

Kliimamuutustest mõjutatud maastikud II

Hannes Tõnisson, PhD, vanemteadur

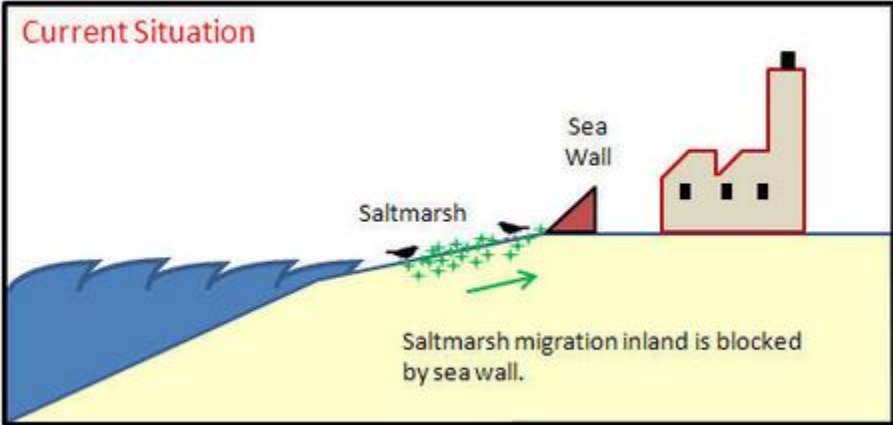
TLÜ ökoloogia keskus
TALLINN 2025

Photo by M.M

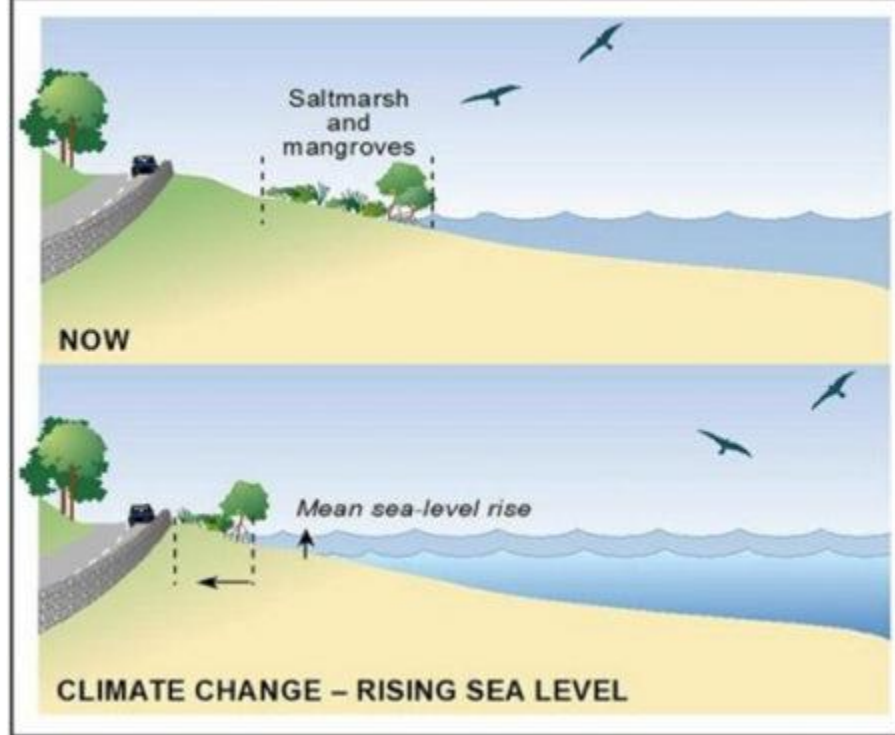
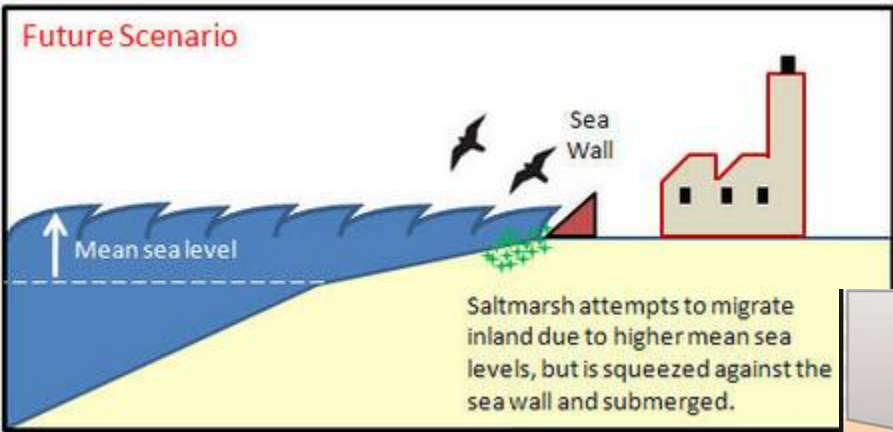
Kordame olulisema: Randade juures peame meeles pidama!

- Rand on kui elav organism, ta on pidevas muutumises.
- Kuskilt alati midagi võetakse, kuskile see ka pannakse – kulutus-kuhje süsteemid kui tervikud.
- Kui kuskilt midagi muudetakse, siis peabki sageli muutmist jätkama.

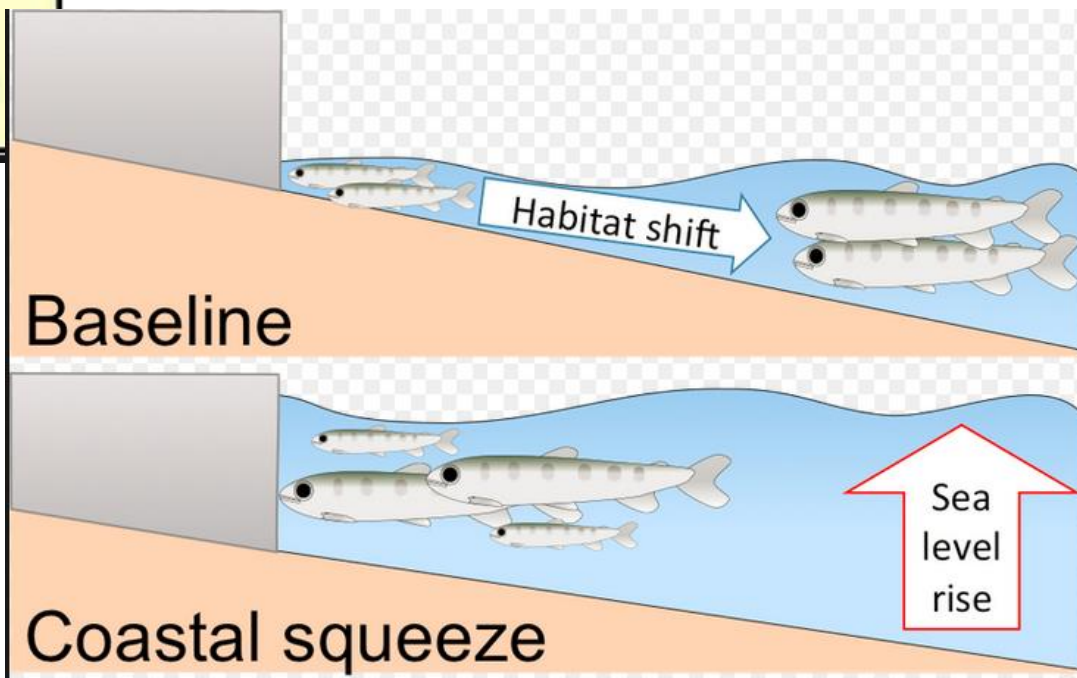
Current Situation

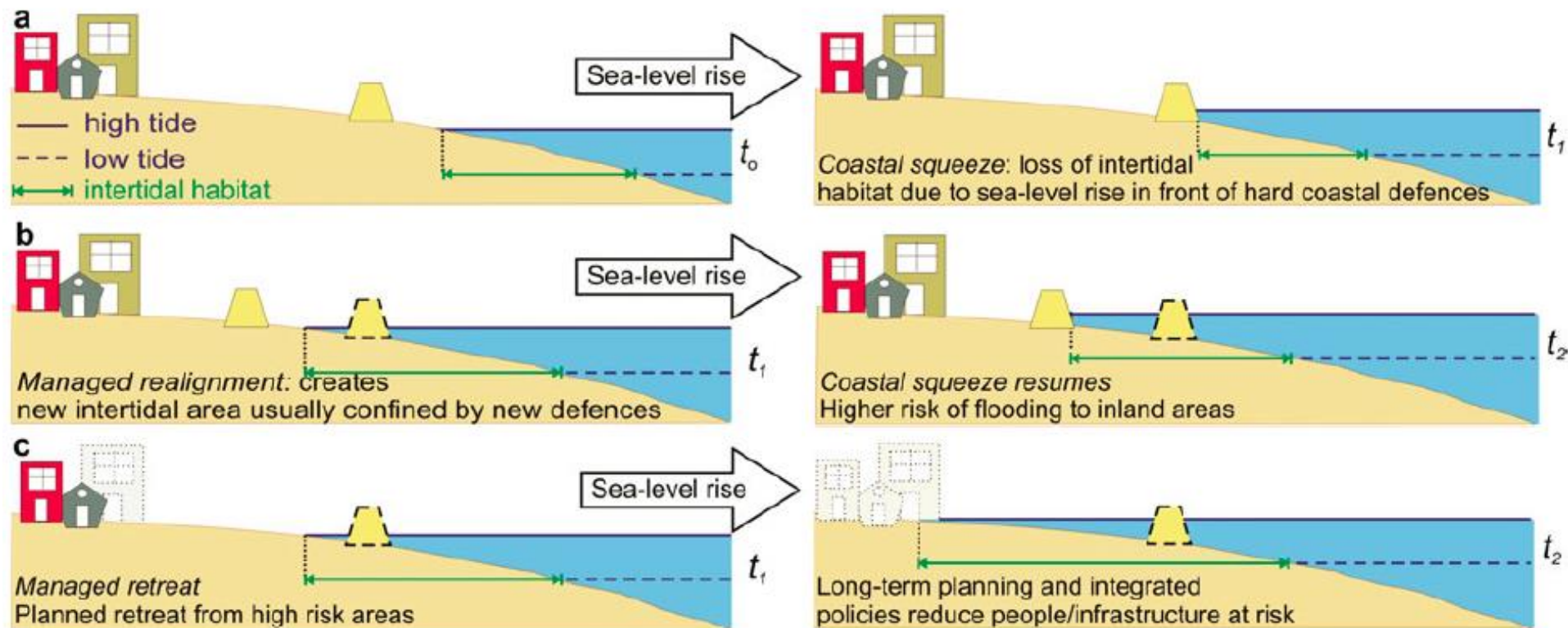


Future Scenario



Coastal squeeze





**Kui taganeda ei saa.. Et säilitada elukeskkonda tuleb
aina enam kaitsta randa. Kombineeritud rannakaitse
(Aberdeen)**



Luidete kasvatamine (Warnemünde)

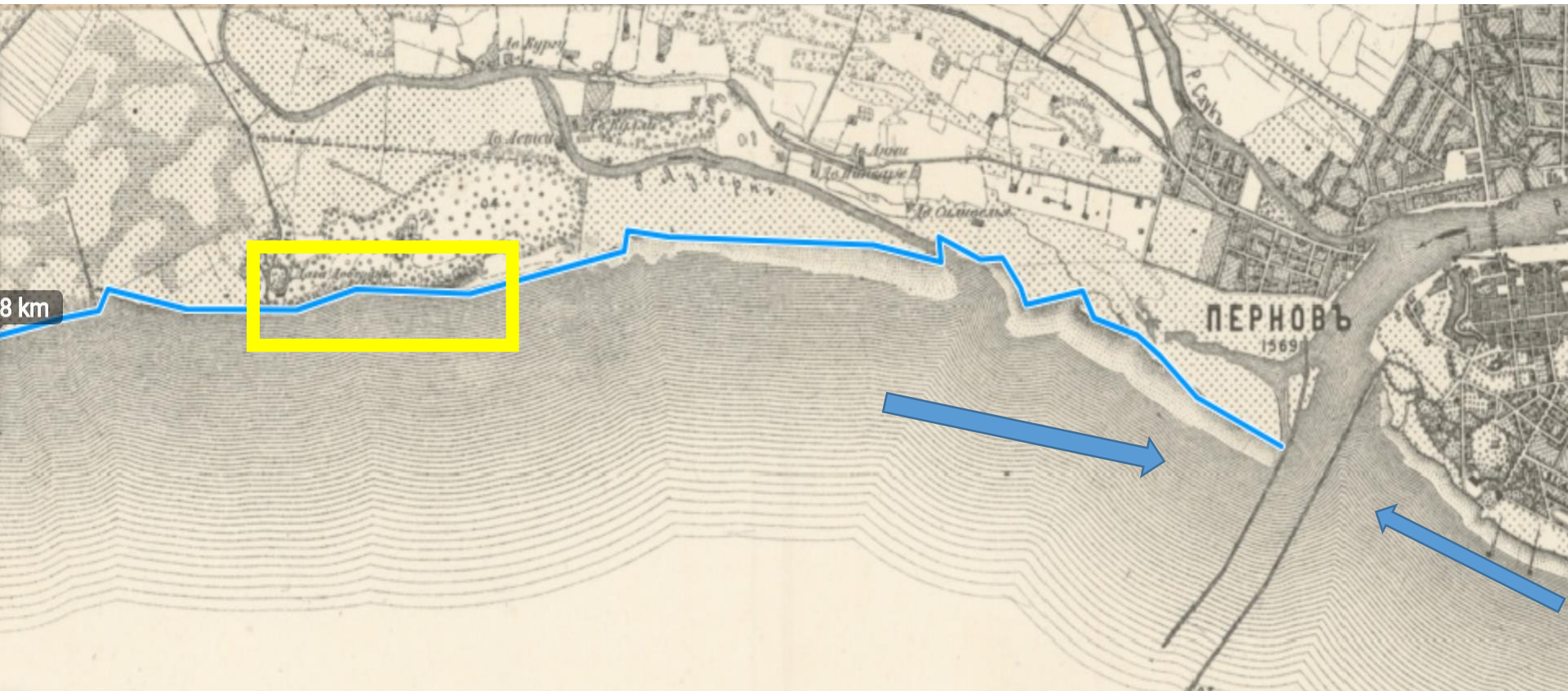


Paralleelselt tuleb kaitsta astangute jalameid

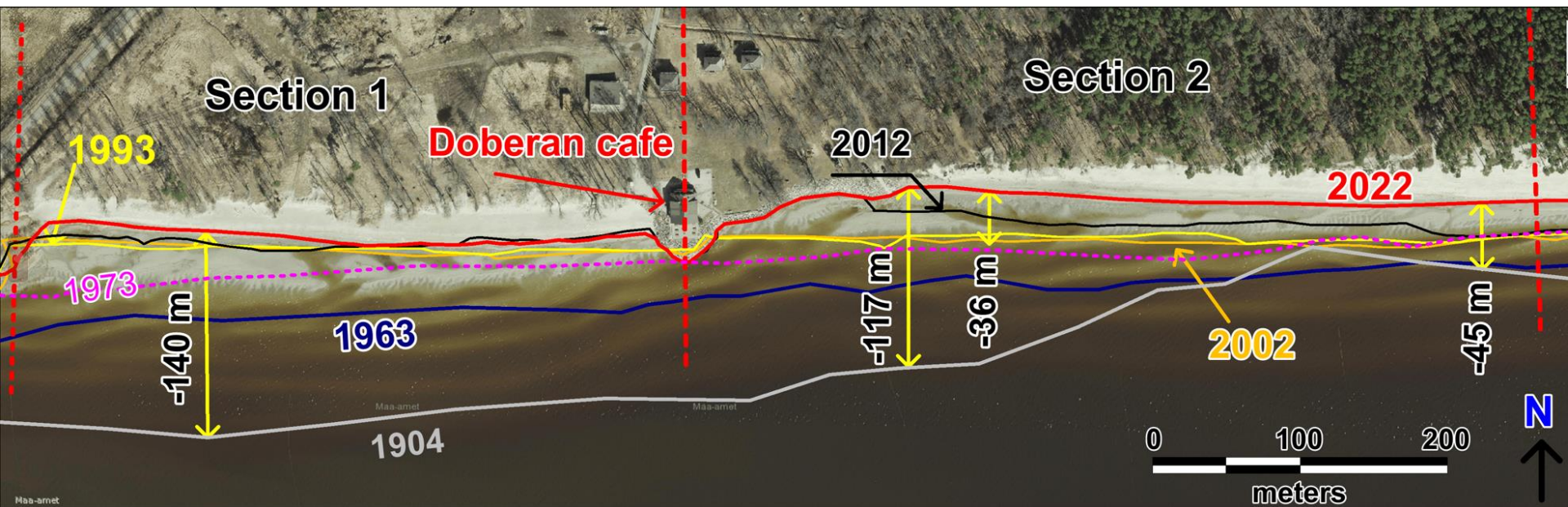


Looduslikud protsessid:

Setted liiguvad piki randa nii itta kui ka läände. Veidi enam kui 150 aastat tagasi rajati pikad sadamamuulid ja setted jäid umbes 1 km pikkuste sadamamuulide taha lõksu.

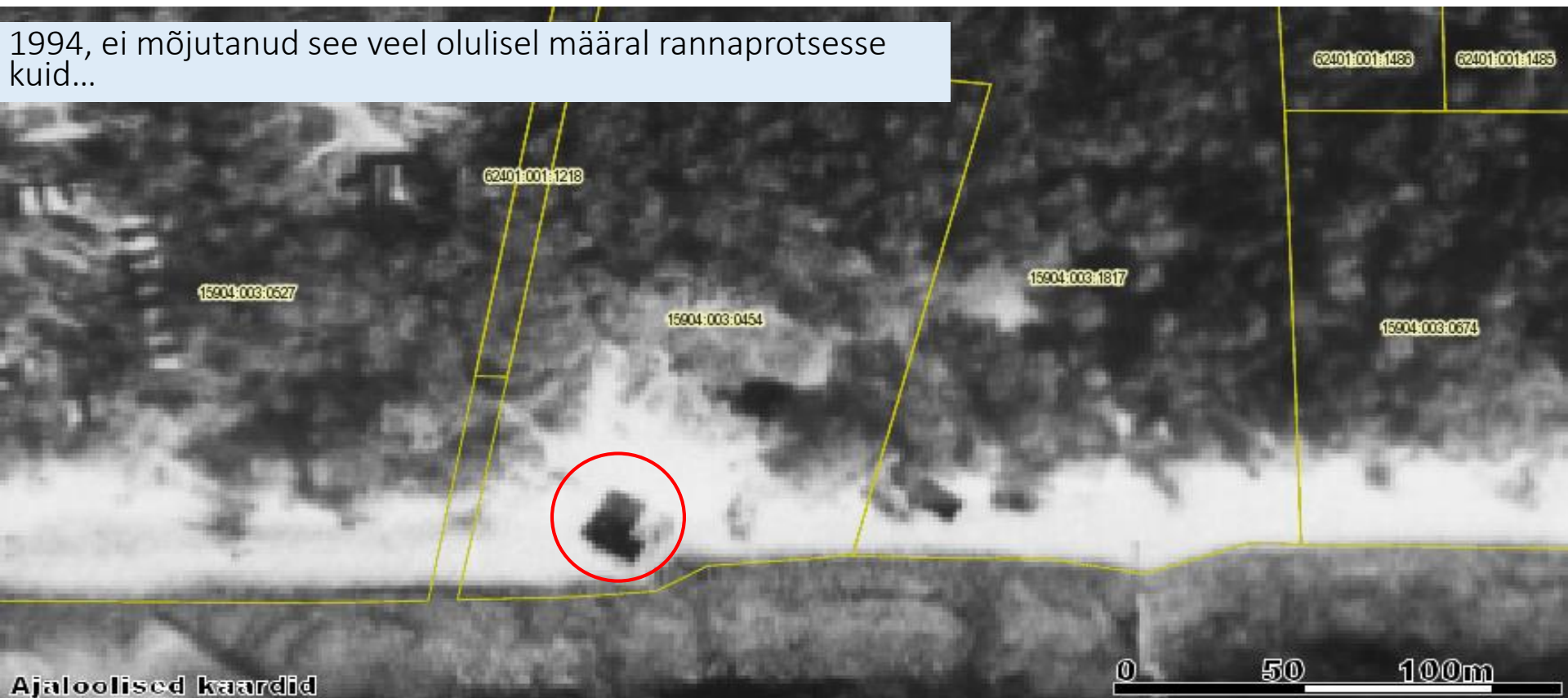


Näeme, et enam kui saja aastaga on siin rannajoon taganenud kohati rohkem kui 140 m!



Lisaks kõigele muule oli seal vana mõisa
rannamaja/kohvik...

1994, ei mõjutanud see veel olulisel määral rannaprotsesse
kuid...



... erosion jätkus ja hoone ette rajati väike kaitsevallike kividest, hoone oli jõudnud sisuliselt randa ja hävines vaatamata kaitsemeetmetele 2005 ekstreemse tormiga

Olukord aastal 2002



2005. Kohvik hävines Jaanuaritormiga. (Foto K. Orviku)

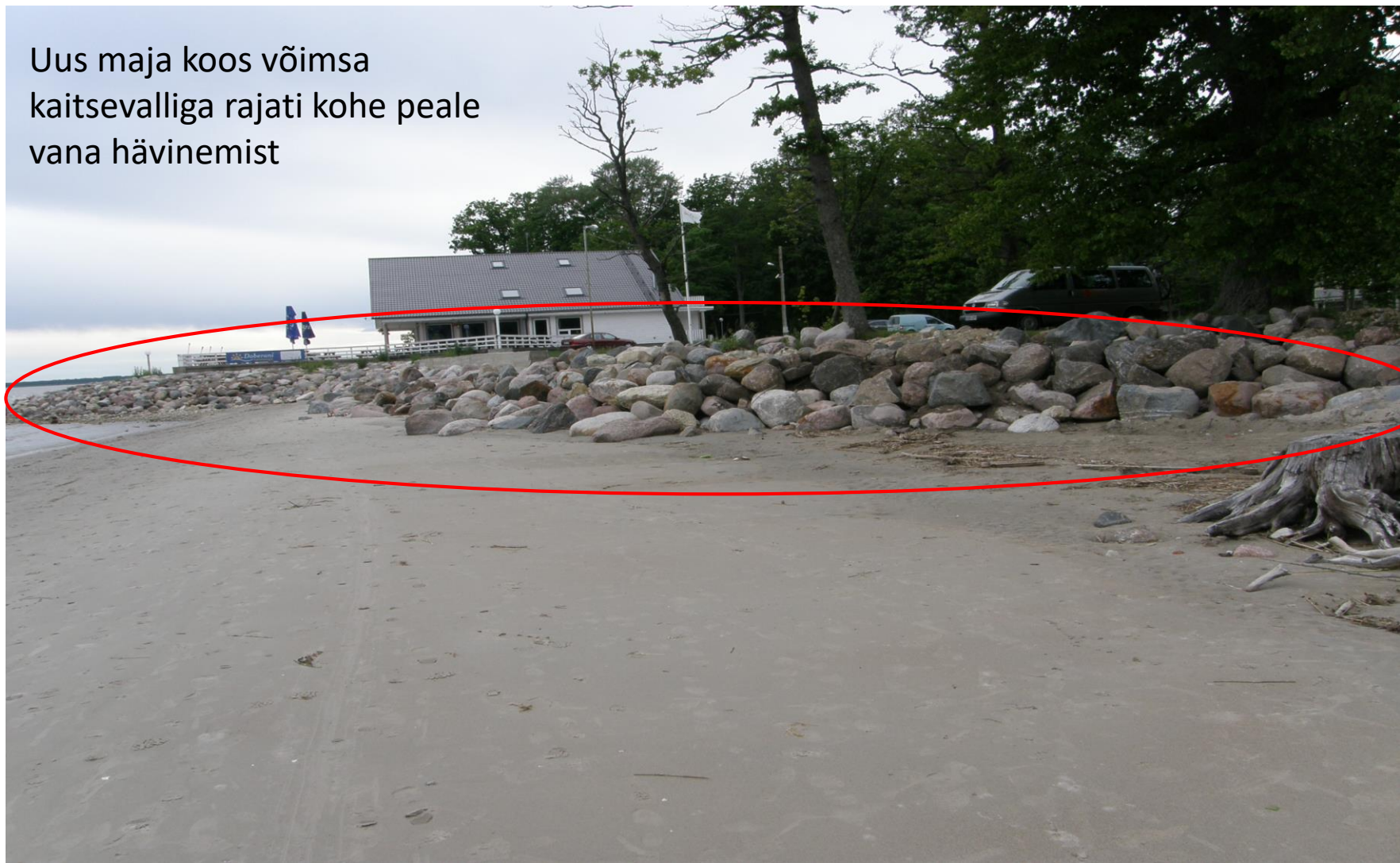


Ma taastati 2008. aastaks ja kaitserajatist pikendati ida-suunas, selle lõpus oli näha juba erosiooni ilminguid:

2008, liiva oli juba kaitserajatise eest kadunud



Uus maja koos võimsa
kaitsevalliga rajati kohe peale
vana hävinemist



Tänapäevaks on kaitseajaline pikendatud ja kogu selle ulatuses on liiv rannast kadunud, kaitserajatisel lõpus intensiivne erosioon:

2020 intensiivne erosioon kaitserajatisel lõpus, maja koos kaitsevalliga on nagu sadamamuuli analoog:



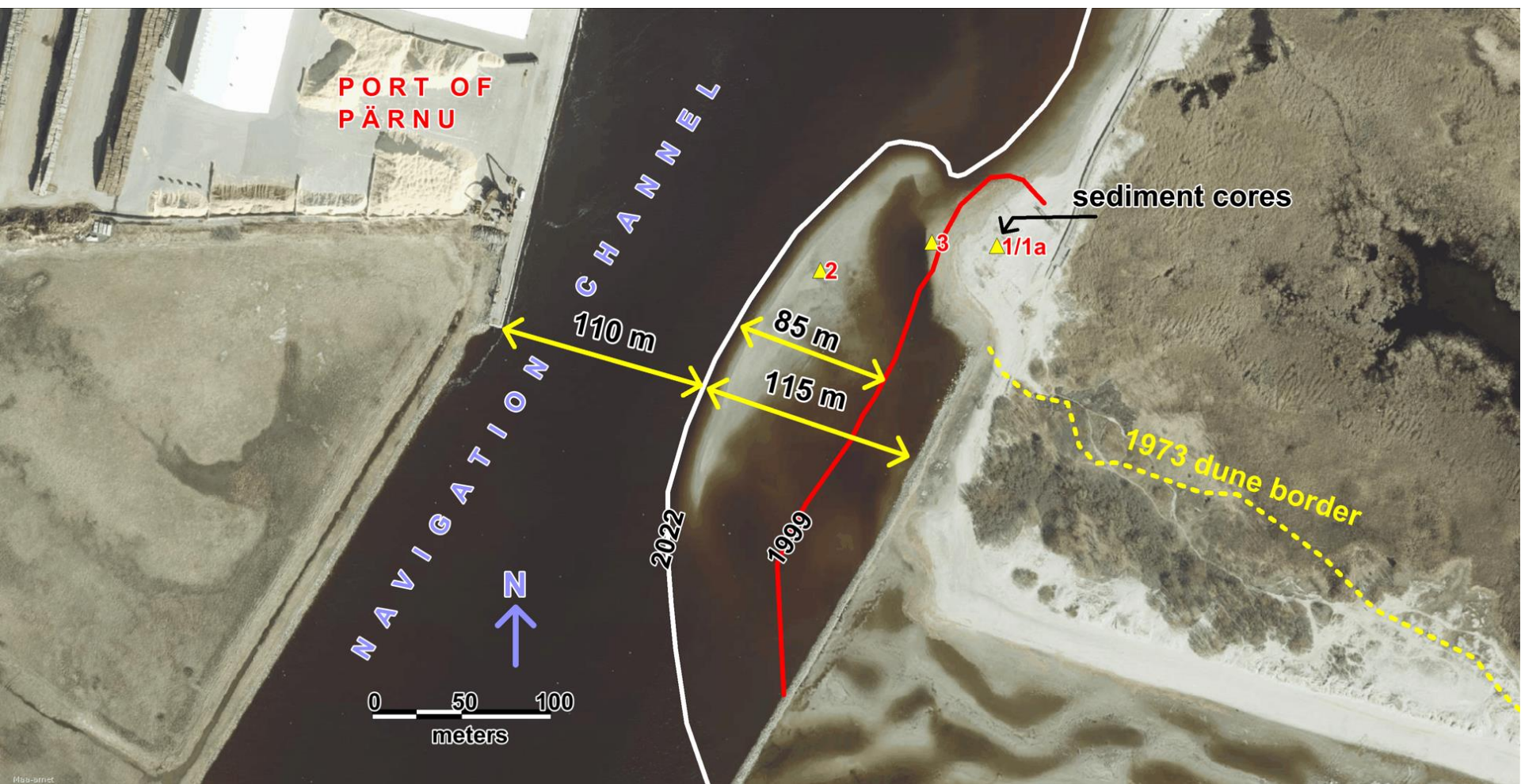
Rannas enam liiva ei ole (meretase 0 cm)
hinnanguline aastane liivakadu on olnud ca 1000 m³:



Samal ajal setted kuhjuvad idapoolse sadamamuuli varju ja sadamast veel idasuunas on moodustunud enam kui 100 m laiune luiteahelik.



Akumuleerunud liiv on selgelt näha ortofotodel:

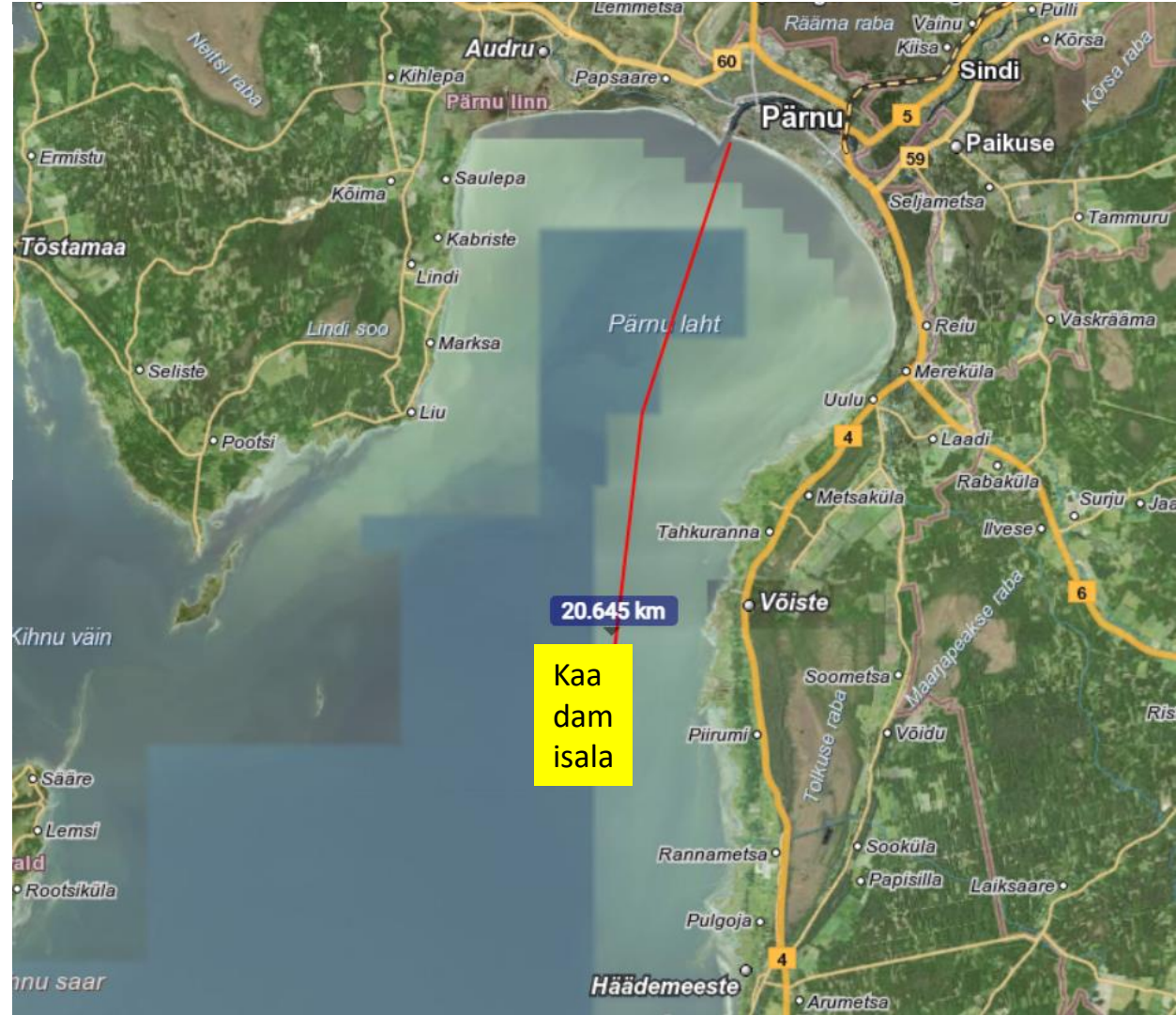


Kartograafilise analüüsi, RTK-GPS mõõtmiste ja puurimiste tulemusel jõudsimel järgneva tulemuseni:

	Ajavahemik	(m ²)	Paksus (m)	Ruumala (m ³)	aastas (m ³)	joon (m)	joon (m/a)
Kokku	2018-2022	4500	4.5	20250	5063	10	2.50
	2014-2022	9100	4.5	40950	5119	22	2.75
	2008-2022	15900	4.5	71550	5111	43	3.07
	2006-2022	18600	4.5	83700	5231	55	3.44
	2002-2022	21400	4.5	96300	4815	68	3.40
	1973-2022	2300	2	4600			
	1973-2022	6900	1	6900			
	1973-2022	39100		146050	3745	118	2.41

- Aasatne kuhje muulide vahele on ca 5000 m³ liiva;
- Hetkel on sinna kuhjunud ca 150 000 m³ liiva.

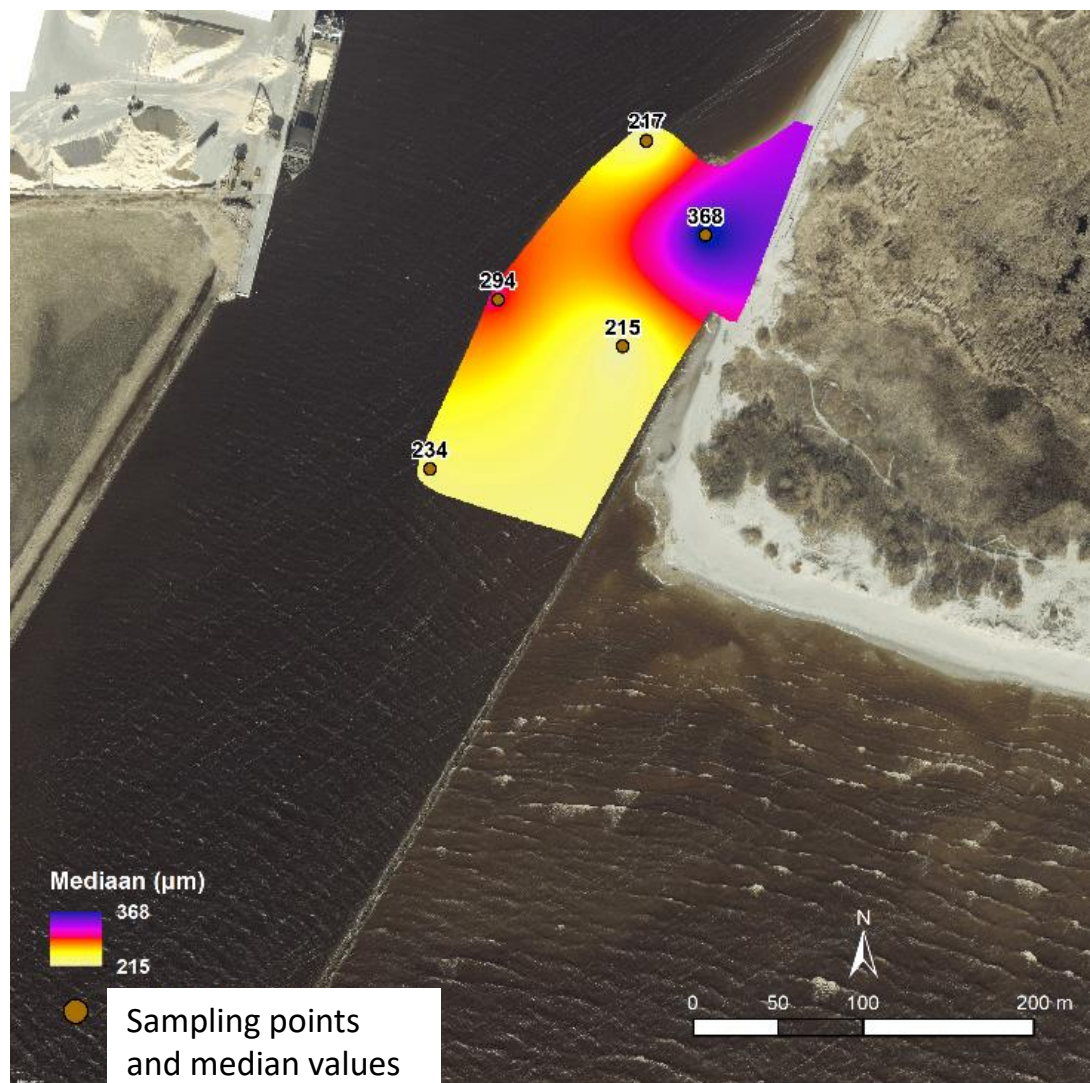
Ajalooliselt on liiva kaadatud avamerre ja ka praegune plaan on liiva paigutamine ca 20 km kaugusele, Dünaamilisest süsteemist välja, kust liiv ilmselt kunagi enam randa tagasi ei tule:



Uurisime ka liiva kvaliteedi näitajaid, et aru saada kas seesugune liiv sobib Valgeranda või mitte:

- Keemiliselt puhas, kuna jõgi ja meri peseb liiva pidevalt läbi;
- Terasuurus on analoogne Valgerannale, sest tegemist on ju sisuliselt Pärnu rannaliivaga;
- Orgaanika sisaldus on analoogne tavalise ranna orgaanika sisaldusele.

	Org %	ORG kg/m3
gps611	0.32	5.4
gps612	0.24	4.1
gps613	0.22	3.8
gps614	0.30	5.1
gps615	0.11	1.9
Puur 1(-2m)	0.74	12.6
Puur 1 (-3m)	0.75	12.8
Puur 2	0.30	5.1

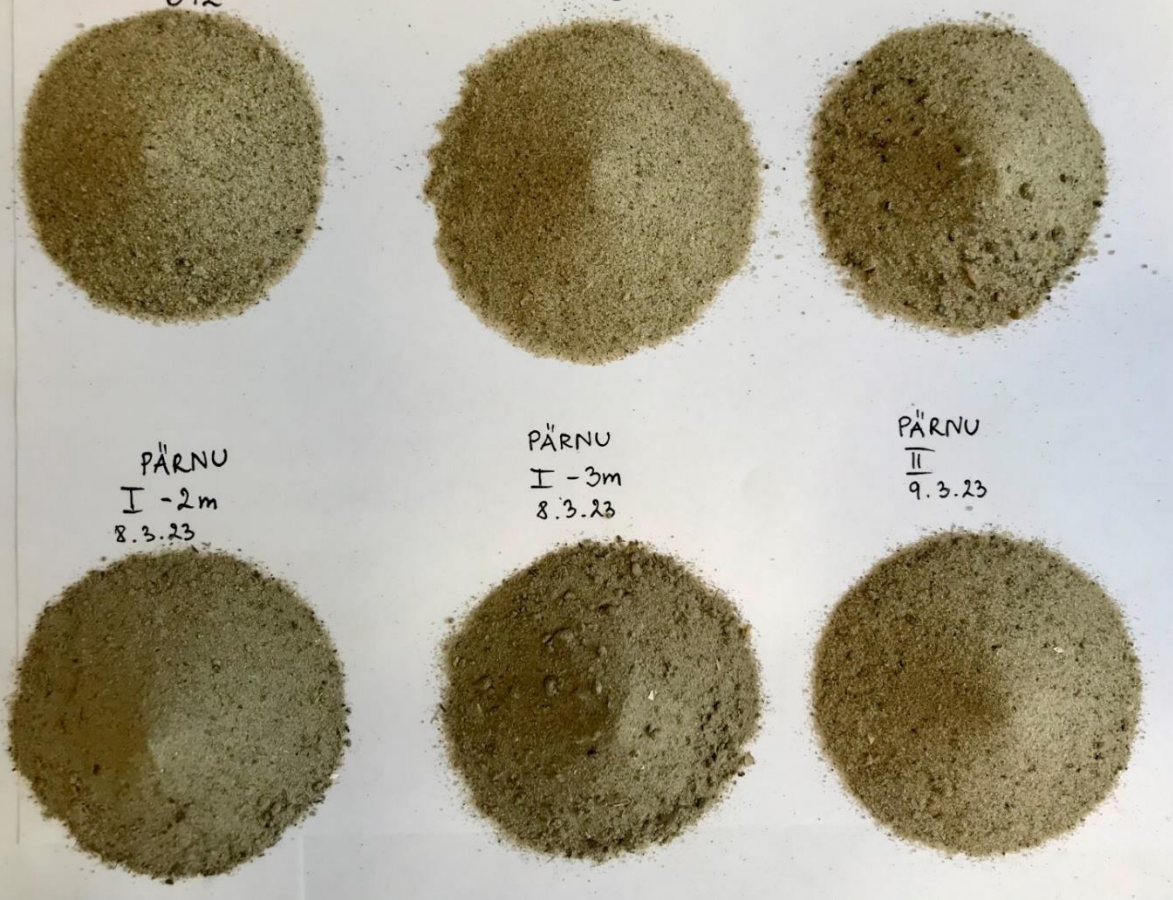


Mediaan liivatera suurus Valgerannas ja selle esiestel rannabarridel (sügavus ca -1 m).



Vaatasime kuidas ka liiv välja näeb:

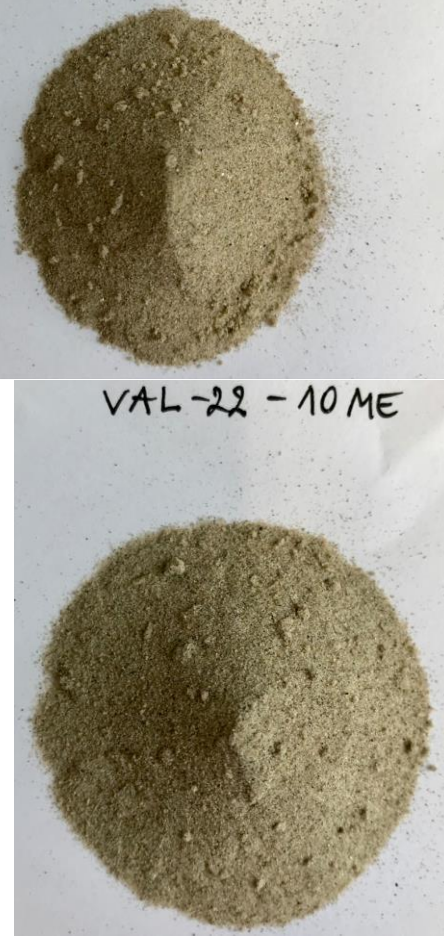
Pärnu sadama liiv:



Valgeranna rannaliiv:

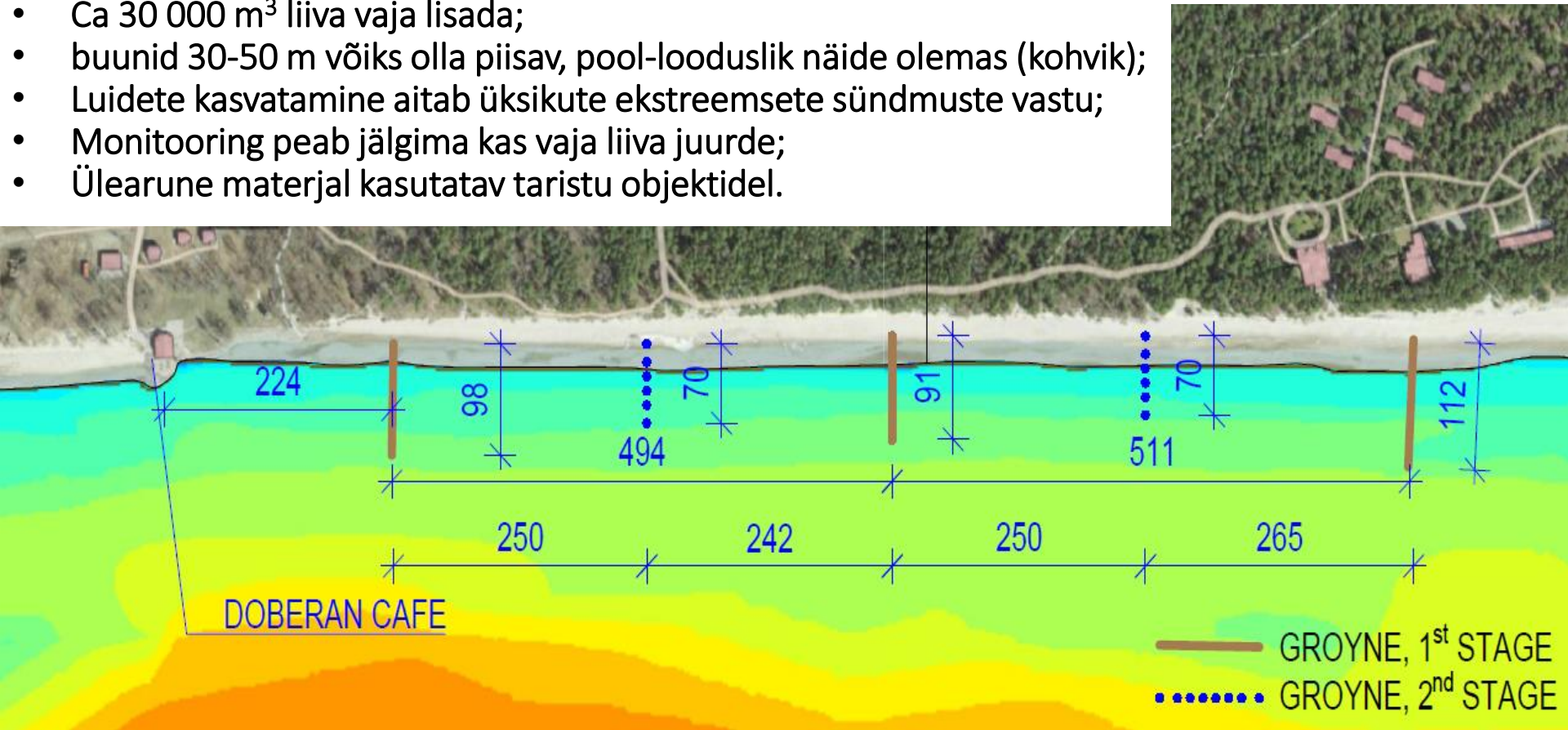
ME

- When dry, then the color is very similar



Mõõdeti laineid ja modelleeriti rannaprotsesse (Delft3D) Viimaks leidsime, et esialgu tuleks lisada kolm buuni, hiljem võibolla lisada:

- Ca 30 000 m³ liiva vaja lisada;
- buunid 30-50 m võiks olla piisav, pool-looduslik näide olemas (kohvik);
- Luidete kasvatamine aitab üksikute ekstreemsete sündmuste vastu;
- Monitooring peab jälgima kas vaja liiva juurde;
- Ülearune materjal kasutatav taristu objektidel.



Läbi on vaadatud ka erinevad stsenaariumid selleks kuidas saada liiva sadamast randa:

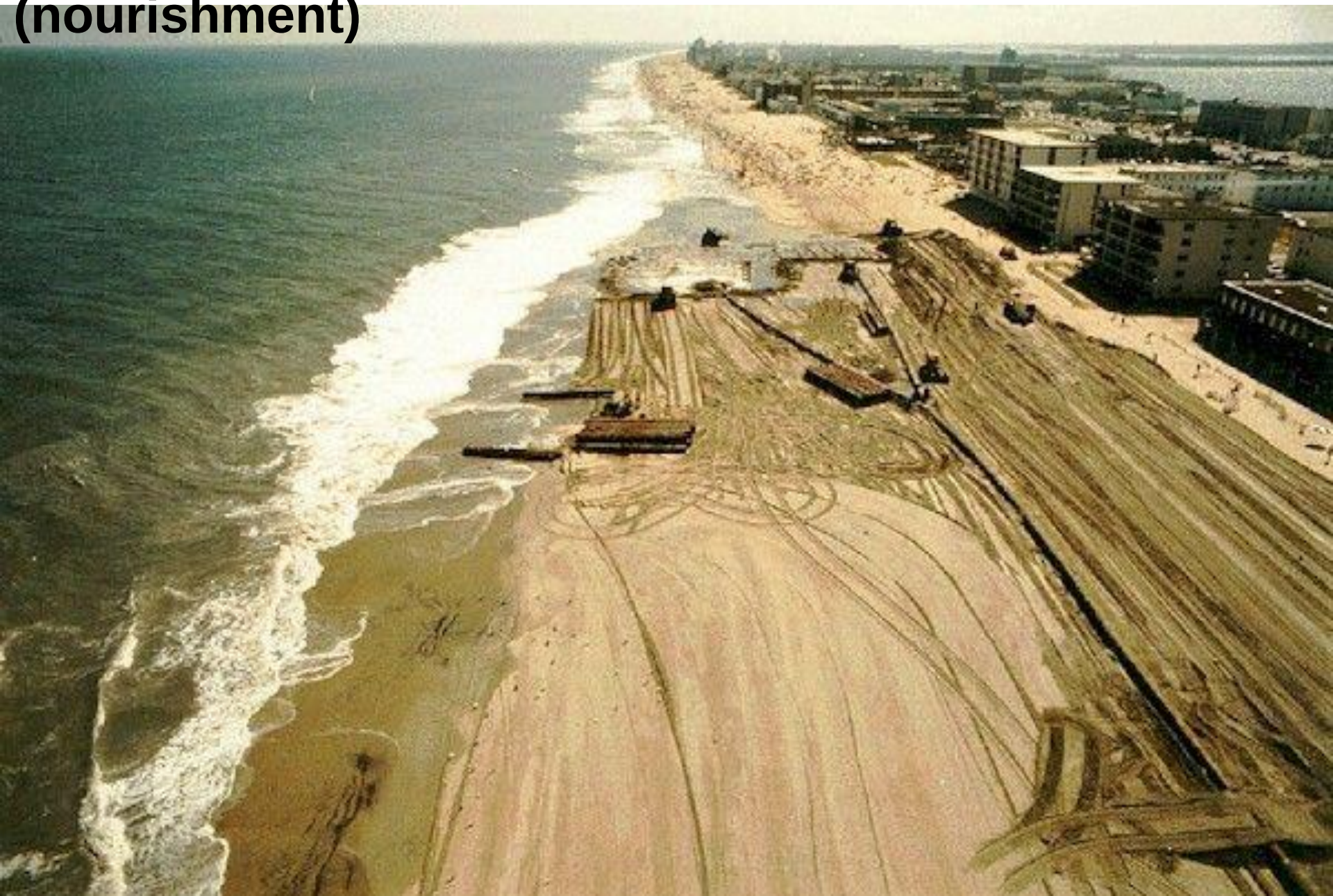
Method for 30 000 m ³	Time (24 h days)	Cost (EUR)	EUR/m ³
Water master pumping (500 m)+road transport	52–80	191 608	6.89
Dredging vessel	5–7	175 000	5.83
Road transport	10	152 612	5.09



**Täna...Astangu kaitsmine Valgerannas tormimurru juurtega
jms.**



Aga vaatame veel muud maailma: Randade tõstmine (nourishment)



Randade tõstmine (nourishment)



Randade tőstmine Poolas



Obiekt: Sztuczne zasilanie Półwyspu Helskiego na odcinku nasadowym, kubatura 250 000 m³

Nadzór: Urząd Morski w Gdyni,
81-338 Gdynia, ul. Chrzanowskiego 10,
tel.: 048 58 620 69 11

Inwestor: Skarb Państwa - Urząd Morski w Gdyni,
81-338 Gdynia, ul. Chrzanowskiego 10,
tel.: 048 58 620 69 11

Wykonawca: Przedsiębiorstwo Robót
Czerpalnych i Podwodnych Sp. z o.o.,
Gdańsk ul. Przetoczna 66,
tel. 058 304 38 14, fax: 0 58 304 34 00,
e-mail: prcip@prcip.pl

Kierownik Budowy: inż. Włodzimierz Standerski
nr upr. 569/72/G, tel: 048 58 304 38 14

Inspektor Nadzoru: inż. Janusz Modarczyk,
tel: 048 58 620 69 11

Tel. Policji 997

Tel. Straży Pożarnej 998

Tel. Pogotowia 999

Przedsiębiorstwo Robót Czerpalnych i Podwodnych Sp. z o.o. w Gdańsku istnieje w różnych formach organizacyjnych od roku 1947. Przedmiotem działalności Spółki jest wykonywanie wszelkich prac czerpalnych i podwodnych. Zakres działania obejmuje całe polskie wybrzeże. Spółka wykonuje również prace pogłębiarskie poza granicami kraju.

PRCiP Sp. z o.o. oferuje wykonawstwo następujących prac:

- pogłębiarskie - podwodne - pomiarowe i sondażowe - ochrony brzegów morskich przed abrazją
- czarter pogłębiarek, szaland, holowników i motorówek

Moc produkcyjna spółki wynosi średnio 3,5 mln m³ urobku rocznie.

Dysponując specjalistycznym sprzętem pogłębiarskim i pomiarowo-sondażowym oraz stosując nowoczesną technikę przy udziale wykwalifikowanej kadry, Spółka gwarantuje terminowe i wysokiej jakości świadczenie usług.

Randade tõstmine Poolas



Randade tõstmine Leedus



Kaliningrad (E. Bird), buunid



Saksamaa, kui muud üle ei jää, siis kombineerida



Hollandi rannik (tammid üleujutuste vastu) (Subsiding in recent decades-Dutch coast).



Poolveealused lainemurdjad (Hispaania)



**Poolveealused lainemurdjad (Hispaania),
tekitavad enda taha lainevarju, kuhu kuhjub liiv**



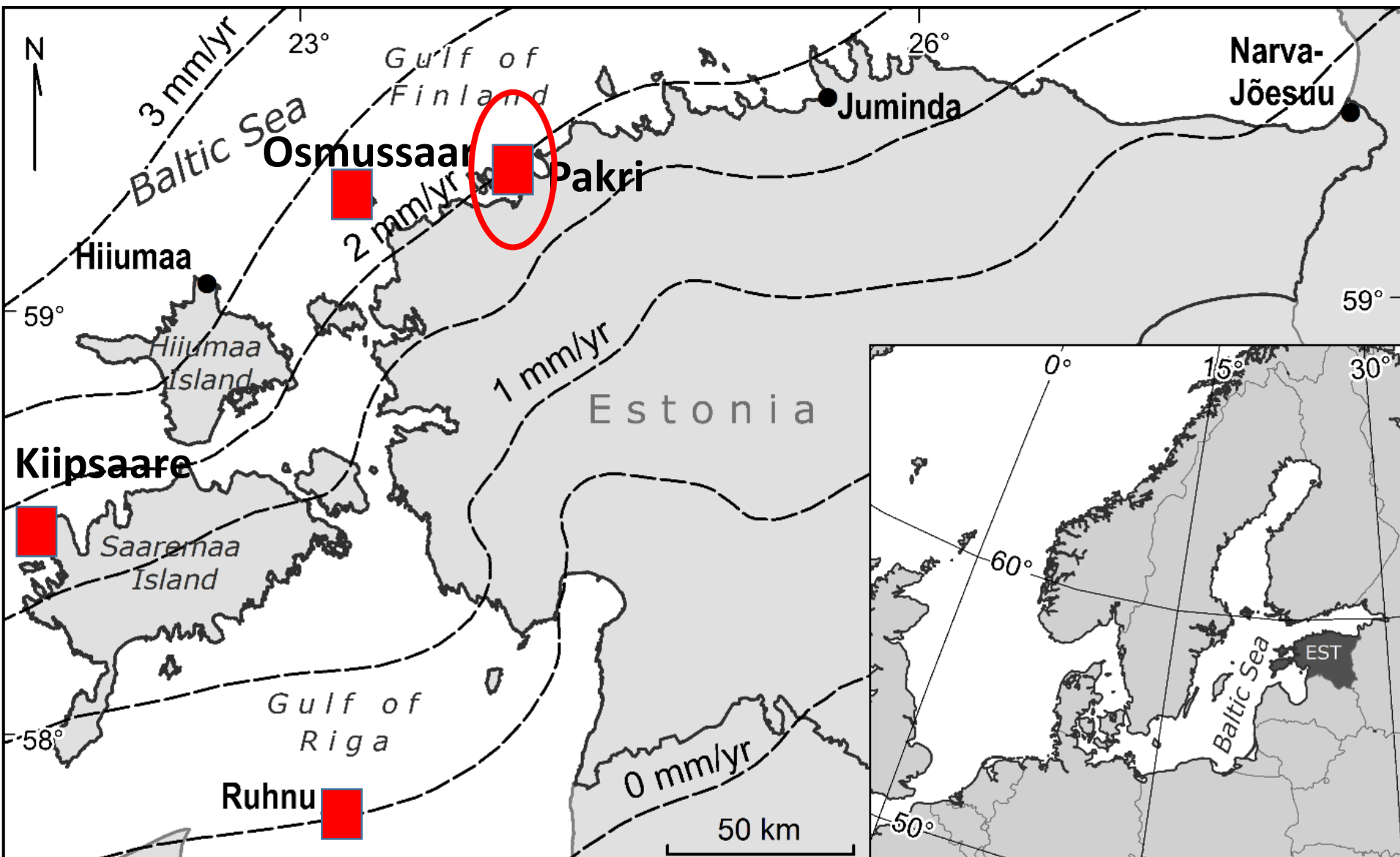
**Kas seda randa oleks vaja kaitsta ja kuidas?
Kas me saaks randade kohta veel miskit tarka?**



Mis toob tulevik?

Proovime mõnel uuringialal minna rohkem ajas tagasi, äkki saame targemaks:

- Mõningad astangud veidi erineva geoloogiaga
- Erinev avatus tormidele



Aga kuidas? Pakri Pank - 24m kõrge

- 5 m kõrgune torn ehitati 1724. a Pakri poolsaarele ca 70 m pangaastangust sisemaa suunas.



- 6 m kõrge tule torn ehitati samasse 1808. 1889 a, uus tule torn ehitati 90 m vanast sisemaa poole, kartuses, et vana kukub vasrti alla.

Pakri Pank

- 2008. a märtsis, suur lahmakas kukkus alla, merre. 14 m lai, 110 m pikk ja üle 20 m paks.
- Kuidas rekonstrueerida siin?



Pakri Pank



- 275 aastaga taganes pangaastang ligi **70 m**, see on ca **25 cm/a** ($6 \text{ m}^3/\text{a}$ rannajoone meetri kohta).
- Kui me ei võta arvesse 2008. a 14 m laiust varingut, same taganemise kiiruseks ikkagi ca 20 cm/a.
- Varisenud materjal jääb pikemaks ajaks astangu jalamile ja pidurdab pikaks perioodiks astangu erosiooni lainetuse poolt (laine ei ulatu pehme jalamini).

Arvutus:

Maakere viimasel ca 7000 aastal= ca 22.0 m

Taganemise kiirus= 20cm/a * 7000 a =1400 m

Kas tundub loogiline?

Maa-amet

Maa-amet

1400m

Maa-amet

Maa-amet

0 0.5 1
kilometres

Maa-amet



Meretase on enam-vähem ühtlaselt langenud viimase umbes 7500 aasta jooksul.

Muru et al.

7

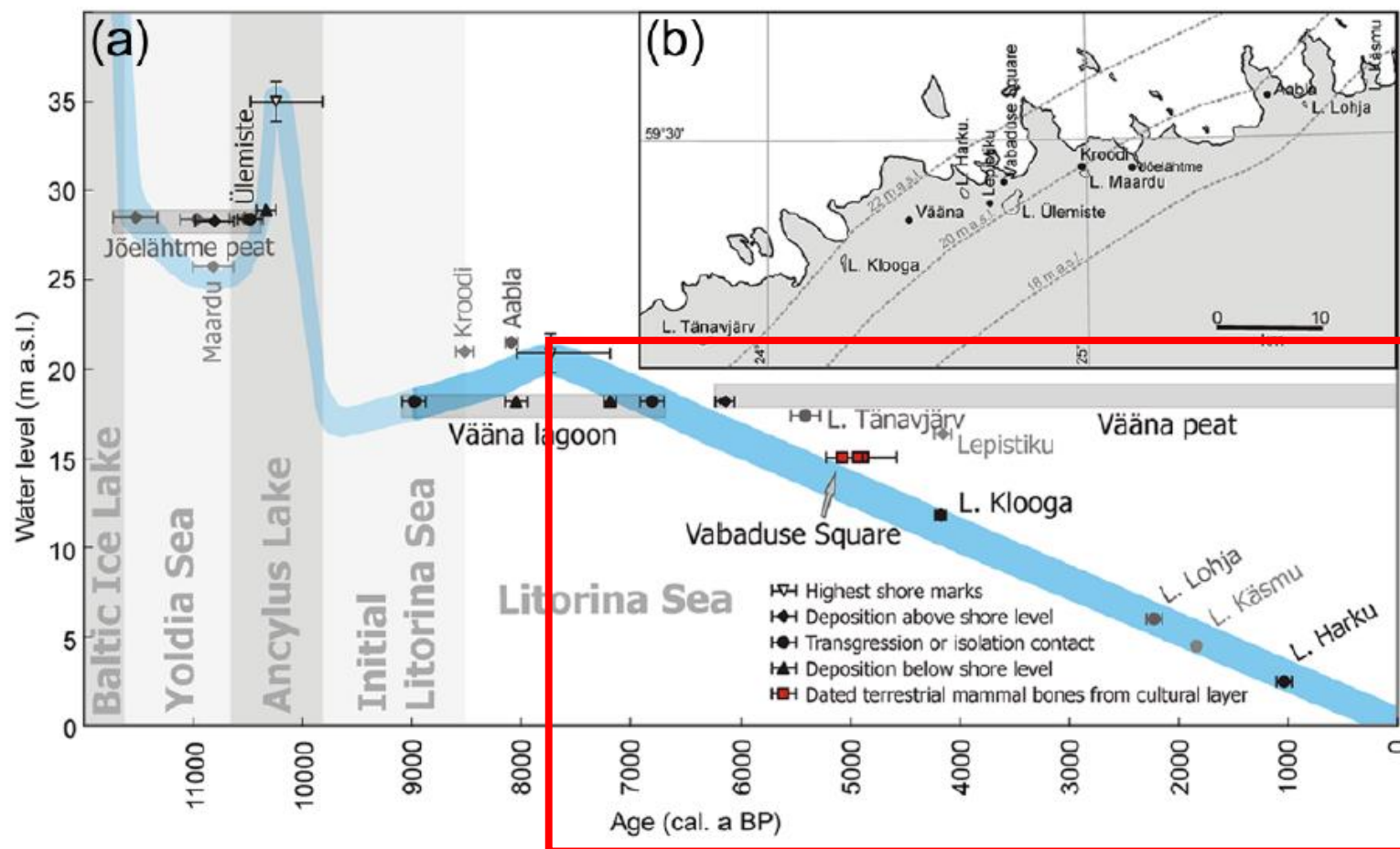
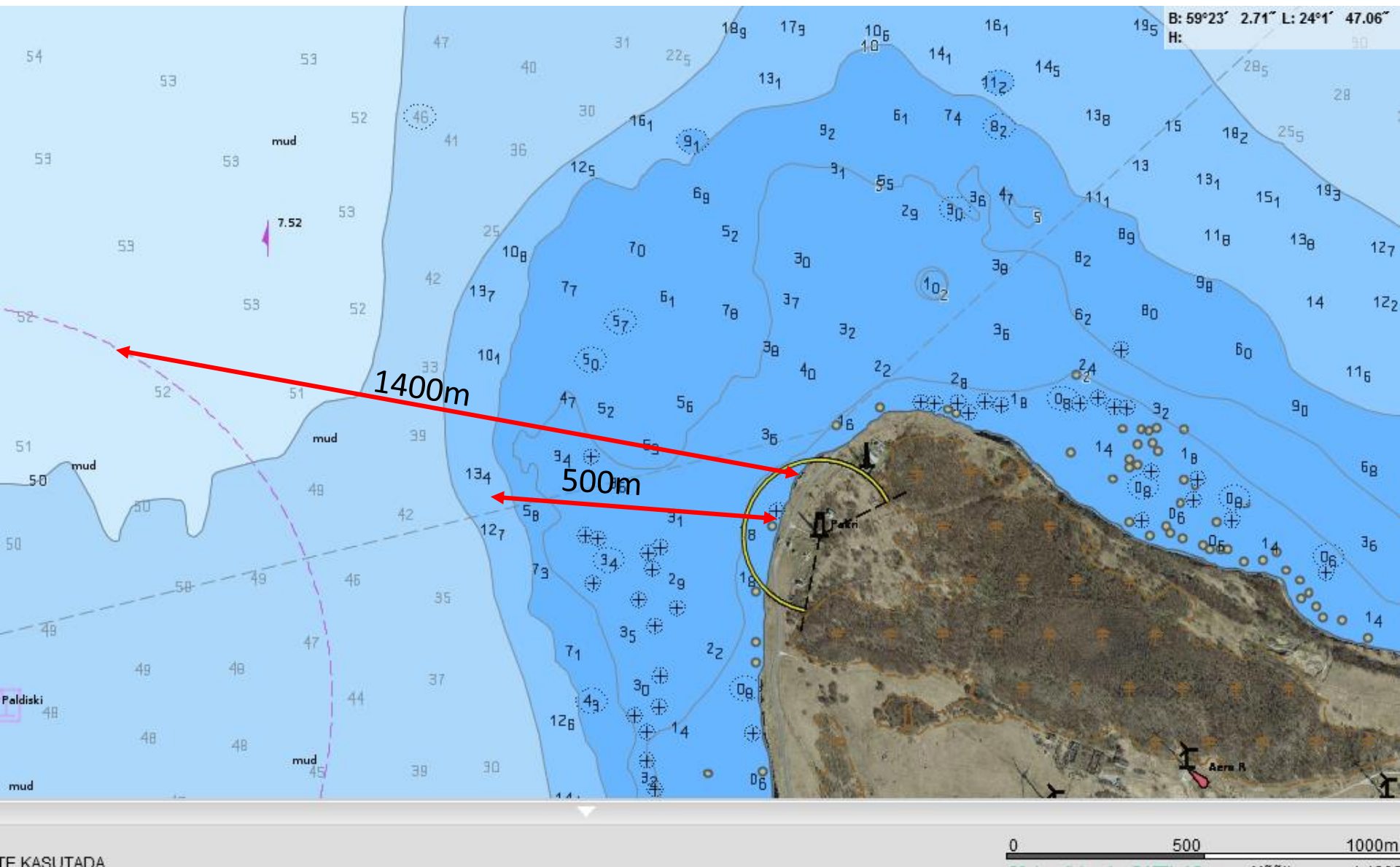
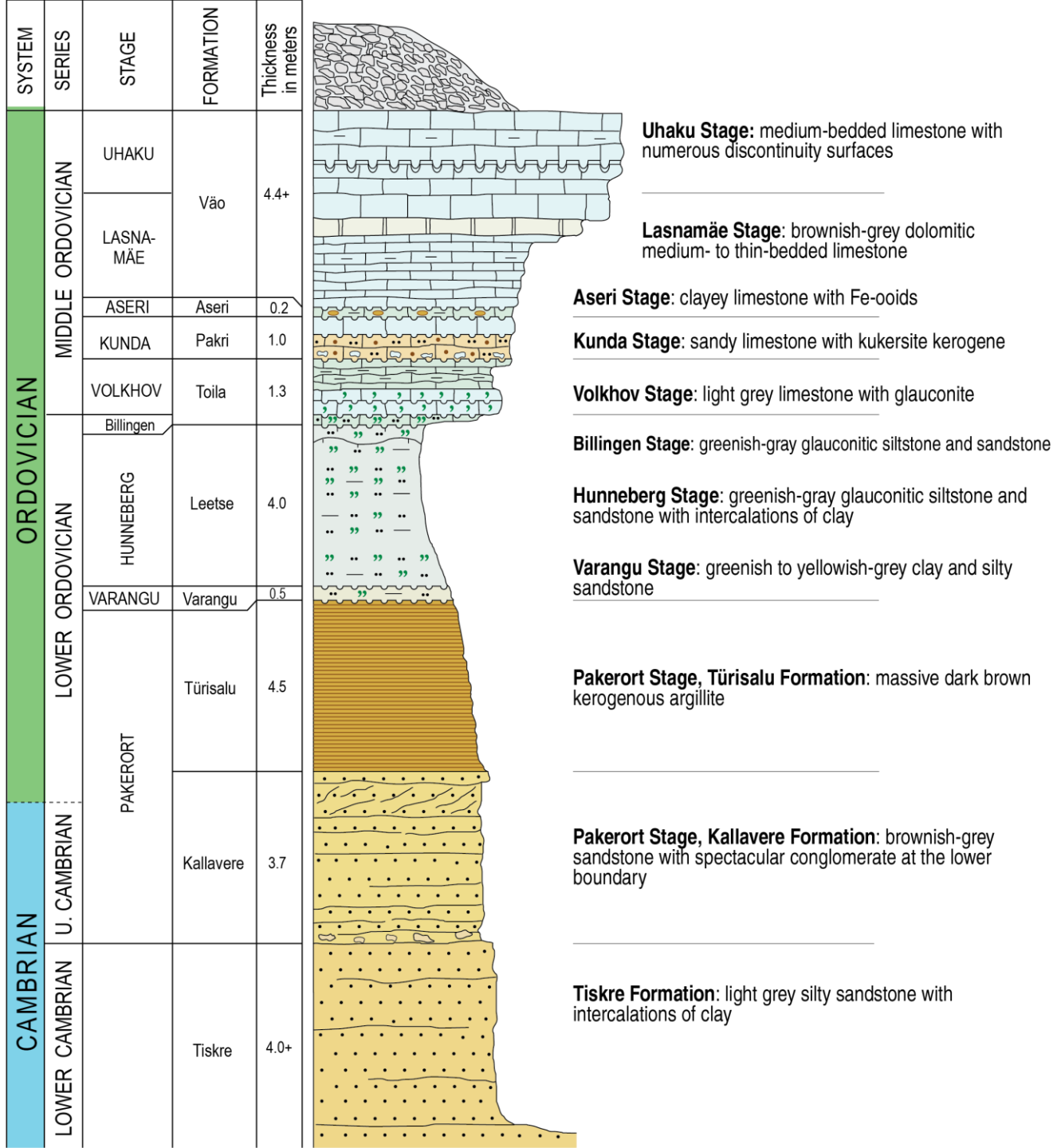


Figure 3. (a) Holocene shore displacement curve with relative shore level indicators for Tallinn area in relation to radiocarbon-dated Vabaduse Square Neolithic cultural layer. A full list of radiocarbon dates and modelled isolation ages is given in Table 2. Shore mark elevations according to Saarse et al. (2003). Baltic Sea stage boundaries according to Andrén et al. (2011). (b) Overview map with the location of the sampling sites and isobases of the highest shoreline of the Litorina Sea.

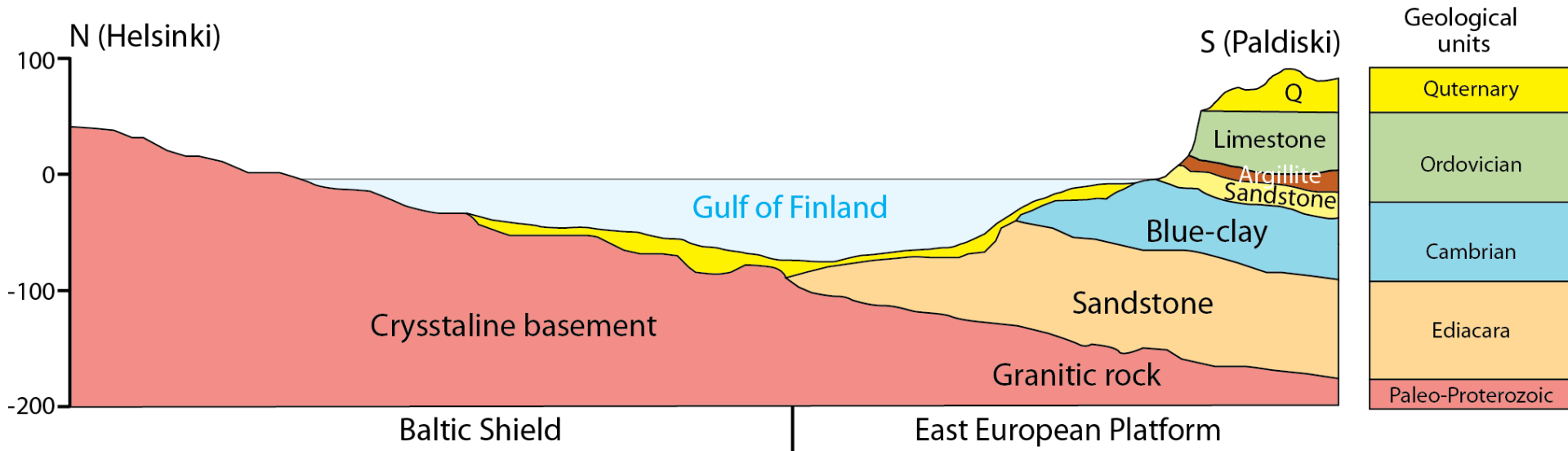
Võimatu! Jõuame nii 50 m sügavusse!



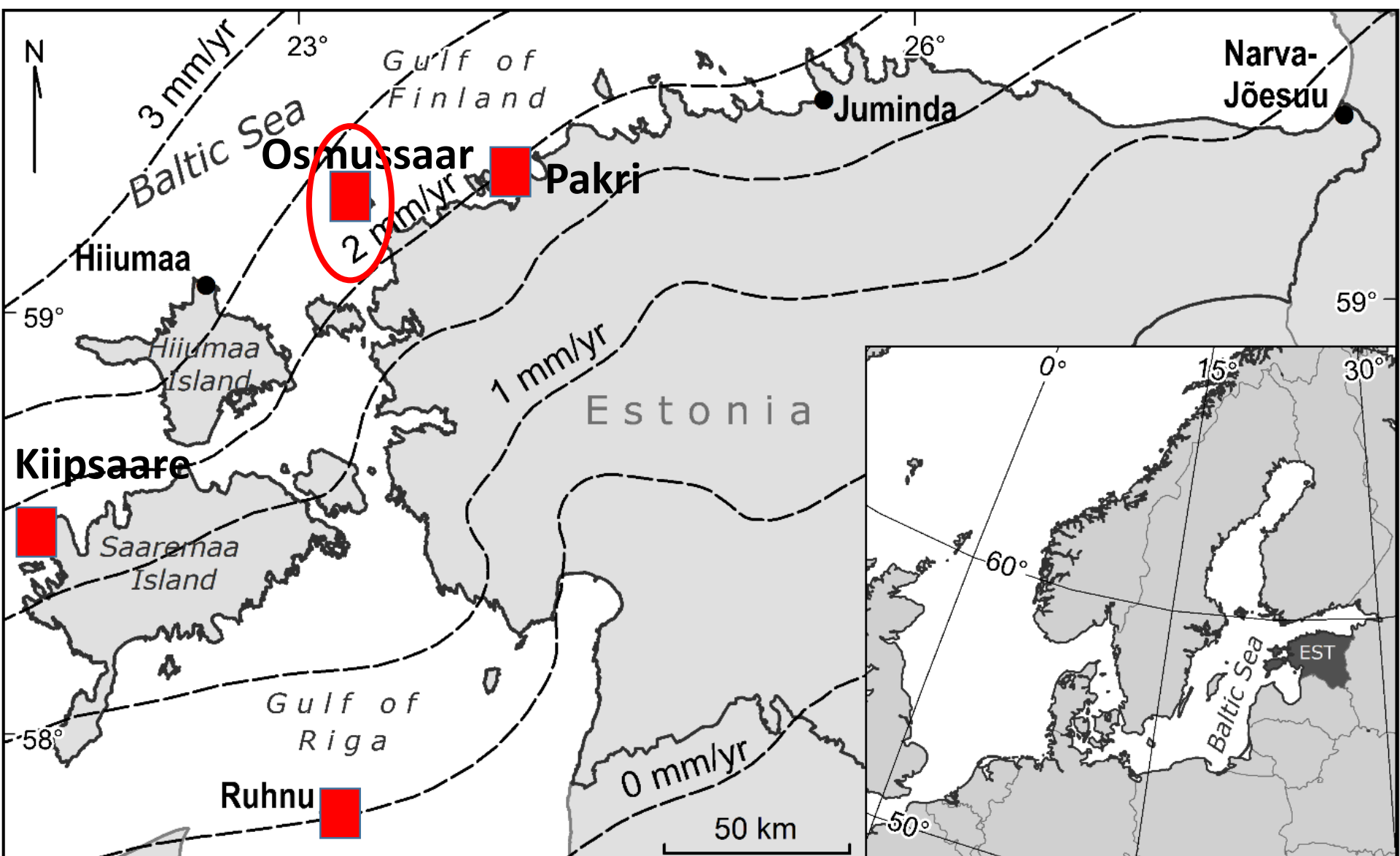
Ülemised 7 m on erosioonile vastupidavam lubjakivi



Peame vaatama sarnast ala, kus on täna sama kõvad kivimid kui ca 7000 a tagasi Pakri pangal.



Osmussaar:



Osmussaar – Lubjakivi pank

- Baltsaksa palaeontoloog K. E Eichwald kirjutas oma 1840 a reisikirjas, et Osmussaare tuletorn ehitati **1765, seitse sülda** (1 vene süld on 2.16 m) **merest**.
- Setteid on selle ajajooksul erodeeritud ca. **0.5 m³/a** rannajoone m kohta.
- ca. **240 a** on rannaastang **taganenud 17 m** või ca. 7 cm/a keskmisena.



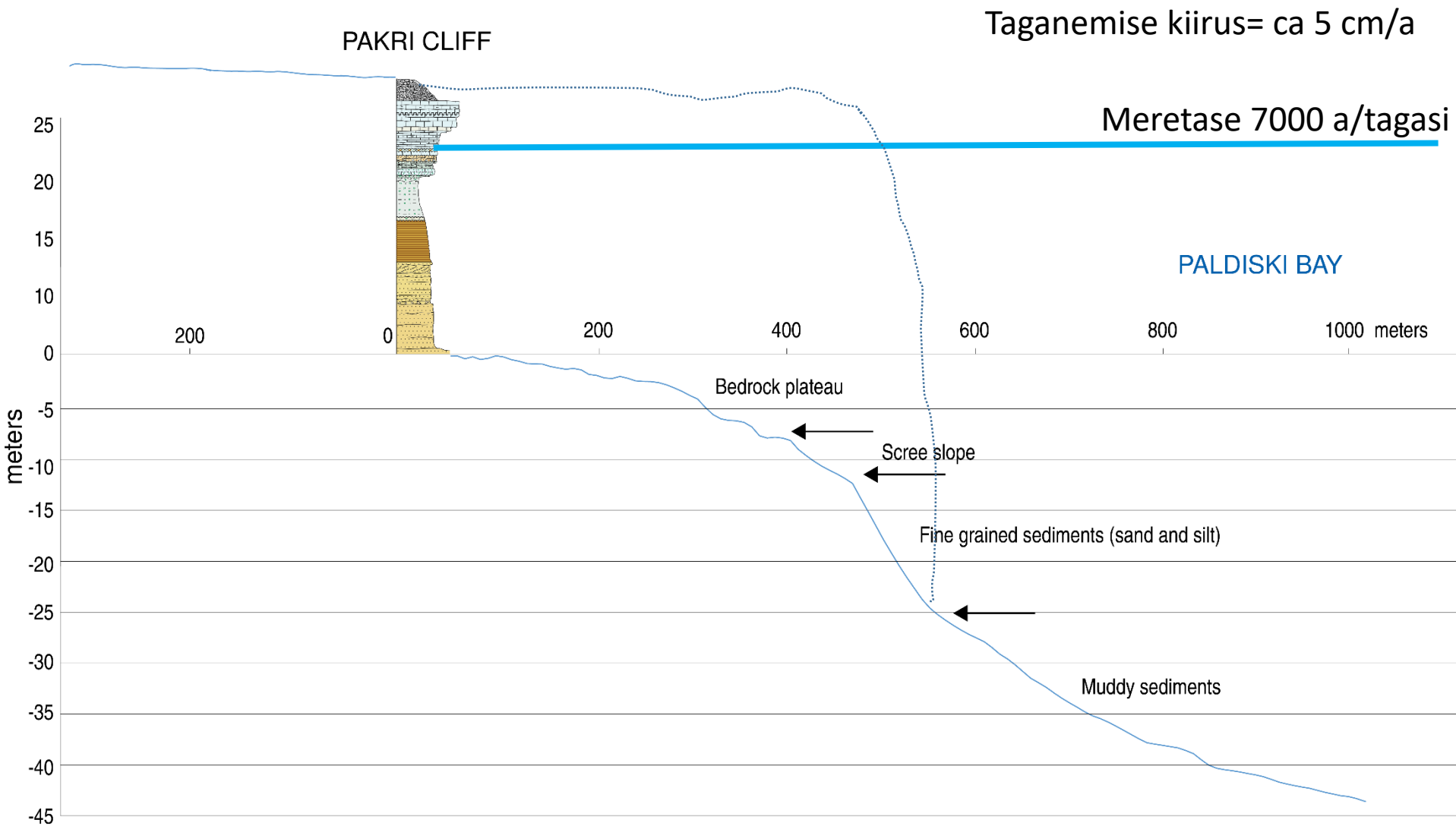
Arvutus: Maakerge= 2.5 mm, lubjakivi pangaosa kõrgus 6 m

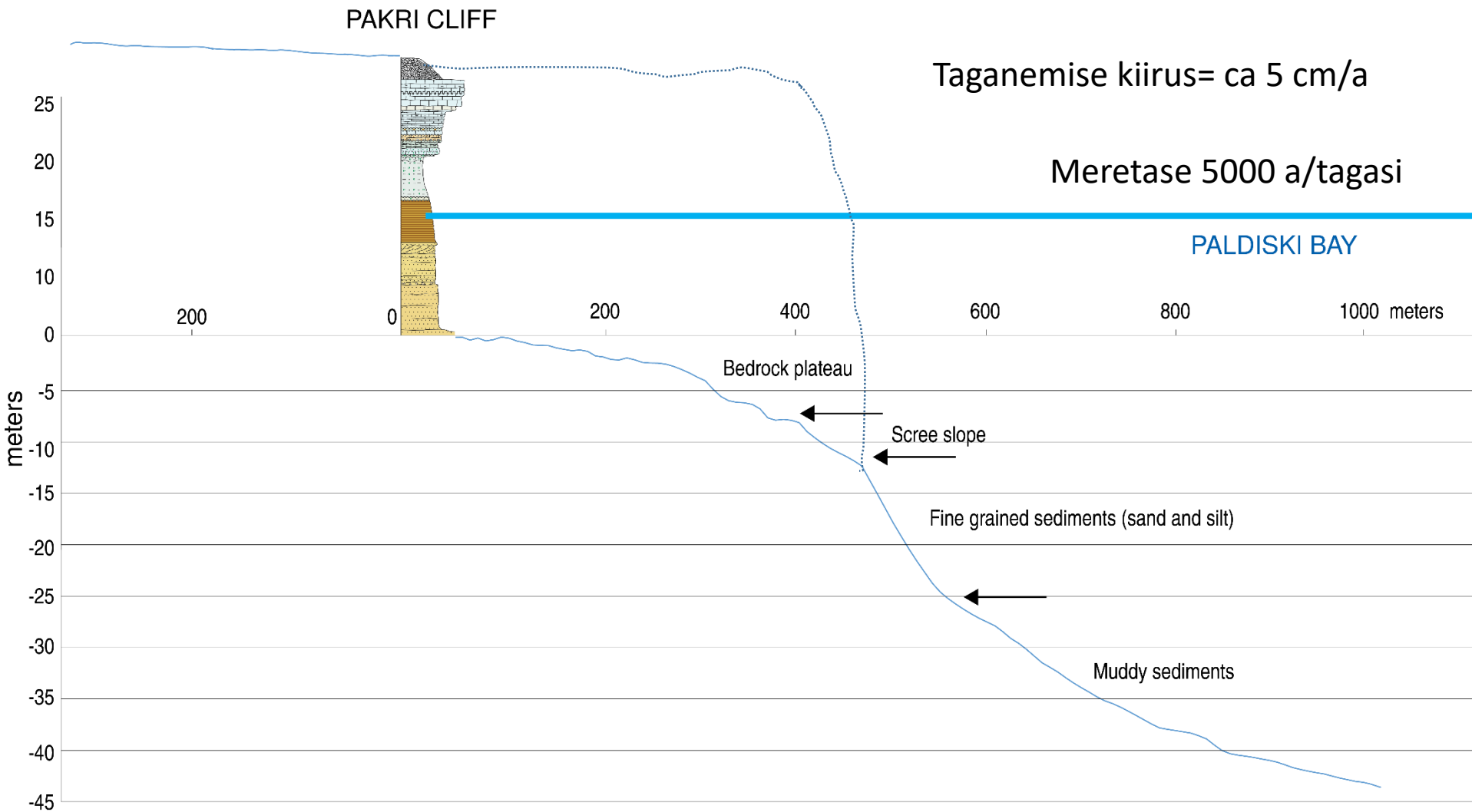
Vanus = 2400 a

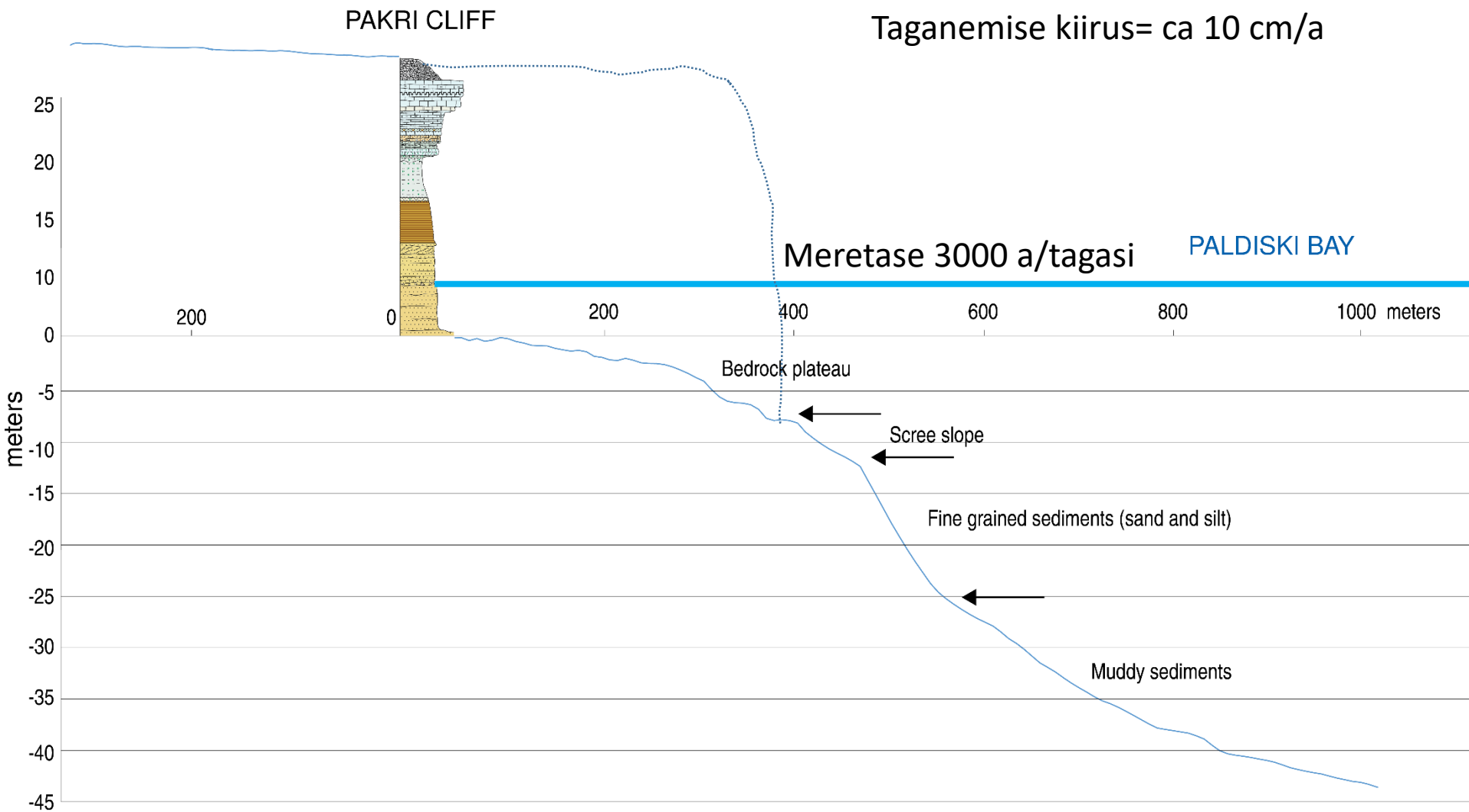
Taganemise kiirus = 7 cm/a = ca 170m kokku

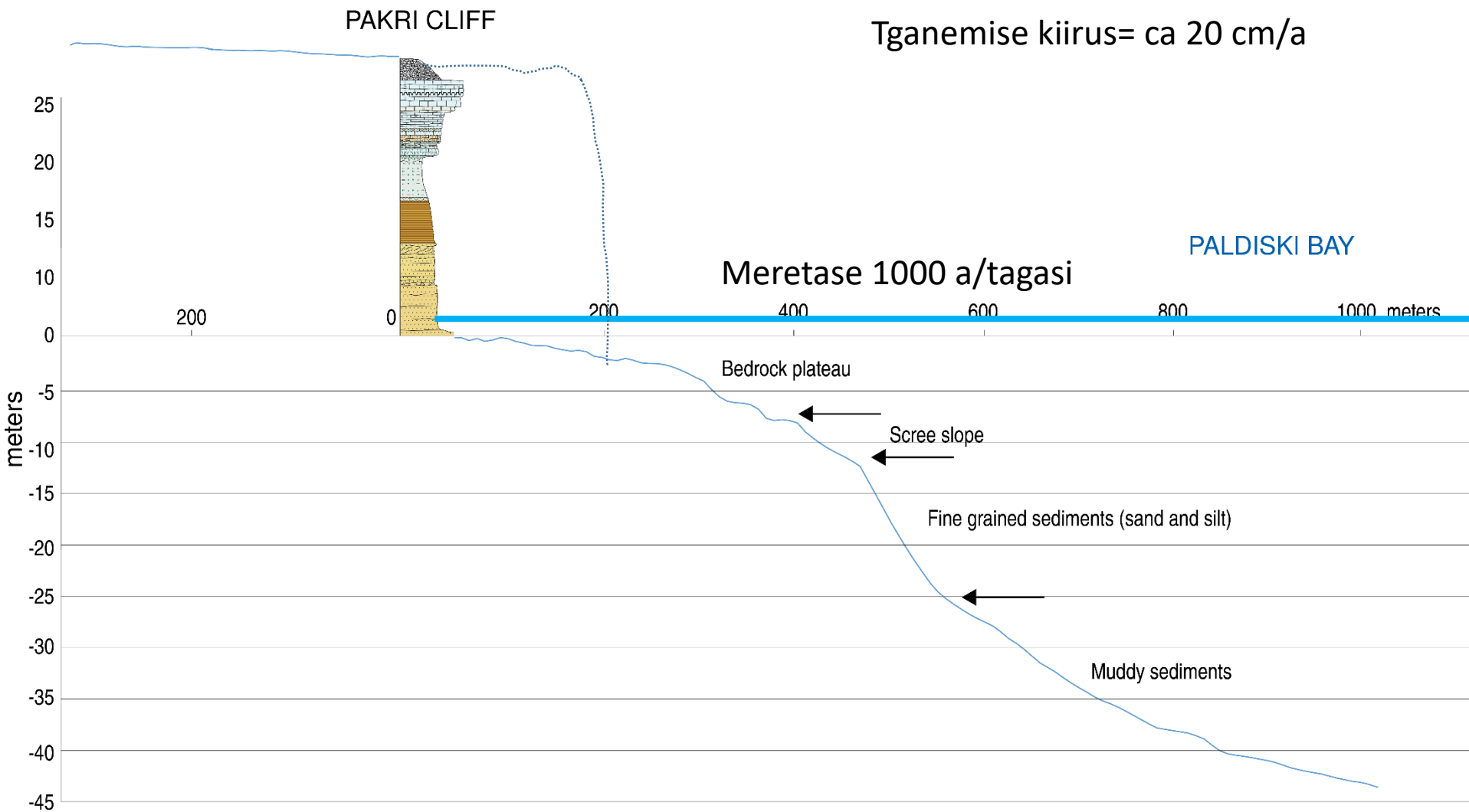
Eri perioodide kiirused - saame veealuse pangajärsakuni



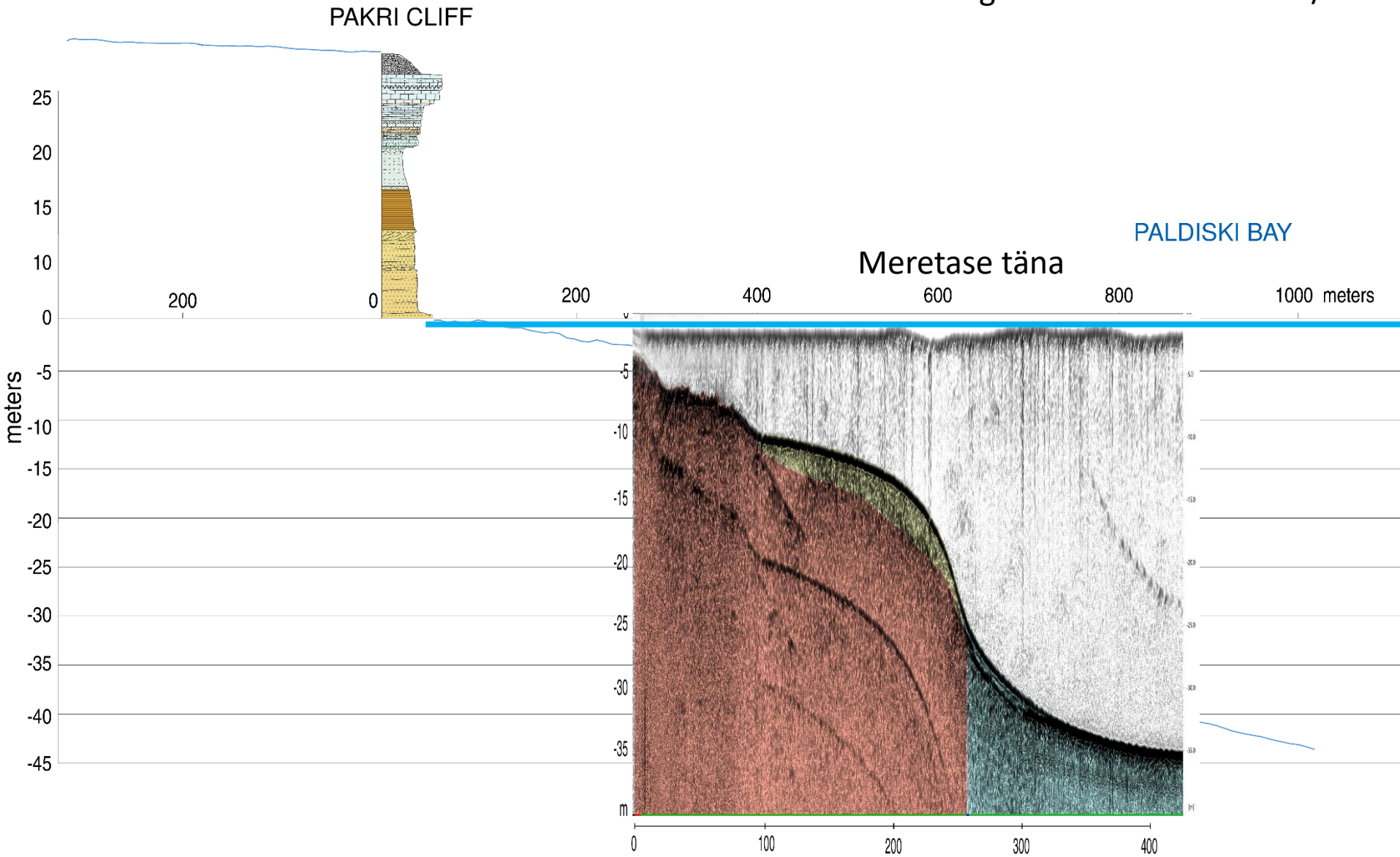


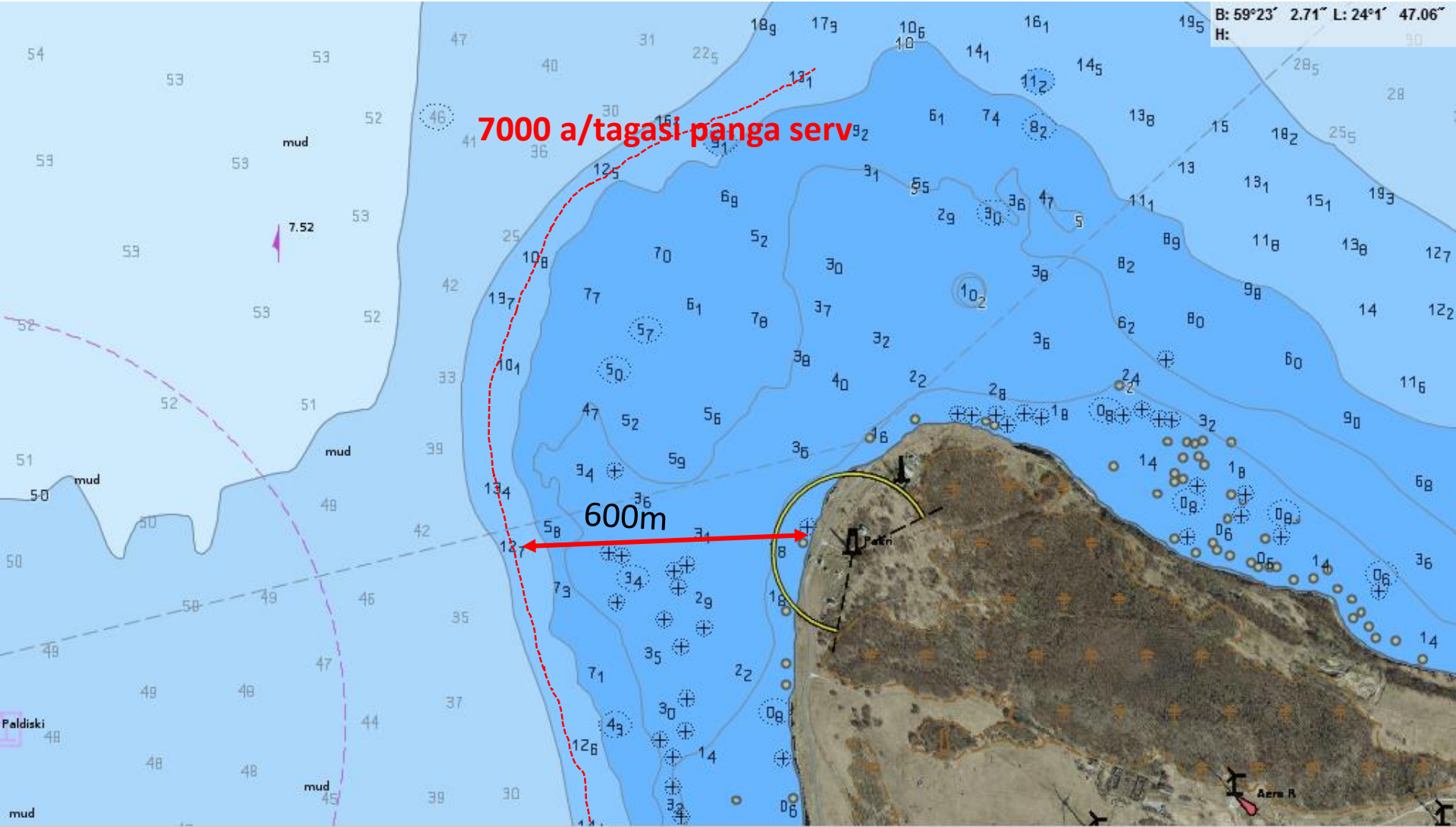




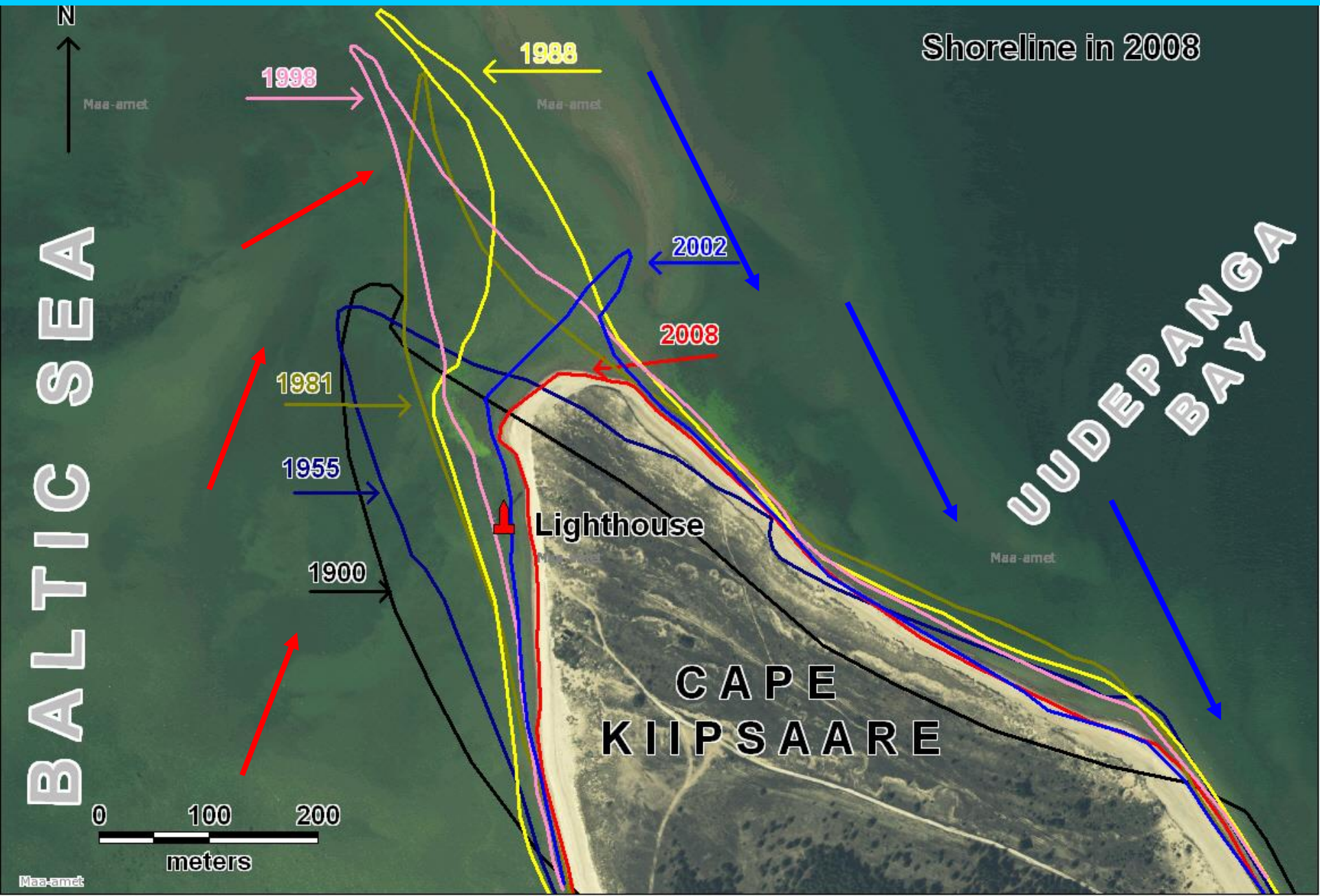


Taganemise kiirus= 20 cm/a



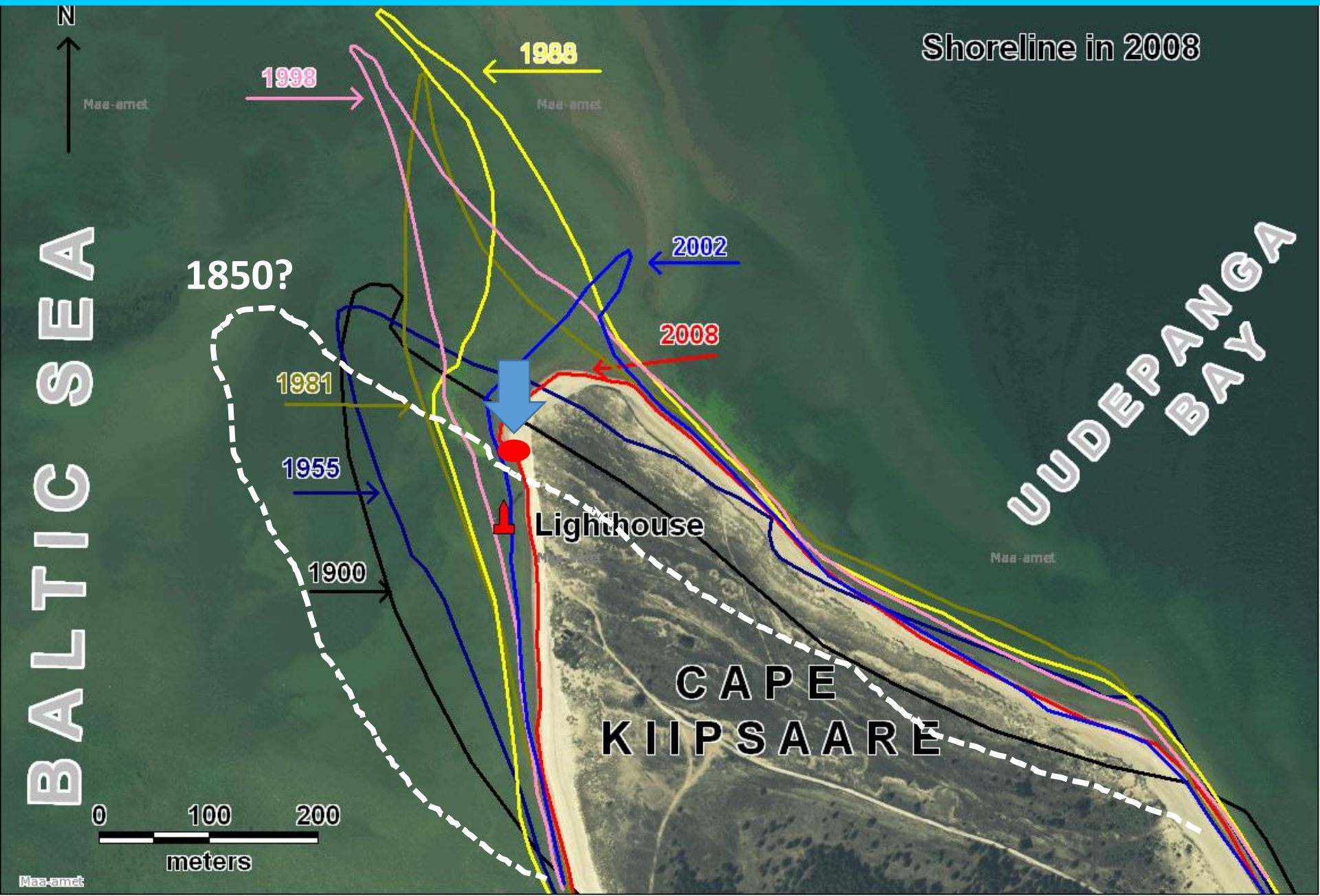


Proovime ajas minna rohkem tagasi ka Harilaiul





Rannajoone muutused harilaiul





Rannajoon 1850?

+30a

-30a

-60a

Ca 1850



-30a



-60a



Ca 1850



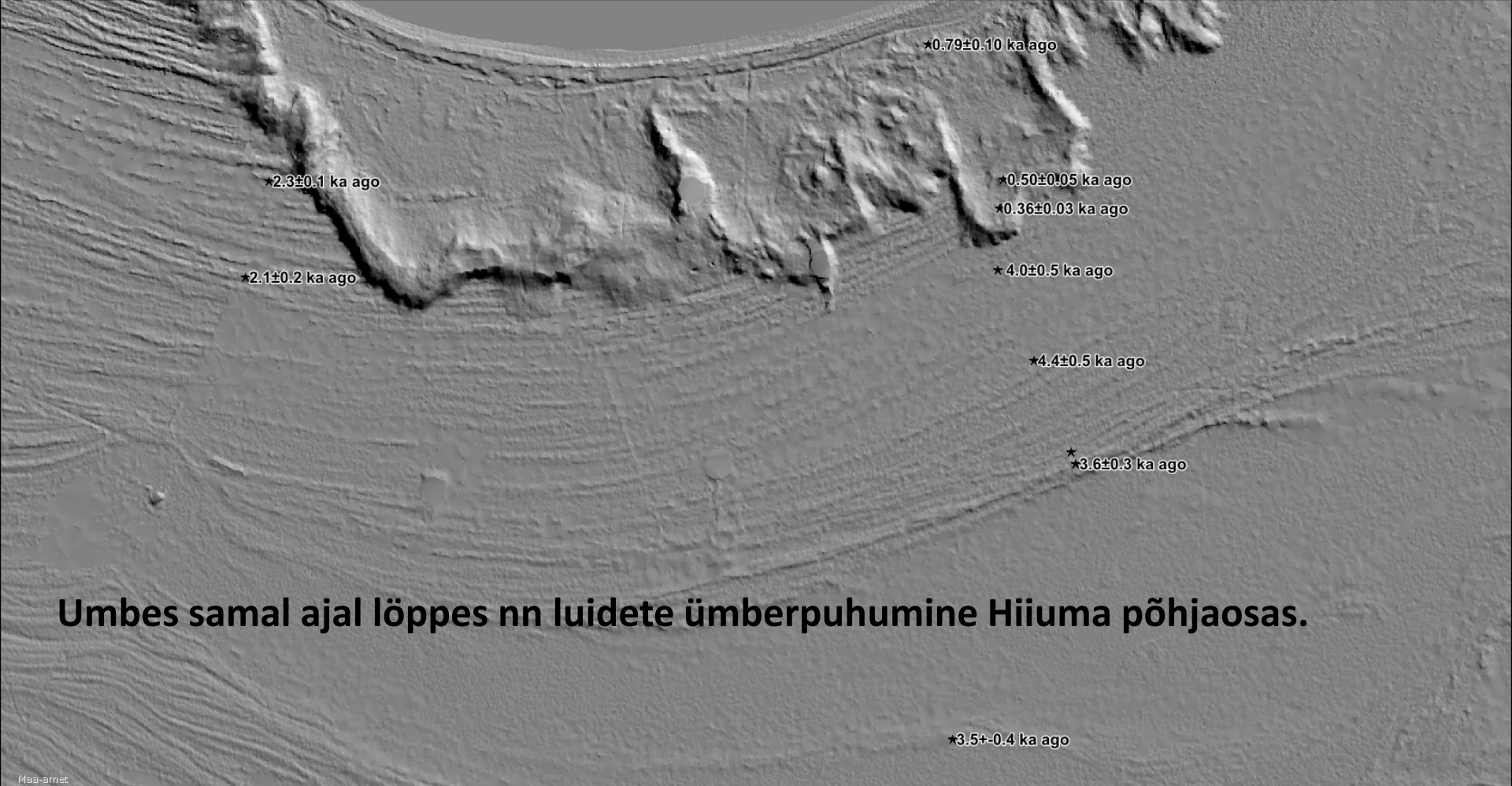
-60a

-90a

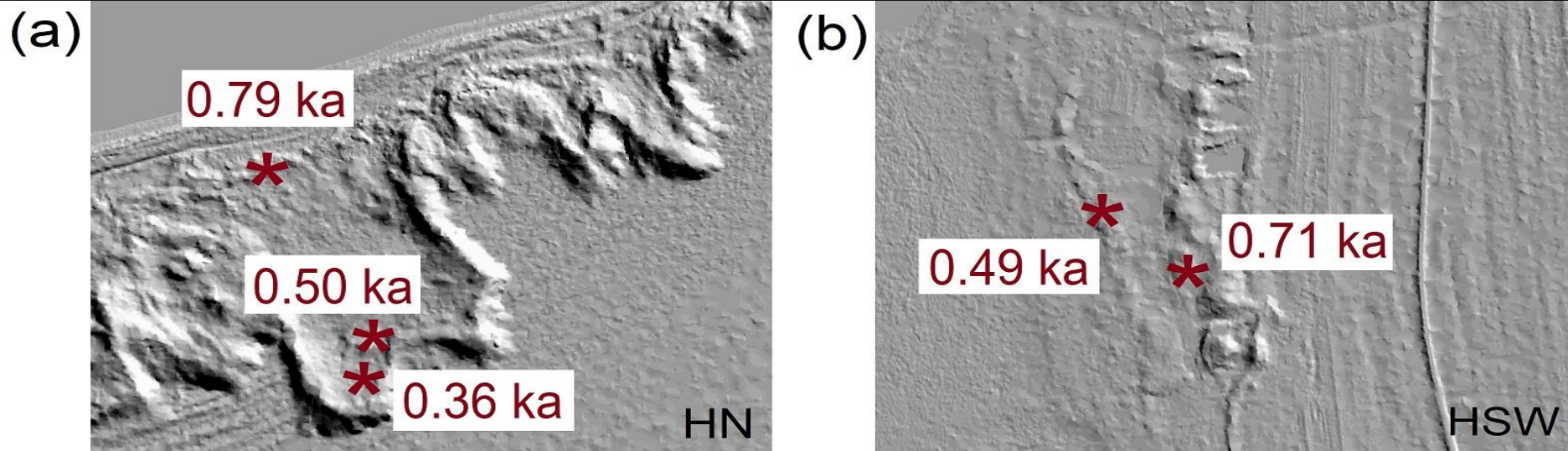
-120a

Täna risti rannaga olevate vallide moodutumine algas ca. 300 a tagasi, miskit muutus mõjuritest? Väikese jääaja lõpp?

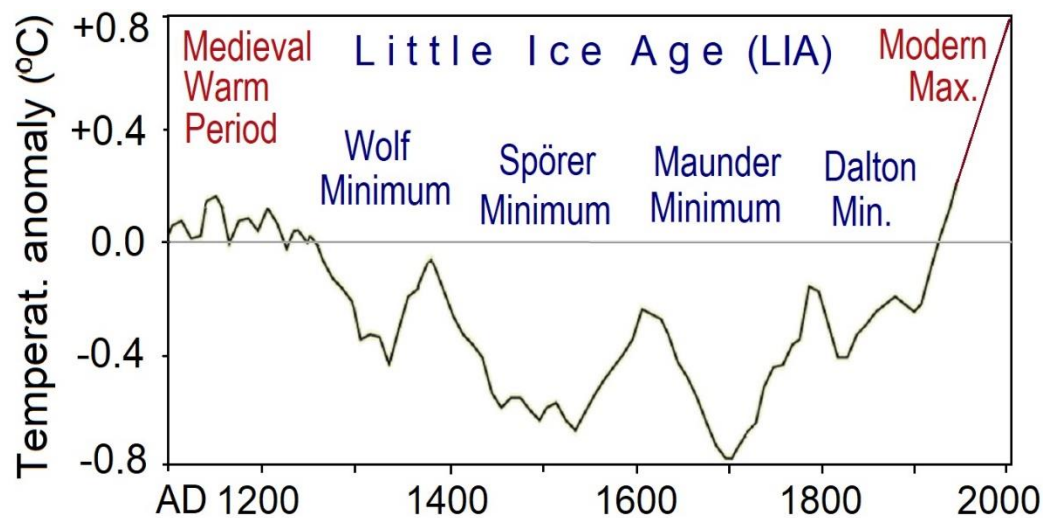




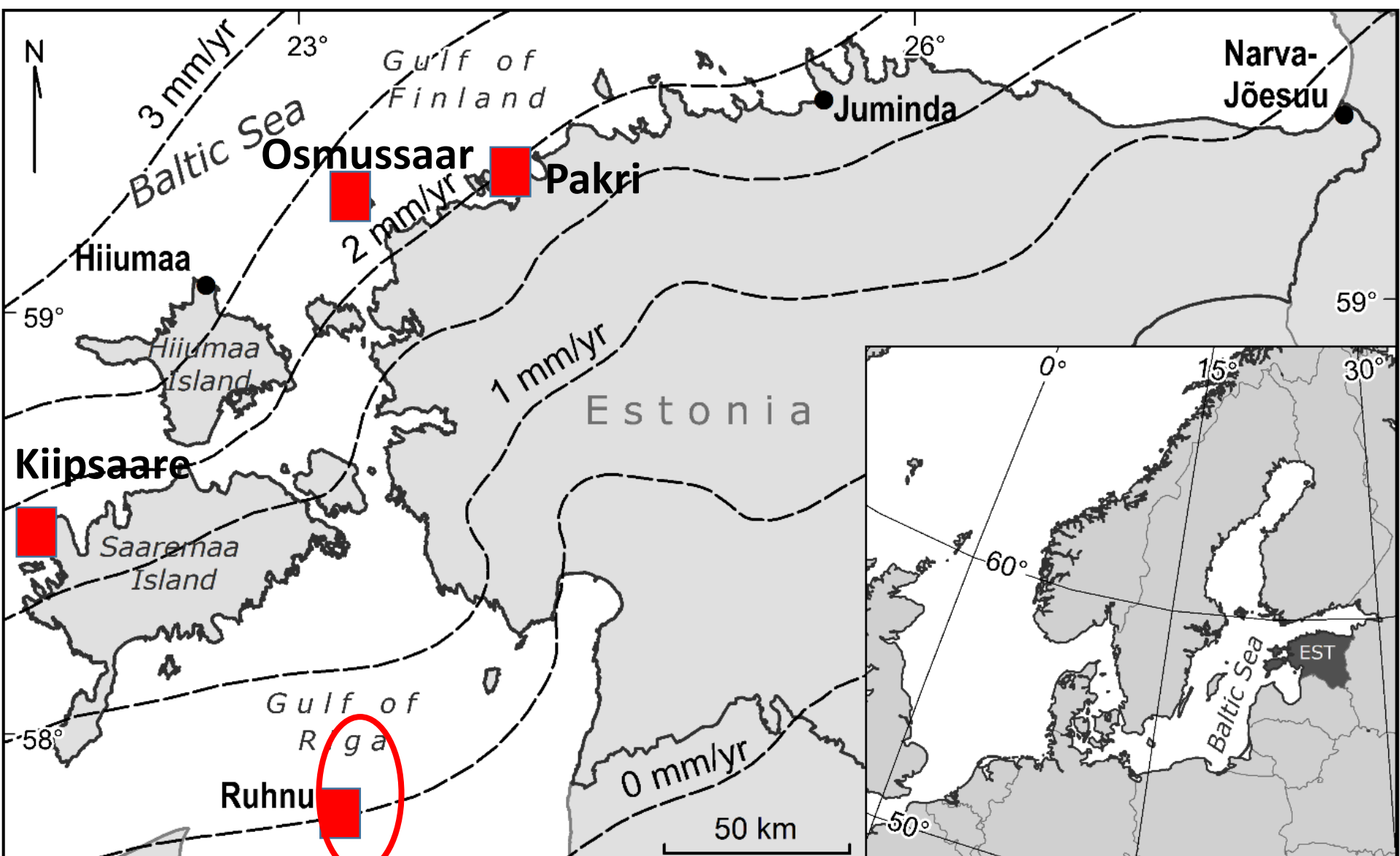
Luidete vanus enamasti 300-800 a, (OSL põhjal)



Luidete teke kattub hästi väikese jääajaga



Ruhnu uuringuala:



Astang liivakivis, Ruhnu saar



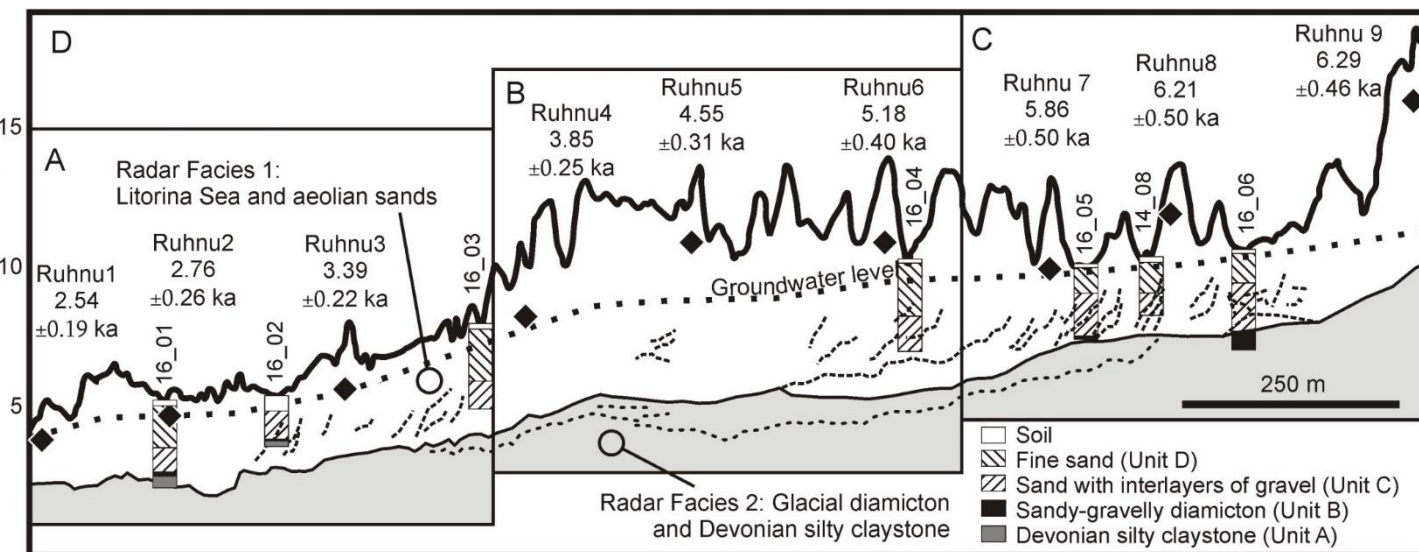
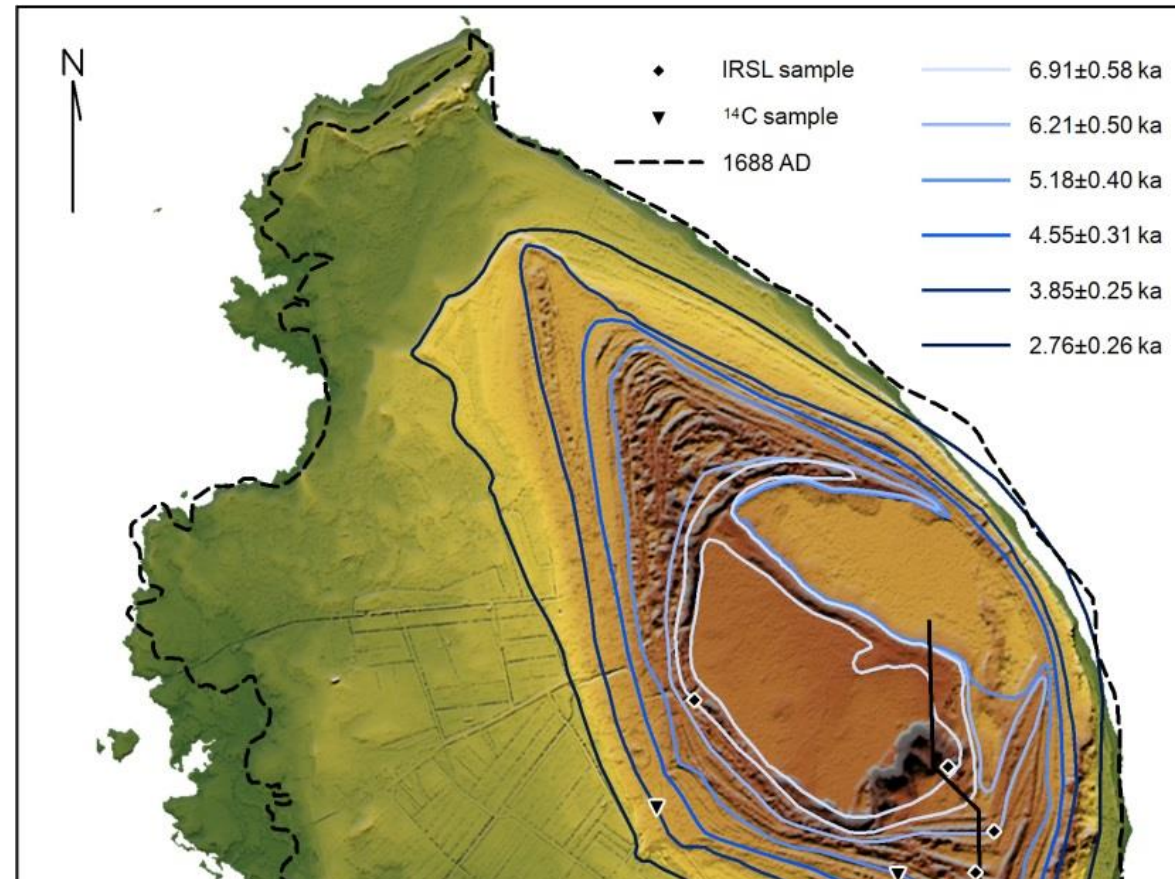
Vähem andmeid, kaardivõrdlus

Rannajoone taganemine idarannikul, avatud rannikul.



An old map of Ruhnu Island from 1688 AD (*Geometrisch Charta öfwer Insula Ruhnöö uthi Mari Livonico emellan Semigalln eller Curland och Lieffland belägen* by the Historical Archives of Estonian, 2004) plotted on present terrain relief shading image (grey). The composition shows the shoreline retreat on the eastern coast and gaining of dry land on the western side of the island.

Astang on seal taganenud umbes 100 m



**See joon ühtib hästi silmaga näha oleva veealuse
madalikuga ortofotol, ilmselt toimus ka siin ca 300 a/tagasi
miskit, mis algatas erosiooni**



Üksikute tormide mõju
rannaprotsessidele ja nende
sidumine merel toimuvaga:





Lainepoiss is innovative buoy, that measures waves in sea and in other bodies of water.

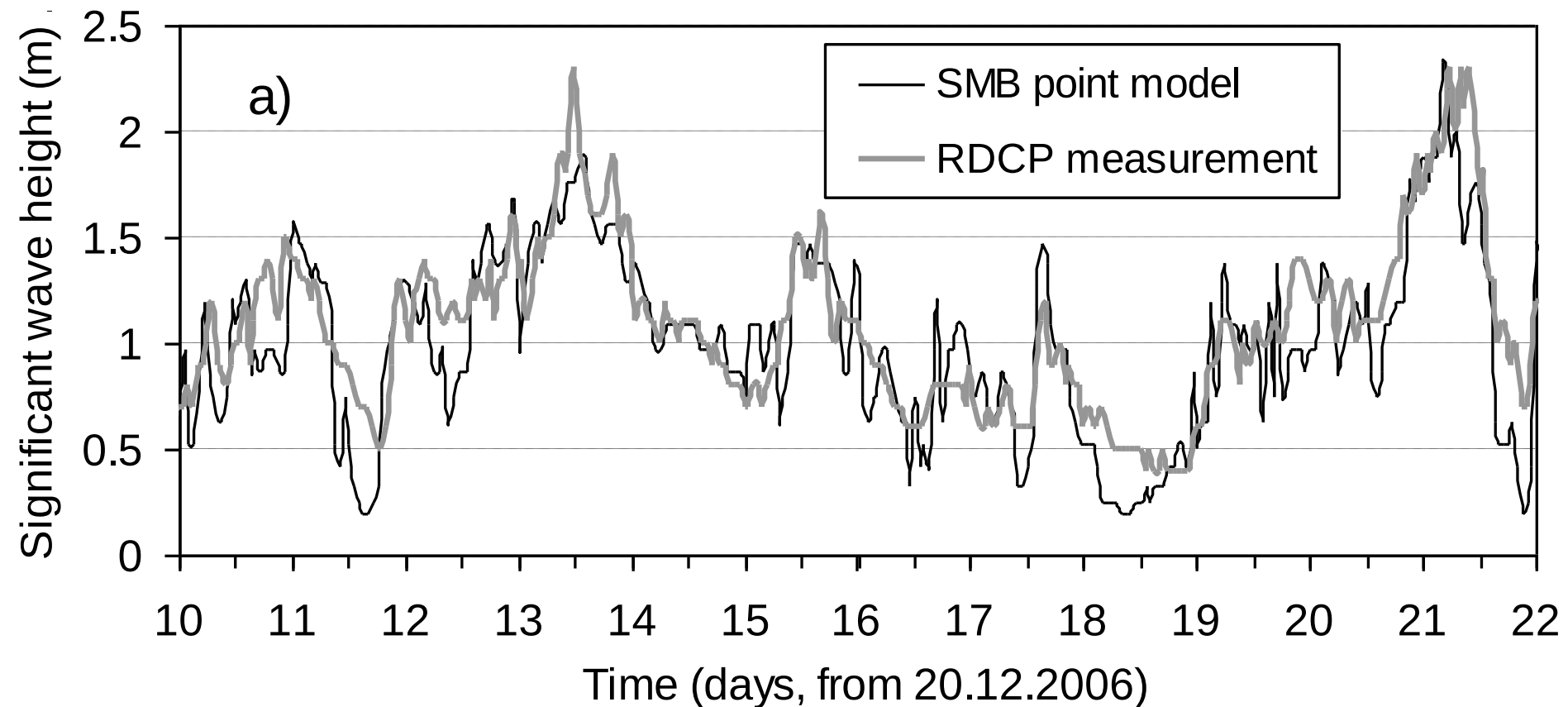
Wave height, direction, period and spectra is calculated every 22 minutes. Device contains also GPS receiver for localization.

Data is transmitted in real-time using 4G mobile or Iridium satellite communication.

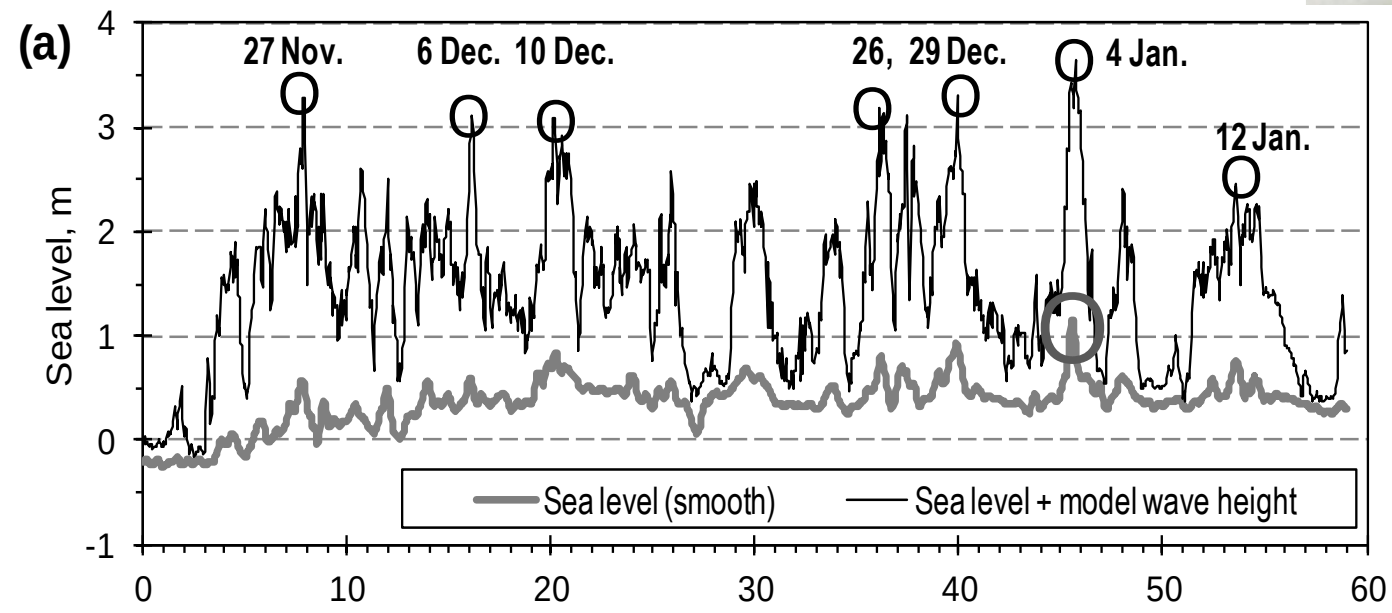
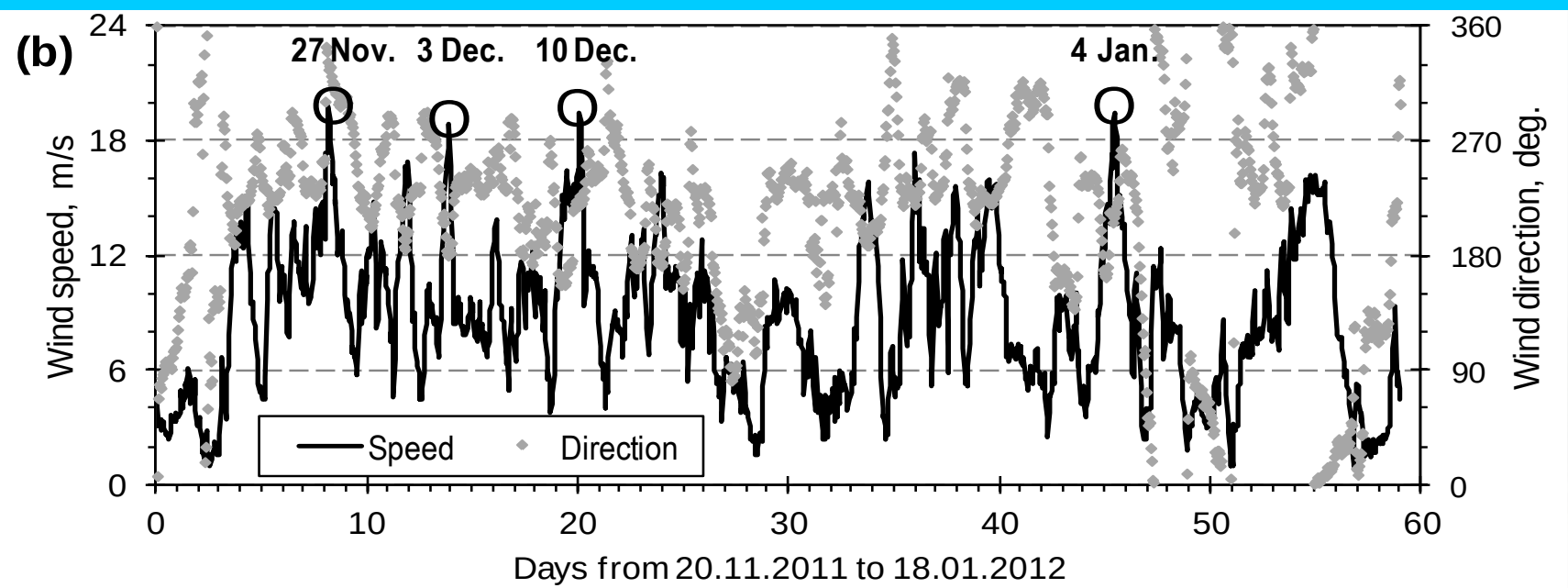
Mõõtmisandmete põhjal saame kalibreerida erinevaid lainetuse mudeleid.

Punktmudel lainetuse rekonstrueerimiseks:

Võrdluses mõõdetud (RDCP) ja mudeldatud lained.



Reaalmõõtmised vajalikud – mudelid kalibreeritakse jne.



2.5 m kõrguse astangu kulutuse kiirus ulatus 0.9 m/h ühe rannajoone meetri kohta. Ärakantava liiva maht võis olla umbes 4-5 m³ 1 m rannajoone kohta, enam kui 20 m³ ühe tormiga

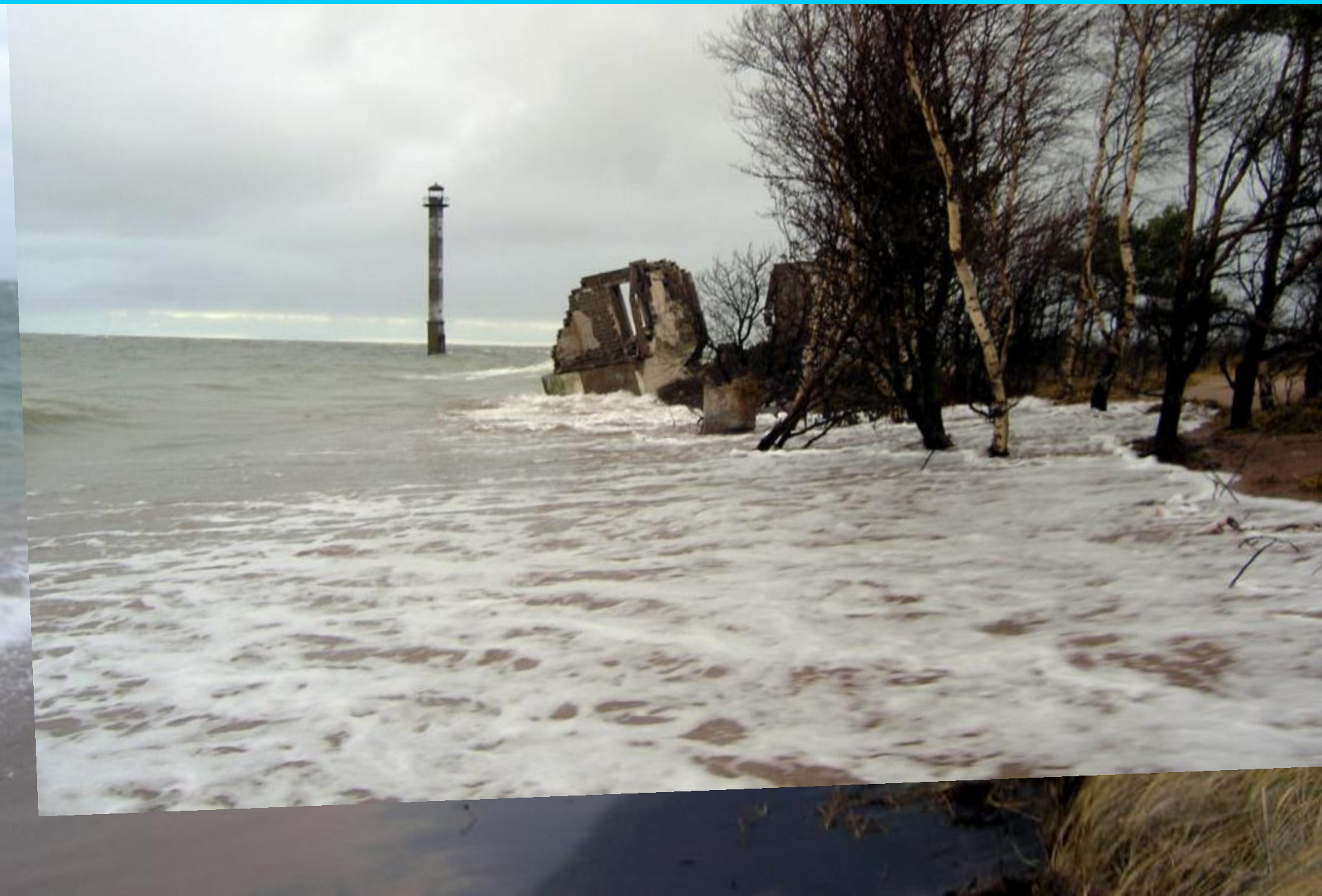


January 2012



Mõned pildid (Kiipsaare)

Mõned pildid (Kiipsaare)



Peale Ullit



Mis on juhtunud minevikus?

Kuidas seda eelnevat teadmist ära kasutada?

- Geofüüsikalise meetodi minevikusündmuste uurimiseks – georadar (Ground Penetrating Radar)



- 500, 270 ja 100 MHz antennid.

Kuidas on võimalik vaadata minevikku?
Tänud tormidest maha jäävatele jälgedele oleme võimalised määrama
perioode suurema tsüklonaalse tegevusega, millal need perioodid on
esinenud ja millise ulatusega sündmusi konkreetses perioodis esines

Rasked mineraalid (tume värv) jälgitav
randades peale torme, kergemad ja
peenemad setted kantakse minema,
raskemad ja jämedamad jäävad alles.





Kuna tegu on kuhjealadega, kus kõrge veetasemega toimub ajutine erosioon, siis seesama raskete mineraalide kiht mattub uuesti tuulega kantud liiva alla – tekitatakse värske geoloogiline kiht



Natike kaevates võime selle kihi juba üsna väikese vaevaga üles leida. Kuna rasketes mineraalides on hoopis suurem elektrijuhtivus, siis on see eriti selgelt nähtav georadari profiilil, mis abiks vanade moodustiste uurimisel

Kuidas sellised valid kujunevad:



Kunda 1995 (K. Orviku foto)



Tugev torm 1999 – kujunesid rannaga parallelsed astangud (K. Orviku foto).



Astang taganes 2001 a ekstreemse tormiga veelgi, värsked eelluited on kujunenud 2002 sügiseks (K. Orviku foto)



Astangu perv on 2009 novembriks tasandunud, astangule on kuhjunud ka veidi värsket materjali, selle ette on kujunenud uus eeluidete vöönd.

Meretase on meie piirkonnas pea ühtlaselt langenud viimased 7500 a.

Muru et al.

7

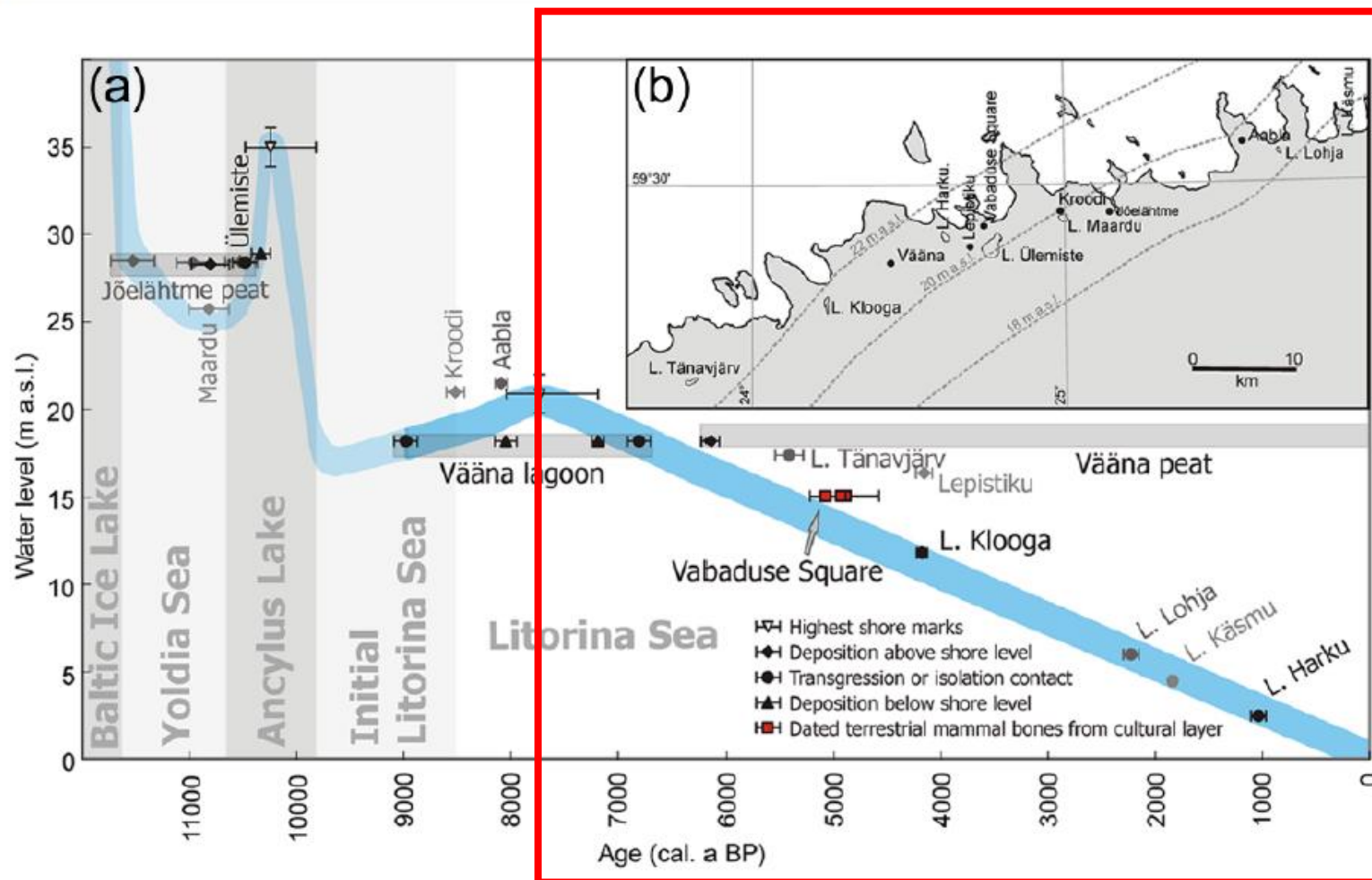


Figure 3. (a) Holocene shore displacement curve with relative shore level indicators for Tallinn area in relation to radiocarbon-dated Vabaduse Square Neolithic cultural layer. A full list of radiocarbon dates and modelled isolation ages is given in Table 2. Shore mark elevations according to Saarse et al. (2003). Baltic Sea stage boundaries according to Andrén et al. (2011). (b) Overview map with the location of the sampling sites and isobases of the highest shoreline of the Litorina Sea.

Tänu maakerkele, info vanades vallides:

2

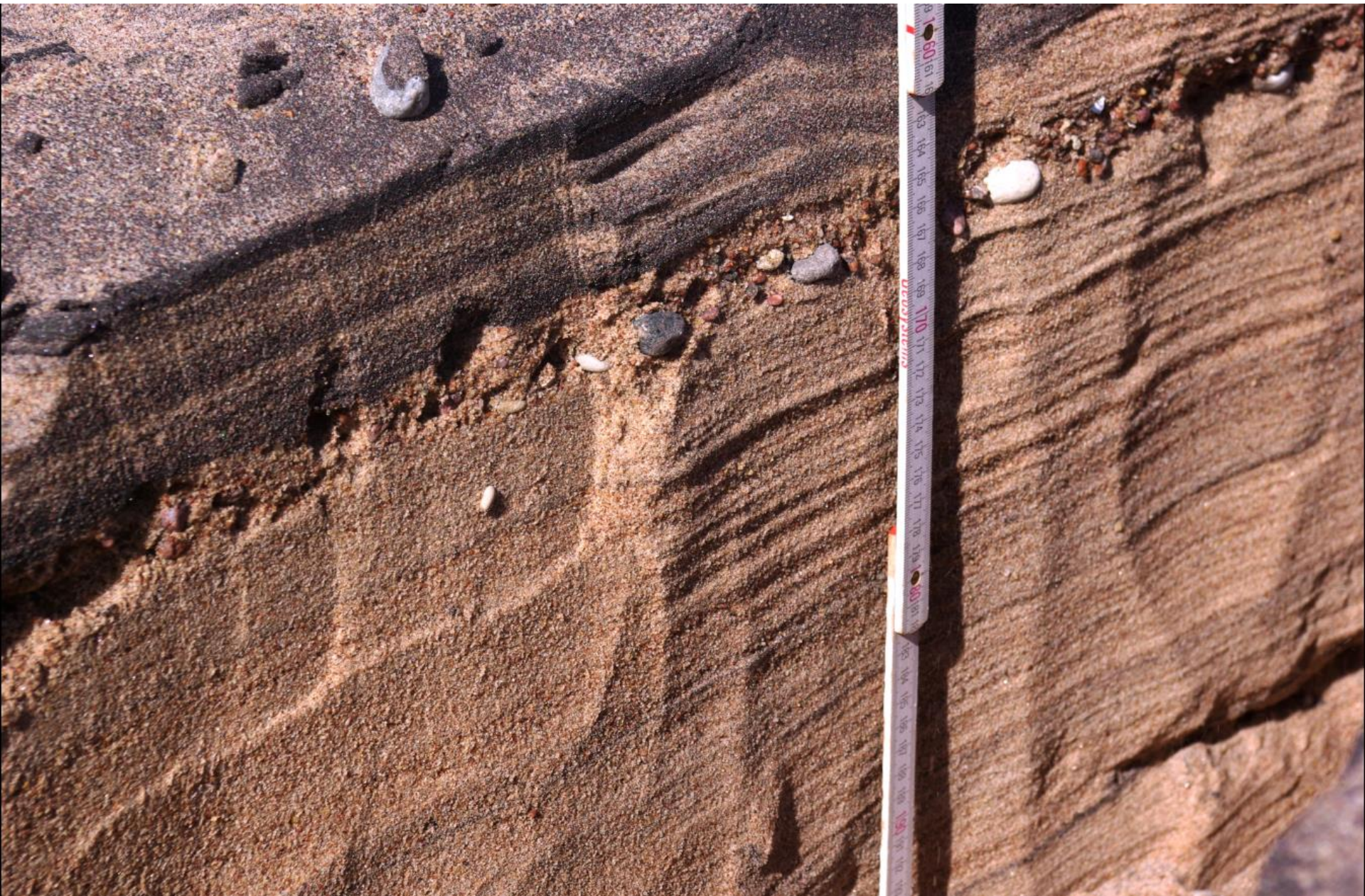
kilometers

Shore parallel ancient
beach ridges

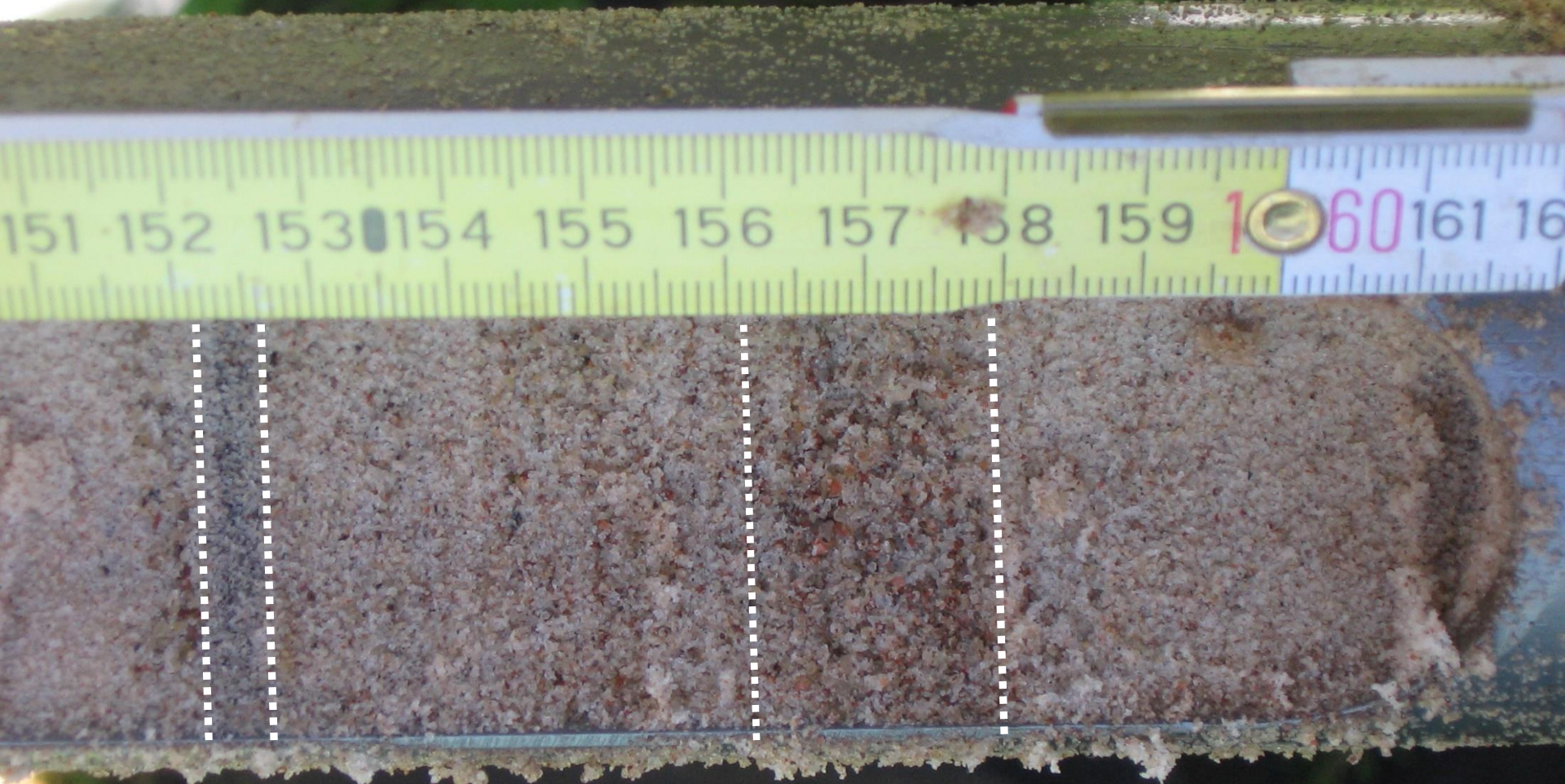
Tahkuna
poolsaar

Estonian Landboard map

Tormijärgne raskete mineraalide kiht:



Samad kihid on nähtavad puursüdamikes

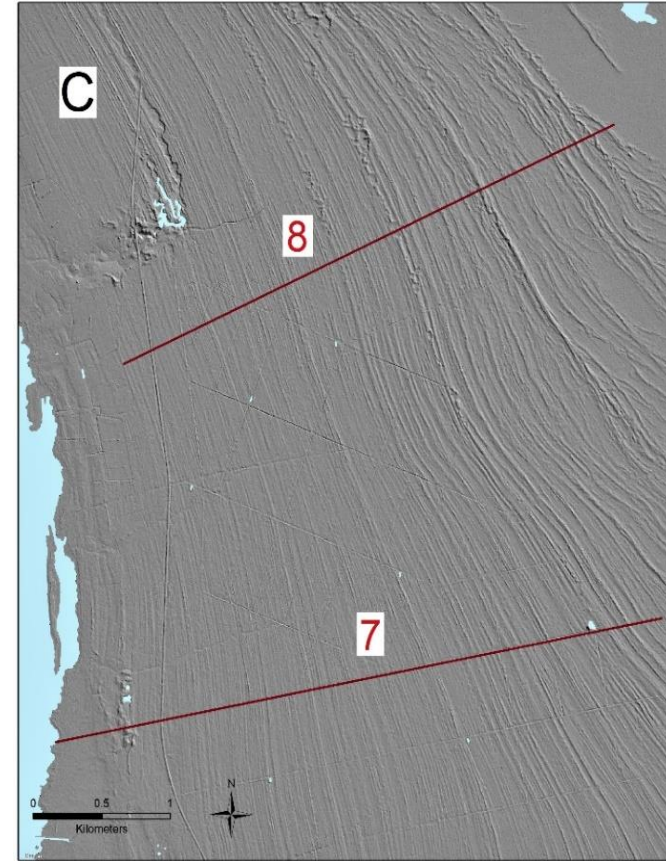
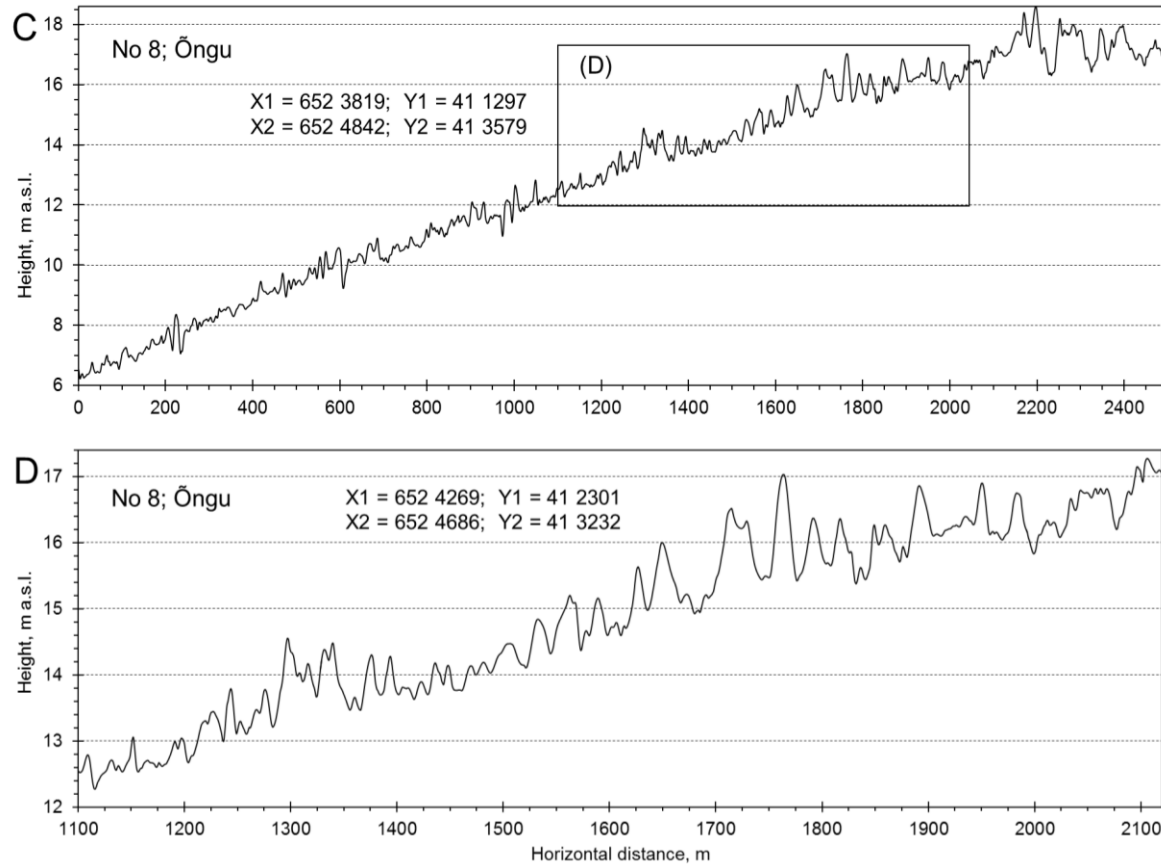


Vaatame kõigepealt natuke statistikat nende mustrite kohta

Vähemalt 30 sellist kohta Eesti rannikul

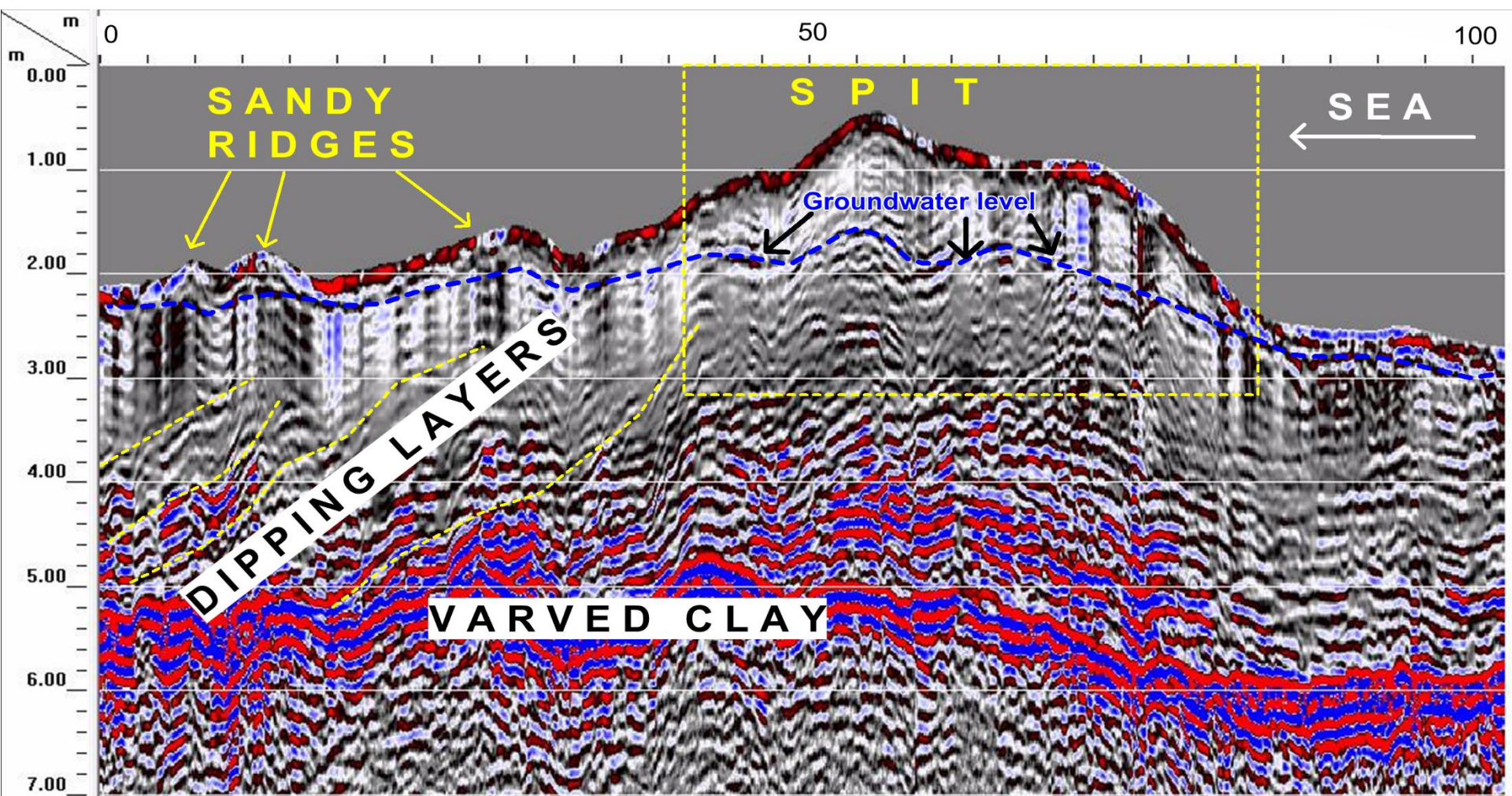
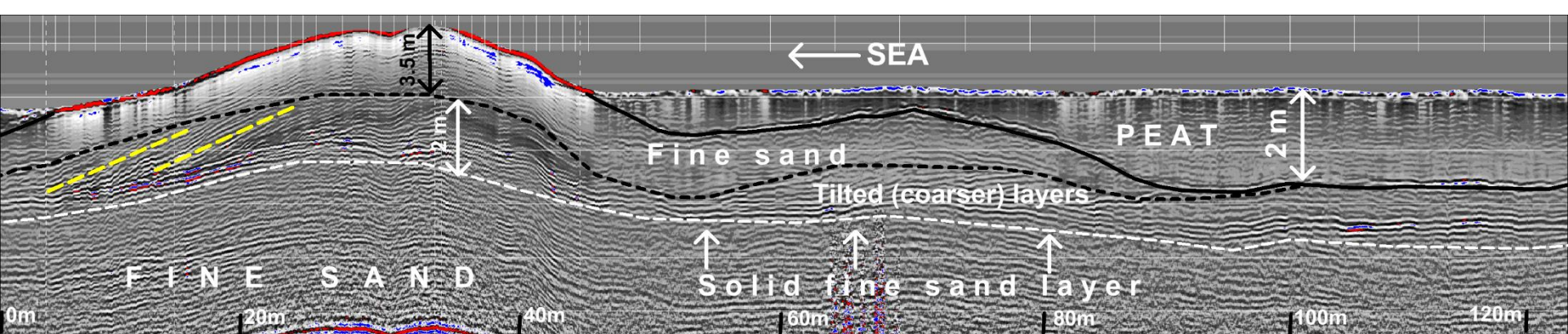


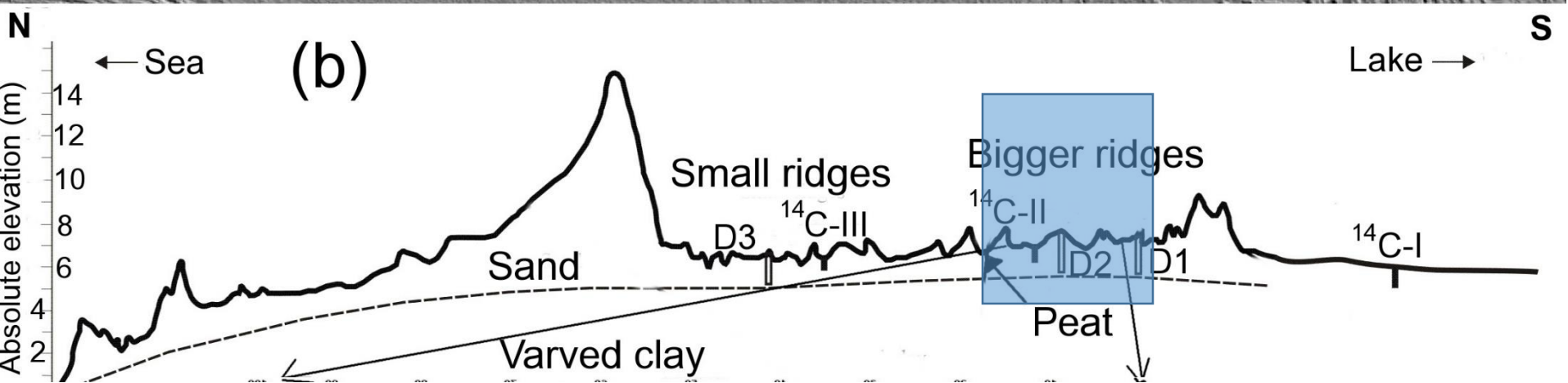
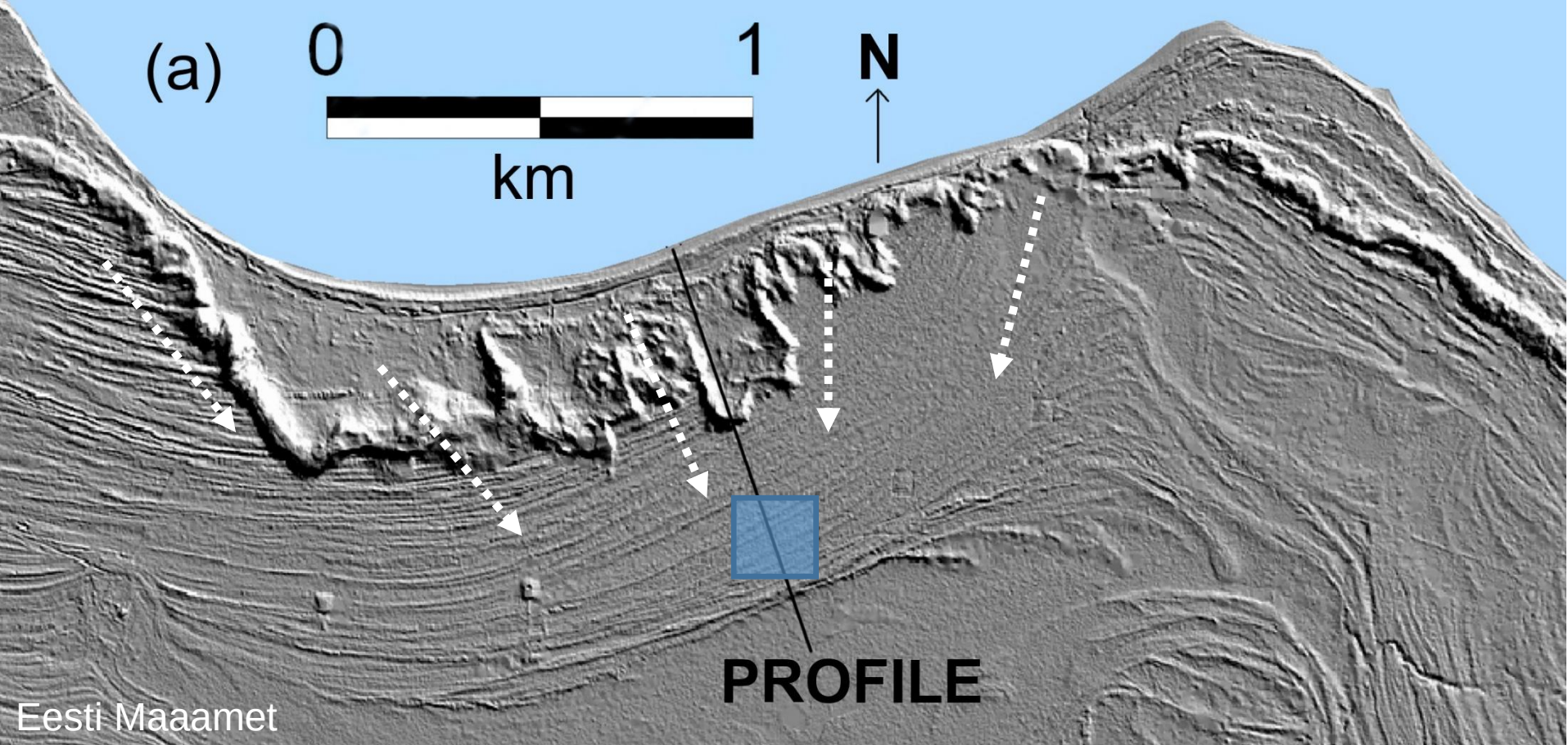
Millised näevad välja ristprofiilid:



Examples of LiDAR profile sections at Õngu, Hiiumaa; L-EST97.

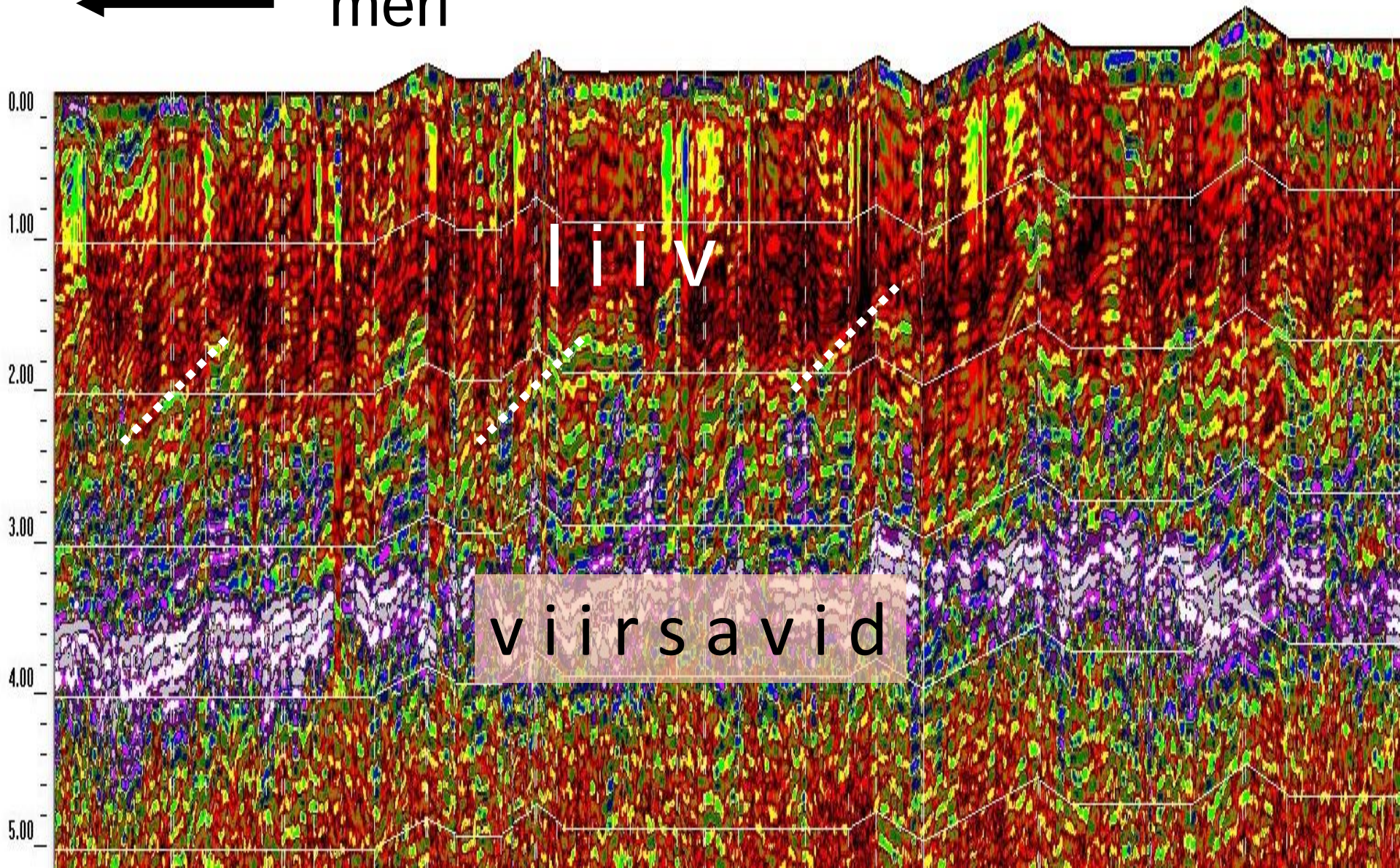
Relatively fast (3 mm/yr) uplifting coast with adequate sediment supply and forcing. Uplift and vegetation preserves the old patterns. Possible contribution from a self-organizing accumulation mechanism.

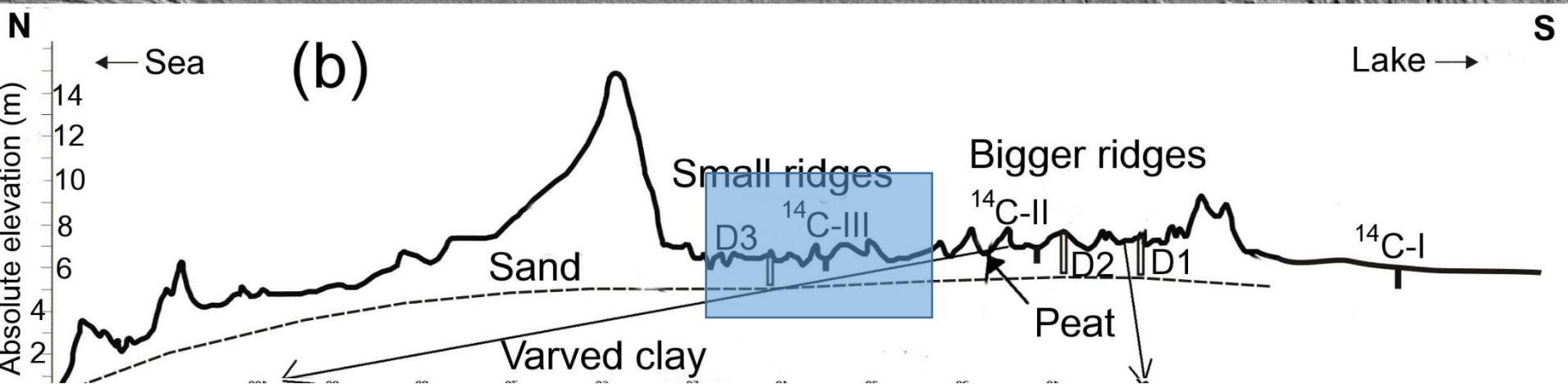
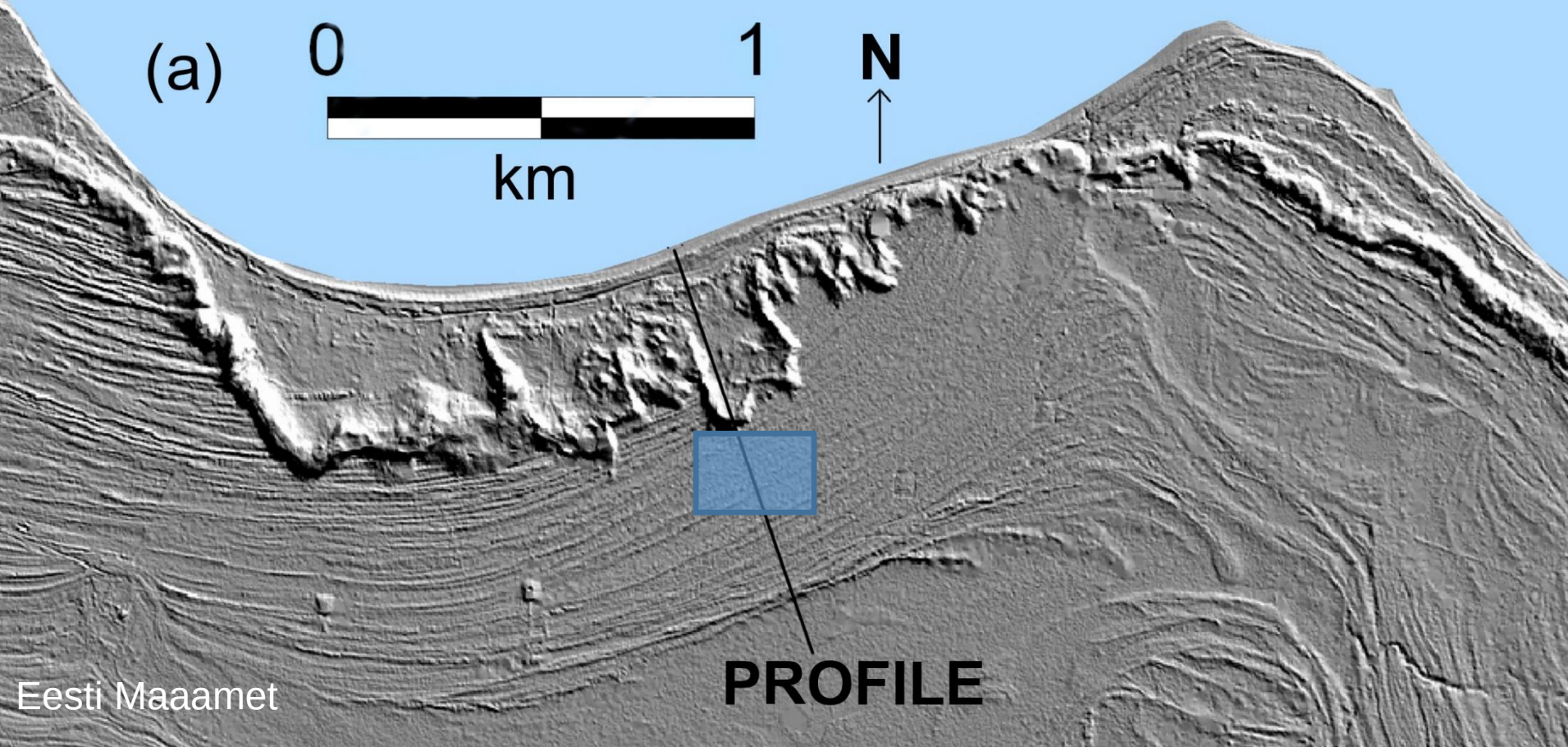




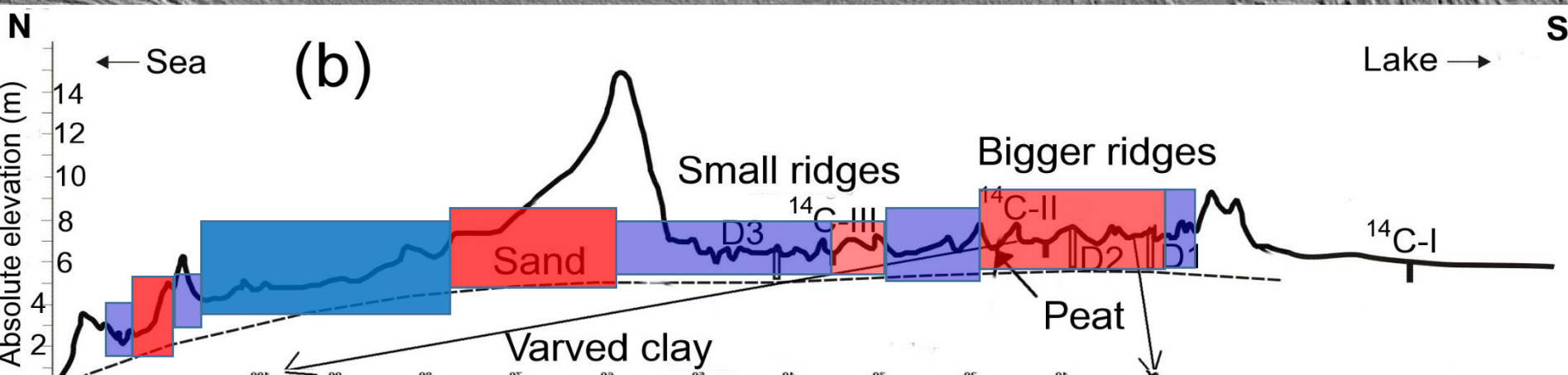
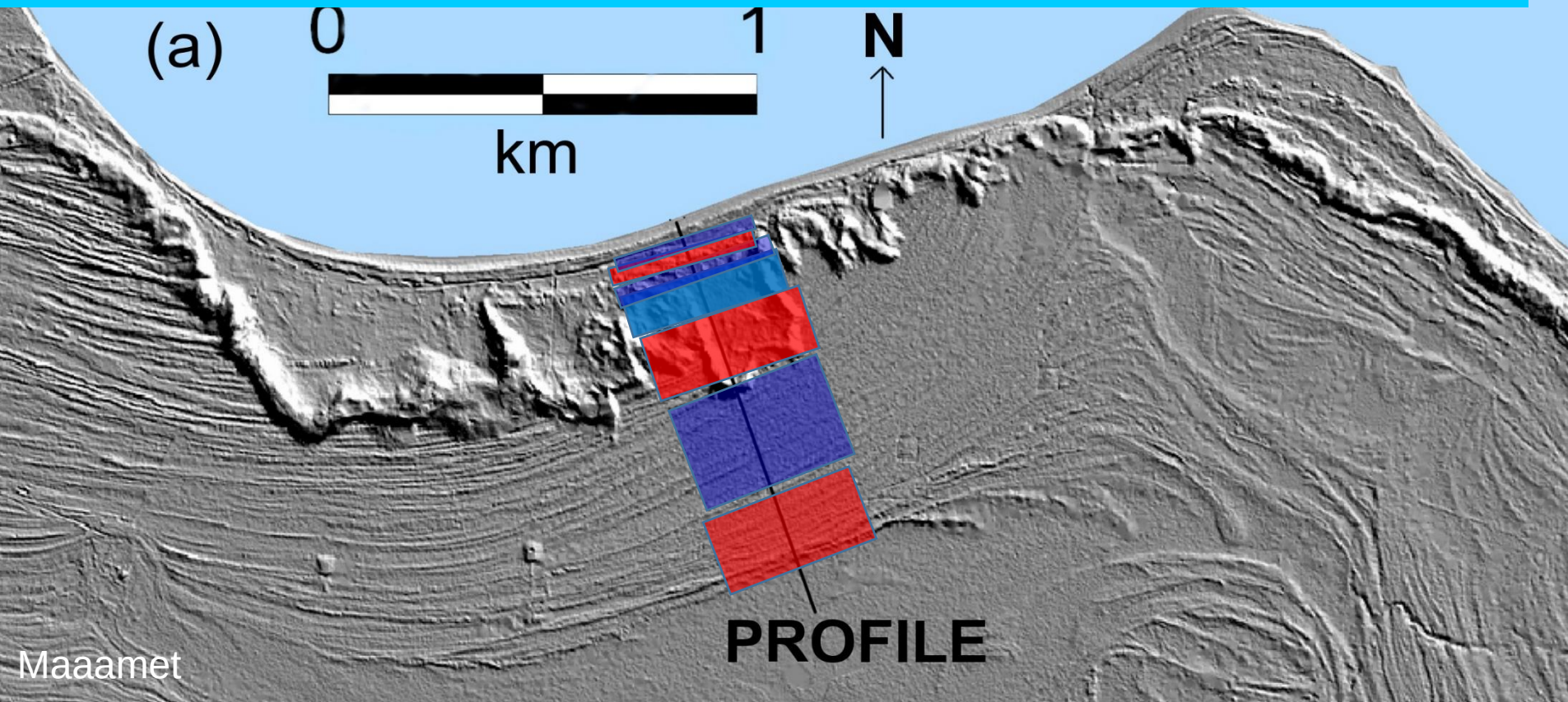
Viltused kihid puuduvad või väga lühikesed, vallid madalad, sageli mattunud turbakihi alla, liiva vähem – loiumad protsessid.

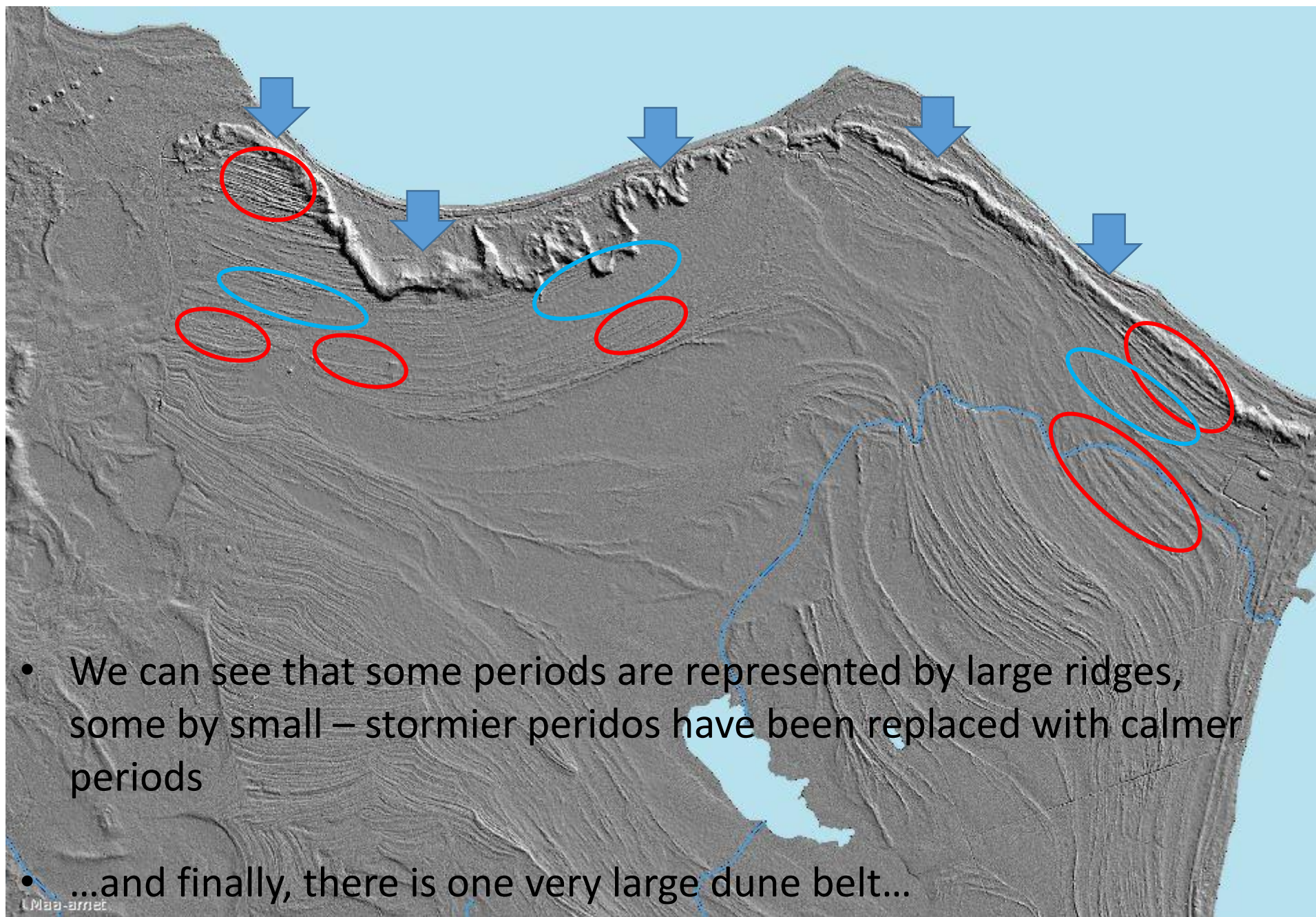
← meri





Vaiksed ja tormised perioodid minevikus

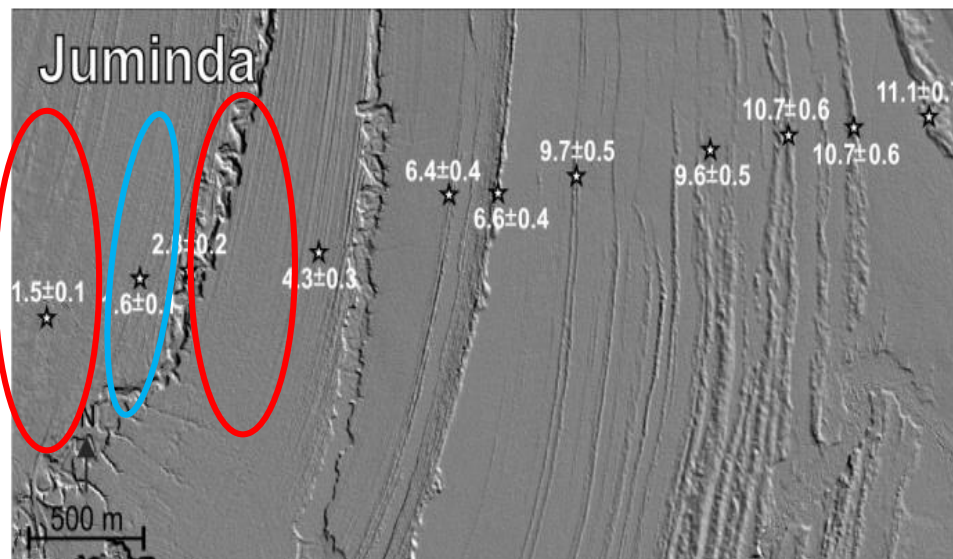
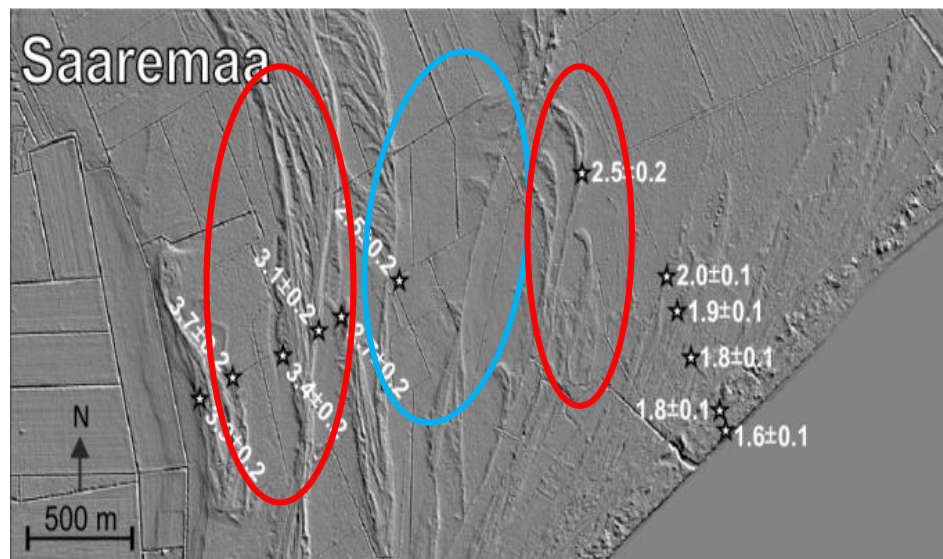
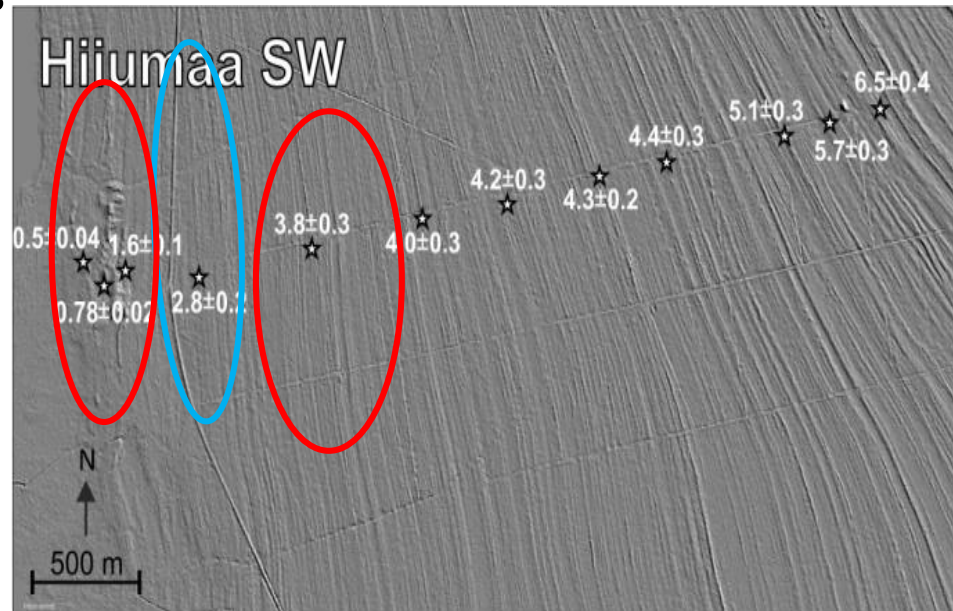
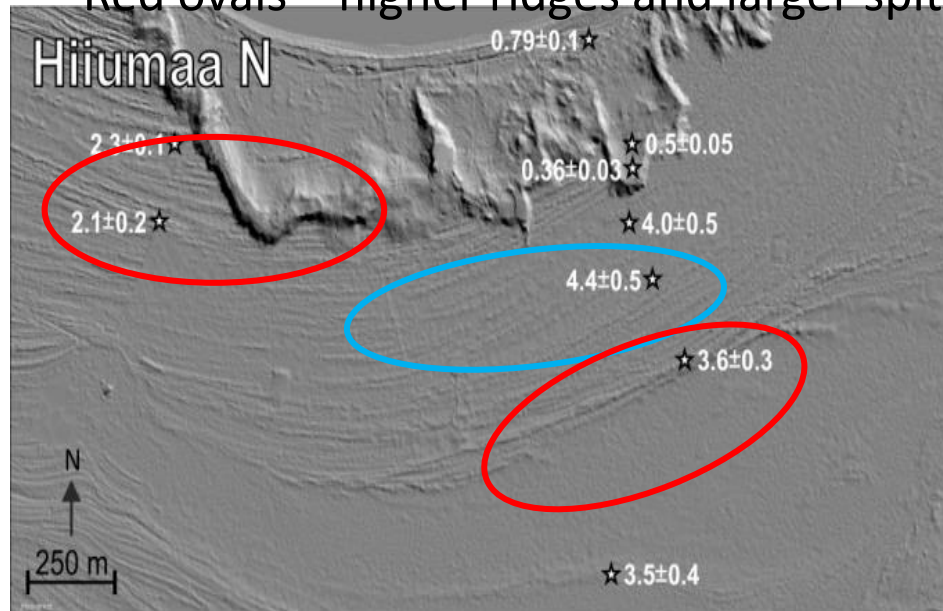


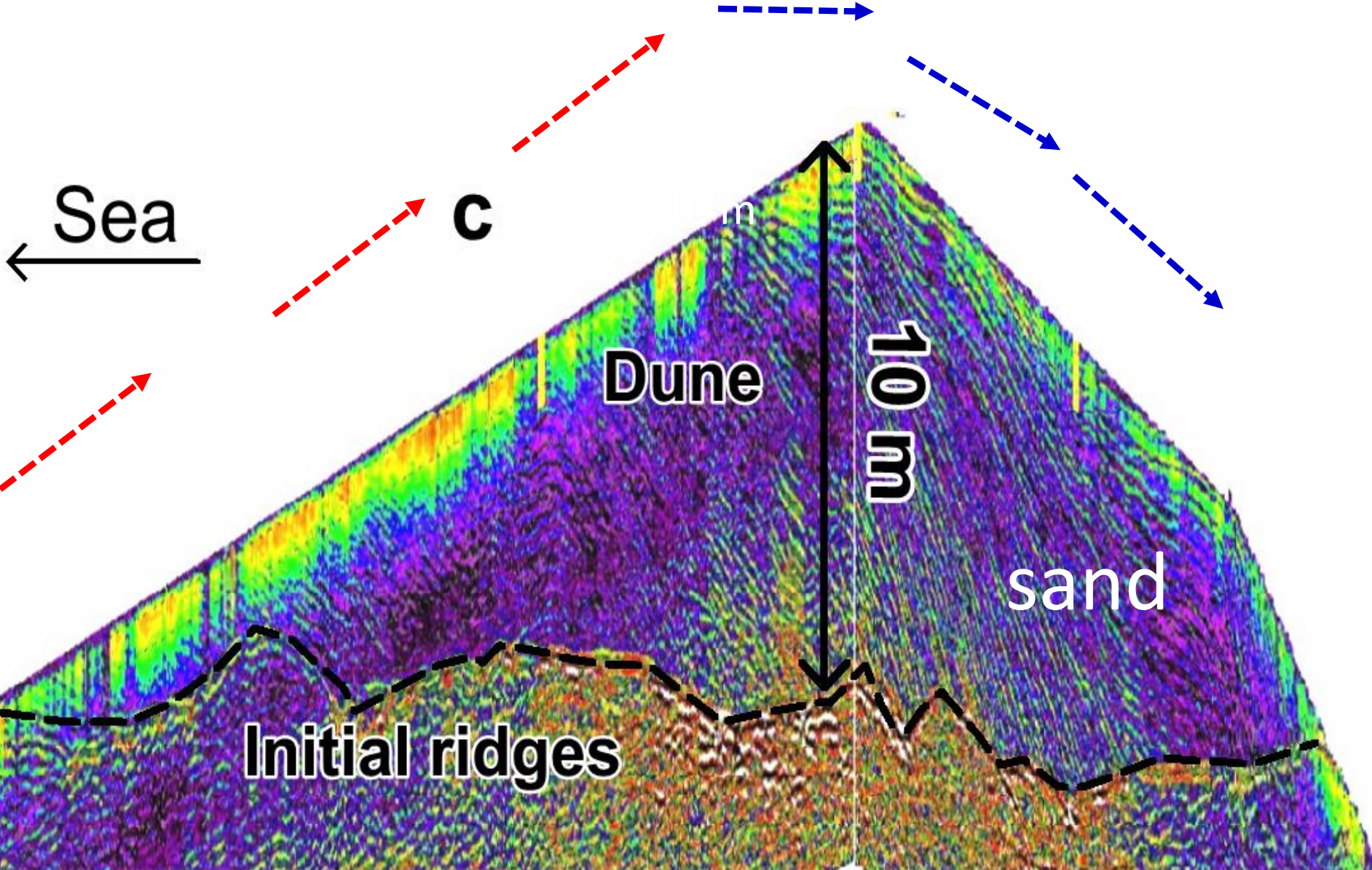


- We can see that some periods are represented by large ridges, some by small – stormier peridos have been replaced with calmer periods
- ...and finally, there is one very large dune belt...

Similar internal patterns and changes in topography can be detected in other three study sites for almost the same periods for all 4 sites.

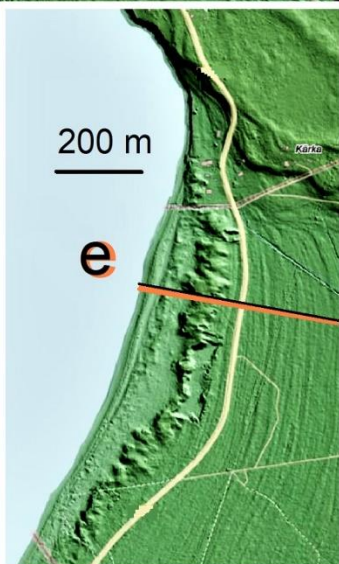
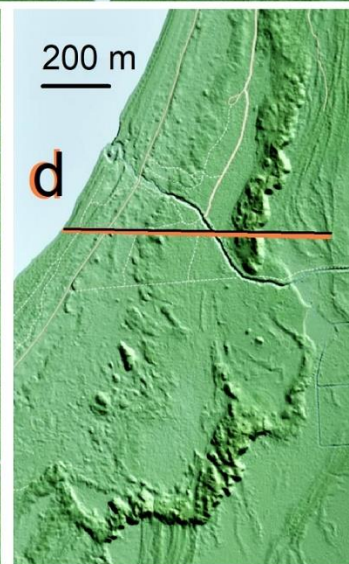
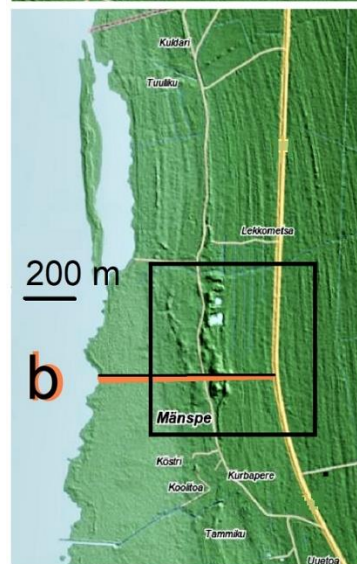
- Blue ovals – lower ridges
- Red ovals – higher ridges and larger spits





Võimas luide...

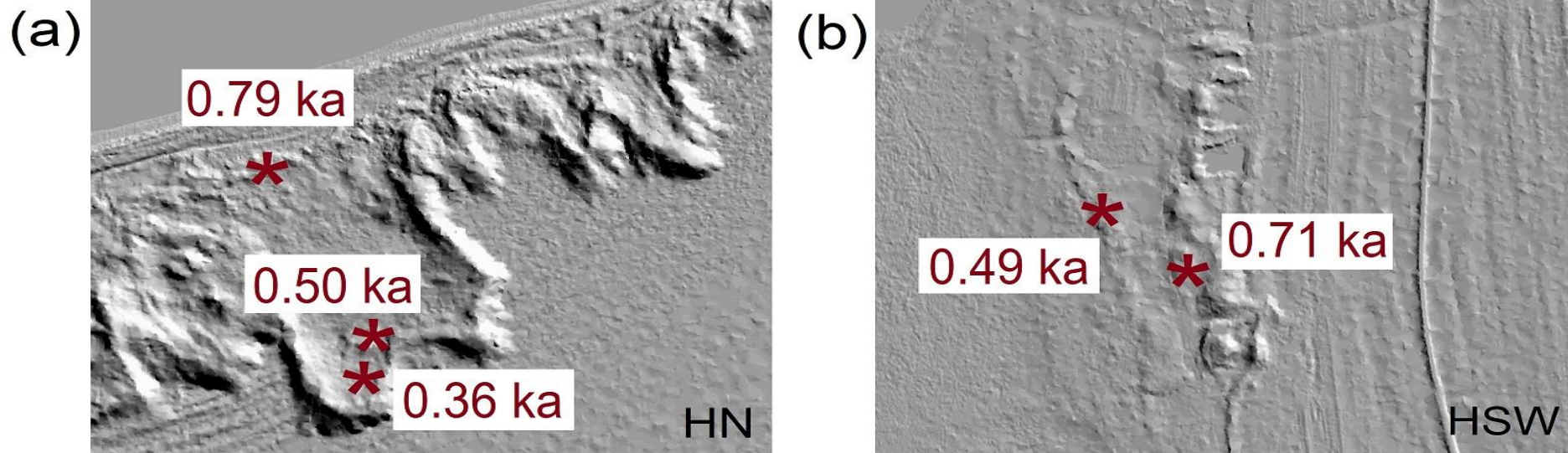
Sarnane luitemoodustis on selgelt nähtav väga paljudes kohtades Eesti rannikul...



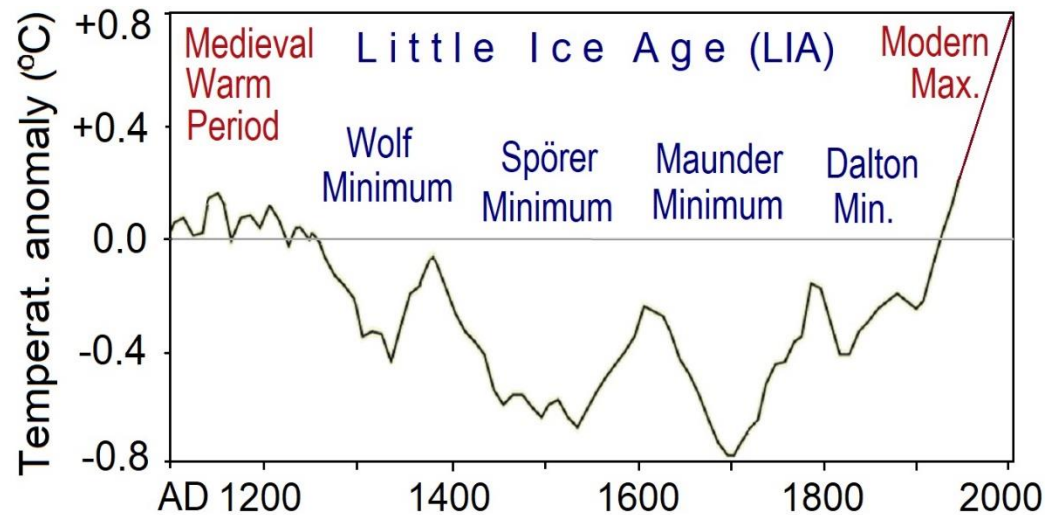
Samuti vähemalt 30 kohta...

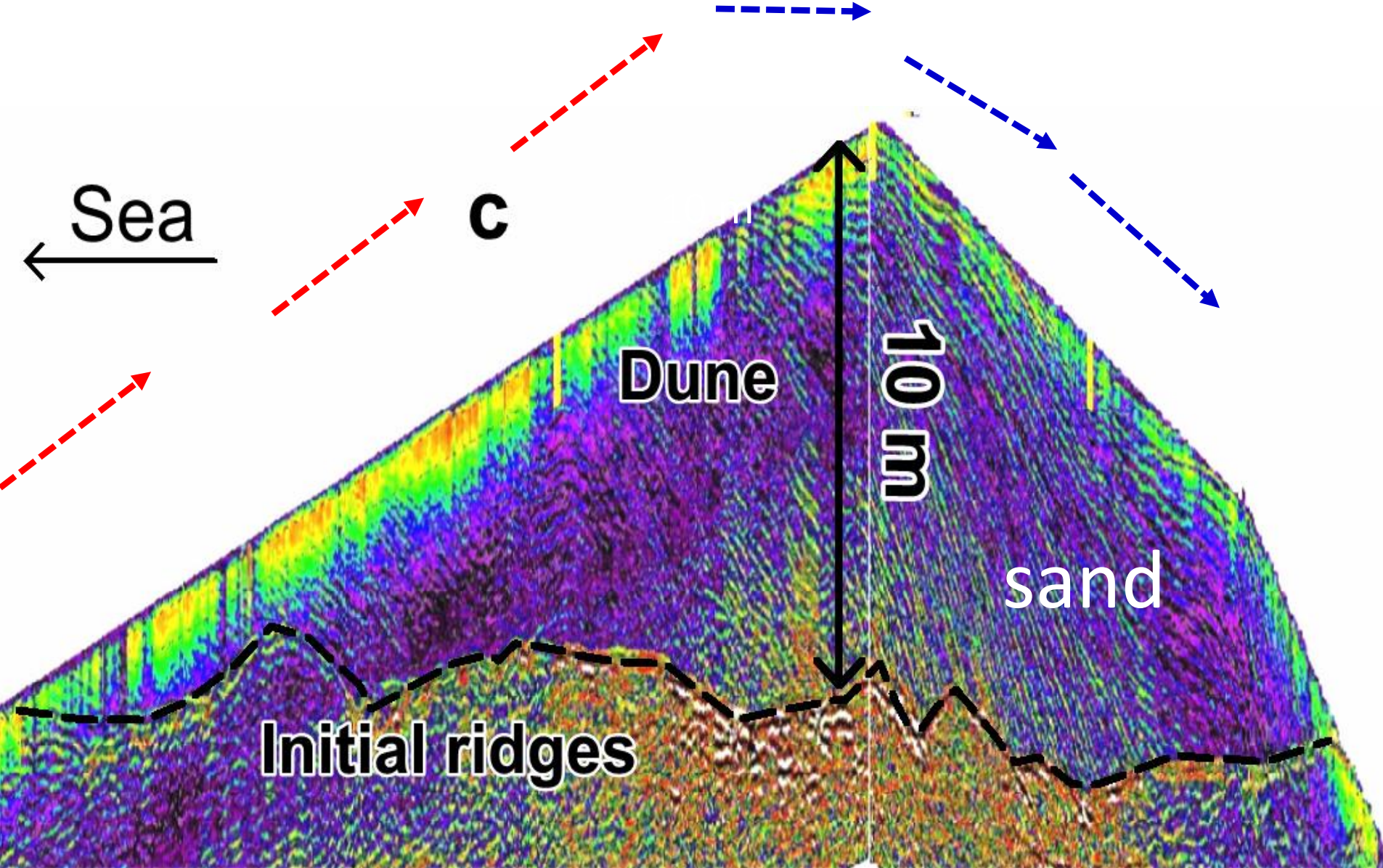


Vanus tundub jäävat 300 ja 800 aasta vahele, OSL põhjal



It corresponds well with Little Ice Age period...





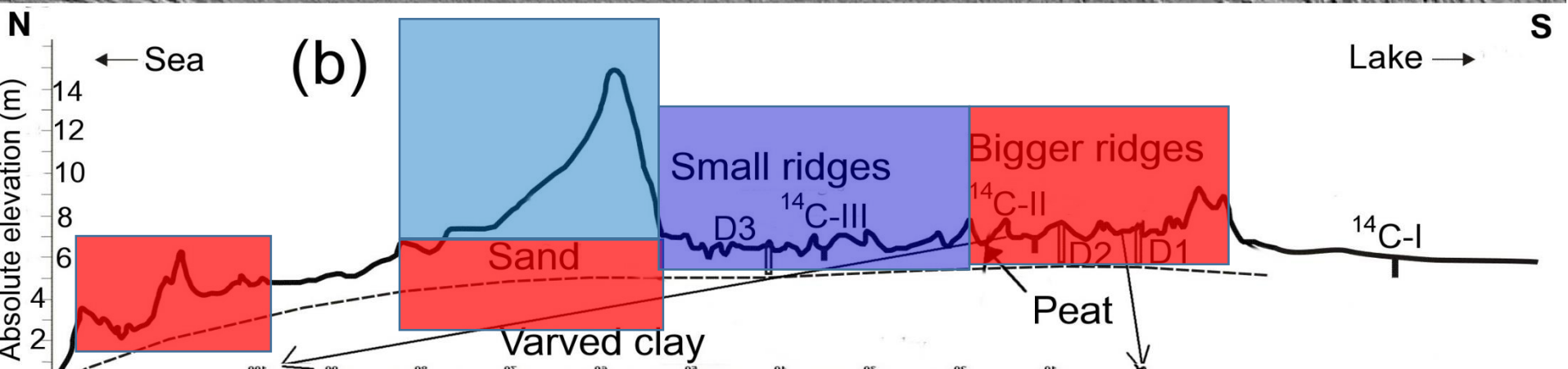
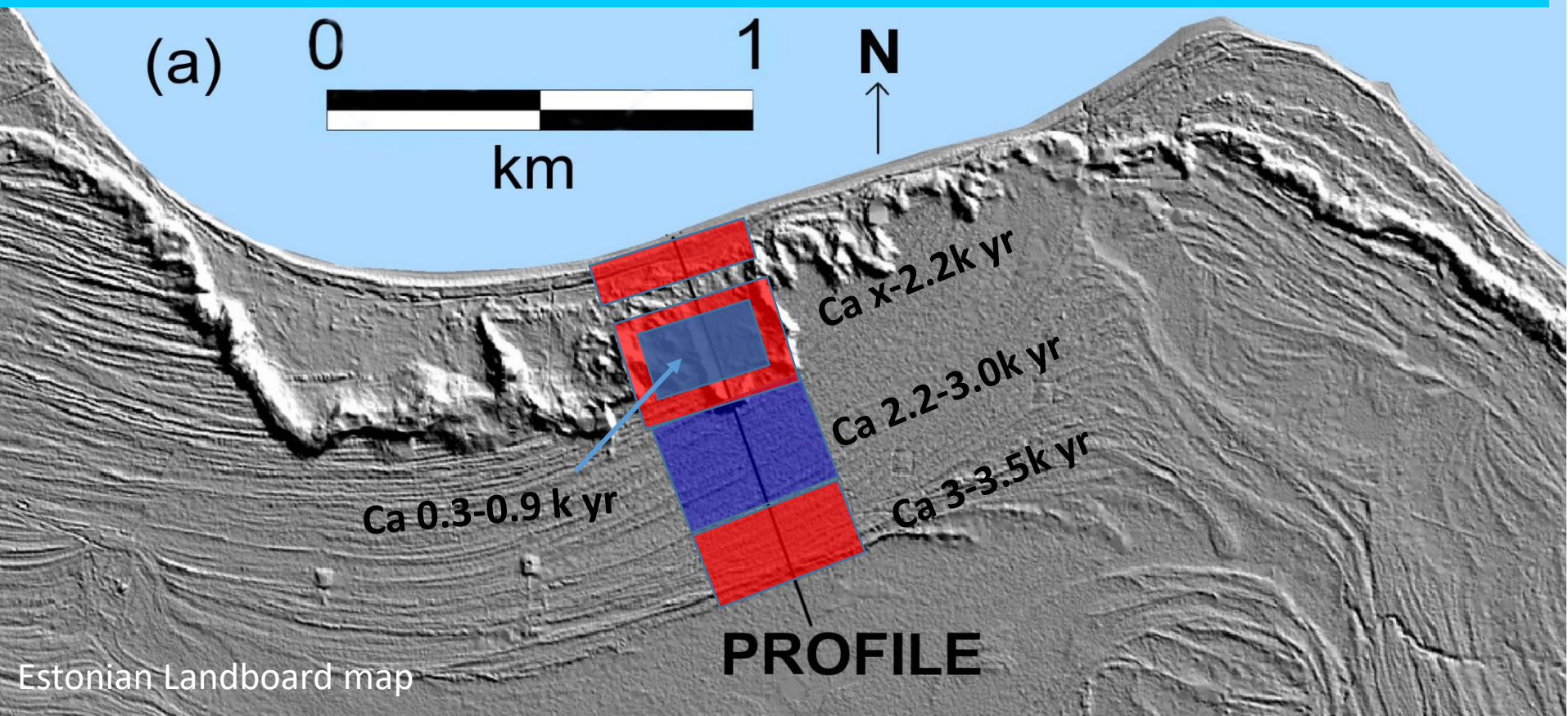
If we look how much sand is accumulated into this formation, we might find answer, why there are no ridges in last 1000-2000 years



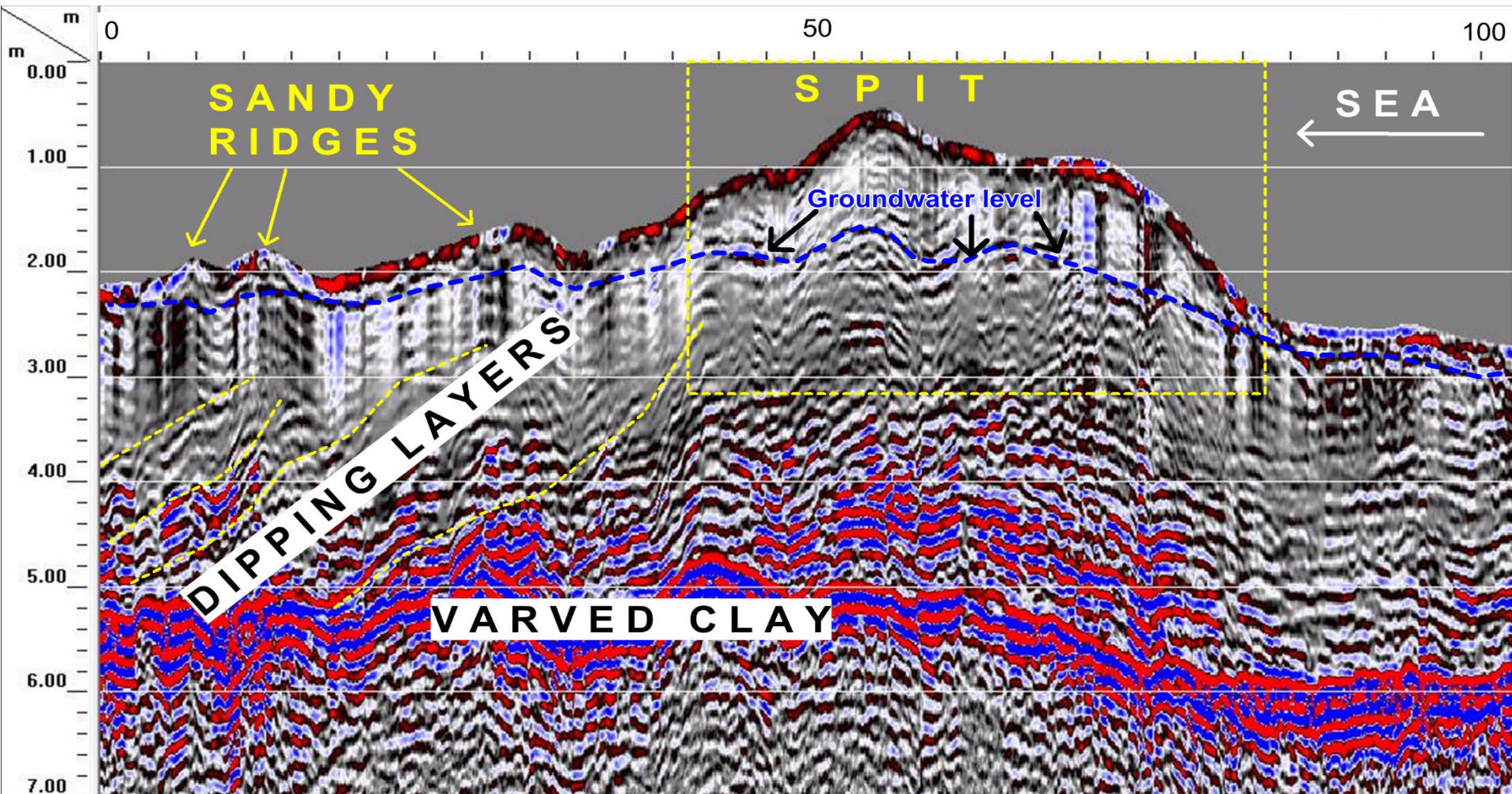
Vaatame ka 3.0 – 3.5 t aastat tagasi



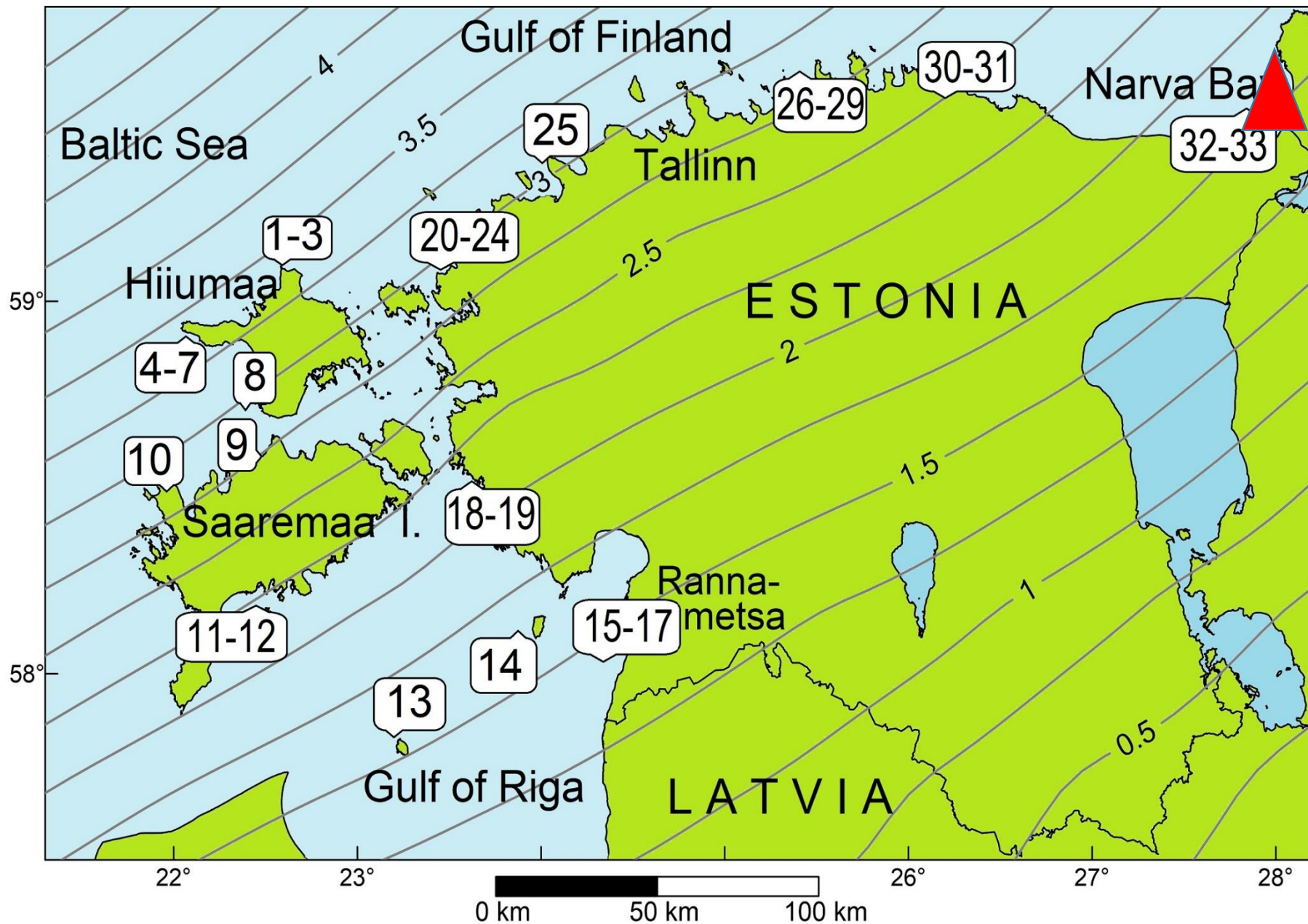
Vaiksed ja torimperioodid minevikus



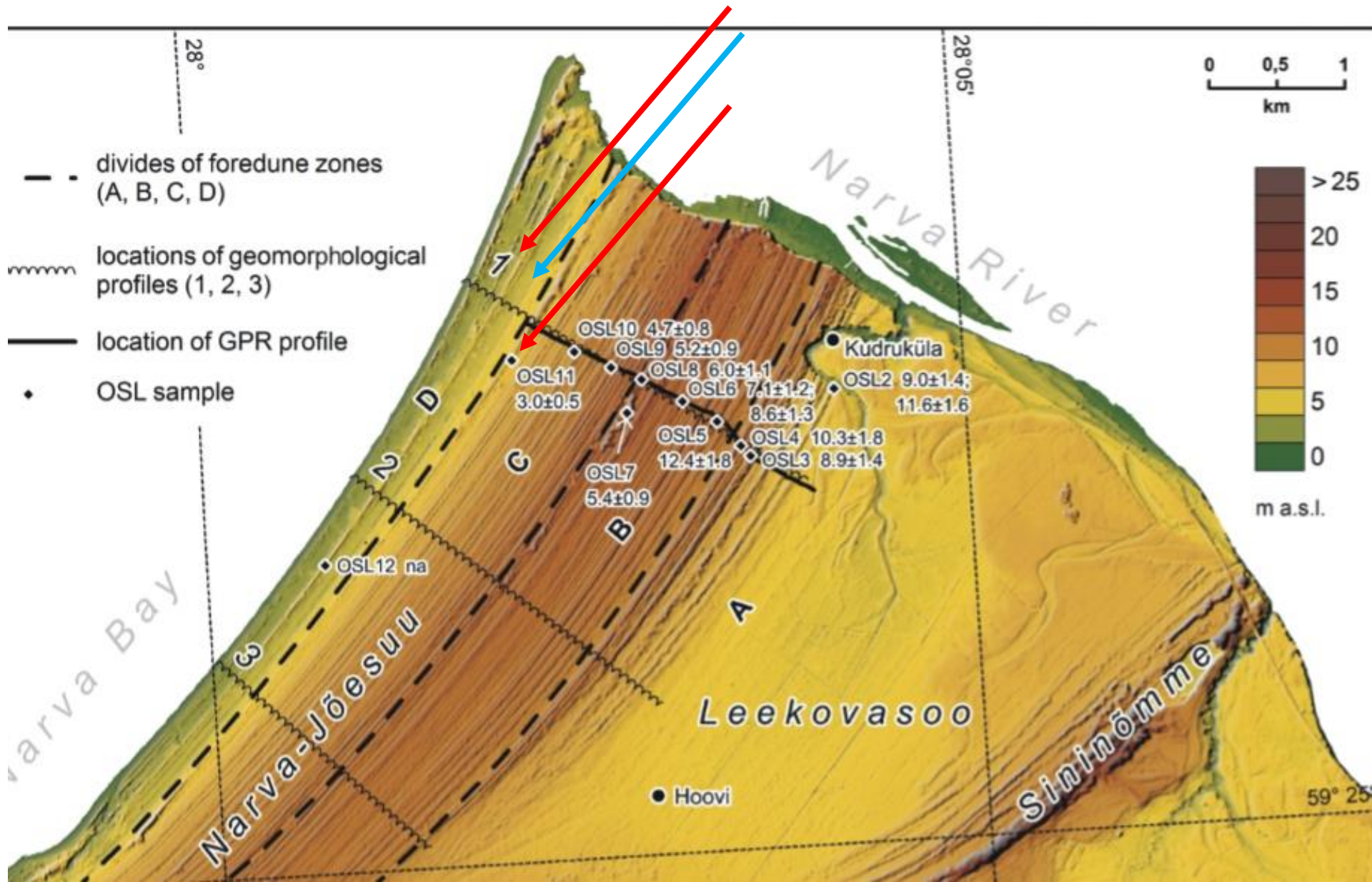
Selgelt kõrgem vall, suured viltused kihid.



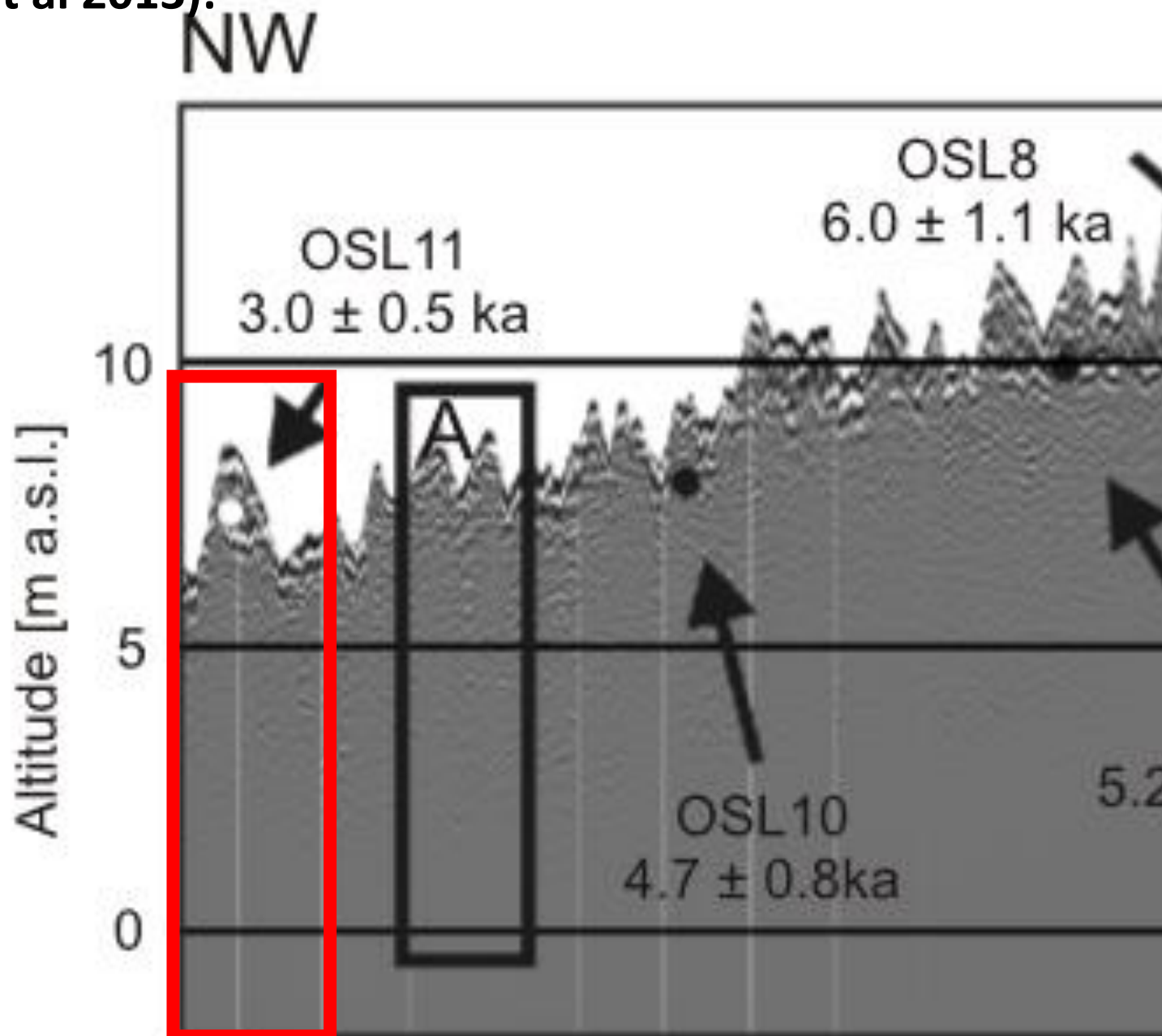
Vaatame ka 3.0 – 3.5 t aastat tagasi, Narva-Jõesuu



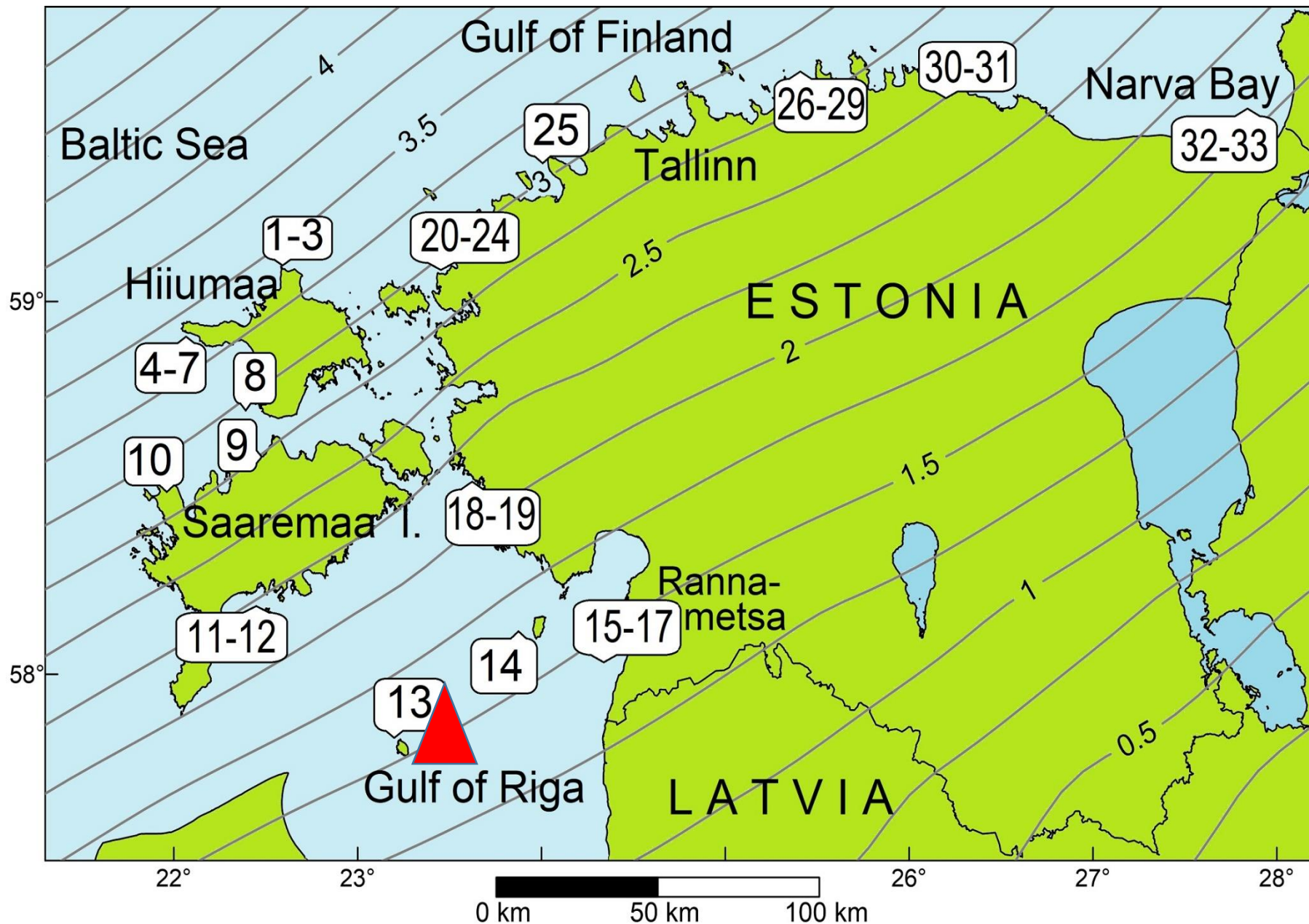
Narva-Jõesuu selge erinevus topograafias ca 3500 a tagasi(Rosentau et al 2013):



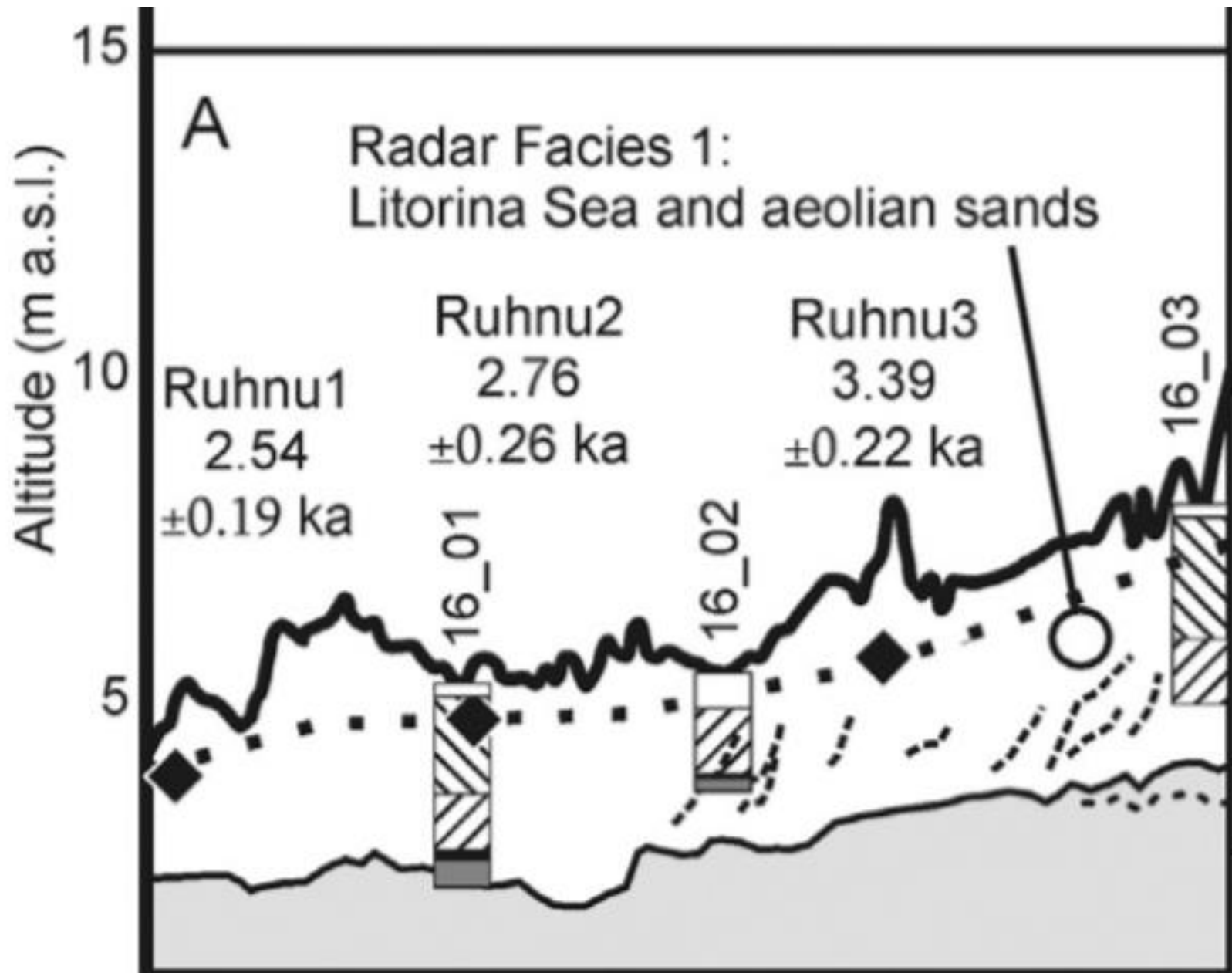
Väga selgelt kõrgem vall, millel on paks tuuletekkeline kiht peal
(Rosentau et al 2013):



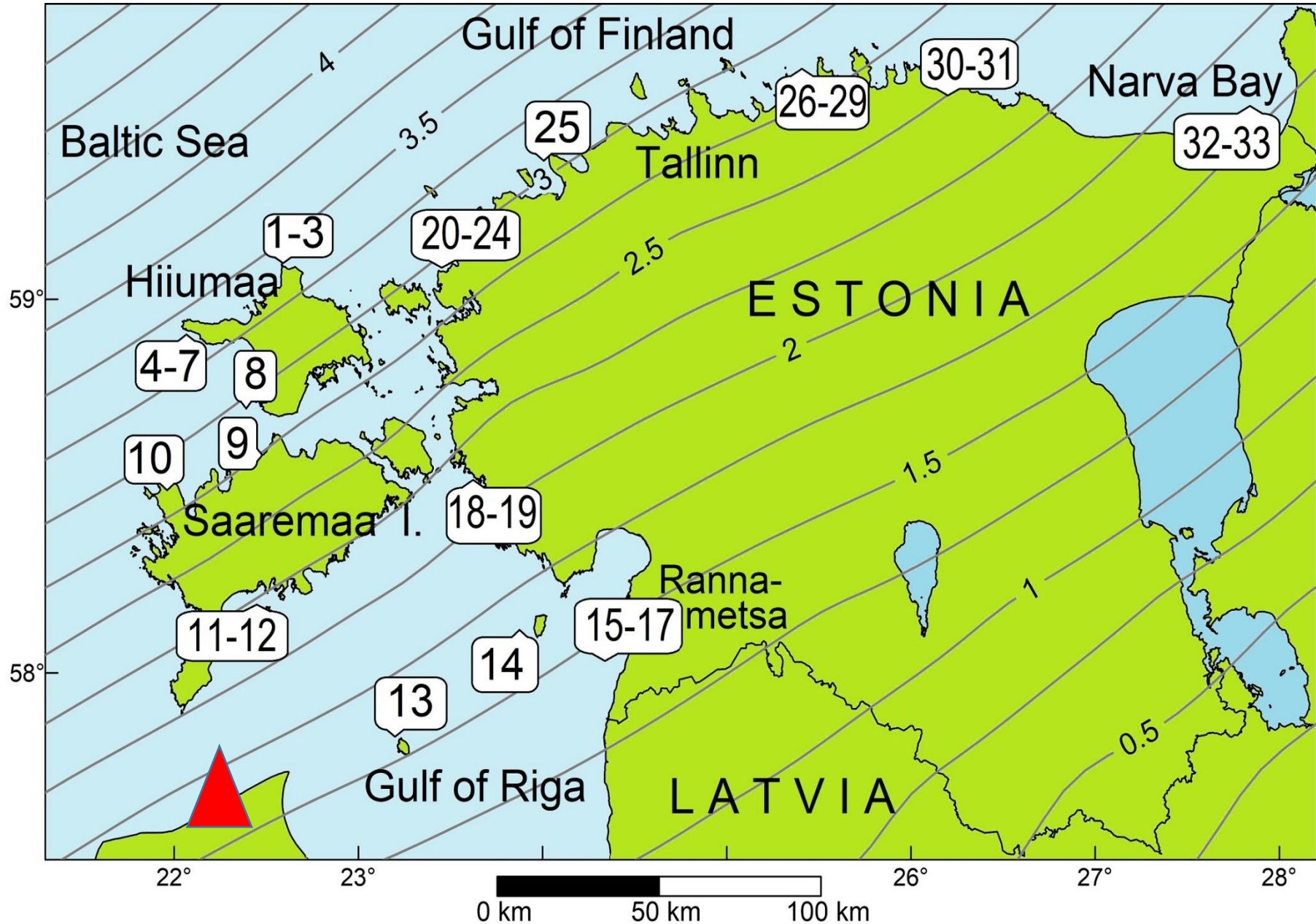
Vaatamae ka mujal 3.0 – 3.5t a tagasi, Ruhnu



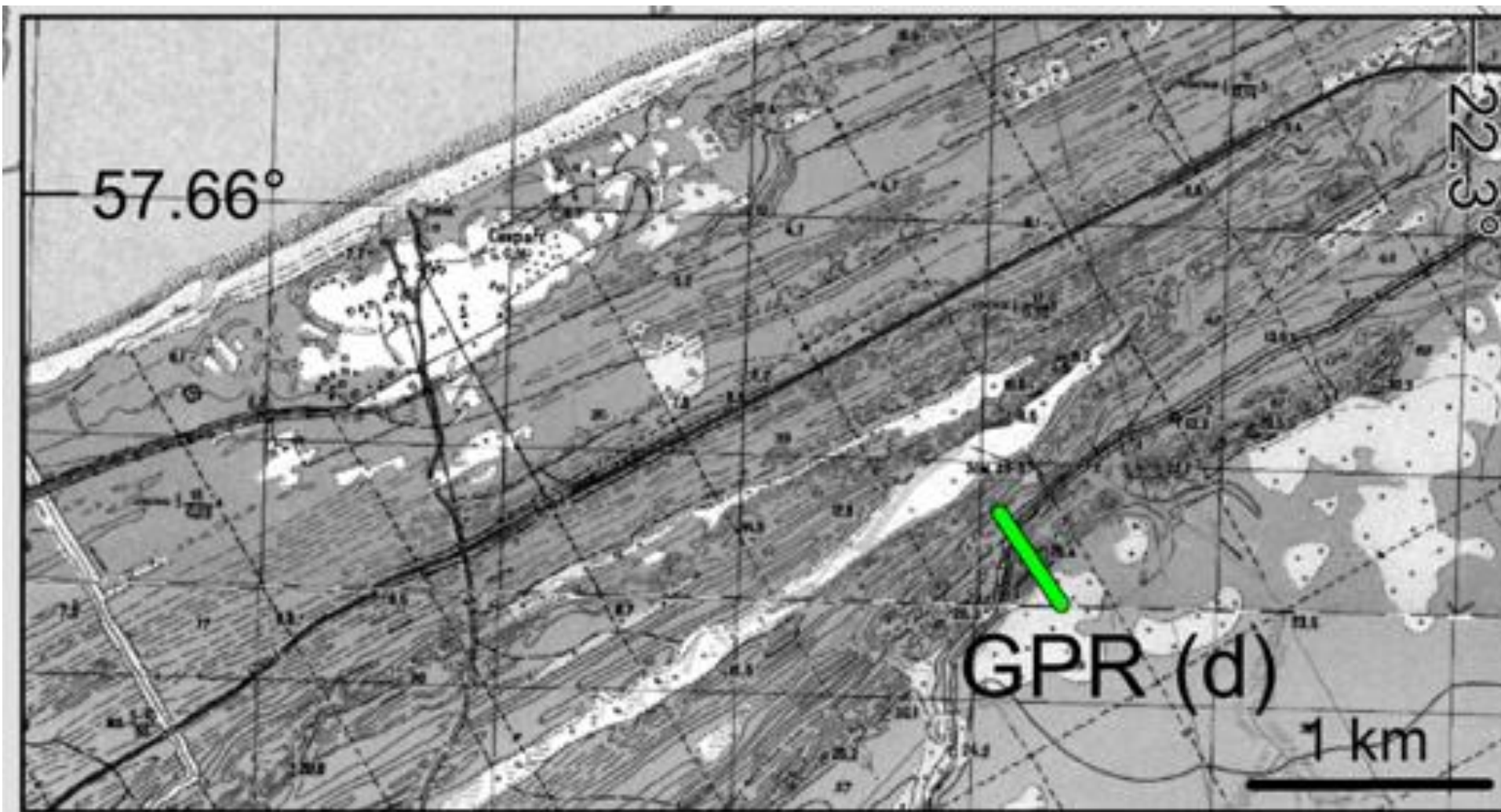
Samuti kõrgem vall ning viltused kihid (Muru et al 2018):



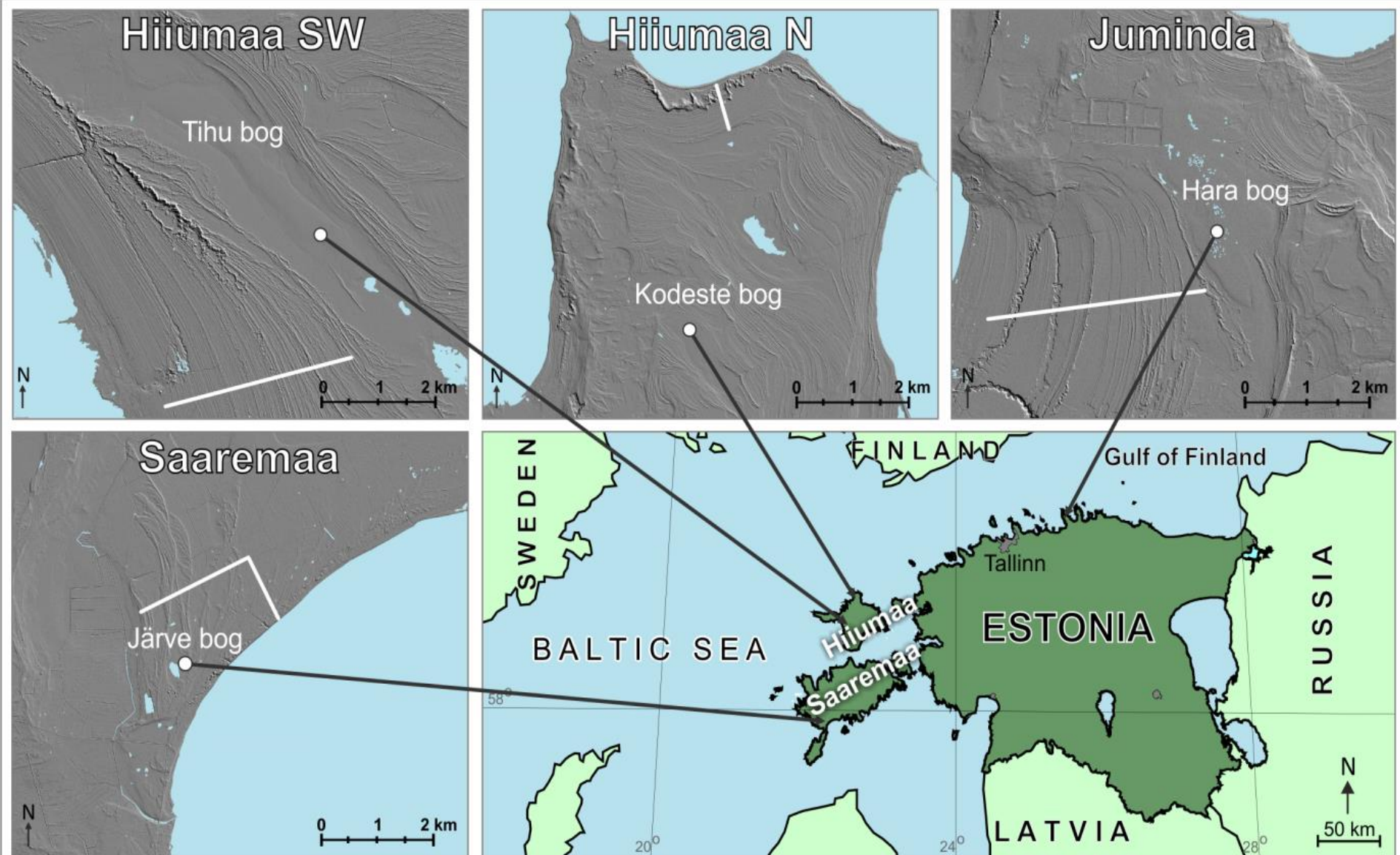
Vaatame ka Lätti, Kolka neeme lähistele 3.0 – 3.5 t a tagasi



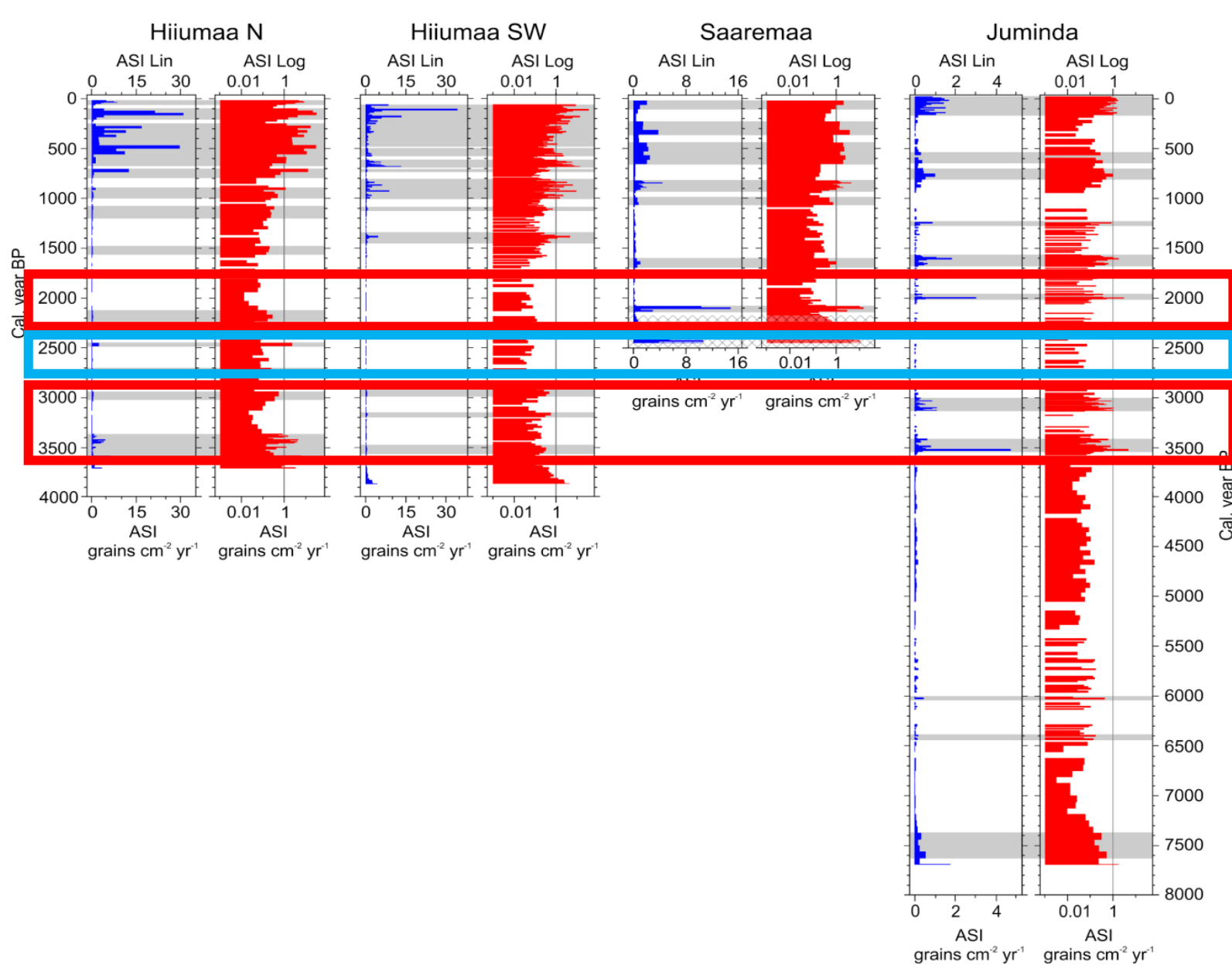
Kõrgeimad valid seal piirkonnas ca 3.5 t a tagasi



Hindasime neljas rabas liivaterade sissekannet – rohkem liiva, rohkem torme.

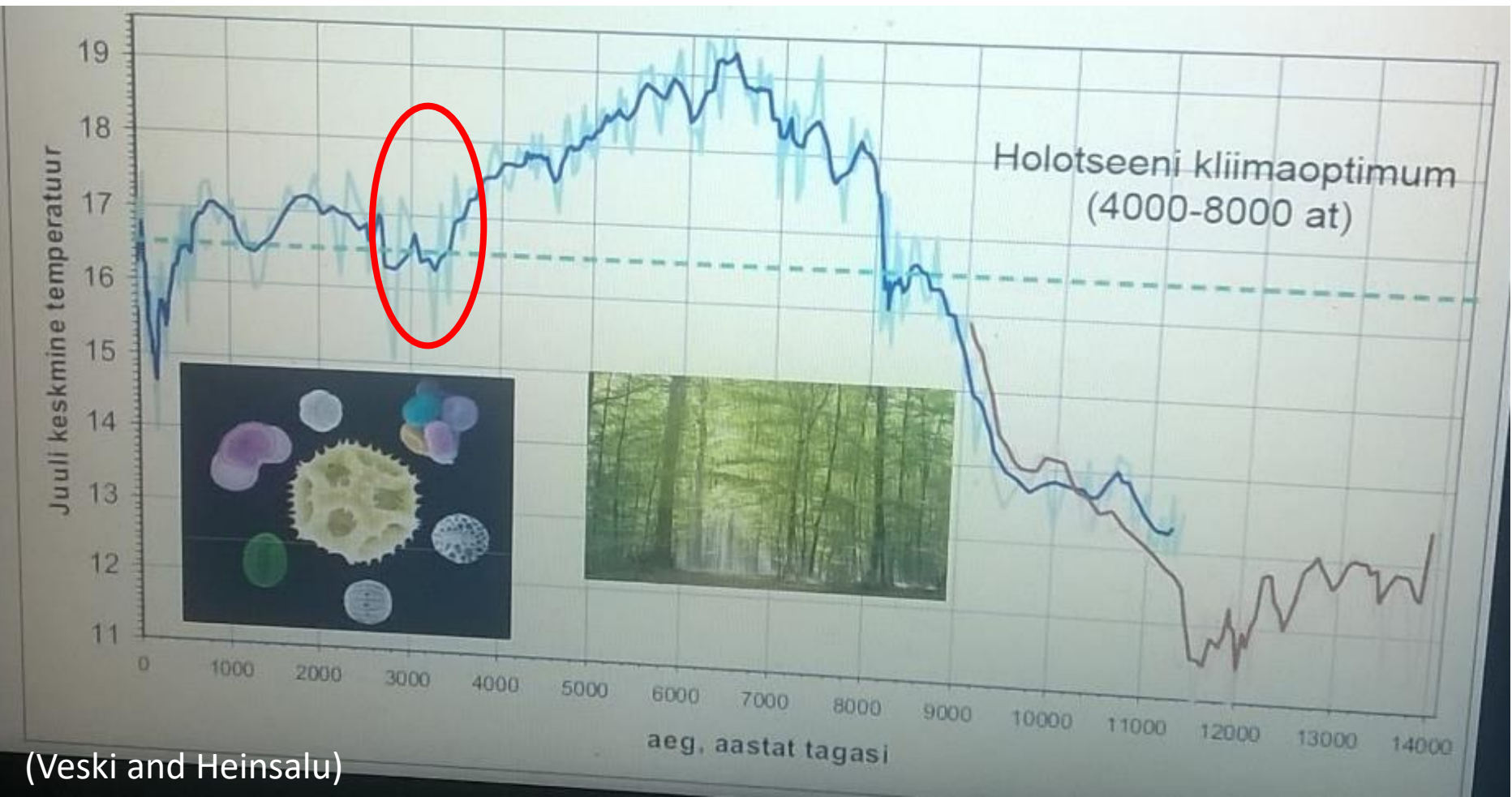


Näeme sarnastel perioodidel liivade sissekande kiirenemist.



Average July temperatures for SE Estonia:

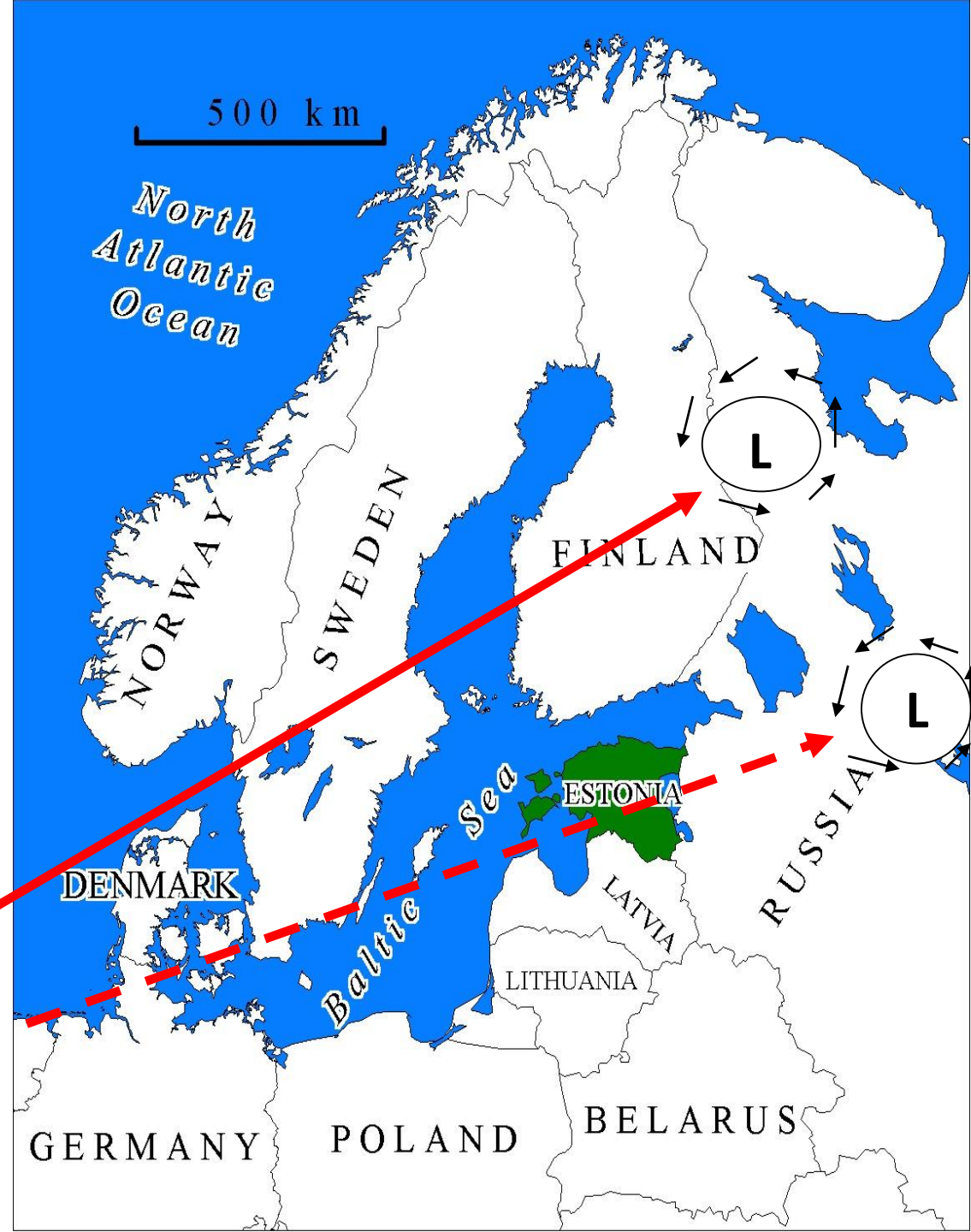
Rapid drop during stormier period is indicating more maritime climate, increase after that is indicating to more continental climate (calmer).



Northward shifts in cyclone trajectories have been the main reason in recent increase of storminess.

Warmer air moves further north, leaving Estonia in the region of strongest winds -> no ice-cover for the sea, unfrozen sediments, more rapid coastal processes.

3500-3000 years ago was probably similar shift that was the reason for increased storminess.



Further shift continued and as a result, higher Scandinavian mountains in the north blocked the movement of cyclones and Siberian High pressure area created more continental and calmer climate for us.

