

Kliimamuutustest mõjutatud maastikud I

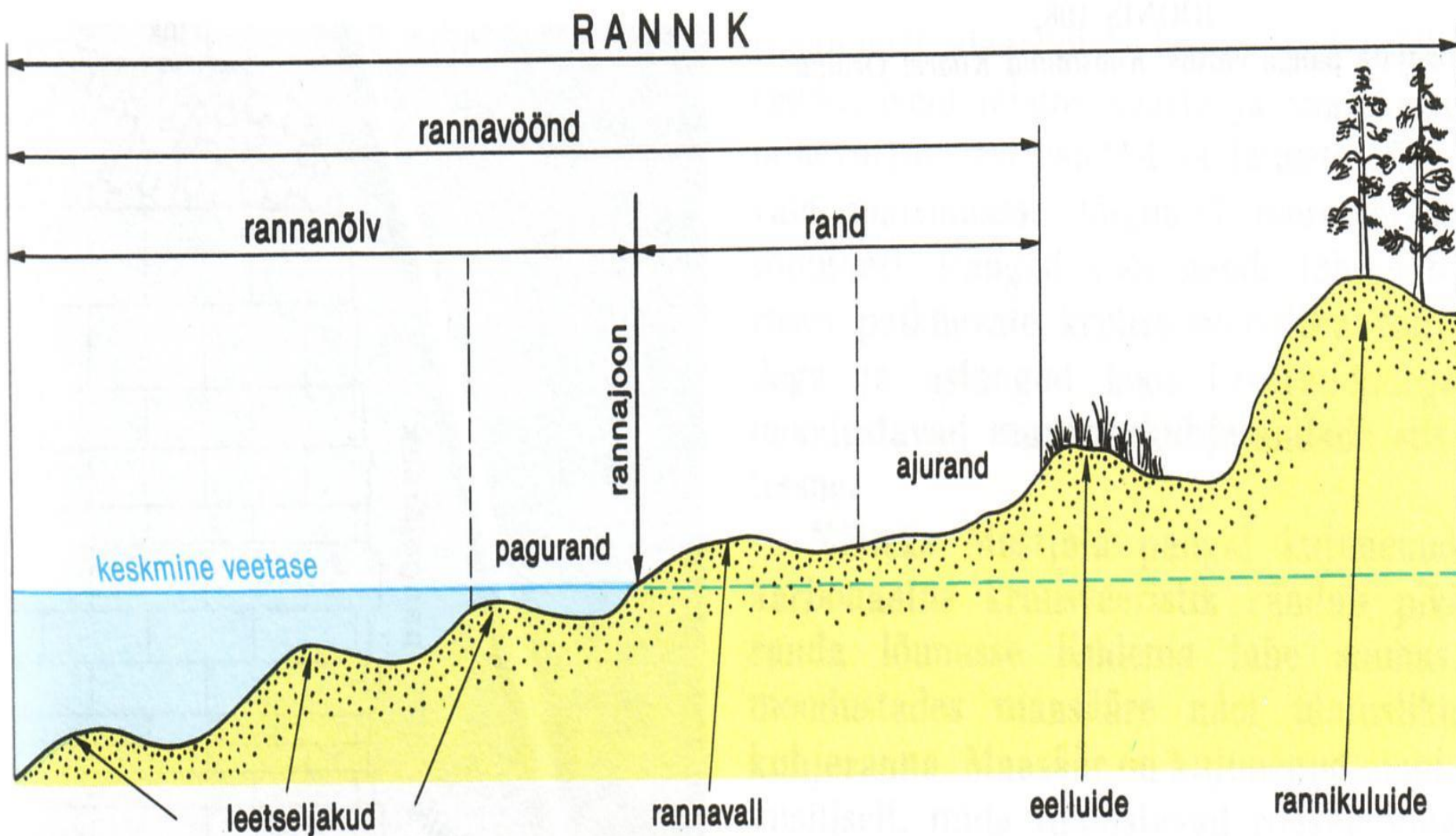
Hannes Tõnisson, PhD, vanemteadur

TLÜ ökoloogia keskus
TALLINN 2025

Photo by M.M

Mis on rand? Miks me sellest räägime?





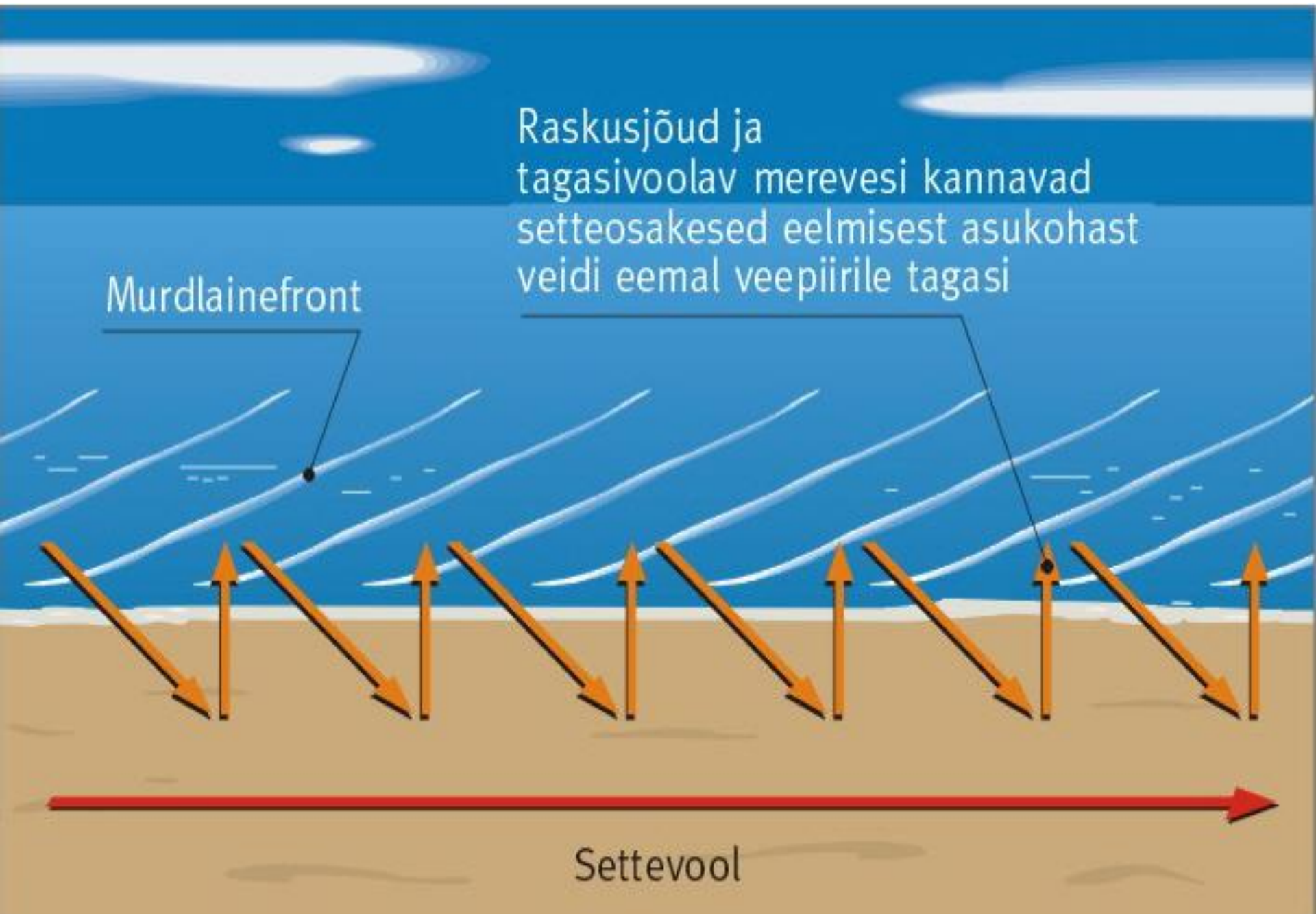
JOONIS 107

Rannavööndi elemendid liivaranniku näitel. Koostanud Kaarel Orviku.

Rand on elus nagu meie ja muutub natuke iga päev



Kõige olulisemaks protsessiks on setete pikiränne:

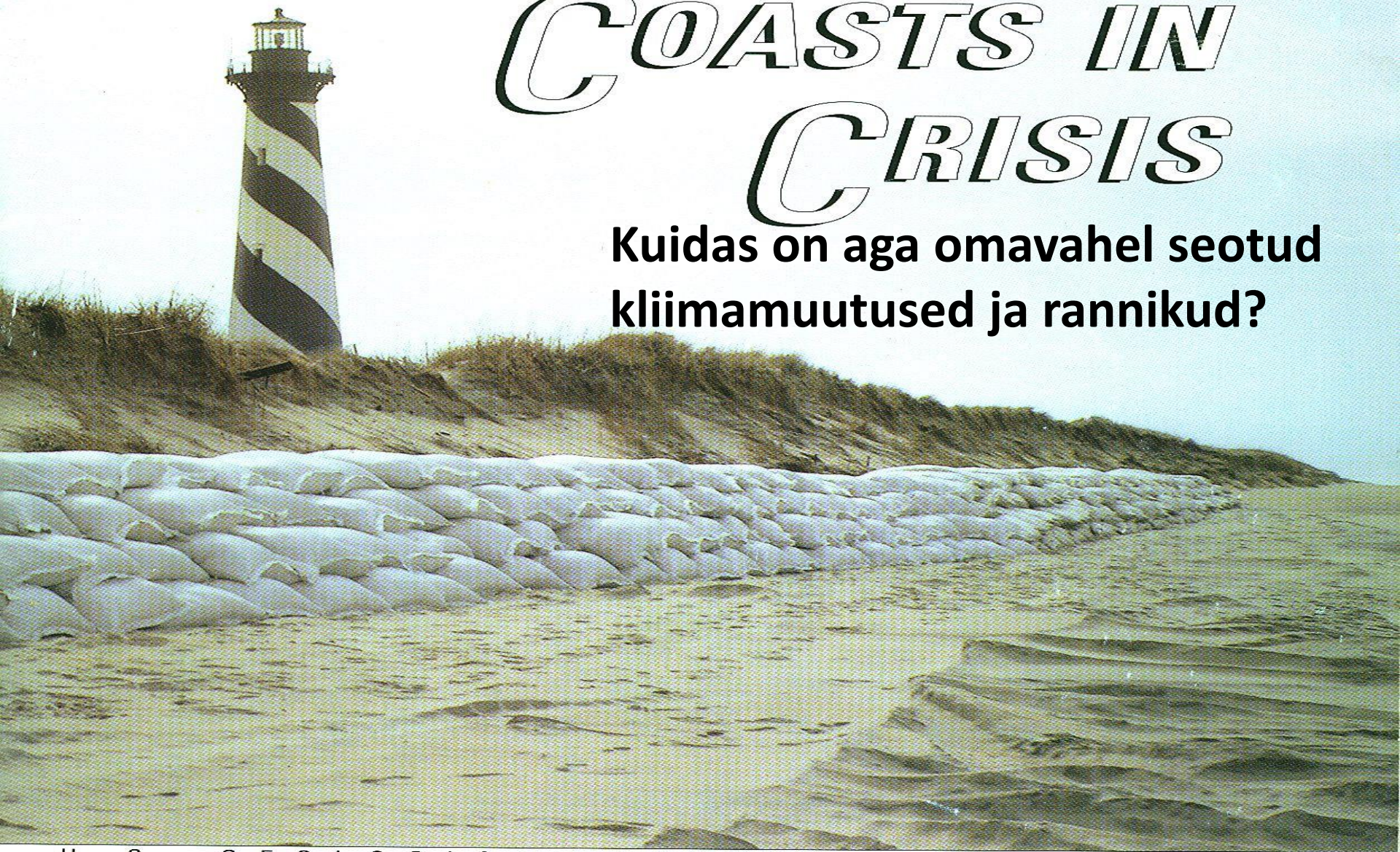




Kõige lihtsamini on see nähtav kui miski takistus pannakse setete liikumise teele (näiteks sadamamuul), ühel pool takistust hakkavad setted kuhjuma (kuhje), teisel pool minema kanduma (kulutus).

COASTS IN CRISIS

**Kuidas on aga omavahel seotud
kliimamuutused ja rannikud?**



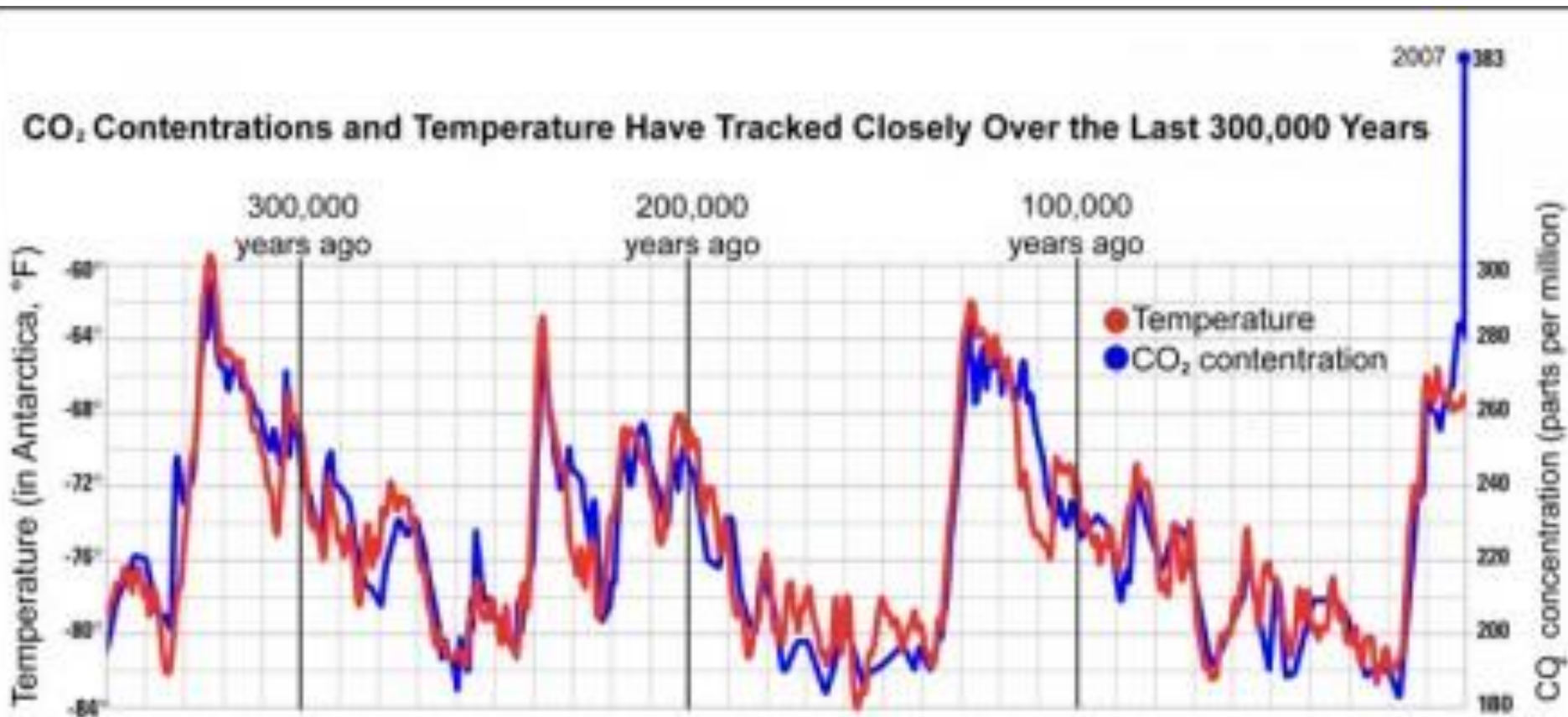
Kliima soojenemist seostatakse erinevate kasvuhuone gaasidega kontsentratsiooniga;

- CO₂ - Kõige populaarsem kasvuhuone gaas, 2015 aastal oli sisaldus 400 ppm. Enne tööstusrevolutsiooni oli 280 ppm (osakest miljoni osakese kohta).
- CH₄
- N₂O
- Veeaur – tugevalt allahinnatud, kõige suurem määramatus.

Globaalne kliimakõikumine:

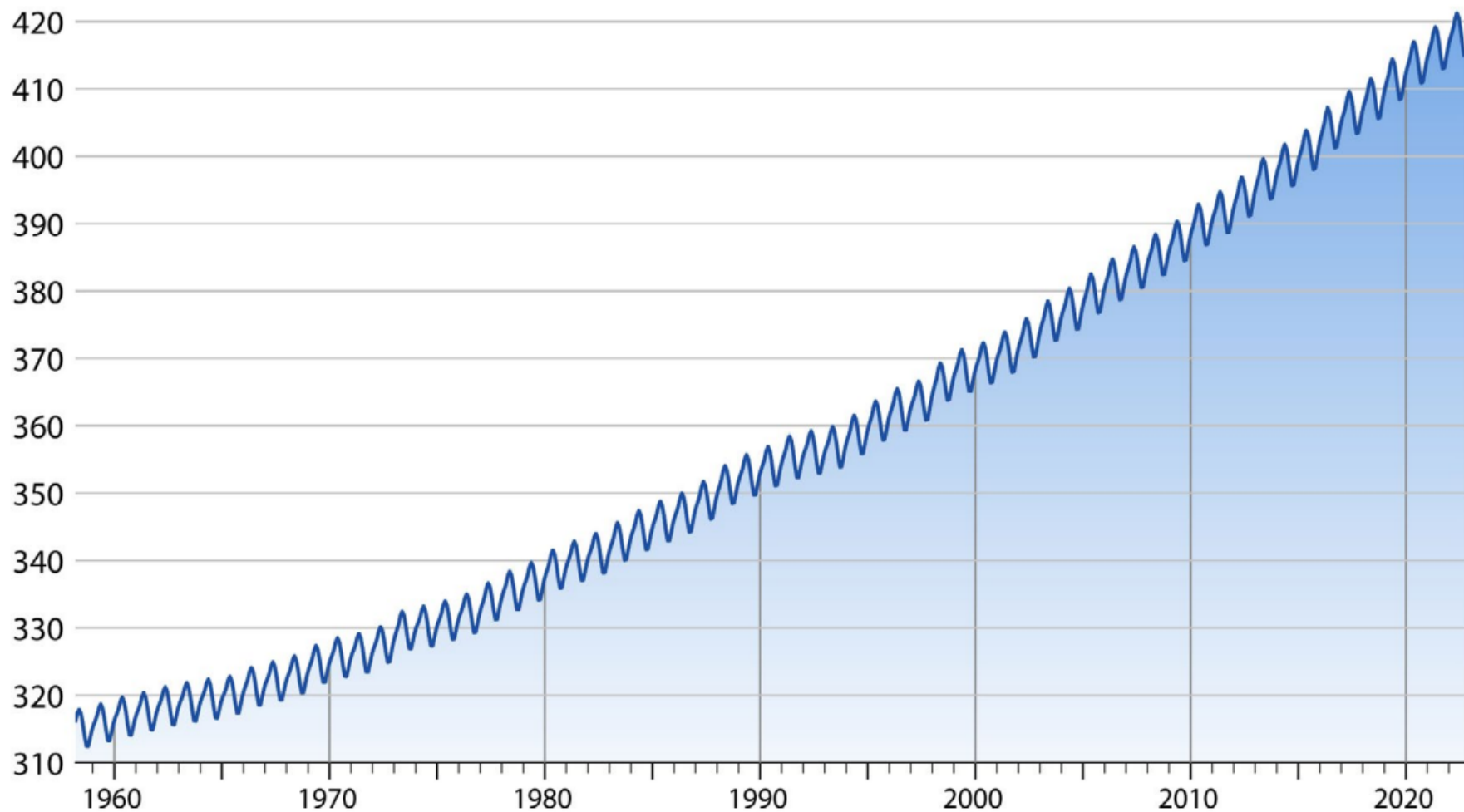
Temperatuuri ja CO₂ seos

Alati on esimesena tõusnud CO₂ sisaldus, seejärel temperatuur, seekord vastupidi

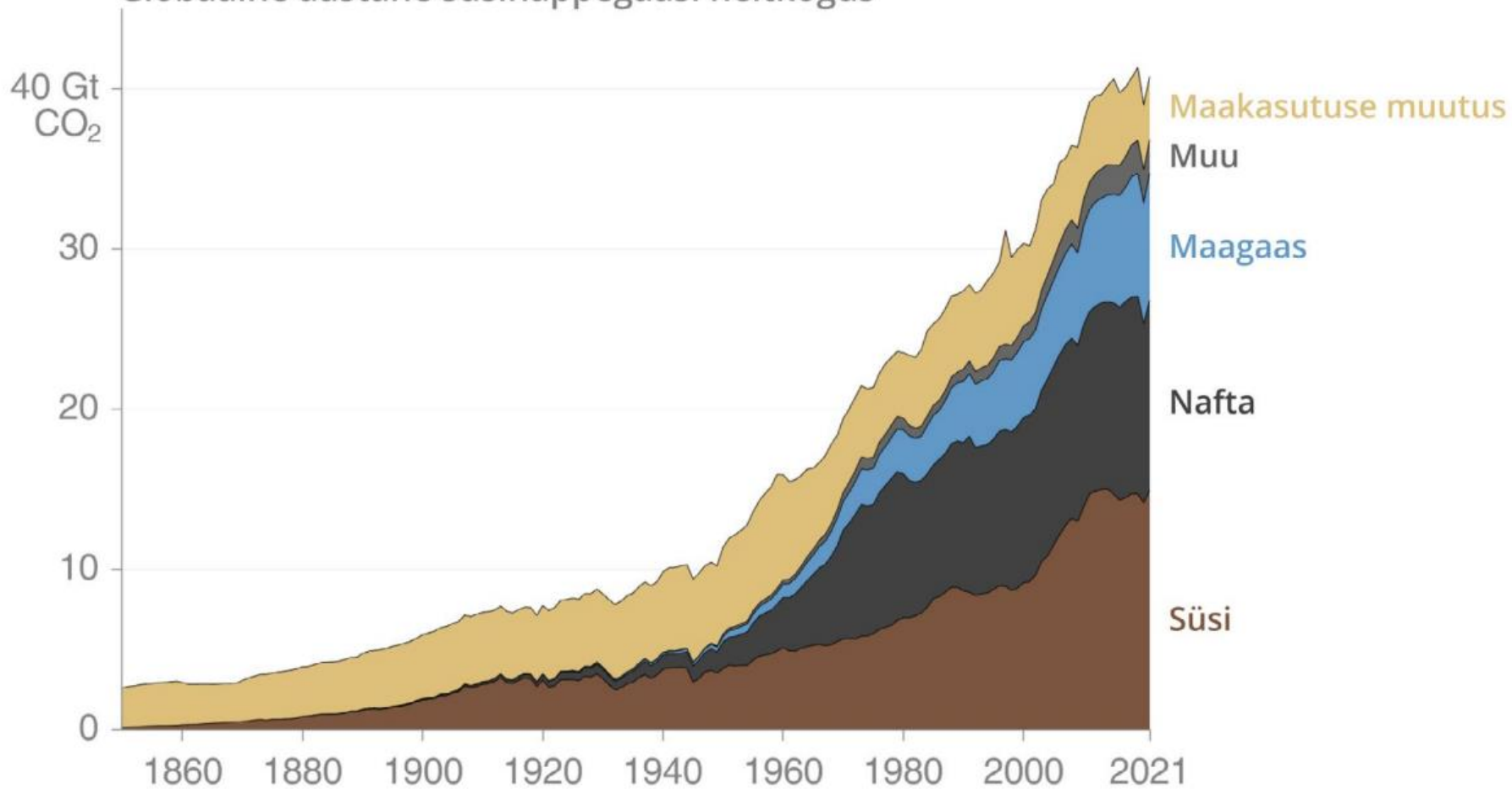


Kuukeskmine süsihappegaasi kontsentratsioon Maa atmosfääris

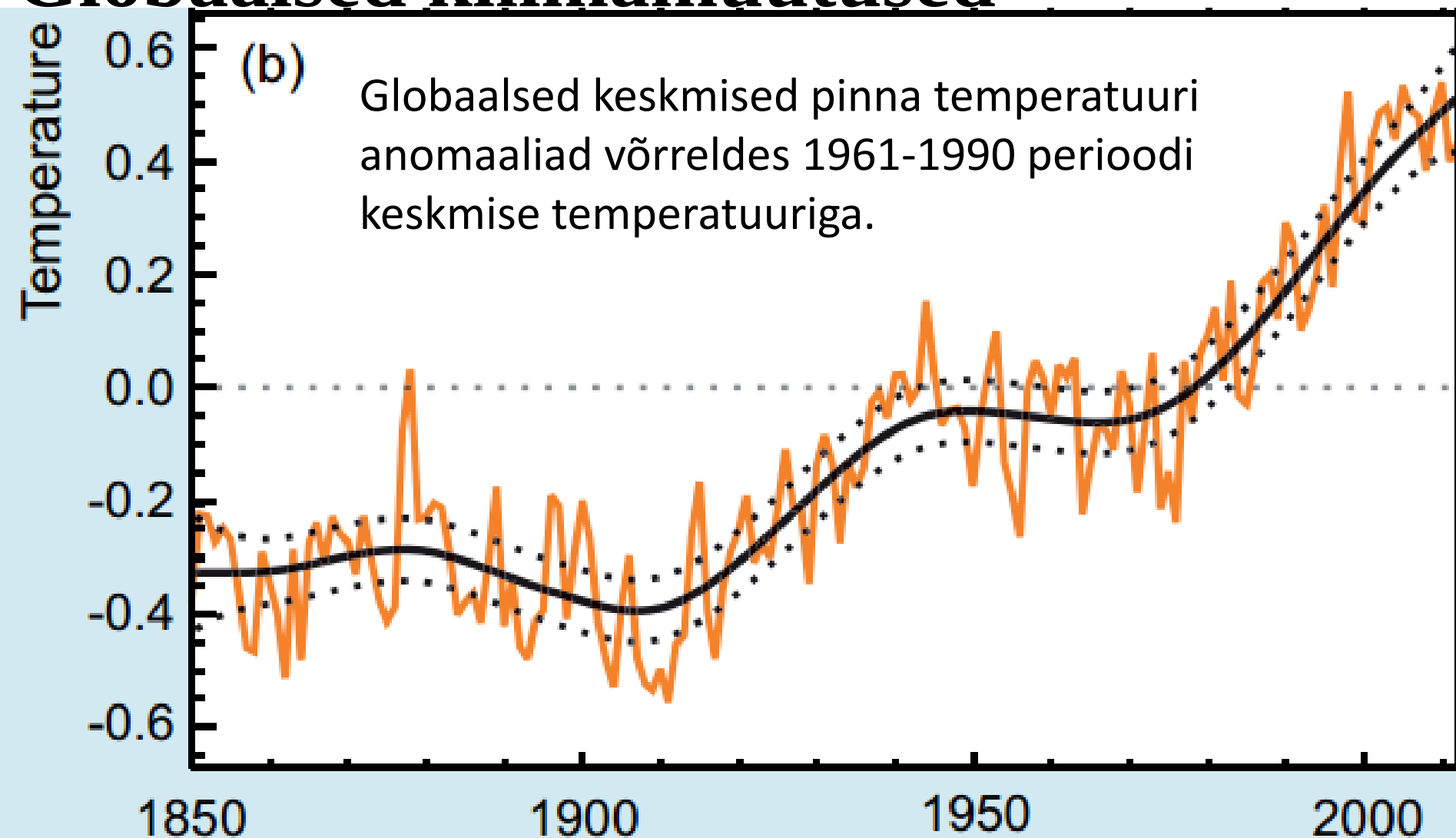
ppm (miljondikosa)



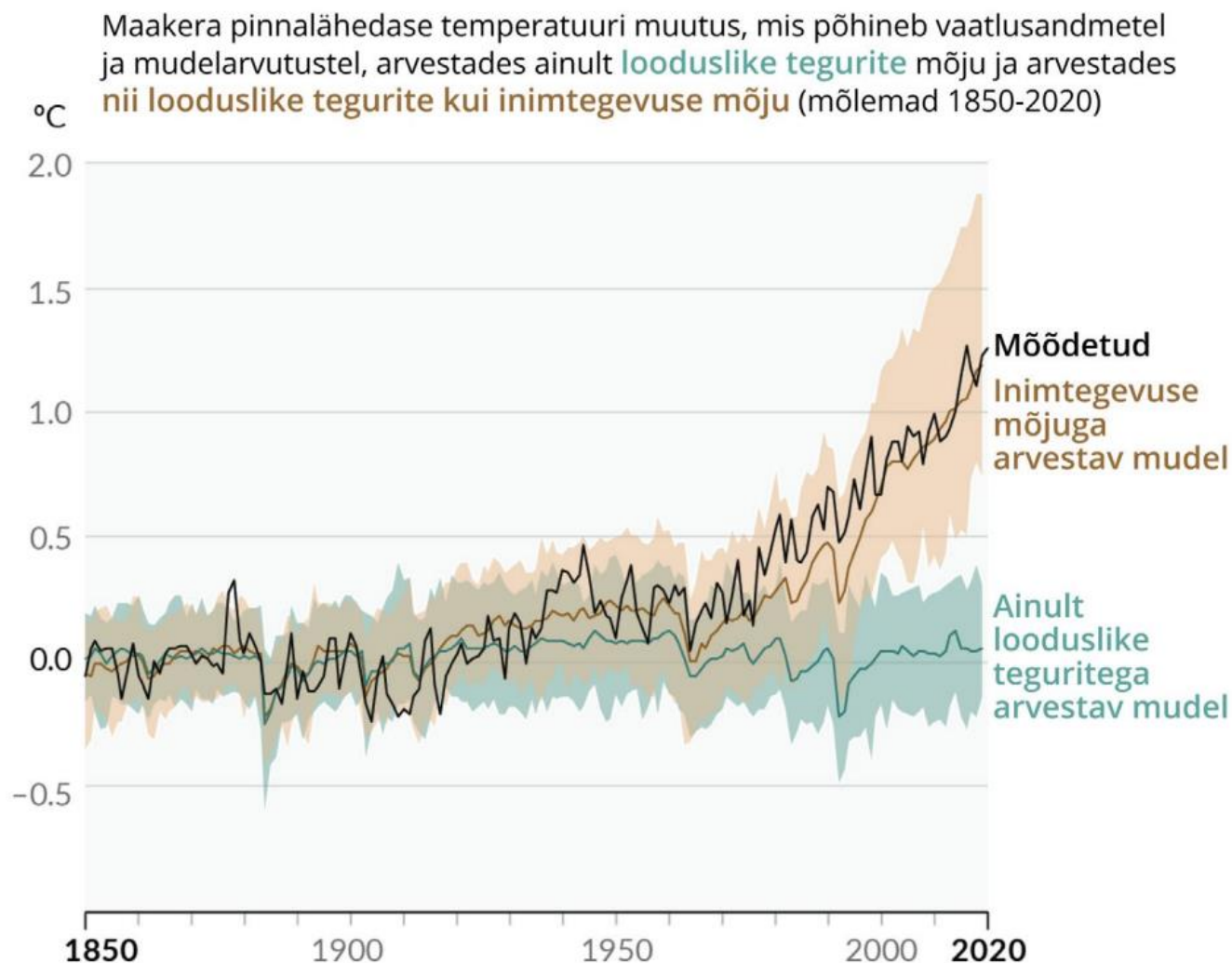
Globaalne aastane süsihappegaasi heitkogus



Globaalsed kliimamuutused



Method	Trends in °C per decade		
	1901–2012	1901–1950	1951–2012
Least squares	0.075 ± 0.013	0.107 ± 0.026	0.106 ± 0.027
Smoothing spline	0.081 ± 0.010	0.070 ± 0.016	0.090 ± 0.018



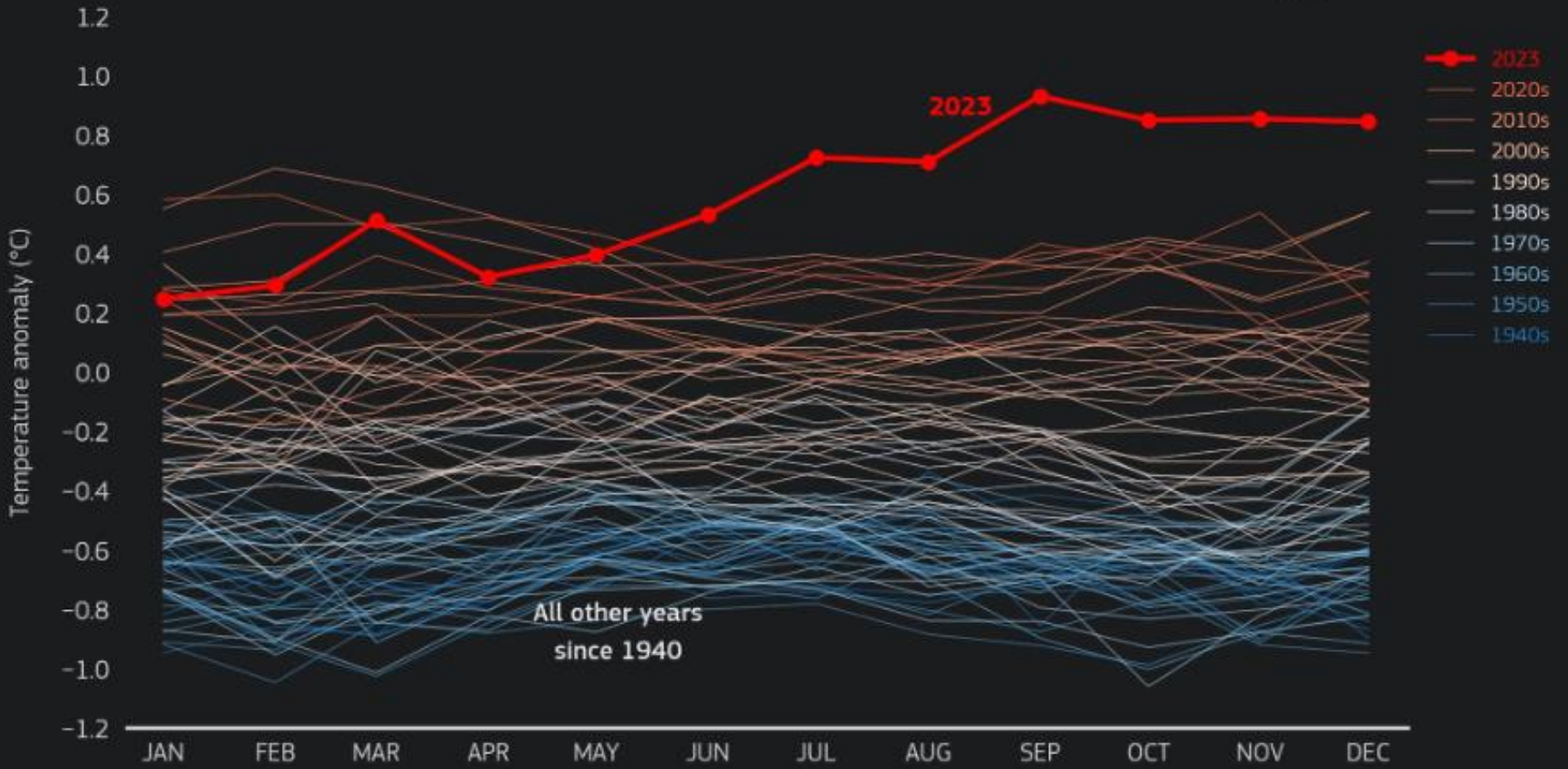
Allikas: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/figures/summary-for-policymakers/figure-spm-1>

Joonis A4.1. Inimtegevus on põhjustanud tööstusrevolutsioonist alates globaalse keskmise aluspinnalähedase õhutemperatuuri tõusu 1,1 kraadi võrra. Mõõdetud globaalne õhutemperatuur ja inimtegevuse mõjuga arvestava mudeliga arvutatud temperatuurid on väga sarnased. Looduslike tegurite mõjul märgatavat soojenemist toimunud ei ole. Allikas: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/figures/summary-for-policymakers/figure-spm-1>

Möödunud aasta teine pool oli maailmas väga soe:

GLOBAL SURFACE AIR TEMPERATURE ANOMALIES

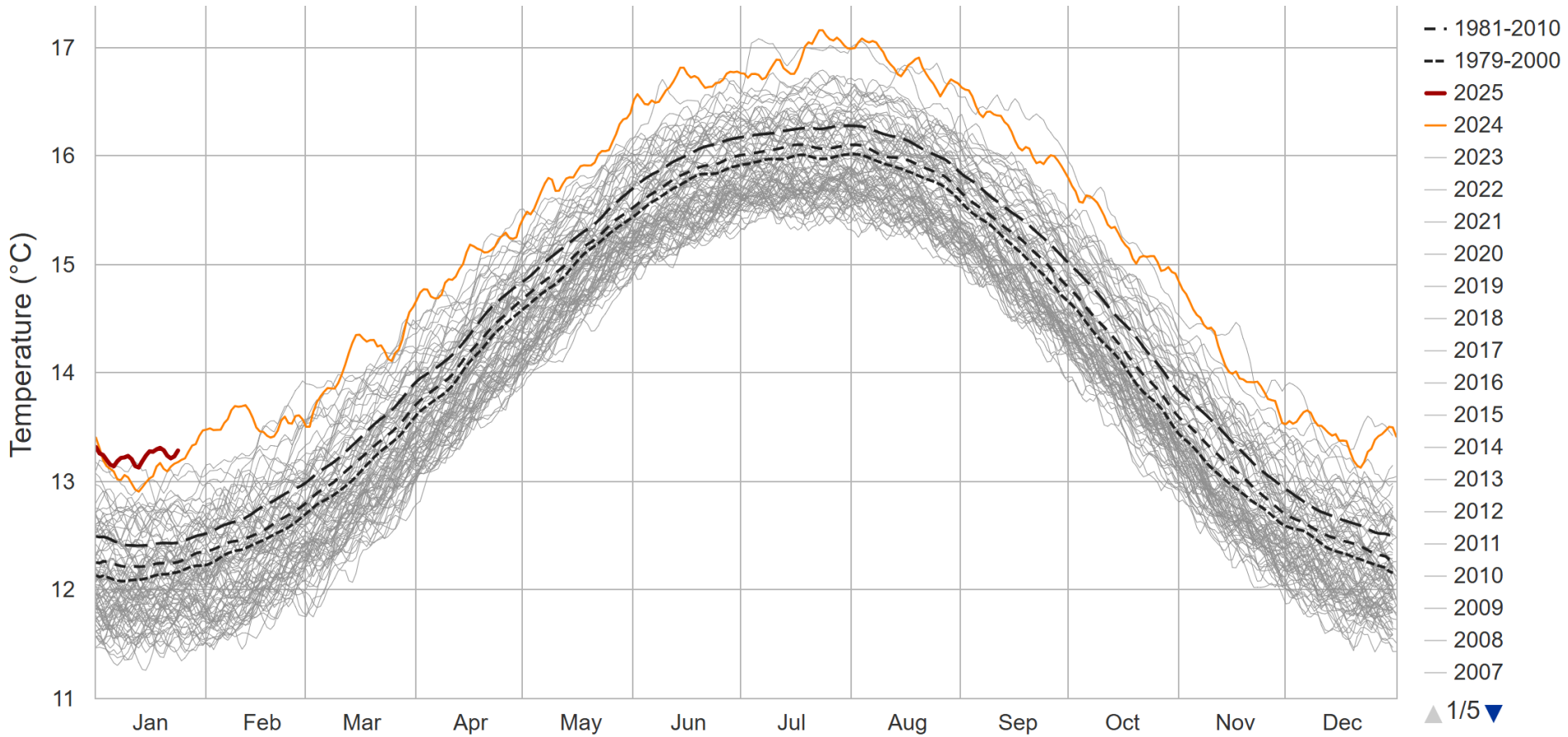
Data: ERA5 1940-2023 • Reference period: 1991-2020 • Credit: C3S/ECMWF



PROGRAMME OF THE
EUROPEAN UNION



The latest table:

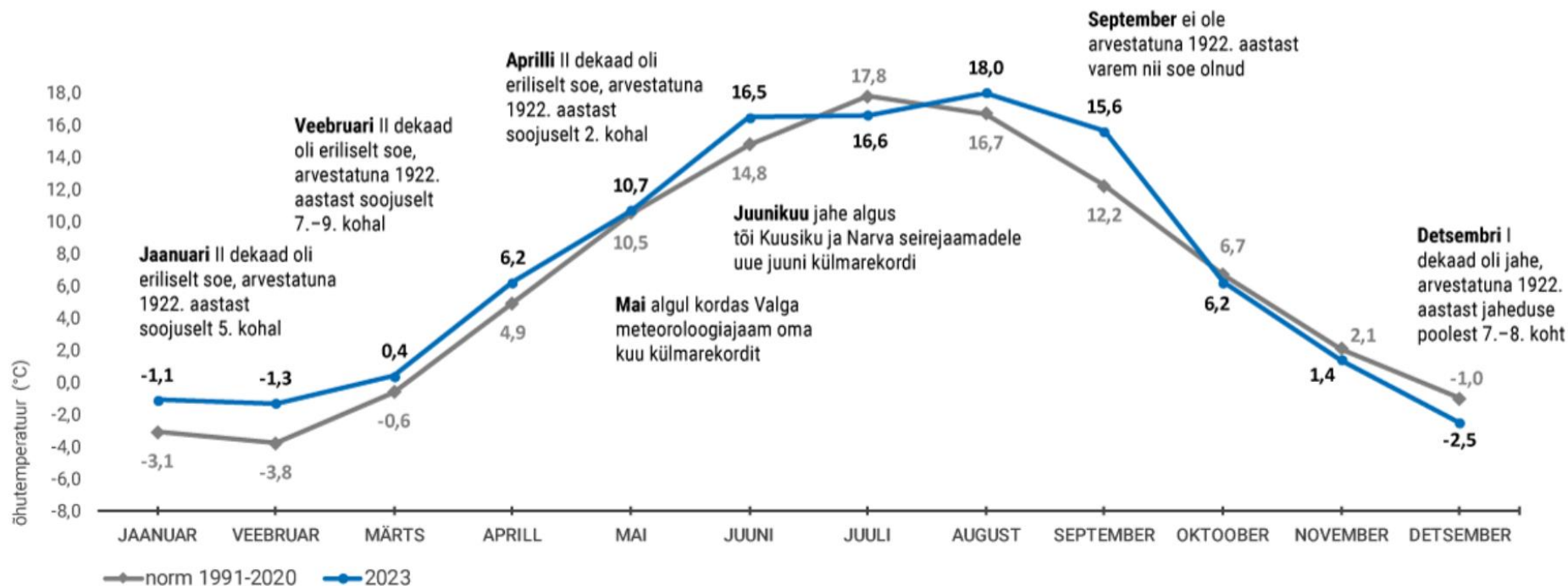


Regionaalselt võivad olla kliima muutused väga erinevad:

2023. aasta Eesti keskmine õhutemperatuur (°C)



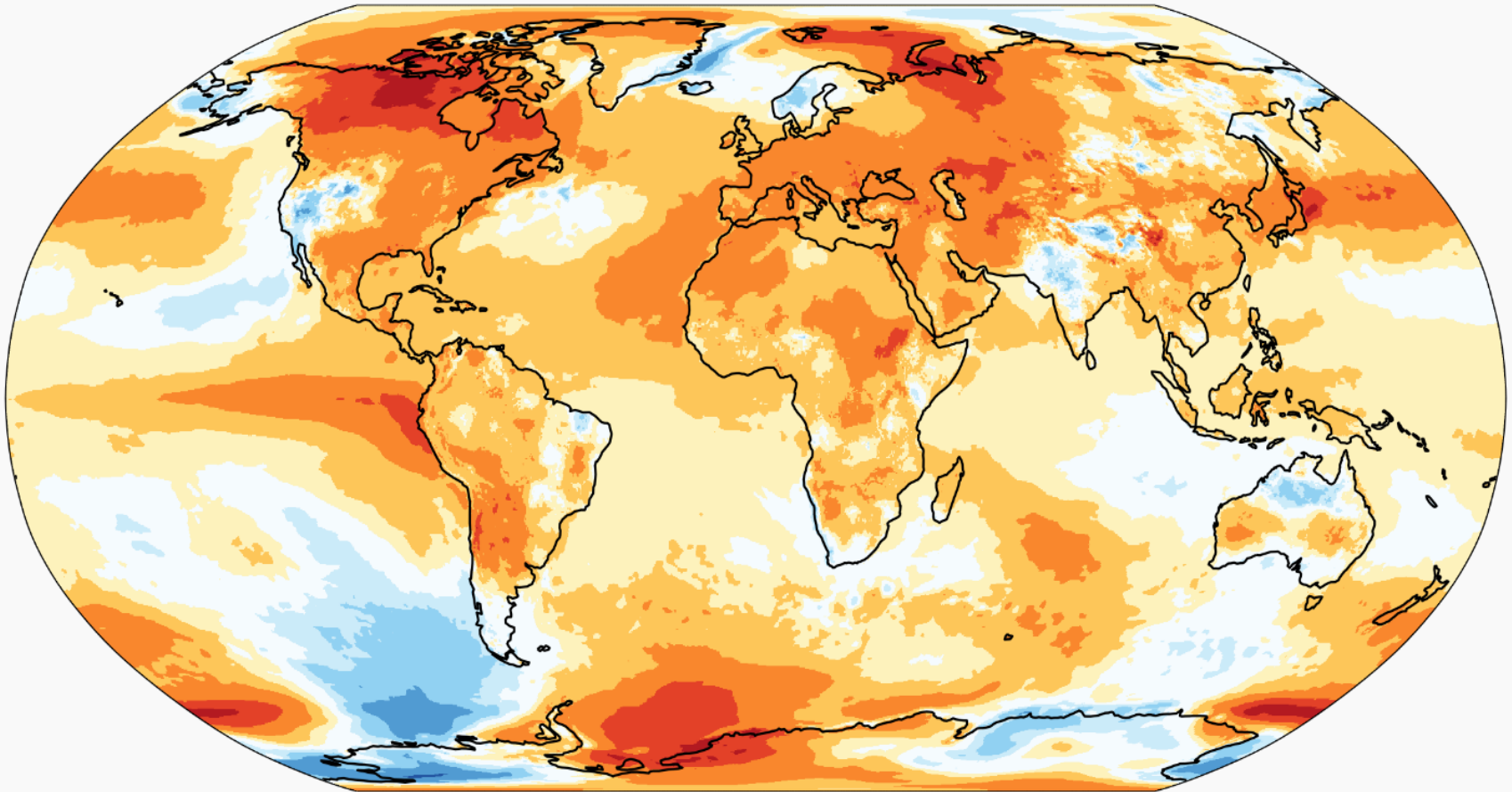
KESKKONNAAGENTUUR



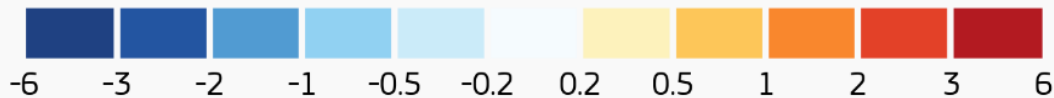
Kuskil palju soojem, kuskil külmem

SURFACE AIR TEMPERATURE ANOMALY • 2023

Reference period: 1991–2020 • Data: ERA5 • Credit: C3S/ECMWF

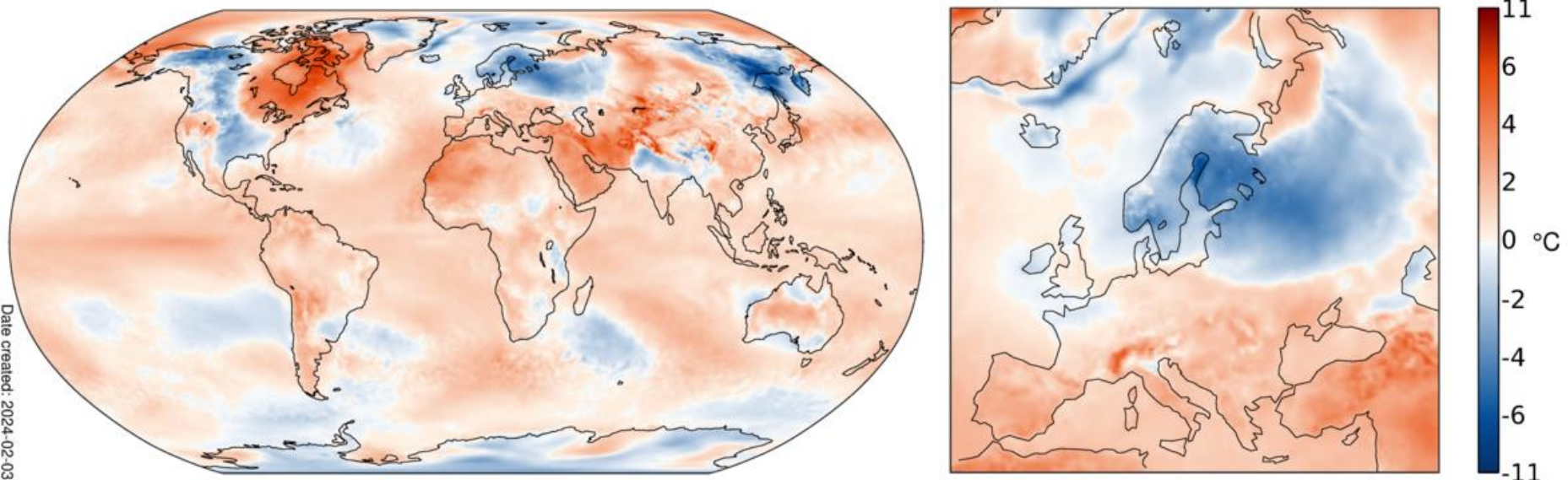


Temperature anomaly (°C)



2024 jaanuar oli maakera seniste mõõtmiasdmete põhjal kõige soojem, aga räägime seda Põhja-Eurooplastele

Surface air temperature anomaly for January 2024



(Data: ERA5. Reference period: 1991-2020. Credit: C3S/ECMWF)



PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION

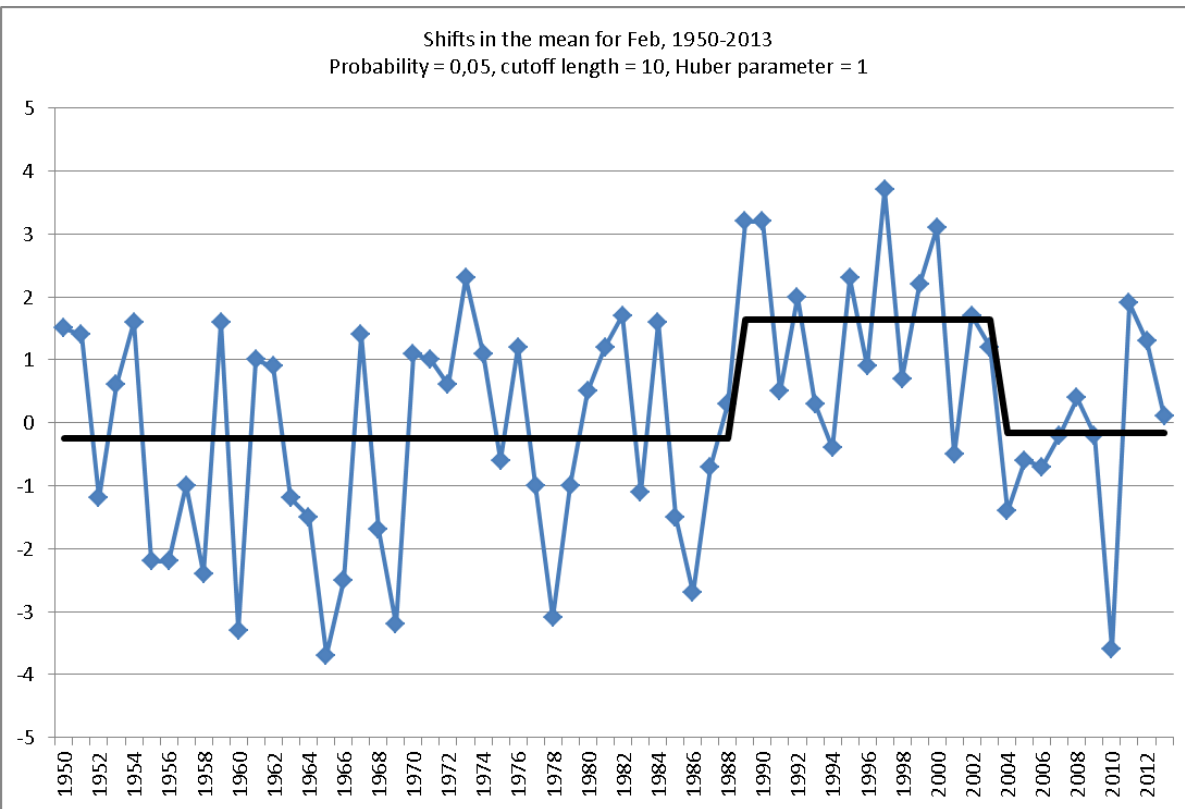


IMPLEMENTED BY

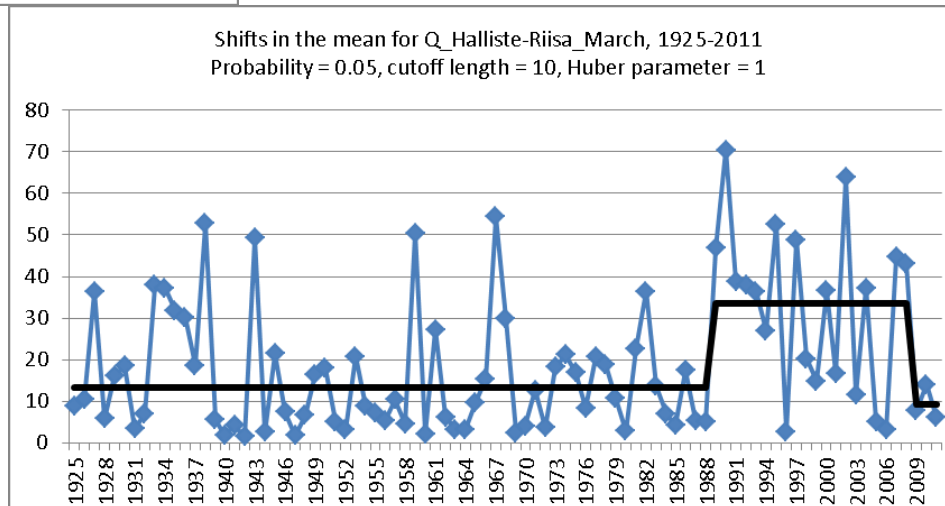
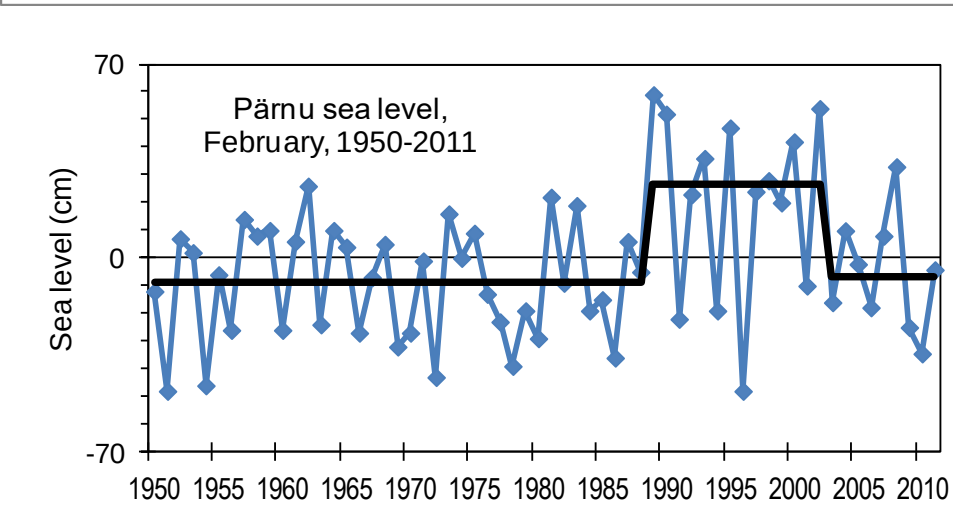


Climate
Change Service

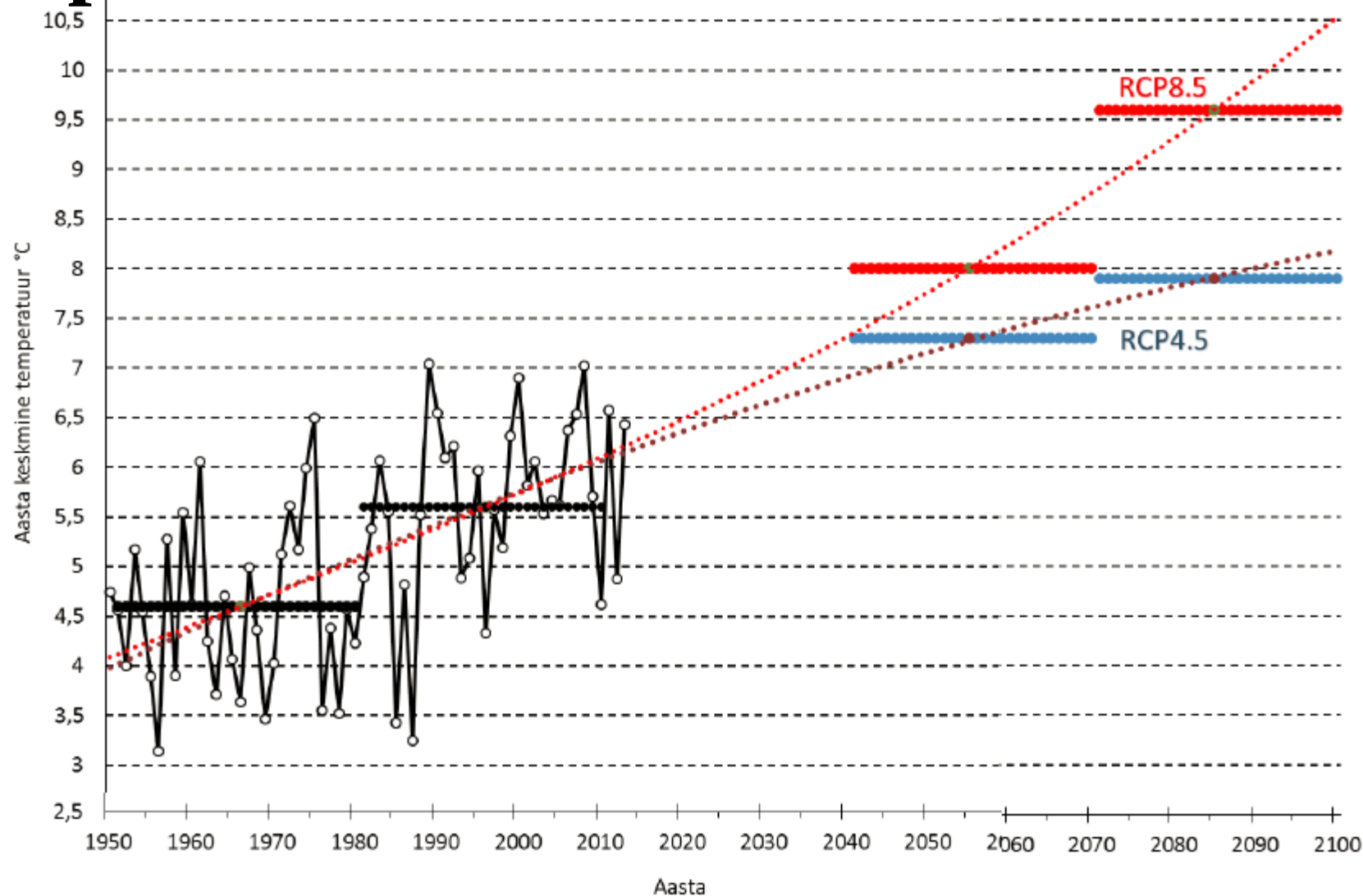
Regionaalsed kliimamuutused



**NAO indeksi muutused
ja režiimi hüpe, sageli on
meil muutused mitte
aeglased, vaid käivad
tsüklitena.**



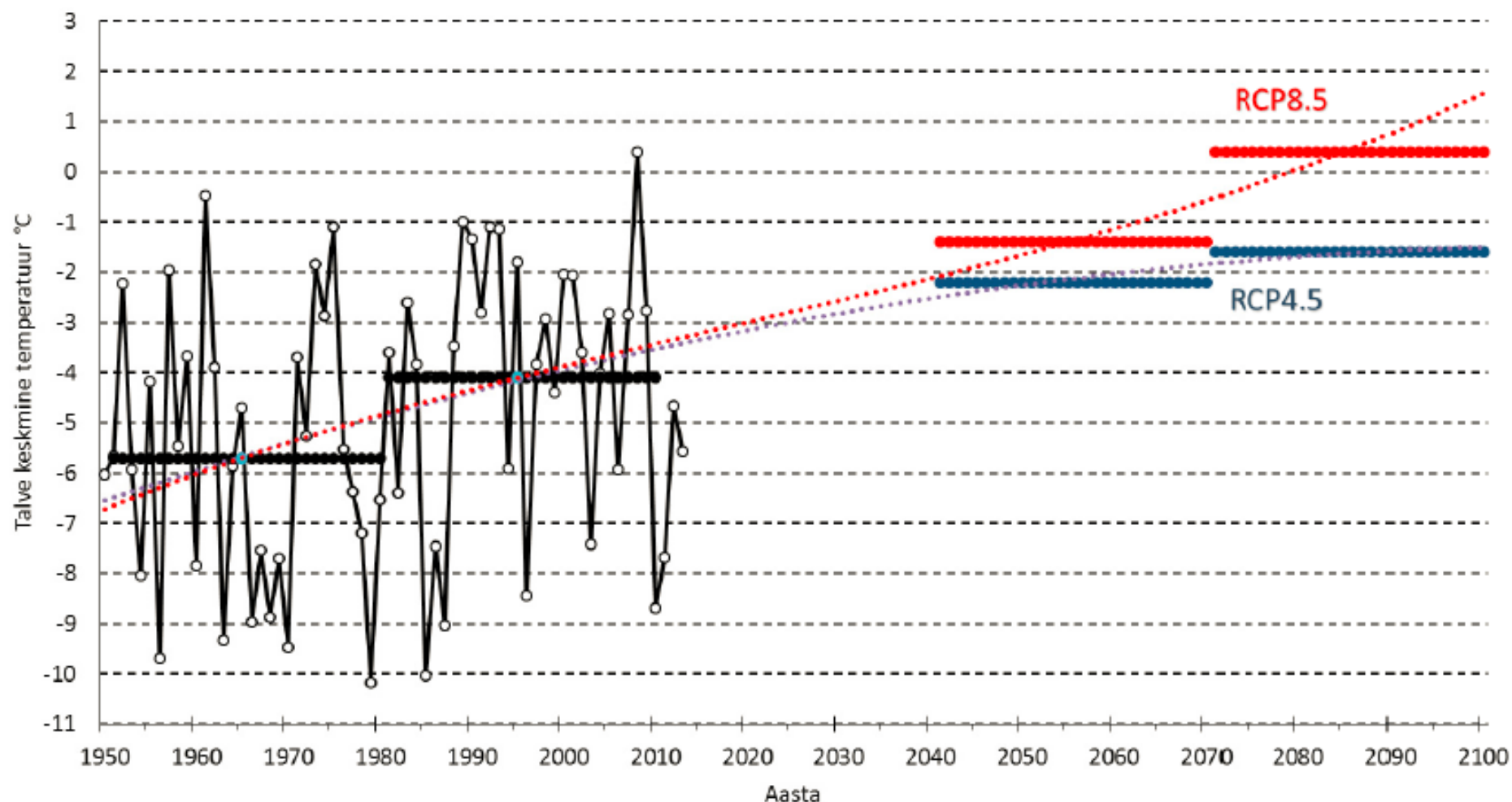
Temperatuur Eestis:



Sepp et al., 2015

Joonis 2. Tänapäeva (periood 1951–2013) aasta keskmine õhutemperatuur Türi meteoroloogiajaama andmetel (must joon) ja tulevikuprognosis perioodi 2041–2070 ja 2071–2100 kohta. Punasega on tähistatud tulevikustsenaarium RCP8.5, sinisega stsenaarium RCP4.5.

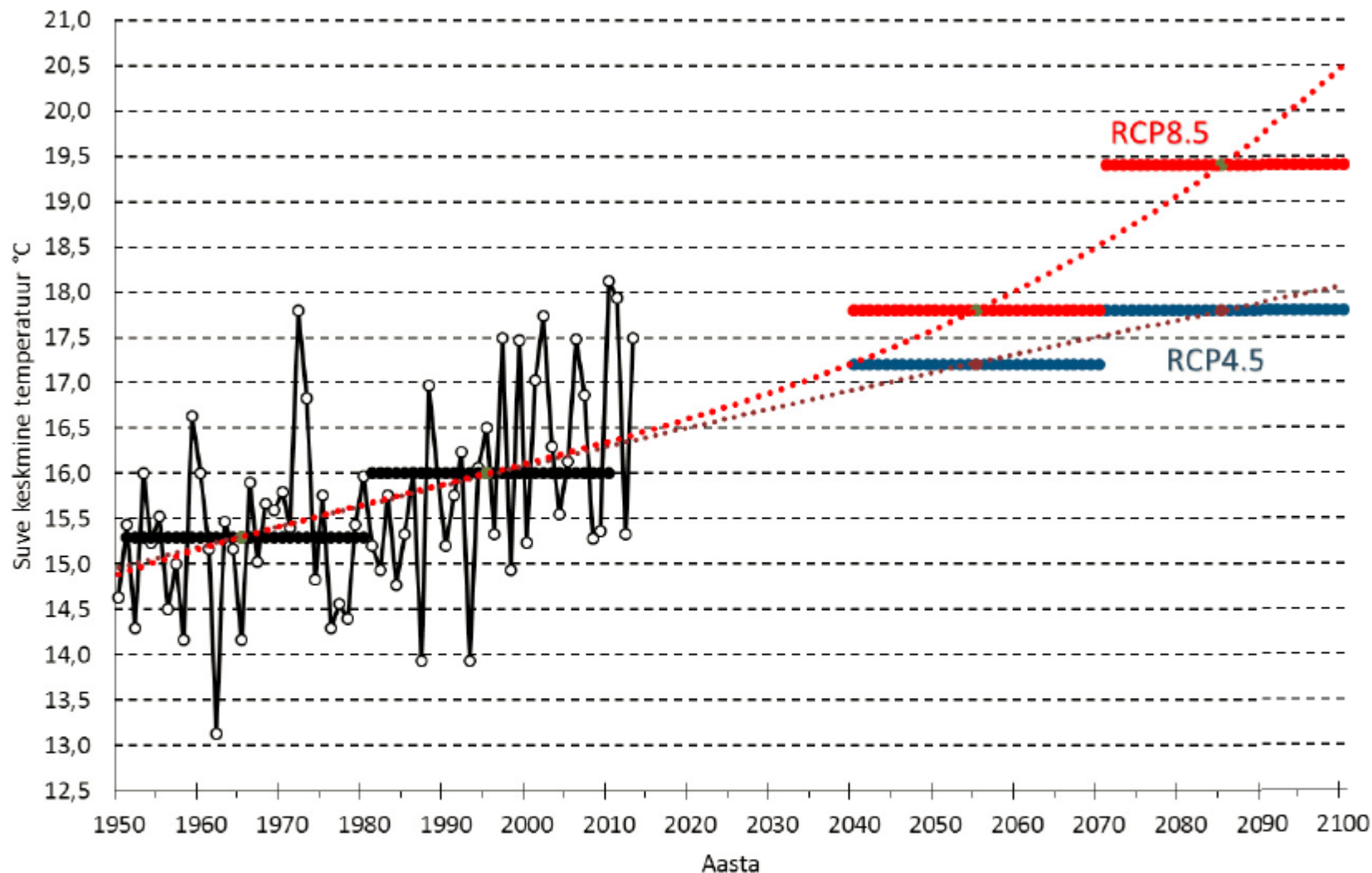
Temperatuur Eestis:



Sepp et al., 2015

Joonis 3. Tänapäeva (periood 1951–2013) talve keskmine õhutemperatuur Türi meteoroloogiajaama andmetel (must joon) ja tulevikuprognosis perioodi 2041–2070 ja 2071–2100 kohta. Punasega on tähistatud tulevikustsenaarium RCP8.5, sinisega stsenaarium RCP4.5.

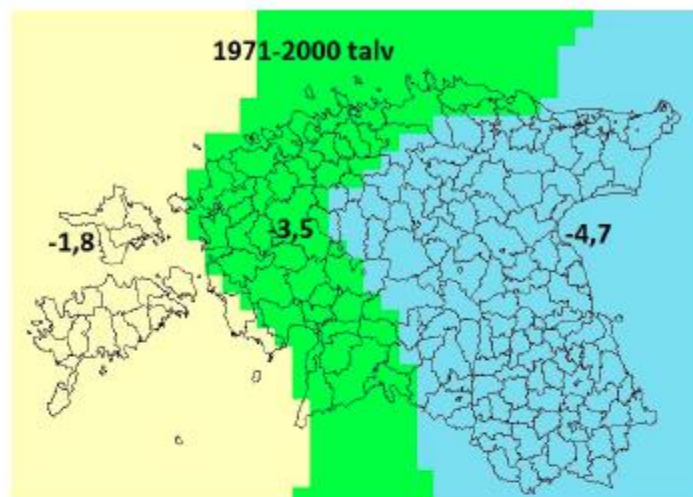
Temperatuur Eestis:



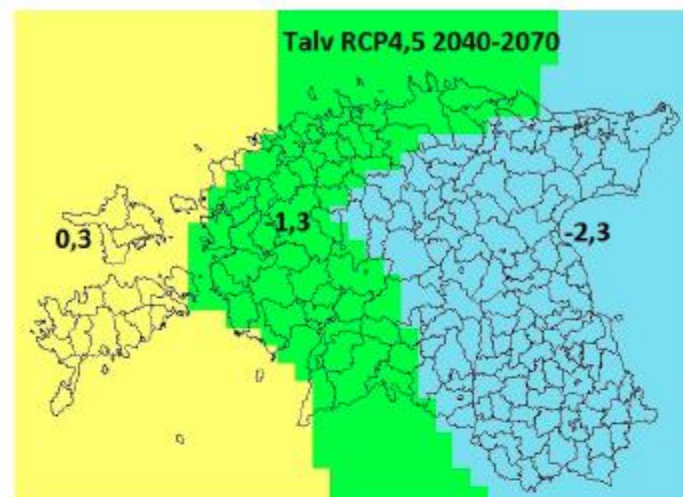
Sepp et al., 2015

Joonis 4. Tänapäeva (periood 1951–2013) suve keskmine õhutemperatuur Türi meteoroloogiajaama andmetel (must joon) ja tulevikuproгноos perioodi 2041–2070 ja 2071–2100 kohta. Punasega on tähistatud tulevikustsenaarium RCP8.5, sinisega stsenaarium RCP4.5.

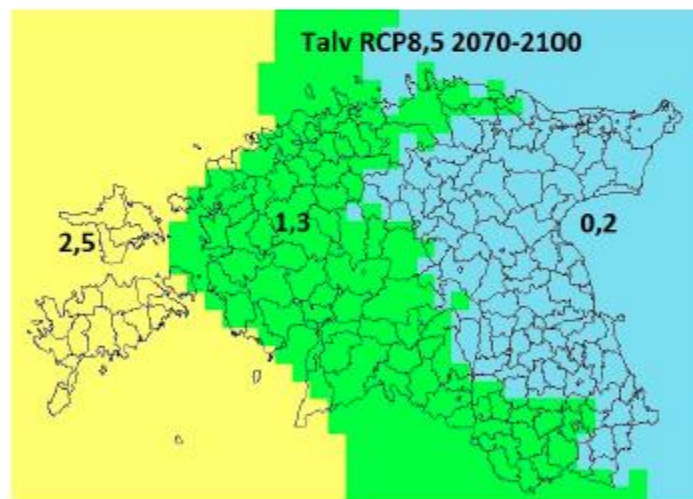
Temperatuur Eestis, talvel:



Joonis 9. Talve (DJV) klastrid ja nende keskmine õhutemperatuur normkliima perioodil 1971–2000.

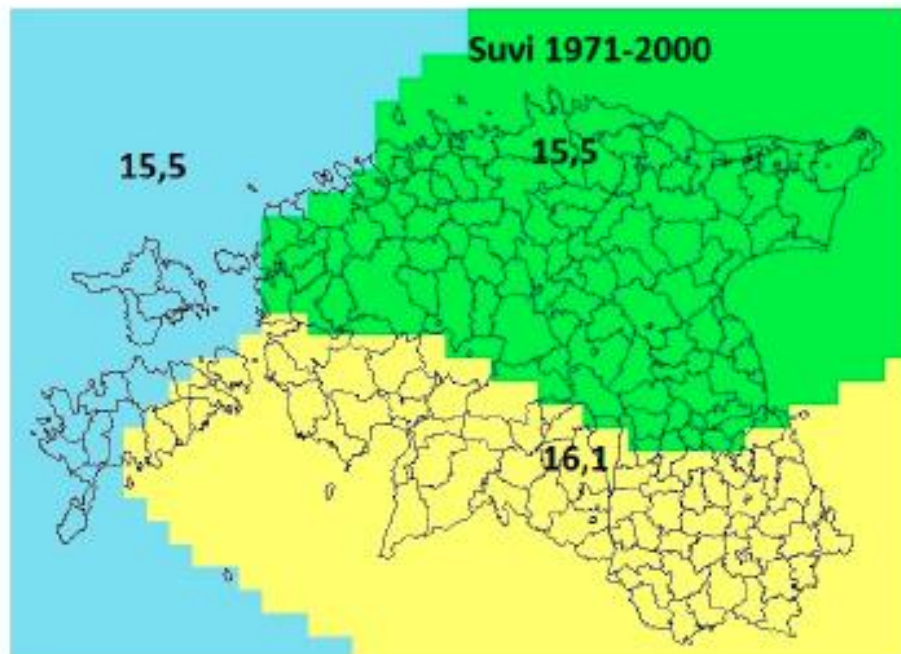


Joonis 10. Talve (DJV) klastrid ja nende keskmine õhutemperatuur stsenaariumi RCP4.5 kohaselt perioodil 2041–2070.

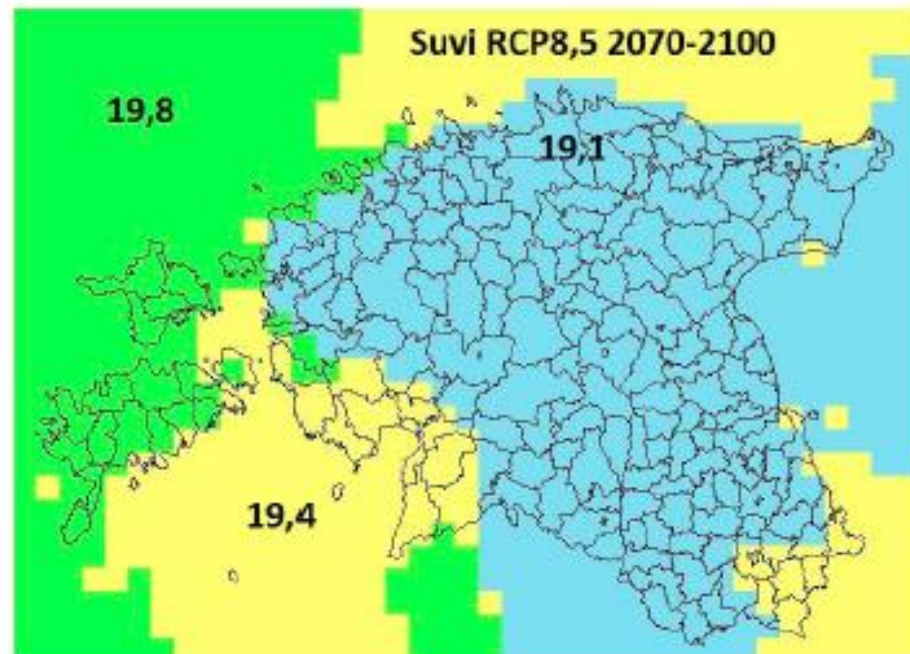


Joonis 11. Talve (DJV) klastrid ja nende keskmine õhutemperatuur stsenaariumi RCP8.5 kohaselt perioodil 2071–2100.

Temperatuur Eestis, suvel:



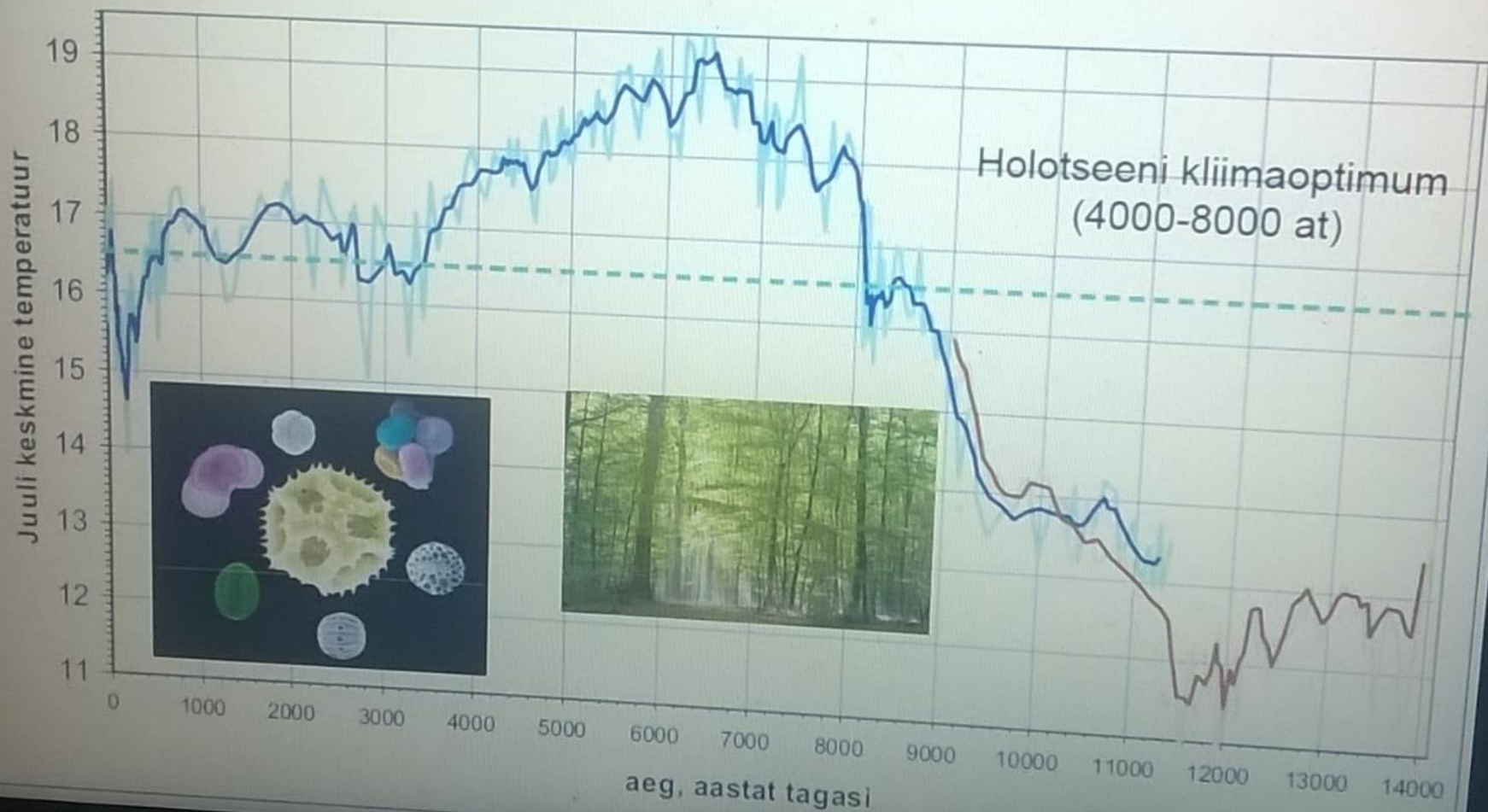
Joonis 5. Suve (JJA) klastrid ja nende keskmine õhutemperatuur normkliima perioodil 1971–2000.



Joonis 6. Suve (JJA) klastrid ja nende keskmine õhutemperatuur stsenaariumi RCP8.5 kohaselt perioodil 2071–2100.

Kliimarekonstruktsioon:

Eesti pärastjääaegne juuli keskmine temperatuur



Regionaalne kliimamuutus

- Globaalne temperatuur on möödunud sajandi jooksul tõusnud vaid $0,6 \pm 0,2$ °C;
- Läänemere regiooni temperatuur on tõusnud möödunud sajandi jooksul veidi rohkem - 0,5 kuni 0,9 °C
- Eesti talvine temperatuur on tõusnud 20 sajandi teisel poolel $1-1,7$ °C, rannikujaamades lausa 2-2,6 kraadi;
- Selle tulemusena Läänemere jääkate 20. saj kahanenud ca 50 000 km²

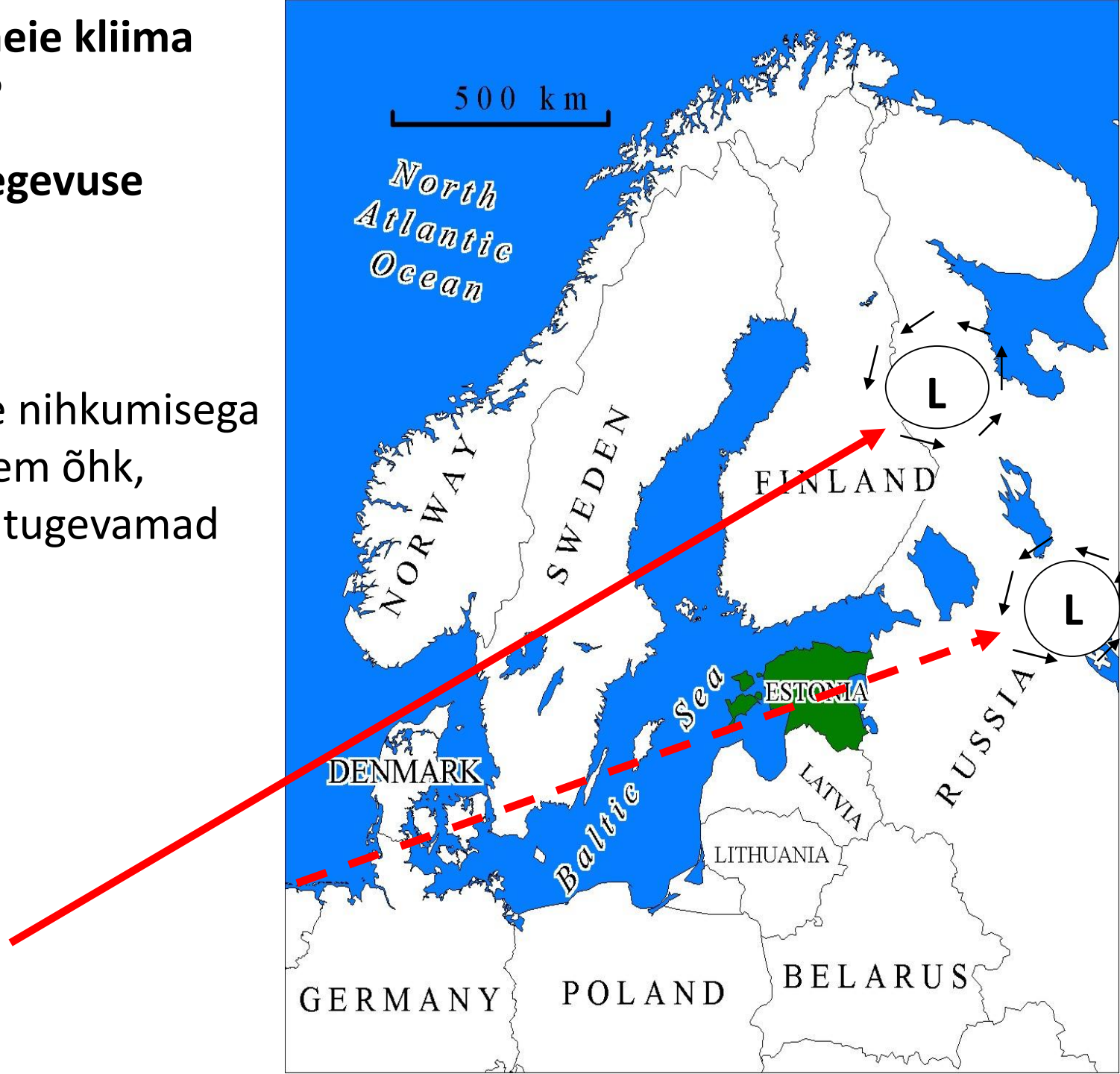
Table 1. Changes by linear regression (trendline) in monthly and annual mean air temperature (°C) in 1951--2020 at coastal stations in Estonia (Fig. 1). Statistically significant changes (p<0.05) are highlighted in bold.

Station	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
Kunda	2.7	4.9	4.5	2.6	2.5	0.6	1.8	2.0	2.4	0.7	2.4	3.1	2.6
Tallinn	2.1	4.5	4.1	2.9	2.4	0.5	1.8	1.5	2.0	0.2	2.1	2.7	2.3
Pakri	2.4	4.5	4.3	2.6	2.4	0.8	2.0	2.2	2.5	0.7	2.5	3.1	2.5
Virtsu	2.3	4.6	4.6	3.3	2.2	1.0	1.9	2.0	2.0	0.2	2.0	2.9	2.4
Pärnu	2.7	4.4	4.8	3.6	2.1	0.2	1.3	1.3	1.6	-0.1	2.0	3.3	2.2
Kihnu	2.2	4.3	4.8	3.4	2.7	1.0	1.8	2.1	2.2	0.5	2.0	2.8	2.5
Sõrve	2.3	3.8	4.2	3.3	2.9	1.6	2.2	2.4	2.1	0.5	1.7	2.4	2.6
Vilsandi	2.3	3.8	4.2	2.9	2.7	1.6	2.2	2.6	2.3	0.7	2.0	2.7	2.5
Ristna	2.0	3.7	3.6	2.5	2.3	1.1	1.9	2.3	2.1	0.5	2.0	2.7	2.2

**Mis mõjutab meie kliima
muutust enim?**

**Tsüklonaalse tegevuse
muutused:**

Põhja-suunalise nihkumisega
tuleb meil soojem õhk,
rohkem torme, tugevamad
tormid



Õhutemperatuur

Tuul

Sademed

Pilvisus

Õhurõhk

Õhuniiskus

Lisakihid



L

P

6:00

12:00

18:00

E

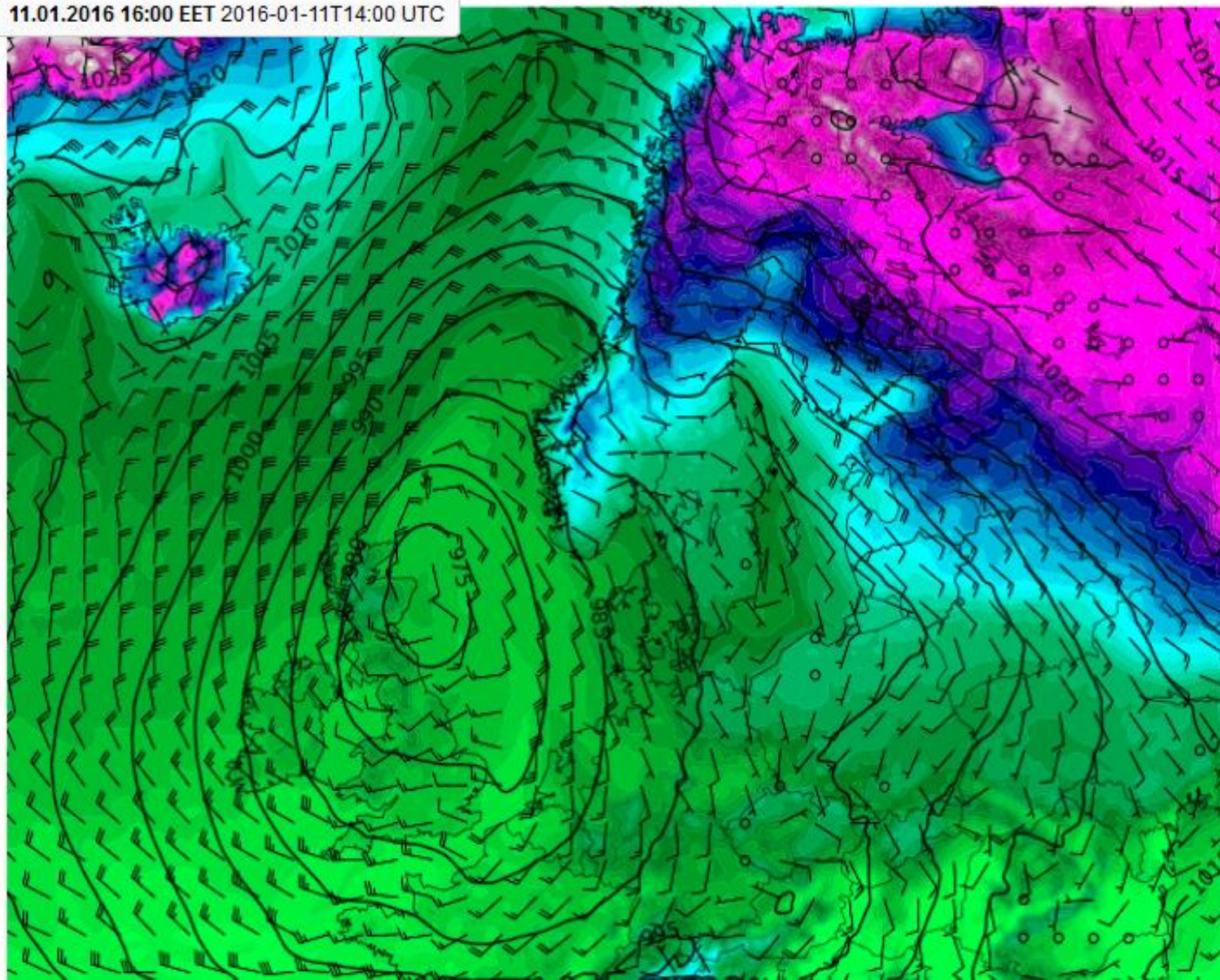
6:00

12:00

18:00

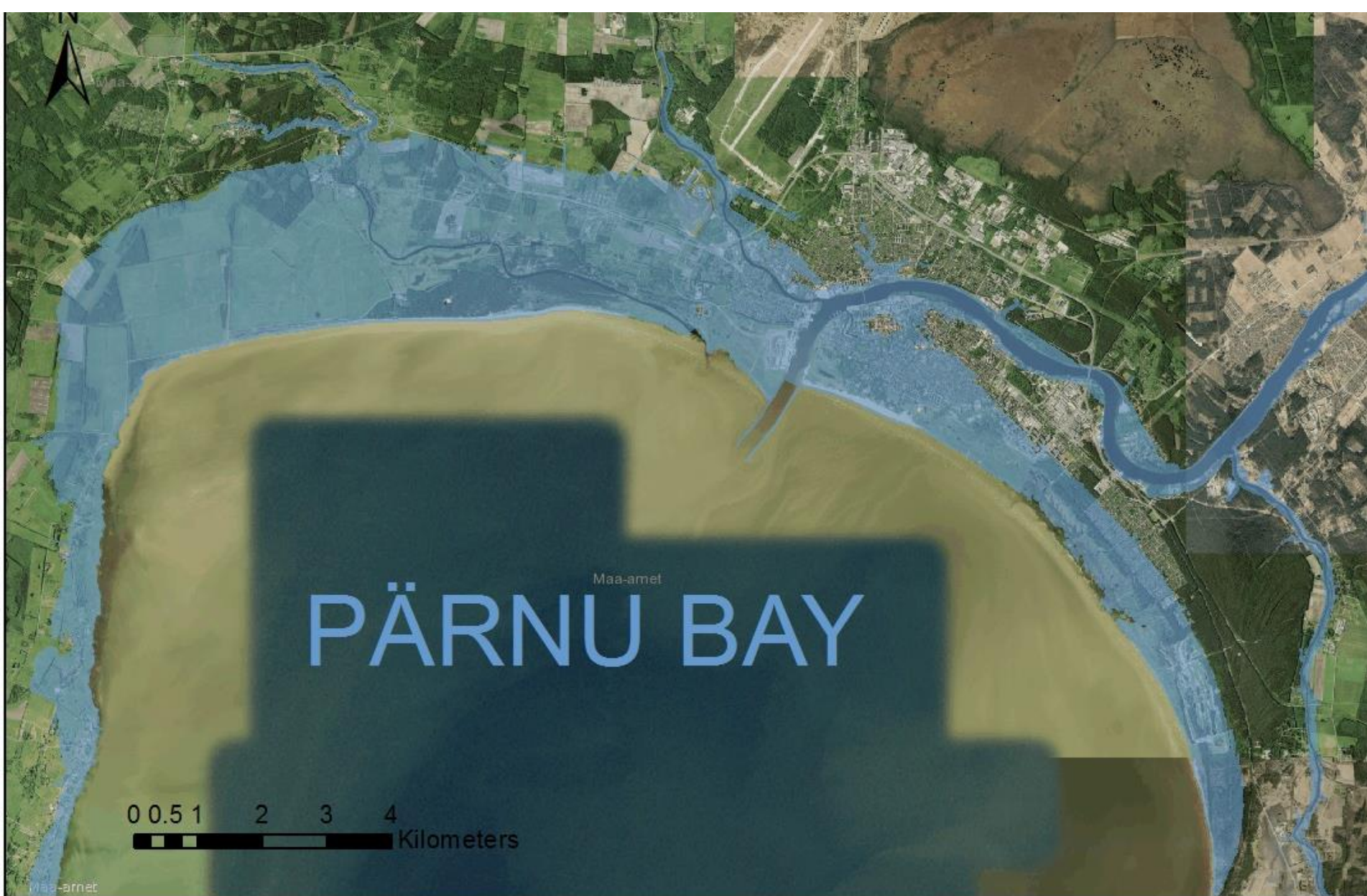
T

11.01.2016 16:00 EET 2016-01-11T14:00 UTC



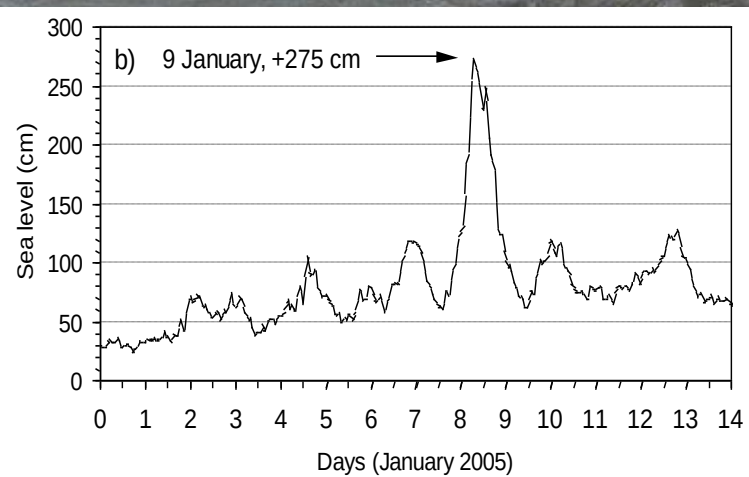
Näide
tsüklonist
ja tuulte
liikumisest
selle sees:
Soe õhk
lõunas,
külm
põhjas

Mida teevad tsüklonitega kaasnevad tugevad tuuled?



Pärnu 2005, jaanuaritorm

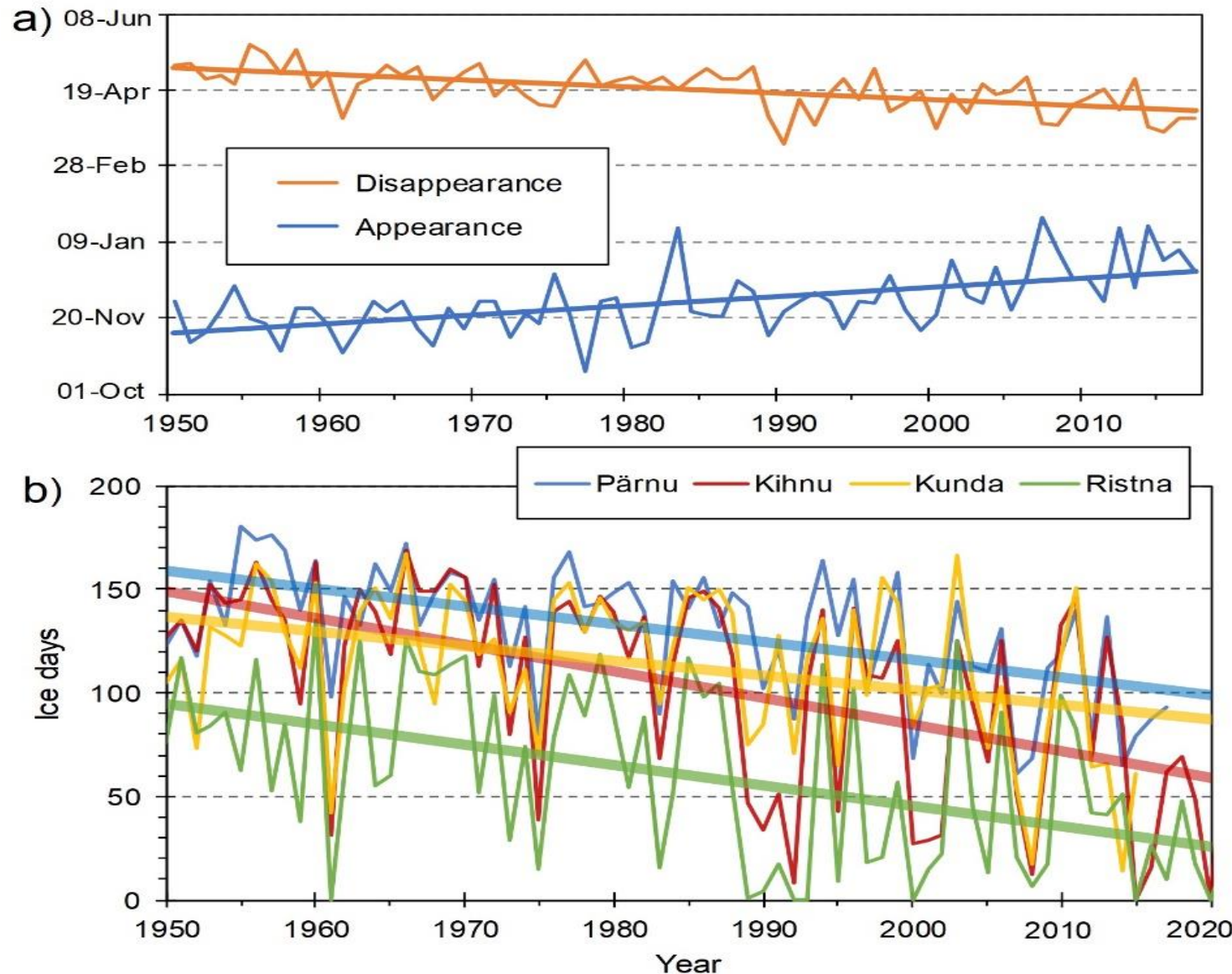
(foto: Delfi.ee)



Pärnu Postimees

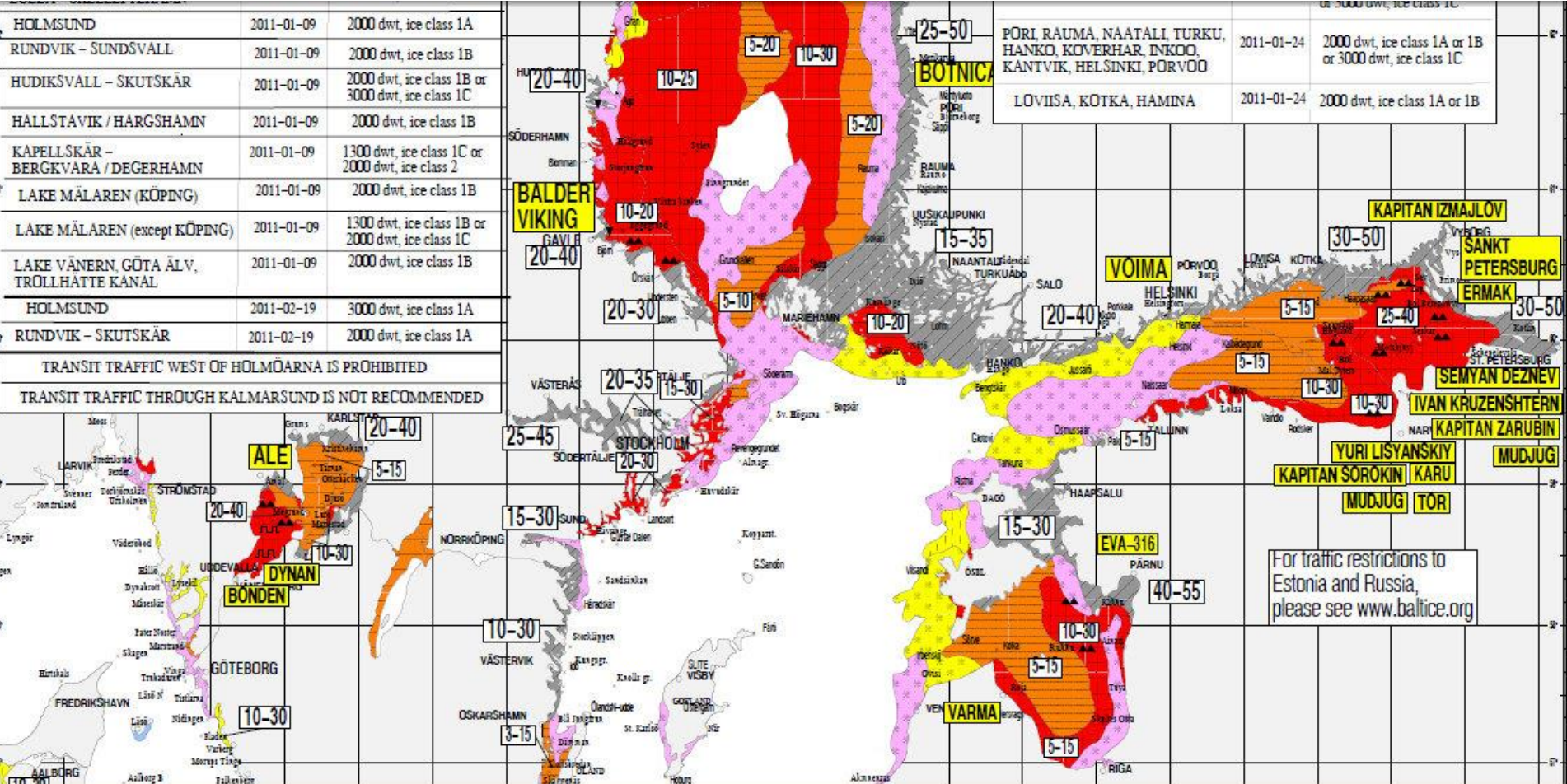


Jäänähtuste teke ja kadumine (a) ja jääpäevade arv (b) Kundas, Ristnal, Kihnus ja Pärnus:



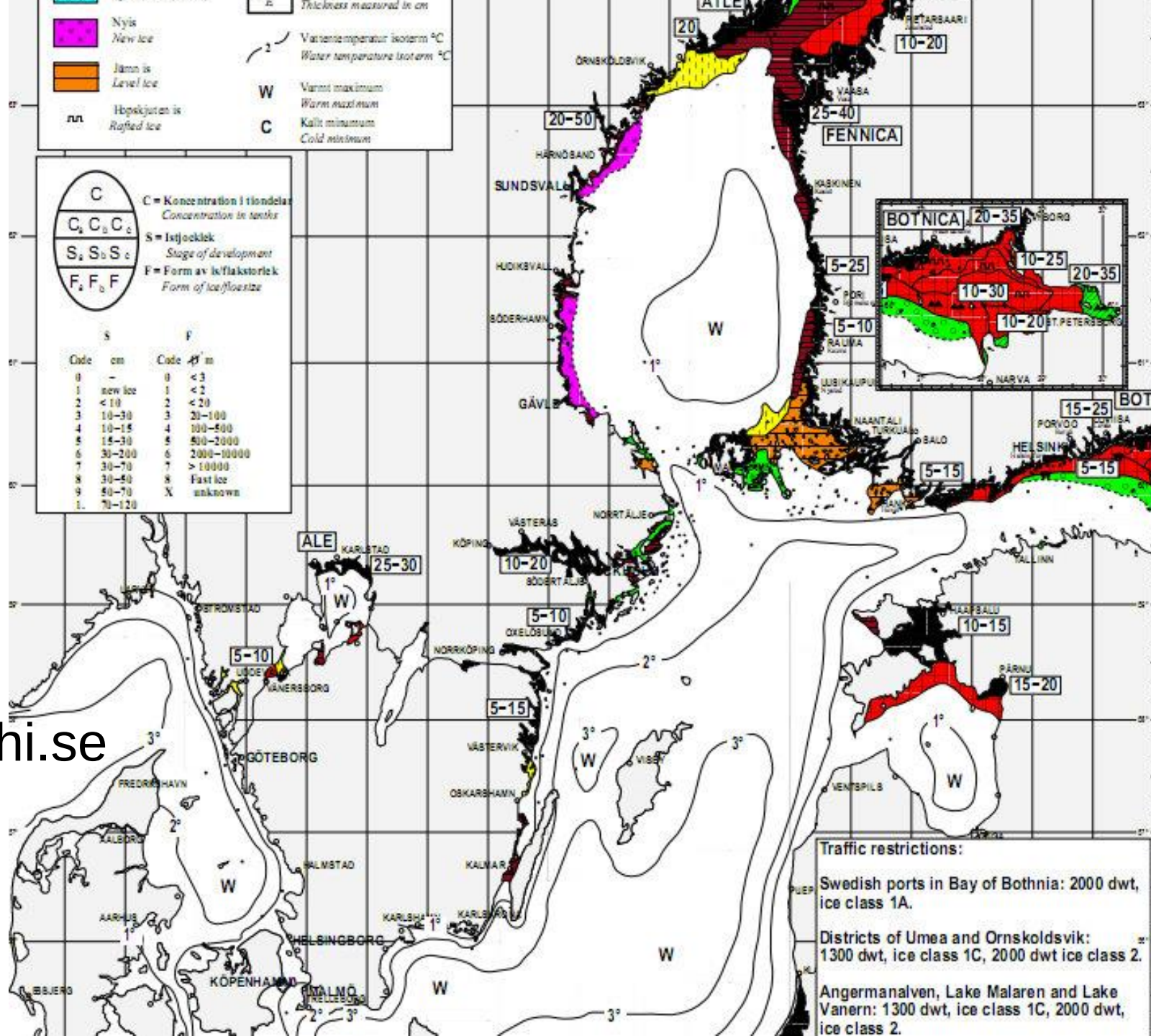
2011.02.08

HOLMSUND	2011-01-09	2000 dwt, ice class 1A
RUNDVIK - SUNDSVALL	2011-01-09	2000 dwt, ice class 1B
HUDIKSVALL - SKUTSKÅR	2011-01-09	2000 dwt, ice class 1B or 3000 dwt, ice class 1C
HALLSTAVIK / HARGSHAMN	2011-01-09	2000 dwt, ice class 1B
KAPELLSKÅR - BERGKVARA / DEGERHAMN	2011-01-09	1300 dwt, ice class 1C or 2000 dwt, ice class 2
LAKE MÅLAREN (KÖPING)	2011-01-09	2000 dwt, ice class 1B
LAKE MÅLAREN (except KÖPING)	2011-01-09	1300 dwt, ice class 1B or 2000 dwt, ice class 1C
LAKE VÄnern, GÖTA ÄLV, TRÖLLHÄTTE KANAL	2011-01-09	2000 dwt, ice class 1B
HOLMSUND	2011-02-19	3000 dwt, ice class 1A
RUNDVIK - SKUTSKÅR	2011-02-19	2000 dwt, ice class 1A
TRANSIT TRAFFIC WEST OF HOLMÖARNA IS PROHIBITED		
TRANSIT TRAFFIC THROUGH KALMARSUND IS NOT RECOMMENDED		



For traffic restrictions to Estonia and Russia, please see www.baltice.org

2004
02.02



SMHI
maps
www.smhi.se

Kui meri on täielikult jääs, ei toimu ka rannas midagi...



Isegi kui rannas on natukene jääd ja setted külmunud, ikka ei toimu midagi...



Naisterand

Naisterand on ajalooliselt väljakujunenud piirkond, kus on üldtunnustatud tavaks alasti päevitamine. Täname, et austate piirkonna traditsioone ja rannasviibivate naiste privaatsust!

The Ladies' Beach

The Ladies' Beach is a section of beach where, historically, naked sunbathing by ladies has become a widely acknowledged practice.

Thank you for showing respect for the traditions and privacy of ladies sunbathing on the beach!

Женский пляж

Женский пляж – это исторически сложившийся участок, на котором общепринято загорать в полностью открытом виде.

Благодарим вас за проявленное уважение к традициям этой зоны отдыха и к приватности находящихся на пляже дам.

Naisten ranta

Naisten ranta on ajan myötä vakiintunut alue, jossa on yleisesti hyväksyttynä tapana ottaa aurinkoa alasti.

Kiitos, että kunnioitat alueen perinteitä ja rannalla oleskelevien naisten yksityisyyttä!

S. Suuroja foto

Kui aga rand jääs pole, siis annab
rannaprotsessidega sammu pidada...

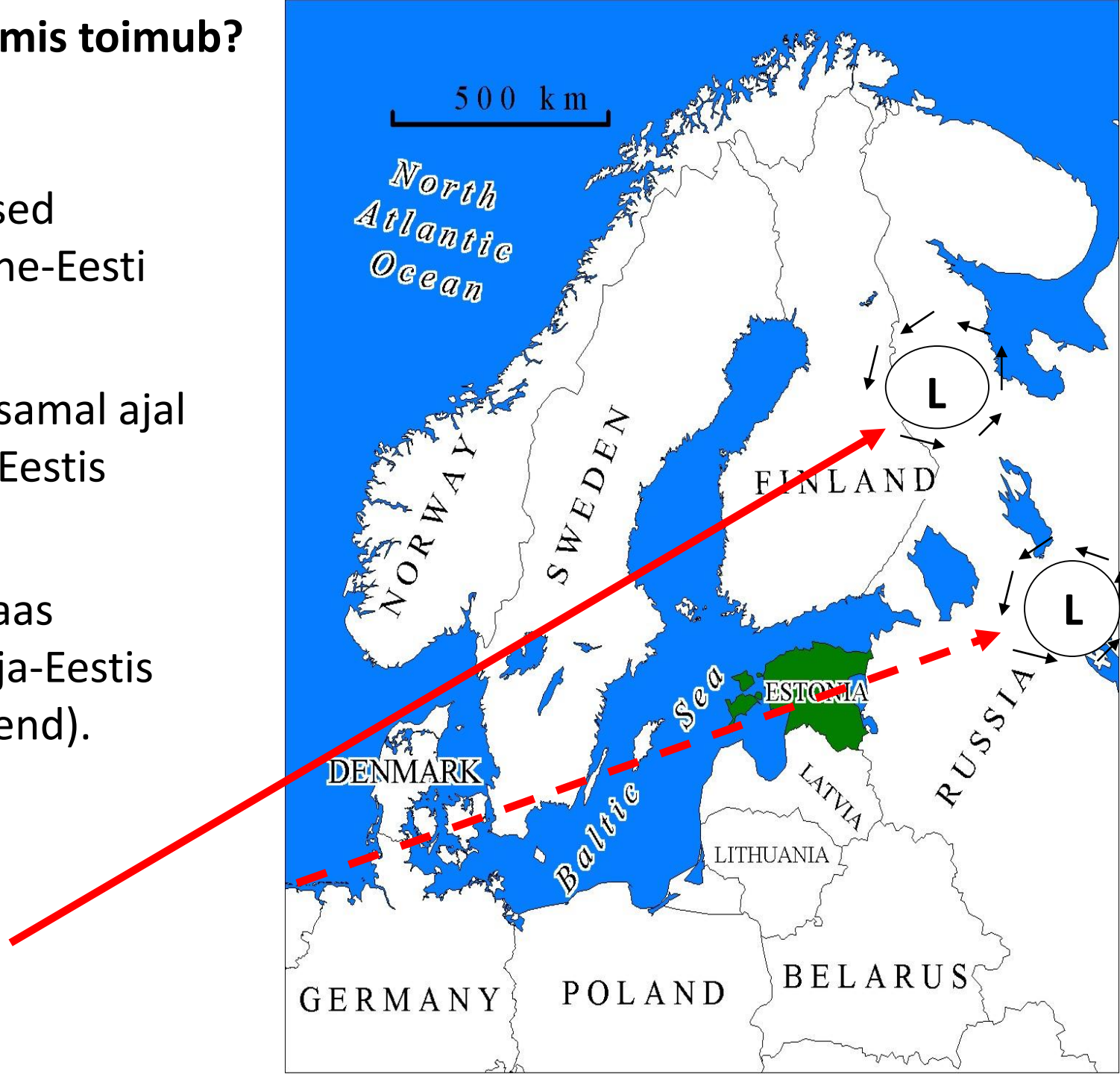


Tuleme tagasi, mis toimub?

Muutuste kiirused suurenesid Lääne-Eesti avatud rannikul

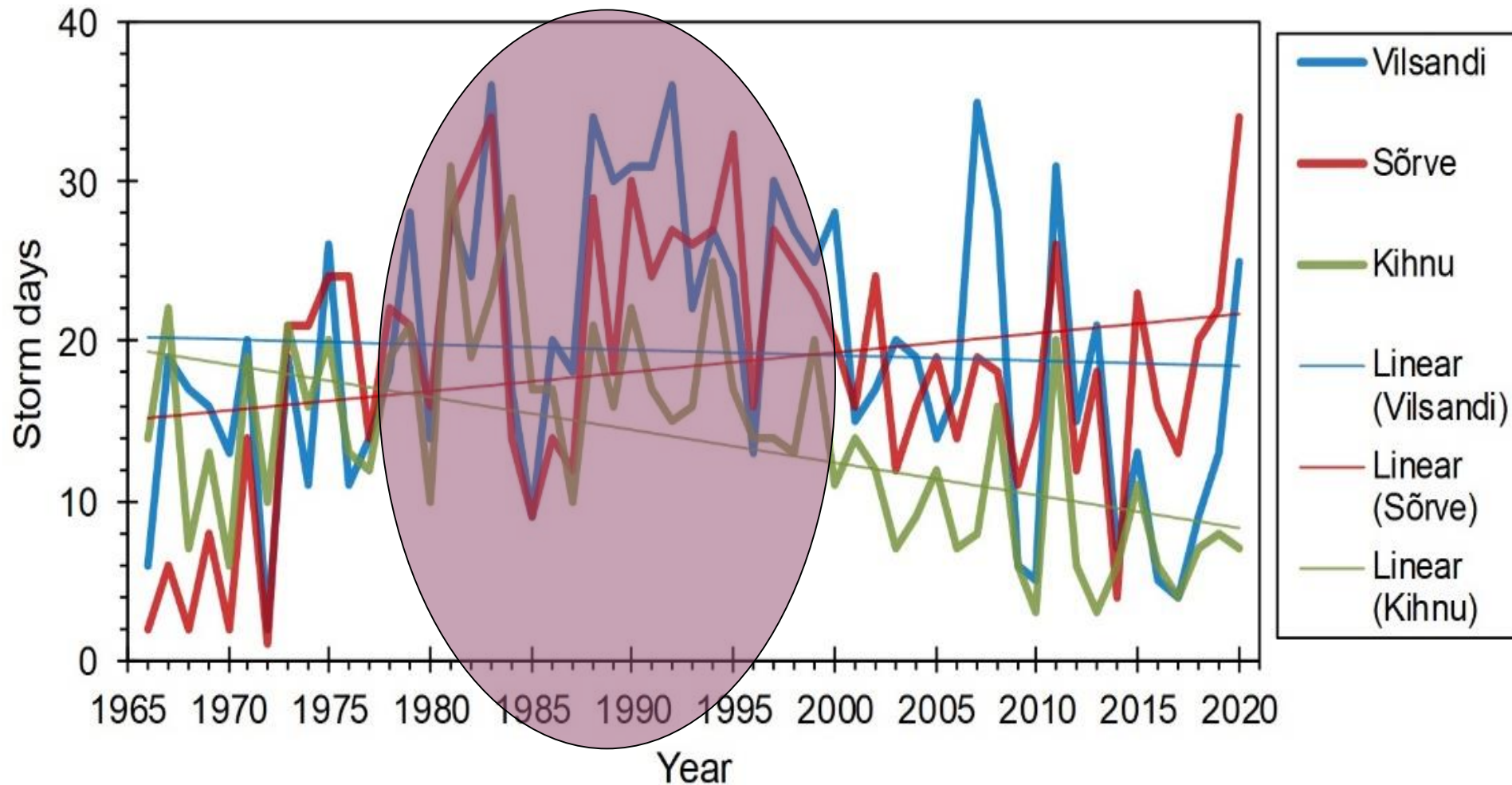
Muutused jäid samal ajal Põhja- ja Kirde-Eestis loiumaks;

Muutused on taas kiirenenud Põhja-Eestis (viimane kümnend).

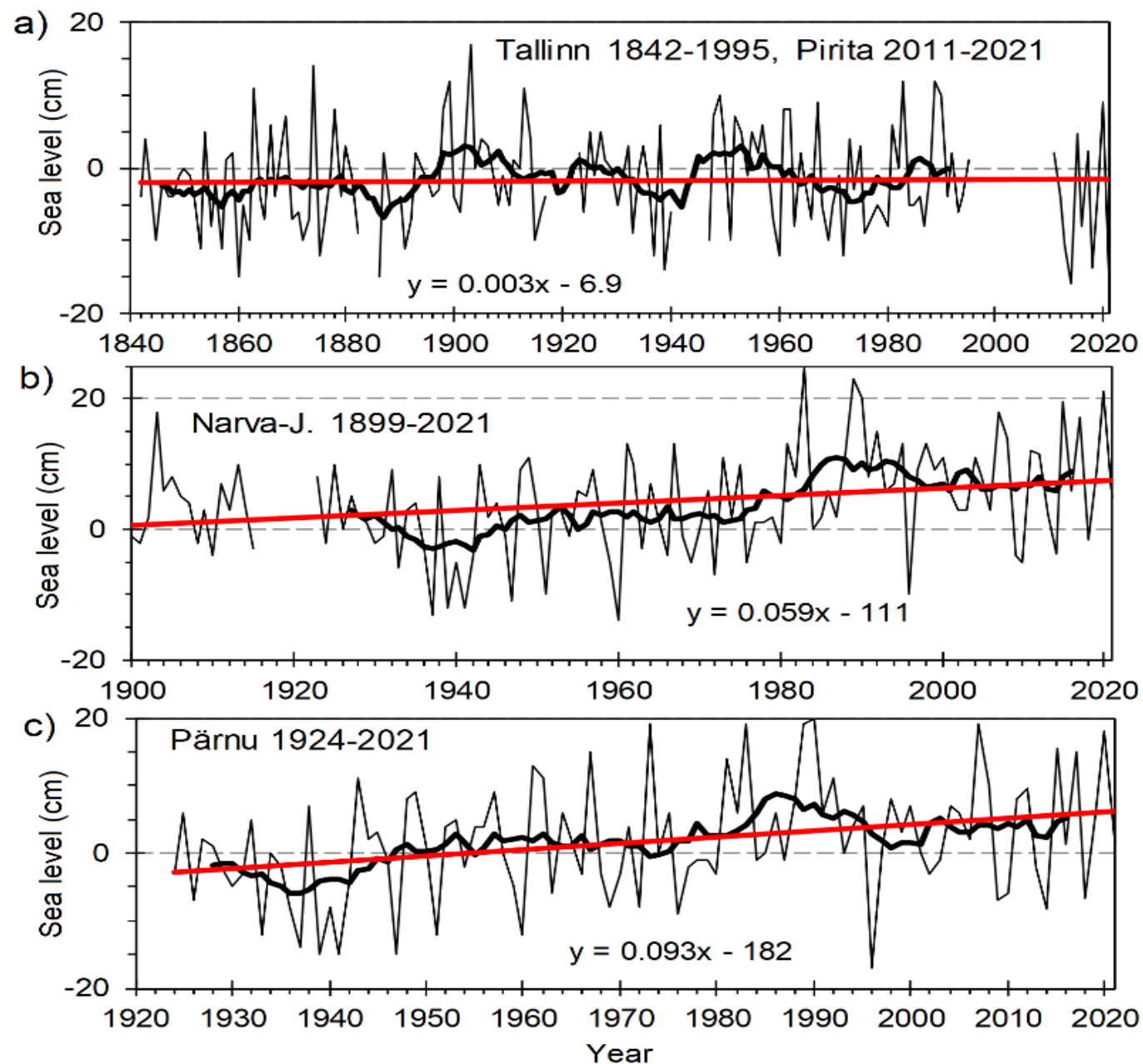


Mis see muutus on meile teinud?

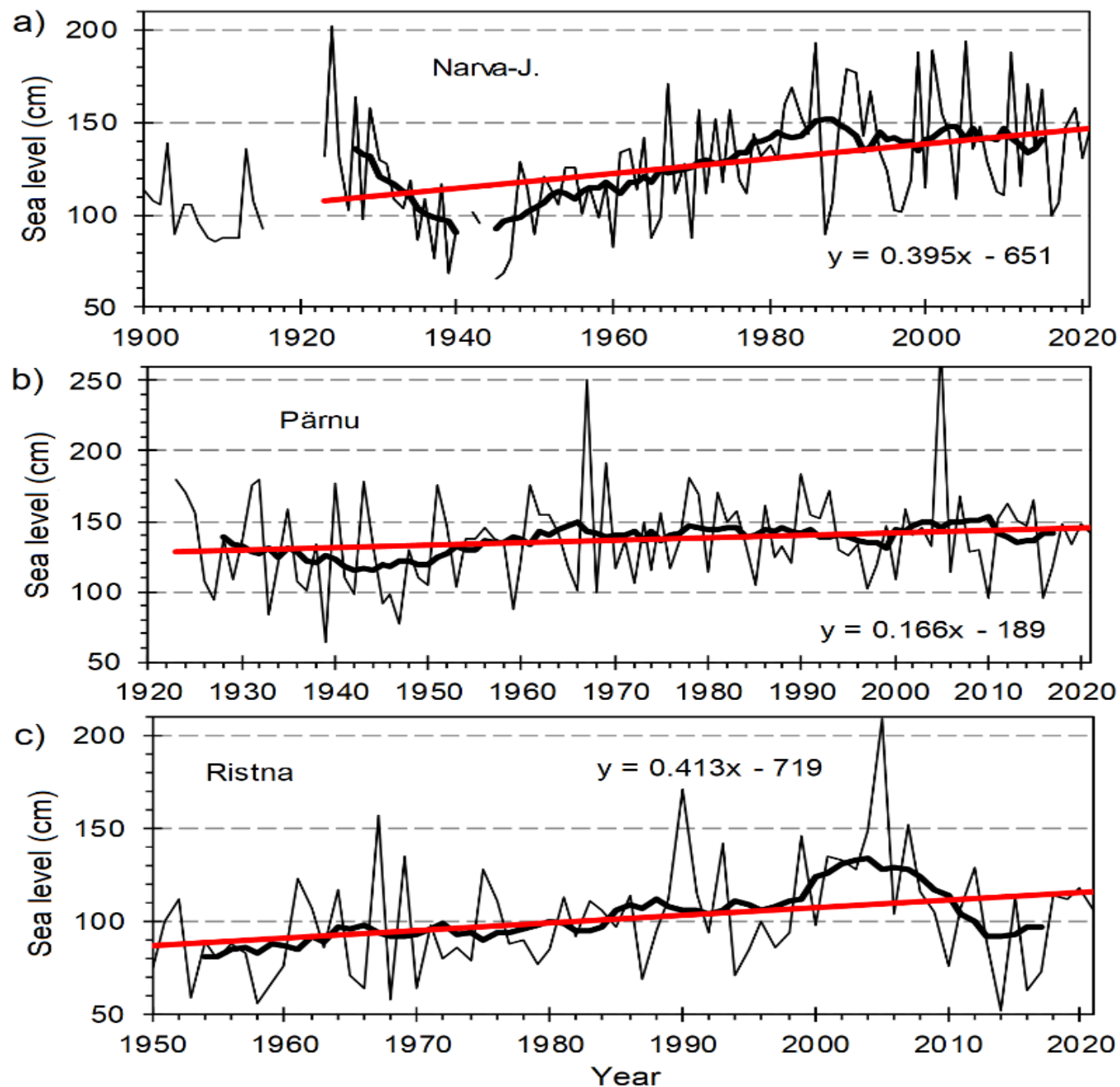
Tormipäevade arvu muutus Vilsandil, Sõrvel ja Kihnus.



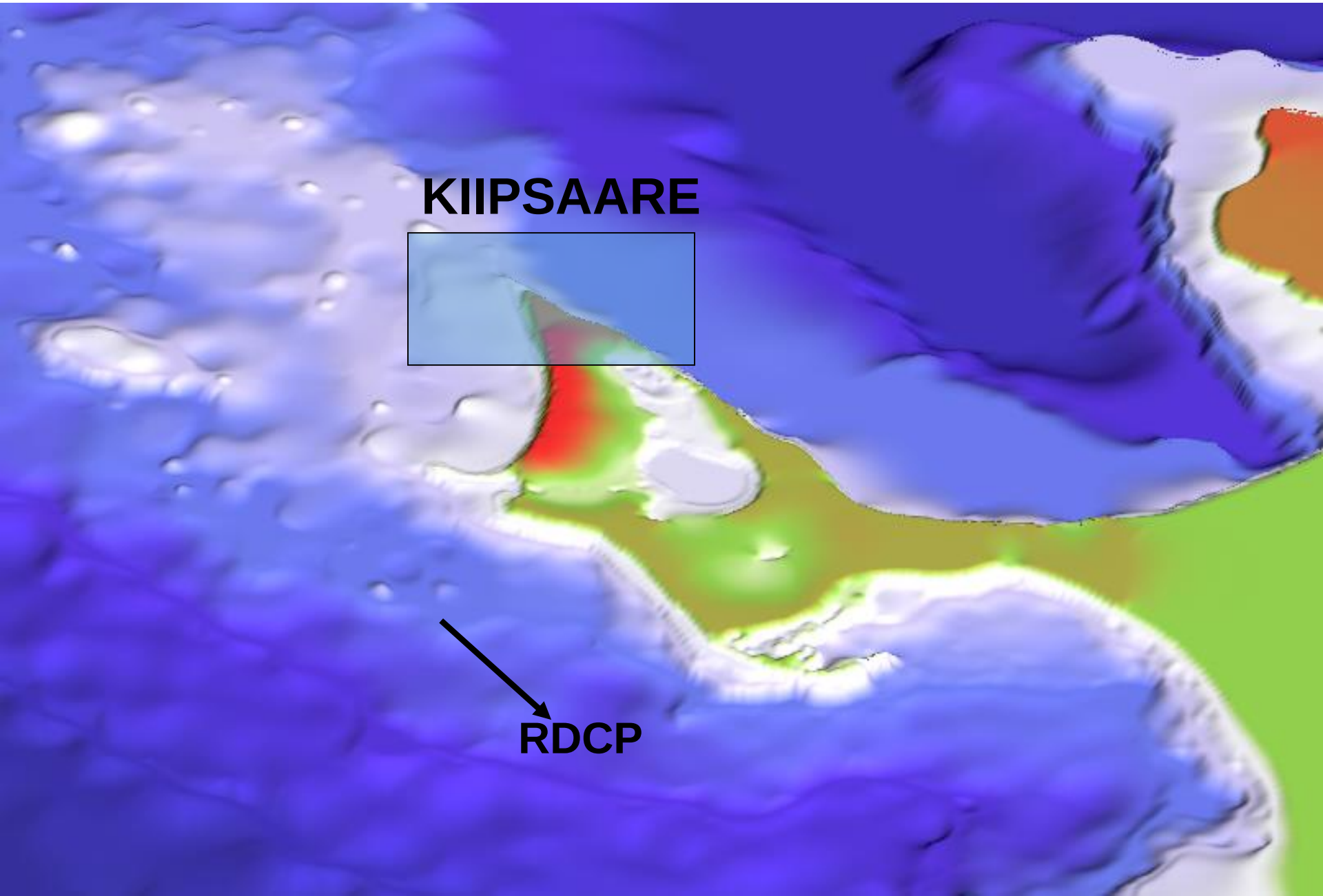
Muutused keskmises meretasemes:



Muutused maksimaalsetes meretasemetes



An example:



Kõige lihtsam viis on võrrelda samast kohast tehtud fotosid:



- Kiipsaare, 1999, Ülo Suursaar foto

- 2005.







- Kiipsaare, 2013, Ülo Suursaar foto





- Kiipsaare, 2020, Ülo Suursaar foto

- Kiipsaare, 2022



200

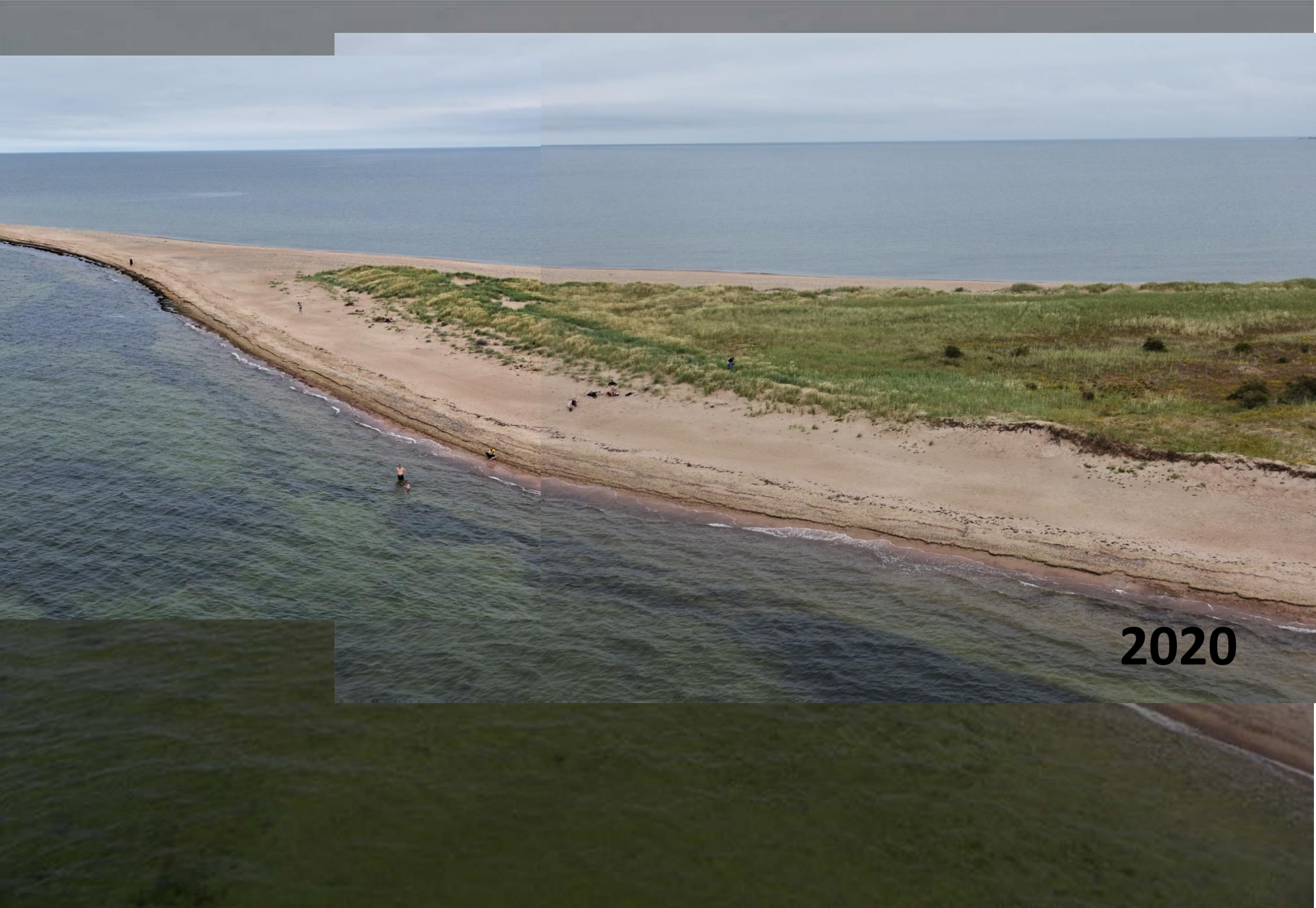
2005

2005



2010

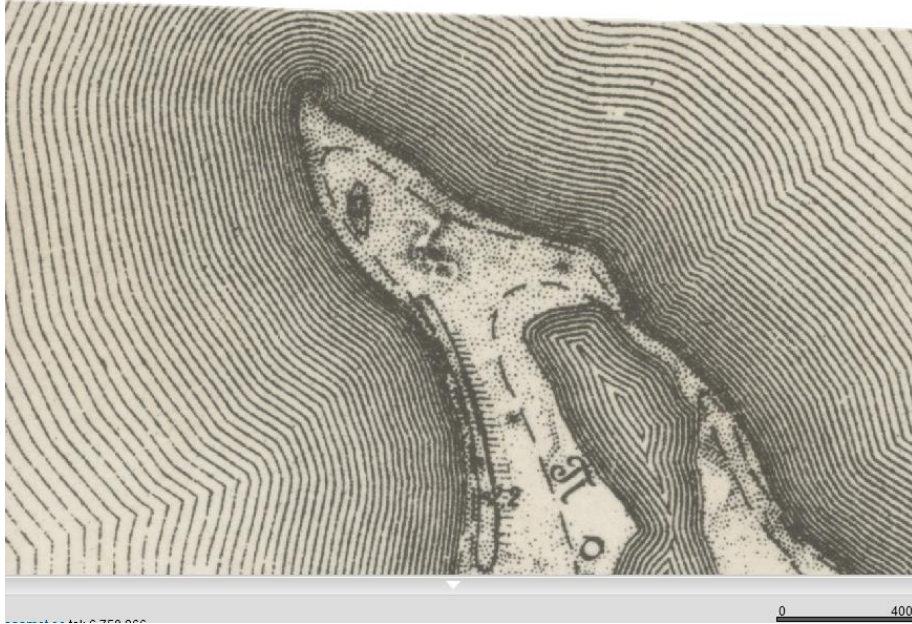




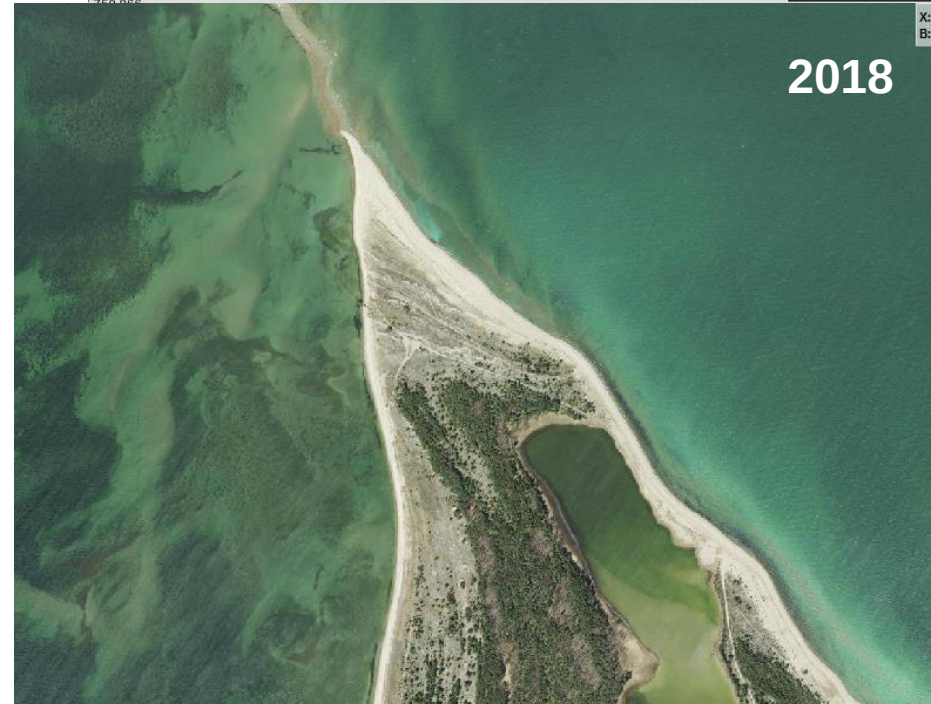
2020

Üheverstane kaart 1:42000 (1903)

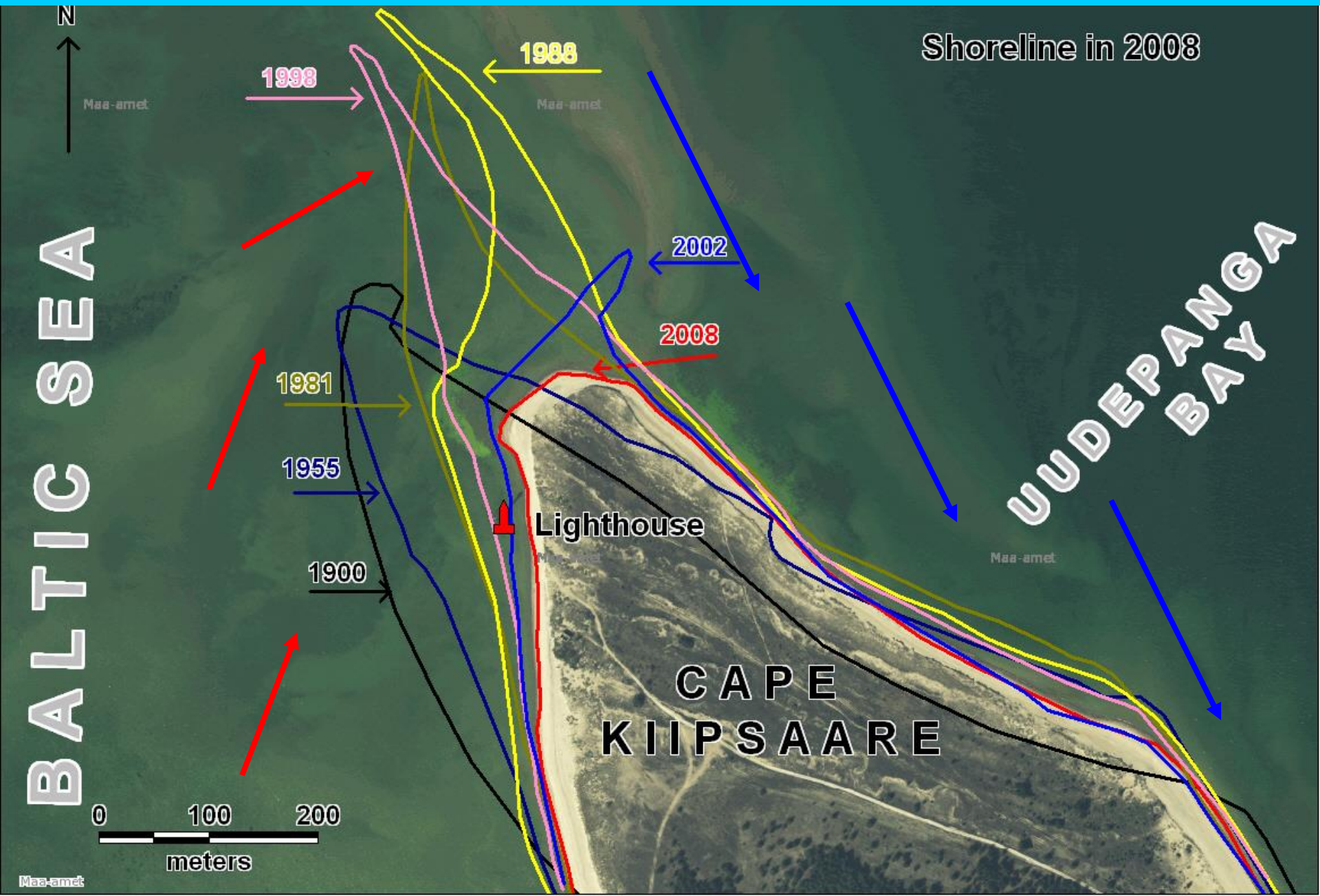
Arhiivimaterjalid



NL topokaart o42 1:25000 (vanem) (1946)



Pikaajalised rannajoone muutused Saaremaal, Harilaiul





Ortofoto

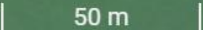
50 m
1:2214

X:6485856.20 Y:374361.77
B:58.4947 L:21.8450

Ortofoto 10.05.2008 Maa-ameti




Ortofoto

 50 m
1:2214

X:6485857.75 Y:374208.67
B:58.4947 L:21.8424

Ortofoto 27.08.2011 Maa-amet




Ortofoto

50 m
1:2214
X:6485854.65 Y:374153.50
B:58.4947 L:21.8415

Ortofoto 23.05.2012 Maa-amet




Ortofoto

50 m
1:2214
X:6485855.27 Y:374165.90
B:58.4947 L:21.8417

Ortofoto 16.06.2015 Maa-amet



Ortofoto

50 m

1:2214

X:6485855.89 Y:374167.45
B:58.4947 L:21.8417

Ortofoto 04.05.2017 Maa-amet






Ortofoto

50 m
1:2214

X:6485857.44 Y:374143.27
B:58.4947 L:21.8413

Ortofoto 31.05.2020 Maa-amet




Ortofoto

50 m
1:2214

X:6485860.54 Y:374232.22
B:58.4947 L:21.8428

Ortofoto 12.05.2021 Maa-amet

Uus vall kujunemas, ca 90 kraadise nurgaall võrreldes vanadega.





Ortofoto

20 m
1:637

X:6486078.85 Y:374226.56
B:58.4967 L:21.8426

Ortofoto 31.05.2020 Maa-amet

Tegu ei ole mingi tillukese valliga:



Mis juhtus? Väike tuule suuna muutus:

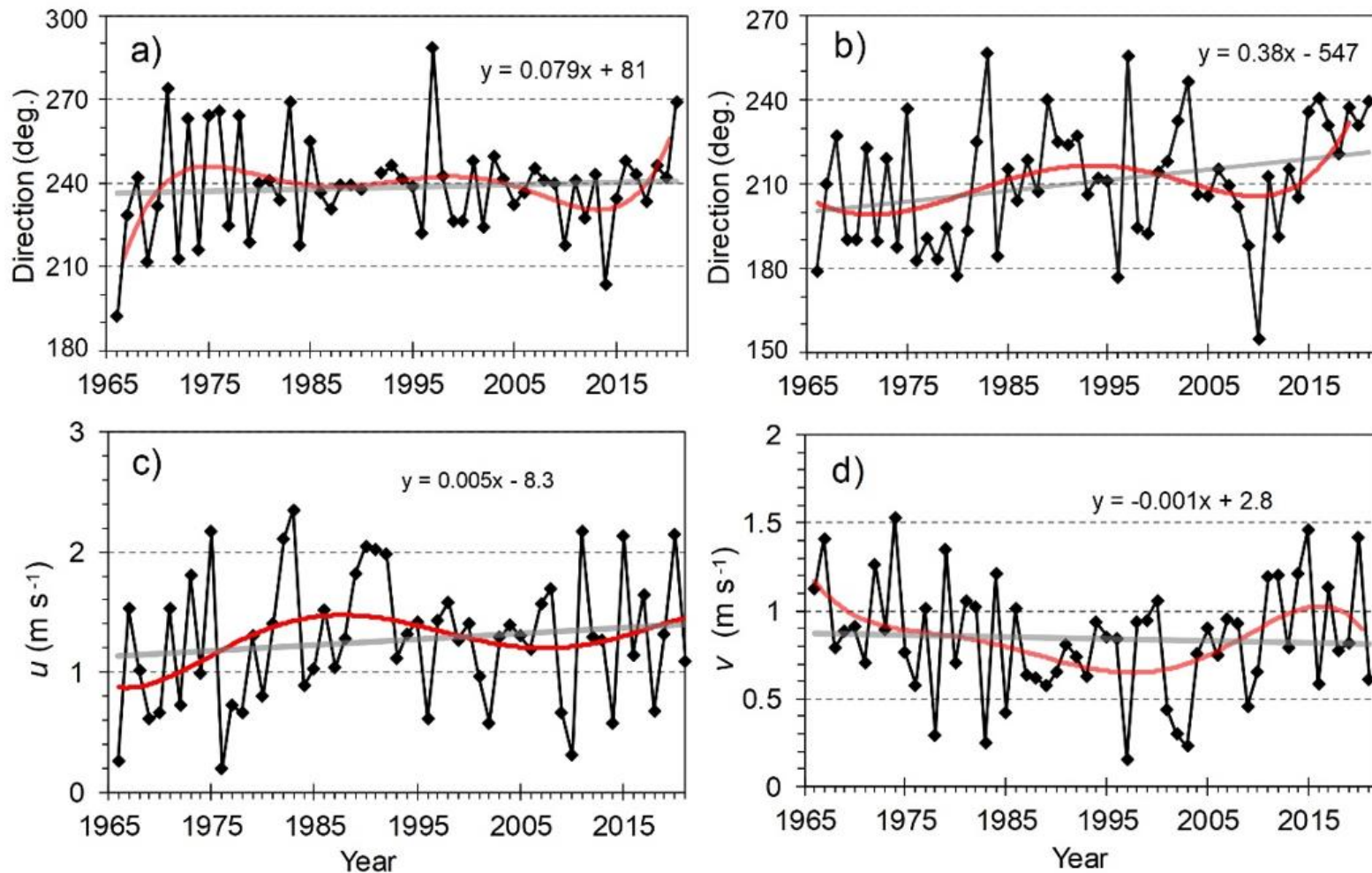


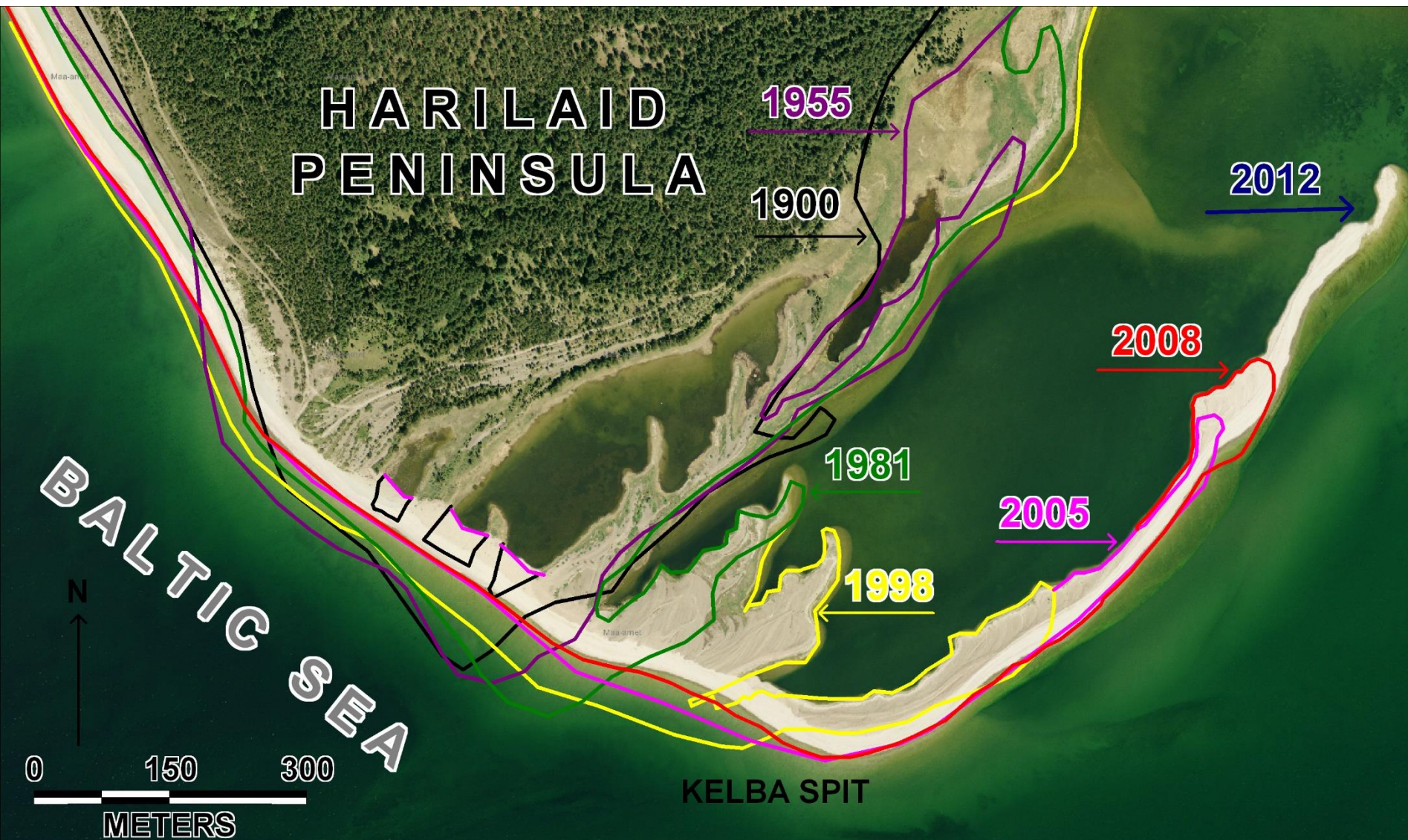
Figure 2. Variations in annual average air flow direction at Vilsandi (a) and Kunda (b), wind velocity u component at Vilsandi (c) and v component at Kunda (d) in 1966--2021.

Study site: Cape Kelba



Photo by Leho Luigujõe

Pikaajalised muutuse: Kelba nukk (1900-2012)





2012



2015



2017



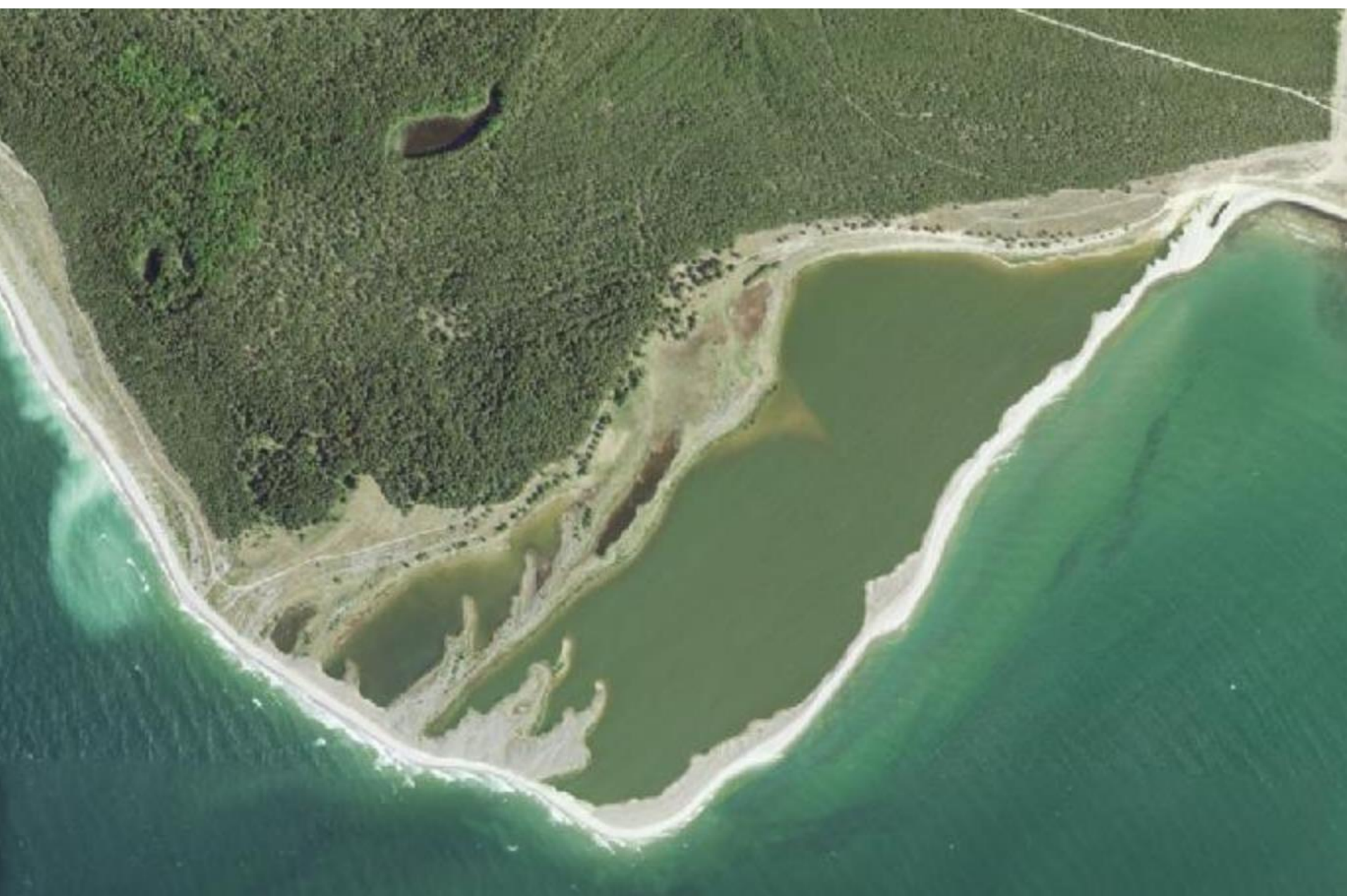
2019



2020



2021



2023



2020 Ülo Suursaar foto

2022



2022

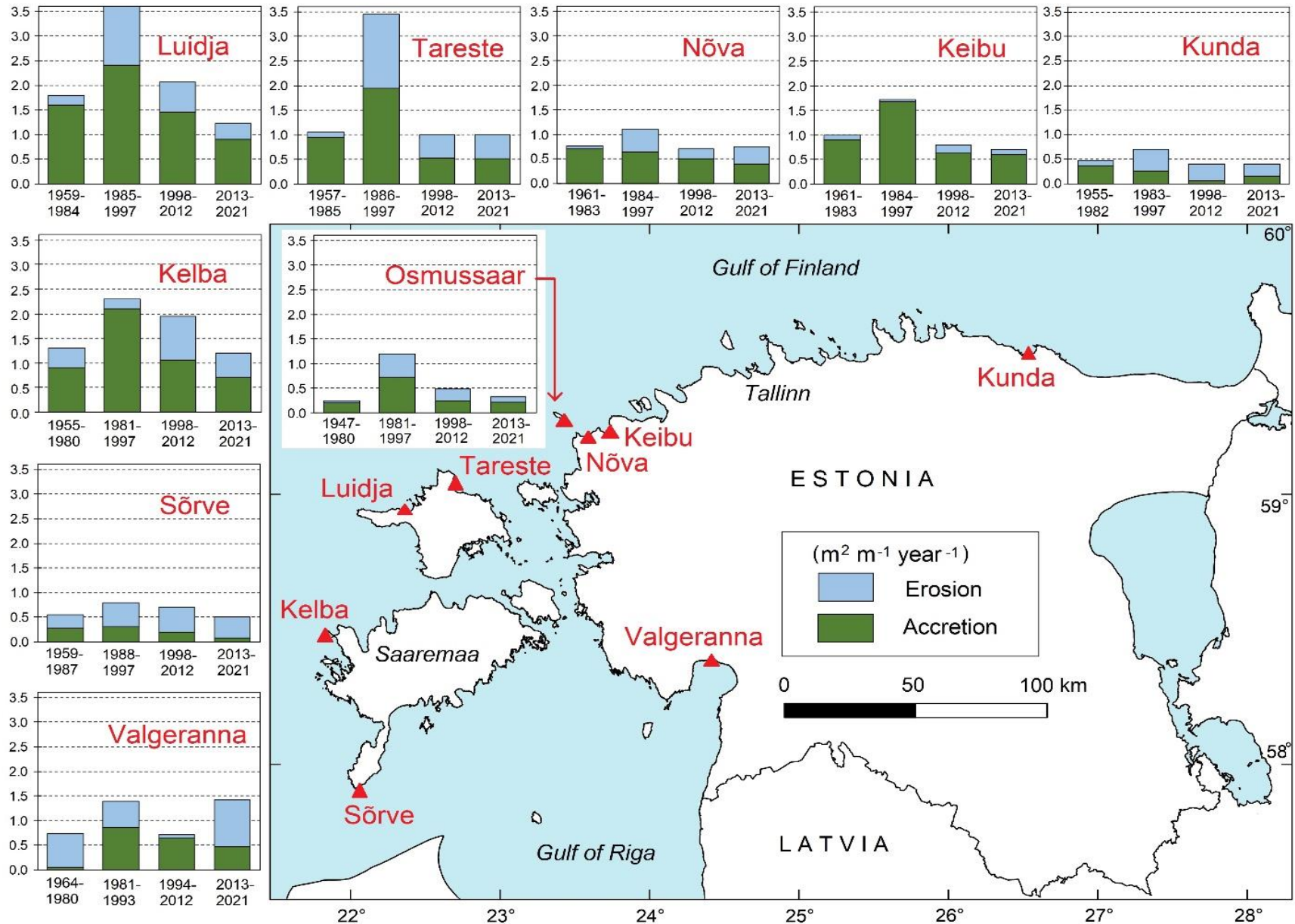


2022

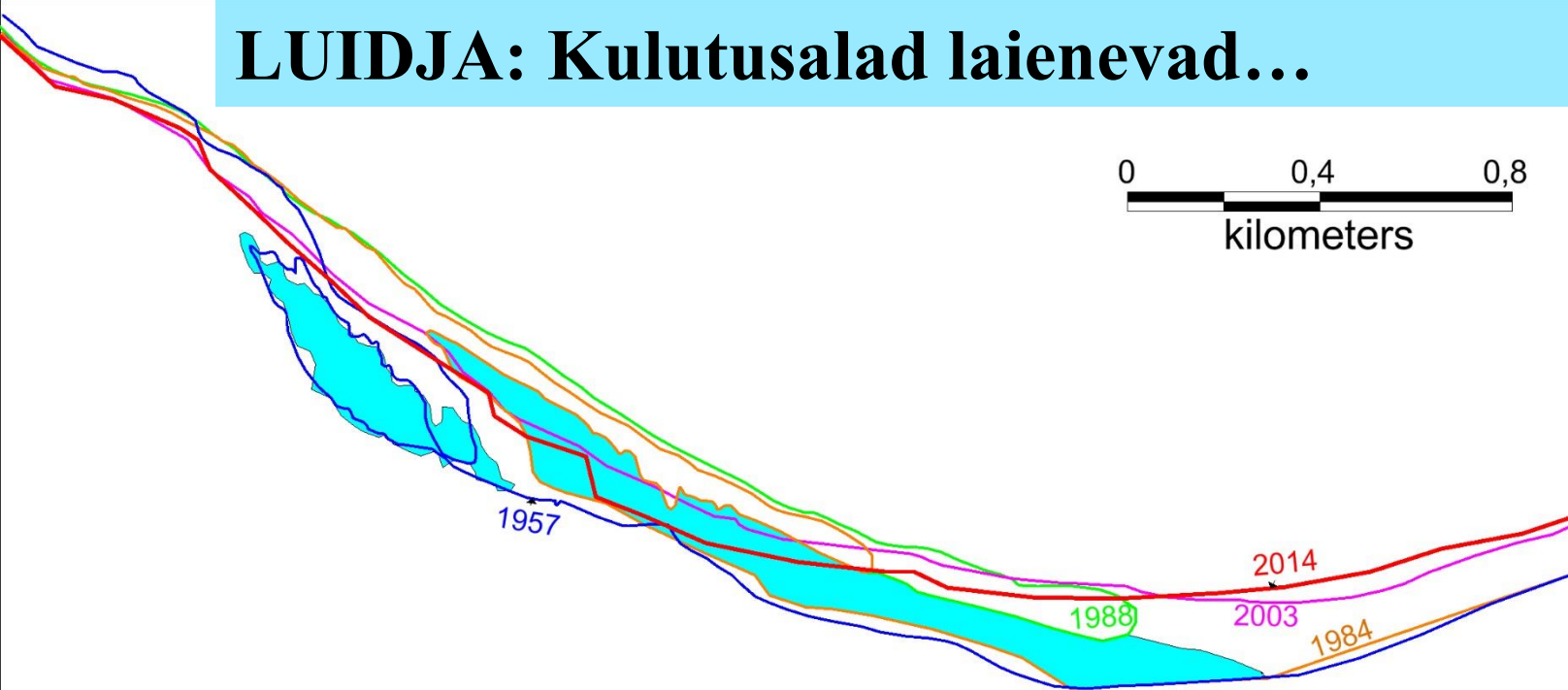


Kuidas on muutuste kiirus minevikus muutunud?

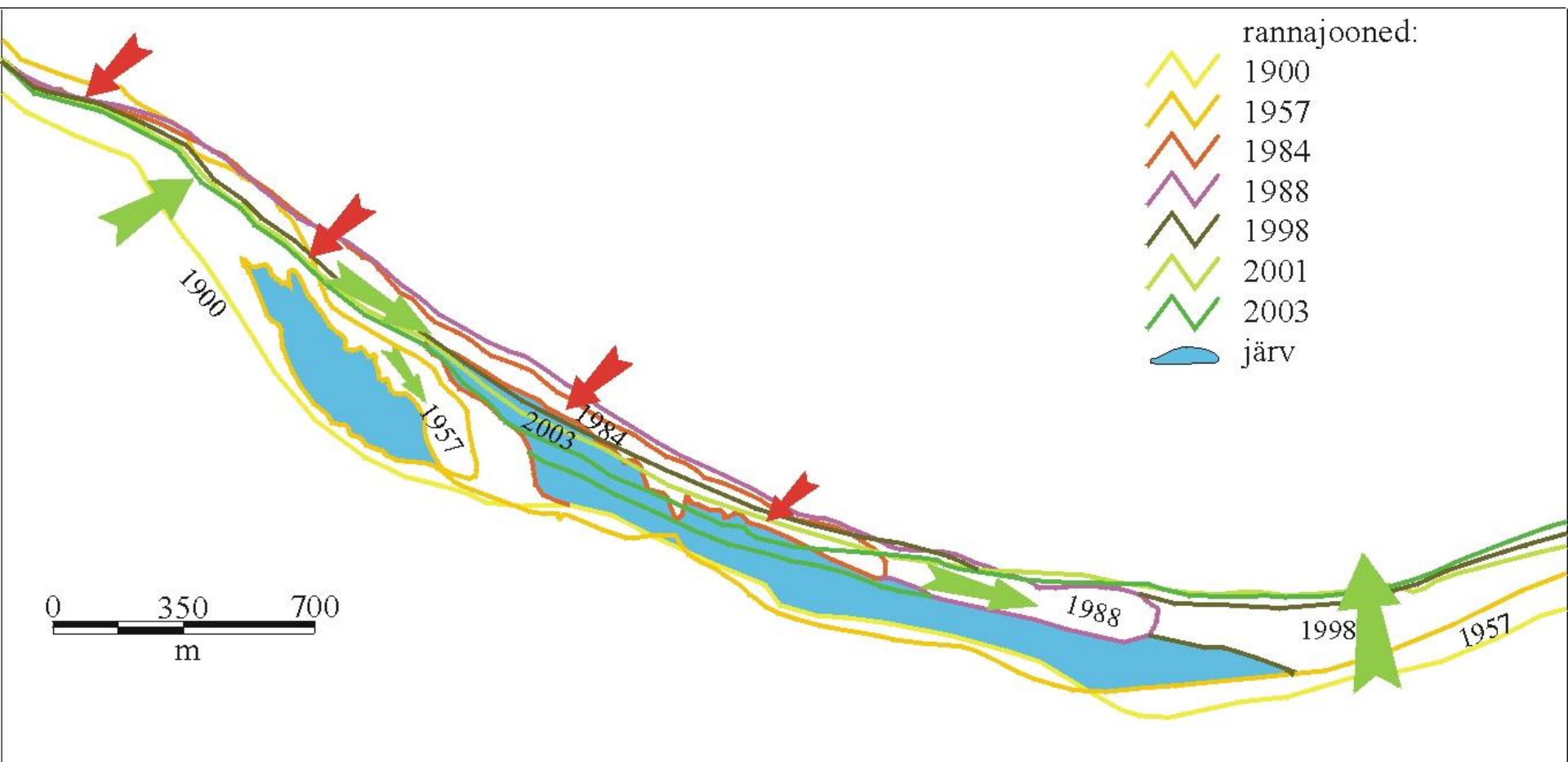
Muutused kliimast tingitud?



LUIDJA: Kulutusalad laienevad...



...erosioon algab varasemal transpordialal.

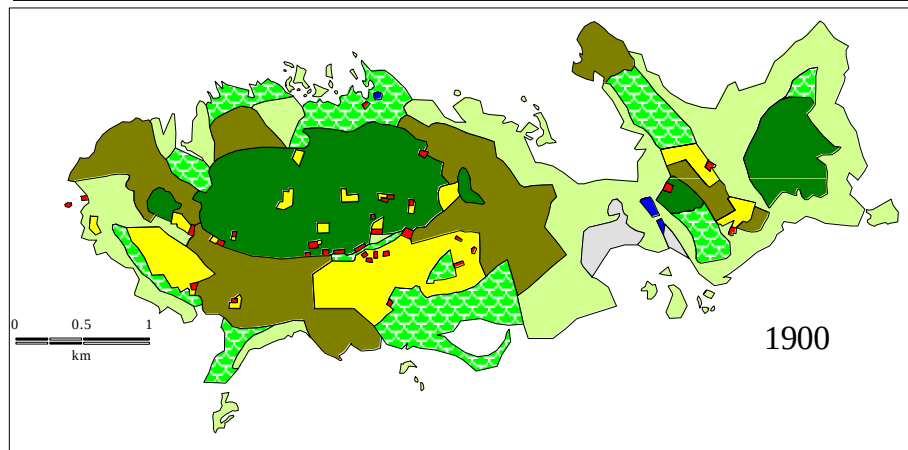
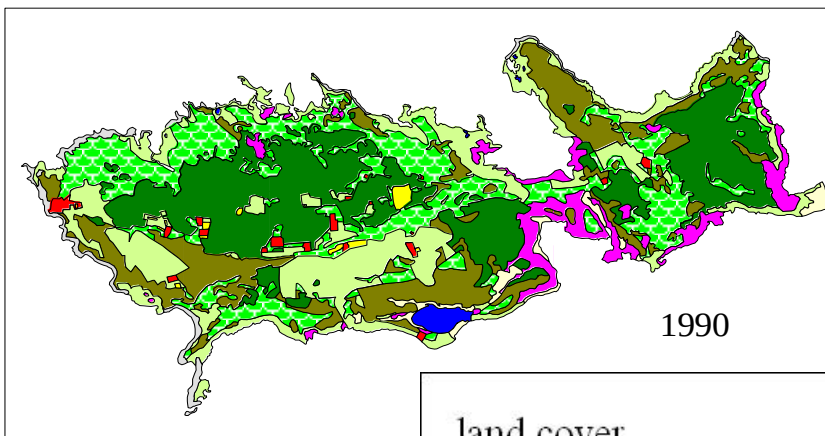
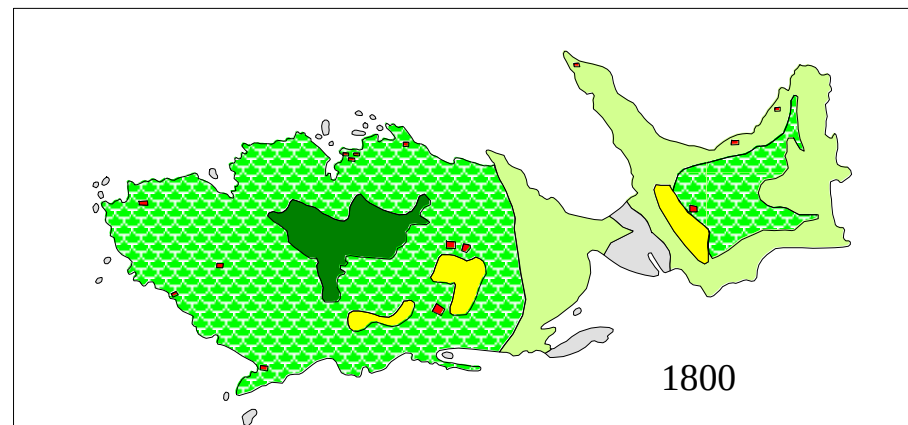
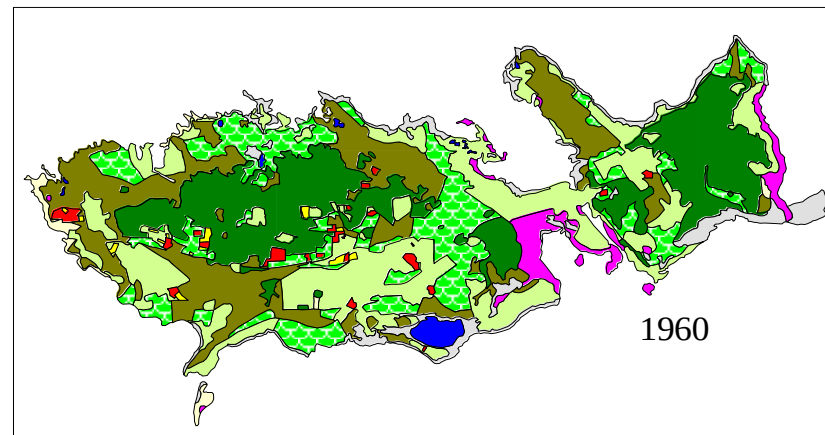
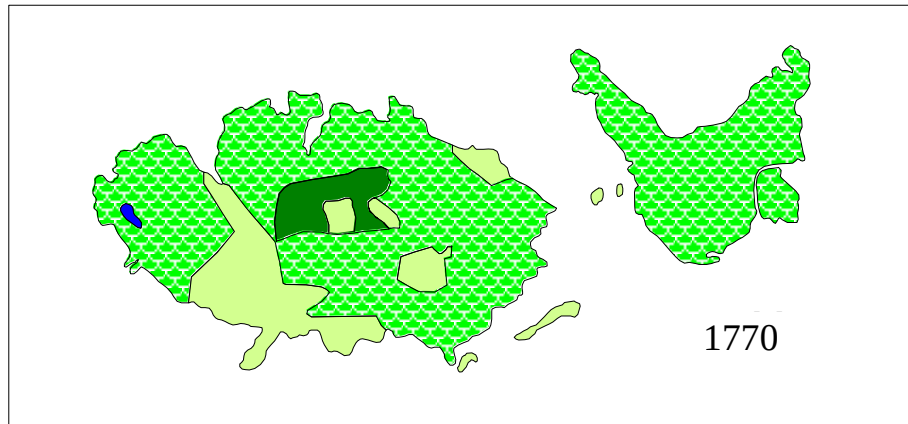


**.. Tekib sisuliselt
virtuaalne
transkresioon = kiire
erosioon transpordi
alal..**



.. Samas kiireneb ka akumulatsioon nn „lõplikel kuhjealadel “ (lahepärad, laevakanalid jne).

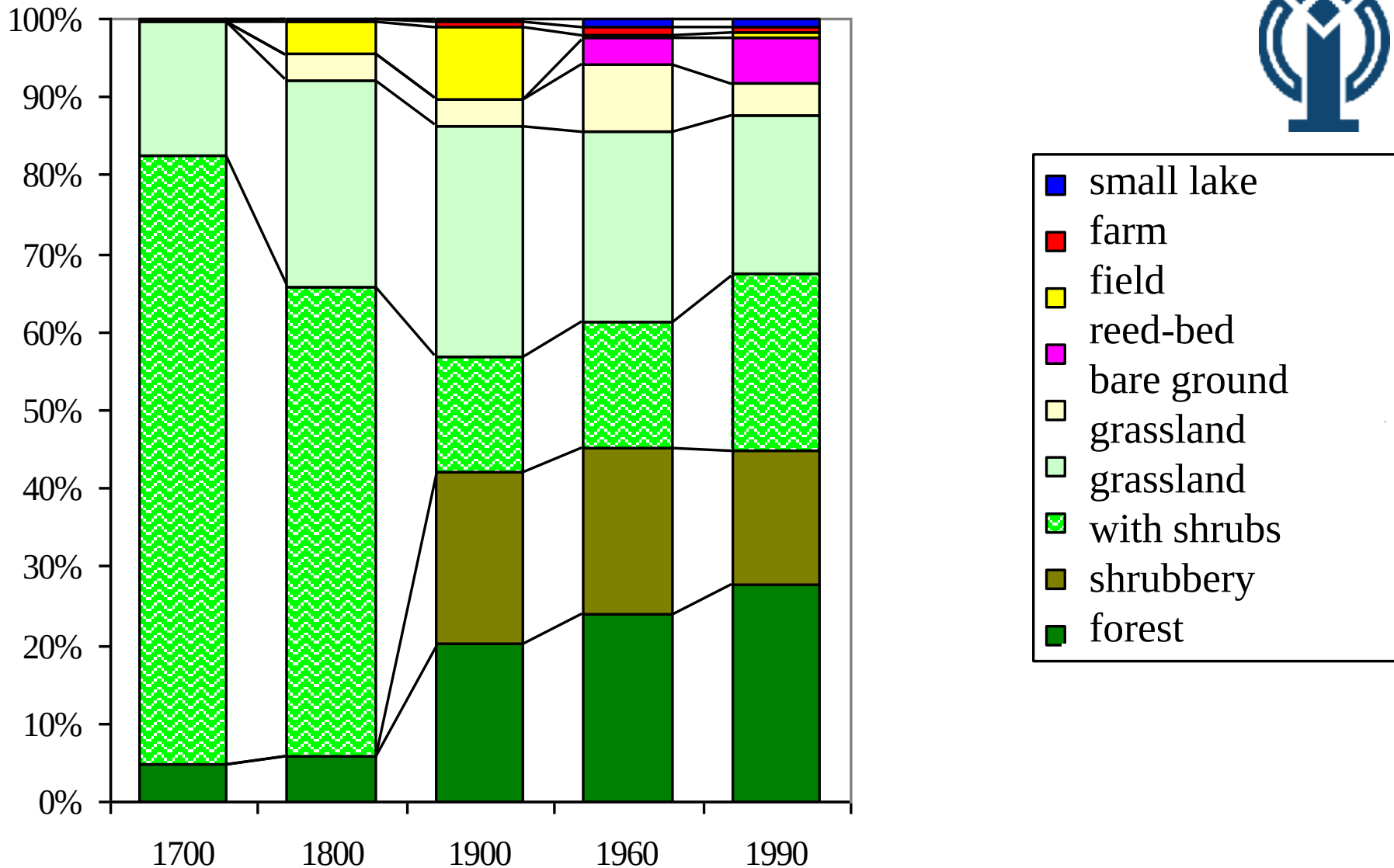




Vilsandi maakatte muutused

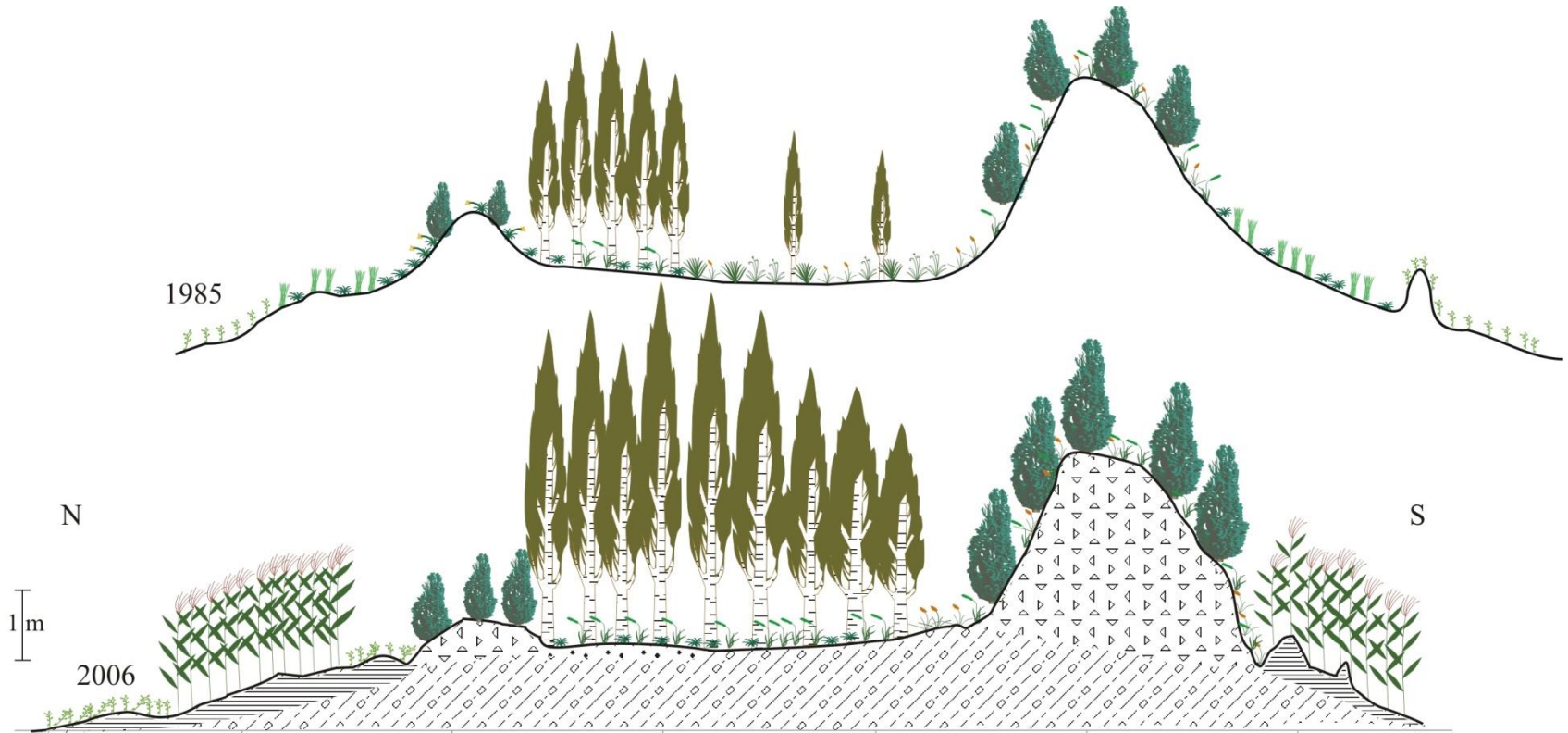
land cover

- forest
- shrubery
- grassland with shrubs
- grassland
- reed bed
- sparsely vegetated area
- plantless
- arable land
- artificial land
- coastal laces



Maakatte muutused Vilsandi saarel 1700-1990
(U.Ratas, R.Rivis)

Ajuvesi võib jääda sageli nõ lukku rannamoodustiste taha ja põhjustada palju kahju.



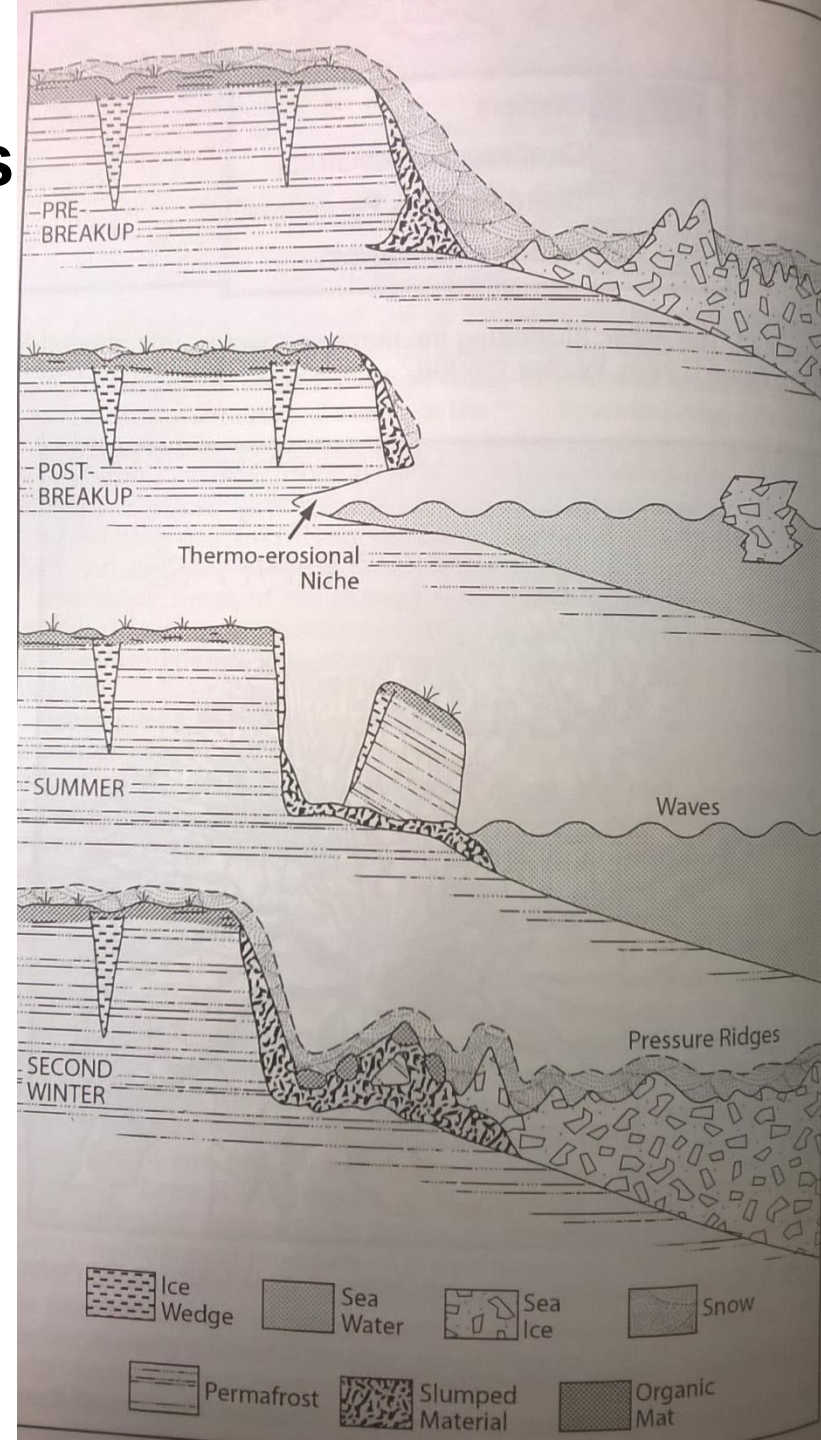


Mis juhtub arktikas?



Участок берега на Уральском побережье Байдарацкой губы, подвергшийся активной термоабразии и термоденудации, в 15 км к западу от створа трубопроводов

**Ülikiire erosioon kergesti
erodeeritavates moodustistes
mis on nüüd sulanud, avatud
lainetusele**



Kui inimene tahab rannal oma tegevust endiselt jätkata, peab inimene üle maailma hakkama randu kaitsma - rannaprotsesside mõistmine aitab vältida ebameeldivaid üllatusi:

Ebaõiged kaitsemeetmed
kiirendavad ranna hävinemist



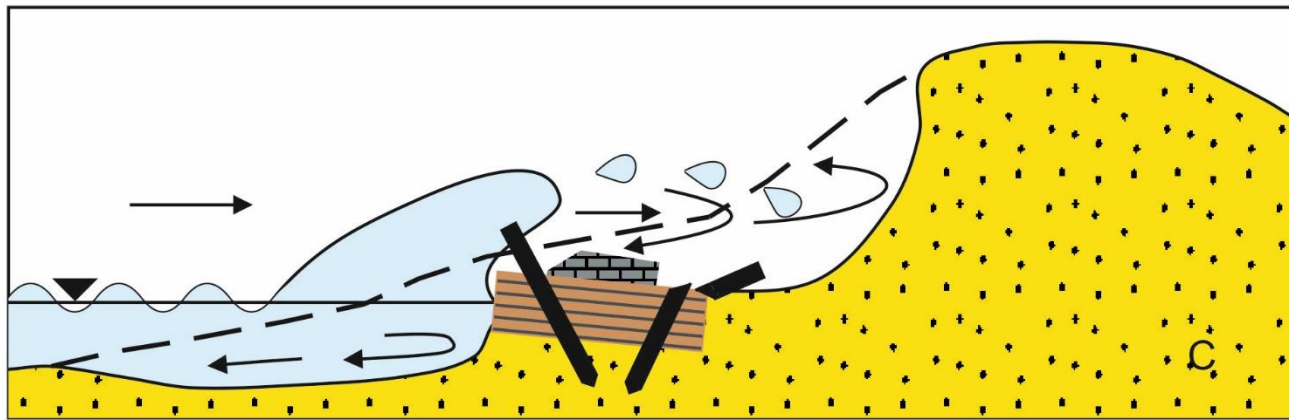
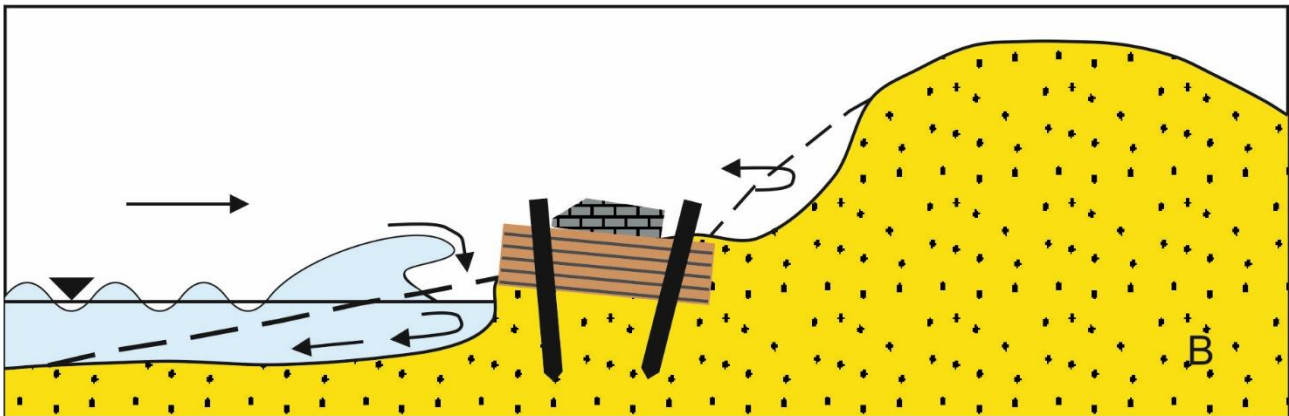
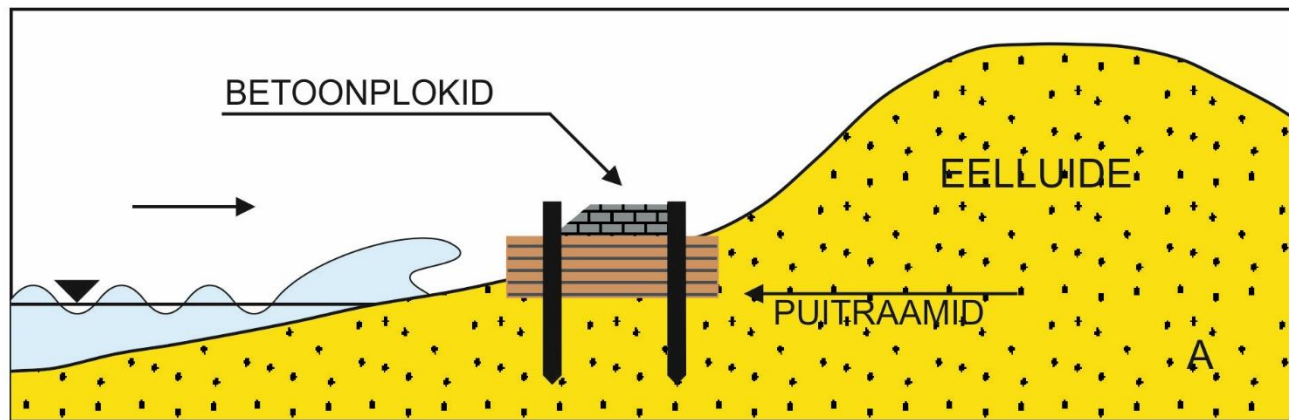
Keskmise meretaseme korral muutub ranna kasutamine ohtlikuks, ebasobiv mõju puhkajatele loodud atraktsioonidele (seiklusrada, jalutusrajad jne.)



Probleemid üle maailma- põhjused?

- kasvav meretase=Kiirenev erosioon liivarandades;
- Kasvav tormisus=sagedasemad purustsed, taastumise aeg liialt lühike;
- Vale lähenemine– valed kaitsemeetemed nn seinad liivas jne.







Lottemaa

Puuduv puhvertsoon ning taimkatte eemaldamine seab ohtu infrastruktuuri





Lottemaa

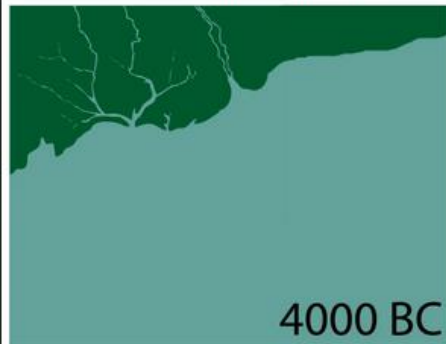
Puudulikud kaitsemeetmed on muutnud ranna puhkajatele ebameeldivaks –

Madal rand mis on läbi imbinud põhjaveest on külm ja mitmel pool savikas/mudane

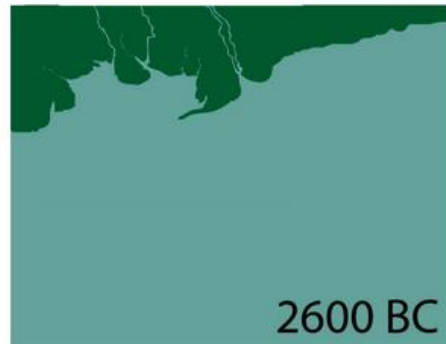


Mississippi suudemala muutused...

tammid peatavad setted, kaob
puhvertsoon



4000 BC



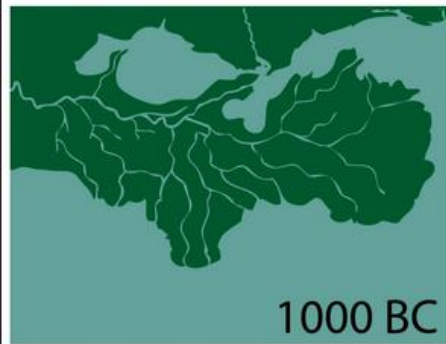
2600 BC



2300 BC



2000 BC



1000 BC



1 AD

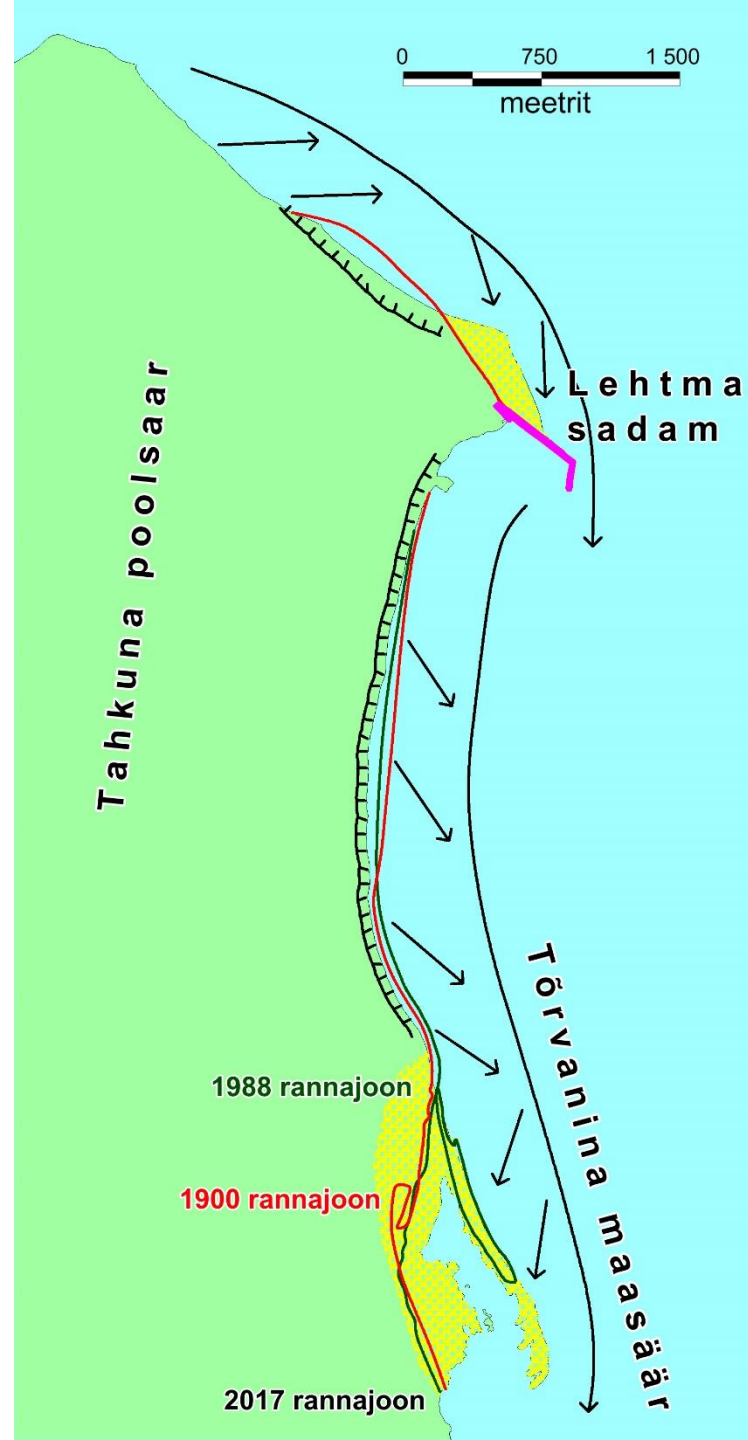


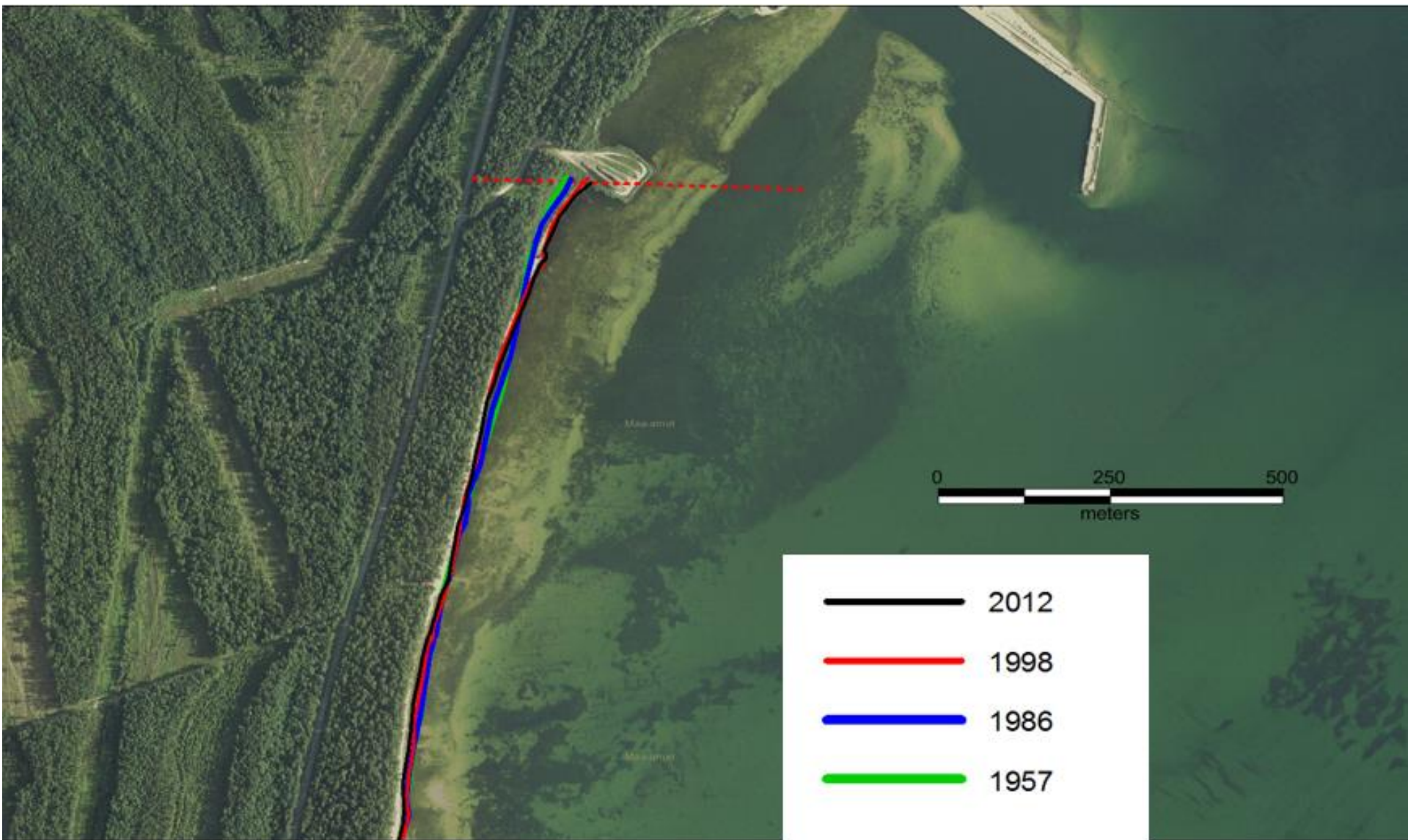
1000 AD



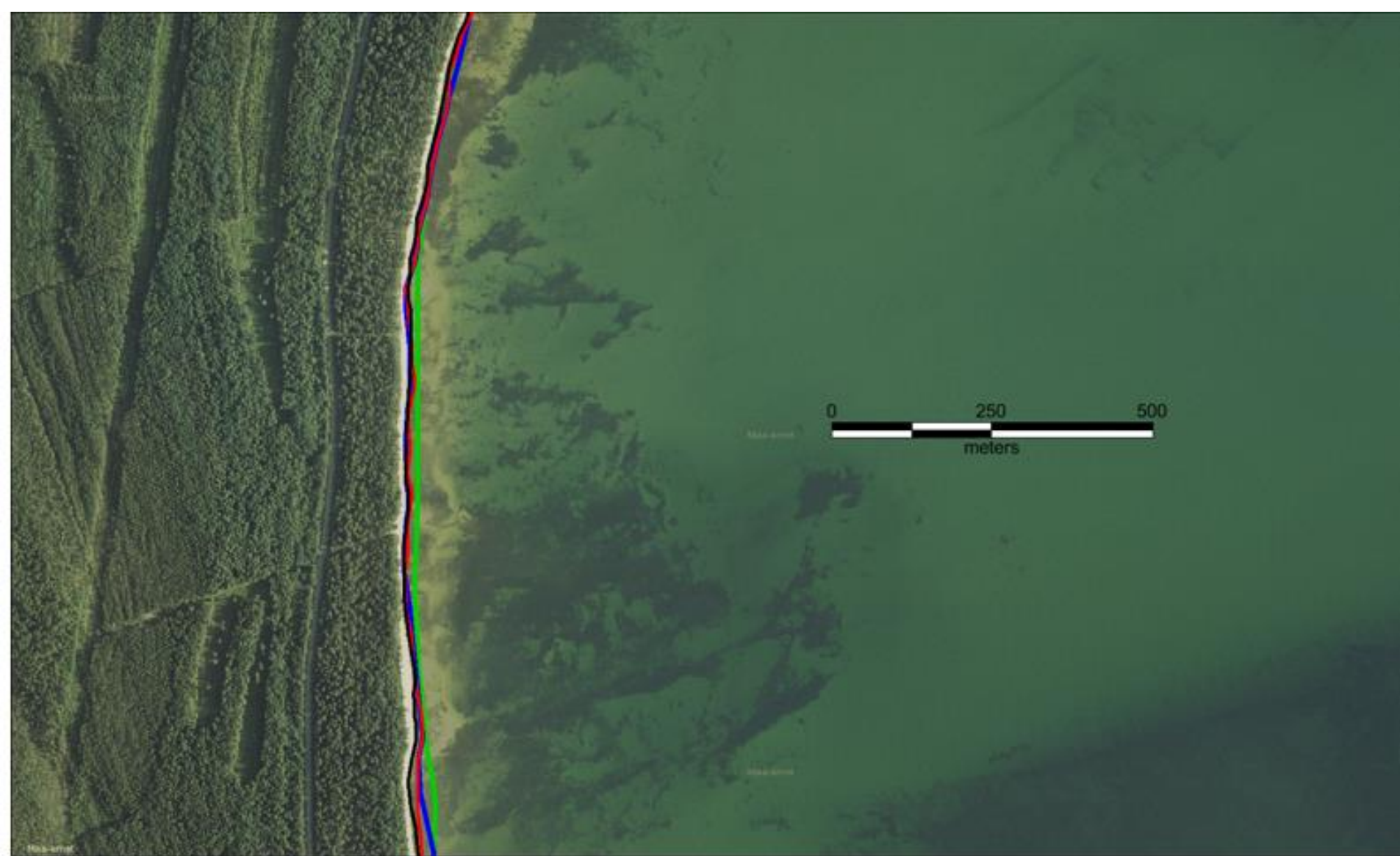
2010 AD

Inimtegevuse ja
kliimamuutuste
kombinatsioon –
ebasoodsate
valikute korral kiired
muutused

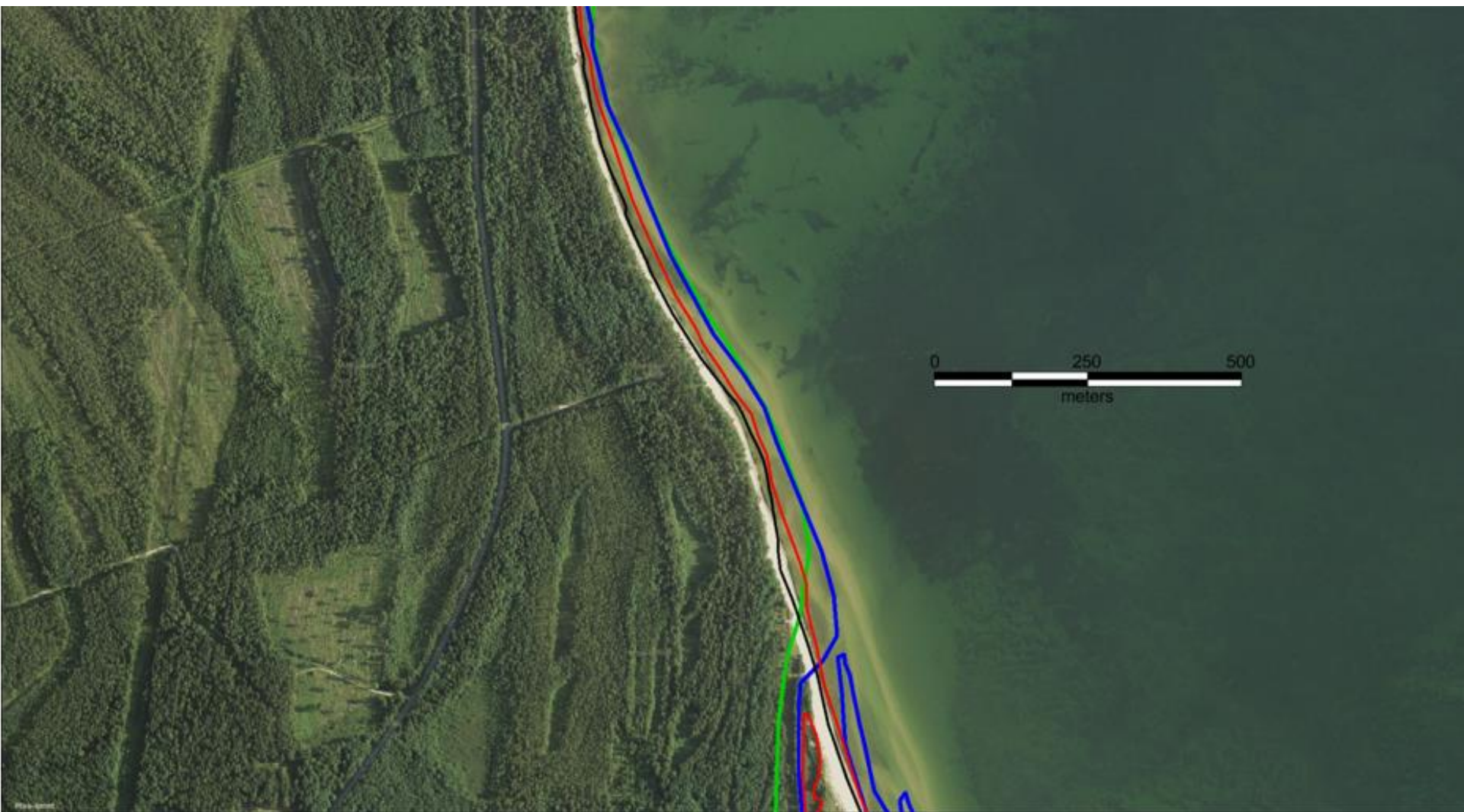




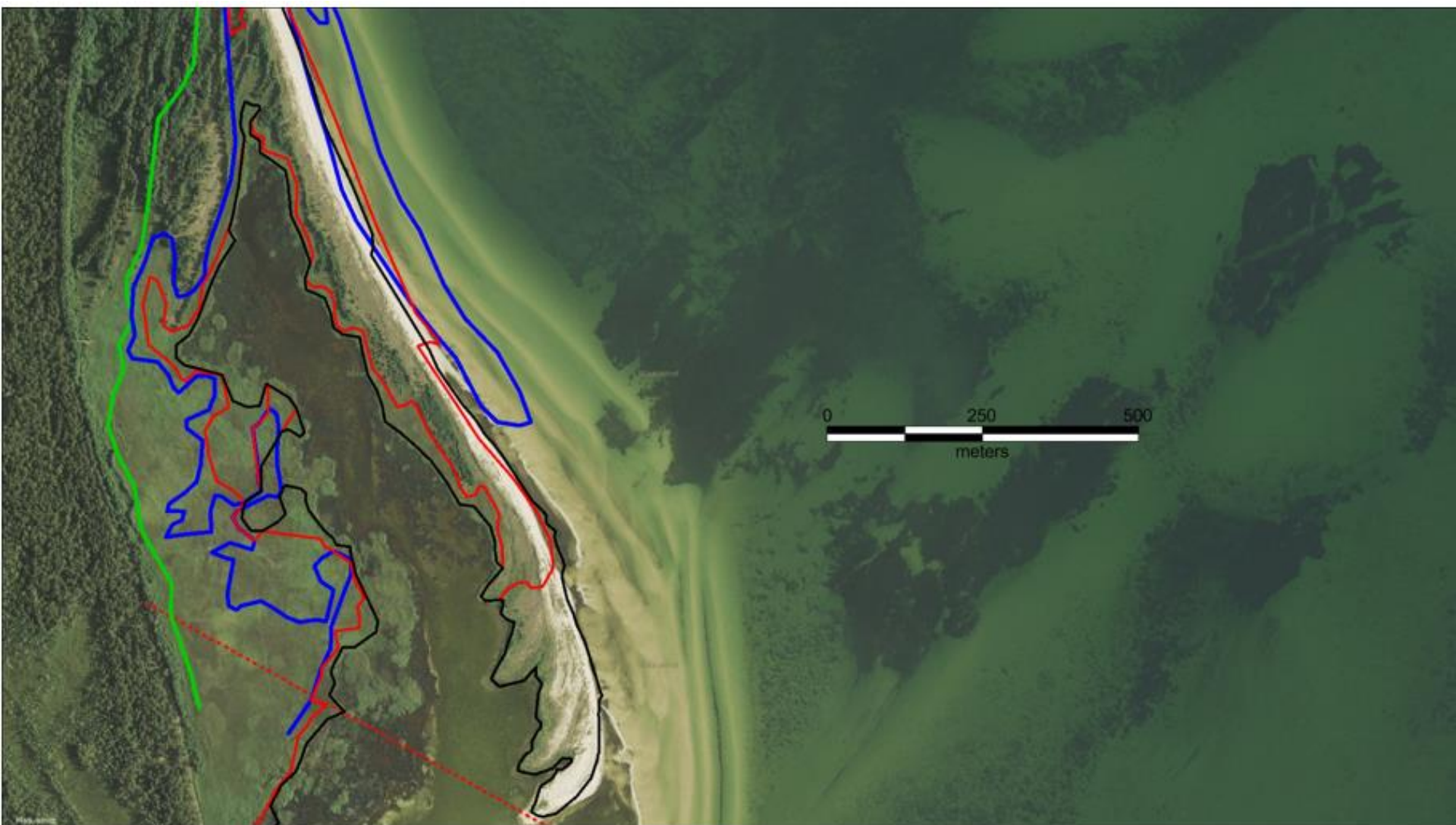
Esimene 1,2 km pikk lõik. Olukord suhteliselt stabiilne, esimesel paarisajal meetril väike akumulatsioon, järgnev 1 km on seis null kuni -15 m. Taganemise kiirus 1957-2014 on kuni 15 meetrit, ehk siis kuni 0,25 m aastas. Üldiselt olukord üsna stabiilne.



Järgnevas umbes 1 km pikkuses lõigus on taganemine olnud enamasti 15-20 meetrit, kohati ka väiksem, seega kogutaganemine jääb ikka 0,25 m kanti. Selle lõigu viimasel 250 meetril aga erosioon sisuliselt kahekordistub, ulatudes 40m-ni 57 aastasel perioodil, ehk siis veidi alla meetri aastas



Sellel lõigul jääb taganemine vahemikku 32-60 m, ehk siis üldiselt ei ole taganemine kuskil oluliselt ületanud 1 m. ehk siis kiire taganemine toimub siin umbes 1 km pikkusel lõigul, edasi algab juba maasäär, selle ees meres olev moodustis vanal kaardil on ilmselt lihtsalt kaardistatud madalik. Võime öelda, et väga tugevasti on siis mõjutatud umbes 1,25 km pikkune lõik Tõrvanina piirkonnas, kus rannajoone taganemine ulatub ca 1 m aastas



Nagu näha, siis on maasäär ainult pikenenud lõunasuunas, siin on näha ka üks varasem veealune madalik, mis on praeguse maasääre merepoolisel küljel



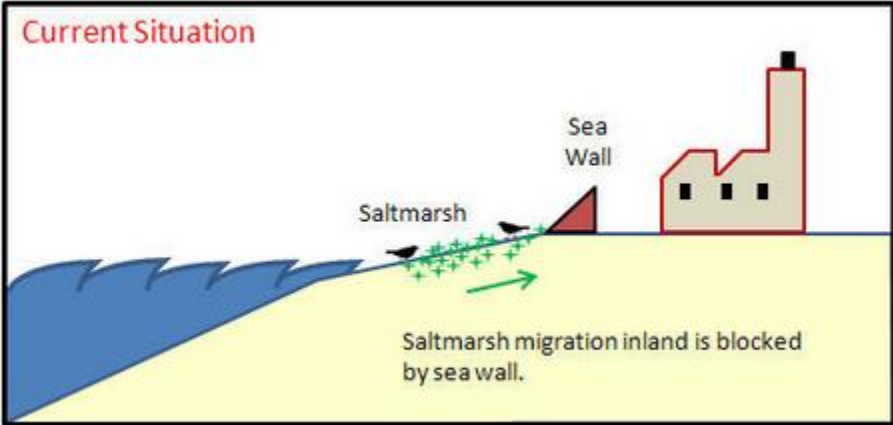
World Ocean- Africa, pole just palju taganemisruumi, Durban



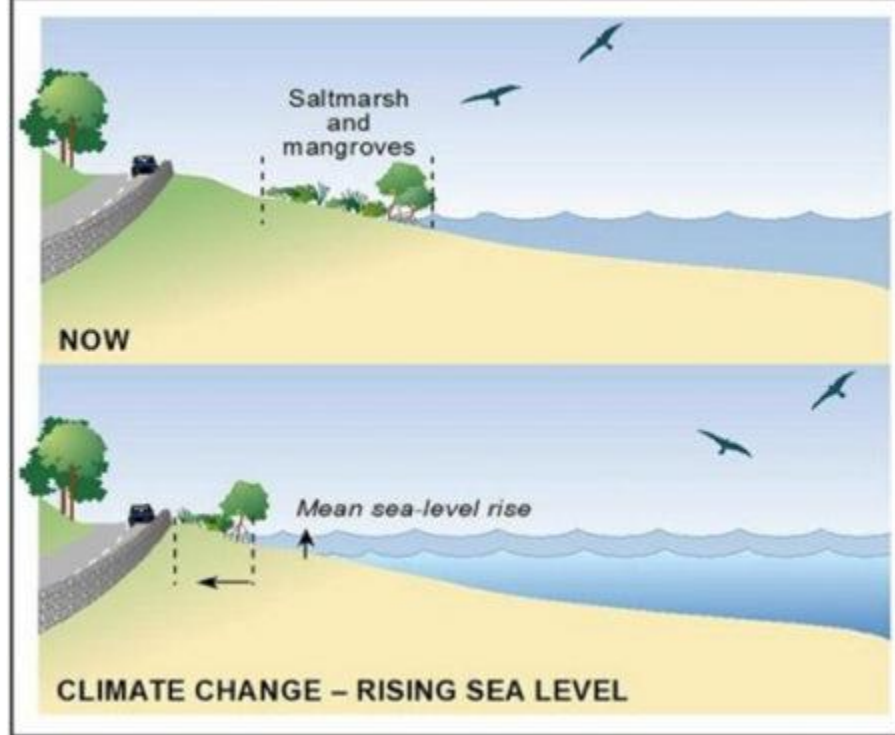
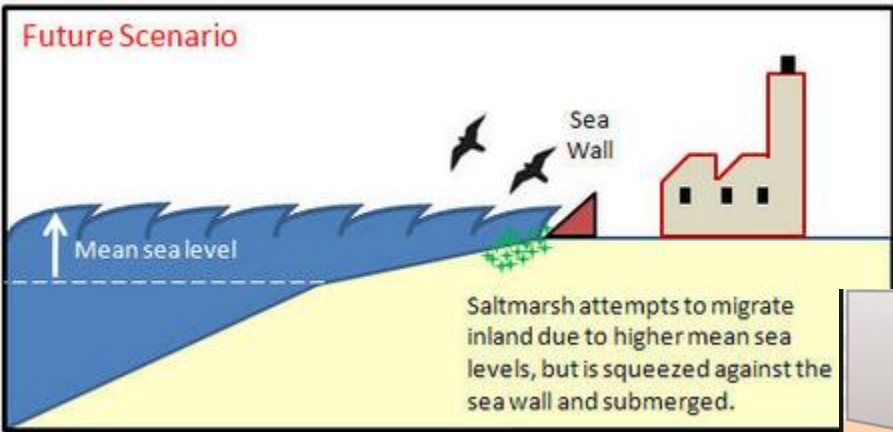
Randade juures peame meeles pidama!

- 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

