

Loeng 7a:

Lainete analüüs II: harjutusi

Lainete mõõtmine

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

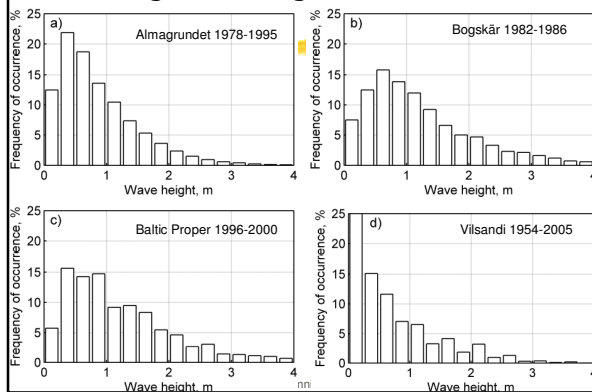
Lainete mõõtmine & analüüs

Lainekõrguste statistika Rayleigh jaotuse alusel

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Lainekõrguste histogramm



Jälle Rayleigh jaotus! – Weibulli jaotuse erijuht

Longuet-Higgins (1952)

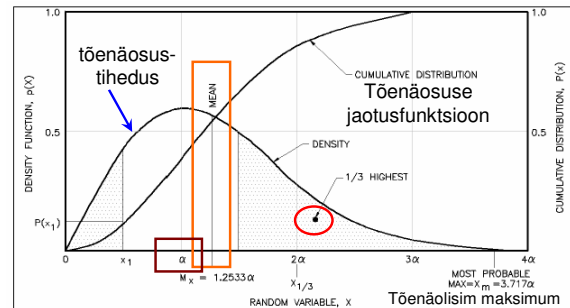


Figure II-1-29. The Rayleigh probability density and cumulative probability distribution ($x = \alpha$ corresponds to the mode)

Kaks erinevat situatsiooni – kaks erinevat ideoloogiat

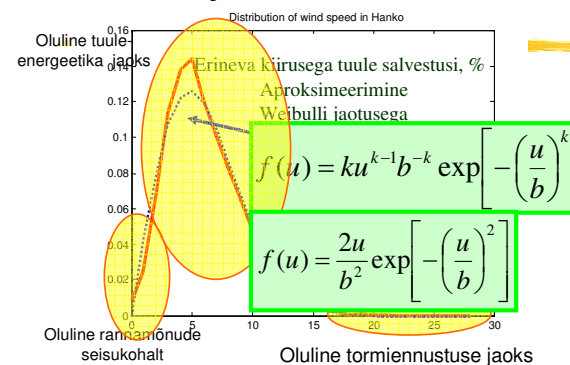
- (1): Lainekõrgused merel teatavate ajavahemike kaupa (10-20 min)
 - Weibulli/Rayleigh jaotus puhtalt empiiriline
- (2) Üksikute lainete kõrgused
 - Rayleigh jaotus – teoreetiline mudel erinevate lainekõrguste esinemissageduse jaoks

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Tuule kiiruste jaotus

$k=2$ - Rayleigh jaotus



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Weibulli / Rayleigh jaotuse parameetrid

Tuule keskmine kiirus / $\rightarrow M\{u\} = b\Gamma(1+1/k)$

Lainete keskmine kõrgus

Tuule kiiruse ruutude keskmine $M\{u^2\} = b^2\Gamma(1+2/k)$

lainekõrguste ruutude keskmine $k=2$ (Rayleigh jaotus)

Gamma-funktsioon $\Gamma(a) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{a-1} dx$ $\Gamma(n+1) = n!$

$\Gamma(2) = 1$ $\Gamma\left(\frac{3}{2}\right) = \frac{1}{2}\sqrt{\pi}$
 $f(h) = \frac{2h}{b^2} \exp\left[-\left(\frac{h}{b}\right)^2\right]$ (juhul, kui lainete perioodid on lähedased – narrow-band conditions)

Rayleigh jaotus:

b = ruutkeskmine lainekõrgus $f(h) = \frac{2h}{h_{rms}^2} \exp\left[-\left(\frac{h}{h_{rms}}\right)^2\right]$

Oluline: vaid üks parameeter!

Lainete kõrguste tõenäosused: nagu tõenäosused ikka

$$P(H > \hat{H}) = \frac{n}{N}$$

#laineid kõrgusega üle \hat{H}
 Laineid kokku

Erinevatel lainetel erinevad perioodid \rightarrow erinevates tormides erinev statistika

Olulisel kohal: ruutkeskmine lainekõrgus $h_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_i^2}$

Lainekõrguste jaotus kitsa spektri korral: Rayleigh jaotus $P(h \geq \hat{h}) = F_R = \exp\left[-\left(\frac{\hat{h}}{h_{rms}}\right)^2\right]$

Oluline: vaid üks parameeter!

Tõenäosused jaotustihedusest

$$P(h \geq \hat{h}) = \exp\left[-\left(\frac{\hat{h}}{h_{rms}}\right)^2\right]$$

Mitme laine kõrgus mõõdetud N laine seas ületab mingi kõrguse? $P(h \geq \hat{h}) = \frac{n}{N}$

\rightarrow Võrrand n jaoks $\frac{n(h \geq \hat{h})}{N} = \exp\left[-\left(\frac{\hat{h}}{h_{rms}}\right)^2\right]$
 (kui $n < 1$, siis ei ületagi!)

Milline on kõrgus, millest suuremad on täpselt n lainet mõõdetud N laine seas? \rightarrow Võrrand \hat{h} jaoks

N , n ja H_{rms} peavad olema teada

Tõenäosusega p esineb N laine seas laine kõrgusega, mis ületab järgmise läve:

$$\hat{H} = H_{rms} \sqrt{\ln \frac{N}{pN}} = H_{rms} \sqrt{\ln \frac{1}{p}}$$

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Ülesanne

Mõõdeti 400 lainet ja arvatati nende ruutkeskmine kõrgus H_{rms}

Eeldades, et laineväli on Rayleigh jaotusega, leida:

(i) mitu lainet on kõrgemad kui $2H_{rms}$

(ii) lainete mediaankõrgus (ehk kõrgus, millest parajasti pooled lainet on kõrgemad) võrreldes ruutkeskmise lainekõrgusega

(iii) kõrgus, mille ületab ainult üks laine.

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Lahendus I

Mõõdeti 400 lainet ja arvatati nende ruutkeskmine kõrgus h_{rms}

(i) mitu lainet on kõrgemad kui $2H_{rms}$

$$P(h \geq \hat{h}) = \frac{n}{N} \quad \frac{n(h \geq \hat{h})}{N} = \exp\left[-\left(\frac{\hat{h}}{h_{rms}}\right)^2\right] \quad \text{Laineid kokku 400}$$

$\hat{h} = 2h_{rms}$

$$n = 400 \exp\left[-\left(\frac{2h_{rms}}{h_{rms}}\right)^2\right] = \frac{400}{e^4} \approx 7.3 \approx 7$$

(ligikaudu 2 % kõigist lainetest ehk iga viiekümnes laine)

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Modifitseeritud ülesanne

Mõõdeti 400 lainet ja arvatati nende ruutkeskmine kõrgus H_{rms}

Eeldades, et laineväli on Rayleigh jaotusega, leida:

(i) mitu lainet on kõrgemad kui oluline lainekõrgus?

(ii) lainete mediaankõrgus (ehk kõrgus, millest parajasti pooled lainet on kõrgemad) võrreldes ruutkeskmise lainekõrgusega

(iii) kõrgus, mille ületab ainult üks laine.

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Lahendus Ia

Mõõdeti 400 lainet ja arvatati nende ruutkeskmine kõrgus h_{rms}

(ia) mitu lainet on kõrgemad kui h_s

$$P(h \geq \hat{h}) = \frac{n}{N} \quad \text{Laineid kokku 400}$$

$$\frac{n(h \geq \hat{h})}{N} = \exp\left[-\left(\frac{\hat{h}}{h_{rms}}\right)^2\right]$$

$$\hat{h} = h_s = \sqrt{2}h_{rms}$$

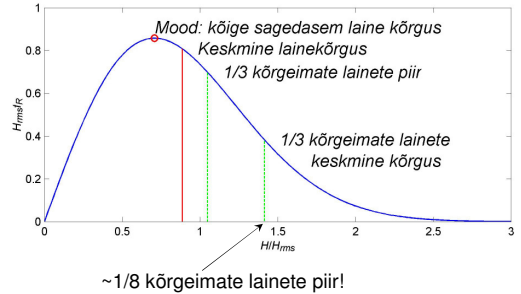
$$n = 400 \exp\left[-\left(\frac{\sqrt{2}h_{rms}}{h_{rms}}\right)^2\right] = \frac{400}{e^2} \approx 54 \quad (\text{ligikaudu iga kaheksas laine})$$

LAINEKÕRGUSE ISELOOMUSTAJA		$\frac{H}{H_{rms}}$	$\frac{H}{h_{rms}}$	$\frac{H}{h_s}$
Nimetus	Tähtsus			
Veepinna standardhälve	$\sigma = \sqrt{m_0}$	$1/\sqrt{2}$	1	0,250
Ruutkeskmine lainekõrgus	H_{rms}	1,0	$2\sqrt{2}$	0,706
Mood (kõige sagedasemini esinevate lainete kõrgus)	$\mu(H)$	$1/\sqrt{2}$	1	0,499
Mediaan (kõrgus, millest 50% lainet on kõrgemad ja 50% madalamad)	$H(P=1/2)$	$\sqrt{\ln 2}$	$2\sqrt{2 \ln 2}$	0,588
Keskmine lainekõrgus	\bar{H} või H_{μ}	$\sqrt{e}/2$	\sqrt{e}	0,626
Oluline lainekõrgus	H_{μ} või H_{μ}	1,416	4,005	1
10% kõrgeimate lainete keskmine kõrgus	H_{10}	1,80	5,091	1,271
1% kõrgeimate lainete keskmine kõrgus	H_{100}	2,359	6,672	1,666
Liidiainet				>2

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Rayleigh jaotus ja oluline lainekõrgus



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Modifitseeritud ülesanne vers 2

Mõõdeti 400 lainet ja arvatati nende ruutkeskmine kõrgus H_{rms}

Eeldades, et laineväli on Rayleigh jaotusega, leida:

(ib) mitu lainet on kõrgemad kui 2xoluline lainekõrgus?

(ii) lainete mediaankõrgus (ehk kõrgus, millest parajasti pooled lainet on kõrgemad) võrreldes ruutkeskmise lainekõrgusega

(iii) kõrgus, mille ületab ainult üks laine.

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Lahendus Ib

Mõõdeti 400 lainet ja arvatati nende ruutkeskmine kõrgus h_{rms}

(ia) mitu lainet on kõrgemad kui $2h_s$

$$P(h \geq \hat{h}) = \frac{n}{N} \quad \text{Laineid kokku 400}$$

$$\frac{n(h \geq \hat{h})}{N} = \exp\left[-\left(\frac{\hat{h}}{h_{rms}}\right)^2\right] \quad \hat{h} = 2h_s = 2\sqrt{2}h_{rms}$$

$$n = 400 \exp\left[-\left(\frac{2\sqrt{2}h_{rms}}{h_{rms}}\right)^2\right] = \frac{400}{e^8} \approx 0.1342 \quad (\text{üldiselt mitte ükski})$$

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Ülesanne

Mõõdeti 400 lainet ja arvatati nende ruutkeskmine kõrgus H_{rms}

Eeldades, et laineväli on Rayleigh jaotusega, leida:

(i) mitu lainet on kõrgemad kui $2H_{rms}$

(ii) lainete mediaankõrgus (ehk kõrgus, millest parajasti pooled lainet on kõrgemad) võrreldes ruutkeskmise lainekõrgusega

(iii) kõrgus, mille ületab ainult üks laine.

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Lahendus II

(ii) lainete mediaankõrgus (ehk kõrgus, millest parajasti pooled lainet on kõrgemad) võrreldes ruutkeskmise lainekõrgusega

$$P(h \geq \hat{h}) = \frac{n}{N} \quad \frac{n(h \geq \hat{h})}{N} = \exp\left[-\left(\frac{\hat{h}}{h_{rms}}\right)^2\right] \quad \text{Laineid kokku 400} \quad n = N/2 = 200$$

Võrrand \hat{h} jaoks

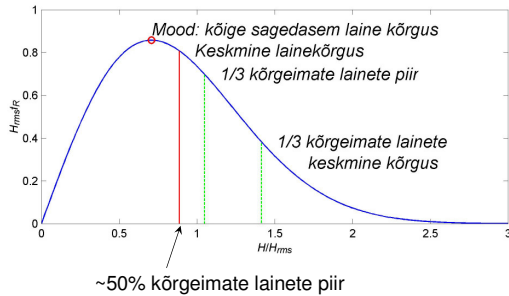
$$\exp\left[-\left(\frac{h_{50\%}}{h_{rms}}\right)^2\right] = 0.5 \quad -\left(\frac{h_{50\%}}{h_{rms}}\right)^2 = \ln 0.5$$

$$h_{50\%} = h_{rms} \sqrt{\ln 2} \approx 0.833h_{rms}$$

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Rayleigh jaotus ja oluline lainekõrgus



Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Ülesanne

Möödeti 400 lainet ja arvatati nende ruutkeskmine kõrgus H_{rms}

Eeldades, et laineväli on Rayleigh jaotusega, leida:

- (i) mitu lainet on kõrgemad kui $2H_{rms}$
- (ii) lainete mediaankõrgus (ehk kõrgus, millest parajasti pooled lained on kõrgemad) võrreldes ruutkeskmise lainekõrgusega
- (iii) kõrgus, mille ületab ainult üks laine.

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Lahendus III

(iii) kõrgus, mille ületab ainult üks laine.

$$P(h \geq \hat{h}) = \frac{n}{N} \quad \frac{n(h \geq \hat{h})}{N} = \exp\left[-\left(\frac{\hat{h}}{h_{rms}}\right)^2\right] \quad \text{Laineid kokku 400} \quad n=1$$

Võrrand \hat{h} jaoks

$$\frac{1}{N} = \exp\left[-\left(\frac{h_{max}}{h_{rms}}\right)^2\right] \quad \ln \frac{1}{N} = -\left(\frac{h_{max}}{h_{rms}}\right)^2 = -\ln N$$

$$\frac{h_{max}}{h_{rms}} = \sqrt{\ln N} \quad h_{max} \approx 2.45 h_{rms}$$

Kui oodata lõpmata kaua, võib tulla lõpmata kõrge laine?

Piirang: tormi pikkus!

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Hiidlainete ülesanne

Kui palju laineid peaks olema, et vähemalt ühe laine kõrgus oleks suurem kui 2xoluline lainekõrgus?

$$P(h \geq \hat{h}) = \frac{n}{N} \quad \frac{n(h \geq \hat{h})}{N} = \exp\left[-\left(\frac{\hat{h}}{h_{rms}}\right)^2\right] \quad n=1 \quad \hat{h} = 2h_s = 2\sqrt{2}h_{rms}$$

$$\frac{1}{N} = \exp\left[-\left(\frac{2\sqrt{2}h_{rms}}{h_{rms}}\right)^2\right] = \exp[-(2\sqrt{2})^2] = \exp(-8) \quad \text{Otsitakse suurust N}$$

$$\ln \frac{1}{N} = -8 \quad \ln \frac{1}{N} = -8 \quad N = e^8 \approx 2981$$

Kui kaua peaks kestma selline torm? Läänemerele periood ~5-8s avaookeanis 10-15s

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Hiidlained

- Kõrgus > 2xoluline lainekõrgus
- Rayleigh jaotuse alusel max. 1x ühe pika tormi jooksul
- Tegelikult märksa sagedamini
- Möödetud kuni 4xoluline lainekõrgus
- Periood sama → märksa järesem

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Praktilisi valemeid

$h_{max} = 1.86h_s$ juhul, kui laineid oli 1000

Kui salvestati N lainet ning H_s on teada, siis kõige tõenäolisem laine maksimaalne kõrgus on:

$$\frac{h_{max}}{h_{rms}} = \left[\sqrt{\ln N} + \frac{0.2886}{\sqrt{\ln N}} - \frac{0.247}{\sqrt{(\ln N)^3}} \right]$$

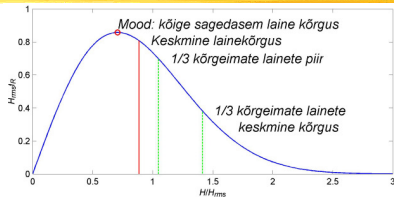
(H_{rms} on ruutkeskmine lainekõrgus!!)

ja seda seost saab kasutada mingi (pikema) aja jooksul ette tuleva kõrgeima laine kõrguse hindamiseks, **kui lainete periood on teada** – M.S.Longuet-Higgins (1952)

NB! Selliselt antud & analüüsitud informatsioon lainetuse kohta EELDAB; ET RAYLEIGH JAOTUS KEHTIB!!!

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Rayleigh jaotus II

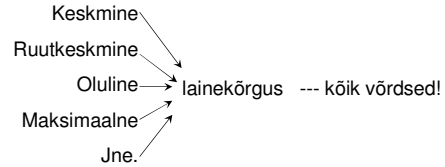


$$f_R = \frac{d}{dH} P(H < \hat{H}) = \frac{d}{dH} (1 - F_R) = -\frac{dF_R}{dH} = \frac{2\hat{H}}{H_{ms}^2} \exp\left[-\left(\frac{\hat{H}}{H_{ms}}\right)^2\right] = \frac{2\hat{H}}{H_{ms}^2} F_R$$

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Siinuslained: ei saa kirjeldada Rayleigh jaotusega



Lained madalas vees: peegeldumise puudumisel kõrgeimate lainete kõrgus piiratud ~80% vee sügavusest

→ 'kõrgeimad lained' suhteliselt madalad

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

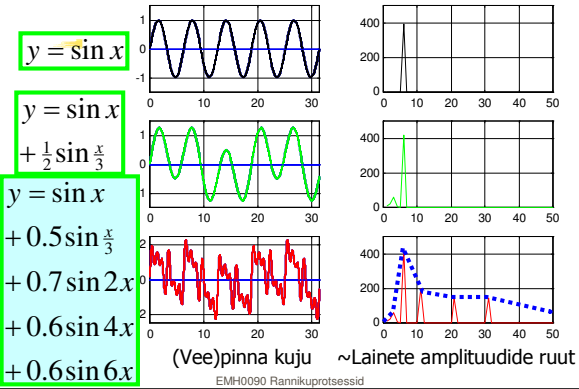
Lainete mõõtmine & analüüs

Lainete energiaspekter

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

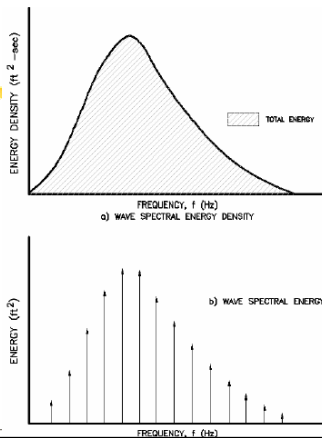
Kui laineid on väga palju:



EMH0090 Rannikuprotsessid

Lainetuse energiaspekter ehk kui kõrgeid on erineva sagedusega / pikkusega lained

Dimension: meeter×meeter/sekund

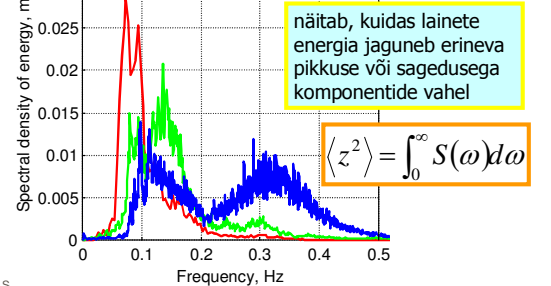


Soomere 2010

EMH

Ühemõõtmeline spekter:

Laevalainete ja tuulelainete energia spektraaltihedus Aegna saare lähistel 2002.a.



S

redistributes energy in the spectral domain. Hasseimann et al. [73 H, 76 H] discussed this term and

On olemas igasuguseid spektri kujusid

Enim kasutatakse:
JONSWAP:
 sõltub jooksumaast (mõjualast – fetch), kaks parameetrit
Pierson-Moskowitz:
 täielikult väljakujunenud lainetus (üks parameeter)

Fig. 3. Evolution of a wave spectrum with increasing fetch for offshore winds. Increasing numbers refer to stations with increasing distance from shore [73 H].

Soomere 2010

Lainetuse parameetrid spektrist

Spektri momendid $m_i = \int_0^\infty f^i E(f) df \quad i = 0, 1, 2, \dots$

m_0 = lihtsalt integraal spektrist
 =veepinna ruuthälve ehk dispersioon [m]
 Oluline lainekõrgus $H_S = H_{1/3} = 4\sqrt{m_0}$

m_2 = integraal spektrist* (sagedus*sagedus)
 =spektri teine moment [m² / s²]

$T_z = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}$ = lainetuse keskmine periood vastavalt üksiklainete analüüsile (zero-crossing) (kohati üsna kehv lähendus)

Kõrgeimate lainete periood = periood/sagedus, mis vastab spektri maksimumile

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Lainete mõõtmine & analüüs

Lainete mõõtmisest

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Lainete mõõtmine

- Kontaktmõõtmised vee sees (vee kiirus laines, rõhk)
- Kontaktmõõtmised vee pinnal (kiirusandurid → veepinna kuju, võimalik lainete suuna mõõtmine)
- Lähisondeerimine vee sees (vee kiirus pinnakihis akustilise Doppleri seadmega)
- Lähisondeerimine õhust (laser-kaugusmõõtja, radar-kaugusmõõtja)
- Kaugsondeerimine – satelliitidel (merepinna topograafia, peegeldus kapillaarlainetelt, Synthetic Aperture Radars jne.)

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

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

EMH0090 Rannikuprotsessid

India ookeani tsunami 2004

(otsesed satelliidi-mõõtmised)

Soomere 2010

Lainepoi: salvestab veepinna kuju




Figure 1.21 Solar-powered directional wave buoy (which in use is moored to the sea-bed). The buoy contains sensors that measure roll, pitch and yaw, as well as wave displacement, velocity and acceleration.

Soomere 2010

Väikeste lainete mõõtmine madalas vees: veepinna kuju salvestus




Lainete parameetrid valemities

Pinnalainete potentsiaal $\varphi = f(z)\sin(kx + ly + \omega t)$

Vee kiirus ja veepinna kuju avalduvad potentsiaali kaudu

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = u \quad \frac{\partial \varphi}{\partial y} = v \quad \frac{\partial \varphi}{\partial z} = w$$

$$\eta(x, y, t) = -\frac{1}{g} \frac{\partial \varphi(x, y, 0, t)}{\partial t}$$

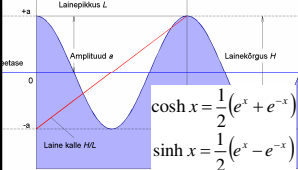
Laine amplituud $a = \omega f(0)$

$$\eta = a \cos(kx + ly + \omega t)$$

$$f(z) = \frac{ag \cosh(z+H)\kappa}{\omega \cosh \kappa H}$$

- kirjeldab, kuidas laine omadused muutuvad sügavuse suurenedes

Rõhk veesambas: lineariseeritud Bernoulli fn.

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{p - p_0}{\rho} + gz = 0$$


cuprotsessid

Rõhk veesambas

Veepinnal leviv laine tekitab veesambas rõhu muutused $p' = p - \rho g z$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{p - p_0}{\rho} + gz = 0$$

$$p' = -\rho g \frac{\cosh k(z+H)}{\cosh \kappa H} \cos(kx + \omega t)$$

$$\varphi = f(z)\sin(kx + \omega t) \quad \eta(x, t) = a \cos(kx + \omega t)$$

(veepinna kuju)

$$f(z) = \frac{ag \cosh(z+H)\kappa}{\omega \cosh \kappa H}$$

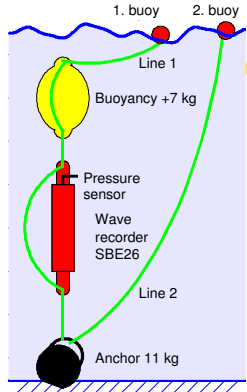
Veepinnal leviv laine tekitab sügavusel z sama pikkuse, perioodi ja faasiga rõhulaine; mille amplituud on

$$\frac{\rho g \cosh k(z+H)}{\cosh \kappa H}$$

korda väiksem laine enda amplituudist

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Lainetuse omaduste mõõtmine rõhu mõõtmise alusel



1. buoy 2. buoy

Line 1

Buoyancy +7 kg

Pressure sensor

Wave recorder SBE26

Line 2

Anchor 11 kg



Veepinnal leviv laine tekitab sügavusel z sama pikkuse, perioodi ja faasiga rõhulaine; vaid amplituud on

$$\frac{\rho g \cosh k(z+H)}{\cosh \kappa H}$$

korda väiksem

190 Rannikuprotsessid

Wave Recorder LM2 (PTR Grupp, Eesti)

(b)

1st marker buoy 2nd marker buoy

Rope 1

Buoyancy

Pressure sensor

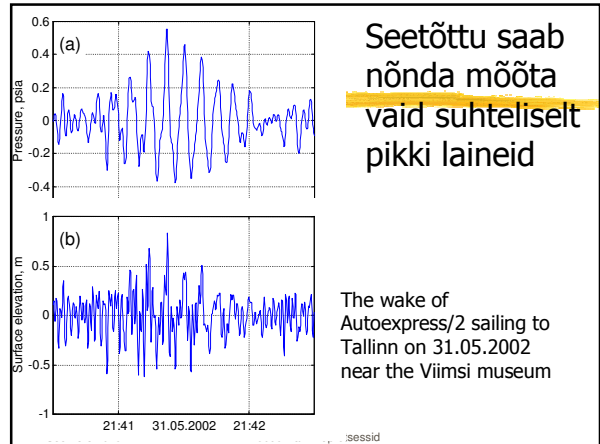
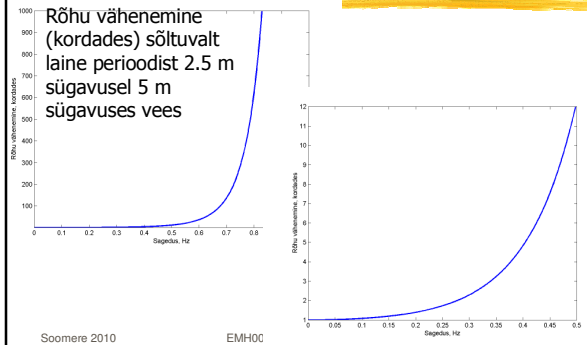
Wave recorder SBE26

Rope 2

Anchor

Veetase = üli-üli-üli....pikk laine → rõhuandur võib olla väga sügaval (nagu tsunامي avastamise süsteemis)

Rõhk: väheneb väga kiiresti



Lainetuse mõõtmine rõhuanduriga: lineaarse superpositsiooni rakendus

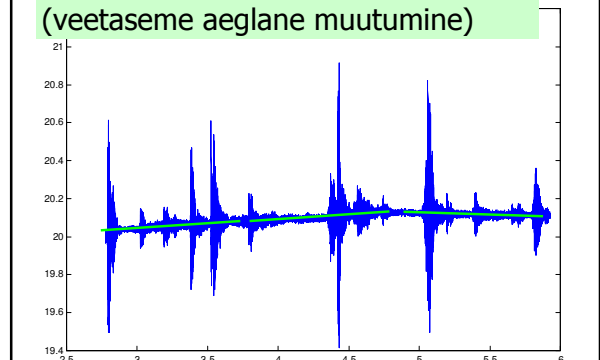
- Mõõdetakse rõhu fluktuatsioonid → aegjada
- Arvutatakse rõhulainete amplituudide spekter (tavaliselt kiire Fourier teisenduse abil)
- Sellest arvutatakse pinnalainete amplituudide spekter – korrutades erineva pikkusega rõhulainete spektrit (~amplituudide ruutused) vastava koefitsiendiga

$$\frac{\rho g \cosh k(z+H)}{\cosh kH} * \frac{\rho g \cosh k(z+H)}{\cosh kH}$$

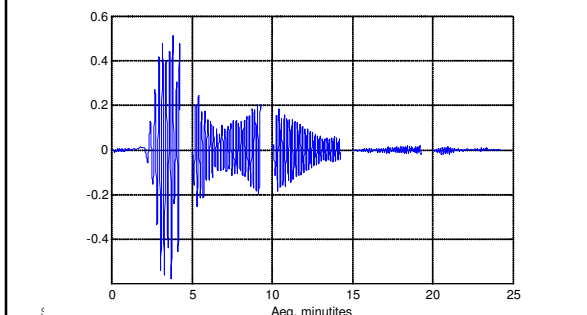
- Seejärel leitakse pinnalainete oluline lainekõrgus jm. parameetrid
- Veepinna kuju taastamine: keerukas, kuid ligikaudu võimalik

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

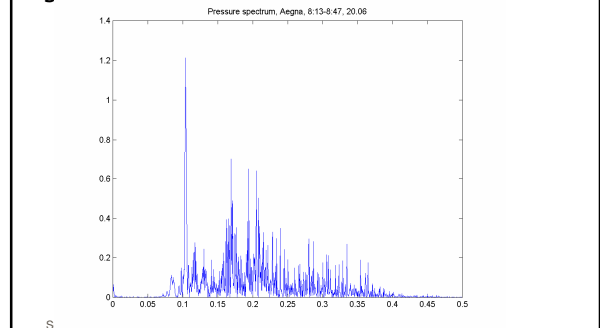
Rõhu aegjada → lainekõrgus I: Elimineerida keskväärtsus & trend (veetaseme aeglane muutumine)



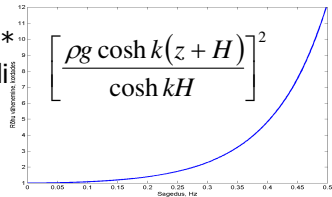
Rõhu aegjada → lainekõrgus II: Jagada pikk aegjada lühemateks lõikudeks, mille keskväärtsus = 0 ning lineaarne trend elimineeritud (klassika: 20 minutit)



Rõhu aegjada → lainekõrgus III: Arvutada Fourier teisendus rõhu fluktuatsioonide aegjadast : selle ruut → rõhulainete spekter



Rõhu aegjada →
lainekõrgus IV:
Rõhulainete spekter *
(rõhulaine amplituudi
nõrgenemise
koefitsient)ruudus



(vastavalt mere
sügavusele H,
rõhuanduri
paiknemisele z ning
laine sagedusele /
pikkusele)

Soomere 2010

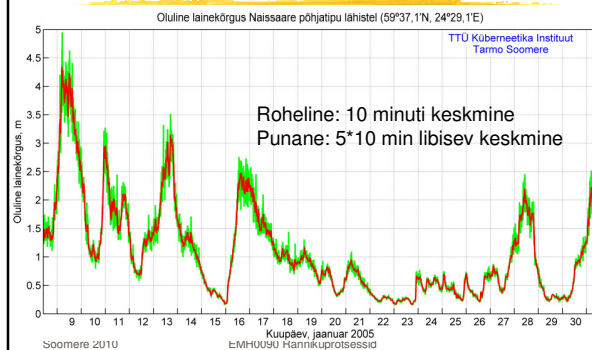
Rõhu aegjada → lainekõrgus V:
Lainete spektrist:

- $4 \cdot \sqrt{\text{ruuthälve}} = \text{oluline lainekõrgus}$
- Rayleigh jaotus → muud lainetuse parameetrid
- $\sqrt{\text{m0/m2}}$ – veepinna aegjadast leitava keskmise perioodi ligikaudne hinnang
- Veepinna kuju taastamine: veidi keerukam ning võimalik vaid ligikaudselt

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

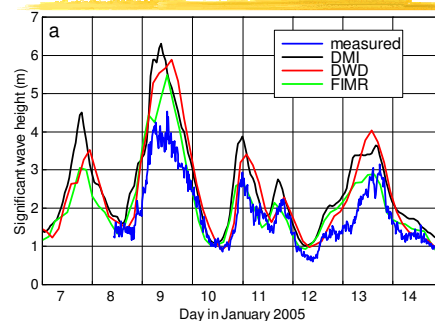
Rõhuanduriga mõõdetud: senine ametlik lainekõrguse maksimum Soome lahe Eesti rannavetes



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

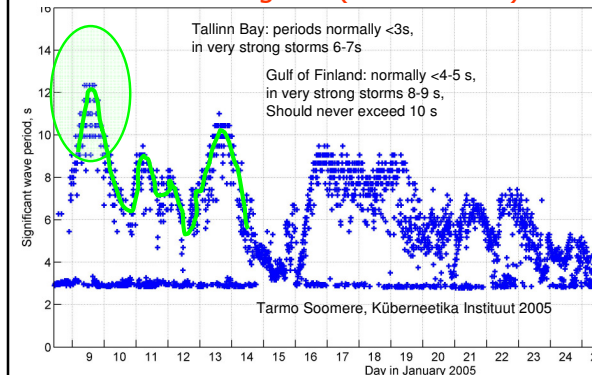
Sama, 20 minuti keskmine



Soomere 2010

Soome laht, Naissaar, 20 min keskmine

Problem lainete perioodiga niipea, kui rõhuandur on sügaval (seekord 8 m)



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Rõhuanduri plussid ja puudused

- Lihtne ja odav
- Kerge paigaldada
- Töökindel
- Mõõdab väga korralikult üksikute pikkade lainete perioodi/pikkuse
- Veepinna kuju taastamine võimalik vaid ligikaudselt
- Keskmise perioodi leidmine ebatäpne
- Problem lühikeste lainete mõõtmisega
- Ei mõõda lainete leviku suunda

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid