

Loengupäev 6

I osa: Harjutused

Kontrolltöö ülesannete lahendused

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Harjutus: kontrolltöö ülesanded

TTÜ variant 1:

(2p) Järjestage Teie arvates Eesti jaoks 5 kõige olulisemat rannikuga seotud teemat või probleemi ning põhjendage oma valikut

TTÜ variant 2: TTÜ: 87%

(2p) Järjestage Teie arvates Eesti jaoks 5 kõige olulisemat Läänemerega, eelkõige meie rannikumerega, seotud teemat või probleemi ning põhjendage oma valikut.

Mereakadeemia: 67%

(2p) Järjestage Teie arvates Eesti jaoks 5 kõige olulisemat Läänemerega või Eesti rannikutega seotud teemat või probleem ning põhjendage oma valikut.

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Loengust I:

Kuumad teemad (R.W.G.Carteri järgi)

- Ookeani veetaseme tõus
- Tormikahjustuste leevendamine
- Ranniku erosiooni ohjamine
- (Soomes: maa tõusu probleemistik)
- Kaitse üleujutuste eest
- Poldrite kuivendamine (2. koht??) Võitja: Nord Stream
- Deltade ning estuaaride majandamine
- Rannikuprotsessid energiaallikana
- Heitvesi
- Rannikuökosüsteemide jätkusuutlik majandamine ja nende ökoloogilise mitmekesisuse tagamine
- Soolase vee tungimine põhjavette (3.koht?)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Kontrolltöö ülesanded II

Ainult Mereakadeemia: 77%

(1p) Miks on rannikupiirkonna ja seal toimuvate protsesside kirjeldamine keerukam kui näiteks maismaal toimuvate protsesside puhul?

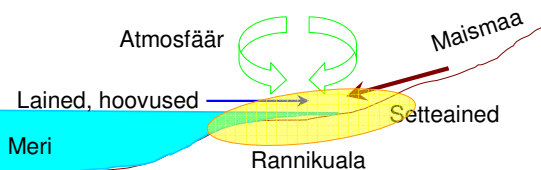
Materjal: loengust 1

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Rannikuala: kolme elemendi kohtumine

Rannikupiirkond on ala, kus meri mõjutab oluliselt maismaa elukeskkonda ning maismaa mõjutab oluliselt mere elukeskkonda (R.W.G.Carter, Coastal Environments).



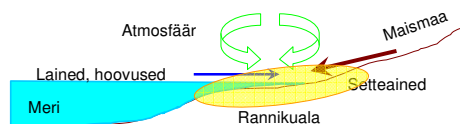
Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Rannikutehnika & rannikuprotsessid

Vajavad teadmisi

- Atmosfääri dünaamikast
- Rannikumere dünaamikast
- Randa moodustavate maismaa tükikeste = tahkete osakeste / setteainete dünaamikast



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Rannikuala iseloomustavad:

- Kontrastid (maa – magevesi – soolane vesi – õhk)
- Morfoloogiline mitmekesisus
- Muutlikkus
- Suur hulk mõjutegureid
- Tegurite kombineerumine
- Väga erinevad huvid
- Süsteemse analüüsi vajadus

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Antropogeensed mõjutused + probleemid otsustamisel

- Ranna reaktsioon ei pruugi olla lokaalne
- → kaugmõju võimalikkus
- Rand kui lokaalne puhver
- Väga pikad ajamastaabid
- Suur emotsionaalne väärtus
- Vähesed teadmised ranna funktsioneerimisest
- Interdistsiplinaarsus

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Kontrolltöö ülesanded III

Ainult Mereakadeemia: **45%**

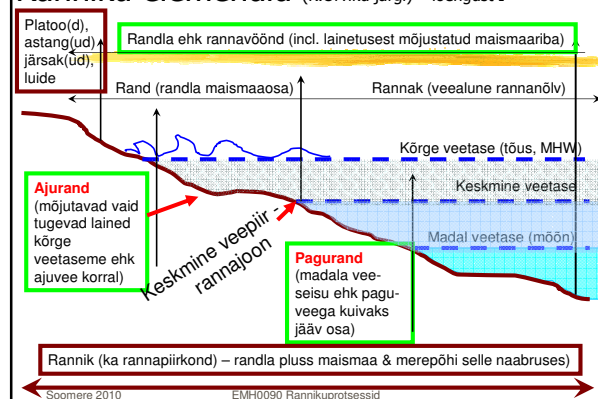
(1p) Mis vahe on ajuveerannal ja paguveerannal?

Materjal: loengust 1

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Ranniku elemendid (K.Orviku järgi) – loengust I



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Kontrolltöö ülesanded IV

Ainult Mereakadeemia: **35%**

(2p) Esitage 5 näidet selle kohta, kuidas Eesti randade eripära on seotud Läänemere meteoroloogia, geoloogia, geomeetria või hüdrodünaamika eripäraga.

Materjal: loeng 1 + NordStream

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Läänemeri: erakordne pärl

EL sisemeri

380,000km²

Keskmine sügavus 67 m

- Pole tõusu-mõõna
- Pole jugahoovuseid
- Väikesed mõõtmed
- Tagasihoidlikud tuuled
- Väikesed tsüklonid;
- Samas kõrgeid lained
- Riimvesi, väike ookean
- Erakordne stratifikatsioon
- Elu tänu sissevoolule

→ Suhteliselt rahulik meri

→ Ülitundlik kõrvalmõjudele

Eriti tundlik mereala (IMO)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid



Läänemere spetsiifika rannikuprotsesside kontekstis

Spetsiifika	Tulemus
<ul style="list-style-type: none"> Pole tõusu-mõõna Noor meri Madal hüdrodünaamiline aktiivsus Tugevad tuuled kindlast suunast Keerukas geometria Maapind kerkib Peeneteraliste setete defitsiit Palju vastupidavast kivist randu Lained lühikesed 	<ul style="list-style-type: none"> Lainetus domineerib Õgvenduvad rannad Palju stabiilseid rannalõike Astmeline areng Ääretult muutikud rannad väikestel lõikudel Tagasihoidlik liiva kadu Väikese liivavaruga, kuid siiski tasakaalulised rannad

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Kontrolltöö ülesanded V

TTÜ variant 1:

(2p) Selgitage kesket eeldust, mille alusel tuletatakse Euleri võrranditest madala vee võrrandid.

TTÜ variant 2:

TTÜ: 11%

(2p) Kirjeldage, mil moel lihtsustuvad Euleri võrrandid hüdrostaatilises lähenduses.

MEREAKADEEMIA

2%

(2p) Kuidas avaldub rõhk veesambas ning kuidas leitakse veesakeste vertikaalne kiirus madalmeres hüdrodünaamika lähenduses?

Materjal: madala vee loengust 4

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Hoovused madalas meres: ~2D

DEF: Hüdrostaatiline lähendus:

rõhk veesambas sõltub ainult sügavusest

Rõhu konkreetses punktis määravad ainult selle punkti kohal olevad veesakesed

Vertikaalset kõrval paiknevate veesakeste poolt tekitatud lisarõhk on tasakaalus

(ei mingit seost mere tegeliku sügavusega ega kiiruse struktuuriga!)

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g \Rightarrow p = \rho g(H + \eta - z)$$

(atmosfääri rõhk ignoreeritud!)

$$H = H(x, y, t)$$

$$\eta = \eta(x, y, t)$$

$$p = p(x, y, z, t)$$

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Miks hüdrostaatiline lähendus $\rho \frac{D\vec{u}}{Dt} = -\nabla p + \rho \vec{g} + [\text{Coriolise jõu mõju}]$

$$p = \rho g(H + \eta - z)$$

- Rõhk on lineaarne funktsioon vertikaalkoordinaadist
- Rõhu gradient (mitte ükski osatuletis) ei sõltu z-st

$\frac{\partial p}{\partial x} = \rho g \frac{\partial \eta}{\partial x}$	Funktsioonid (x,y,t)-st	$\frac{\partial p}{\partial y} = \rho g \frac{\partial \eta}{\partial y}$	Euleri võrrandid kiiruse horisontaalkomponentide jaoks
$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} - 2\Omega \times \vec{u}$		$\frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} - 2\Omega \times \vec{u}$	

Gravitatsioon: ainult vertikaalsihis

- Horisontaalkiirused ei sõltu z-st $u = u(x, y, t) !!$

Liikumine toimub ühtlaselt kogu veemassis pinnast põhjani!

- Uus tundmatu funktsioon: veepinna kõrgus

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Madal vesi II

Pidevuse võrrandit saab 1xintegreerida!!!

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = -G(x, y, t)$$

Kuna kumbki kiiruse komponent ei sõltu z-st

järelikult

$$\frac{\partial w}{\partial z} = G(x, y, t)$$

$$w = G(x, y, t)z + G_0$$

Integreerimiskonstant: kiirus põhjas = 0

$$w = G(x, y, t)z$$

Vertikaalkiirus: lineaarne funktsioon sügavusest

Integreerimine põhjast kuni pinnani:

$$(H + \eta) \frac{\partial u}{\partial x} + (H + \eta) \frac{\partial v}{\partial y} + w(\eta) = 0$$

Ei sõltu z-st

Kiirus pinnal: definitsioonist

$$w(\eta) = \frac{D\eta}{Dt} = \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y}$$

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Kontrolltöö ülesanded VI

Ainult MEREAKADEEMIA

33%

(3p) Milliseid klassikalise mehaanika printsiipe esindavad hüdromehaanikas pidevuse võrrand ja Navier-Stokesi võrrandid? Millised on nendes otsitavad funktsioonid ja nende argumendid?

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Kaks fundamentaalset printsiipi:

(i) massi jäävuse seadus → pidevuse võrrand

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{u}) = 0 \quad \rho(x, y, z, t) = \text{const}$$

$$\operatorname{div} \vec{u} = 0 \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

(ii) Mitmesuguste jõudude mõju & Newtoni seadus ehk impulsi jäävuse seadus → Cauchy võrrandid → Navier-Stokesi võrrandid → Euleri võrrandid

$$\rho \frac{D\vec{u}_x}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x + \mu \Delta u_x$$

Mere ja atmosfääri paneb liikuma välisjõud + rõhu gradient!

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Argumendid ja muutujad

- Kolm ruumi-koordinaati (x, y, z)
- Aeg t
- → F(x, y, z, t)

- vee liikumise kiiruse kolm komponenti
- rõhk
- Tihedus = F[soolsus, temperatuur, rõhk]
- peavad olema määratud igas punktis igal ajahetkel

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Kontrolltöö ülesanded VII

TTÜ variant 1:

(1p) Laine pikkus on 100 m. Leida lainearv.

TTÜ variant 2:

96%

(1p) Laine periood on 10 s. Leida ringsagedus.

$$k = \frac{2\pi}{L} \approx \frac{6.28}{100} = 0.0628 \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \approx \frac{6.28}{10} = 0.628 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Probleemid ühikutega

Laine periood $T = 2\pi/\omega$ [sekund]

Laine sagedus $f = 1/T = \omega/2\pi$ [1/sekund]

Laine (ring)sagedus $\omega = 2\pi f$ [radian/sekund]

2π on vajalik ainult seetõttu, et sin ja cos periood on 2π [radiani]

π [radiani] = 180°

Laine pikkus $L = 2\pi/k$ [meetrit]

Lainearv $\kappa = 2\pi/L$ [radian/meeter]

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Kontrolltöö ülesanded VIII

TTÜ variant 1:

(2p) Selgitage, mis on lainete faasikiirus, milline on selle dimension ja tuletage seos selle arvutamiseks madala vee lähenduses lähtudes dispersiooniseosest.

TTÜ variant 2:

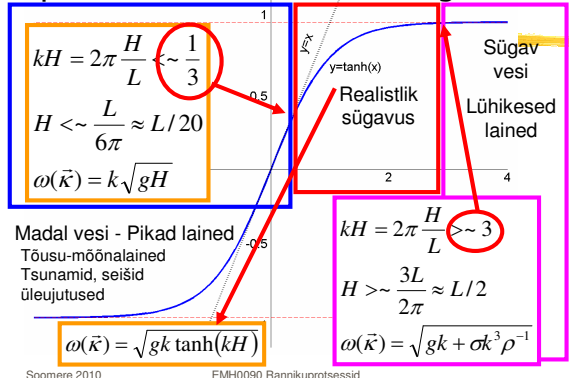
TTÜ: 67%

(2p) Selgitage, mis on lainete rühmakiirus, milline on selle dimension ja tuletage seos selle arvutamiseks sügavas vees lähtudes dispersiooniseosest.

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Dispersiooniseos erinevates sügavustes



Kiirus I: liiguvad laineharjad

DEFINITSIOON
FAASIKIIRUS on laineharjade leviku kiirus

$$T = t_1 - t_0 = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$L = \frac{2\pi}{|\vec{k}|} = \frac{2\pi}{\sqrt{k^2 + l^2}}$$

$$c_f = \frac{\text{tee pikkus}}{\text{kulunud aeg}} = \frac{L}{T}$$

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

Ülesanne: leida faasikiirused madala ja sügava vee jaoks

$$c_f = \frac{L}{T} = \frac{2\pi/\kappa}{2\pi/\omega} = \frac{\omega}{\kappa} = \frac{\omega}{\sqrt{k^2 + l^2}}$$

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Rühmakiirus

DEFINITSIOON
RÜHMAKIIRUS on laineenergia leviku kiirus

$$c_g = \left(\frac{\partial \omega}{\partial k}, \frac{\partial \omega}{\partial l} \right)$$

Mittedispergeeruvad lained: $\omega = \lambda k$
 pinnalained väga madalas vees, väga pikad lained meres, kiirlaevalained, helilained, elektromagnetilised lained:
 rühmakiirus võrdne ja samasuunaline faasikiirusega, sest sel juhul

$$c_f = \frac{\omega}{k} \equiv \frac{\partial \omega}{\partial k} = \text{const}$$

Rosby lained: rühmakiirus võib olla vastassuunaline faasikiirusele

Siselained: rühmakiirus on risti faasikiirusega

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Kiirused dispersiooniseosest

Sügav vesi ($kH > 3$)

$$\omega = \sqrt{gk}$$

Madal vesi ($kH < 1/3$)

Rühmakiirus: tuletis

$$c_g = \frac{\partial \omega}{\partial k} = \frac{m}{s}$$

Faasikiirus: jagatis

$$c_f = \frac{L}{T} = \frac{2\pi/k}{2\pi/\omega} = \frac{\omega}{k}$$

$$c_g = \frac{\partial \omega}{\partial k} = \frac{\omega}{2k} \left(1 + \frac{2kH}{\sinh 2kH} \right) = \frac{c_f}{2} \left(1 + \frac{2kH}{\sinh 2kH} \right)$$

$$c_f = \frac{\omega}{k} = \frac{k\sqrt{gH}}{k} = \sqrt{gH}$$

$(x^a)^n = ax^{a+1}$

$$c_g = \frac{\partial \omega}{\partial k} = (\sqrt{gk})_k = \sqrt{g}(\sqrt{k})_k = \sqrt{g}(k^{1/2})_k = \sqrt{g} \left(\frac{1}{2} k^{-1/2} \right) = \frac{1}{2} \sqrt{g} k^{-1/2} = \frac{1}{2} \sqrt{g} \frac{1}{\sqrt{k}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{k}}$$

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Kontrolltöö ülesanded IX

MEREAKADEEMIA **27%**

(3p) Selgitage, millistel tingimustel tohib kasutada seost $L \approx 1.56T^2$ laine pikkuse ja perioodi vahel. Tõestage see seos lähtudes dispersiooniseosest.

Materjal: harjutustunnist loengus 3 (lainete matemaatiline kirjeldus)

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Dispersiooniseos III

$$\omega^2 = g\kappa \frac{\exp(\kappa H) - \exp(-\kappa H)}{\exp(\kappa H) + \exp(-\kappa H)}$$

(väga sügav - põhjatu - meri)

(realistlik meri)

$$\omega = \sqrt{g\kappa} \quad \omega = \sqrt{g\kappa \tanh(\kappa H)}$$

Laine periood sügavas vees on 10 sekundit. Leida laine pikkus ja lainearv (1) sügavas vees, (2) 100 meetri sügavuses vees ja (3) 10 meetri sügavuses vees. Võrrelda tulemusi.

Sügavas vees:

$$\omega = \sqrt{g\kappa} \Leftrightarrow \frac{2\pi}{T} = \sqrt{g \frac{2\pi}{L}} \Leftrightarrow \frac{(2\pi)^2}{T^2} = g \frac{2\pi}{L}$$

$$\frac{2\pi}{T^2} = \frac{g}{L} \Leftrightarrow L = \frac{g}{2\pi} T^2 = 156.1m$$

Võrdlus: valemid perioodi/pikkuse jaoks väga sügavas vees

$$T \approx 0.8\sqrt{L}$$

$L \approx 1.56T^2$

Lainepikkus ~periood ruudus

Jälle hea lihtne valem, kuid ainult väga sügavas vees!!!

Soomere 2010 Rannikuprotsessid

Kontrolltöö ülesanded X

TTÜ variant 1:

(2p) Laine pikkus 5 m sügavuses vees on 20 m. Leida laine periood.

TTÜ variant 2: **65%**

(2p) Laine rühmakiirus sügavas vees on 8 m/s. Leida selle laine pikkus.

Materjal: loeng 3 (lainete matemaatiline kirjeldus) + eelmise ülesande lahendus

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Praktilisi valemeid keskmise sügavusega vees ehk ühed parameetrid teiste kaudu

Dispersiooniseosest keskmise sügavusega vees saame:

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{g \frac{2\pi}{L} \tanh\left(\frac{2\pi}{L} H\right)} \quad L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi}{L} H\right)$$

- Üsna keerukas võrrand lainepikkuse jaoks

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 H}{T^2 g}\right)}$$

Võimaldab "otse" arvutada lainepikkust perioodi kaudu; viga alla 10% kui $H/L < 1/2$

Keerukam, kuid ometi praktiline valem:

$$L = L_0 \left\{ \tanh \left[\left(2\pi \sqrt{\frac{H}{gT^2}} \right)^{3/2} \right] \right\}^{2/3}$$

L_0 perioodiga T lainete pikkus sügavas vees
Valemi viga alla 1,7% (Dean ja Dalrymple 2002, lk. 90)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Laine periood/pikkus

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{g \frac{2\pi}{L} \tanh\left(\frac{2\pi}{L} H\right)} \quad T = \frac{2\pi}{\sqrt{g \frac{2\pi}{L} \tanh\left(\frac{2\pi}{L} H\right)}} = 3.7372s$$

$H=5m, L=20m$

$$c_g = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{k}} \quad c_s = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{k}} \Rightarrow (2c_g)^2 = \frac{g}{k} = \frac{gL}{2\pi} \Rightarrow L = \frac{2\pi}{g} (2c_g)^2$$

Rühmakiirus 8 m/s $\rightarrow L \sim 164 m$

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Kontrolltöö ülesanded XI

TTÜ variant 1:

(3p) Milline on laine energiatihedus sügavas vees, kui laine amplituud on 1.3 m? Kas laine pikkus või periood mängib siin mingit rolli?

TTÜ variant 2: **63%**

(3p) Arvutada on laine energia voo tihedus sügavas vees, kui laine amplituud on 1.3 m ja pikkus 100 meetrit?

Materjal: loeng 3 (lainete matemaatiline kirjeldus); variant 2: eelmise ülesande lahendus

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Potentsiaalne ja koguenergia

$$E_p(x, t) = \int_0^{\eta} \rho g z dz = \frac{1}{2} \rho g a^2 \cos^2(kx + \omega t)$$

$$E_p(x) = \frac{1}{2T} \int_0^T \rho g a^2 \cos^2(kx + \omega t) dt = \frac{1}{4} \rho g a^2$$

Koguenergia tihedus amplituudi ja lainekõrguse kaudu

$$E = \frac{a^2 \rho g}{2} \left[\frac{m \cdot kg \cdot m^2}{m^3 s^2} = \frac{N \cdot m^2}{m^3} = \frac{J}{m^2} \right]$$

$$E = \frac{1}{8} h^2 \rho g$$

Sõltub ainult lainekõrgusest; ei sõltu mere sügavusest ega laine muudest omadustest

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Laineenergia levi: lainete energia voo

DEFINITSIOON

Lainete ENERGIA VOOG on laineenergia ja selle leviku kiiruse korrutis

$$P = E c_g \left[\frac{W}{m} \right]$$

(sageli hüütakse ka võimsuseks/võimsustiheduseks)

Lainete energia voo (võimsus) iseloomustab, kui intensiivselt lained energiat transpordivad

Pikemad lained transpordivad energiat intensiivsemalt kui lühemad, kuna nende rühmakiirus on suurem

$$c_g = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{k}} = \sqrt{\frac{g}{8\pi}} \sqrt{L}$$

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Energia ja selle voo

$$E = \frac{a^2 \rho g}{2} \left[\frac{J}{m^2} \right] \quad a=1.3m; \text{ tihedus } \sim 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$E \sim 8289 \text{ J/m}^2 \sim 8.3 \text{ kJ/m}^2$$

$$P = E c_g \left[\frac{W}{m} \right]$$

$$c_g = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{k}} = \sqrt{\frac{g}{8\pi}} \sqrt{L}$$

Rühmakiirus ~ 6.2476

Energia voo $\sim 51.79 \text{ kW/m}$

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Kontrolltöö ülesanded XII

TTÜ variant 1:

(3p) Leida 100 km pikkuse ja 0.5 m kõrguse tsunami rühmakiirus ja selle poolt poolt tekitatud maksimaalne vee kiirus 4 km sügavuses vees.

TTÜ variant 2: **28%**

(3p) Leida 100 km pikkuse ja 0.5 m kõrguse tsunami faasikiirus ja selle poolt poolt tekitatud maksimaalne vee kiirus 500 m sügavuses vees.

Materjal: loeng 3 (lainete matemaatiline kirjeldus)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Rühmakiiruse ja faasikiiruse suhe

Madal vesi

$$h < \sim \frac{L}{6\pi} \approx L/20$$

$$\omega(\vec{k}) = k\sqrt{gH}$$

$$c_f = c_g = \sqrt{gH} = \text{const}$$

$$\omega(\vec{k}) = \sqrt{gk \tanh(kH)}$$

$$\frac{1}{2} c_f \leq c_g \leq c_f$$

$$c_s = \frac{\partial \omega}{\partial k} = \frac{\omega}{2k} \left(1 + \frac{2kH}{\sinh 2kH} \right) = \frac{c_f}{2} \left(1 + \frac{2kH}{\sinh 2kH} \right)$$

Sügav vesi

$$H > \sim \frac{3L}{2\pi} \approx L/2$$

$$\omega(\vec{k}) = \sqrt{gk}$$

$$c_f = \sqrt{\frac{g}{k}}$$

$$c_g = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{k}} = \frac{1}{2} c_f$$

Kiiruse modul reaalses meres

$$V_{\max}(z) = \sqrt{u^2 + w^2} = \frac{agk}{\omega \cosh kH} \times \sqrt{\cos^2(kx - \omega t) + \sinh^2 k(z+H)}$$

Pinnal (z=0)
$$V(0) = \frac{agk}{\omega \cosh kH} \sqrt{\cos^2(kx - \omega t) + \sinh^2 kH}$$

Kiiruse modul pulseerub nii pinnal kui põhjas!!

Põhjas (z=-H)
$$V(z=-H) = \frac{agk}{\omega \cosh kH} |\cos(kx - \omega t)|$$

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Kiirused tsunamis

Faasi- ja rühmakiirused: $c_f = c_g = \sqrt{gH} \approx 70 \text{ m/s}$
võrdsed $c_f = c_g = \sqrt{gH} \approx 198 \text{ m/s}$

Vee kiirus: maksimaalsed väärtused pinnal z=0

$$V(0) = \frac{agk}{\omega \cosh kH} \sqrt{\cos^2(kx - \omega t) + \sinh^2 kH} \quad L=100 \text{ km}$$

$$V(0)(\max) = \frac{agk}{\omega \cosh kH} \sqrt{1 + \sinh^2 kH} = \frac{ag}{c_f \cosh kH} \sqrt{1 + \sinh^2 kH}$$

H=4000m \rightarrow kH=0.2513 \rightarrow H=500m \rightarrow kH=0.0314 \rightarrow

$$\cosh(kH)=1.0317$$

$$\sinh(kH)=0.2540$$

$$V_{\max} \sim 0.0124 \text{ m/s}$$

$$\sim 1.24 \text{ cm/s}$$

$$\cosh(kH)=1.0005$$

$$\sinh(kH)=0.0314$$

$$V_{\max} \sim 0.035 \text{ m/s}$$

$$\sim 3.5 \text{ cm/s}$$

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Kiirused tsunamis: võrdlus pika laine teooriaga

L=100 km $c_f = c_g = \sqrt{gH}$

H=4000m \rightarrow kH=0.2513 \sim 1/3 H=500m \rightarrow kH=0.0314 \ll 1/3

piiripealne Igati OK

$$V(0)(\max) = \frac{agk}{\omega \cosh kH} \sqrt{1 + \sinh^2 kH} = \frac{ag}{c_f \cosh kH} \sqrt{1 + \sinh^2 kH}$$

$\cosh(kH)=1.0317$ $\sinh(kH)=0.2540$ $\cosh(kH)=1.0005$ $\sinh(kH)=0.0314$

$$V(0)(\max, \text{ long wave}) \approx \frac{ag}{c_f} = \frac{ag}{\sqrt{gH}} = a\sqrt{\frac{g}{H}}$$

Lähisväärtus:

Täpne: Lähisväärtus: Täpne: 0.0350

$V_{\max} \sim 0.0124 \text{ m/s}$ $\sim 1.24 \text{ cm/s}$ $V_{\max} \sim 0.0350 \text{ m/s}$ $\sim 3.5 \text{ cm/s}$

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Laine poolt tekitatud maksimaalne põhjalähedane kiirus

Lõpliku sügavusega meri

$$V(z) = \sqrt{u^2 + w^2} = \frac{agk}{\omega \cosh kH} \times \sqrt{\cos^2(kx - \omega t) + \sinh^2 k(z+H)}$$

$$\sinh x = \frac{1}{2}(e^x - e^{-x})$$

$$V_{\max}(z=-H) = \frac{agk}{\omega \cosh kH}$$

Veeosakeste kiirus laines (ka lõpmata sügavas meres) $V = \frac{agk}{\omega e^{kH}} \frac{1}{2}(e^{-kH} + e^{kH})$

$$V_{\max}(-H) = \frac{a\omega}{\sinh kH}$$

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Kiirused tsunamis põhjas ja pinnal $L=100 \text{ km}$
 $H=4000\text{m} \rightarrow kH=0.2513 \sim 1/3$ Igati OK $c_f = c_g = \sqrt{gH}$
 $H=500\text{m} \rightarrow kH=0.0314 \ll 1/3$

piiripealne Pinnal
 $V(0)(\text{max}) = \frac{ag}{c_f \cosh kH} \sqrt{1 + \sinh^2 kH}$
 $\cosh(kH)=1.0317$
 $\sinh(kH)=0.2540$
 $V(0)(\text{max, long wave}) \approx \frac{ag}{c_f} = \frac{ag}{\sqrt{gH}} = a\sqrt{\frac{g}{H}}$

Põhjas
 $V_{\text{max}}(-H) = \frac{agk}{\omega \cosh kH} = \frac{ag}{c_f \cosh kH}$
 Pikas laines $\sqrt{-1}$
 $V(-H)(\text{max, long wave}) \approx \frac{ag}{c_f} = a\sqrt{\frac{g}{H}}$
 $\cosh(kH)=1.0005$ $\sinh(kH)=0.0314$

Max. pinnal $V_{\text{max}} \sim 0.0124 \text{ m/s}$
 Põhjas: 0.0120 m/s
 Erinevus: 3%

Max. pinnal $V_{\text{max}} \sim 0.0350 \text{ m/s}$
 Põhjas: 0.0350
 Erinevus: 0.05%

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Kontrolltöö ülesanded XIII

TTÜ variant 1:
 (1p) Millistes Läänemere avaosas ja Soome lahe randades on kõige tõenäolisem kohata apvellingat ehk süvaveekerget? Miks?

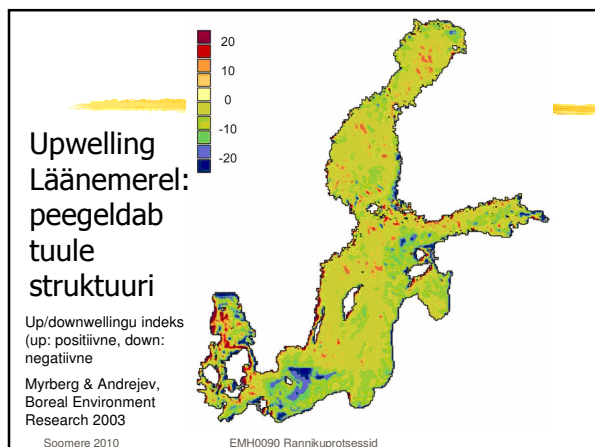
TTÜ variant 2: **TTÜ: 59%**
 (1p) Millistes Läänemere avaosas ja Soome lahe randades on kõige tõenäolisem kohata daunvellingat ehk pealisvee sukeldumist? Miks?

Mereakadeemia
 (1p) Tšiili rannikul puhub pikka aega põhjatuul. Millises suunas liigub pinnahoovus? **50%**

(2p) Selgitage, kuidas on omavahel seotud valitsevate tuulte suund ja pinnahoovuste poolt põhjustatud kahjulike mõjude või ainete edasikanne Läänemeres. **10%**

Materjal: loengud madala vee dünaamikast + Nord Streamist

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid



- Up/downwelling**
- Peegeldab tuule struktuuri
 - Tekib siis, kui tuul puhub ~piki randa pikema aja jooksul (mitmeid tunde)
 - Läänemeres: domineerivad edelatuuled → upwelling Rootsis, downwelling Baltimaades
 - Soome lahel: üldiselt domineerivad läänekaare tuuled, kevadeti (võib-olla) ida/kirdetuuled;
 - Seega enamasti upwelling Soomes, downwelling Eestis – välja arvatud kevadeti
- Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

Kontrolltöö ülesanded XIII

TTÜ variant 1:
 (1p) Millistes Läänemere avaosas ja Soome lahe randades on kõige tõenäolisem kohata apvellingat ehk süvaveekerget? Miks?

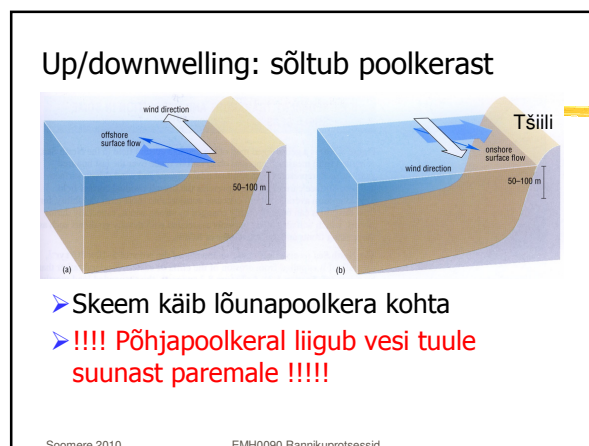
TTÜ variant 2: **TTÜ: 53%**
 (1p) Millistes Läänemere avaosas ja Soome lahe randades on kõige tõenäolisem kohata daunvellingat ehk pealisvee sukeldumist? Miks?

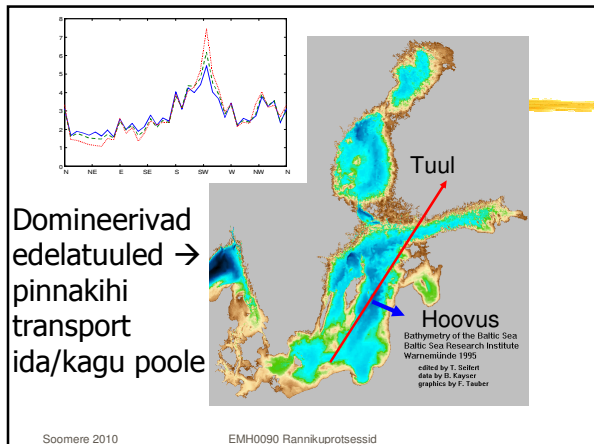
Mereakadeemia
 (1p) Tšiili rannikul puhub pikka aega põhjatuul. Millises suunas liigub pinnahoovus? **50%**

(2p) Selgitage, kuidas on omavahel seotud valitsevate tuulte suund ja pinnahoovuste poolt põhjustatud kahjulike mõjude või ainete edasikanne Läänemeres. **10%**

Materjal: loengud madala vee dünaamikast + Nord Streamist

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid





Kontrolltöö ülesanded XIV

TTÜ variant 1:

(4p) Kas 15-sekundilise perioodiga laevalaine on 5 meetri sügavuses vees kirjeldatav madala vee lainena, sügava vee lainena, või tuleb rakendada lõpliku sügavusega vees kehtivat laineteooriat? Põhjendada.

TTÜ variant 2:

TTÜ: 35%

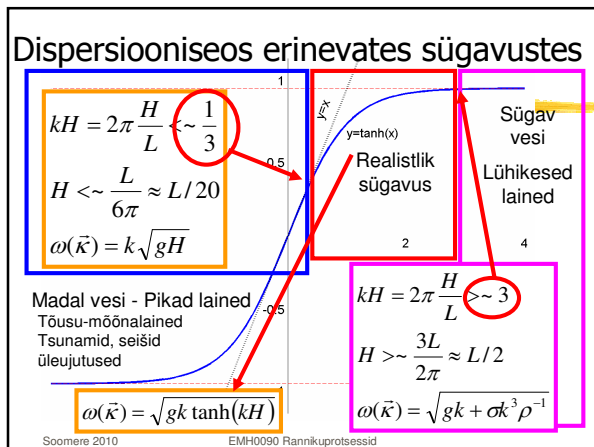
(4p) Kas 15-sekundilise perioodiga laevalaine on 500 meetri sügavuses vees kirjeldatav madala vee lainena, sügava vee lainena, või tuleb rakendada lõpliku sügavusega vees kehtivat laineteooriat? Põhjendada.

MEREAKADEEMIA 20%

(3p) Laine pikkus 1 km sügavuses vees on 50 m. Kas seda saab vaadelda lainena sügavas või madalas vees? Põhjendada.

Materjal: lainete omaduste matemaatiline kirjeldamine

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid



Kontrolltöö ülesanded XIV

(1) T=15s, H=5m (2) T=15s, H=500 m (3) L=50m, H=1 km

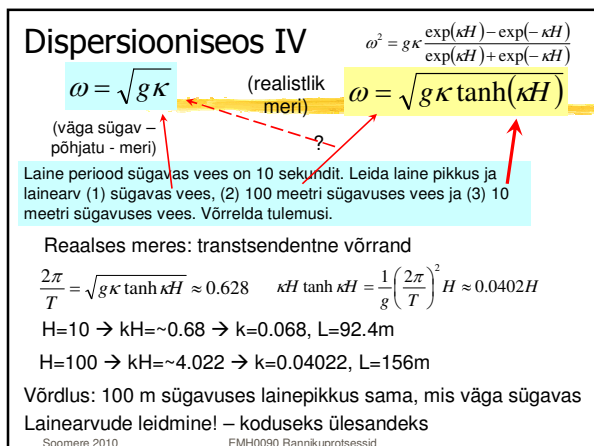
Keskne parameeter: $kH = \frac{2\pi H}{L} \approx 6.28 \frac{H}{L}$ $kH = \frac{2\pi * 1000}{50} \approx 6.28 * 20 \gg 3$

Sügav: $kH > 3$ Sügav vesi!

Vahepealne: $1/3 < kH < 3$

Madal: $kH < 1/3$

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid



Kontrolltöö ülesanded XIV

(1) T=15s, H=5m (2) T=15s, H=500 m (3) L=50m, H=1 km

Keskne parameeter: $kH = \frac{2\pi H}{L} \approx 6.28 \frac{H}{L}$ $kH = \frac{2\pi * 1000}{50} \approx 6.28 * 20 \gg 3$

Sügav: $kH > 3$ Sügav vesi!

Vahepealne: $1/3 < kH < 3$ $\omega = \sqrt{gk \tanh(kH)}$

Madal: $kH < 1/3$ $\kappa H \tanh \kappa H = \frac{1}{g} \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 H$

(1) T=15s, H=5m $\kappa H \tanh \kappa H = 0.0894$

(2) T=15s, H=500 m $\kappa H \tanh \kappa H = 8.94$

Katse-eksituse meetod + tanh

$\tanh(\kappa H) \approx \kappa H$ $\tanh(\kappa H) \approx 1$

1) $kH > 0.1$ ja $kH < 3$ $kH < 1/3$ $kH > 3$

2) $kH = 0.5?$ Jne. → $kH \sim 0.304$ → $kH \sim 8.95$

→ Madal või vahepealne → sügav

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid