

Loeng 14b—15b

Liivarandade teooria rakendusi

Setete transpordi ja ranna liivaga täitmise arvutus Pirita ranna näitel

(Kasutatud Andres Kase ja Jüri Kase materjale)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

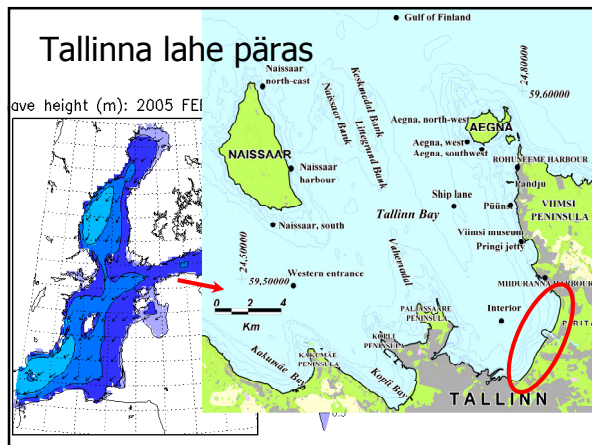
Pirita: kena liivarand



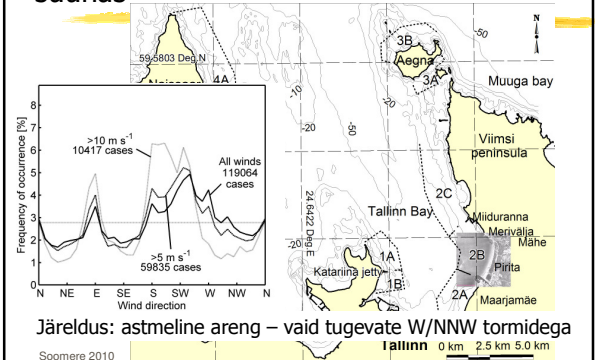
Foto: A.Kask

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid



Pirita rand: avatud vaid N-NW suunas



Soomere 2010

Foto A.Kask

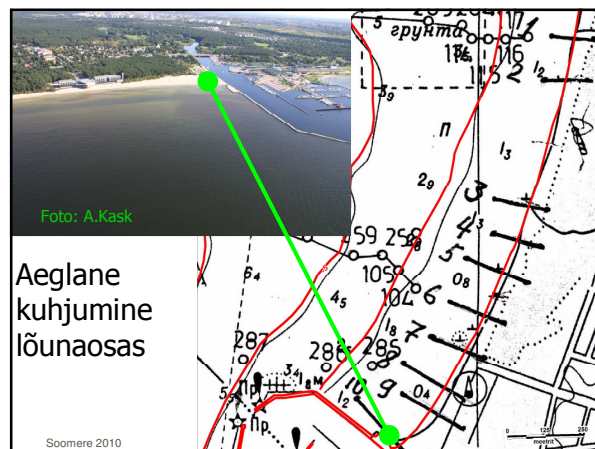
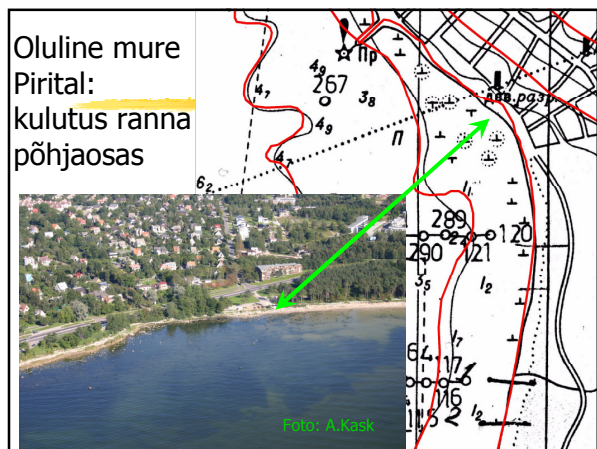
Pirita: muidu ilus rand



Nagu lahesopis ikka, on ka siin sageli veetase päris kõrge (09 Jan 2005)



Foto: K.Rooväli, Postimees



Kõrvalepõige Valgeranda: lääneosa



Kõrvalepõige Valgeranda: idaosa



Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid



Foto: Kaarel Orviku

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid



Foto: Kaarel Orviku

Soomere 2010

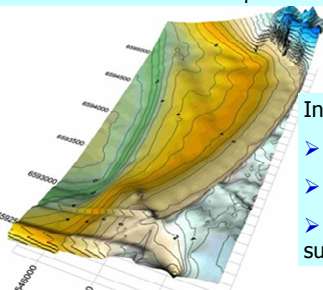
EMH0090 Rannikuprotsessid

Küsimused:

(i) kuidas teha kindlaks, kas rand on tasakaalus/heas seisus

(ii) kuidas hinnata liiva kadu

Otsene lähenemine: pidev monitooring



Inseneri/otsustaja vajadus:

- kiire vastus
- tugineb vähestel
- kergesti mõõdetavatel suurustel

Liiva / setete liikumist mõjutavad

- Batümeetria
- Terasuurus (incl. selle ruumiline jaotus)
- Liiva olemasolu murdlainete vööndis
- Ranna geomeetria
- Jää
- Hoovused (rannas mitte eriti)
- Lainete omadused
 - Kõrgus
 - Suund
 - Periood
- Jne. jne. jne.

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Ranna tervise & liivade liikumise hindamiseks on vaja

- batümeetria & geomeetria & luited
- setete allikad (settevoolu suund & suurus)
- setete parameetrid aktiivses rannas
- setete liikumise muster
 - lainetuse tingimused
 - tasakaaluline rannaprofiil
- välised tegurid: suhteline veetase/muutus

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

$\tan \theta = h_s/W \approx 0.01$

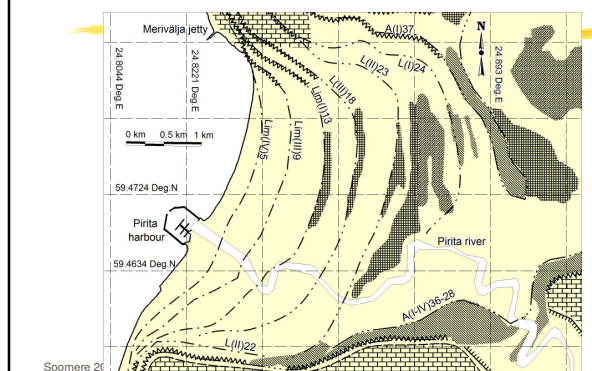
Tasakaalulise rannaprofiili leidmine

- Määratleda **sulgemissügavus**
 - Lainetuse modelleerimise või mõõtmise kaudu
 - Viimases hädas meretuule hinnangute ja lainetuse parameetrite nomogrammide kaudu
- Teha kindlaks **setete terasuurus MERES!!**
 - Üldjuhul vajalikud välitööd
 - Teiste (vananenud) andmete kasutamine on libe tee
- Leida **mastaabitegur** $A(d)$ kas tabelist või setete langemiskiiruse alusel
- Määrata **tasakaalulise rannaprofiili laius W**
- Praktiliste rakenduste jaoks leida **rannaprofiili keskmine kalle** $\tan \theta = H_s/W \approx 0.01$ (Pirita)

Soomere 2010

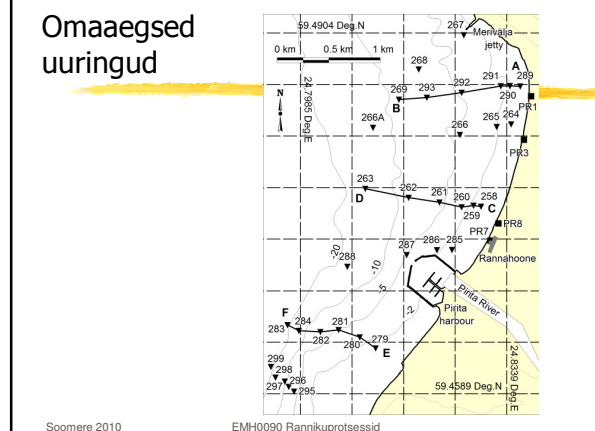
EMH0090 Rannikuprotsessid

Pirita liivaranna ajalugu Läänemere erinevatest staadiumidest



Soomere 2010

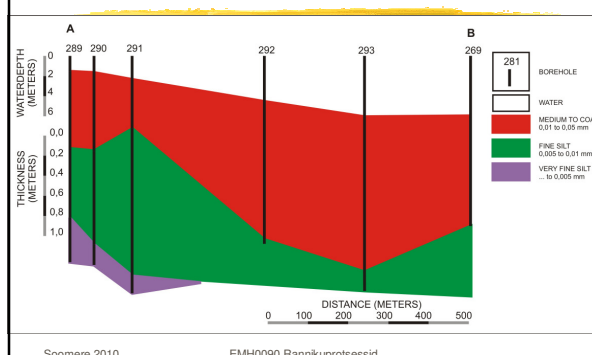
Omaaegsed uuringud



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

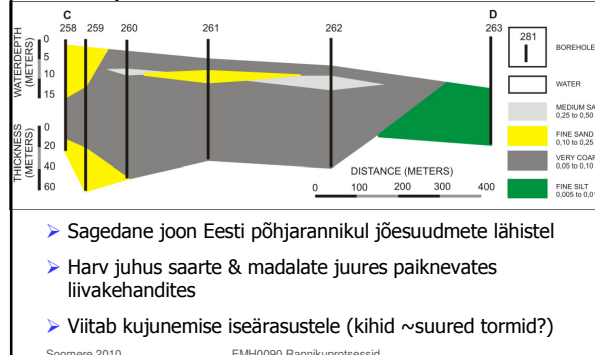
Läbilõiked liiva struktuurist I



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

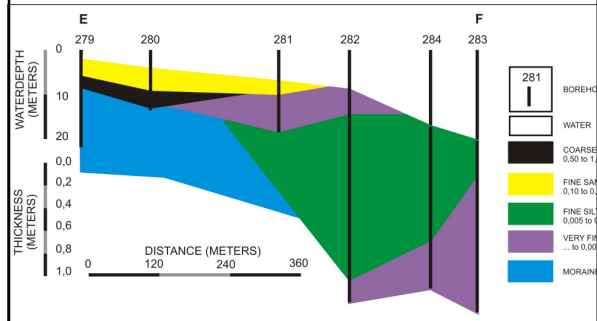
Õpetlik läbilõige: õhukesed sorteerimata kihid jõe suudme lähisel



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Õhukesed kihid: esinevad sageli

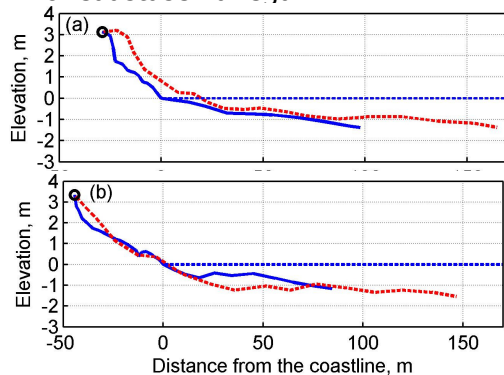


Vana aerofoto 1951
kombineeritud kaasaegse
rannajoonega: varem on
rannas olnud liiva palju

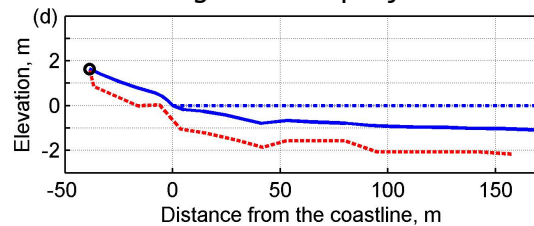
Liivavallid – liiva "varu"



Ranna taganemine: profiilid mõne aastase vahega



Veel kiirem taganemine: põhjaosas



Õpetlik neil profiilidel:

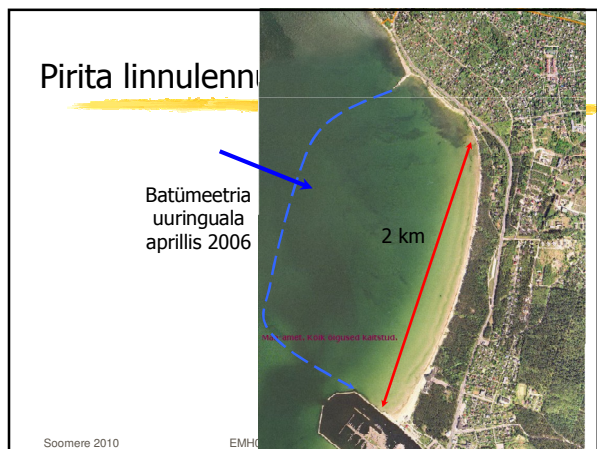
- tasakaalulise profiili laius >150 m
- sulgemissügavus >2.1m

Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

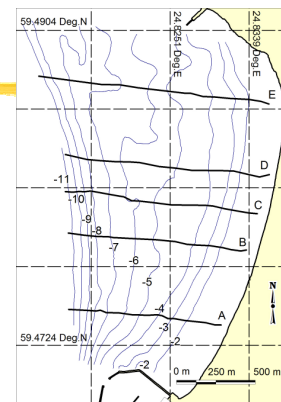
Pirita linnulenn

Batümeetria
uuringuala
aprillis 2006

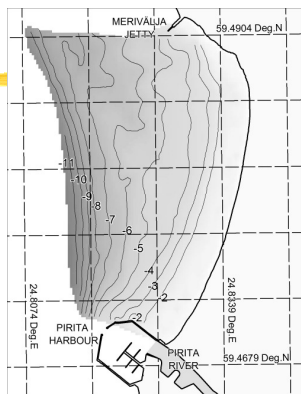
2 km



Batümeetria



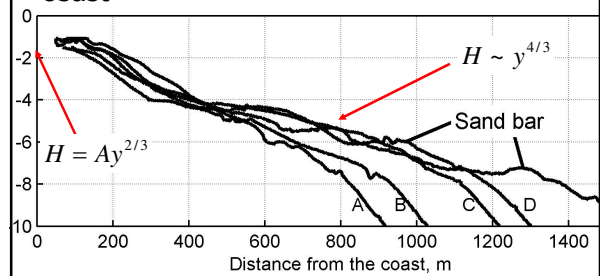
Batümeetria
hallides
toonides



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Valik rannaprofiile ranna sügavamast osast



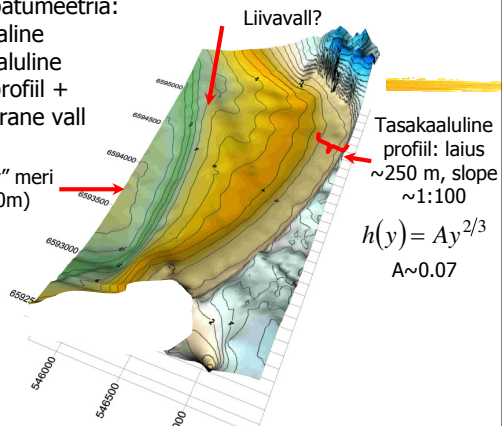
Rannaprofiili kuju:
nõgus/kumer eri kohtades

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

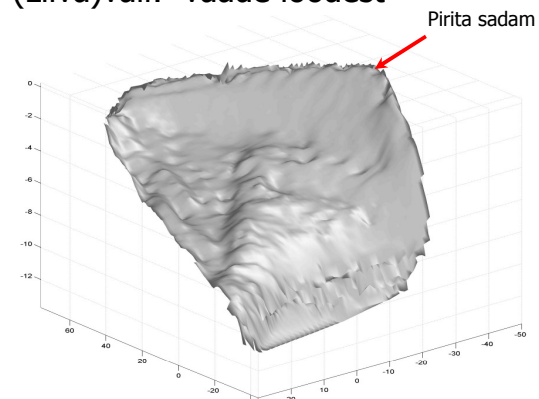
Pirita batümeetria:
klassikaline
tasakaaluline
rannaprofiil +
omapärane vall

"Sügav" meri
(>10m)



Soomer

(Liiva)vall: vaade loodest



Setete
uuringud: kogu
madalaveelises
akvatooriumis

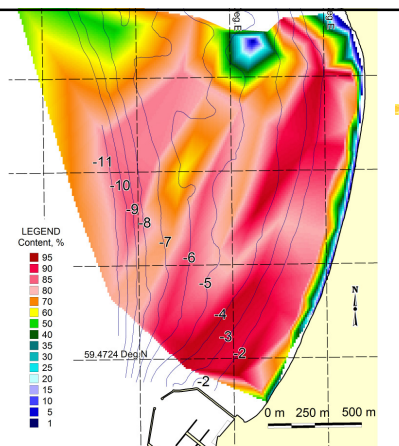


Soomere 2010

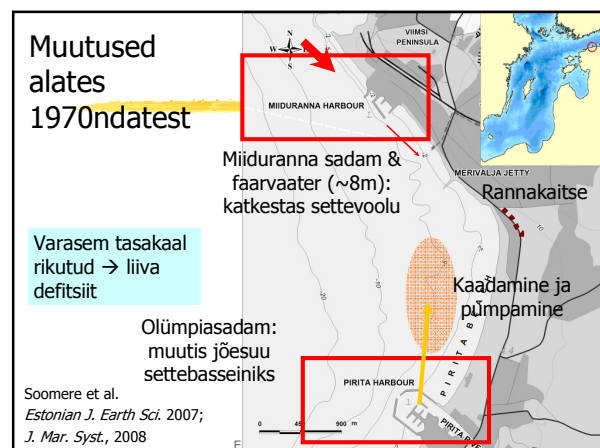
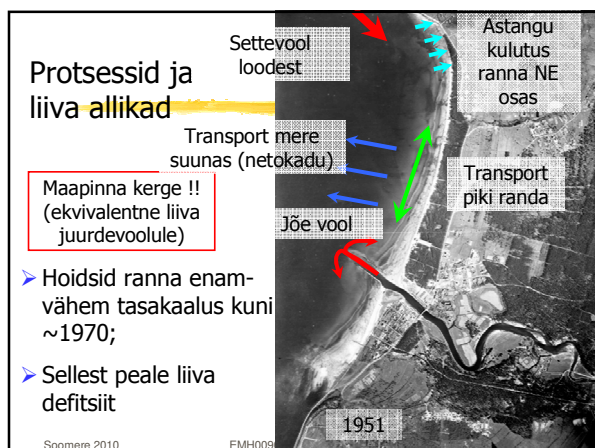
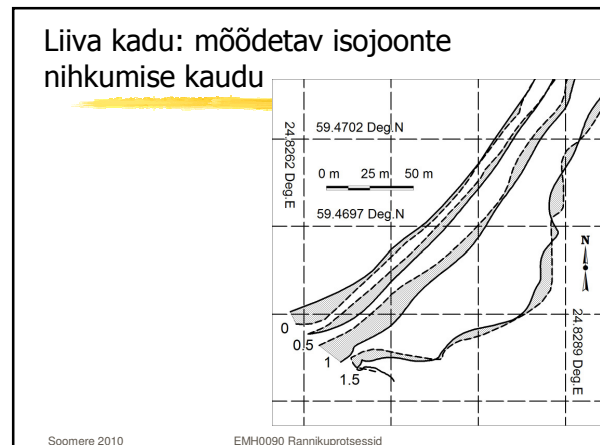
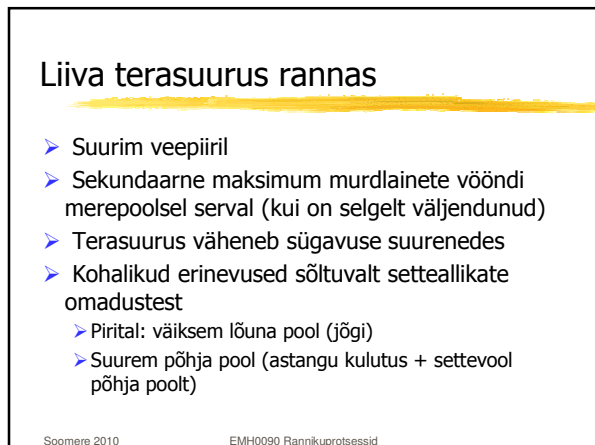
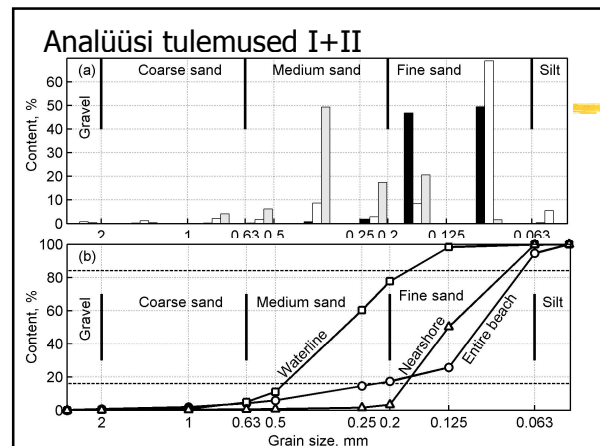
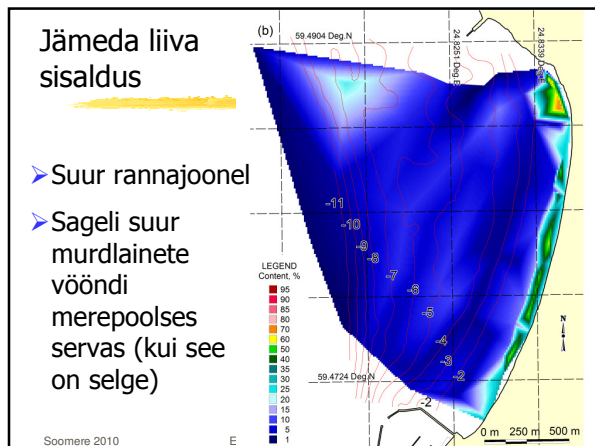
EMH0090 Rannikuprotsessid

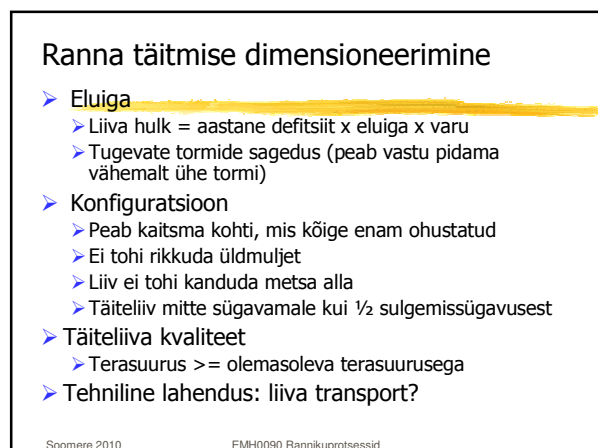
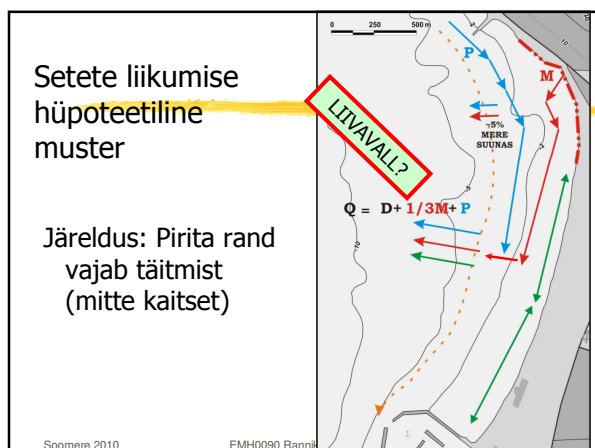
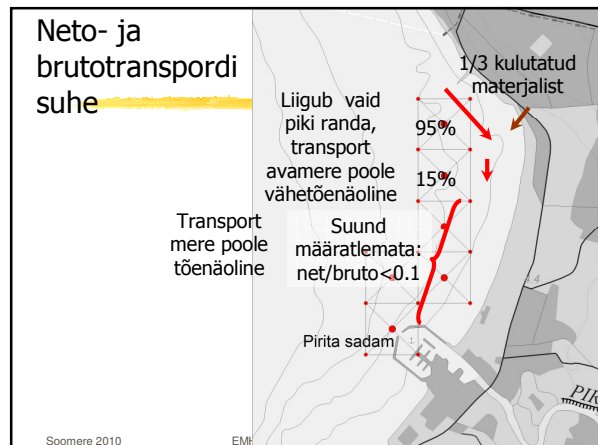
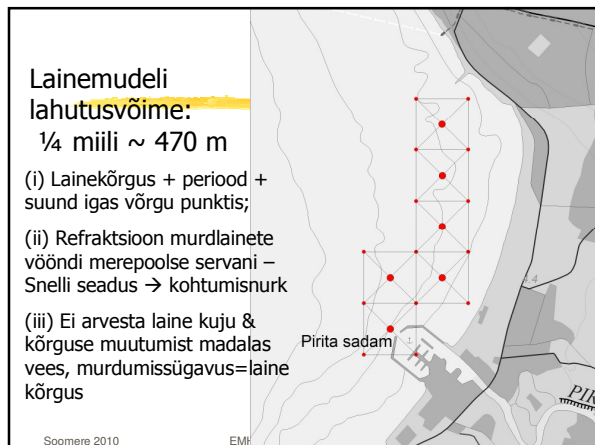
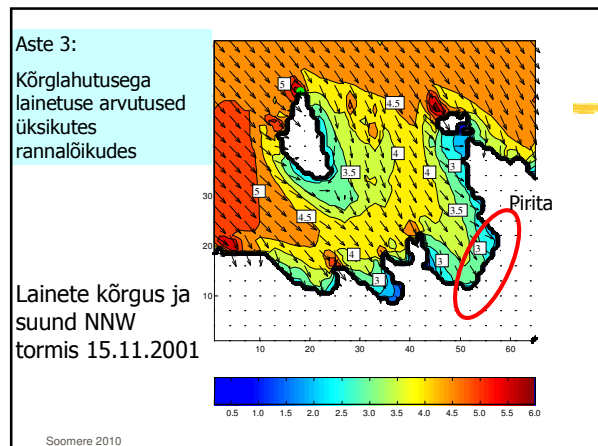
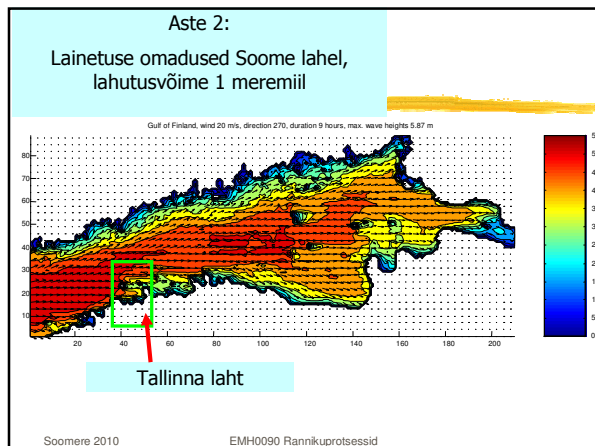
Peene liiva
sisaldus

- Üldiselt suureneb sügavamal
- Vahel kohalikud muutused olulised



Soomere 2010





Setete bilansi põhijooned Pirital: peaaegu tasakaaluline rand

- tagasihoidlik juurdevool
- pikiranda kaod puuduvad alates ~1970
- aeglane liiva kadu
- maapinna kerge } peaaegu tasakaalus
- võrdlemisi homogeenne terasuurus
 - väikesed rannajoone muutused
 - võimalik kasutada lihtstustatud meetodeid?

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Liiva kao hindamise kiirmeetod peaaegu tasakaaluliste randade jaoks

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Meenutus loengust 1: Läänemere spetsiifika rannikuprotsesside kontekstis

Spetsiifika

- Pole töusu-mööna
- Noor meri
- Madal hüdrodünaamiline aktiivsus
- Tugevad tuuled kindlast suunast
- Keerukas geomeetria
- Maapind kerkib
- Peeneteraliste setete defitsiit
- Palju vastupidavast kivist randu
- Lained lühikesed

Tulemus

- Lainetus domineerib
- Õgvenduvad rannad
- Palju stabiilseid rannalõike
- Astmeline areng
- Ääretult muutlikud rannad väikestel lõikudel
- Tagasihoidlik liiva kadu
- Väikese liivavaruga, kuid siiski tasakaalulised rannad

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Liiva defitsiidi leidmine I

- Võimalus 1: mõõta kogu akvatoorium 'enne' ja 'pärast' ning arvutada liiva kadu
 - Praktiselt võimatu, kui varasemad mõõtmised puuduvad
 - Väga kallis: vaja täpselt identifitseerida veealused liivavallid

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

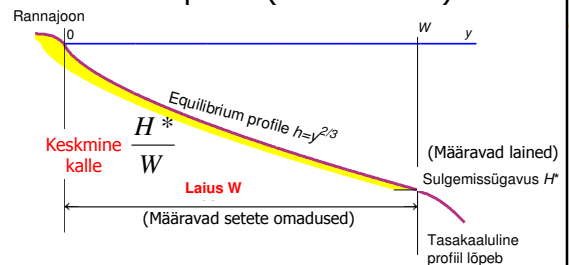
Liiva defitsiidi leidmine II

- Võimalus 2: mõõta rannajoone 'enne' ja 'pärast'
- kasutada tasakaalulise rannaprofiili teooriat
- Vajadusel hinnata pikiranda transporti (teatavad nüansid Pirita puhul!)
 - varasemad mõõtmised = varasemad kaardid
 - tarvis identifitseerida vaid rannajoone muutumine
- Lihtne võimalus dimensioneerida ranna täitmist liivaga

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Tasakaaluline profiil (Robert Dean)



Sulgmissügavus: maksimaalne sügavus, milles murlained efektiivselt mõjutavad kogu profiili kujunemist
(Sellest mere pool võivad lained vahel setteid liigutada, kuid ei suuda kujundada spetsiifilise kujuga profiili)

Equilibrium beaches

can be described by simple mathematics

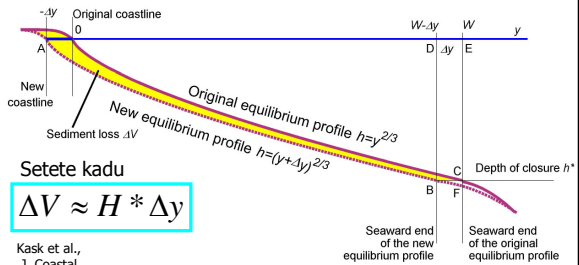
Basic assumption: Major changes & transport: surf zone where sand is permanently in motion



Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Tasakaalulise rannaprofiili nihkumine liiva kao tõttu



Setete kadu

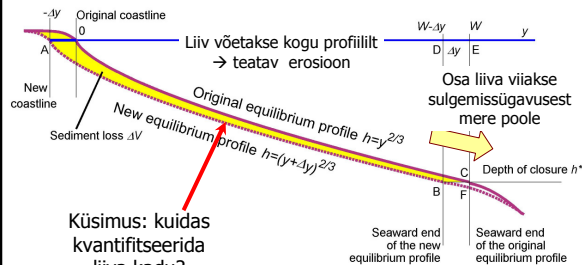
$$\Delta V \approx H * \Delta y$$

Kask et al.,
J. Coastal
Res. 2009

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Ekstreemsete tormide mõju: tasakaalulise profiili laienemine

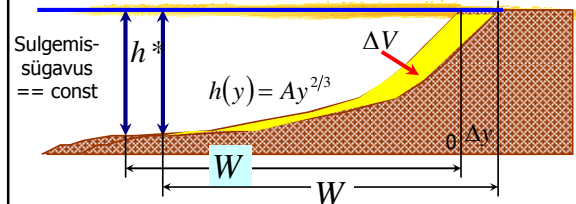


Küsimus: kuidas kvantifitseerida liiva kadu?

Soomere 2010

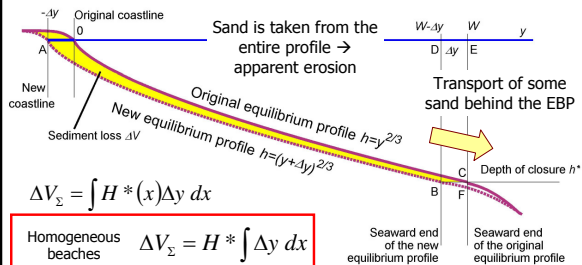
EMH0090 Rannikuprotsessid

Bruuni reegli pöödrakendus: liiva hulka & veetaseme muutus $\sim$ tasakaalus



$$\Delta V = \int_0^W h(y) dy - \int_{\Delta y}^{W+\Delta y} h(y+\Delta y) dy = \frac{3}{5} A [(\Delta y + W)^{5/3} - W^{5/3}] \xrightarrow{\Delta y \ll W} \approx h^* \Delta y$$

Effect of extreme storms: extension of the EBP



$$\Delta V_{\Sigma} = \int H^*(x) \Delta y dx$$

Homogeneous beaches $\Delta V_{\Sigma} = H^* \int \Delta y dx$

Net sand loss or gain for the entire beach!

Independent of width & grain size!

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Liiva defitsiidi hindamine peaaegu tasakaalulistest randades

- leida/mõõta rannajoone nihe (üle mitme aasta!)
- arvutada kuiva ranna pindala muutus
- arvutada tasakaalulise profiili parameetrid (tegelikult vaja sulgemissügavust)
- leida kuiva ranna pindala teoreetiline muutus maapinna kerke tõttu (Bruuni reeglist)
- korrigeerida selle võrra tegelikku pindala muutust
- arvutada liiva kogudefitsiit ja aastane kadu
 - mida suurem ajaintervall, seda täpsem tulemus

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Meeldejätmiseks

- Paljud Läänemere põhjaosa (Eesti ranniku) lahed on peaaegu tasakaalulised
 - Setete kadu on enam-vähem tasakaalustatud maapinna kerkega
- Lihtne kiirmeetod liiva netokao hindamiseks
 - põhineb Bruuni reegli pööramisel peaaegu konstantse veetaseme puhul
- Liiva netokadu/juurdevoolu hindamiseks on vaja
 - leida kuiva ranna pindala muutus,
 - sulgemissügavus (mööta või tuletada kohalikust lainekliimast),
 - maapinna kerke kiirus veetaseme suhtes

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

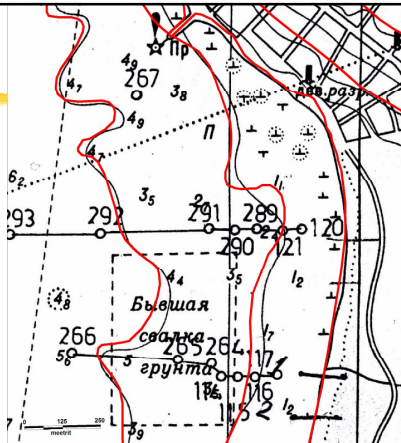
Meetodi kasutatavus sõltub ranna tüübist



Rannajoone nihkumine ca 1980 – ca 2000

Vihje: maakoore tõusu tõttu peaks rannajoon olema nihkunud vähemalt 4-5 m mere poole!!

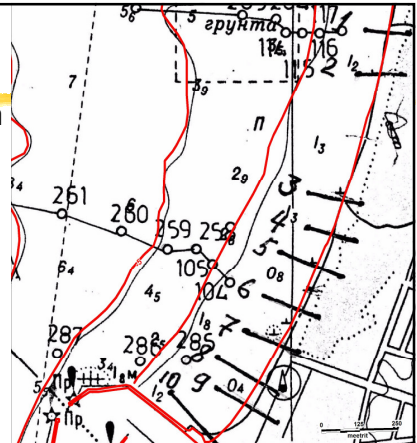
(T.Soomere, A.Kask, J.Kask 2005)



Rannajoone nihkumine ca 1980 – ca 2000

Vihje: maakoore tõusu tõttu peaks rannajoon olema nihkunud vähemalt 4-5 m mere poole!!

(T.Soomere, A.Kask, J.Kask 2005)



Näide 1: Liiva netokadu Pirital 1990ndatel

(i) Väikesed rannajoone asukoha muutused 1985-2000

(ii) Maakerge ~ 2.5 mm/a
→ rand peaks laienema

(iii) Tasakaalulise ranna-profiili omadused liiva omadustest & lainekliimast

$$h(y) = Ay^{2/3}$$

$$A \approx 0.07; \quad h^* \approx 2.5 \text{ m}; \quad 1/\tan \theta \approx 85$$

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Lainetuse parameetrid Pirital

- Aasta keskmine oluline lainekõrgus Pirita ranna erinevates sektorites 0,29–0,32 m
- $H^* = 1,96 - 2,16$ m.
- keskmiselt 12 tunni vältel aastas esineb Pirita ranna erinevates sektorites vähemalt 1,45–1,56-meetrine oluline lainekõrgus
- tüüpiline lainete periood ligikaudu 7 s
- $H^* = 2,36 - 2,57$ m; keskmine kalle 1:85
 - Soomere, Kask, Kask, Nerman, 2007
- Üksikud tugevad ebasoodsast suunast puhuvad ning pikka aega kestvad tormid võivad modifitseerida ranna profiili märksa suurematel sügavustel, kui võiks järeldada lainetuse keskmiste parameetrite analüüsist

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

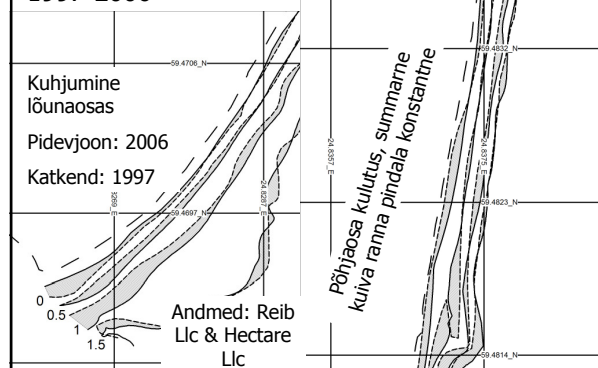
Matemaatika

- Kuiva ranna juurdekasv: $\approx 3000 \text{ m}^2$
- Maapinna kerge: $2.5 \text{ mm/year} \times 15 \text{ years (1985-2000)} = 37.5 \text{ mm}$
- Eeldatav juurdekasv $37.5 \text{ mm} \times 85 \times 2 \text{ km} \approx 6500 \text{ m}^2$
- Vahe: 3500 m^2 [liiva kao tõttu]
- $$\Delta V_{\Sigma} = h * \int \Delta y \, dx$$
- Liiva netokadu: $3500 \text{ m}^2 \times \text{sulgemissüg. depth } 2.5 \text{ m} \approx 9000 \text{ m}^3$
- ehk **ca 600 m³/a** (teised hinnangud $\sim 1000 \text{ m}^3/\text{year}$)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Näide 2: Liiva netokadu Pirital 1997-2006



Matemaatika II

- Kerge: $2.5 \text{ mm/year} \times 10 \text{ years (1997-2006)} = 25 \text{ mm}$
- Expected gain of dry land: $25 \text{ mm} \times 85 \times 1.8 \text{ km} \approx 3800 \text{ m}^2$
- Actual gain of dry land: $\approx 0 \text{ m}^2$ from the maps
- Difference: 3800 m^2 due to net sand loss
- $$\Delta V_{\Sigma} = h * \int \Delta y \, dx$$
- Net loss of sand: $3800 \text{ m}^2 \times \text{closure depth } 2.5 \text{ m} \approx 9500 \text{ m}^3$
- or about **1000 m³/year**
- (not necessarily means an increase in sand loss, may be a decrease in the relative uplift rate)

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Ranna täitmise dimensioneerimine: Pirita

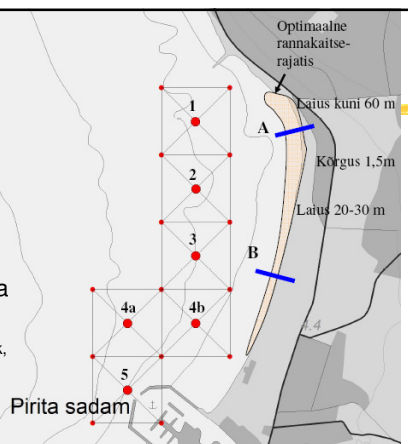
- Liiva kadu $1000 \text{ m}^3/\text{a}$, eluiga $>20\text{a}$ + üks torm + olemasoleva defitsiidi kompenseerimine
➤ **50 000 m³**
- Transport lõunasse:
➤ rohkem liiva ranna põhjaosasse
- Sulgemissügavus $\sim 2 \text{ m}$
➤ liiv mitte sügavamale kui 1 m ; pigem $0,5 \text{ m}$
- Rannaastang madal ($\sim 1.5 \text{ m}$)
➤ liivavalli max kõrgus 1.5 m merepinnast
- Probleem metsa alla kandumiseiga
➤ tasandussüvend liivavalli ja metsaserva vahel

Soomere 2010

EMH0090 Rannikuprotsessid

Optimaalne rannakaitse rajatis Pirital:

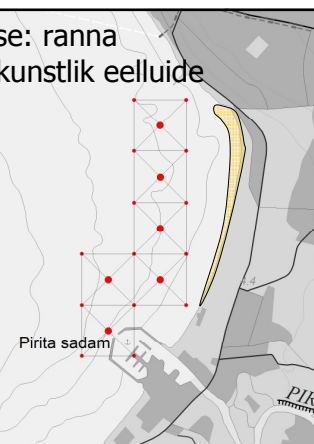
50 000
kantmeetrit
liiva, kunstlik
eelluide, eluiga
ca 15 aastat
(T.Soomere, A.Kask,
J.Kask 2005)



Soomere 2010

Loogiline rannakaitse: ranna täitmine liivaga // kunstlik eelluide

Maht = netokadu x
eluiga x liigtegur
 $H \sim 1,5 \text{ m} \rightarrow$ kaitseb
rannametsa ka
"sajandi tormi" eest,
kuid ei riku
merevaadet
Laiem põhjaosas



Soomere 2010

EMH



Pirita 1979 – ranna täitmine karjääriliivaga (Foto Kaarel Orviku)



Pirita 1979 – ranna täitmine karjääriliivaga (Foto Kaarel Orviku)



Soomere 2010 EMH0090 Rannikuprotsessid

