

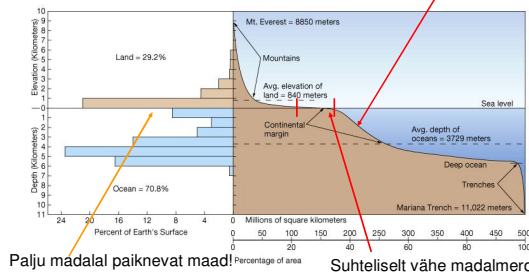
# Rannikuprotsessid Rannikumere hüdrodünaamika

## Loeng 4 Madala mere hüdrodünaamika Veemasside vertikaalne liikumine

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

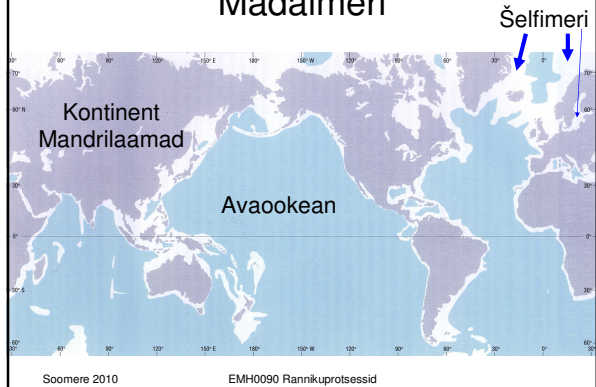
# Rannik Maal: madalmerere naabruses

## Hüpsograafiline kõver



Palju madalal paiknevat maad! Suhteliselt vähe madalmerd  
šelf, mandrinõlv, ookeaninõgd, haudmikud (sügavikud)  
Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

# Madalmeri



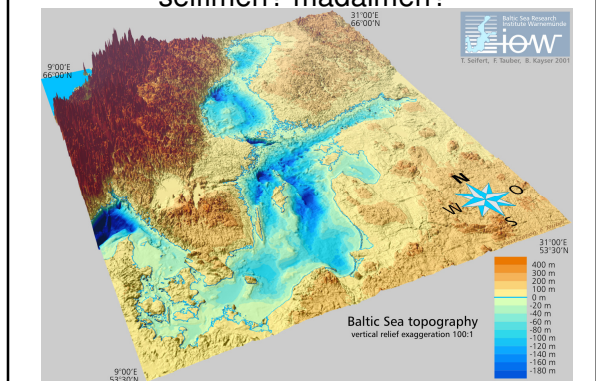
Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

# Madal- e. šelfimeri

- Mandrialaamade veealused osad
- Oluliselt mõjutatud laamtektoonika protsessidest (ookeanipõhja laienemine, mandrialaamade liikumine)
- Seismiliselt rahulikus tsoonis – lai mereala
- Seismiliselt aktiivses tsoonis – kitsam mereala
- Väga paksud settekivimid!!  
tānu maismaalt saabuvale setteainete voole
- Osa meresid iseseisvad (Põhjameri, Läänemeri)
- Väga väike põhja kalle 100-250/500 m vahemikus (ca 0.1 kraadi)
- Põhi mõjutatud nii hoovustest kui ka lainetest
- Enamasti tugevasti segunenud veemassid

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

# Läänemeri: tüüpiline või ebatüüpiline šelfimeri? madalmeri?



Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

# Läänemeri: erakordne pärl

- EL sisemeri
- 380,000km<sup>2</sup>
- Keskmine sügavus 67(55/54) m
- Pole tõusu-mööna
- Väikesed möötmed
- Tagasihoidlikud tuuled
- Väikesed tsüklonid;
- Samas kõrged lained
- Riiimesi, väike ookean
- Erakordne stratifikatsioon
- Elu tānu sissevoolule

➔Suhteliselt rahulik meri  
➔Ülitundlik kõrvalmõjudele  
Eriti tundlik mereala (IMO)

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid



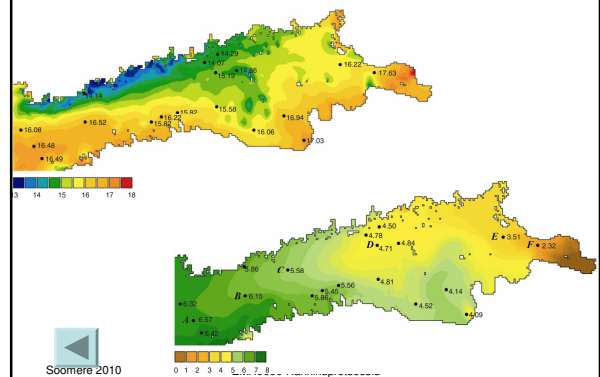
## Läänemere iseärasused

- Väga keerukas kuju
- Madal (keskmise 55m) – topograafia!
- Ise väike ookean, ning mitmed basseinid samuti
- Keerukas horisontaalne ja vertikaalne temperatuuri, soolsuse jne. jaotus
- Magevesi peal & soolane all: erakordselt tugev stratifikatsioon; 2 (harva 3) kihti
- Seetõttu ainevahetus ülemiste & alumiste kihtide vahel takistatud → up/downwelling tähtsad!
- Aeglane veevahetus (~28 aastat)
- Keerukas tsirkulatsioon

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

## Temperatuur ja soolsus Soome lahes



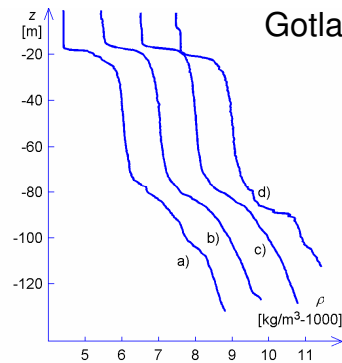
## Läänemere iseärasused

- Väga keerukas kuju
- Madal (keskmise 55m) – topograafia!
- Ise väike ookean, ning mitmed basseinid samuti
- Keerukas horisontaalne ja vertikaalne temperatuuri, soolsuse jne. jaotus
- Magevesi peal & soolane all: erakordselt tugev stratifikatsioon; 2 (harva 3) kihti
- Seetõttu ainevahetus ülemiste & alumiste kihtide vahel takistatud → up/downwelling tähtsad!
- Aeglane veevahetus (~28 aastat)
- Keerukas tsirkulatsioon

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

## Vertikaalsed profiilid Gotlandi süvikus



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

## Läänemere iseärasused

- Väga keerukas kuju
- Madal (keskmise 55m) – topograafia!
- Ise väike ookean, ning mitmed basseinid samuti
- Keerukas horisontaalne ja vertikaalne temperatuuri, soolsuse jne. jaotus
- Magevesi peal & soolane all: erakordselt tugev stratifikatsioon; 2 (harva 3) kihti
- Seetõttu ainevahetus ülemiste & alumiste kihtide vahel takistatud → up/downwelling tähtsad!
- Aeglane veevahetus (~28 aastat)
- **Keerukas tsirkulatsioon**

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

## Vee liikumine madalas meres

Efektivne gravitatsioonikiirendus

$$\frac{D\vec{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{\mu}{\rho} \Delta \vec{u} + \vec{g}_{eff} - 2\vec{\Omega} \times \vec{u}$$

Newtoni seadustest → Navier-Stokesi võrrandid

Maa pöörlemine

**Viskoossus hüljatav**  $\mu = 0$

(meres ja atmosfääris enamasti OK) → Euleri võrrandid

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

> Neli võrrandit,

> viis tundmatut funktsiooni:

> 3xkiiruse komponendid,

> Tihedus

> rõhk

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u}) = 0$$

**Hõõrdevaba & kokkusurumatu vedelik**

= **ideaalvedelik**

(meres ja atmosfääris ikka veel enamasti OK, v.a. põhja ja randade lähistel)

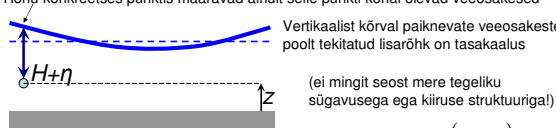
Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

## Hoovused madalas meres: ~2D

**DEF: Hüdrostaatiline lähendus:**  
rõhk veesambas sõltub ainult sügavusest

Rõhu konkreetses punktis määravad ainult selle punkti kohal olevad veesakesed



$H = H(x, y, t)$   
 $\eta = \eta(x, y, t)$   
 $p = p(x, y, z, t)$

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

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

## Miks hüdrostaatiline lähendus → madal vesi?

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

➤ 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

$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} - 2\Omega \times \vec{u}$   
 $\frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} - 2\Omega \times \vec{v}$

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

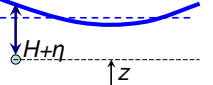
## Madal vesi II

**Pidevuse võrrandit saab 1xintegreerida!!!**

$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$  Kuna kumbki kiiruse komponent ei sõltu z-st  
 $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = -G(x, y, t)$

järelikult  $\frac{\partial w}{\partial z} = G(x, y, t)$  Integreerimiskonstant: kiirus põhjas = 0  
 $w = G(x, y, t)z + G_0$   
 $w = G(x, y, t)z$

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

## Madal vesi III

Vertikaalselt integreeritud pidevuse võrrandisse: asendame vertikaalkiiruse pinnal  
 $(H + \eta) \frac{\partial u}{\partial x} + (H + \eta) \frac{\partial v}{\partial y} + w(\eta) = 0$

$w(\eta) = \frac{D\eta}{Dt} = \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y}$   
 $\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [u(H + \eta)] + \frac{\partial}{\partial y} [v(H + \eta)] = 0$

plus horisontaalkiiruse võrrandid

$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} - [2\Omega \times \vec{u}]_x$   
 $\frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} - [2\Omega \times \vec{u}]_y$

$f = 2\Omega \sin \theta$   $\Omega = 2\pi \text{ rad/day}$

$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} - fv = 0$   
 $\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} - fu = 0$

Lineariseeritud kuju:  $\frac{\partial u}{\partial t} - fv = -g \frac{\partial \eta}{\partial x}$  Tehtud eeldus  $p = \rho g(H + \eta - z)$   
 $\frac{\partial v}{\partial t} - fu = -g \frac{\partial \eta}{\partial y}$  Oluline lihtsustus  $w = G(x, y, t)z$

Kolm võrrandit, kolm tundmatut: 2xkiirus + veepinna kuju Kiirus pinnal ja põhjas: tüüsjaka

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

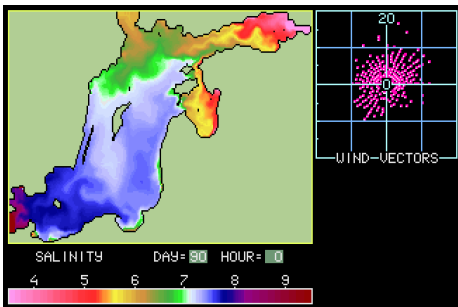
Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

## Vesi liigub madalmeres

- Mõjutatuna avaookeani tsirkulatsioonist (Läänemeri üsna vähe)
- Mõjutatuna frontidest sügavama (stratifitseeritud) mereosa ja madalmeres vahel
- Sageli ühekihiline (aga mitte alati! – ja Läänemeres enamasti mitte)
- Kallutatuna Coriolise jõu poolt: põhjapoolkeral tuule suunast paremale
- Mõjutatuna põhja topograafiast
- Muutuva sügavusega aladel – põhiosas piki samasügavusjooni
- Sagedane (dünaamiline) upwelling ja downwelling (erinevalt konvektsioonist avamerel)

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

## Frontide käitumine I



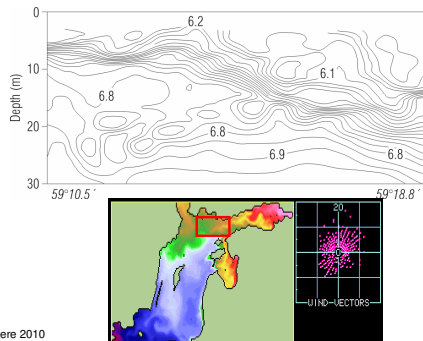
SALINITY DAY= 01 HOUR= 01

4 5 6 7 8 9

WIND VECTORS

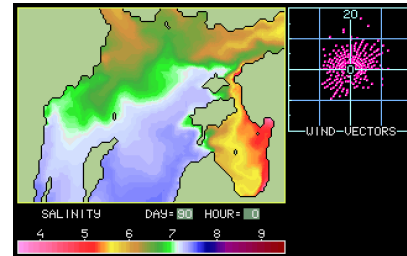
Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

## Kõige kuulsam front Läänemeres: Soome lahe suudmes



Soomere 2010

## Frontide käitumine II; Irbe väin



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

## Frontide käitumine III: Riia laht

AGAIN...

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

## Vesi liigub madalmeres

- Mõjutatuna avaookeani tsirkulatsioonist (Läänemeri üsna vähe)
- Mõjutatuna frontidest sügavam (stratifitseeritud) mereosa ja madalmeres vahel
- Sageli ühekihiline (aga mitte alati! – ja Läänemeres enamasti mitte)
- Kallutatuna Coriolise jõu poolt: põhjapoolkeral tuule suunast paremale
- Mõjutatuna põhja topograafiast
- Muutuva sügavusega aladel – põhiosas piki samasügavusjooni
- Sagedane (dünaamiline) upwelling ja downwelling (erinevalt konveksioonist avamerel)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

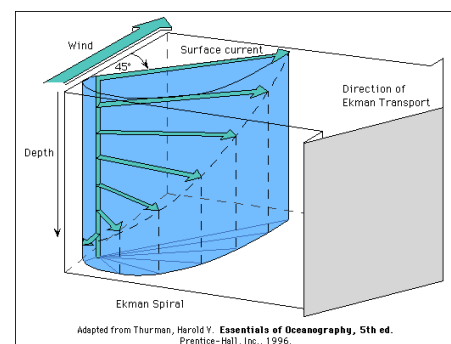
## Klassikaline hoovuste muster Soome lahes: teada alates XX saj. algusest



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

## Maa pöörlemine → Ekmani spiraal

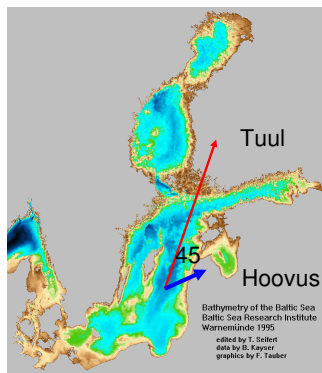


Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Ekmani  
transport:  
tuul ja hoovus  
pole  
samasuunalised

Ekmani kiht:  
ca 50 m



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

## Vesi liigub madalmeres

- Mõjutatuna avaookeani tsirkulatsioonist (Läänemeri üsna vähe)
- Mõjutatuna frontidest sügavam (stratifitseeritud) mereosa ja madalmere vahel
- Sageli ühekihilise (aga mitte alati!) – ja Läänemeres enamasti mitte)
- Kallutatuna Coriolise jõu poolt: põhjapoolkeral tuule suunast paremale
- Mõjutatuna põhja topograafiast
- Muutuva sügavusega aladel – põhiosas piki samasügavusjooni
- Sagedane (dünaamiline) upwelling ja downwelling (erinevalt konvektsioonist avamerel)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

## Horisontaalne tsirkulatsioon

- Mõjutavad tuul, batümeetria, magevee juurdevool ...
- Skeem igal ajahetkel väga keerukas
- Keskmine tsirkulatsioon: vastupäeva (Coriolise jõu mõjul)
- Keskmise tsirkulatsiooni suur ruumiline muutlikkus
- → vesi püsib meri erinevates osades erineva aja vältel (saasteainete kogunemine jne!)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

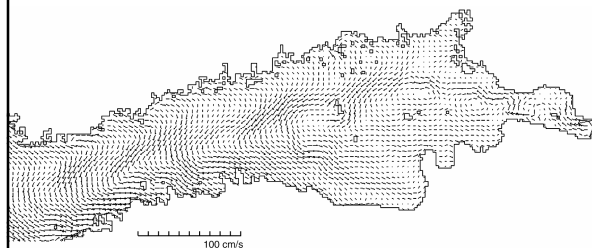
## Horisontaalne tsirkulatsioon

- Mõjutavad tuul, batümeetria, magevee juurdevool ...
- Skeem igal ajahetkel väga keerukas
- Keskmine tsirkulatsioon: vastupäeva (Coriolise jõu mõjul)
- Keskmise tsirkulatsiooni suur ruumiline muutlikkus
- → vesi püsib meri erinevates osades erineva aja vältel (saasteainete kogunemine jne!)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

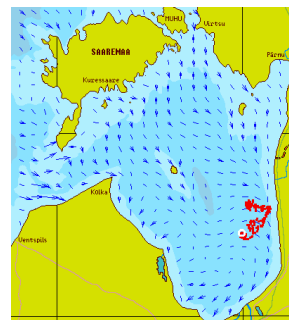
## Tsirkulatsioon: igal ajahetkel keerukas



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

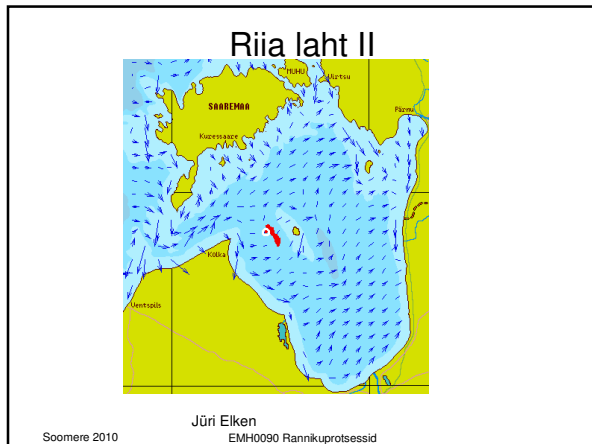
## Riia laht I



Jüri Elken

Soomere 2010

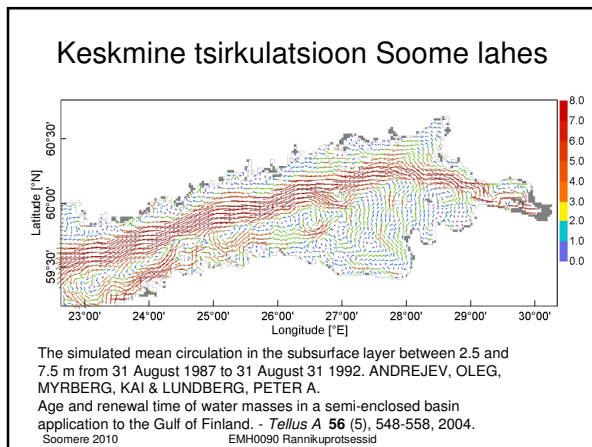
EMH0090 Rannikuprotsessid



### Horisontaalne tsirkulatsioon

- Mõjutavad tuul, batümeetria, magevee juurdevool ...
- Skeem igal ajahetkel väga keerukas
- Keskmine tsirkulatsioon: vastupäeva (Coriolise jõu mõjul)
- Keskmise tsirkulatsiooni suur ruumiline muutlikkus
- vesi püsib meri erinevates osades erineva aja vältel (saasteainete kogunemine jne!)

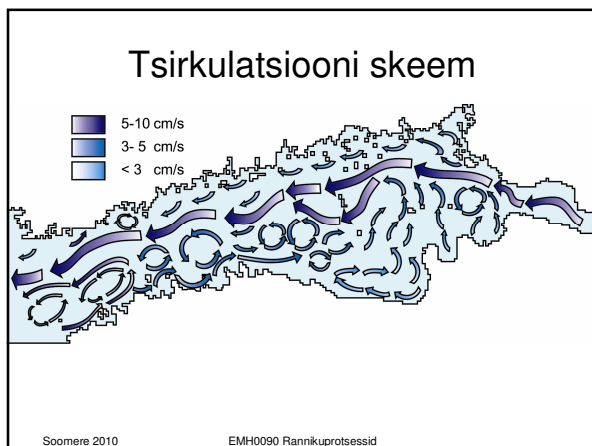
Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid



### Horisontaalne tsirkulatsioon

- Mõjutavad tuul, batümeetria, magevee juurdevool ...
- Skeem igal ajahetkel väga keerukas
- Keskmine tsirkulatsioon: vastupäeva (Coriolise jõu mõjul)
- Keskmise tsirkulatsiooni suur ruumiline muutlikkus
- vesi püsib meri erinevates osades erineva aja vältel (saasteainete kogunemine jne!)

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid



### Tsirkulatsiooni mastaabi / keerukuse mõõt: Rossby raadius

Iseloomustab Maa pöörlemisega seonduva mõju tugevust erineva ruumimastaabiga liikumiste jaoks

Ruumimastaap: struktuuri/laine/häirituse/keerise tüüpiline suurus

Barotroopne tsirkulatsioon: "väline" Rossby raadius  
(vertikaalsihis homogeenne keskkond / liikumine)

Barokliinne tsirkulatsioon: "sisemine" Rossby raadius  
(vertikaalsihis struktureeritud keskkond / liikumine)

Barotroopne tsirkulatsioon: "väline" Rossby raadius

$$R_0 = \frac{U}{fL}$$

kiirus  $U$   
Coriolisi parameeter  $f$   
Pikkus / mastaap  $L$

Barokliinne tsirkulatsioon: "sisemine" Rossby raadius

$$R_1 = \frac{NH}{f}$$

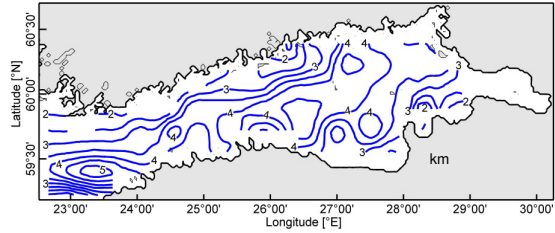
Väisäla sagedus  $N$   
Sügavus / kihi paksus  $H$

$R \sim 1 \rightarrow$  tüüpiline struktuuride (keeriste jne) suurus

Sõnaga:  $\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} - fv = 0$

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

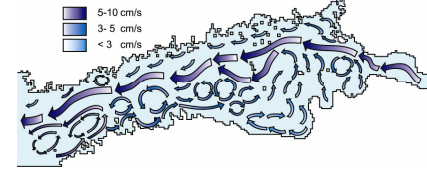
### Tsirkulatsiooni mastaabi / keerukuse mõõt stratifitseeritud meres: sisemine Rossby raadius



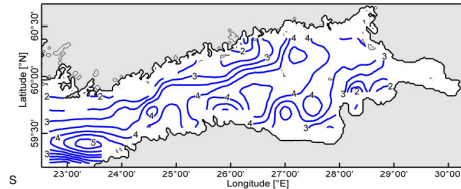
Alenius P., Nekrasov A., Myrberg K., 2003, *The baroclinic Rossby radius in the Gulf of Finland*, Cont. Shelf Res., 23, 563–573

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

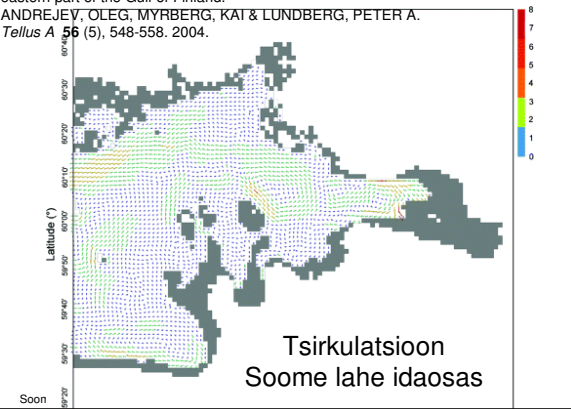
### Tsirkulatsiooni skeem versus Rossby raadius



R suur → suuremad keerised



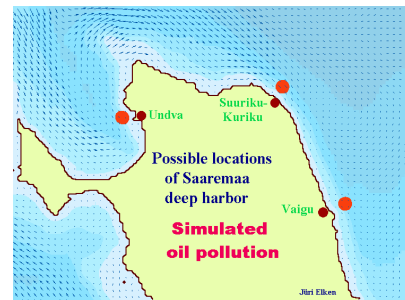
The mean current field in the layer between 12.5 and 17.5 m over the eastern part of the Gulf of Finland.  
 ANDREJEV, OLEG, MYRBERG, KAI & LUNDBERG, PETER A.  
*Tellus A* 56 (5), 548-558, 2004.



Tsirkulatsioon Soome lahe idaosas

Soon

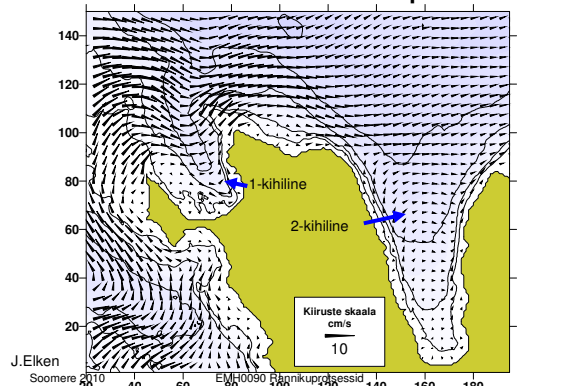
### Saaremaa loodeosa: üks simulatsioon paljudest



Jüri Elken

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

### Keskised hoovused pinnal



J.Elken

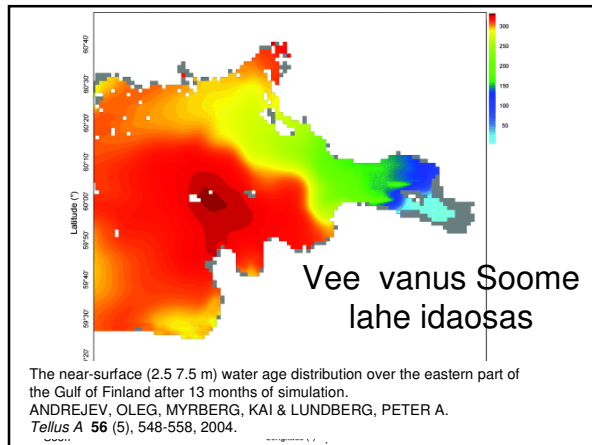
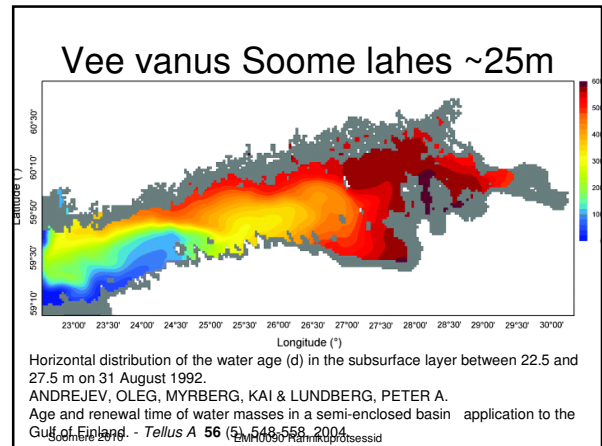
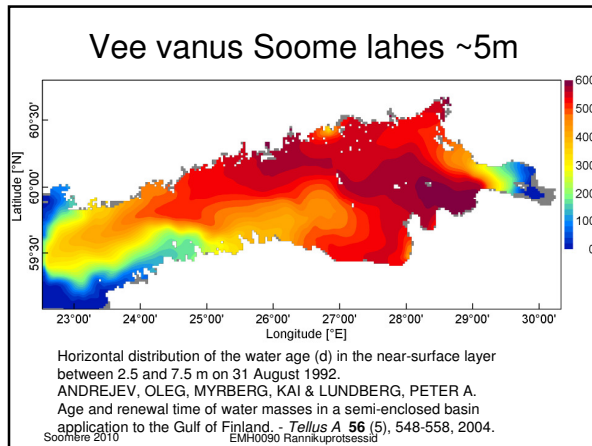
Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

### Horisontaalne tsirkulatsioon

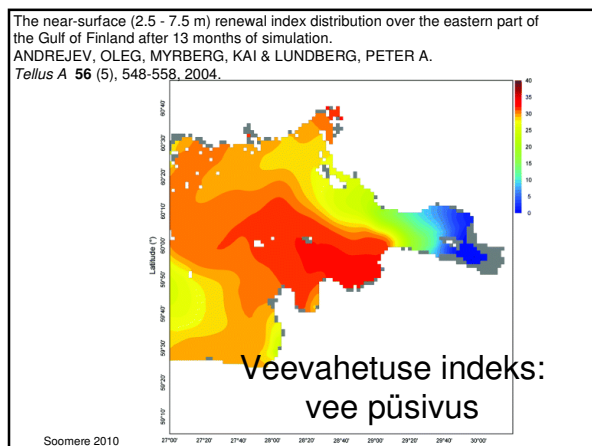
- Mõjutavad tuul, batümeetria, magevee juurdevool ...
- Skeem igal ajahetkel väga keerukas
- Keskmine tsirkulatsioon: vastupäeva (Coriolise jõu mõjul)
- Keskmise tsirkulatsiooni suur ruumiline muutlikkus
- → vesi püsib meri erinevates osades erineva aja vältel (saasteainete kogunemine jne!)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid



- ### Tsirkulatsiooni erijooned
- Veevahetus sama basseini erinevates osades toimub erinevas tempos
  - Võimalik saasteainete väljasettimine kindlates piirkondades
  - ja nende hilisem tulek ringluses ekstreemsete tormide tulemusena
- Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid



### Veemasside vertikaalsed liikumised rannikumeres

ehk  
 apvelling ja dounvelling  
 süvaveekerge & pealisvee sukeldumine / ülaveelange

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid



## Upwelling: definition (Wikipedia 2006)

**Upwelling** is an [oceanographic](#) phenomenon that occurs when strong, usually seasonal, winds push water away from the coast, bringing cold, nutrient-rich deep waters up to the surface.

Deep water nutrients consist of nutritional salts such as [nitrates](#) and [phosphates](#), themselves the result of [decomposition](#) of the [sea snow](#). When brought to the surface, these nutrients are processed by [phytoplankton](#) and combined with [organic compounds](#) such as dissolved [CO<sub>2</sub>](#), using the energy of the sun through [photosynthesis](#).

Upwellings therefore cause very high levels of productivity in [phytoplankton](#) compared to other areas of the ocean, and phytoplankton being the basic nutrient of most sea animals, these effects are propagated up the food chain.

Currently known regions of upwelling include coastal [Peru](#), [Arabian Sea](#), western [South Africa](#), eastern [New Zealand](#) and the [California](#) coast, all very rich fishing grounds.

Localized upwelling may be due to deflection of deep currents by a [seamount](#) providing a nutrient rich island in otherwise low productivity ocean areas. These provide islands of life in such areas and are important to migrating species and human fishing. Upwelling can also occur when [tropical cyclones](#) stall over an area, moving at speeds of less than 5 mi/h (8 km/h). The churning of a cyclone eventually draws up cooler water from lower layers of the ocean. This causes the cyclone to weaken.

Upwellings also occur in other fluid environments, such as the [magma](#) in Earth's [mantle](#) or the [plasma](#) within a [star](#). They are often a result of [convection](#).

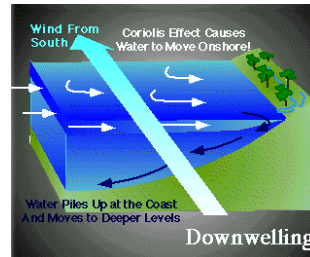
Retrieved from "<http://en.wikipedia.org/wiki/Upwelling>"

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

## Downwelling: definition 2006

**Downwelling** is the process of accumulation and sinking of warm surface waters along a coastline. A change of air flow of the [atmosphere](#) can result in the sinking or downwelling of warm surface [water](#). The resulting reduced [nutrient](#) supply near the surface affects the ocean productivity and meteorological conditions of the coastal regions in the downwelling area. [Upwelling](#) is the opposite process and together these two forces are responsible for the [thermohaline circulation](#).



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

## Up/downwelling

- Upwelling: veemasside tõusmine põhja lähistelt veepinna poole
- Downwelling: veemasside laskumine pinnalt sügavamale
- Konvektsiooni erijuhtumid: põhjustatud veemasside dünaamikast ranna lähistel (tavaliselt tekib konvektsioon vee tiheduse muutumise tõttu)
- **Koos toimides tagavad termohaliinse tsirkulatsiooni funktsioneerimise**

Eestikeelne lisamaterjal: *Eesti Loodus*, august 2007, lk. 6–12 [398-404].

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

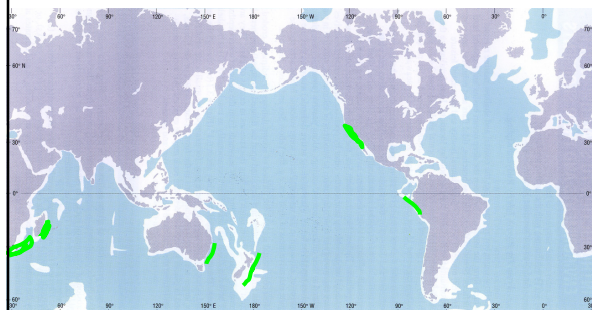
## Up/downwelling Läänemere kontekstis

- Tekib siis, kui tuulehoovus on suunatud ranna poole või rannast eemale
- Vajalik tuule pikk mõjuage (mitmeid tunde)
- (tegelikult vajalik vaid hoovuse suuna & rannajoone mitteparalleelsus, tuul kui selline on ebaoluline)
- Toob pinnakihti toitaineteid – oluline faktor sinivetikate õitsengute tekkimisel
- Viib põhjakihti hapnikku
- (segab suvemõnude nautimist – vesi läheb külmaks)
- (Must meri: väävelvesinik tõuseb pinnale)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

## Upwelling ookeanis



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

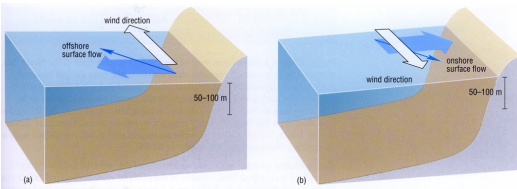
## Upwelling mujal maailmas

- Upwelling → toitainete juurdevool pinnakihti → väga kõrge bioproduksioon → palju kalu jne.
- Sagedane: Peru, Araabia meri, Lõuna-Aafrika läänerrannik, Uus-Meremaa & Austraalia idarannik, California (kõik tuntud kalarikaste piirkondadena)
- Sageli lokaalne veetaluste mägede kohal → rikkalikku elu 'saared' ookeanis
- Esineb ka aeglaselt liikuvate troopiliste tsüklonite all

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

## Up/downwelling: sõltub poolkerast

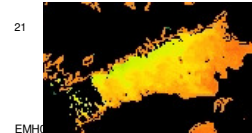
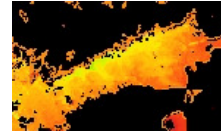
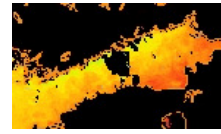


- Skeem käib lõunapoolkera kohta
- !!!! Põhjapoolkeral liigub vesi tuule suunast paremale !!!!!

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

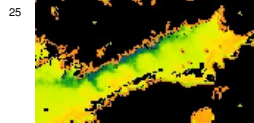
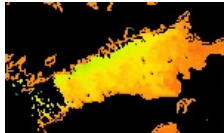
Upwelling  
Soome  
lahes 1999  
juulis:  
19-21 juuli



Soomere 2010

EMH0090

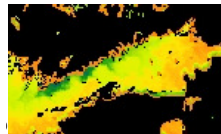
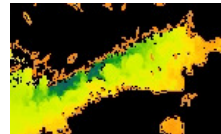
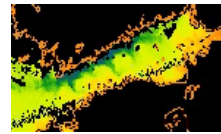
Upwelling  
Soome  
lahes 1999<sup>21</sup>  
juulis:  
21. & 25.  
juuli



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

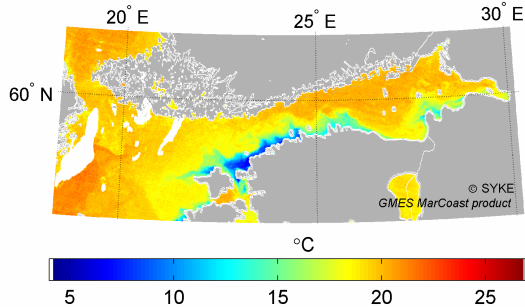
Upwelling  
Soome  
lahes 1999  
juulis:  
26. & 29.  
juuli



Stockholmi Ülikool;  
Jaan Laanemets,  
TTÜ  
Meresüsteemide  
Instituut

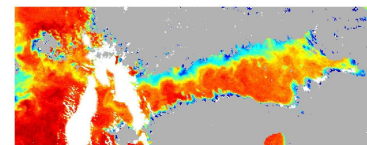
EMH0090

## Apvelling võimalik ka Eesti rannikul

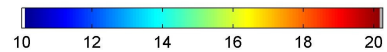


Sea surface temperature map during a strong upwelling event along the northern coast of Estonia on 7 August 2006. Courtesy of the Finnish Environmental Institute.

## Apvelling probleemide tekitajana

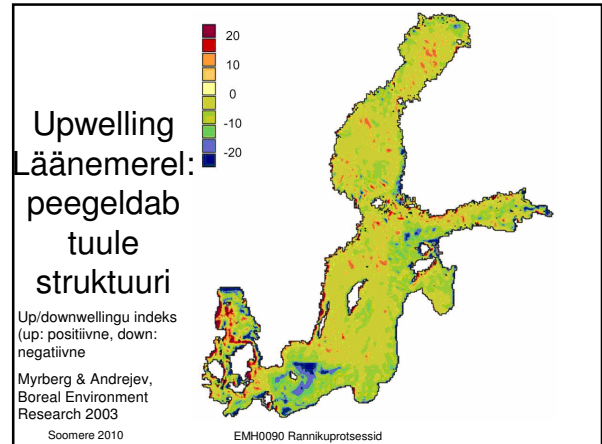
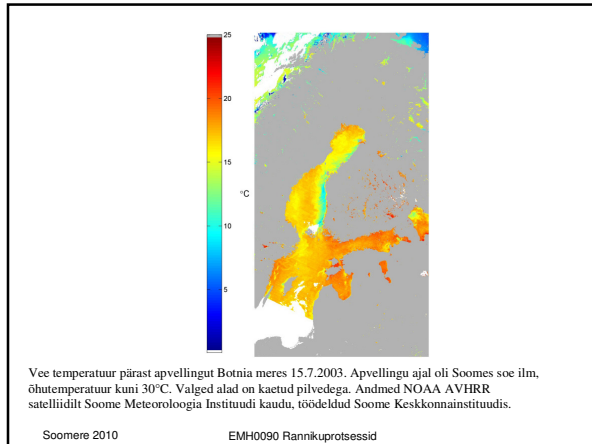


°C

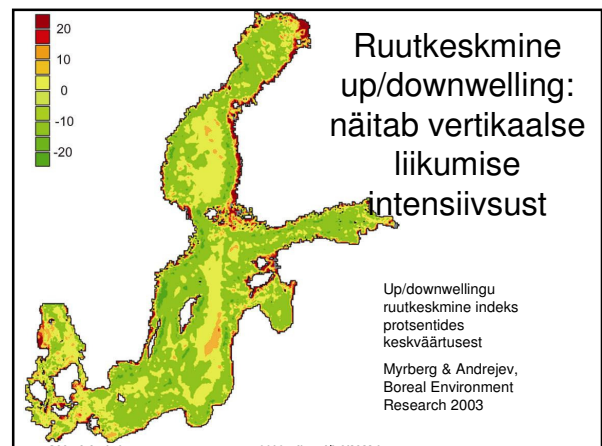
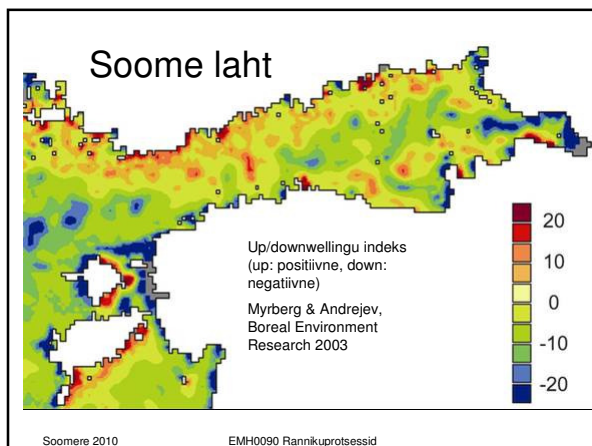
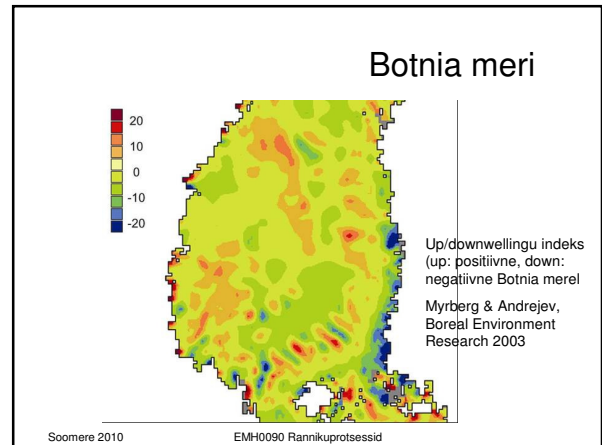


Vee temperatuur soojal hilissüvel pärast intensiivset apvellingut Soome lahes 2.09.2002. Merevee ootamatu jahenemine tekitas paljudes kohtades tiheda udu, mida ilmaprognoos ette ei näinud. Andmed NOAA AVHRR satelliidilt Soome Meteoroloogia Instituudi kaudu, töödeldud Soome Keskkonnainstituudis. Autorite loal raamatust Kai Myrberg jt. Itämeren fysiikka, tila ja tulevaisuus, Helsinki 2006.

Soomere 2010



- ### 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



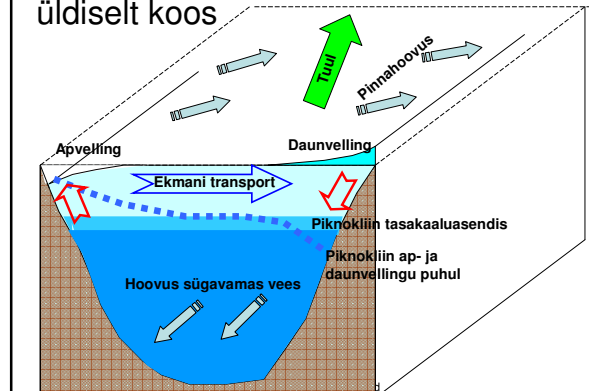
## Upwelling ja hoovused (10 aasta arvutisimulatsiooni alusel)

- Hoovused viivad upwellingu tulemusena pinnakihti tõusnud toitained jm. teistesse kohtadesse
- max. bioproduktiivsusega alad võivad olla hoopis mujal
- Läänemereel: vertikaalne veevahetus koondunud 5-20 km laiusesse rannikumerre
- Mõnedes kohtades up/downwellingu regulaarne muster samas rannapiirkonnas: up ranna lähistel, down veidi kaugemal → oluline roll rannalähedaste veemasside & nende frontide formeerumisel
- (NB! Analooq atmosfääris: horisontaalse teljega keerised (roll vortices) astangute lähistel)

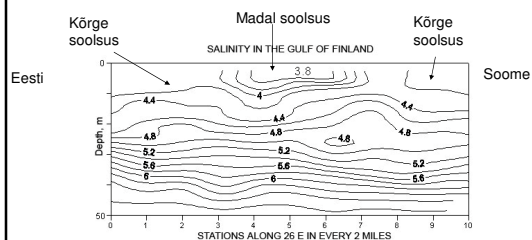
Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

## Ap/daunwelling kitsal merealal: üldiselt koos



## Apwellingu mõju Soome lahes (?)



Talpepp L. On the influence of intermittent coastal upwellings and downwellings on surface water salinity in the Gulf of Finland. Estonian Journal of Engineering, 2008

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

## Läänemeri: suur järv või väike ookean?

- Suurus pigem vastaks järvedele ~Suur Järvistu (USA), <Baikal
- Suhteliselt madal
- Kohati peaaegu mage vesi
- Puuduvad jugahoovused
- Peaaegu puuduvad ummiklained
- Mageveelised kalad
- Tõus-mõõn?
- !!! Vertikaalne stratifikatsioon, mitmekihiline voolamine
- Soolsuse&jm. omaduste keerukas horisontaaljaotus
- Frondid, **keerised**, hoovused ...
- Termohaliinse tsirkulatsiooni (conveyor belt) asemel soolase vee sissetung → elu Gotlandi süvikus (vastupidi Mustale merele)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid