

Disclaimer :

*Käesoleva ettekande sisu on esialgne ja võib muutuda.
Palume arvestada, et esitatud on esmased analüüsid
ja need on mõeldud aruteluks.*

Eesti rannikumere füüsikalise keskkonna kliimamuutused

Ilja Maljutenko, Katriin Käärrik,
Shakti Singh, Aarne Männik,
Mariliis Kõuts, Jüri Elken,
Priidik Lagemaa,
Urmas Raudsepp,
Rivo Uiboupin

Outline

Atmosfääri peenskaleerimine

Mere mudeli seadistus

Mere seisundi parameetrite muutused kolmes ajaaknas 1980s, 2040s, 2090s

**Muutused merekeskkonna muutujates:
temperatuur, soolsus, jää, veetase, hoovused**

Vastused regionaalsete rakendustele – Mariliis

METEO sisend

KIK-i projekt:

"Kõrglahutuslike atmosfääri väljade andmebaasi koostamine perioodi 1979–2100 kohta"

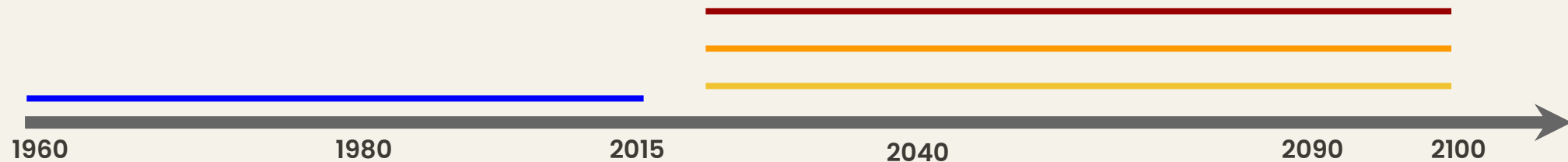
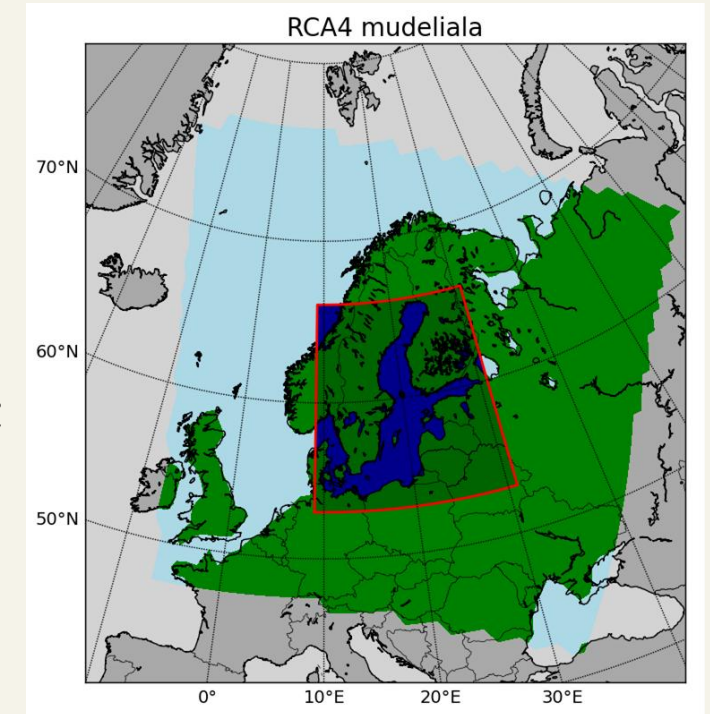
Peenskaleeriv mudel:

- RCA4 – SMHI Rossby keskuse poolt arendatud regionaalne kliimamudel
- Horisontaalne lahutus 22km, 150x150 ➔
- Vertikaalis 40 kihti
- Peenskaleeritakse norralaste globaalset kliimamudelit NorESM2-MM

Hist – globaal mudelit on peenskaleeritud aastatele **1960 – 2014**; eesmärgiks mudeli kvaliteedi ja iseärasuste väljaselgitamine

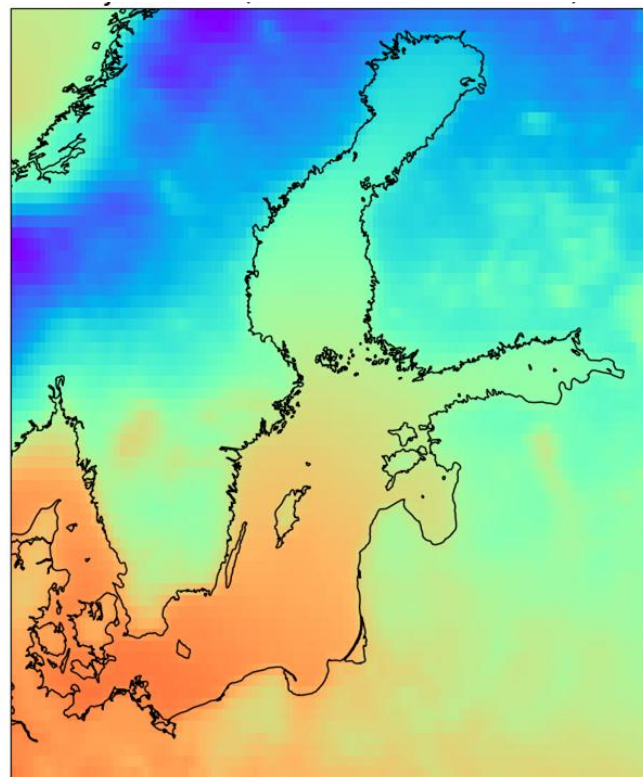
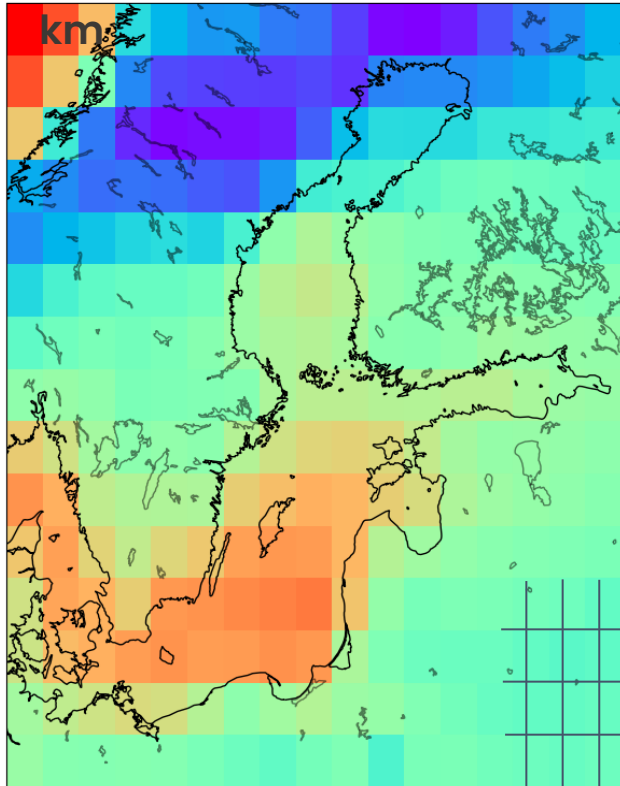
Peenskaleeritud on 3 stsenaariumit ajaaknaga **2015 – 2100**:

- SSP245 – “pool rehkendust” stsenaarium
- SSP370 – regionaalsete rivaliteetide stsenaarium
- SSP585 – halvima juhtumi stsenaarium



2m temperatuurid praegu ja tulevikus

Globaalse ja Regionaals (peenskaleeritud) mudeli resolutsioon
NOR 100 km RCA 22



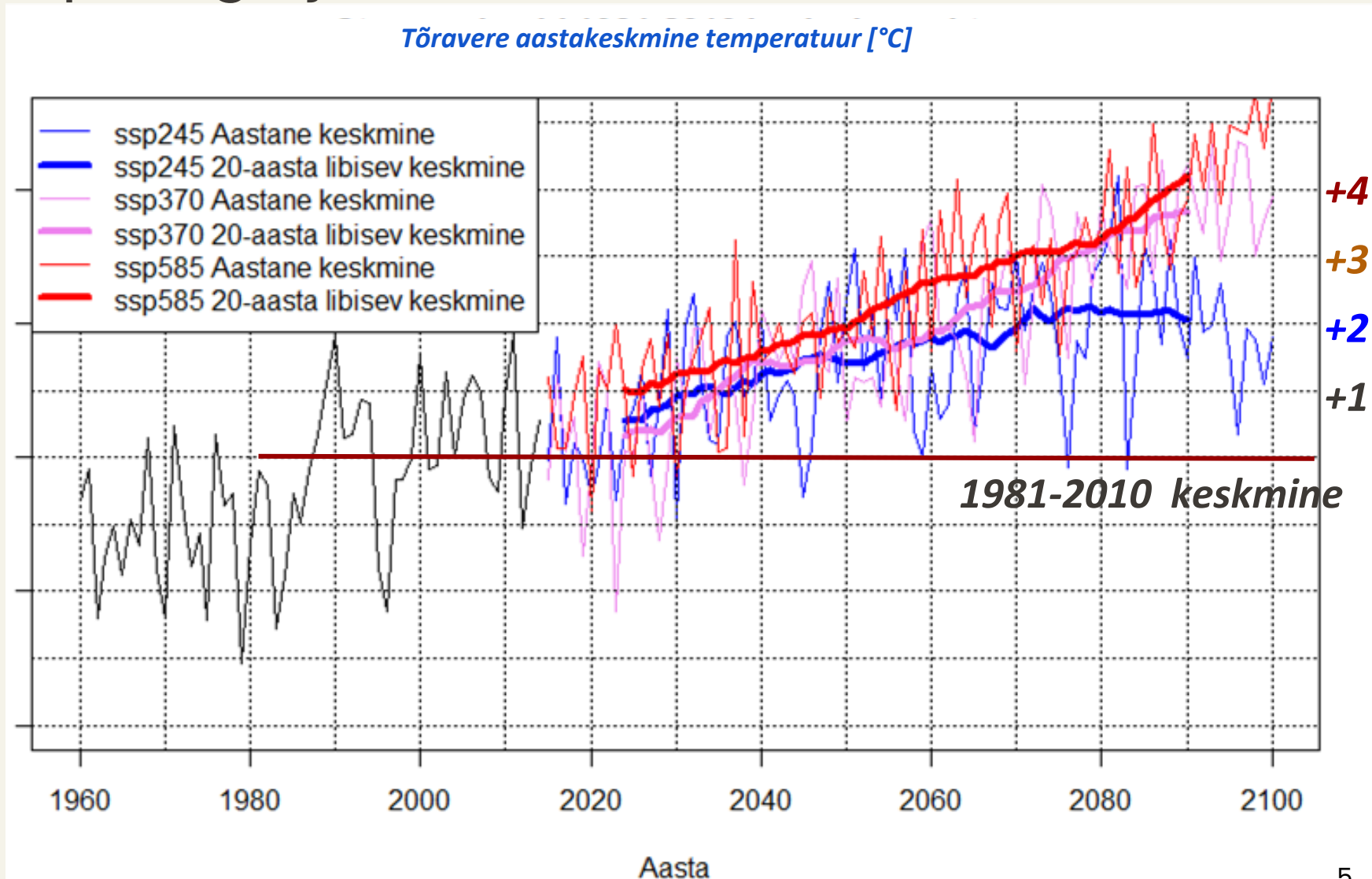
- Kõrgema lahutusega sisend regionaalsete efektide paremaks esituseks

Globaalne mudel (100 km)
Peenskaleerimine (22 km)

- Merepinna kohal on muutused kontrastsemad

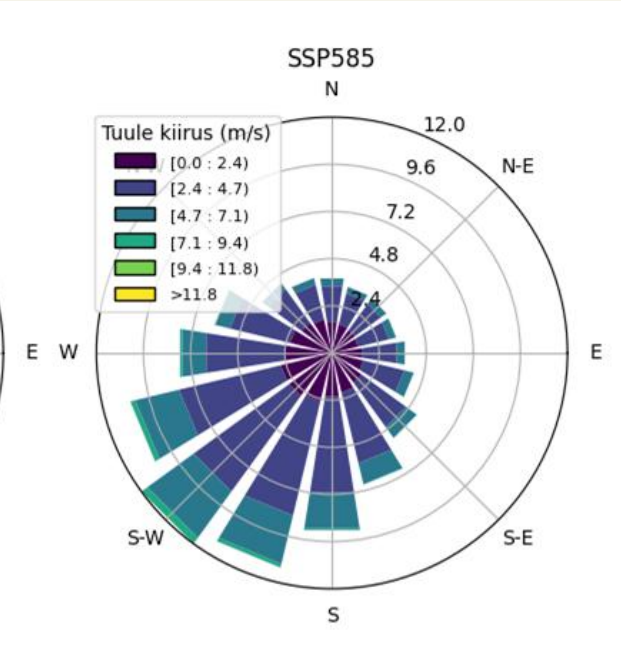
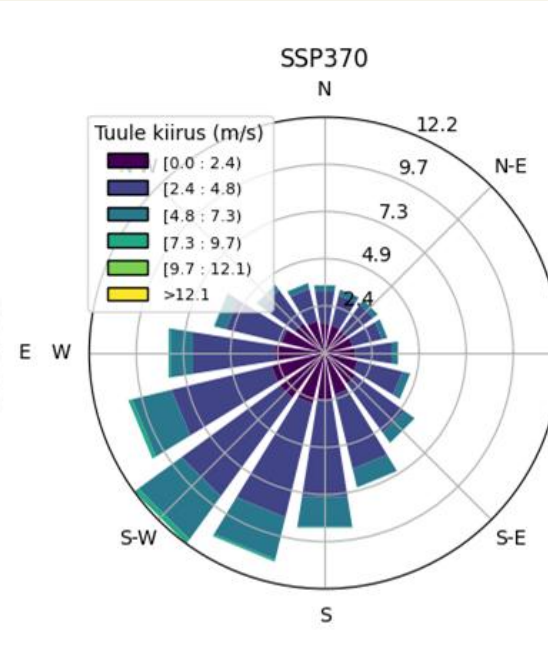
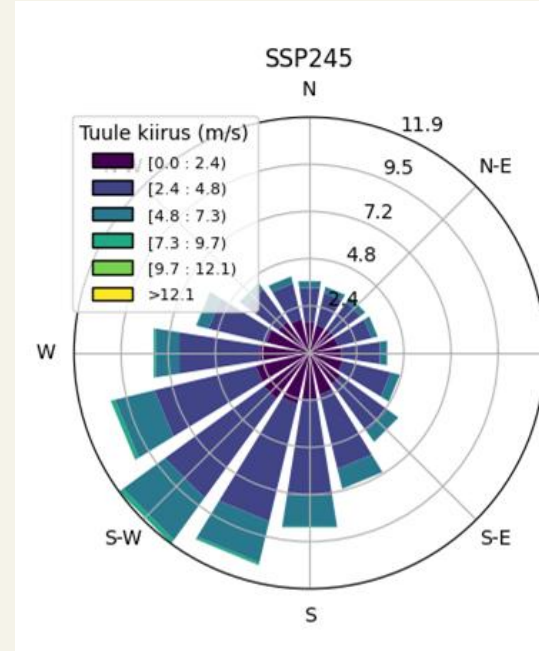
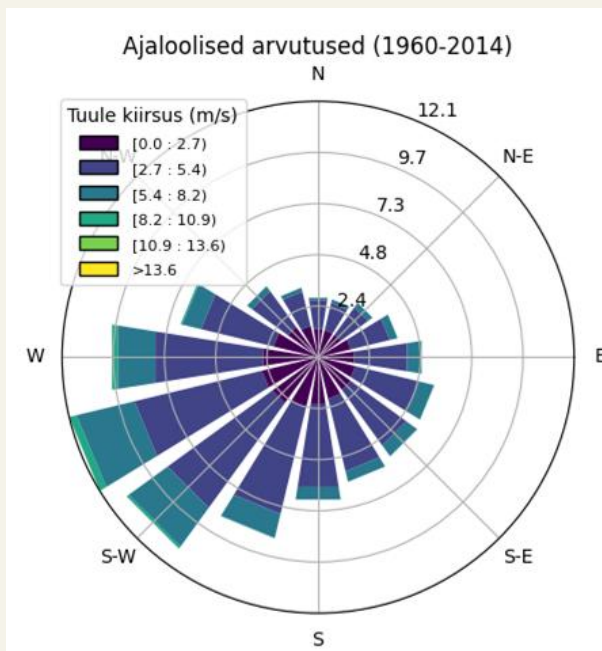
2m temperatuurid praegu ja tulevikus

- Erinevad kliima projektsioonid ennustavad meie piirkonnas +2 ... +5 °C
- Suur erinevus stsenaariumide vahel
- Suur aastatevaheline muutlikkus, eriti leebemate stsenaariumite korral



Tuule muutused

- Valitsevates tuule suundades – drastilisi muutusi ei ole oodata
- Kõrgem tuulte lahusus (ruumiline) on vajalik rannikumere protsesside paremaks esituseks paremate tuuleväljade kaudu



Peenskaleeritud atmosfääri kliima andmeteenus

- **OpenDAP** põhine allalaadimisteenus
- **NetCDF** formaadis failide jagamine
- valitud hulk enimkasutatud parameetreid
- teisendatud tavalistesse geograafilistesse koordinaatidesse



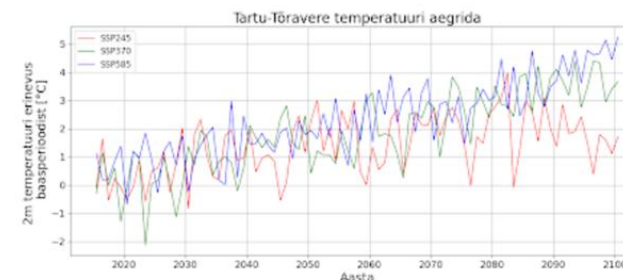
Contents of /BSEA-22/NorESM2-MM/ssp245/r1i1p1/RCA4/v1/1hr/

Name

[illegible]

Atmosfääri andmebaas KLAVAB 1.0

Siit leheküljelt leiab juurdepaasu Läänemere regiooni jaoks peenskaleeritud [CMIP6](#) projektsioonide andmete.



Kättesaadavate parameetrite nimekiri on leitav [siit](#).

Juurdepäas andmebaasile on leitav [siit](#). Juurdepääsuks on vajalik hankida parool. Parooli saamiseks tuleb pöörduda e-maili kaudu [Aarne Männiku](#) poole

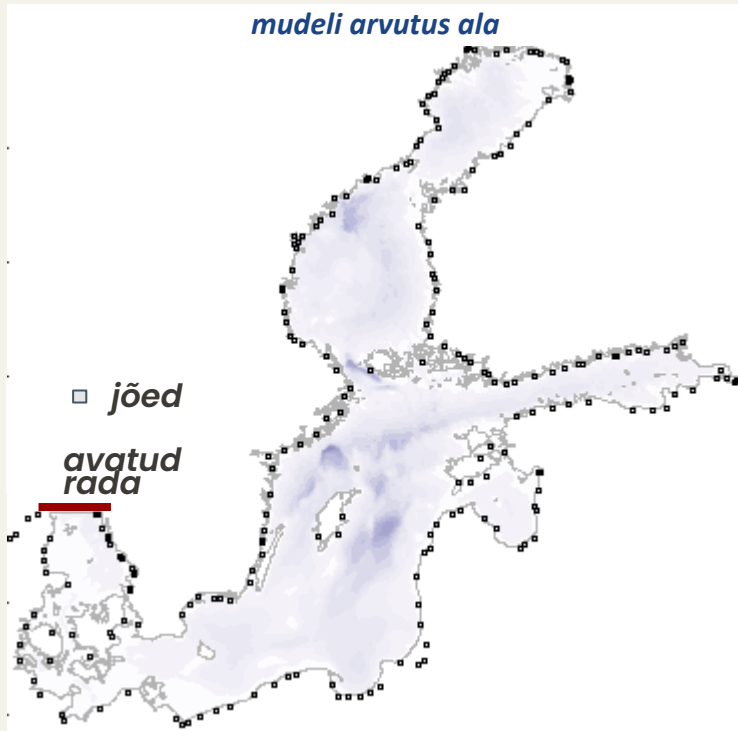
Andmebaasi loomist rahastas [Keskonnainvesteeringute Keskus](#) projektiga “Kõrglahutuslike atmosfääri väljade andmebaasi koostamine perioodi 1979-2100 kohta”

Autor: Arne Männik

Lehe kujundust uuendatud: 05.05.2025

Kättesaadavad kaitstud ligipääsu alusel

Läänemere mudel



GETM 3D hüdrodünaamika mudel (2 km)
 Alg väljad: IOW REAN + vaatlused
 Meteo : RCA (Nor) , 22
 km (KIK porj.)
 AvatudRajad. : AI (vaatlused)
 Jõed: AI (E-HYPE)

Jõed

$$vooluhulk(t, i) = a(i) * Q(t) * Qs(t_m, i)$$

$$Q(t) = F(prec, t2m) \text{ summaarne vooluhulk}$$

q - jõe (i) vooluhulk ajal (t) a - jõe kaal, Q - sum vooluhulk, Qs - sessonne vooluhulk

F : 1D CNN; atm. sisend: prec: sademed , t2m: 2m õhu temp.

Avatud rajad

$$veetase(t) = G(u10, v10, slp)$$

G : 1D CNN, atm. sisend: tuule kiiruse komponendid ja õhutõhk

Merekliima andmebaas

OPeNDAP

Contents of /BSEA-22/NorESM2-MM/ssp245/r1i1p1/RCA4/v1/1hr/

Name

clt_BSEA-22_NorESM2-MM_ssp245_r1i1p1_RCA4_v1_1hr_2015.nc
clt_BSEA-22_NorESM2-MM_ssp245_r1i1p1_RCA4_v1_1hr_2016.nc
clt_BSEA-22_NorESM2-MM_ssp245_r1i1p1_RCA4_v1_1hr_2017.nc
clt_BSEA-22_NorESM2-MM_ssp245_r1i1p1_RCA4_v1_1hr_2018.nc
clt_BSEA-22_NorESM2-MM_ssp245_r1i1p1_RCA4_v1_1hr_2019.nc
clt_BSEA-22_NorESM2-MM_ssp245_r1i1p1_RCA4_v1_1hr_2020.nc
clt_BSEA-22_NorESM2-MM_ssp245_r1i1p1_RCA4_v1_1hr_2021.nc
clt_BSEA-22_NorESM2-MM_ssp245_r1i1p1_RCA4_v1_1hr_2022.nc
clt_BSEA-22_NorESM2-MM_ssp245_r1i1p1_RCA4_v1_1hr_2023.nc
clt_BSEA-22_NorESM2-MM_ssp245_r1i1p1_RCA4_v1_1hr_2024.nc
clt_BSEA-22_NorESM2-MM_ssp245_r1i1p1_RCA4_v1_1hr_2025.nc

PHY

ur

kiirus

Temperatu

Soolsus
Veetase
Hoovuse

BIO

WAVE

Toitained
Klorofüll
Hapnik
Happesus
Secchi

...

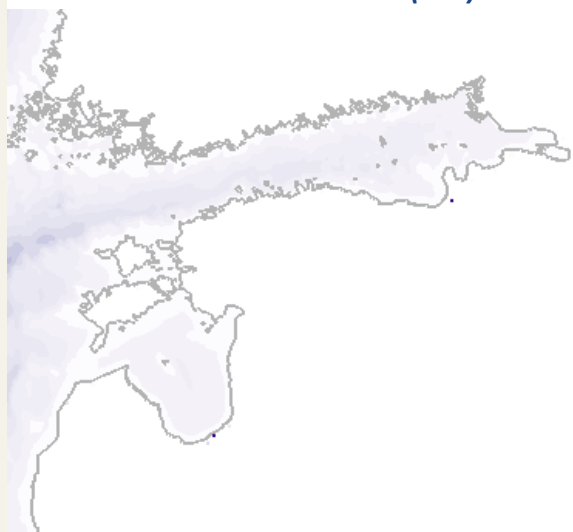
ICE

Laine kõrgus
Laine periood
Laine pikkus
Laine suund

Jää konsentratsioon
Jää paksus
Jää triiv

Tehakse avalikuks kaitstud ligipääsu alusel

kliima andmestiku ala (EST)



- **OpenDAP** põhine allalaadimisteenus
- **NetCDF** formaadis failide jagamine

→ ArcGIS, R, Matlab, Python, Jupyter NB,
API liidesed (edasised arendused)

Järgmised tulemused on esialgse analüüsi tulemused ning nende võimalikud näidisrakendused

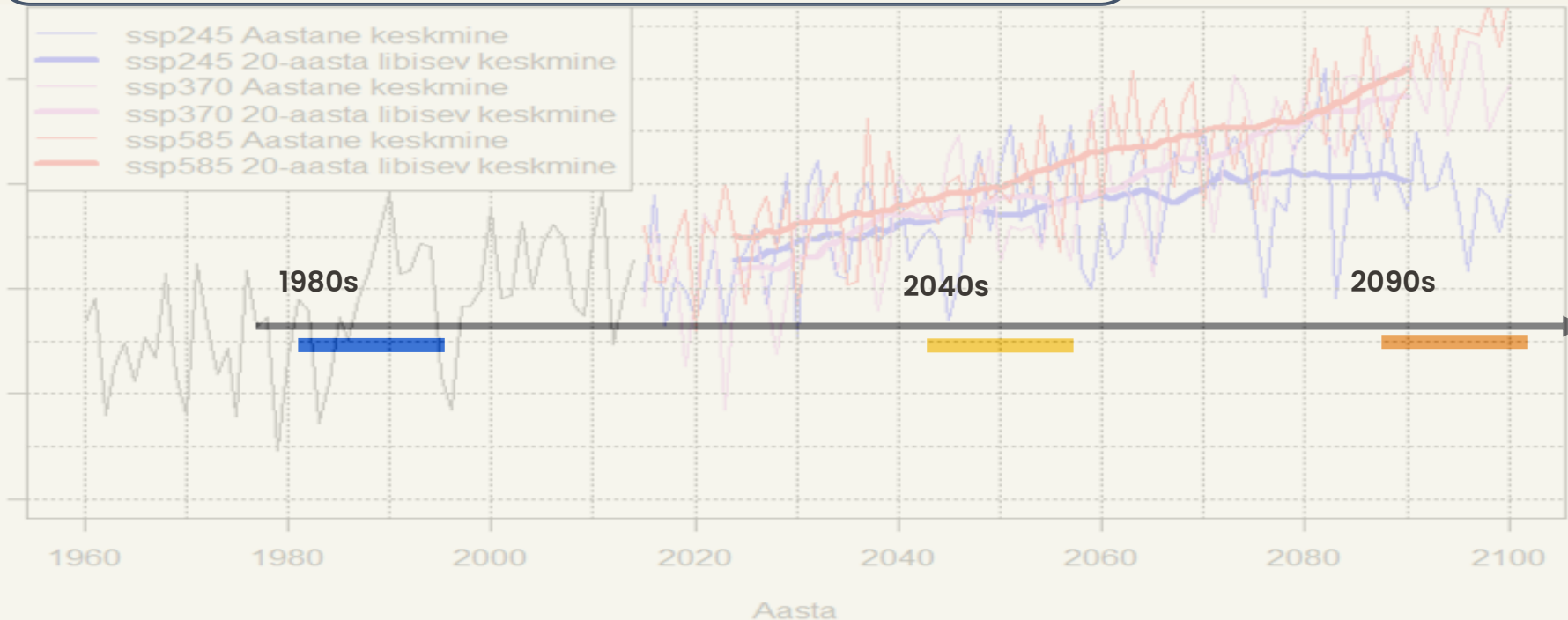
Kliimamuutused Kolmes ajaaknas

Stsenarium SSP245*

hist 1980s: 1980–1989 referents periood
clim 2040s: 2040–2049 ülemineku periood
clim 2090s: 2090–2099 kohanenud periood

Shared Socioeconomic Pathway 2–4.5
 rakendatakse meetmeid kliimamuutuste
 vältimiseks, kuid sellises tempos, mis ei
 ole piisavad, et vältida märkimisväärsed
 kliimamõjusid.

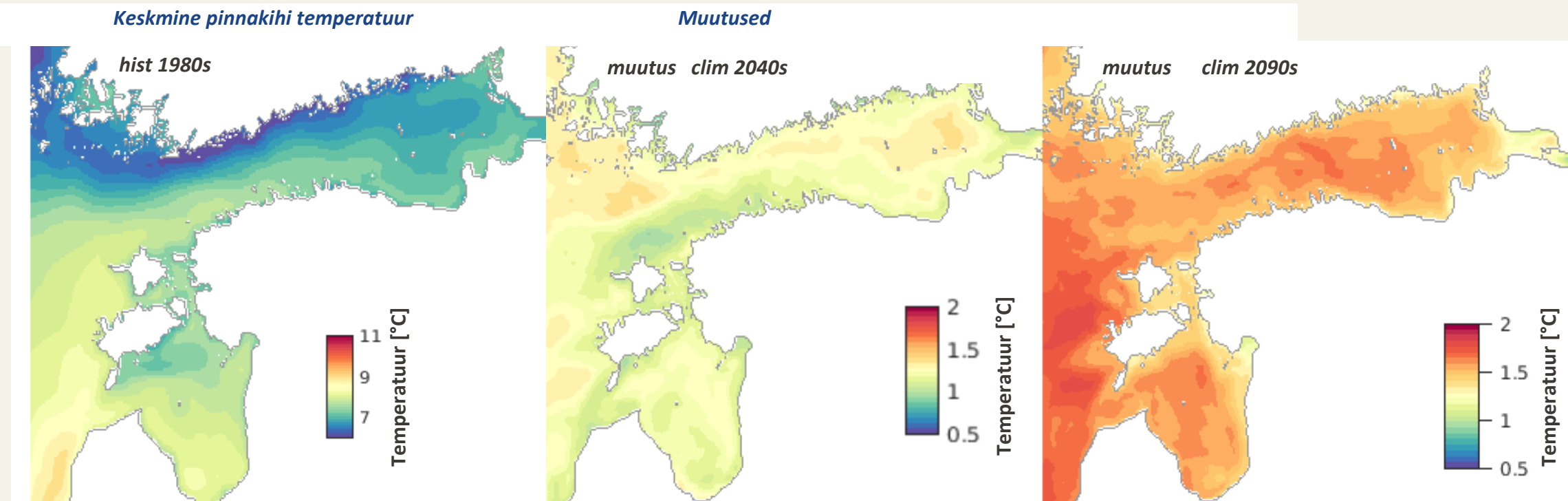
glob T: Pre-Industrial + 2.7... 3.0 °C



* praeguste hinnangute järgi kõige reaalsem tulevik (Burges et al, 2020) + kokkulepped

Temperatuur – pinnakiht

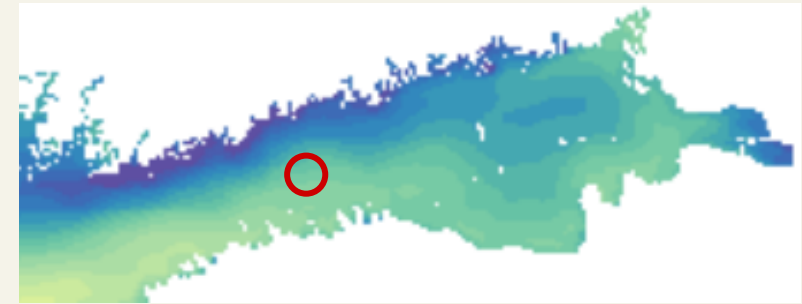
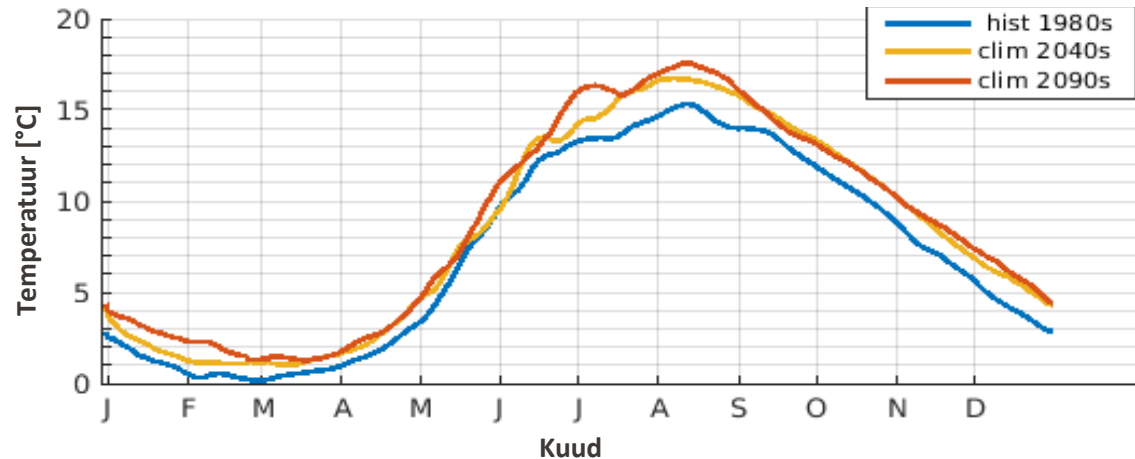
- Pinnakihiis tõuseb temperatuur keskmiselt sajandi keskpaigaks ca +1.2 °C
sajandi lõpuks ca +1.7 °C
- Regionaalsed muutused



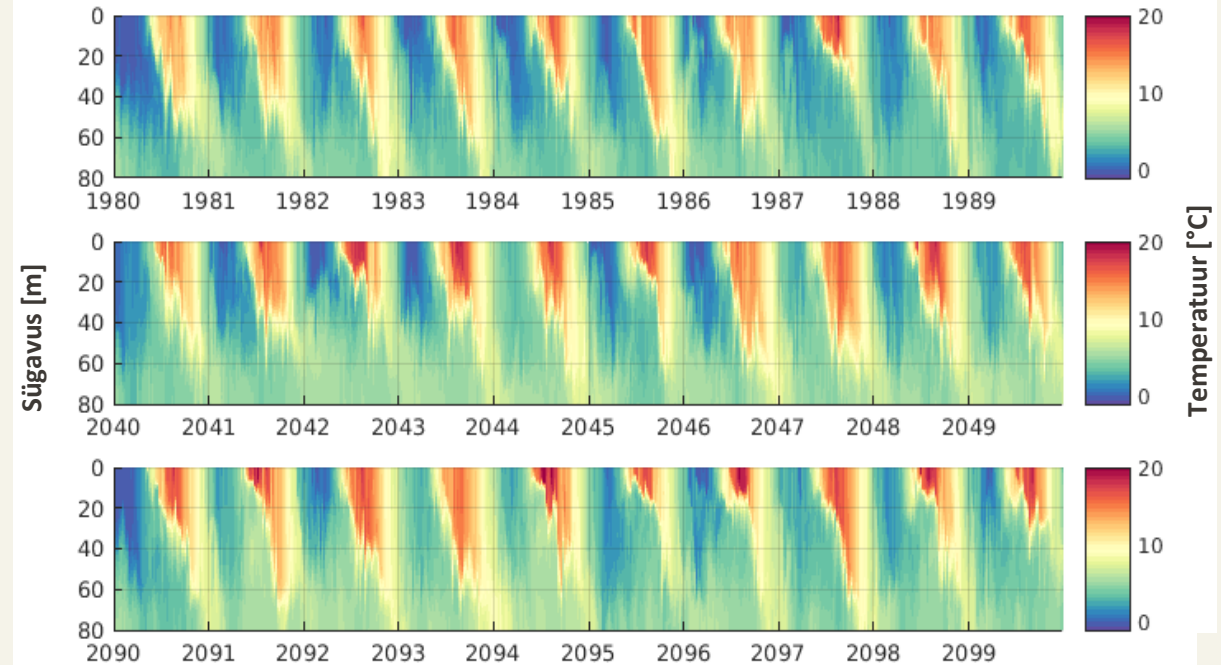
Temperatuuri sempoonsus

- Temperatuur tõuseb kogu aastalõikes
- Pinnakihis tõuseb temperatuur
talvel +1...2 °C
suvel +2..3 °C

Temperatuuri sempoonsus

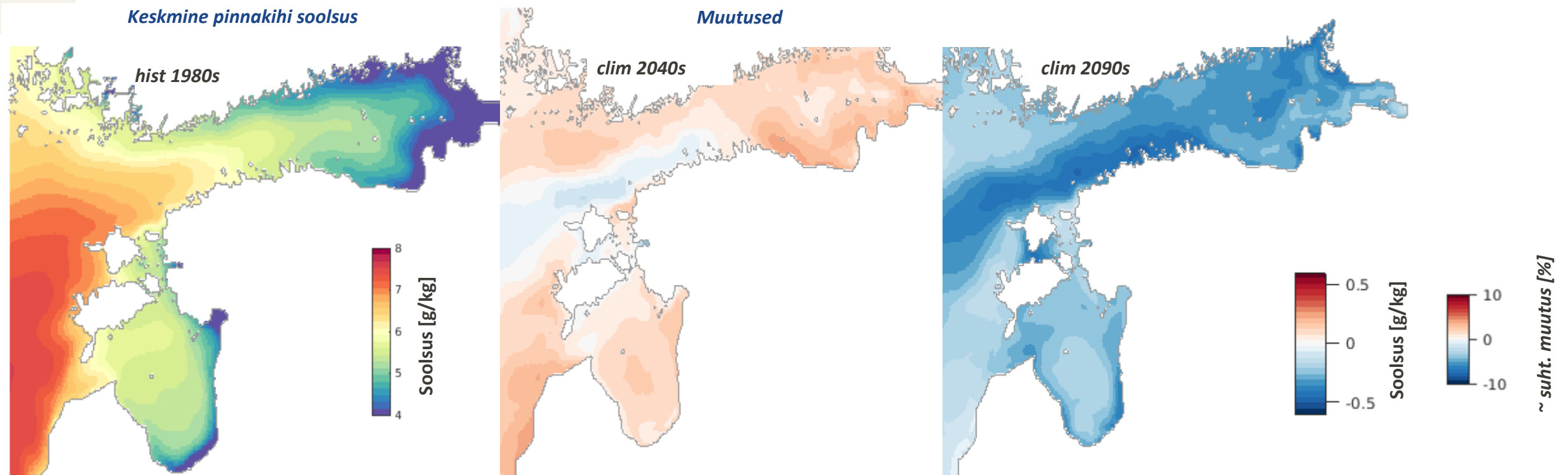


Temperatuuri aeg-sügavus aegread, Soome lahe keskosas



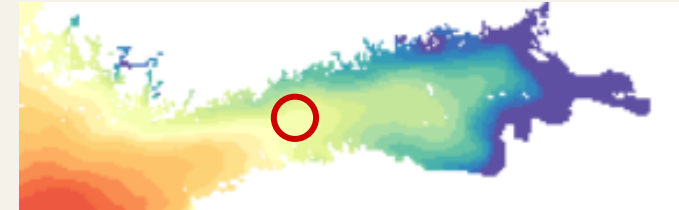
Soolsus – pinnakiht

- Sajandi keskel –erimärgilised muutused
/ vähenevad kontrastid lahe ida-lääne osade vahel
- Sajandi lõpus pinnakiht üle kogu regiooni magedam

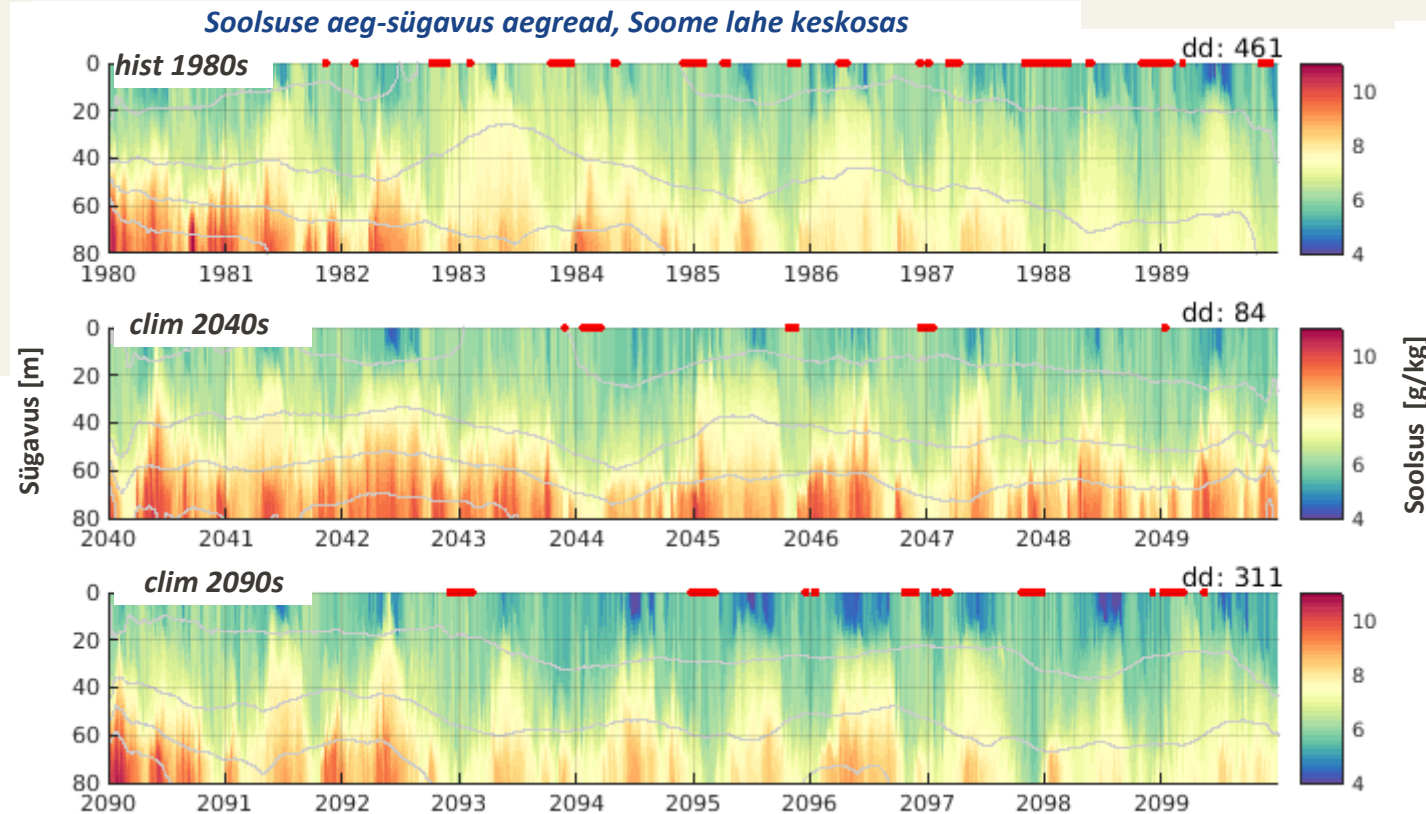
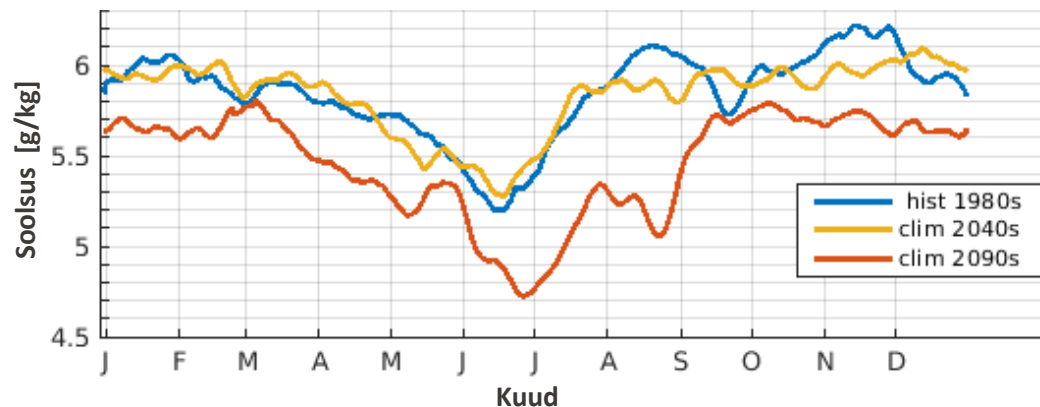


Soolsuse sempoonsus

- Pinnakihis muutub soolsus
~ 0.5 ühikut magedamaks
- pikaajalisi tendentse mõjutavad
sempoonseid soolaste veemasside
sissevoolud Soome lahte ning
sporaadiliste suurte Läänemere
sissevoolude dünaamika muutused



Soolsuse sempoonsus



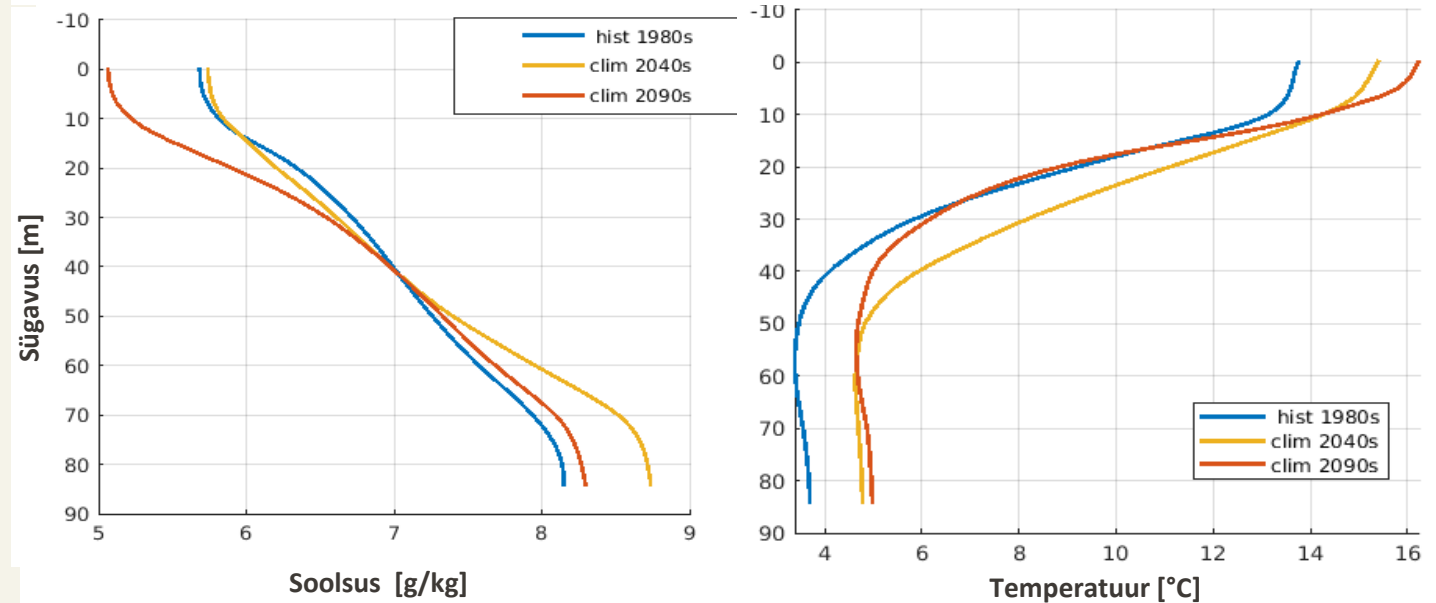
Kihistumine

- Soolsuse kihistumise muutused suuremad kui soolsuse muutused
- Temperatuuri kihistumine suureneb suvel ja hilissügisel
- Päevi aastas kus tiheduse kihistumist ei ole (põhja- pinna vahe $< 1 \text{ kg/m}^3$)

hist 1980s: 46 päeva
 clim 2040s: 8 päeva
 clim 2090s: 31 päeva

(eelmine slaid)

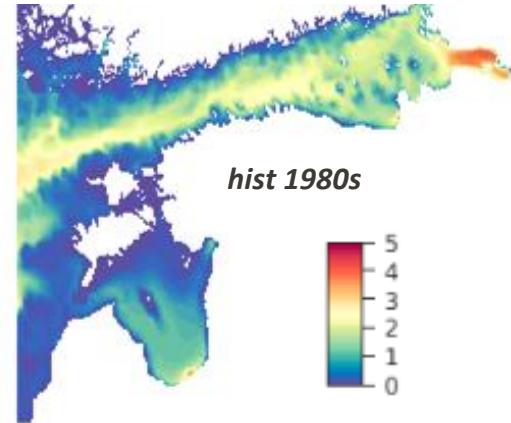
Juuli kuu keskmised soolsuse ja temperatuuri profiilid Soome lahes



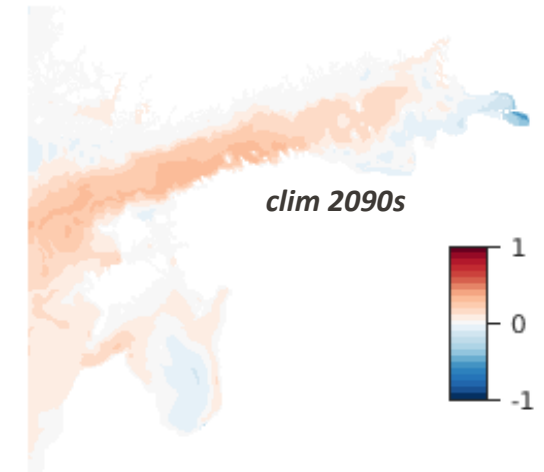
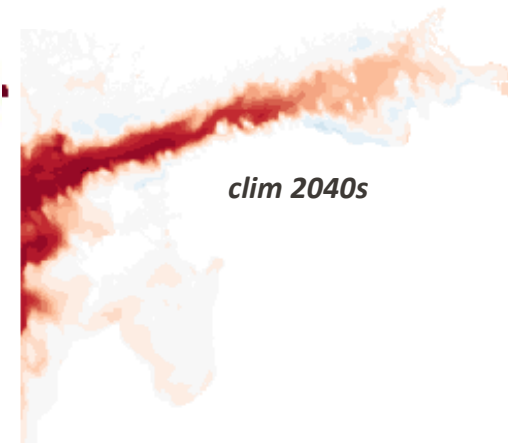
Kihistumine

- Soolsuse kihistumine tugevneb avamerel
- Termiline kihistumine tugevneb sajandi lõpus ranikumeres

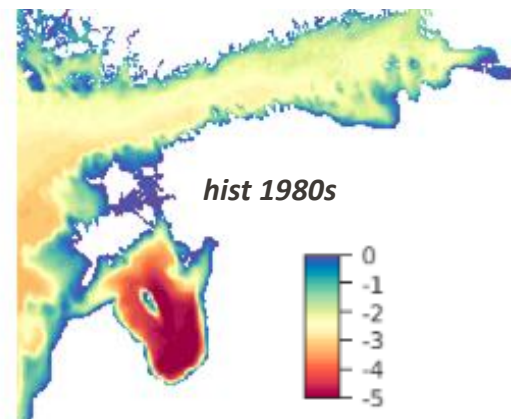
Keskmine soolsuse erinevus põhja ja pinna vahel



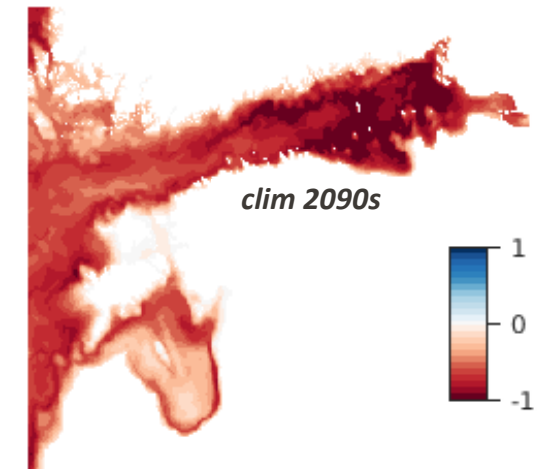
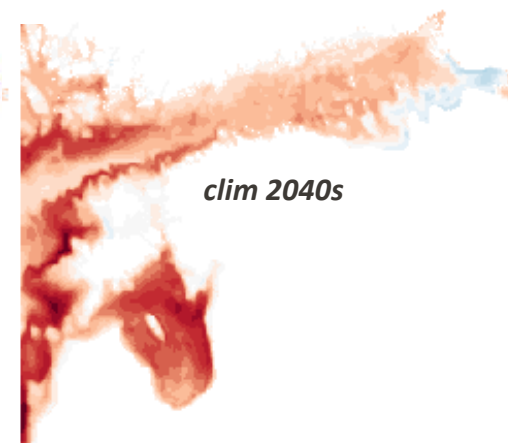
Muutused



Keskmine temperatuuri erinevus põhja ja pinna vahel

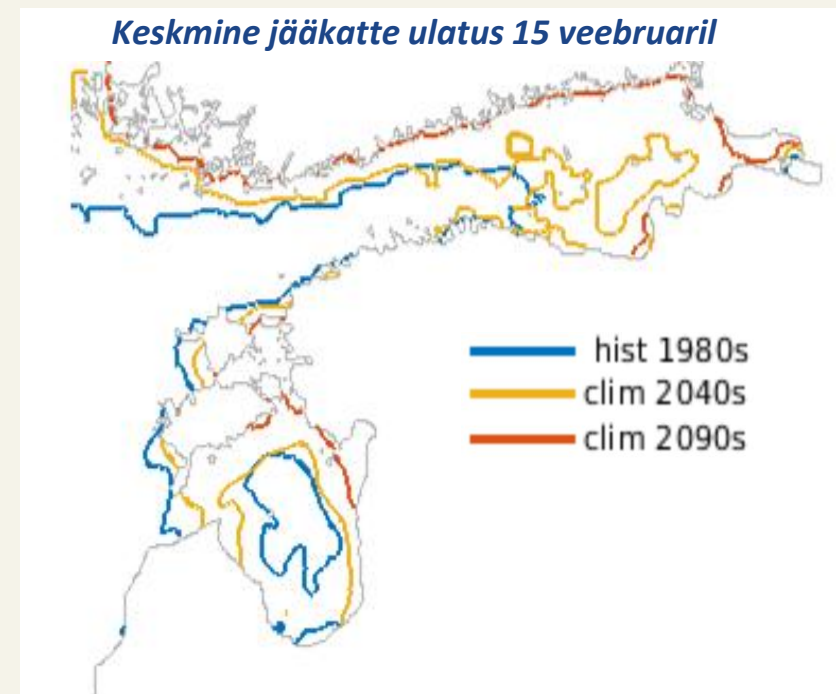
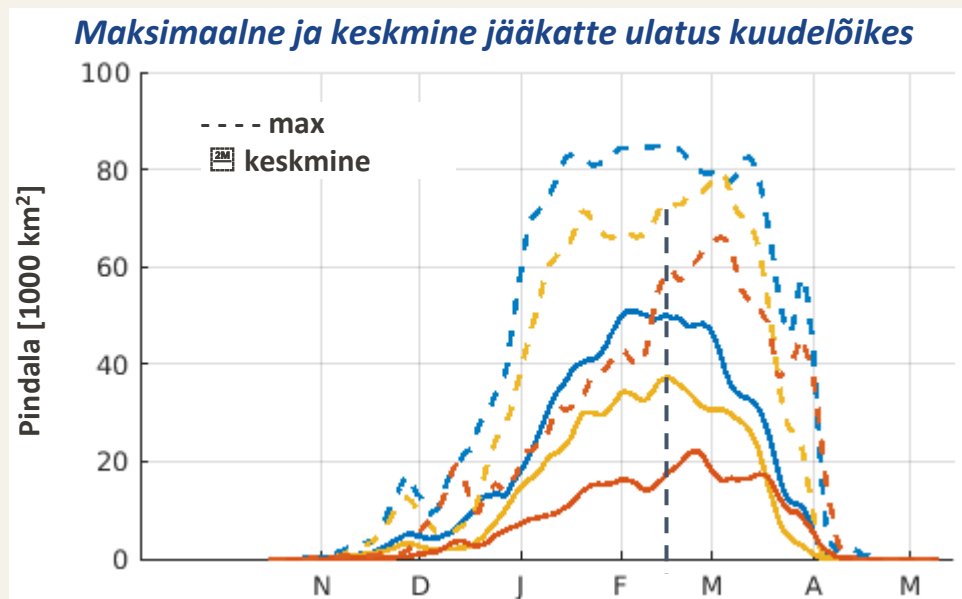
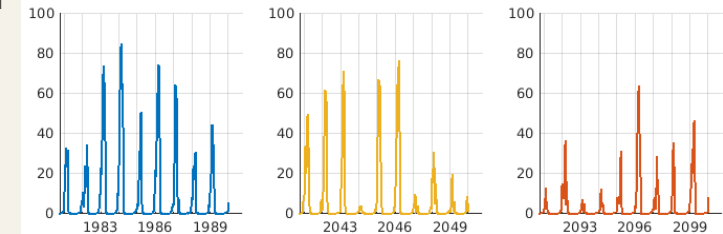


Muutused



Jää katvus - pindala

- jää max ulatus hilineb; pikem kasvu, lühem lagunemise periood
- Väinamärest, Pärnust ja Kunda lahest tõenäoliselt jää ei kao.
- Paldiski saab tõenäoliselt tõesti püsivalt jäävabaks
- Jää ei kao meie laiuskraadidelt ära - ~~kuid/ent/või~~ NING endiselt peab arvestama

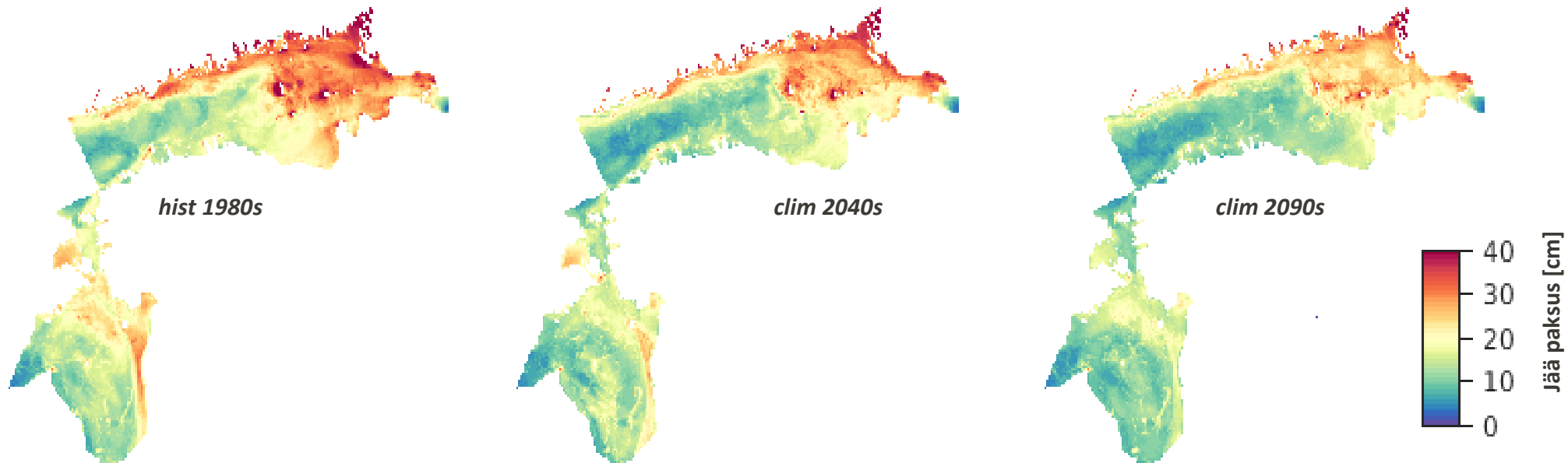


Jää paksus

- Talvised jää paksused vähenevad ~30–50%
- Ka sajandi lõpus tuleks arvestada 20 cm jääga

Maksimaalne jää paksus perioodil

Muutused

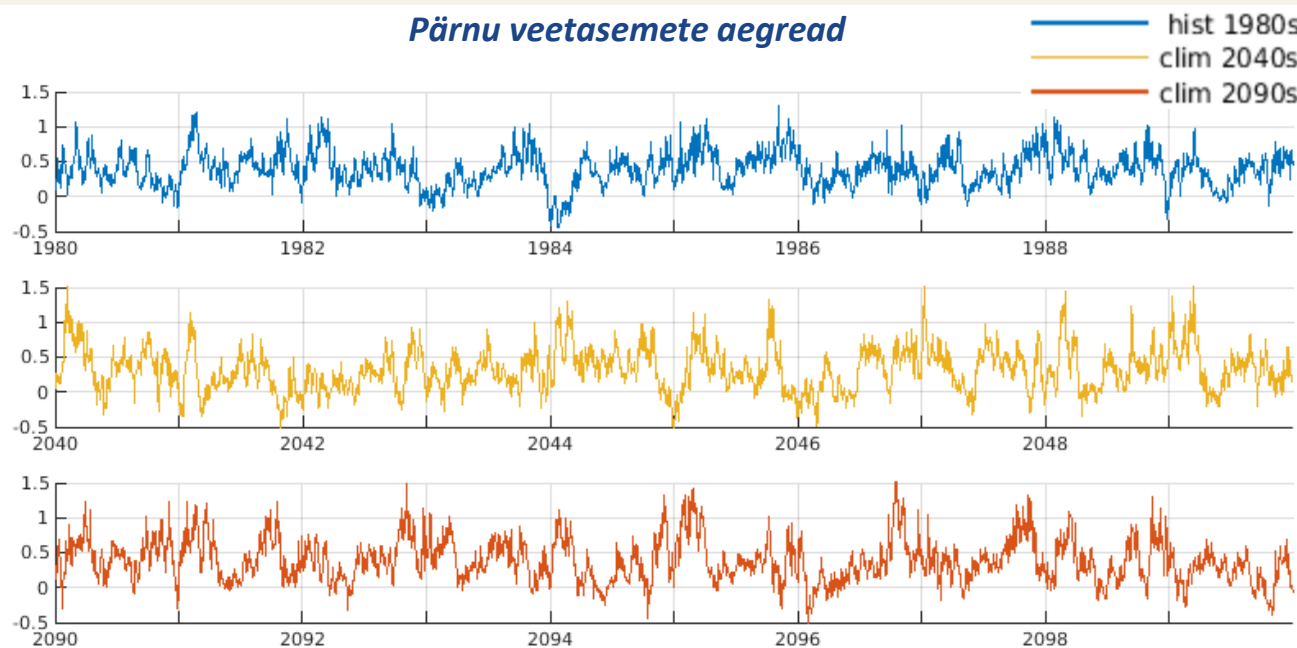


Veetase

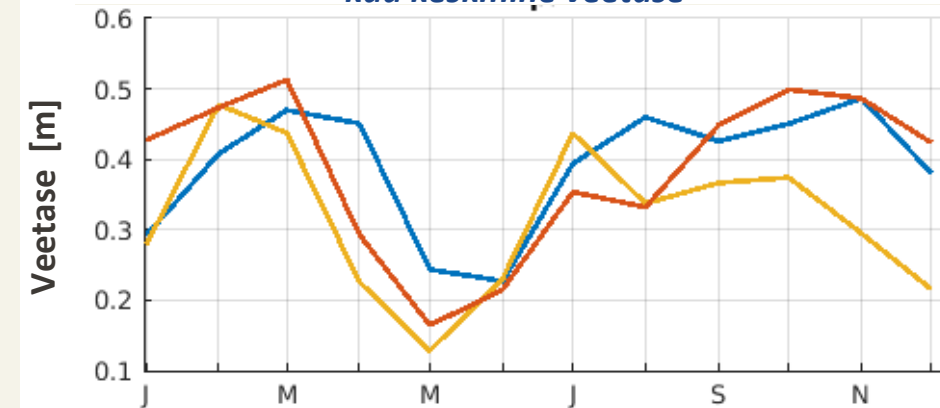
- Looduslik muutlikus (ümber tausta veetaseme) domineerib
- Nihked sessoonsuses - varasem kevadpagu,
- muutlikud sügistormid
- veetaseme trendi määramatus suur (*maa tõus vs glob.*)



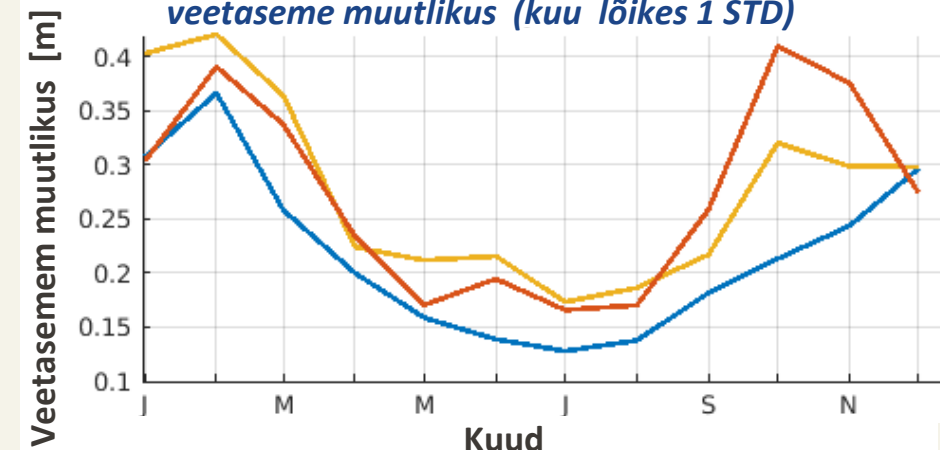
Pärnu veetasemete aegread



kuu keskmine veetase



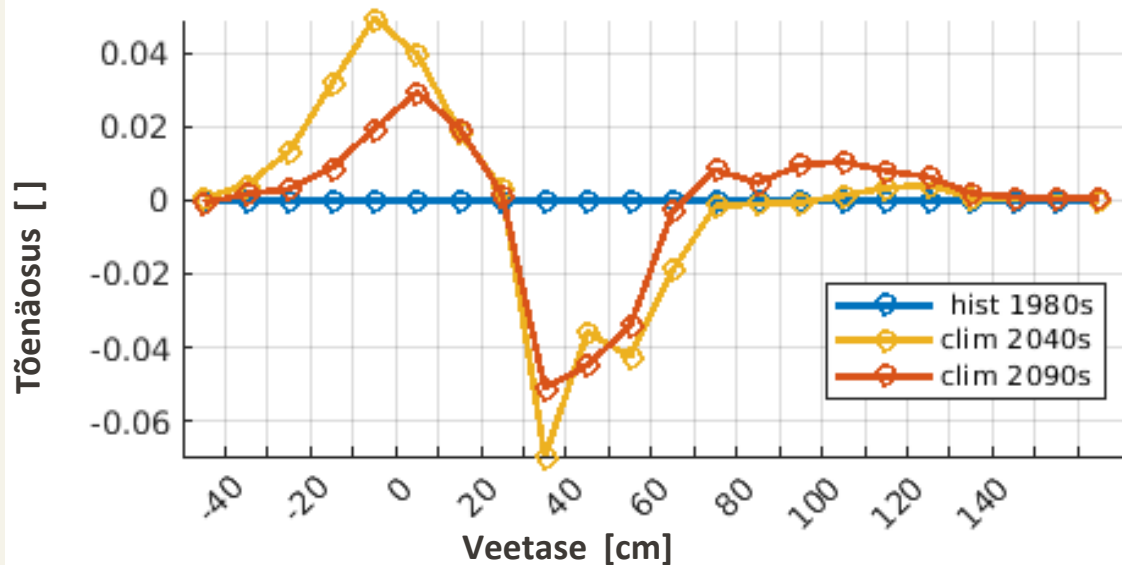
veetaseme muutlikus (kuu lõikes 1 STD)



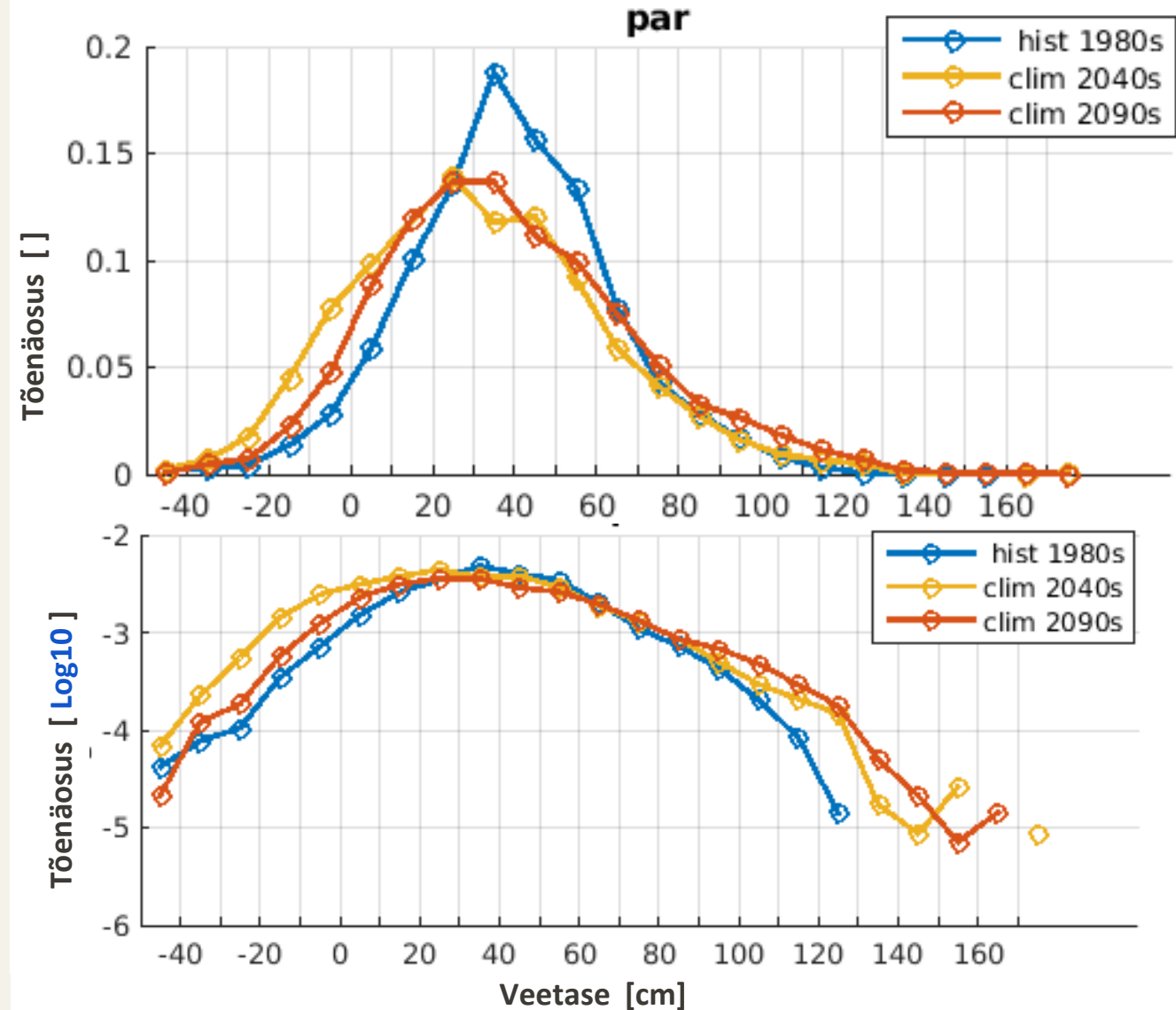
Pärnu päevakeskmise veetaseme jaotuskõverad

- sagenevad madalveed ja suurveed
- sajandi keskpaigas sagenevad madalveed

Tõenäosusjaotuste võrdlus hist 1980s perioodiga



Pärnu veetasemete vahemike esinemise tõenäosus kõverad

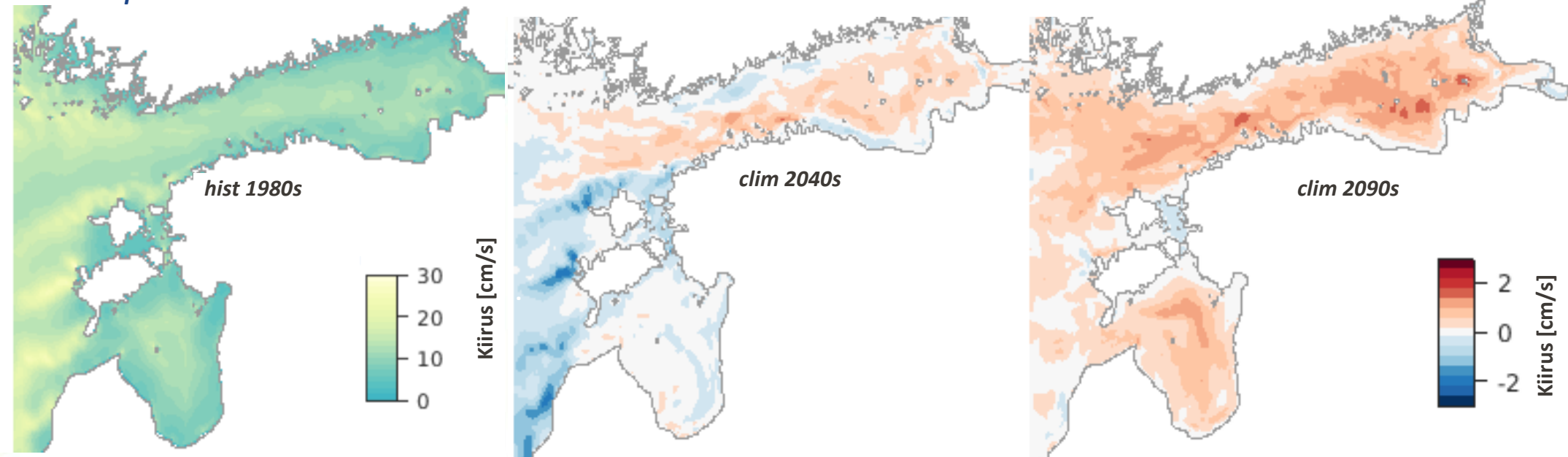


Hoovuse kiirus

- Keskmise kiirusväli 10 ... 20 cm/s
- Regionaalsed muutused sajandi keskel ja lõpus $\pm 2 \dots 4$ cm/s ($< 10\%$)

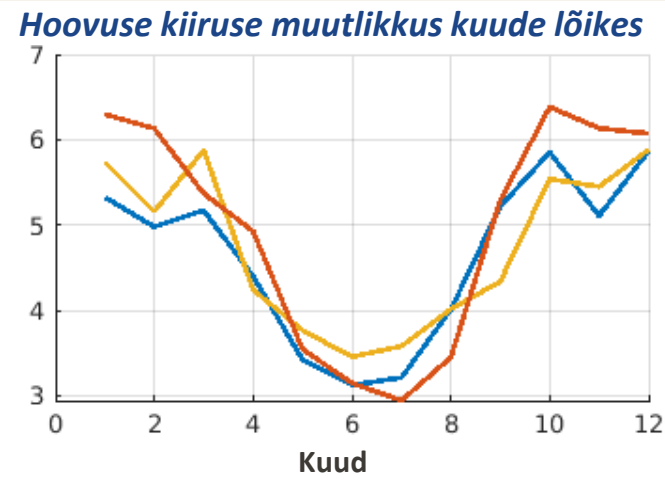
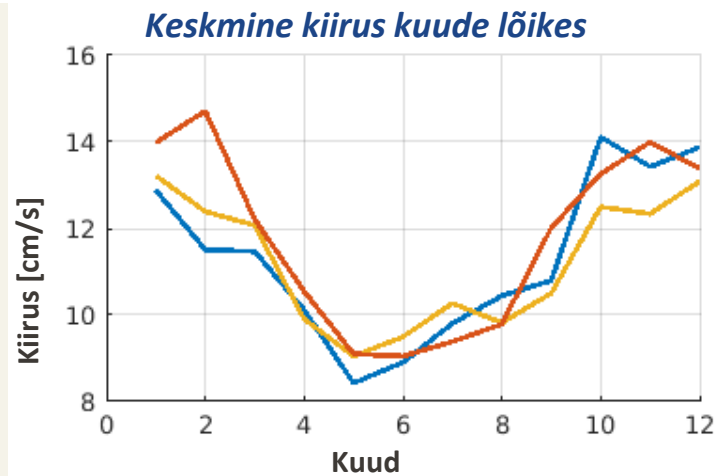
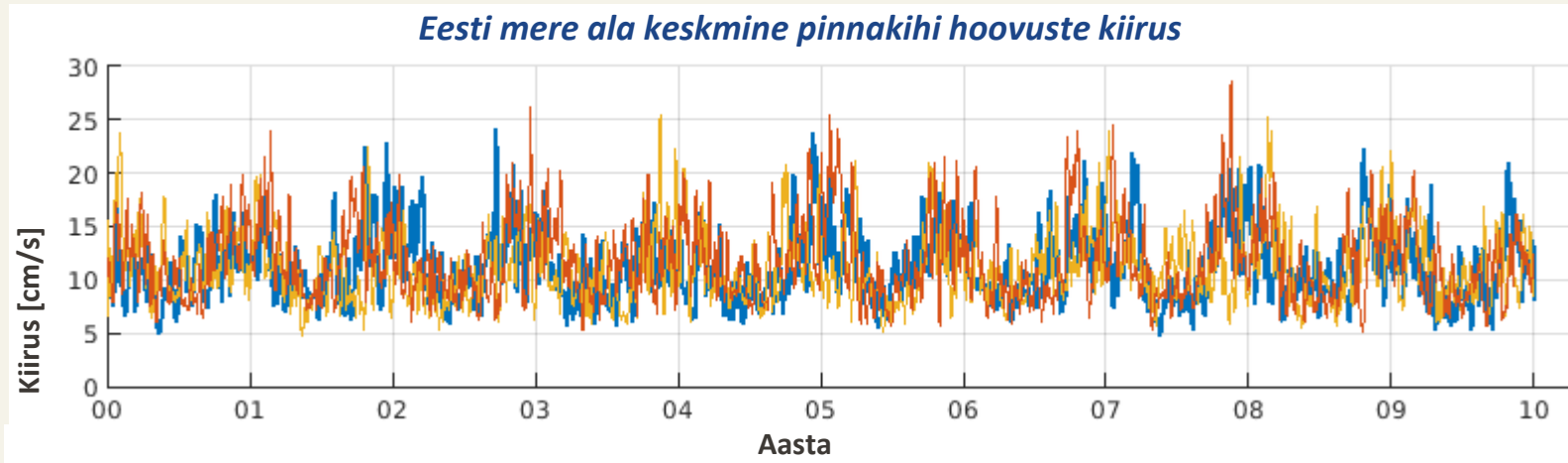
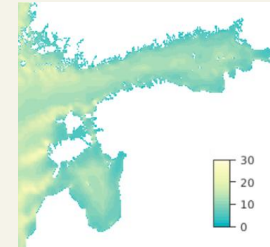
Keskmine pinnakihi hoovuste kiirus

Muutused



Hoovuse kiirus

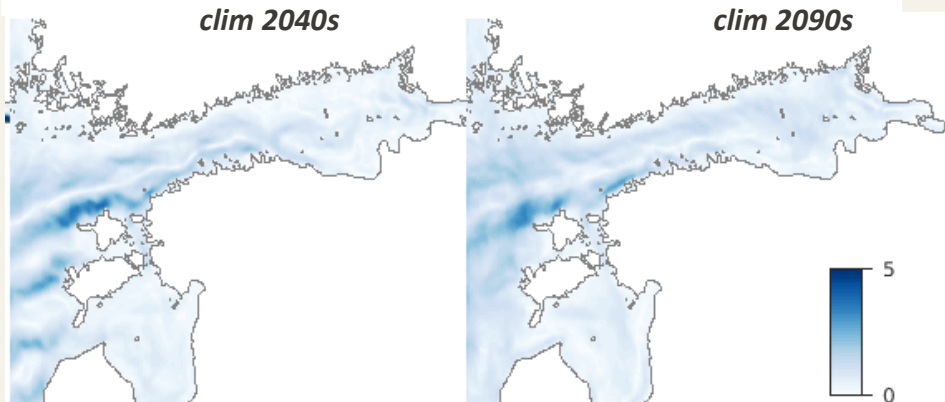
- hoovused muutlikud nagu ilm, trende ei ole märgata
- Sessoonsed kiirused suuremad Jan, Veb (>10% !)
- Hoovuste muutlikkus suurem Sept-Mar (~20%)



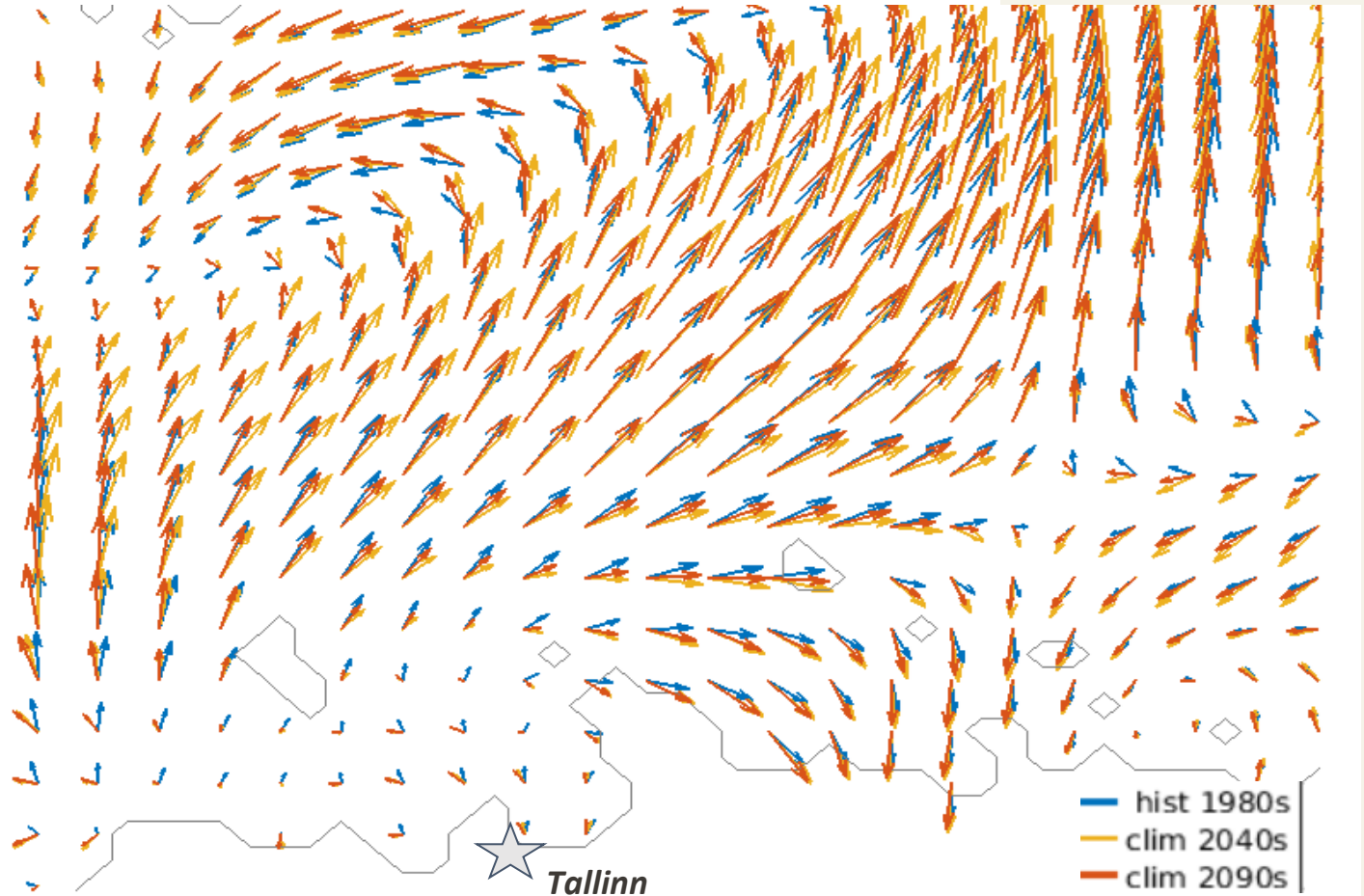
Hoovuste suund

- Pinnakihi hoovuste struktuur säilib
- Hoovused pöörduvad valdaval lääne suunda / muutused ei ole suured
- Muutused suuremad kaldalähedal kui avamerel

Keskmise hoovusvektori muutus



Pinnakihi hoovusväli, Soome lahe avaosas



Ülemineku kliima(d)

Minevik: stabiilne kliima A

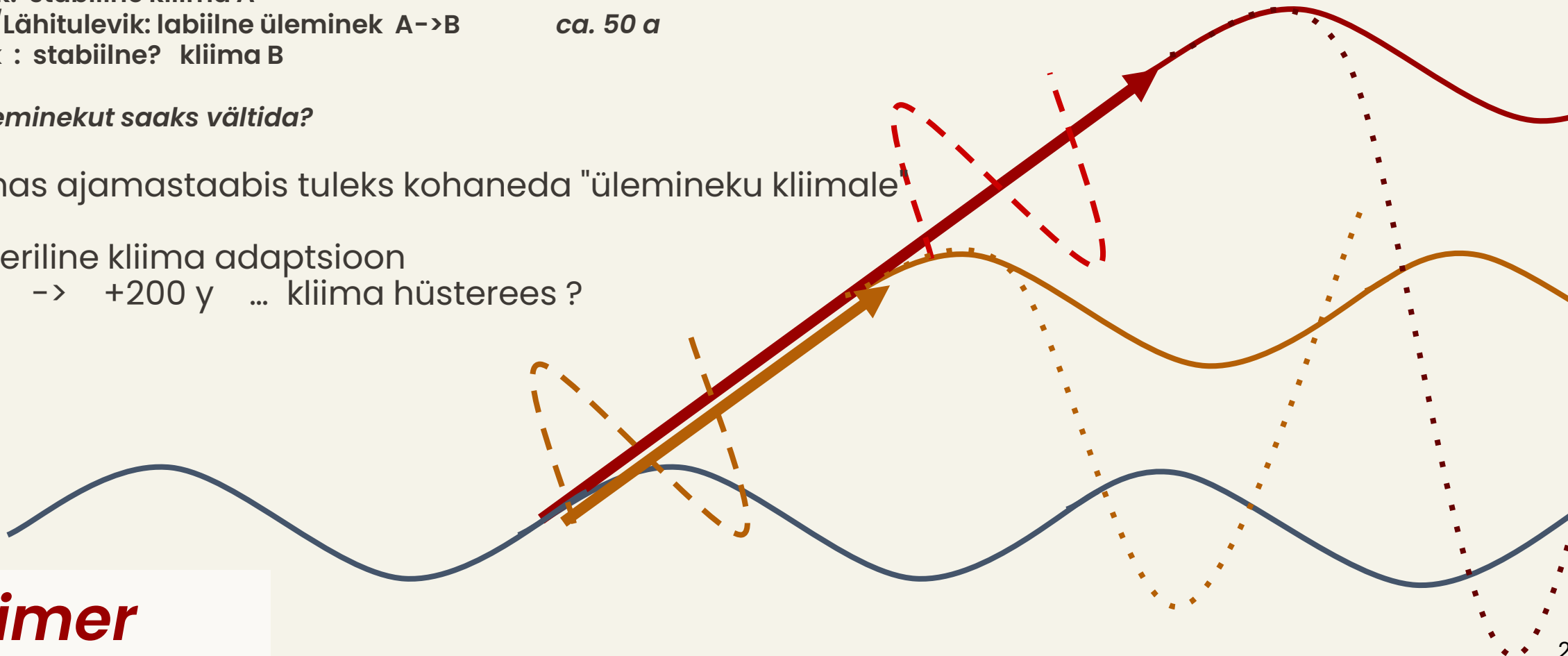
Olevik/Lähitulevik: labiilne üleminek A→B

ca. 50 a

Tulevik : stabiilne? kliima B

Kas üleminekut saaks vältida?

- Lühemas ajamastaabis tuleks kohaneda "ülemineku kliimale"
- Hüsteeriline kliima adaptatsioon
→ +200 y ... kliima hüsterees ?



Disclaimer

Käesoleva ettekande sisu on esialgne ja võib muutuda. Palume arvestada, et esitatud on esmased analüüsid ja need on mõeldud aruteluks.