadel kiirusanduritega mõõdetud andmeid Põhja-Atlandilt.

Vaadeldi vaid neid andmeid, kui tuul oli olnud homogeenne pikka aega. Erinevatele tuule kiirustele vastasid suhteliselt sarnased lainetuse spektrid



Eelis: lainetuse parameetrite leidmiseks: tarvis teada vaid spektri tipu asukohta!

Piisab tuulest: $T_p \approx 0.64u_{10}$ $h_s \approx 0.22 \frac{u_{10}^2}{g}$

Lihtsal mudelil lihtsad puudused

$\frac{h_s}{L_p} = const$ (1) Sügavas vees on lainete järskus (steepness) sõltumatu lainekõrgusest; tegelikult see nõnda pole

$c_{fp} = c_f(\omega = \omega_p) \approx 1.17u_{10}$

(2) Sügavas vees on spektri maksimumile vastavate lainete faasikiirus suurem tuule kiirusest; tegelikult see nõnda pole

JONSWAP spekter (1973): miks?

(Joint North Sea Wave Observation Project)

Pierson-Moskovitzi spektri tekkimise EELDUS:
Tuul puhub konstantse suuna ja kiirusega nii kaua ning nii suurel merealal, et lainete omadused enam ei muutu.

TEGELIKULT küllastunud lainetust ei eksisteeri ning laineväli jääb üha muutuma, ka väga suurte merealade ja tuule kestuste jaoks

(Põhjuseks on lainete mittelineaarsed omadused)

Teine parameeter: tuule mõjuala

Tuule mõjuala I

DEFINITSIOON

Tuule mõjualaks (fetch) hüütakse mereala, kus tuul puhub praktiliselt konstantse suuna ja tugevusega (tavaliselt <500km)

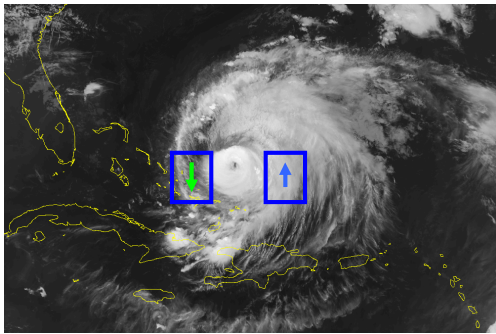
Kommentaariid

- (i) Sisemeredel (Läänemere avaosas) ja järvedel on tuule mõjuala sageli kogu vaadeldav mereala;
- (ii) Kui tuul liigub koos lainetega, võib olla tegemist liikuva tuule mõjualaga (jaanuaris 2006 Norra mere kõrgeimad lained!)

DEFINITSIOON

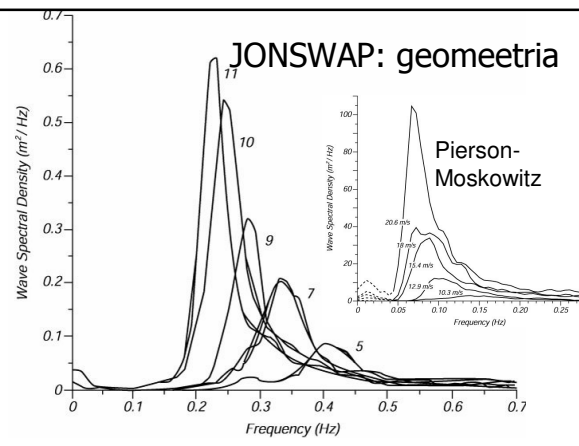
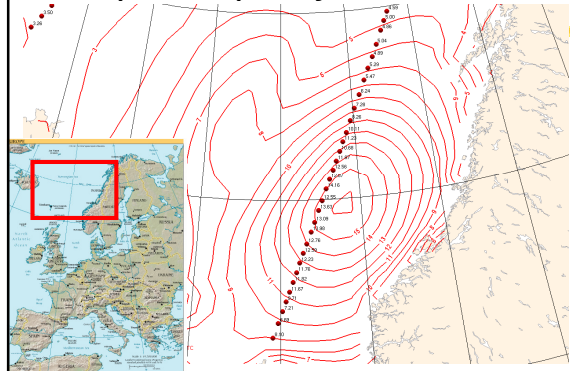
Ummiklainetuseks (swell) hüütakse laineid, mida on tekitanud mingi muul merealal mõjunud tuul.
Tuulelainetuseks (seas, windseas) hüütakse konkreetse tuule tekitatud laineid selle tuule mõjualal

Tuule mõjuala / jooksumaa / fetch



Orkaan Bonnie, 19.-30. august 1998, tuule kiirus kuni 180 km/h

Põhja-Atlandi kõigi aegade lainekõrguse rekord (Hs=17m): 11. jaanuar 2006



Mõjuala ja energia

$$\langle z^2(t) \rangle = 1.67 \times 10^{-7} \frac{(U_{10})^2}{g} x$$

$$H_s = 4 \sqrt{\langle z^2(t) \rangle} = 0.22 \frac{U_{10}^2}{g}$$

Küllastunud lainetuse kõrgus \sim tuule KIIRUSE RUUT (Pierson-Moskovitz)

$$H_s = 4 \sqrt{\langle z^2(t) \rangle} = \sqrt{16 \frac{1.67 \times 10^{-7}}{g}} \times U_{10} \sqrt{x}$$

Piiratud suurusega tuule mõjualal tekkinud lainetuse kõrgus \sim tuule KIIRUS \times ruutjuur mõjuala pikkusest (JONSWAP)

0. Generatsioon ehk diagnostilised mudelid

Laine kõrgus ja periood sõltuvalt
 tuule mõjuala suuruselt ja asukohast
 tuule kestvusest
 tuule tugevusest
 mere sügavusest (Shore Protection Manual 1984)

Parameetrised lainemudelid (ka 0-põlvkond, diagnostilised mudelid)

- > "Parameetrised" – kuna kasutavad parameetreid - tuule kiirust (ja mõjuala) – lainetuse parameetrite hindamiseks, jättes kõrvale lainetuse tekkimise ja arengu füüsika
- > Määratakse: Lainekõrgus H ja periood T
- > Põhiline suurus: tuule kiirus U
- > Muud parameetrid: mõjuala pikkus L_f , tormi kestvus t [, vee sügavus h]
- > Kui L_f , t , h on lõpmatud \rightarrow küllastunud lainetuse tingimused \rightarrow kõik sõltub vaid tuule tugevusest (Pierson-Moskowitz)
- > Sverdrup-Munk (1947)-Bretschneider (1958): \sim PM
- > JONSWAP (standard alates 1984)

JONSWAP parameetiline meetod

Aluseks: **dimensioonitud** suurused $L_f^* = \frac{gL_f}{U^2}$ $h_{m0}^* = \frac{gh_{m0}}{U^2}$ $T_p^* = \frac{gT_p}{U^2}$ $t^* = \frac{gt}{U}$

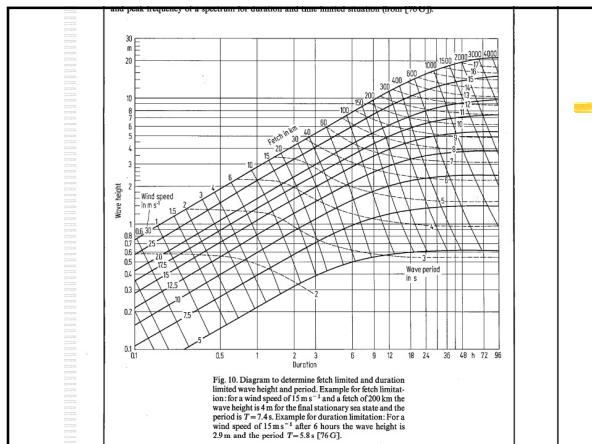
Põhilised empiirilised seosed

$$h_{m0}^* = 0.0016(L_f^*)^{1/2} \quad T_p^* = 0.286(L_f^*)^{1/3} \quad t^* = 68.8(L_f^*)^{2/3}$$

Kolm režiimi:

- Limiteeritud tuule mõjuala pikkusega (fetch-limited)
 (Saab kohe kasutada valemeid h ja T_p jaoks)
- Limiteeritud tuule kestvusega (duration-limited)
 (kõigepealt arvutada efektiivne tuule mõjuala; ja siis kasutada $\min(L_f, L_{eff})$) $L_{eff}^* = \left(\frac{t^*}{68.8}\right)^{3/2}$
- Küllastunud lainetus
 (kasutada maksimaalseid väärtusi)
 $h_{m0}^* = 0.243 \quad T_p^* = 0.813 \quad t^* = 71.5$

Vanaaegkonna lõpp: lainetuse tabelid - nomogramm

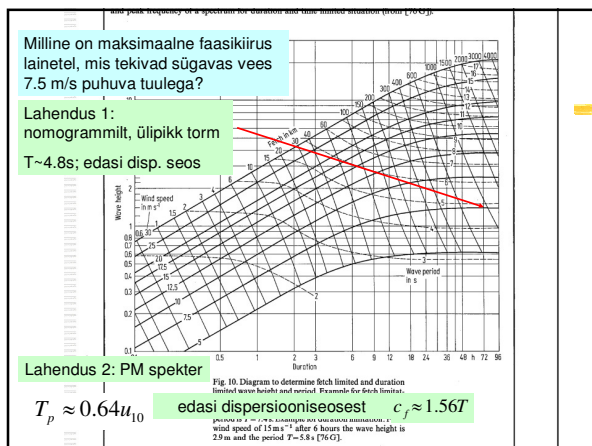
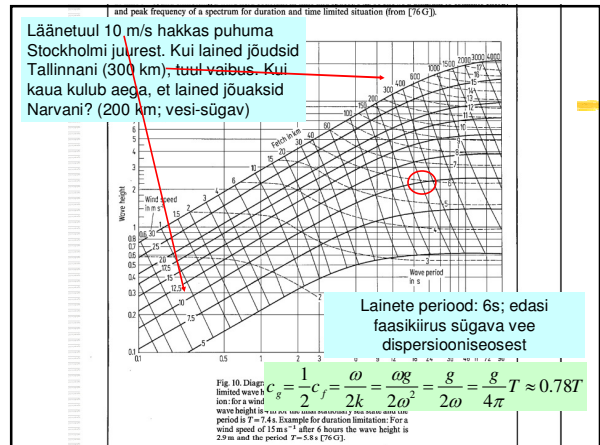
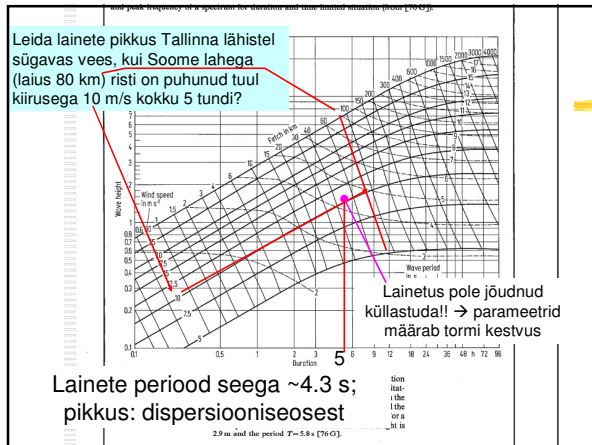
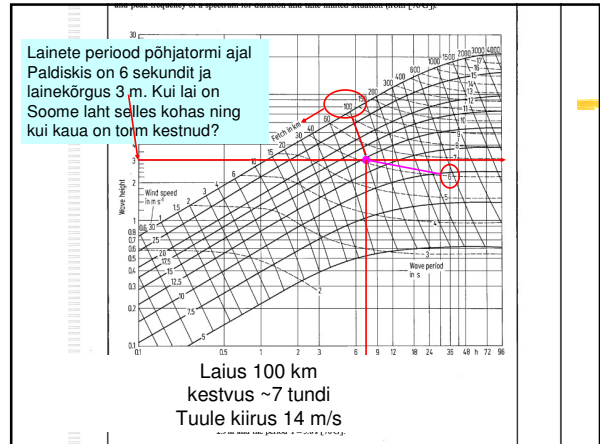


Viis lainevälja iseloomustavat või kujundavat tegurit nomogramm

- > Lainekõrgus
- > Periood (spektri tipp)
- > Tuule kiirus
- > Tuule mõjuala
- > Tuule kestvus
- > Üldiselt vaid kaks neist sõltumatud
- > Ülejäänud saab leida nomogrammilt
- > Küllastunud lainetus:
 - > lainekõrgus ja periood tormi pikenedes ei suurene – nomogrammi parempoolne serv
 - > (sõltumatuid tegureid vaid üks)
 - > Osa kombinatsioone võimalud

Harjutused

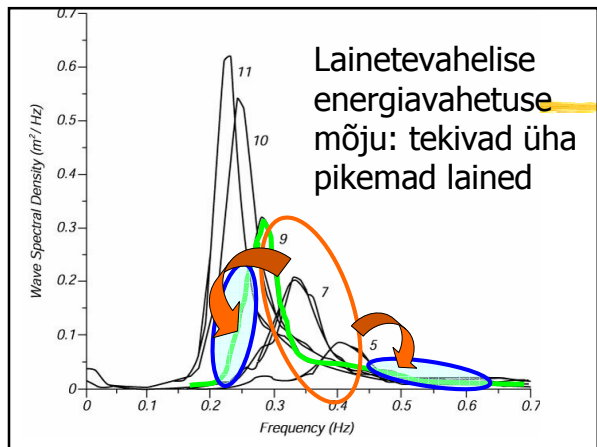
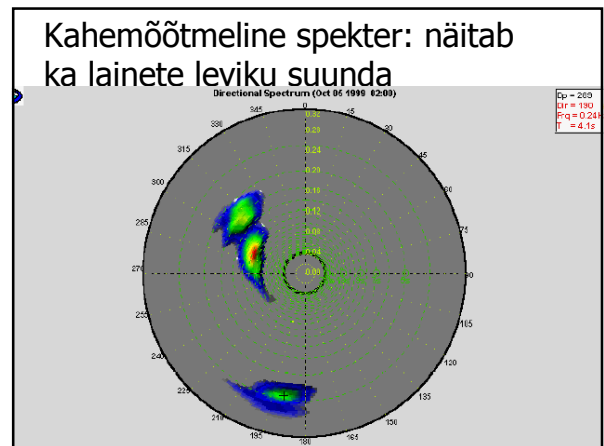
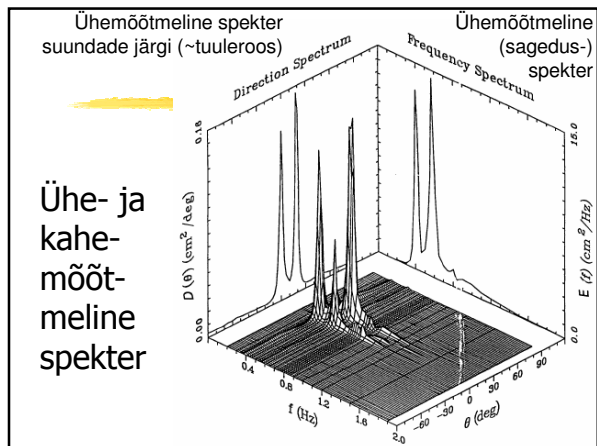
- Lainete periood põhjatormi ajal Paldiskis on 6 sekundit ja lainekõrgus 3 m. Kui lai on Soome laht selles kohas ning kui kaua on torm kestnud?
- Leida lainete pikkus Tallinna lähistel sügavas vees, kui Soome lahega (laius 80 km) risti on puhunud tuul kiirusega 10 m/s 5 tundi?
- Läänetuul 10 m/s hakkas puhuma Stockholmi juurest. Just siis, kui kujunenud lained jõudsid Tallinna-Helsingi joonele (sinna on 300 km), tuul vaibus. Kui kaua kulub aega, et lained jõuaksid Narvani? (veel 200 km; lugeda vesi väga sügavaks.)
- Milline on maksimaalne faasikiirus lainetel, mis tekivad sügavas vees 7.5 m/s puhuva tuulega?



Uued ajad - lainetuse detailide prognoos tegelike füüsikaliste mehhanismide alusel

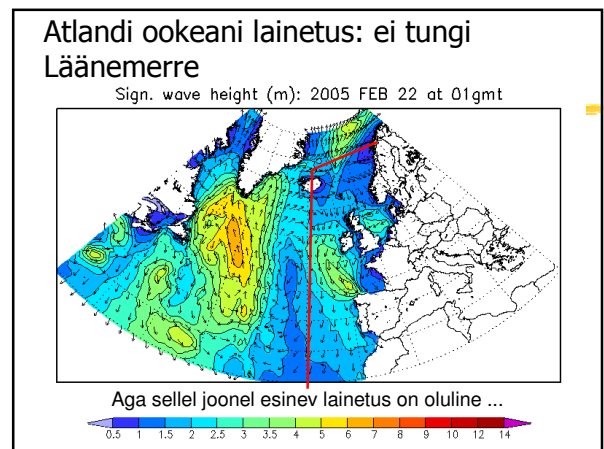
1.-3. generatsiooni spektraalsed ehk prognostilised mudelid

arvutavad lainetuse käitumise sõltuvalt nii ajas kui ka ruumis muutuvast tuulest realsel merealal ning arvesse võttes lainete eneste omadusi konkreetsel merealal ja ajal



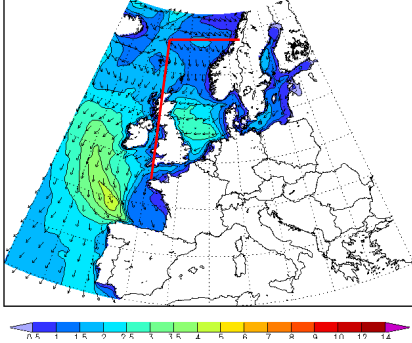
- Lainetuse muutumine:
- ⌘ Lainekõrguse kasv vee madalamaks muutumisel (shoaling)
 - ⌘ Energiakadu põhjahõõrde tõttu (seda me otseselt ei näe)
 - ⌘ Laineharjade murdumine
 - ⌘ Refraktsioon
 - ⌘ Difraktsioon
 - ⌘ Peegeldumine (suhteliselt haruldane)

- Mitmeastmeline modelleerimine
- Avamerel: laineväli suhteliselt homogeenne - muutused mastaabis ~10 km, ~10 min;
 - Piiratud merealad (Soomes laht) - muutused mastaabis ~1-2km, ~1-2 min; enamasti spektraalsed lainemudelid
 - Väikesed merealad (Tallinna laht, Muuga laht, Pärnu laht): muutused mastaabis ~100 m, ~10-20s
 - Kohalikud laineolud



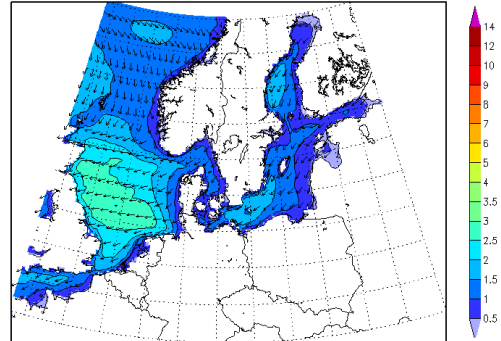
... kuid on oluline Norra mere ja Põhjameri lainetuse prognoosiks

Sign. wave height (m): 2005 FEB 22 at 01gmt



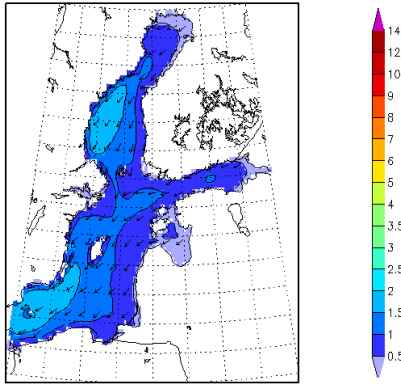
Põhjameri + Läänemeri

Sign. wave height (m): 2005 FEB 22 at 01gmt



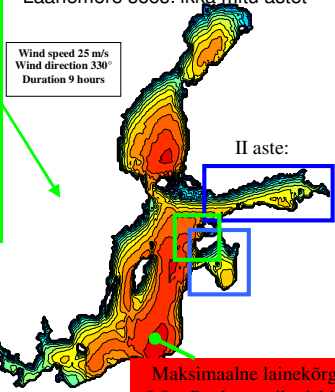
Sign. wave height (m): 2005 FEB 22 at 01gmt

Läänemeri:
lainetuse
suhtes
praktiliselt
suletud ala



Läänemere sees: ikka mitu astet

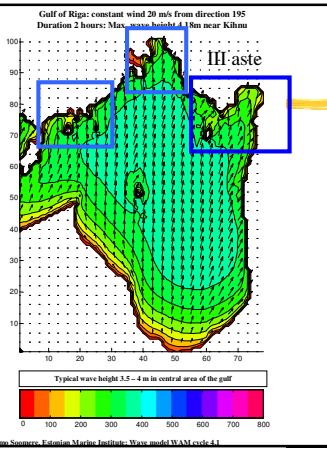
I aste:
WAM lainemudel
lahutusvõime
3*3 meremiili
(leitakse piisava
täpsusega
lainetuse
omadused
avamerel)



Maksimaalne lainekõrgus
8.9m Põlva ranniku lähistel

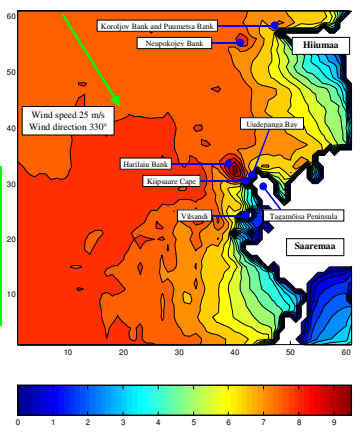
Oluline
lainekõrgus
Läänemere
NW tuul 25 m/s,
9 tundi

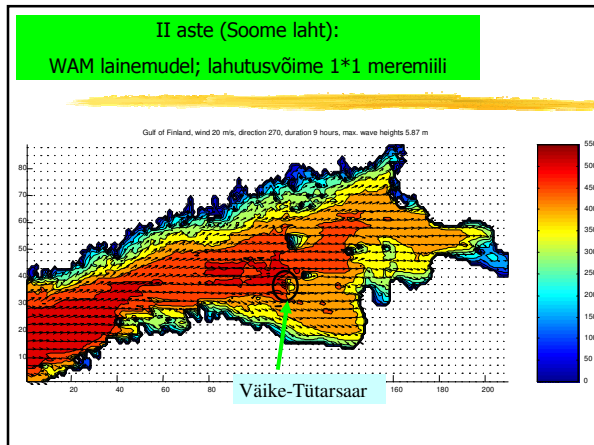
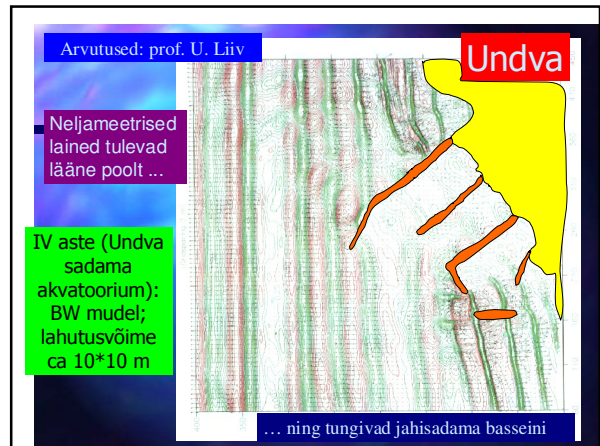
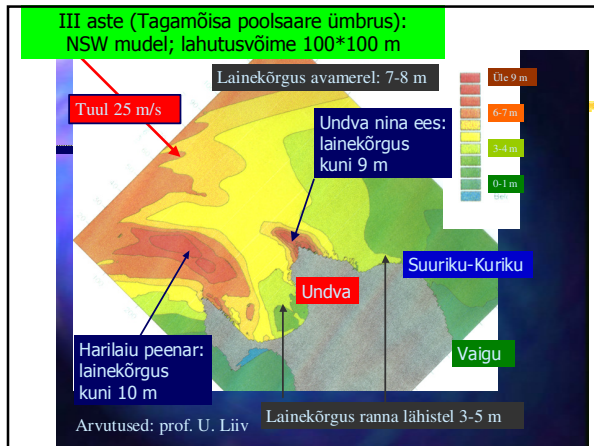
II aste:
WAM lainemudel
lahutusvõime
1*1 meremiili
(leitakse piisava
täpsusega
lainetuse
omadused
merealadel
~100x100 km)



Oluline
lainekõrgus Riia
lahel
SSW tuul 20
m/s, 2 tundi

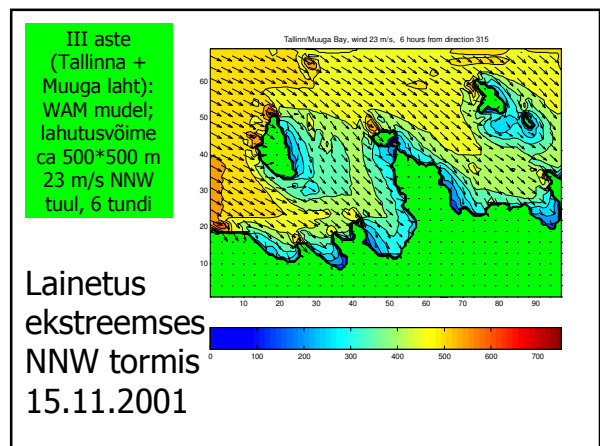
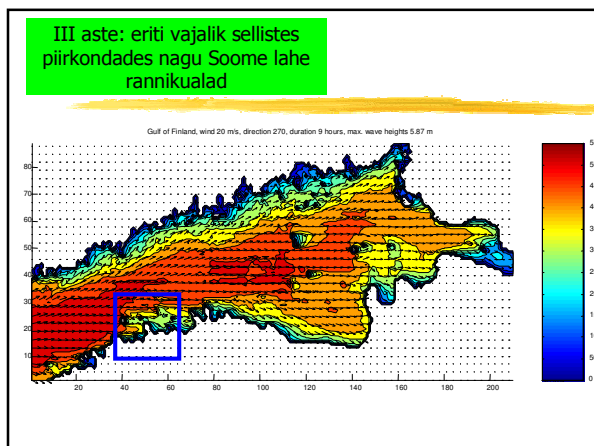
II aste (Läänemere
avaosa Saaremaast
loodes):
WAM lainemudel;
lahutusvõime 1*1
meremiili





VÄIKE-TÜTARSAAR, 9.11.1999

- ❖ Vene kalalaev 'Voshod' otsis tormi eest varju Väikese Tütarsaare juures.
- ❖ Selgitamata asjaoludel triivis laev aga saare alltuulepoolsel küljel karidele.
- ❖ Eesti piirivalve ajaloo suurima päästeoperatsiooni käigus suudeti kõik 19 Vene kalurit kaldale tuua.
- ❖ Pole välistatud, et kapten ei osanud karta lainetuse tugevnenist väikese saare alltuulepoolsel küljel.
- ❖ Laeva logiraamatut Eesti võimudele ei näidatud, sest õnnetus toimus Vene vetes.
- ❖ Vene meremehed selgitasid vaid, et Voshod seisis Väikese Tütarsaare juures, kui tuul pöördus äkitselt, ankur ei pidanud enam ja lained kandsid laeva karile.



Lainekliima

Kujuneb tuule ja mere geomeetria vastasmõjus

Lainekõrguse sõltuvus mõjuala suurusest ja tuule kiirusest

Küllastunud lainetuse kõrgus \sim tuule KIIRUSE RUUT (Pierson-Moskovitz)

$$H_s = 4\sqrt{\langle z^2(t) \rangle} = 0.22 \frac{u_{10}^2}{g}$$

$$H_s = \sqrt{16 \frac{1.67 \times 10^{-7}}{g} \times U_{10} \sqrt{x}}$$

Piiratud suurusega tuule mõjualal tekkinud lainetuse kõrgus \sim tuule KIIRUS \times ruutjuur mõjuala pikkusest (JONSWAP)

Kumbki ei arvesta: põhja mõju, rannajoone geomeetria, tuule muutumist merel jne..

Lainete omadused mingis mere punktis sõltuvad:

- tuule kiirusest, suunast ja nende väärtuste ajalis-ruumilisest jaotusest
- rannajoonest
- merepõhja iseloomust (sh. lainete ja rannajoone ning merepõhja vastasmõjust)
- lainetevahelisest energiavahetusest
- hoovustest
- stratifikatsioonist (suhteliselt vähe)

Lainekliima küsimused

- Keskmise lainekõrgus
- Maksimaalne lainekõrgus 1a / 5a / 10a ...
- Maksimaalne üksiklainet 1a / 5a / 10a ...
- Keskmiselt kord 1a esinev lainekõrgus
- Meresõidu jaoks kriitilise lainekõrguse esinemissagedus / jaotus aastaegadel
- Lainekõrgus 1% / 5% / 10% tõenäosusega
- Soovitavalt igas mere punktis
- \rightarrow Design Wave \sim laine, mida rajatis peab välja kannatama

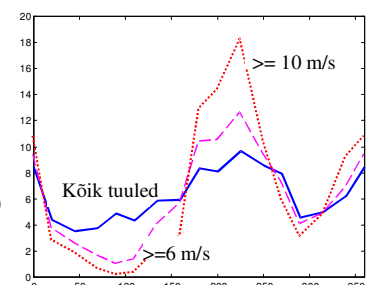
Lainekliima - kombinatsioon tuule struktuurist & mereala geomeetria

- Tugevalt anisotroopne Läänemere
- Keerukas keskmise suurusega basseinites merealadel (Riia laht, Soome laht)
- Muutlik väikestel merealadel (Tallinna laht, Muuga laht)
- Käitub isepäiselt ääretingimuste muutumisel

Tuul Läänemere:

anisotroopne ehk puhub eri suundadest eri sageduse ning tugevusega

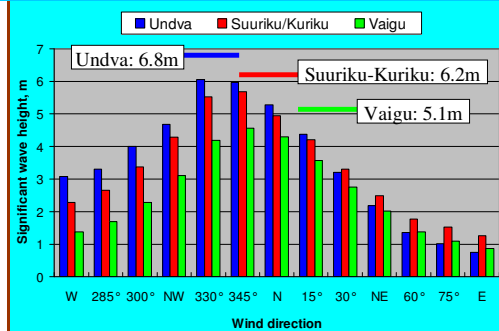
Tuule esinemissagedus protsentides (Vilsandi 1976-1991)



Lainekliima olulisus: selgus Saaremaa sadama asukohavaliku uuringutes



Maksimaalne lainekõrgus sadamakohtades erinevates suundadest puhuvate tuulte korral üks kord kümne aasta jooksul



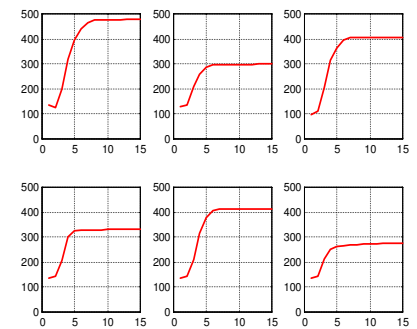
Näide: Riia laht-lihtsa kujuga pool-suletud mereala

Sõrve tuuled: peegeldavad hästi meretuult



Suhteliselt lühike küllastusaeg - tingitud lühikesest tuule mõjualast

Lainekõrgus tuule kiirusel 20 m/s erinevates lahe punktides



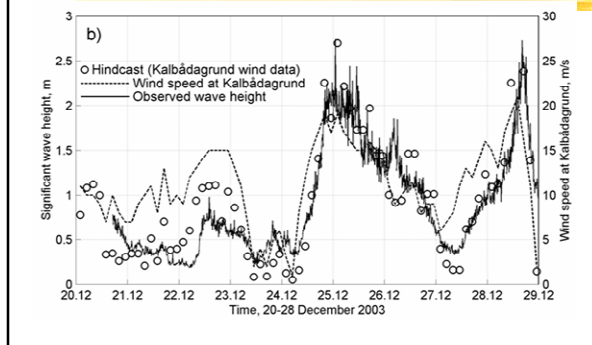
Lühike küllastusaeg & väikesed mõõtmed: lihtsustavad arvutusi

- Tuuleandmed iga 3-6 tunni tagant
- Küllastusaeg lühem → tuule ajaline dünaamika ebaoluline
 - Lainete parameetrid küllastuvad igal juhul
- Väike mereala
 - "eelmise" tuulega tekkinud lained jõudnud rannale → lainetuse "mälu" lühike
- Lainekliima arvutus võimalik jagada üksikuteks sõltumatuteks lõikudeks

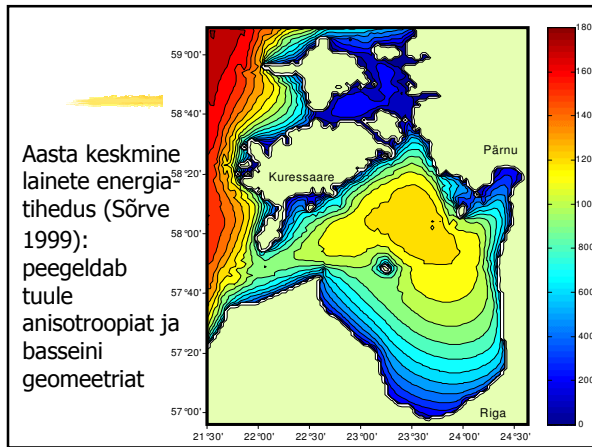
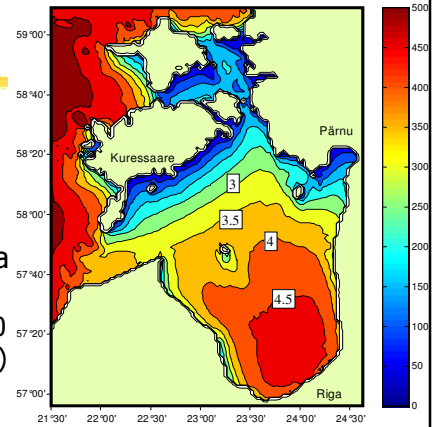
Lainekliima arvutus (i) kiiresti küllastuvas ja (ii) lühikesel mäluga merealadel

- Arvutada 3-tunnise kestvusega tuulele vastavad laineväljad
- Tuule kiirused: näiteks 5, 10, 15, 20, 23 m/s
- Tuule suunad: näiteks 15 kraadi tagant (24 suunda)
- Laineväli 01.01.1980 kell 03:00 (jne.)
 - Leida arhiivist mõõdetud tuulele vastav "kaart"
 - Vajadusel interpoleerida tuule kiiruse alusel
- Lainekliima: taoliste "kaartide" analüüs
- Eelised:
 - vaja arvutada 1x [24x5] kaarti; edasi lihtne statistika
 - Arvestatakse mereala geometriat, tuule kliimat jne.
- Miinus: pikaajalised tormid & teistel merealadel tekkinud lained ignoreeritud
- Tallinna laht: vigaseid väärtusi ~0.5%

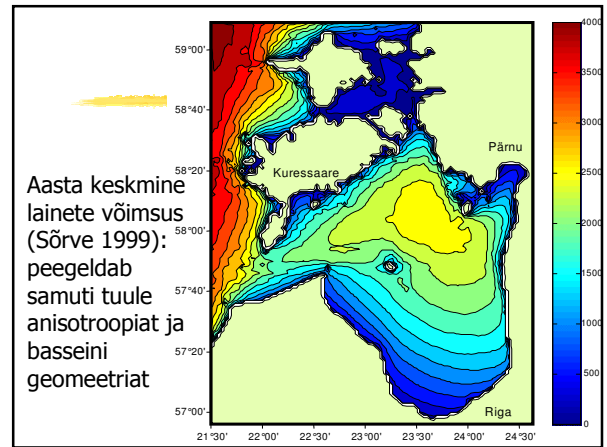
Näide Naissaare juurest



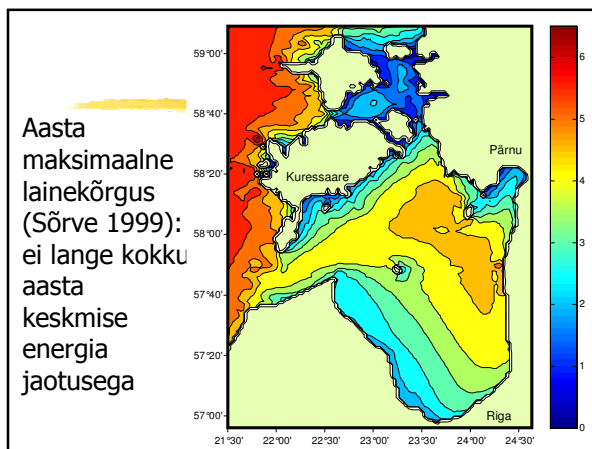
Kõrgeimad
lained:
NNW
tuulega Riia
kandis
(tuul 330, 20
m/s, 6 tundi)



Aasta keskmine
lainete energia-
tihedus (Sõrve
1999):
peegeldab
tuule
anisotroopiat ja
basseini
geomeetriat



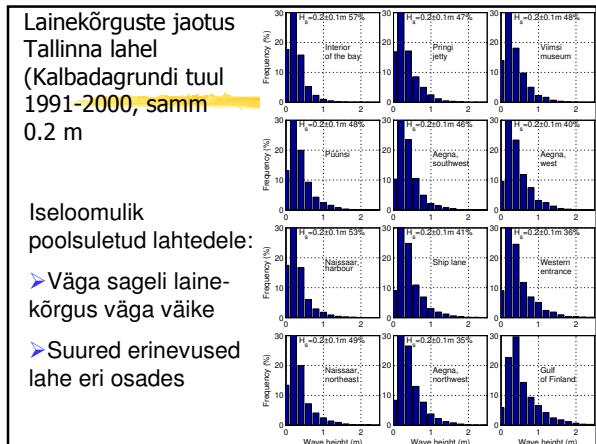
Aasta keskmine
lainete võimsus
(Sõrve 1999):
peegeldab
samuti tuule
anisotroopiat ja
basseini
geomeetriat



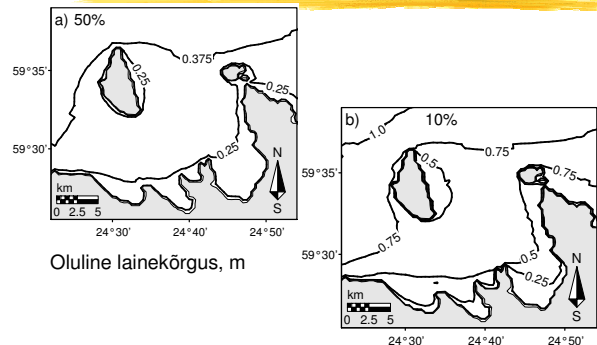
Aasta
maksimaalne
lainekõrgus
(Sõrve 1999):
ei lange kokku
aasta
keskmise
energia
jaotusega

Tallinna laht ja Muuga laht - keeruka kujuga poolsuletud alad

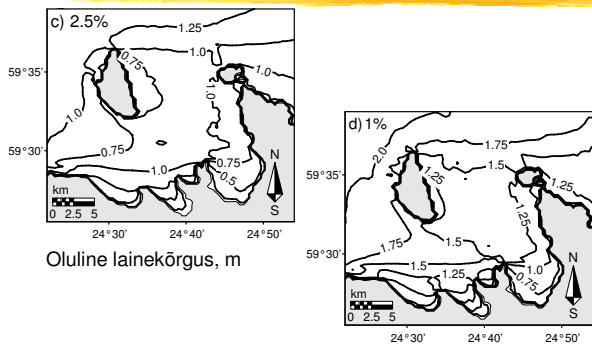




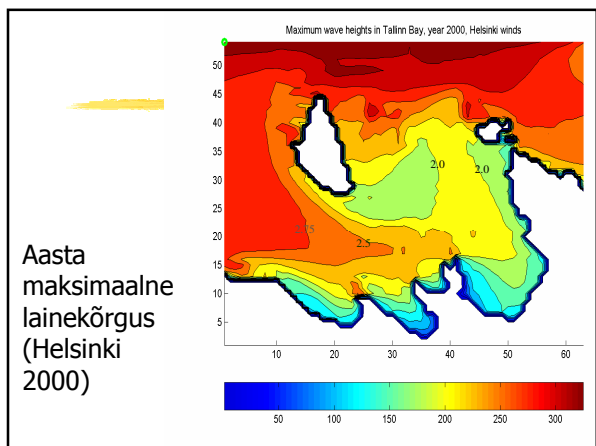
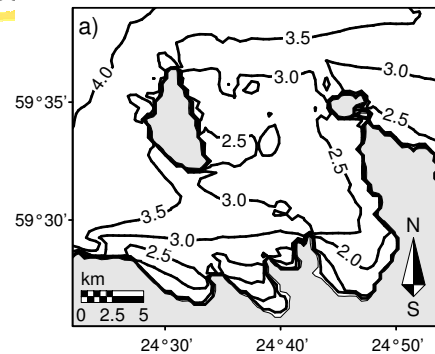
Lainekõrguste tõenäosused (Kalbadagrundi tuul, 1991-2000)



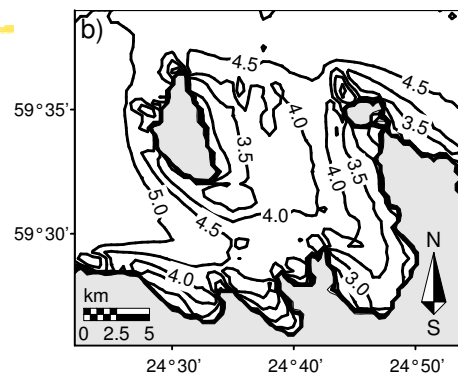
Lainekõrguste tõenäosused (Kalbadagrundi tuul, 1991-2000)



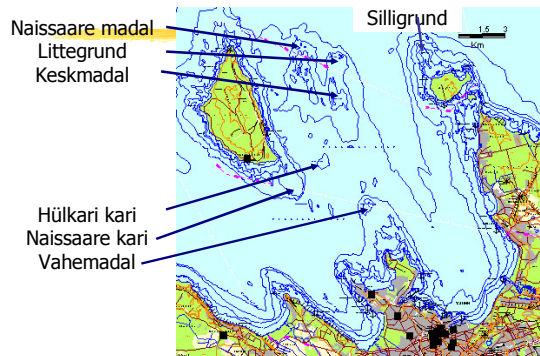
Aasta maksimaalne lainekõrgus (Kalbadagrundi tuul, 1991-2000)



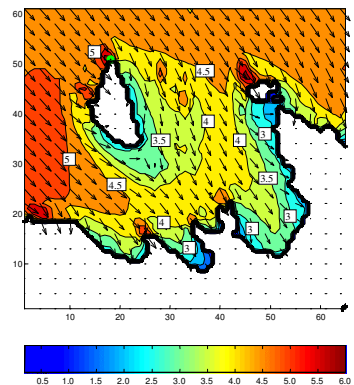
Lainekõrgus ~1xsajandis



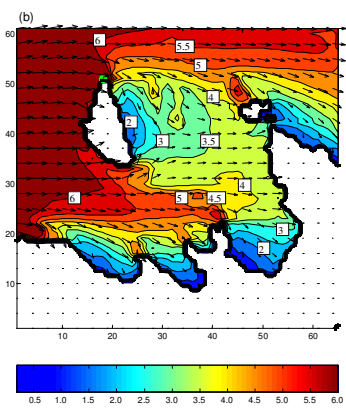
Tallinna lahte kaitsevad lainete eest mitmed madalad minimaalse sügavusega ~2-8m:



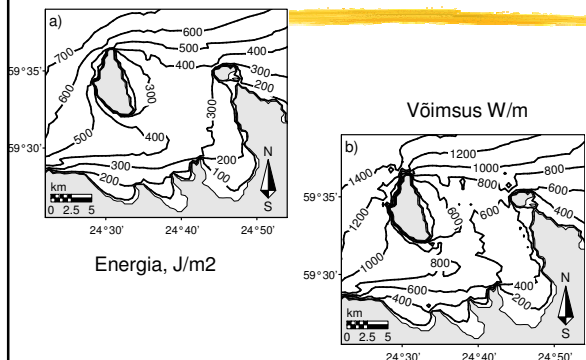
Madalate
kaitsev mõju
tugevas
tormis
15.11.2001



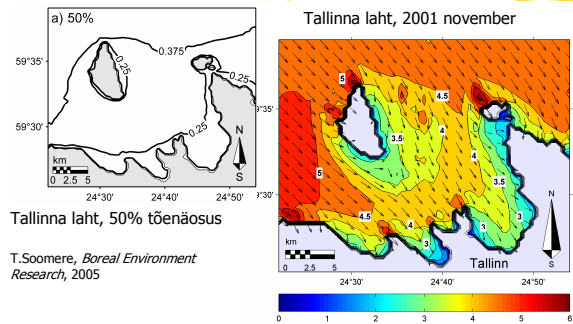
Madalate
kaitsev mõju
ekstreemses
läänetormis
(23 m/s,
kestnud 6
tundi)



Lainetuse energia & võimsus (keskmine,
Kalbadagrundi tuul 1991-2000)



Läänemere ja selle lahtede eripära:
üldiselt mahe lainekliima kombineerituna
üksikute väga tugevate tormidega



Eesti rannavete lainekliima iseärasusi

- Üldiselt vaikne
- Ulatuslik sesoonne muutlikkus
- Võimalikud üksikud väga tugevad tormid
- Tugev sõltuvus tuule suunast ja mereala geomeetriast
- ...

Jaanuaritorm 2005

Tõenäoliselt kõrgeimad lained
Läänemere kirjutatud ajaloos

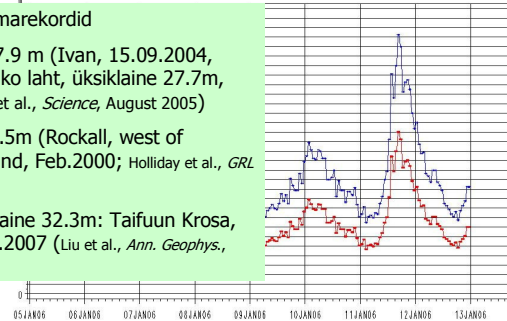
Oluline lainekõrgus >17 m üksiklained >27 m

Maailmarekordid

H_s 17.9 m (Ivan, 15.09.2004,
Mehhiko laht, üksiklaine 27.7m,
Wang et al., *Science*, August 2005)

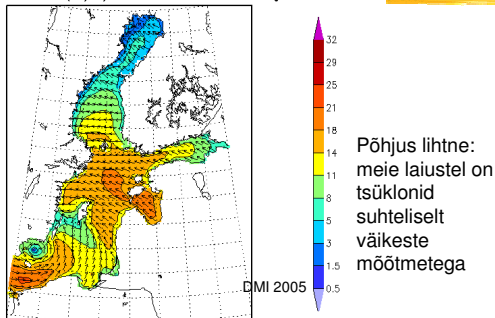
H_s 18.5m (Rockall, west of
Scotland, Feb.2000; Holliday et al., *GRL*
2006)

Üksiklaine 32.3m: Taifuun Krosa,
06.10.2007 (Liu et al., *Ann. Geophys.*,
2008)



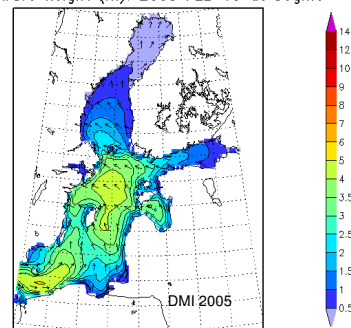
Tormid Läänemerele: enamasti tuule suund erinev eri merealadel

Wind at 10m (m/s): 2005 FEB 13 at 06gmt



Tuule ruumiline muutlikkus → lainekõrgus mõistlik (multiple max)

Sign. wave height (m): 2005 FEB 13 at 06gmt

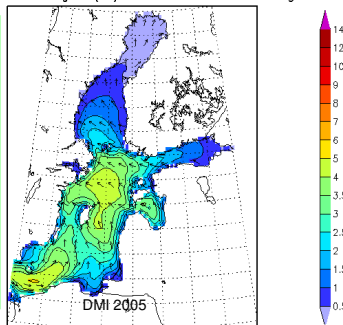


Tuule ruumiline muutlikkus → lainekõrgus tagasihoidlik

Sign. wave height (m): 2005 FEB 13 at 06gmt

Kõrgete & pikkade
lainete tekkimiseks
on vaja:

- (i) kõva tuult
- (ii) enam-vähem
ühtlaselt puhumas
- (iii) suurel merealal
- (iv) kaua aega



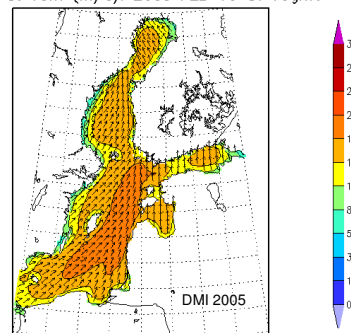
Tugevad tormid Läänemerele: enamasti tuul puhub edelast (= piki merd)

Wind at 10m (m/s): 2005 FEB 10 at 16gmt

Kõrgeimad
lained peaksid
tabama Soome
edelarannikut

Ka Eesti on just
tuule ja lainete
teel

Statistika:
kõrgeimad
lained mere
lõunaosas
(tugevam tuul)

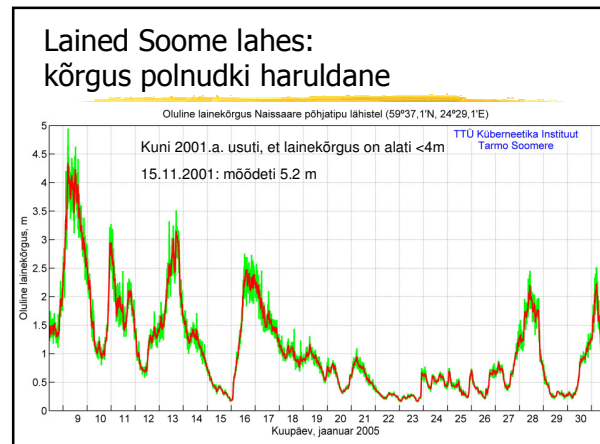
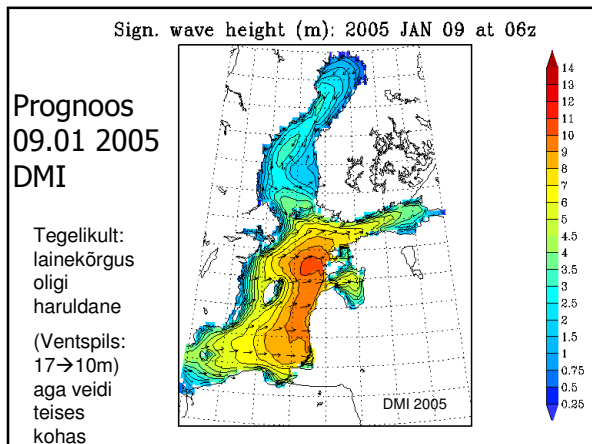
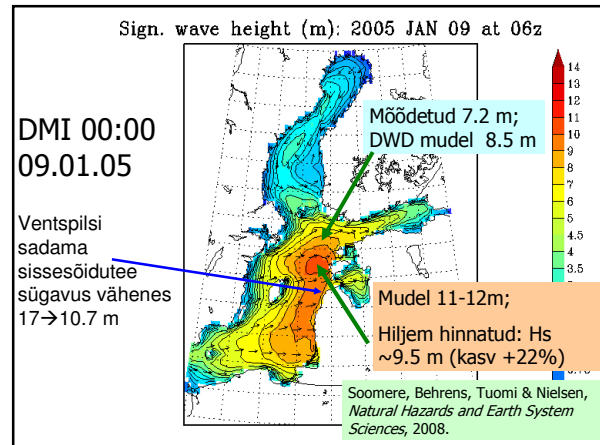
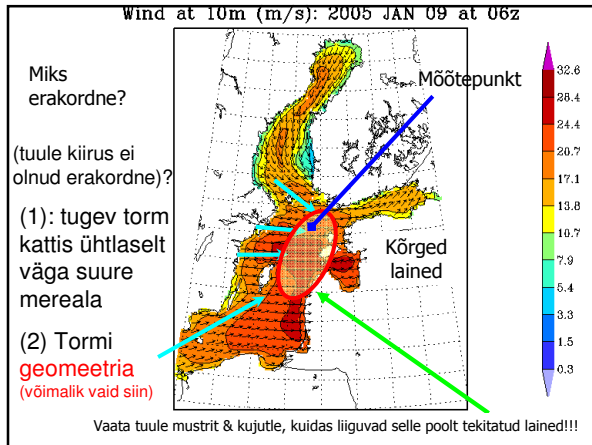
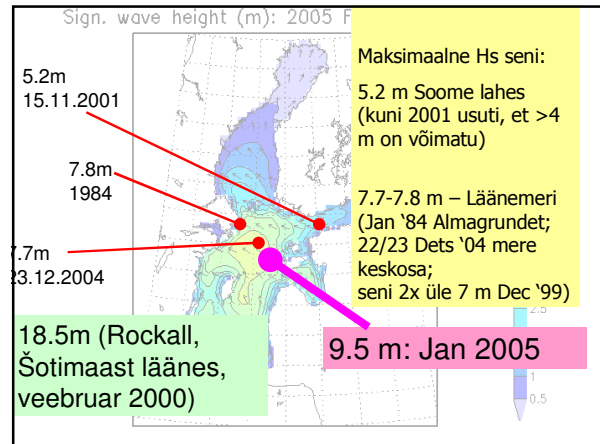


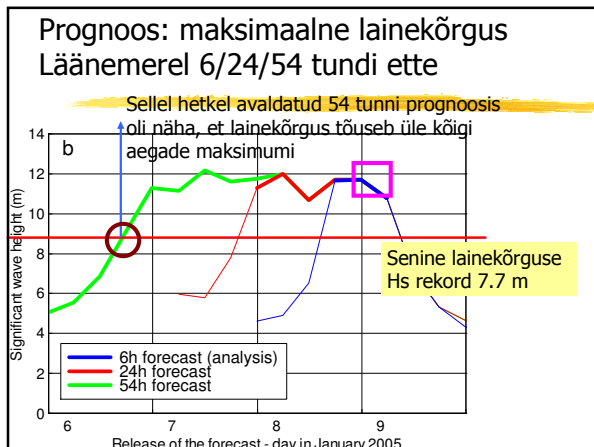
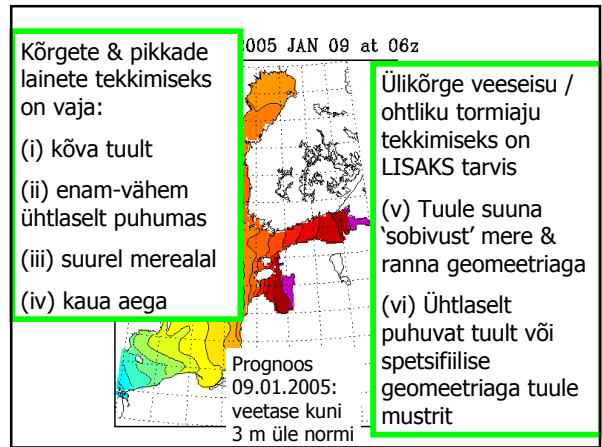
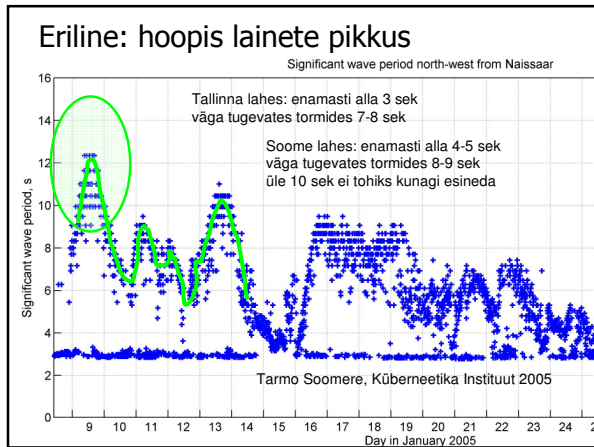
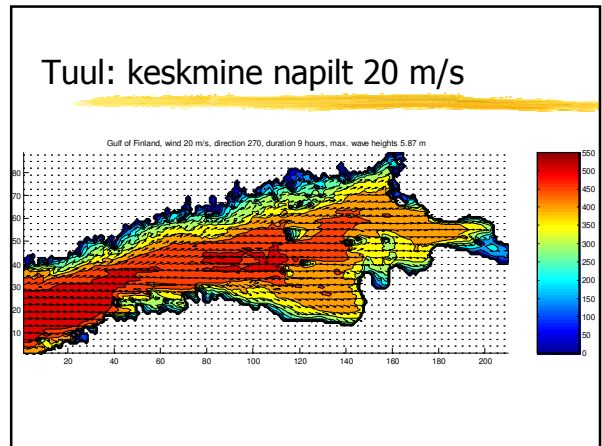
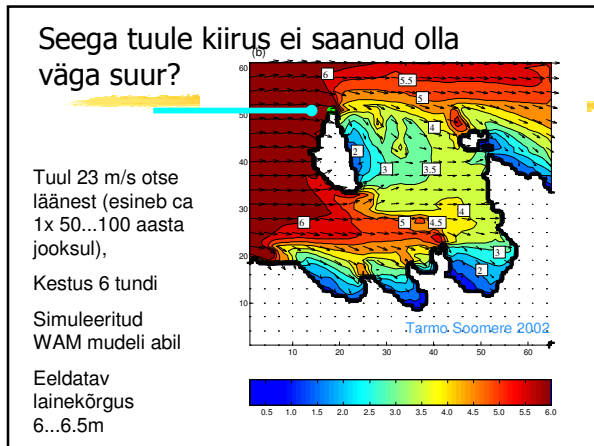
Ekstreemsed lainetuse tingimused Läänemeres 1978-2008

- Jaanuar 1984: Hs=7.82 m (Almagrundet)
- (väga tugev torm jaanuaris 1993, ei suudetud salvestada)
- Detsember 1999: kaks korda Hs>7m kahe nädala jooksul (avamere lainepoi)
- 23 detsember 2004: Hs=7.7 m
- 09 jaanuar 2005: Hs=7.2 m

Üldine usk 2004: Hs saab olla maksimaalselt ~8-8.5 m

2005 jaanuaris: 9,5 m!!





Veidi võõramaa keelt ehk probleemseim koht

Inadequate warning system left Asia at the mercy of tsunami

Emma Martin, Washington

When two tectonic plates beneath the Indian Ocean cracked past each other at 0.96 cm/s on 26 December 2004, the sea floor was forced upwards by some 10 metres. This displaced in the region of a trillion tonnes of water, driving it towards southeast Asia's coastline in a long, low-amplitude wave travelling at up to 900 kilometres per hour.

When the wave reached shallower water near the coast, it shortened, slowed and gathered into surges that killed at least 150,000 people across a dozen countries. In the aftermath of the disaster, casualties continue to mount at a frenzied pace.

Seismologists knew about the magnitude 9 earthquake within minutes (see 'Triple dip of tectonic plates caused sea/ice surge', below), but the absence of monitoring equipment in the ocean itself meant that they didn't know for sure that a tsunami had occurred. Those who suspected as much were unsure how to get the word out to the region most at risk.

Although the small global community of tsunami researchers had stippled some concern about the risk of such an event, little had been done to plan for it. "It is



Nature, 433, 6 January 2005

Mis on eriline (Kagu-Aasia) tsunami juures?

- Suurim viimase ~40 aasta kohta
- Mitmete haruldaste omaduste kombinatsioon
- Tekkimise eripära → 2D geomeetria
- Veesakeste liikumise organiseeritus laines
- Hoiatussüsteem selles piirkonnas puudus

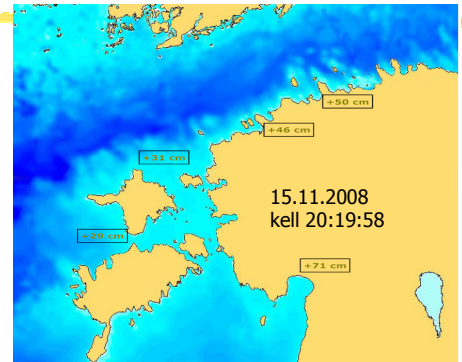
Mis on eriline jaanuaritormi lainete juures?

- Eelmine suurim veetõus (Pärnus) ~40 aasta eest
- Mitmete haruldaste omaduste kombinatsioon
- Tuule mustri vastavus Läänemere geomeetria
- Tuule mustri ja lainete leviku sünkroniseeritus
- Hoiatussüsteem selles piirkonnas puudulik

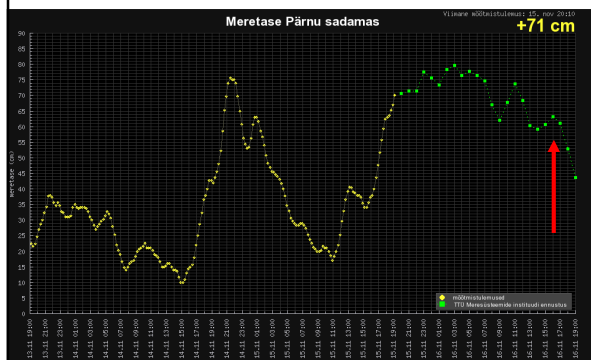
Viee aastaga on palju muutunud

- meretaseme jälgimine reaalajas 6-8 punktis
- mereproгноos arvutimudelite abil (Rootsis)
- hoiatused 1,5-2 päeva ette
- elanike hoiatamise süsteem Pärnus
- lainetuse ja veetaseme koosmõju analüüs Tallinnas
- Läänemere mereteaduse kongress 2009 Tallinnas
- ja mitmed-mitmed muud asjad

Mõõtmised reaalajas: TTÜ Meresüsteemide Instituut – 6 jaama, alates 2006-2007



Proгноos ja tegelikkus 15-16.nov



Viee aastaga on palju muutunud

- meretaseme jälgimine reaalajas 6-8 punktis
- mereproгноos arvutimudelite abil (Rootsis)
- hoiatused 1,5-2 päeva ette
- elanike hoiatamise süsteem Pärnus
- lainetuse ja veetaseme koosmõju analüüs Tallinnas
- Eesti esindatud Euroopa TF Merekomitees
- Läänemere mereteaduse kongress 2009 Tallinnas
- ja mitmed-mitmed muud asjad