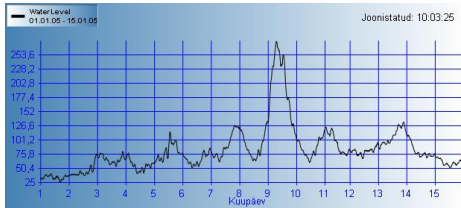


Loeng 9a

Veetase II



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Kordamiseks

Tormiaju komponendid

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Üleujutus: mitme komponendi koosmõju

- [Mere keskmine veetase – Läänemere probleem]
- Atmosfääri rõhk - baromeetriline tõus
- Tuulepinge mõju veepinnale ranna ääres: tormiaju
 - Coriolisi jõu mõju tormiajule: Coriolisi surge
- Rannast eemal tekkiv nn. ajuline (surge wave)
- Vabade pikkade lainete levimine
 - Coriolisi jõu mõju: Kelvini lained
 - Pikkade lainete peegeldumine järskudelt nõlvadelt
- Liikuvad õhurõhu häirituse tekitatud pikad lained (Kelvini lained, meteoroloogilised tsunamid jne.)
- Veetaseme lokaalne muutumine murdlainete vööndis (wave setdown+ wave setup)
- Basseini omavõnkumised – seišid

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Veetase laias laastus: avameri versus rannavöönd

- Avamere veetase
 - Rannikust piisavalt eemal (ranniku detailid enam ei mõjuta)
 - mastaabid mitukümmend kuni sada kilomeetrit
- Veetase keeruka kujuga rannas
 - Võib muutuda oluliselt mõne kilomeetri ulatuses

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Avamere veetase Läänemere tingimustes

- [Mere keskmine veetase – Läänemere probleem]
- Atmosfääri rõhk - baromeetriline tõus
- Rannast eemal tekkiv nn. ajuline (surge wave)
- Vabade pikkade lainete levimine
 - Coriolisi jõu mõju: Kelvini lained
- Liikuvad õhurõhu häirituse tekitatud pikad lained (Kelvini lained, meteoroloogilised tsunamid jne.)
- Basseini omavõnkumised – seišid

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

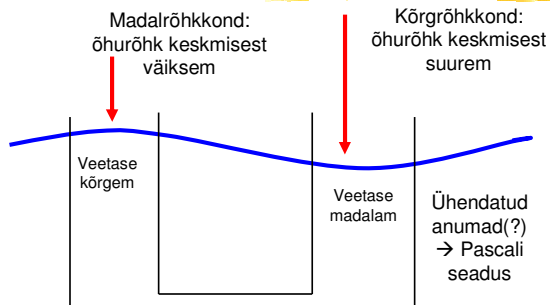
Lokaalne veetase sõltub veel:

- Tuulepinge mõju veepinnale ranna ääres: tormiaju
- Vabade pikkade lainete levimine:
 - Osalt - pikkade lainete peegeldumine järskudelt nõlvadelt
 - Kohalikud seišid
- Veetaseme lokaalne muutumine murdlainete vööndis
 - wave setdown
 - wave setup
 - Põhjus: vee edasikanne mittelineaarsetes lainetes

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Meri kui baromeeter



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Veetaseme muutused rõhkkondade all

- 1 mm Hg \sim 1.35 cm veesammast (vastavalt tiheduste suhtele)
- 1 millibaar (alates 1930)=1 hektopascal (HPa?)
 - = 1 mm veesammast
- Normaalrõhk 760 mm Hg = 1013,25 mbar
 - Rekord(-): 870 mb 12.10.1979, Guami, taifuun Tip
 - Rekord(+): 1083,8 mb 31.12.1968 Ahhaatjärv, Siber
- Toru "ühendatud anumate" vahel:
 - Avaookeanis: kogu veemass
 - Poolsuletud meredes: väinad

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Veetaseme muutus vastavalt rõhkkondade kujunemisele & liikumisele

Avaookeanis

- "Toru" = kogu mere veemass
- läbilaskevõime piiratud ainult lainelevi kiirusega
- (Anti)Tsüklonid levivad aeglasemalt kui pikad lained sügavas meres
- Seega veetaseme muutused \sim õhurõhu muutused & lainelevi kiirus

Läänemere/Põhjamerel vahel:

- Taani väinad
- Veetaseme muutused vaid sedavõrd, kui võrd seal vett läbi pääseb

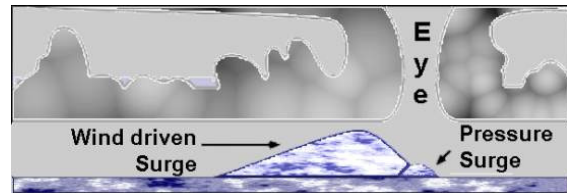
Liivi lahe/Läänemere vahel:

- Irbe väin + Väinameri
- Veetaseme muutused dikteeritud läbipääsuga mitmest väinast
- Mitu basseini \rightarrow võimalikud võnkumised basseinide vahel)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Ajulaine: tormi pool koos hoitav veekuhi

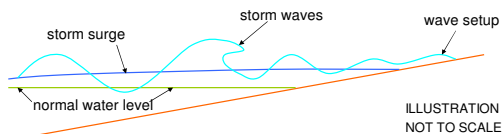
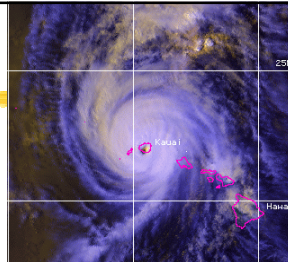


Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Ocean Processes due to Hurricanes

- **Storm surge**
Dome of water due to pressure drop (barometric tides + wind setup)
- **Storm waves**
10 – 16 sec waves generated by wind shear stress
- **Wave breaking**
Wave setup in coastal area



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

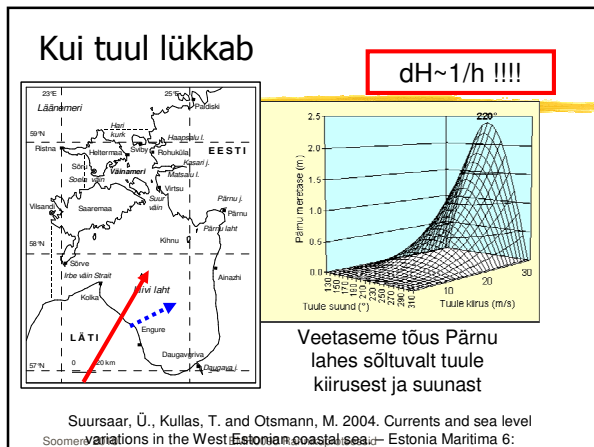
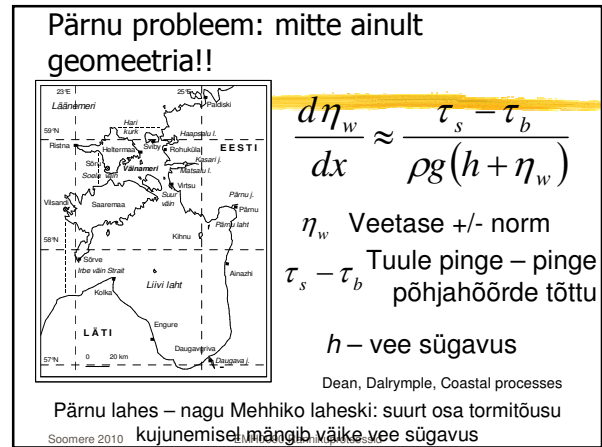
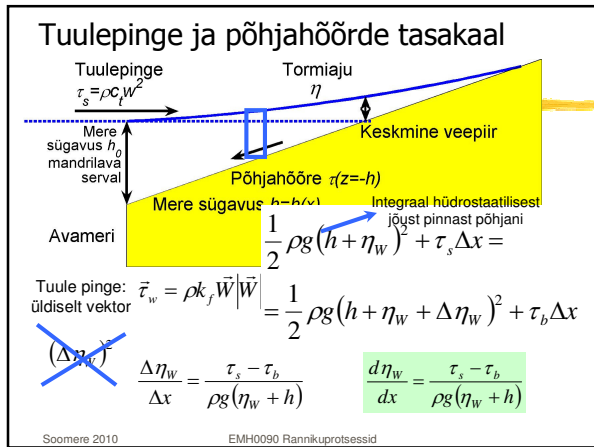
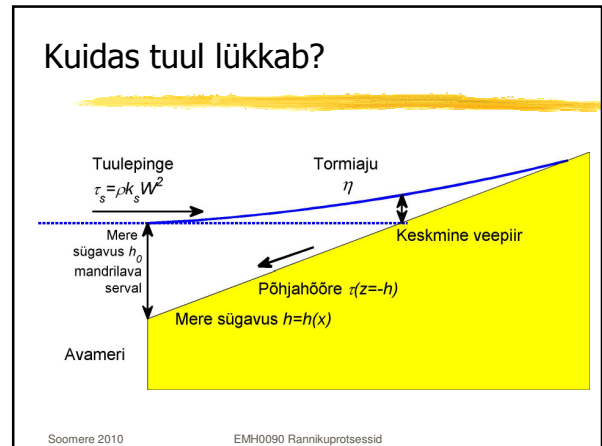
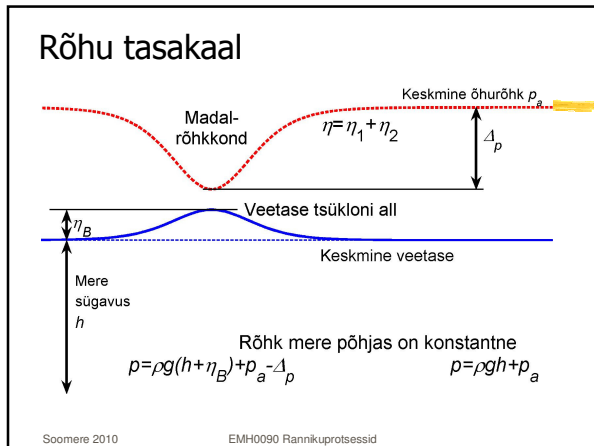
Madal rõhk Gudrunis



958 hPa tavalise 1013 asemel \rightarrow veetase 45 cm kõrgem

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid



Horizontaalne mandrilava

Mere sügavus h_0 mandrilava serval
 $\eta_w(0) = 0$
 Avameri

keskmine veepiir
 $H = \text{const}$
 $h) A_s = \frac{2n\tau_s l}{\rho g h^2} \quad n = 1 - \frac{\tau_b}{\tau_s}$

tuule nihkepinge poolt tekitatud jõu ja hüdrostaatilise jõu suhe

$$\frac{d\eta_w}{dx} = \frac{\tau_s - \tau_b}{\rho g (\eta_w + h)} \Rightarrow \rho g (\eta_w + h) d\eta_w = (\tau_s - \tau_b) dx \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \rho g \left(\frac{1}{2} \eta_w^2 + h \eta_w \right) = (\tau_s - \tau_b) x + C$$

ruutvõrrand

$$\eta_w / h = \sqrt{1 + \frac{2(\tau_s - \tau_b) x}{\rho g h^2}} - 1$$

Veepinna kuju: ligikaudu lineaarfunktsioon

$$\eta_w \approx \frac{h}{2} A_s \frac{x}{l}$$

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Dimensioonitu parameeter A_s

Aluline joon: Tallinna lahe ja Kakumäe lahe tasakaalulise rannaprofiili jaoks (keskmine sügavus 2 m)
 Keskmine joon: kuni 5 m sügavuse mereala jaoks (keskmine sügavus 4 m)
 Ülemine joon: Pärnu lahe tingimustes (keskmine sügavus 6 m, mereala pikkus 20 km)

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Konstantse kaldega merepõhi

Tuulepinge $\tau_s = \rho C_f W^2$
 Tormiaju η
 Ket

Mere sügavus h_0 mandrilava serval
 Avameri

Põhjahoore $z(z=h)$
 Mere sügavus $h=h(x)$
 $h(x) = h_0(1-x/l)$

Horizontaalne põhi

kaldpõhi

$$\frac{d\eta_w}{dx} = \frac{\tau_s - \tau_b}{\rho g (\eta_w + h)}$$

$$\frac{(h + \eta) d(h + \eta)}{(h + \eta) \frac{h_0}{l} - \frac{\tilde{n} \tau_{sx}}{\rho g}} = dx$$

Integreerimine: konspektis

$$\frac{x}{l} = \frac{\eta}{h_0} + (1 - A_s) \left[1 - \exp\left(-\frac{1}{A_s} \frac{\eta}{h_0}\right) \right]$$

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Situatsioon rannajoonel

Horizontaalne põhi:
 $\eta/h_0 = \sqrt{2A_s + 1} - 1$

Kaldus merepõhi

$$\frac{x}{l} = \left(1 - \frac{h + \eta}{h_0} \right) - A_s \ln \frac{h_0}{1 - A_s}$$

$x = l$ Võrrand veetaseme jaoks

$$\frac{\eta_{x=l}}{h_0} = -A_s \ln \frac{\eta_{x=l}/h_0 - A_s}{1 - A_s}$$

$A_s \rightarrow 1 \quad \eta \rightarrow h_0$

Veesisema maksimaalne tõus = vee sügavus mandrilava merepoolses servas

Vesi sisemaal -- max. veepinna kalle = maapinna kalle

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\tilde{n} \tau_{sx}(\eta)}{\rho g (h + \eta)} = \frac{h_0}{l}$$

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Lainete roll kriitilise veetaseme kujunemises

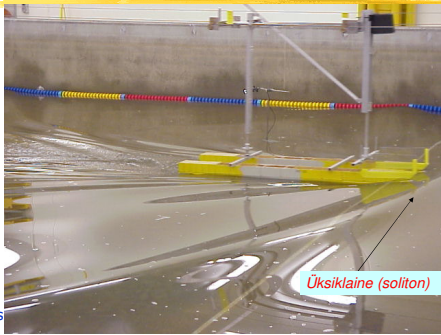
Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Kui rõhkkond liigub või muutub

- Väga kiiresti: laine ei jõua järgi, ja käitub nagu käitüks tõusu-mõõnalaine
- Väga aeglaselt: laine käib perfektselt kaasas
- Pika laine faasikiirusega: (üksik)laine võimendub
- (Ookeanis enamasti võimatu, Läänemeres & Šelfimeredel tavaline → squall line surge, vt. Dean ja Dalrymple, Coastal processes)

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Laev või madalrõhkond: pole vahet



By
Andrew
Forbes

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Üksiklaine (soliton)

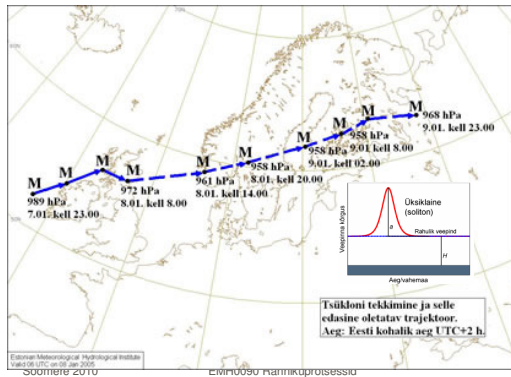
Rõhkkond tekitab kõrge üksiklaine, kui

- Vesi on suhteliselt madal, nii et \sqrt{gH} ~tsükloni liikumise kiirus (mitte tuule kiirus!!!)
- Tsüklon liigub mööda enam-vähem sirget trajektoori (nagu laev)
- Tsüklon liigub piki randa või mööda piklikku merd
- (suhteliselt haruldane, kuid võimalik)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Gudruni teekond



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

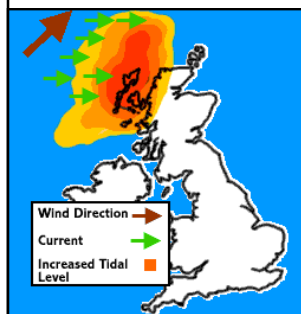


Maracas Beach, 16 oktoober 2005
(Didenkulova et al. 2006)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Kui tuul lükkab & liigub ise: katastroofiline üleujutus 1953



Soomere 2010

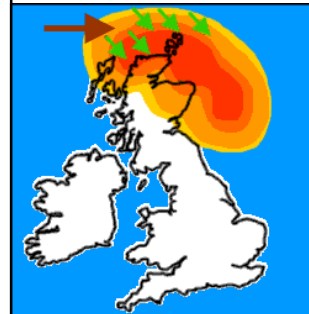
EMH0090 Rannikuprotsessid

Figure 1a. Depressions traveling to the Northwest of Scotland with strong SWly surface winds generate a mean current which pushes water to the right of the wind direction. This causes an accumulation of water known as a positive surge.

This is an example of an external surge.

Preambula:
madalrõhkond +
torm Šotimaa lähistel

Kui tuul lükkab & liigub ise: katastroofiline üleujutus 1953 (II)



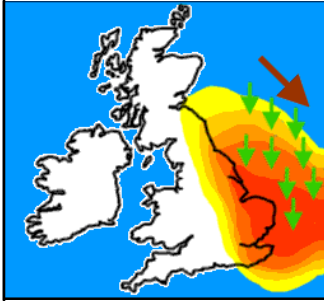
Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

The surge will travel round in to the North Sea at the same speed as the tidal wave. If the winds over the North sea remain strong and from the southwest the surge will decay with time along the East coast. If the depression moves eastwards then the winds on the southern side of low will be westerly and this will drive the surge southwards down the East coast of the North Sea.

Sõlmitus: madalrõhkonna poolt tekitatud tuule muster liigub tõusulaine (=Kelvini laine) kiirusega piki Šotimaa rannikut

Katastroofiline üleujutus 1953 (III)



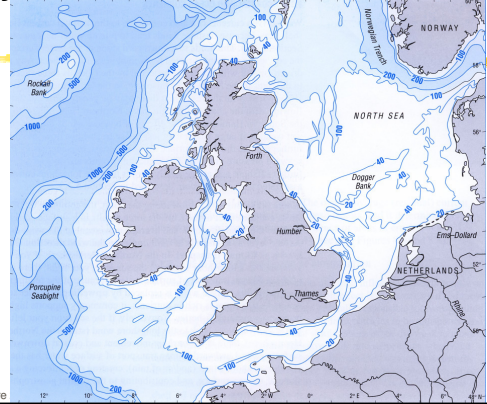
If the low then tracks **southeastwards** towards Denmark and a strong N to NWly flow becomes established in the North Sea then a significant surge may occur. As the surge travels in to the shallower southern North sea the surge elevations increase and the maximum elevations tend to occur from the Wash to Dover. The surge will then propagate eastwards along the continental coast and towards Denmark. Some will move westwards along the Channel. This is an example of an **external** surge reinforced by an **internal** surge.

Kulminatsioon: madalrõhkonna tekitatud tuule muster liigub jätkuvalt tõusulaine (=Kelvini laine) kiirusega piki Inglismaa rannikut; seejuures vesi läheb madalamaks

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Põhjameri: lõuna pool madalam



Soomere

Madalrõhkonna teekond 1953



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

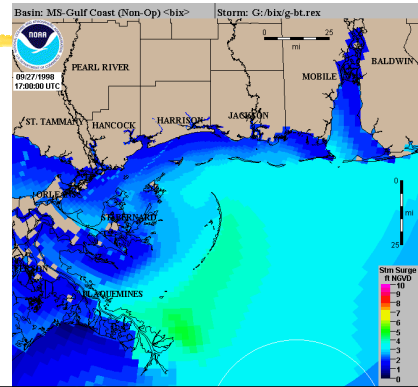
Tormiaju prognoosimine: kallis ja keerukas

Tuule muster

Mere geomeetria + batümeetria

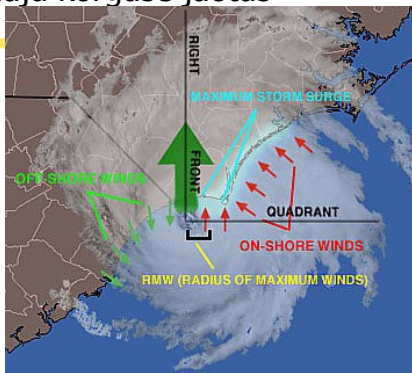
Tõusu-mõõna faas

Läänemereel: seishide faas, ~veetase teistes mereosades



Soomere 2010

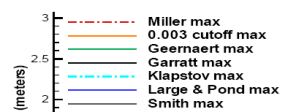
Tormiaju kõrguse jaotus



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Tõsine mere: üleujutuse tekkimise füüsikas on palju ebaselget



R. J. Weaver, D. N. Slinn, Effect of wave forces on storm surge, *Coastal Engineering* 2005 (?)

Figure 10: Maximum and minimum surge generated for each of the wind stress formulations using the seven different drag coefficients.

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

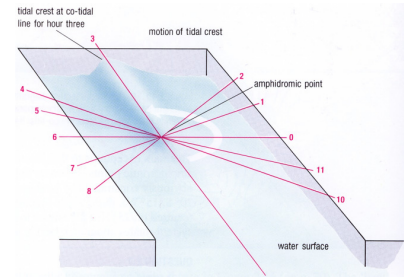
Kelvini lained

- Väga pikad pinnalained ($c_f = \sqrt{gH}$)
- Tekivad vaid siis, kui laine saab levida piki randa või laia kanalit
- Mõjutatud Maa pöörlemisest: põhjapoolkeral parempoolne laineharja külg kõrgem
- Seetõttu võimalikud vaid suurtes veekogudes
- Kirjeldavad madala vee võrrandid
- Pööriselisus oluline – kiiruse potentsiaal ei eksisteeri ning Laplace'i võrrand ei kehti

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Kuidas tõusulainest saab Kelvini laine II



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

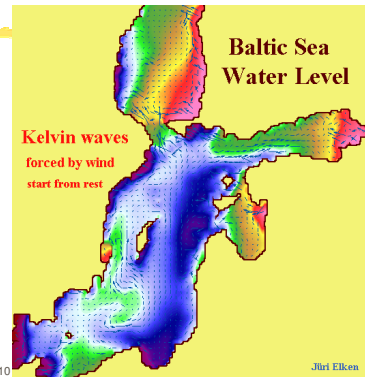
Lisamaterjal

Kelvini lained
Coriolisi jõu mõju tormiajale

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Kelvini laine Läänemeres



Soomere 2010

Jlil Elken

Kelvini lained: väga pikad lained:
periood ~palju tunde (~ööpäev) → Coriolise jõud oluline

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - f_c V = g \frac{\partial \eta}{\partial x}$$

Madala vee võrrandid juhul, kui Coriolise jõud on oluline

$$f_c = 2\Omega \sin \phi \quad \Omega = 7.27 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$$

U, V- horisontaalkiiruse keskmised komponendid

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} - f_c U = g \frac{\partial \eta}{\partial y}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(U(h+\eta))}{\partial x} + \frac{\partial(V(h+\eta))}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} = g \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad -f_c V = g \frac{\partial \eta}{\partial y}$$

$$U = \frac{c_f}{h} \tilde{\eta}(y) \cos(kx - \sigma) \quad \eta = \tilde{\eta}(y) \cos(kx - \sigma)$$

$$-f_c \frac{c_f}{g} \frac{\tilde{\eta}}{h} = \frac{d\tilde{\eta}}{dy} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{d\tilde{\eta}}{dy} = -f_c \frac{c_f}{g} \frac{\tilde{\eta}}{h} = -\frac{f_c}{c_f} \tilde{\eta} \Rightarrow \tilde{\eta} = ae^{-f_c y / c_f}$$

(põhjapoolkera)

$V \ll 1 \rightarrow$ Coriolise jõud ei mõjuta x- telje suunalist liikumist

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = g \frac{\partial \eta}{\partial x}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = g \frac{\partial \eta}{\partial x}$$

090 Rannikuprotsessid

Kelvini laine kanalis

Pidevuse võrrandid: faasikiirus $c_f = \sqrt{gh}$

$$\eta = \tilde{\eta} = ae^{-f_c y / c_f} \cos(kx - \sigma) \quad \text{veepinna kuju}$$

$$U = a \frac{c_f}{h} e^{-f_c y / c_f} \cos(kx - \sigma) \quad \text{vee kiirus}$$

$$\text{Lainehari } \cos(kx - \sigma) = 1$$

$$\text{Lainevagu } \cos(kx - \sigma) = -1$$

$$ae^{-f_c y / c_f}$$

$$ae^{-f_c y / c_f}$$

$$U = a(c_f/h)e^{-f_c y / c_f}$$

$$U = a(c_f/h)e^{-f_c y / c_f}$$

y>0: kõrgem/suurem

y>0: madalam/väiksem

y<0: madalam/väiksem

y>0: kõrgem/suurem

Laine kõrgus kanali paremas servas ja vasakus servas



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Coriolisi jõu mõju tormiajule

Tuulepinge $\tau_s = \rho C_f W^2$ Tormiaju η

Mere sügavus h_0 mandrilava serval

Keskmine veepiir

Põhjahõõre $\tau(z=-h)$

Mere sügavus $h=h(x)$ Statsionaarne hoovus $\frac{\partial V}{\partial t} = 0$

Avameri Ranna poole

$(h+\eta) \left[\frac{d(h+\eta)}{dx} - \frac{dh}{dx} \left(\frac{f_c V}{g} \right) \right] = \frac{\tau_{wy}}{\rho g}$

$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\tau_{wy} - \tau_{cy}(-h)}{\rho(h+\eta)} = \frac{\tau_{wy}}{\rho(h+\eta)} - \frac{f_{DW} V^2}{8(h+\eta)}$

Piki randa $V = W \sqrt{\frac{8k_f \sin \theta}{f_{DW}}} \tanh \left(t \frac{W}{h} \sqrt{\frac{k_f f_{DW} \sin \theta}{8}} \right)$

$\tau_{wy} = \frac{f_{DW} V^2}{8(h+\eta)}$

$\bar{\tau}_w = \rho k_f W^2 \sin \theta$

$V_s = W \sqrt{\frac{8k_f \sin \theta}{f_{DW}}}$

Ülesanne: Kui kiiresti tekib praktiliselt statsionaarne rannahoovus?

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Kui kiiresti tekib praktiliselt statsionaarne rannahoovus 10 m sügavuses vees 20 m/s piki randa puhuva tuule korral?

Analüütiline lahend hoovuse kiiruse jaoks juhul $\eta \ll h$ Statsionaarne hoovus

$V = W \sqrt{\frac{8k_f \sin \theta}{f_{DW}}} \tanh \left(t \frac{W}{h} \sqrt{\frac{k_f f_{DW} \sin \theta}{8}} \right)$ $V_s = W \sqrt{\frac{8k_f \sin \theta}{f_{DW}}}$

Vaja lahendajal defineerida: mis on praktiliselt statsionaarne (Dean&Dalrymple: 99,6% statsionaarsest, $\tanh(\pi)=0.996$)

$t \frac{W}{h} \sqrt{\frac{k_f f_{DW} \sin \theta}{8}} = \pi$

Otsida üles kr väärtus $k_f = \begin{cases} 1.2 \times 10^{-6} & W \leq W_c \\ 1.2 \times 10^{-6} + 2.25 \times 10^{-6} \left(1 - \frac{W_c}{W}\right)^2 & W > W_c \end{cases}$

Otsida üles või põhjendada fow väärtus (0.01?) $t \sim 8$ tundi

Leida statsionaarse tuulehoovuse kiirus samadel tingimustel

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Coriolis surge

Impulsi võrrand madalas vees, x-telje suunas

$(h+\eta) \left[\frac{d(h+\eta)}{dx} - \frac{dh}{dx} \left(\frac{f_c V}{g} \right) \right] = \frac{\tau_{wy}}{\rho g}$ $V_s = W \sqrt{\frac{8k_f \sin \theta}{f_{DW}}}$

Ühtlaselt kaldus põhja jaoks saab analüütiliselt lahendada; lahend analoogiline otse randa puhuva tuule tekitatud tormiajuga

$l^* = \frac{l}{1 - \frac{f_c V_s l}{g h_0}} = \frac{l}{1 - \frac{f_c l}{g h_0} W \sqrt{\frac{8k_f \sin \theta}{f}}}$ $A^* = \frac{\eta \tau_{wy} l^*}{\rho g h_0^2}$

$\frac{x}{l^*} = \left(1 - \frac{h+\eta}{h_0}\right) - A^* \ln \frac{h_0}{1-A^*}$

NB!!

Max veetase: $\sim 20^\circ$

Kohtumisnurk

(1) Coriolisi jõu mõju: ekvivalentne mandrilava laiuse muutumisega – põhja kalde muutumisega

(2) Järeldus: Tuule kiiruse mõlemad komponendid mõjutavad tormiaju // veetasel

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Rõhkkonnad, veetase ja Kelvini lained

- Mistahes põhjusel tekkinud kõrge veetaseme piirkond tekitab kas
 - Tavalise (pika) pinnalaine (avamerel)
 - Kelvini laine (kanalis, ranna lähistel, kuid ainult suurel merealal, kus Coriolise jõud oluline)
 - Veetaseme loksumise (seiši)
- Kui (pool)kinnisel merealal laine jõuab tagasi algpunkti, siis veetase tõuseb jälle → võimalus resonantsiks

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Seišid – basseini omavõnkumised

Seišid pikkade lainete teooria seisukohalt

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Seišid ehk basseini omavõnkumised

length of container, l

no current

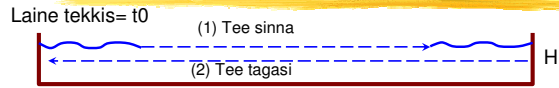
no current

no current

no current

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Seišide matemaatika: lihtne pikkade lainete teooria rakendus

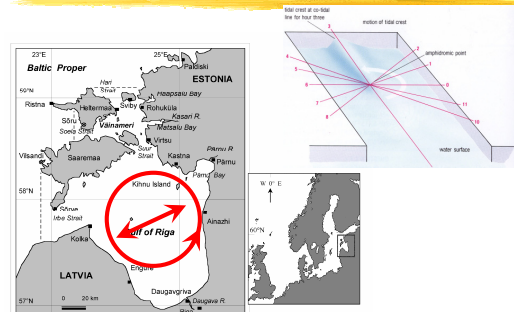


Laine on tagasi= t2 Basseini pikkus: L

- (1) $C_t = ?$
- (2) Aeg, millal laine on tagasi jõudnud $t_2 = ?$
- (3) $t_2 =$ basseini omavõnkeperiood

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Ringikujulises meres: laine võib käia nii ringiratast piki randa kui ka risti üle mere



Kaart: Suursaar et al., 2004

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Tormilained veetaseme mõjutajana

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Lained võivad veepind nii tõsta kui ka langetada

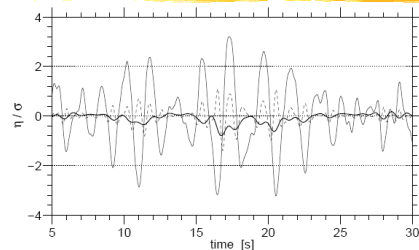
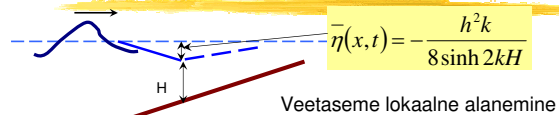


Figure 2.4: Example of random first and second-order waves in a sea state defined by a JONSWAP spectrum with peak period $T_p = 2$ s and significant wave height $H_s = 0.28$ m, and water depth of 1.3 m: linear wave (solid line), sum of the positive second-order terms K^+ (dashed line), and sum of the negative second-order terms K^- (thick solid line).

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Lainete poolt tekitatud veepinna lokaalne alanemine



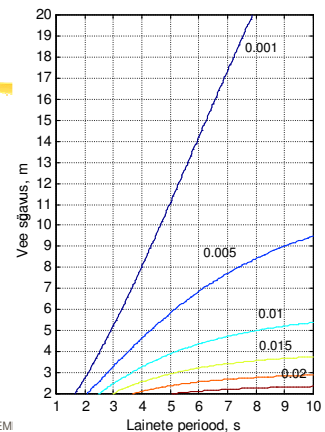
- Kõrgete mitterurduvate lainete levimisega madalamasse vette kaasneb teatav veetaseme alanemine
- võrdeline lainekõrguse ruuduga
- seda intensiivsem, mida väiksem on vee sügavus.

(seega on suurte lainete mõõdumisel veepind üldiselt veidi madalam kui väiksemate lainete puhul)

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Veetaseme alanemise koefitsient

$$\text{Veetaseme alanemine} = \frac{h^2 k^3}{8 \sinh 2kH}$$



Soomere 2010 EM

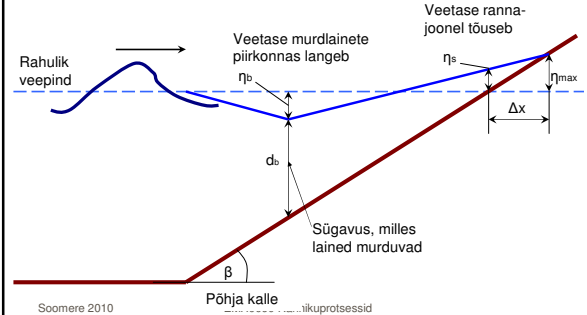
Lihntne ülesanne:

- Teha kindlaks, kui palju madalamat veetasel võrreldes avamerega näitab
 - 5 m sügavuses vees paiknev andur 8 s perioodiga 1 m kõrguste lainete puhul
 - 9 m sügavuses vees paikneva anduri 9 s perioodiga lainete puhul 2 m kõrguste lainete puhul

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

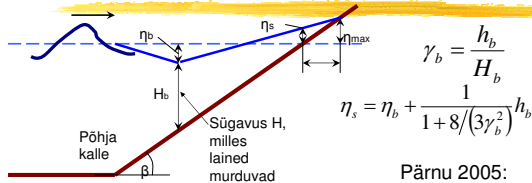
Murdlainete tekitatud veetõus



Soomere 2010

Põhja kalle

Lainete tekitatud veetõus arvudes



$$\gamma_b = \frac{h_b}{H_b}$$

$$\eta_s = \eta_b + \frac{1}{1 + 8/(3\gamma_b^2)} h_b$$

Pärnu 2005:
 $h_s \sim 3$ m
 $H_b \sim 4$ m
 Tõus ~ 50 cm

$$\gamma_b \sim 0.8 \quad \eta_s \approx 0.15h_b$$

H_b – laine kõrgus vahetult enne murdumist
 d_b – sügavus, milles laine hakkab murduma

Tegelikult veetõus vee suurem!

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Määratud katseliselt:

Guza ja Thornton (1981)

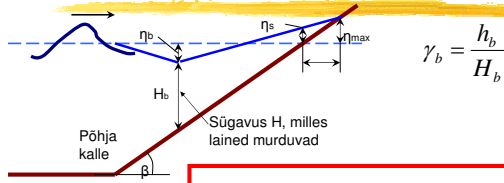
- lisanduva veetõusu alternatiivne hinnang
- Põhineb ulatuslikel veetõusu mõõtmistel Kalifornia rannikutel
- Lisanduva veetõusu adekvaatne iseloomustaja
 - oluline lainekõrgus avamerel h_{S0}

$$(\eta_{su})_{max} \approx 0.17h_{S0} \quad \text{Maksimaalne veetõus (sisemaal)}$$

Eelis: pole vaja mõõta laineid murdlainete vööndi merepoolsel serval

Guza, R.T., Thornton, E.B., Wave set-up on a natural beach, *J. Geophys. Res.* 96, 4133-4137, 1987

Lainete tekitatud veetõus arvudes II



$$\gamma_b = \frac{h_b}{H_b}$$

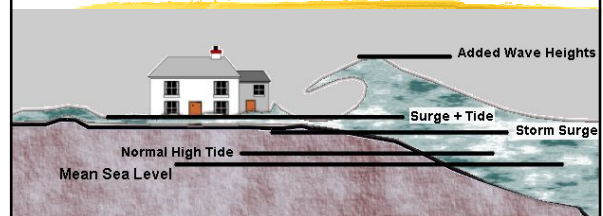
$$\gamma_b \sim 0.8 \quad \eta_{max} \approx 0.25h_b$$

Pärnu 2005: $h_s \sim 3$ m
 $H_b \sim 4$ m Tõus ~ 50 cm

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Mis sünnib rannal?



Mean Sea Level = keskmine veetase, Normal High Tide = tavapärase tõusu maksimum, Storm Surge = tormiaju, Surge+Tide= tormitõus, Added Wave Heights = lainetormitõusu ajal

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Orkaan Carol, Rhode Island



Soomere 2010

Mitte kõik, mis raamatutes seisab, pole tõsi (sh. "Universum")

Bilham, The 1737 Calcutta Earthquake and Cyclone Evaluated, *Bull. Seism. Soc. Amer.* 84(5), 1650-1657, 1994.

Summary: Despite repeated citation by elementary texts on seismology (and hence by the popular press) of an earthquake involving **300,000** deaths in Calcutta in 1737, it is very probable that no earthquake occurred.

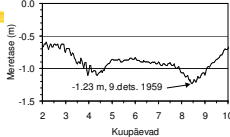
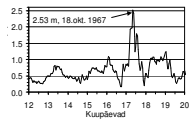
A cyclone drove numerous ships ashore, but the death toll in Calcutta was a fraction of its total 1737 population of 3000.

One of the primary sources cited incorrectly by investigators prior to the present account, is identified and attributed to London Magazine (1738).

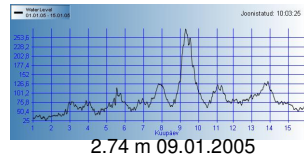
Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Eesti rekordiomaniik: Pärnu



Suursaar, Ü., Kullas, T. and Otsmann, M. 2004. Currents and sea level variations in the West Estonian coastal sea. – *Estonia Maritima* 6:



Soomere 2010

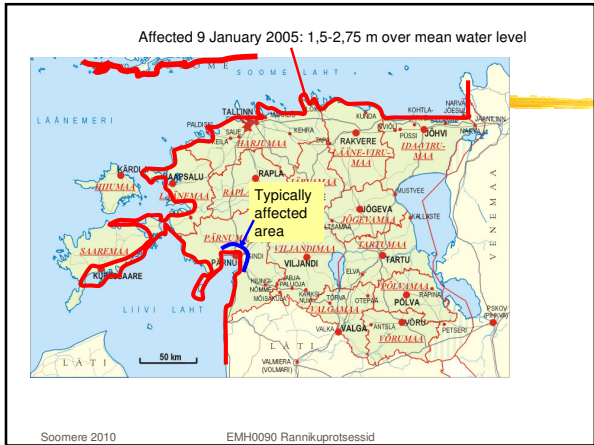
EMH0090 Rannikuprotsessid

Rekord



Soomere 2010



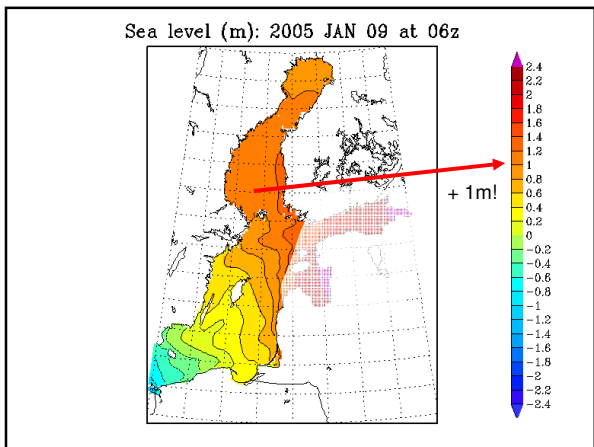


Rekordi komponendid Pärnus

- ⌘ Madalrõhkkond 960 HPa → ~30-40 cm
- ⌘ Tormiaju 25 m/s suunast 240 → ~1m
- ⌘ Lainetus → ~50 cm
- ⌘ ??? Summa oli 2.74 ???

*** Veetase tormi algul ***

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

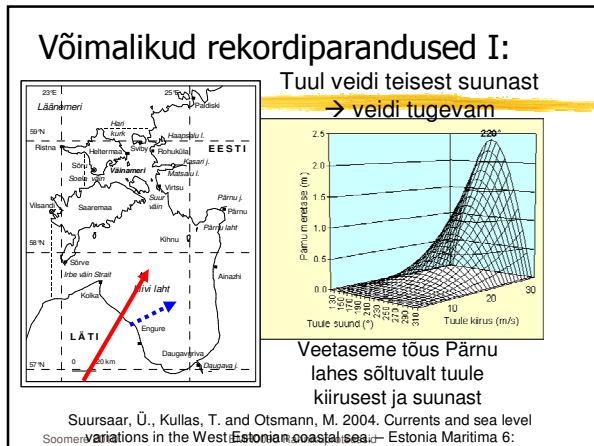


Rekordi komponendid

- Madalrõhkkond 960 HPa → ~30-40 cm
- Tormiaju 25 m/s suunast 240 → ~1m
- Lainetus → ~50 cm
- Algeis: ca 1 m

Kokku: 280-290 cm

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

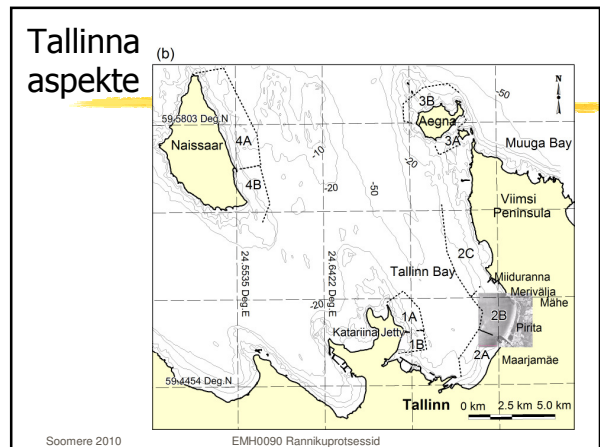
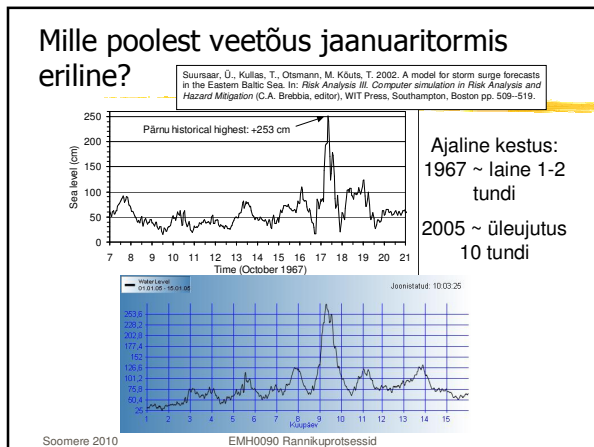
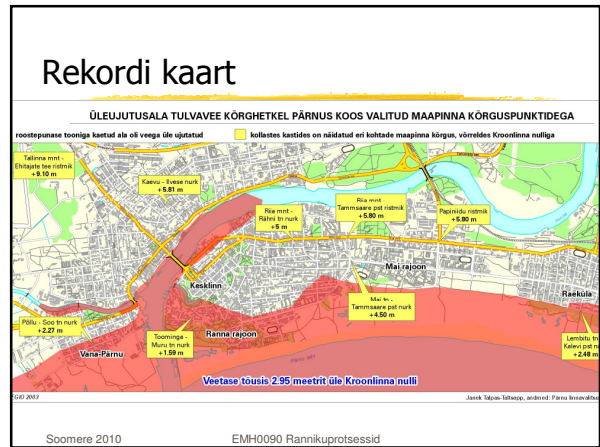


maximum readings; the majority of maximum wind directions was between WSW and WNW.

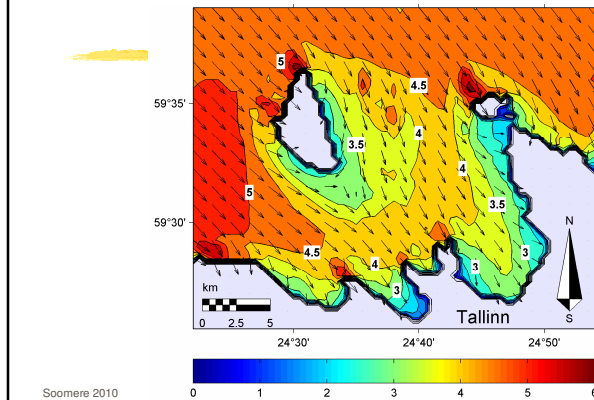
Station	Wind speed	Gusts
Vilsandi	22.9 (04.00)*	33.4 (05.00)
Sõrve	28.0 (09.00)*	35.0 (08.00)
Ristna	18.5 (04.00)	28.9 (05.00)
Ruhnu	26.0 (06.00)*	34.2 (05.00)
Virtsu	14.7 (04.00)	27.1 (09.00)
Kihnu	25.2 (03.00)*	37.5 (03.00)
Pakri	20.5 (12.00)	30.3 (11.00)
Pärnu	18.4 (03.00)	30.8 (02.00)
Tallinn-Harku	12.3 (11.00)	21.8 (05.00)

Suursaar et al., BER, 2006

- ### Võimalikud rekordiparandused?
- Madalrõhkond 960 hPa → ~30-40 cm
 - Tormiaju 25 m/s suunast 240 → ~1m
 - Lainetus → ~50 cm
 - Algseis: ca 1 m
- Võib lisanduda: **Kokku: 280-290 cm**
- Tuul ebasoodsamast suunast + 60 cm
Resonants eelmise tormiga ~30-40 cm
Kõik kokku: 370-400 cm (?)
- Suursaar et al., BER, 2006: vaid tuule suuna muutus ja tugevnemine 1-2 m/s võrra annaks kokku 350 cm;
Sellele lisanduks kõrgemad lained → ekstra wave setup



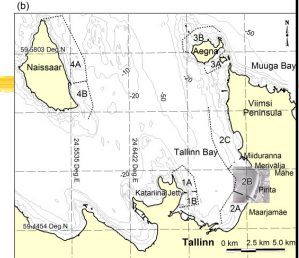
Lained Tallinna lähel (15.11.2001)



Soomere 2010

Tallinna aspekte I

- pikk/lühike rannajoon?
- liigendatud rand?
- avatud merele? - osaliselt
- avatud valitsevatele tuultele? - osaliselt
-

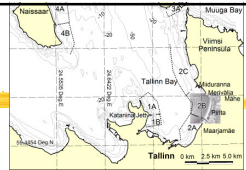


Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Tallinna aspekte II

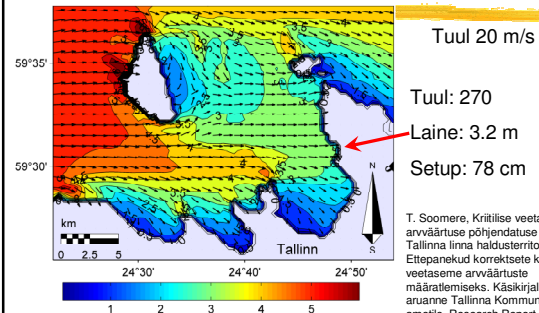
- pikk/lühike rannajoon?
 - lühike avamere veetaseme mõttes
- liigendatud rand?
 - lokaalse veetaseme erinevused võimalikud
- avatud merele? - osaliselt
- avatud valitsevatele tuultele? - osaliselt



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Viimsi poolsaar: tundlik läänetormidele



Tuul: 20 m/s

Tuul: 270

Laine: 3.2 m

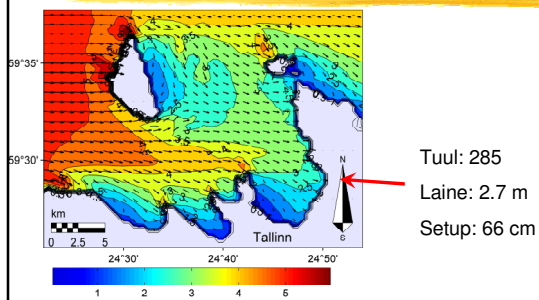
Setup: 78 cm

T. Soomere, Kriitilise veetaseme arväärtuse põhjendatuse analüüs Tallinna linna haldusterritooriumil. Ettepanekud korrektsete kriitilise veetaseme arväärtuste määratlemiseks. Käsitajaline aruanne Tallinna Kommunaalametile. Research Report Mech 289/07. Institute of Cybernetics, Tallinn 2007, 128 pp

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Pirita: tundlik WNW tormidele



Tuul: 285

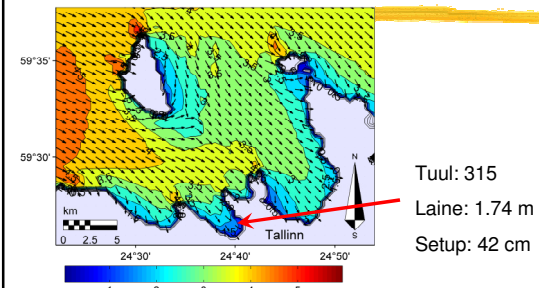
Laine: 2.7 m

Setup: 66 cm

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Kopli: tundlik NW tormidele



Tuul: 315

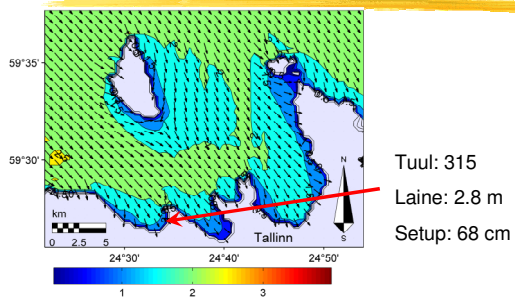
Laine: 1.74 m

Setup: 42 cm

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Kakumäe: tundlik NNW tormidele



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Tallinna aspekte III: kohalikud erinevused avamere veetasemest

- "kohalik" tuuleaju
 - 1-2 mm
- rannahoovuste & Coriolisi jõu mõju
 - $\ll 1$ mm
- lainete tekitatud lokaalne veetaseme langemine (wave setdown)
 - 1-2cm; ekstreemsetel juhtudel ~ 10 cm
- murdlainete tekitatud lokaalne veetaseme tõus (wave setup)
 - Lahesoppides (+) 20-40 cm,
 - ekstreemsetel juhtudel kuni +80cm
 - Eri rannaosad tundlikud erinevate tuulte suundade suhtes

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid