

# Eesti tuleviku kliimastsenaariumid aastani 2100

Lepingulise töö aruanne projekti “Eesti riikliku kliimamuutuste mõjuga kohanemise strateegia ja rakenduskava ettepaneku väljatöötamine” lisana

Keskkonnaagentuur

*Autorid:*

Andres Luhamaa, Ain Kallis,  
Kaupo Mändla, Arne Männik,  
Tiia Pedusaar, Kai Rosin

Tallinn 2014

## Lühendid ja akronüümid

- AOGCM** atmosfääri ja ookeani ühendmudel globaalse kliima modelleerimiseks (*Atmosphere-Ocean General Circulation Model*). 22, 23
- BACC** Läänemere eksperimendi uurimisprojekt, mille tulemused on antud välja raamatuna (*BALTEX Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*). 7, 11, 13, 44
- BALTEX** Läänemere eksperiment (*The Baltic Sea Experiment*), <http://www.baltex-research.eu/>. 11
- Cfb** W. Köppeni poolt loodud kliimaklassifikatsioonis kasutatav kliimatüübi tähis, mis viitab maheda talvega merelisele kliimale. 12
- CMIP3** Maailma Kliima Uurimise Programmi (*World Climate Research Programme*) raames tegutseva töögrupi käivitatud kliimamudelite võrdluseksperimendi kolmas faas (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 3*). 22
- CMIP5** Maailma Kliima Uurimise Programmi raames tegutseva töögrupi käivitatud kliimamudelite võrdluseksperimendi viies faas (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*). 7, 22-24, 27
- CORDEX** Maailma Kliima Uurimise Programmi koordineeritud regionaalse kliima peenskaleerimise eksperiment (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*). 23, 25
- Dfb** W. Köppeni poolt loodud kliimaklassifikatsioonis kasutatav kliimatüübi tähis, mis viitab külma talvega niiskele mandrilisele kliimale. 12
- DJV** lühend talvekuudest: detsember, jaanuar, veebruar. 8-9, 28-32, 34, 37-38, 44
- DMI** Taani Meteoroloogia Instituut (*Danish Meteorological Institute*). 26-27, 62-89
- DMI-HIRHAM5** Taani Meteoroloogia Instituudi (DMI) välja töötatud regionaalne kliimamudel. 26, 32-33
- EC-EARTH** Euroopa Keskpika Ilmaennustuse Keskuse (*European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF)*) arendatud Maa Süsteemi Mudel. 26
- ECHAM4/OPYC3** Max Plancki Meteoroloogia Instituudi (*Max-Planck-Institute for Meteorology (MPI)*) ja Saksamaa kliima arvutuskeskuse (*Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ)*) loodud üldine tsirkulatsioonimudel. 31-34
- ENSEMBLES** aastatel 2004-2009 Euroopa Komisjoni initsiatiivil ja Ühendkuningriigi ilmasteenistuse (*UK Met Office*) eestvedamisel teostatud regionaalsete kliimamudelite ansambelprojektsiooni projekt. 25

**ESM** Maa Süsteemi Mudel (*Earth System Model*), Atmosfääri ja ookeani ühendmudel, mis võtab lisaks arvesse ka biosfääri ja atmosfääri keemia protsesse, komplekssem mudel kui AOGCM. 22-23

**EUR-11** EURO-CORDEX projekti mudelprojektsioon ruumilise lahutusega 12,5 km. 25

**EUR-44** EURO-CORDEX projekti mudelprojektsioon ruumilise lahutusega 50 km. 25

**EURO-CORDEX** - Maailma Kliima Uurimise Programmi (*World Climate Research Programme*) koordineeritud regionaalse kliima peenskaleerimise eksperimendi (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*) CORDEX Euroopale kohaldatud eksperiment. 7-8, 23, 25-26, 29, 44

**EWD** ekstreemselt märg päev ehk 10-päevase perioodi viimane päev, mille jooksul sadas keskmiselt üle 100 mm sademeid päeva kohta (*Extremely Wet Day*). 20

**HadAM3H** atmosfäärimudel (*The Hadley Centre Atmosphere only GCM*), mis on üheks Hadley keskuse poolt arendatud üldise tsirkulatsioonimudeli HadCM3 (*Hadley Centre Coupled Model, version 3*) komponendiks. 31-34

**IPCC** ÜRO Valitsustevaheline Kliimamuutuste Ekspertnõukogu (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). 7, 10-11, 18, 22-23, 40, 46, 48

**IPCC AR4** IPCC neljas hinnangute aruanne (*IPCC Assessment Report 4*, <http://www.ipcc.ch/report/ar4>). 15, 23, 31

**IPCC AR5** IPCC viies hinnangute aruanne (*IPCC Assessment Report 5*, <http://www.ipcc.ch/report/ar5>). 7, 26, 45, 47

**IPCC TAR** IPCC kolmas hinnangute raport (*IPCC Third Assessment Report*). 23

**JJA** lühend suvekuudest: juuni, juuli, august. 8-9, 27-34, 37-38, 44

**KHG** kasvuhoonegaasid – atmosfääris leiduvad gaasilised ained, mis neelavad pikalainelist kiirgust. 22, 24, 36

**KNMI** Hollandi Kuninglik Meteoroloogia Instituut (*Royal Netherlands Meteorological Institute*). 26, 36, 62-89

**MAM** lühend kevadkuudest: märts, aprill, mai. 8-9, 28-30, 34, 37-38, 44

**PRUDENCE** aastatel 2001-2004 läbi viidud regionaalse (Euroopa) kliima modelleerimise võrdlusprojekt. 25

- R95p** päevade arv, mille ööpäevane sademete hulk ületab 95-protsendilise kvantiili (väga vihmane päev). Lävend arvutatakse igale sademetemõõtejамale kas aasta või sesooni jaoks. 20
- R99p** päevade arv, mille ööpäevane sademete hulk ületab 99-protsendilise kvantiili (paduvihm). Lävend arvutatakse igale sademetemõõtejaamale kas aasta või sesooni jaoks. 20
- RACMO22** Hollandi Kuningliku Meteoroloogia Instituudi (KNMI) poolt välja töötatud regionaalne kliimamudel. 26
- RCA4** Rootsi Meteoroloogia Instituudi Rossby keskuse välja töötatud regionaalne kliima- mudel, viimane versioon (*Rosby Centre Atmospheric Model*). 26
- RCAO** Rootsi Meteoroloogia Instituudi Rossby keskuse välja töötatud regionaalne kliima- mudel Läänemere regiooni jaoks (*The Rosby Centre Regional Atmosphere Ocean Model*). 32-35
- RCAO-E** ECHAM4/OPYC3 globaalse mudeli põhjal jooksutatud RCAO regionaalne mudel. 34
- RCAO-H** HadAM3H globaalse mudeli põhjal jooksutatud RCAO regionaalne mudel. 34
- RCM** regionaalne kliimamudel, kliima modelleerimiseks piiratud alal ja kõrgema lahutusega, kui globaalsed mudelid. 22-23, 26
- RCP** *Representative Concentration Pathway*, IPCC AR5-s välja toodud stsenaarium, mis on koostatud olemasoleva teaduskirjanduse ja meetodikate põhjal sõltumatute uurimiskeskuste poolt sõltumatute meetoditega. Erinevalt varasematest stsenaariumitest püüavad arvesse võtta ka kliimamuutuste tagasisidet ühiskonna arengule (sh, aga mitte ainult, leevendavate meetmete kasutuselevõttu, tehnoloogiate arengut, maakasutust jne). 23-24, 26
- RCP2.6** antud aruandes Eesti jaoks mittesoovitav, liialt optimistlik, märkimisväärset tehnoloogilist protsessi ja riikide poolset KHG piiramist eeldav RCP stsenaarium. 23-24, 45
- RCP4.5** soovitatav põhistsenaarium; mõõdukas, riikide poolt olulisi leevendavaid meetmeid eeldav stsenaarium. 7-10, 23-30, 32, 36-39, 42-45, 62-69, 74-81
- RCP6** antud aruandes Eesti jaoks mittesoovitav, mõõdukas, riikide poolt olulisi leevendavaid meetmeid eeldav RCP stsenaarium. 10, 24-25, 44
- RCP8.5** soovitatav lisastsenaarium; pessimistlik, nõrk riikidevaheline koostöö ja valdavalt süsinikul põhinev majandus. 7-10, 23-30, 32, 35-40, 42-45, 70-73, 82-89
- SMHI** Rootsi Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut (*Swedish Meteorological and Hydrological Institute*). 26-27, 36, 62-89
- SON** lühend sügiskuudest: september, oktoober, november. 8-9, 27-30, 34, 37-38, 44
- SRES** IPCC eelmine kliimastenaariumite põlvkond, välja töötatud IPCC TAR jaoks (*Special Report on Emissions Scenarios*). 23

**SRES-A1B** SRES põlvkonna emissiooni stsenaarium, mis eeldab rahvaarvu kasvu aeglustumist alates 21. sajandi keskpaigast ja kõikide energiaallikate tasakaalustatud kasutamist. 10, 40, 44

**SRES-A2** SRES põlvkonna emissiooni stsenaarium, mis eeldab rahvaarvu kiiret kasvu ja intensiivset energiakasutust. 10, 15, 31-34, 40

**SRES-B2** SRES põlvkonna emissiooni stsenaarium, mis eeldab rahvaarvu aeglasemat kasvu ja väiksemat energiakasutust, kui stsenaarium SRES-A2, sarnane RCP4.5-ga. 31, 34

**TNn** Päevase miinimumtemperatuuri minimaalne väärtus. 19

**TNx** Päevase miinimumtemperatuuri maksimaalne väärtus. 19

**TXn** Päevase maksimumtemperatuuri minimaalne väärtus. 19

**TXx** Päevase maksimumtemperatuuri maksimaalne väärtus. 19

# Sisukord

Lühendid ja akronüümid .....	1
Sisukord .....	5
1 Kokkuvõte .....	7
2 Sissejuhatus .....	11
3 Hiljutised kliimamuutused Eestis .....	12
3.1 Temperatuur .....	12
3.2 Kiirus .....	13
3.3 Tuul.....	14
3.4 Hüdroloogiline tsükkel.....	16
3.4.1 Sademed .....	16
3.4.2 Siseveed .....	17
3.4.3 Lumikate .....	19
3.5 Ekstreemsed nähtused .....	19
3.5.1 Temperatuuri äärmusväärtused.....	19
3.5.2 Sademete äärmusväärtused .....	19
3.6 Läänemeri .....	20
3.6.1 Merevee pinnatemperatuur .....	20
3.6.2 Merejää.....	21
3.6.3 Merevee tase .....	21
4 Kliimaprojektsioonid Eesti jaoks ajavahemikel 2041-2070 ja 2071-2100 .....	22
4.1 Eesmärk .....	22
4.2 Kliimamudelid ja baaskliima .....	22
4.3 Stsenaariumite valik .....	23
4.4 EURO-CORDEX mudelprojektsioonid .....	25
5 Projitseeritud muudatused kliimaparameetrites.....	26
5.1 Temperatuur .....	26
5.1.1 Globaalne perspektiiv .....	26
5.1.2 Eesti perspektiiv .....	27
5.2 Maapinnale langev lühilaineline kiirus .....	29
5.3 Tuul.....	31
5.3.1 Globaalne perspektiiv .....	31
5.3.2 Eesti perspektiiv .....	31
5.4 Veeringe.....	36
5.4.1 Sademed – globaalne perspektiiv .....	36
5.4.2 Sademed – Eesti perspektiiv .....	36
5.4.3 Lumikate .....	38
5.4.4 Siseveed .....	39

5.5	Ekstreemsed nähtused .....	40
5.5.1	Temperatuuri äärmusväärtused.....	40
5.5.2	Sademetete äärmusväärtused .....	44
5.6	Läänemeri .....	44
5.6.1	Merevee pinnatemperatuur .....	44
5.6.2	Merevee tase .....	44
5.6.3	Merejää.....	45
6	Kliimaprojektsioonide tõlgendamine .....	45
	Viited.....	49
	Tabelid .....	58
	Joonised .....	59
A	Temperatuur .....	62
A.1	RCP4.5.....	62
A.2	RCP8.5.....	70
B	Sademed .....	74
B.1	RCP4.5.....	74
B.2	RCP8.5.....	82

# 1 Kokkuvõte

Käesoleva kokkuvõtte eesmärgiks on anda ülevaade projektsioonidest ja hinnangutest tuleviku kliimale Eestis kuni aastani 2100.

Raport koondab olemasolevad teadmised atmosfääri ja aluspinna kliima ning selle muutumise kohta Eestis ja Läänemere regioonis, pidades silmas globaalset konteksti ning sellest tulenevaid lokaalseid seoseid. Raport on teaduslikuks aluseks Eesti riikliku kliimamuutuste mõjudega kohanemise strateegia ja rakenduskava ettepaneku väljatöötamisele atmosfääri osas ning alusmaterjaliks atmosfääri seisundist mõjutatud valdkondade hindamisel.

Käesolevas töös on võimalusel kasutatud tulemusi ÜRO valitsustevahelise kliimapaneeeli (IPCC) uusima raporti AR5 jaoks tehtud globaalsete kliimastenaariumite RCP4.5 ja RCP8.5 põhjal tehtud globaalsete kliimaprojektsioonide CMIP5 regionaalsetest peenskaleeringutest. Vastavad tulemused on koondatud ja avaldatud projekti EURO-CORDEX raames. Kus EURO-CORDEX tulemuste otsene kasutamine ei ole võimalik või mõistlik, on kasutatud kokkuvõtteid avaldatud teaduskirjandusest, sealhulgas IPCC aruanded AR5 ja AR4, IPCC eriväljaanne ekstreemsete kliimanähtuste kohta SREX, Läänemere piirkonna kliimamuutuste teaduskirjanduse kokkuvõtet BACC ja kliimamõjude hindamise projekti Baltadapt.

Stsenaariumi eesmärk on defineerida inimtegevusest tulenevate kliimat mõjutatavate tegurite ajaline ja ruumiline muutlikkus. Stsenaariume peab olema mitu, kuna ühiskonna areng tervikuna ja veel enam sellega kaasnevad keskkonnamõjud ei ole üheselt prognoositavad. Stsenaariumid on aluseks erinevate kliimaprojektsioonide omavahelisele võrreldavusele.

Ettepanek: lähtuda Eesti kliimamuutuste mõjudega kohanemise strateegia ja rakenduskava ettepaneku koostamisel kahest stsenaariumist:

- RCP4.5 – soovitatav põhistsenaarium; mõõdukas, riikide poolt olulisi leevendavaid meetmeid eeldav stsenaarium
- RCP8.5 – soovitatav lisastsenaarium; pessimistlik, nõrk riikidevaheline koostöö ja valdavalt süsinikul põhinev majandus

Põhiliste meteoroloogiliste parameetrite projitseeritud muutused 21. sajandi lõpuks on järgmised.

## **Õhutemperatuur 2 m kõrgusel**

Temperatuuri muutus on projektsioonide põhjal suurem sajandi lõpuks ja suurema kasvuhoonegaaside kontsentratsiooni (RCP8.5) korral. Kõigi stsenaariumite ja perioodide kombinatsioonide korral on temperatuuri tõus kõige suurem kevadkuudel, millele järgnevad talvekuud.



*Tabel 1: 2 m õhutemperatuuri projektsioonid 21. sajandi lõpuks EURO-CORDEX mudelansambli alusel. Absoluutne muutus võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000.*

Periood	2041-2070		2071-2100	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Talv (DJV)	2,3 °C	2,9 °C	3,1 °C	4,9 °C
Kevad (MAM)	2,4 °C	3,1 °C	3,4 °C	4,9 °C
Suvi (JJA)	1,6 °C	2,2 °C	2,2 °C	3,8 °C
Sügis (SON)	1,7 °C	2,2 °C	2,2 °C	3,6 °C
Aasta keskmine	2,0 °C	2,6 °C	2,7 °C	4,3 °C

### Keskised sademed

Sademetekasvu projitseerib miniansambel kõigi aastaaegade ja kõigi stsenaariumi/perioodi kombinatsioonide kohta. Sademetekasv on suurem RCP8.5 korral, aastaaegade vahel on erinevused. RCP8.5 põhjal kasvavad kõige rohkem kevadised, RCP4.5 põhjal suvised sademed.

*Tabel 2: Suhteline muutus keskmises kuu sademete hulgas (valem 2 lk 27) aastaaegade ja terve aasta lõikes, mis on saadud erinevate kliimamudelite põhjal aastateks 2041-2070 ja 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000 Eesti ala jaoks.*

Periood	2041-2070		2071-2100	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Talv (DJV)	9 %	15 %	16 %	22 %
Kevad (MAM)	10 %	16 %	21 %	24 %
Suvi (JJA)	11 %	18 %	15 %	19 %
Sügis (SON)	10 %	8 %	11 %	12 %
Aasta keskmine	10 %	14 %	16 %	19 %

### Sademed üle 30 mm päevas

Sademetekasv üle 30 mm ööpäevas on harv sündmus, nagu näitab veerg kontrolltabelis 3. Samas on sellised sademed juba piisavad, põhjustamaks kohalikke üleujutusi, mis võib kaasa tuua probleeme ennekõike linnades. Mudelid projitseerivad ekstreemsete sademete juhtumite hulga suurenemist, kuid arvestades selle väga väikest esinemise tõenäosust enamuse osa aastast, on see oluline vaid suvel.

*Tabel 3: Ööpäevas 30 mm ületavate sademete esinemise sageduse projitseeritud suhtelised muutused aastaegade, stsenaariumite ja prognoositud perioodide kaupa, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. Kontroll näitab sündmuse esinemise tõenäosust kindlas punktis ühel päeval.*

Periood	2041-2070	2071-2100	2041-2070	2071-2100	
Stsenaarium	RCP4.5		RCP8.5		kontroll
SON	188 %	184 %	174 %	245 %	0,16 %
DJV	201 %	141 %	231 %	435 %	0,01 %
MAM	158 %	207 %	209 %	244 %	0,08 %
JJA	124 %	137 %	139 %	165 %	0,54 %

### Aluspinnale jõudev lühilaineline kiirgus

Mudelid prognoosivad maapinnale jõudva lühilainelise kiirguse jaoks selget vähenemist talvekuudel, vähemal määral sügisel ja kevadel, suvel on muutus ebaoluline.

*Tabel 4: Maapinnale jõudva lühilainelise kiirguse suhteline muutus (valem 2 lk 27) aastaegade kaupa, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, kogu Eesti lõikes keskmistatuna.*

Periood	2071-2100	2071-2100
Stsenaarium	RCP4.5	RCP8.5
DJV	-6 %	-11 %
MAM	-3 %	-6 %
JJA	0 %	-1 %
SON	-4 %	-3 %
Aasta keskmine	-3 %	-5 %

### Lumikatte muutus

Projektsioonid 21. sajandi lõpuks näitavad olulist lumikatte kahanemist. Kontrollperioodil 1971-2000 on aprillis keskmiselt 1-6 päeva lund. RCP4.5 stsenaariumi kohaselt on aprillis lume võimalus väga väike, samuti RCP8.5 stsenaariumi korral. Märtsis on RCP4.5 lume hulk võrreldes kontrollperioodiga vähenenud rohkem kui 10 päeva, RCP8.5 korral kuni 15 päeva, ulatudes harva üle viie päeva. Jaanuaris-veebruaries on RCP4.5 lumikate samuti vähenenud vähemalt 10 päeva, ulatudes keskel läbi vähem kui 15 päevani, mis sisuliselt tähendab püsiva lumikatte puudumist. Rohkem kui pooltel päevadel võib lund kohata ainult üksikutes piirkondades Kirde-Eestis. RCP8.5 järgi on jaanuaris-veebruaries lumikatte kestus reeglina alla 10 päeva.

### Merejää

Hiljutine, AR5 stsenaariumitele vastav modelleerimine (Luomaranta jt., 2014) näitab, et vastavalt stsenaariumile RCP4.5 oleks 2040. aastate tüüpilisel talvel Läänemere jääga kaetus vähenenud, Soome lahe rannikualad, Väinameri ja Liivi laht endiselt jääs, kuid jää paksus on

kahanenud kaks kuni kolm korda. 2080. aastateks on Läänemere jääga kaetus veelgi vähenenud, Väinameri ja Liivi laht peaaegu jäävabad, kuid Soome lahe rannikualad endiselt jääga kaetud. Vastavalt stsenaariumile RCP8.5 on 2040. aastate jääga kaetus pisut väiksem kui RCP4.5 puhul kuid siiski üsna sarnane optimistlikuma stsenaariumiga. 2080. aastate tüüpilisel talvel on aga enamus Läänemerest jäävaba. Jää tekiks ainult Botnia lahel paksusega 30-40 cm ja Soome lahe kirdeosas paksusega 0-10 cm. Prognoositud jää ulatus Läänemerel aastaks 2085 on RCP4.5 korral 75 000 km<sup>2</sup> (30 000 km<sup>2</sup> - 140 000 km<sup>2</sup>) ja RCP8.5 korral 45 000 km<sup>2</sup> (23 000 km<sup>2</sup> - 70 000 km<sup>2</sup>), võrreldes praeguse keskmisega 115 000 km<sup>2</sup>.

## **Tuul**

Tuule puhul viitab suurem osa allikaid keskmise kiiruse kasvule talvel ja osaliselt kevadel. Kasvu tõenäoline vahemik on 3-18 % ning see on seotud tsükloonaalsuse – Atlandilt meie aladele liikuvate tsüklonite arvu kasvuga. Suvised keskmised tuule kiirused suurenevad vähem või ei suurene üldse. Ekstreemsete tuule kiiruste kohta tehtavaid prognoose ei peeta praegusel ajal piisavalt usaldusväärseteks, et neid saaks kasutada.

## **Merevee temperatuur**

Meier jt. (2011) on regionaalse kliimamudeliga, mis sisaldab ka meremudelit, saanud stsenaariumiga SRES-A1B (sarnane RCP6-ga, mis jääb RCP4.5 ja RCP 8.5 vahele) järgmised tulemused. Perioodil 2061-2090 on merepinna temperatuurid võrreldes perioodiga 1970-1999 Eesti rannikuvetes talvel ja kevadel 2,1-2,8 °C kõrgemad ning suvel ja sügisel 1,0-2,0 °C kõrgemad. Seejuures on soojenemine suurem Soome lahes.

## **Siseveekogude temperatuur**

IPCC emissioonimudeli SRES-A2 stsenaariumi (sarnane, kuid natuke nõrgema kiirusliku mõjuga kui RCP8.5) kohaselt prognoositakse 2100 aastaks Euroopa järvede sh Eesti järvede veetemperatuuri tõusu 2-7 °C võrra.

## **Merevee tase**

Keskmiseks maailmamere taseme tõusuks aastateks 2081-2100 prognoositakse stsenaariumi RCP4.5 korral 32-63 cm ja RCP8.5 korral 45-82 cm. Kohalik suhteline muutus ja maapinna taseme tõus on Eesti läänerrannikul teineteist tasakaalustava mõjuga ning arvestada tuleb peamiselt globaalse keskmise tõusuga.

## **Siseveekogude tase**

Siseveekogude tase on seotud jõgede äravooluga. Prognoositud lumikatte vähenemise tõttu on tuleviku jaoks modelleeritud maksimaalsed äravoolud ja seega ka maksimaalsed veetasemed väiksemad praegusest ja aasta jooksul ühtlasemalt jaotunud, nii et kevade kõrval muutub oluliseks suurvee ajaks sügis. Suvise miinimumäravoolu perioodi pikemaks muutumise tõttu suureneb võimalus väikeste ojade ja jõgede ülemjooksude kuivamiseks.

## 2 Sissejuhatus

Käesolev dokument on osa projektist "Eesti riikliku kliimamuutustega kohanemise strateegia ja rakenduskava ettepaneku väljatöötamine" ning selle eesmärgiks on anda ülevaade Eestis möödunud sajandi ning praeguse sajandi algusaastate jooksul toimunud kliimamuutustest ning käsitleda projektsioone ja hinnanguid tuleviku kliimale kuni aastani 2100. Raport koondab olemasolevad teadmised atmosfääri ja aluspinna kliima ning selle muutumise kohta Eestis ja Läänemere regioonis, pidades silmas globaalset konteksti ning sellest tulenevaid lokaalseid seoseid. Raport on teaduslikuks aluseks projekti "Eesti riikliku kliimamuutustega kohanemise strateegia ja rakenduskava ettepaneku väljatöötamine" atmosfääri osas ning alusmaterjaliks atmosfääri seisundist mõjutatud valdkondade analoogiliste hinnangute koostamisel.

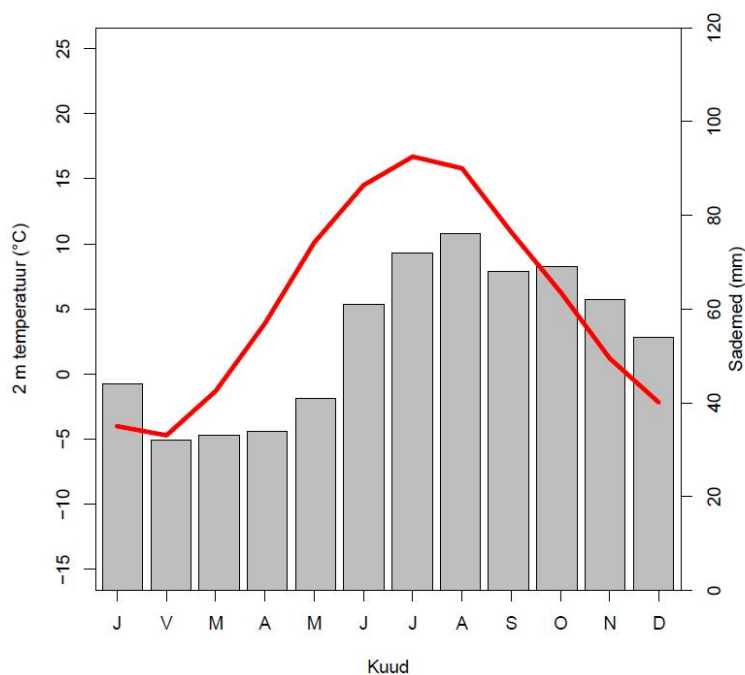
1988. aastal panid ÜRO juures olevad Maailma Meteoroloogiaorganisatsioon ja Keskkonnaprogramm aluse Valitsustevahelisele Kliimamuutuste Paneelile (IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*). IPCC ülesandeks on anda valitsustele selge ülevaade kliimamuutusi puudutavate teadmiste hetkeseisust, kliimamuutuste potentsiaalsetest mõjudest ning kliimamuutustega kohanemise või nende mõju vähendamise võimalustest. IPCC peamiseks töömeetodiks on teaduslike, tehniliste ja sotsiaal-majanduslike publikatsioonide põhjal regulaarsete hinnangute (*assessment report*) koostamine. IPCC hinnanguraportid koondavad kaasaegse arusaama kliimamuutuste kohta globaalsel tasandil ning on nüüdseks jõudnud juba viienda väljaandeni *IPCC Fifth Assessment Report* (IPCC AR5) (IPCC, 2013). Käesoleva raporti hinnangud tuginevad nii palju kui võimalik AR5 (täpsemalt selle esimese töögrupi raporti) tulemustele, kuid mitmed regionaalsed hinnangud pole jõudnud veel käesolevaks ajaks uueneda ning tuginevad AR4 (IPCC, 2007) meetoditele.

IPCC raportitega sarnane hinnanguraport on Läänemere regioonile keskendunud "*BALTEX Assesment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*" (BACC, 2008). BACC annab ülevaate registreeritud kliimamuutustest ja kliima tulevikuprojektsioonidest Läänemere regioonis ning koondab selles valdkonnas tehtud teadustulemused. Käesolevas dokumendis on tuginetud BACC tulemustele kui puuduvad värskemad modelleerimistulemused või kui koostajatele ei ole teada uuemaid teadusartikleid. Hetkel on käimas BACC hinnanguraporti uuendamise protsess, mis peaks lõppema 2014. aasta jooksul. Edaspidistes analüüsides on soovitatav ja plaanitud kasutusele võtta värskemaid andmeid sisaldav BACC uuendatud versioon BACC II, mis käesoleva raporti koostamise ajal ei ole veel ilmunud.

Käesoleva dokumendi koostamisel on analüüsitud IPCC AR5 poolt kasutatud kliimastsenaariume, globaalmodelite baasesperimente ning AR5 baasesperimentidest (vt 4.2) lähtuvaid globaalmodelleid dünaamiliselt peenskaleerivate regionaalsete mudelite tulemusi. Tulemuste hulgast valitakse piisav alamhulk, mis kirjeldab Eestit tõenäoliselt ees ootavate kliimamuutuste piire. Kus võimalik, esitatakse tulemused numbriliselt tabelitena ja ülevaatlike, muutusi kajastavate kaartidena. Kui mudelite andmete töötlemine ei ole võimalik või ei ole piisavalt informatiivne, antakse ülevaade olemasoleva teaduskirjanduse baasil.

### 3 Hiljutised kliimamuutused Eestis

Peamine Eesti kliimat mõjutav tegur on riigi geograafiline asend. Eesti kuulub parasvöötme Atlantilise kontinentaalse regiooni segametsade allregiooni ning asub merelise ja mandrilise kliima vahelises üleminekutsoonis. Köppeni kliimaklassifikatsiooni kohaselt kuulub Eesti saarte lääneosa tsooni Cfb (mereline kliima maheda talvega), valdav osa territooriumist aga tsooni Dfb (niiske mandriline kliima külma talvega). Kohalikke erinevusi kliimas põhjustab eelkõige maismaaga piirnev Läänemeri, mis talvel rannikupiirkonda ja saari soojendab ning kevadel jahutab. Topograafial, eeskätt Eesti kaguosa kõrgendikel, on oluline roll lumikatte jaotuses ja kestuses.



Joonis 1: Eesti kliimanormid, temperatuur ja sademed aasta lõikes perioodi 1971-2000 keskmisena.

#### 3.1 Temperatuur

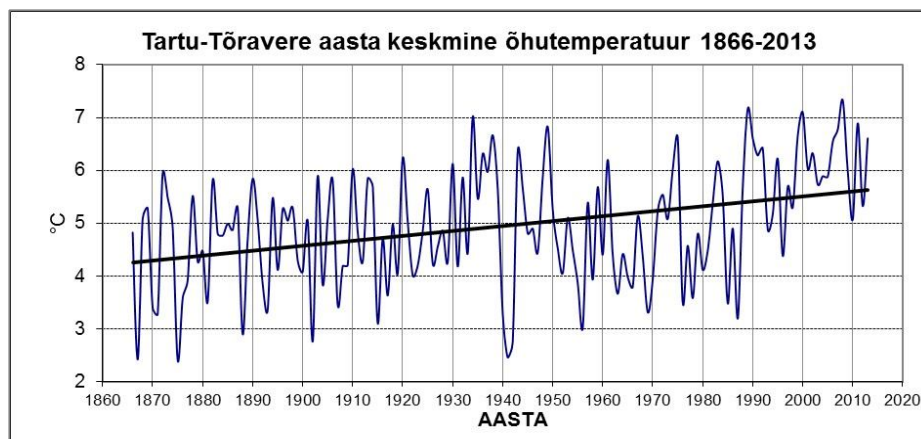
Õhutemperatuur on kahtlemata kõige olulisem kliimanäitaja. See väljendab mingi piirkonna soojusressursse. Õhutemperatuuri poolt on suures osas määratud kogu looduse iseloom ning kasvatatavate kultuurtaimede ja sortide valik. Temperatuurirežiimi muutused toovad enesega vältimatult kaasa muudatusi kogu eluslooduses (Tarand jt., 2013).

Globaalses mastaabis on AR5 (IPCC, 2013) kohaselt kindel, et globaalselt keskmistatud maapinnalähedane õhutemperatuur on tõusnud 19. sajandi lõpuaastatest alates ning soojenemine on olnud märkimisväärne alates 1970. aastatest. Globaalse maapinnalähedase keskmise

temperatuuri trendi hinnangud erinevad eri uurimisrühmade puhul mõneti, kuid võib öelda, et perioodil 1951-2012 oli see  $0,12\text{ }^{\circ}\text{C}$  dekaadi kohta.

Eesti temperatuuri sesoonne käik on toodud joonisel 1, kus on kujutatud Keskkonnaagentuuri poolt koostatud perioodi 1971-2000 kuude keskmine temperatuur ja sademed. Eesti kliimat iseloomustab hästi ka Tartu-Tõravere jaama temperatuuride aegrida (joonis 2). Aegrealt on hästi näha eelmise sajandi lõpul toimunud küllaltki kiire tõus ning viimasel dekaadil tekkinud mõningane "plattoo". Seejuures tuleb ära märkida, et praegune üsna kõrge keskmine temperatuuriga olukord esines ka lühikese perioodina 1930. aastate lõpus.

Eestis on olnud aasta keskmise temperatuuri tõus möödunud sajandi keskpaigast natuke kiirem kui maakeral tervikuna. Maapinnalähedase õhutemperatuuri meteoroloogiliste aegridade trendianalüüsi, Eesti eelmise sajandi teise poole kohta, on meteoroloogiliste vaatluste baasil läbi viinud Jaagus (2006). Selle uurimistöö tulemusi kajastab ka BACC (BACC, 2008). Jaagus (2006) raporteerib aasta keskmise temperatuuri trende  $0,2-0,3\text{ }^{\circ}\text{C dec}^{-1}$ . Männik jt. (2014) jõudsid järelanalüüsi andmebaasi BaltAn65+ (Luhamaa jt., 2011) põhjal sarnastele aasta keskmise temperatuuri trendidele ( $0,32 \pm 0,12\text{ }^{\circ}\text{C dec}^{-1}$ ) ajavahemiku 1965-2005 jaoks. Kuude lõikes erinevad trendide hinnangud erinevatel autoritel märkimisväärselt, kuid talve, eriti jaanuari, soojenemistrend on kõige selgemini väljendunud.

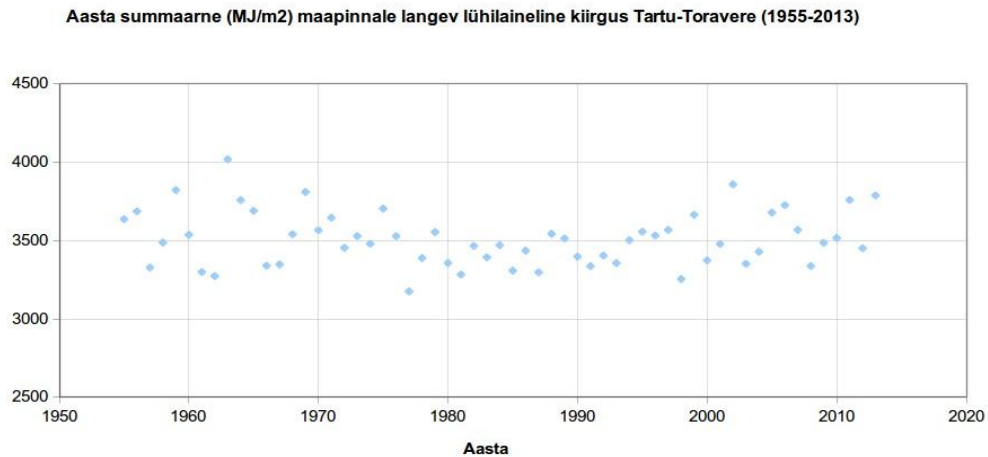


Joonis 2: Tartu-Tõravere temperatuuri aasta keskmised väärtused.

### 3.2 Kiirgus

Õhutemperatuuri ja sademete kõrval on oluliseks kliimat kirjeldavaks suuruseks maapinnale langev lühilaineline kiirgus, mis sisaldab nii selge ilma kui pilves ilma kiirgust ehk globaalne kiirgus. See sõltub laiuskraadist, aastaajast, kellaajast ja topograafiast. Kiirguse muutlikkuse iseloomustamiseks on uuritud pikki, aastakümnetesse ulatuvaid aegridu. Pilvede teke ja hajumine on keerukad protsessid ja ka tänastes kliimamudelites suured määramatuse allikad (Randall jt., 2007; Dufresne ja Bony, 2008; Lohmann jt., 2010). Selge taeva situatsioone mõjutavad peamiselt atmosfääri aerosoolid ja kiirguslikult aktiivsed gaasid, peamiselt veeaur (Haywood jt., 2011). Teised tegurid, nagu Päikese kiirguse muutlikkuse 11-aastane tsükkel, on liialt väikesed mõjutamaks selge taeva kiirgust aastakümnete ajamastaabis (Willson ja Mordvinov, 2003). Viimaste aastakümnete globaalse kiirguse muutlikkuse kohta on tehtud mitmeid olulisi uurimusi (Stanhill ja Cohen, 2001; Wild jt.,

2005; Ohvril jt., 2009). On leitud, et globaalne kiirgus on vähenenud ülemaailmselt ajavahemikus 1950-1980 (globaalne hämardumine) ja suurenenud ajavahemikus 1980-2000 (globaalne valgenemine) (joonis 3). Viimane on eriti tuntav tööstuspiirkondades. Willson ja Mordvinov (2003) näitasid, et need muutused ei ole selgitatavad Päikese kiirguse muutusega, sest need on vähemalt suurusjärgu võrra väiksemad. Eesti kiirguskliimat on põhjalikumalt käsitlenud Russak ja Kallis (2003) ja hämardumise probleemi Ohvril jt. (2009).



*Joonis 3: Globaalse kiirguse muutlikkus Tartu-Tõravere meteoroloogiajaamas ajavahemikul 1955-2013.*

### 3.3 Tuul

Maapinnalähedase tuule mõõtmiseks maismaa ja mere kohal kasutatakse erinevaid tehnikaid. Varased tuule vaatlused merel põhinesid laevade liikumise kiirusel või visuaalsetel hinnangutel kasutades Beauforti skaalat. Anemomeetril põhinevate mõõtmistega alustati 1950. aastatel. Üleminek Beauforti skaalalt anemomeetri andmetele tekitas tuule kiiruse andmetes väärast trendi, millele lisas omakorda kaalu anemomeetri keskmise mõõtekõrguse suurenemine aja jooksul (Kent jt., 2007; Thomas jt., 2008).

Tuule kohta on pikki homogeeniseid aegridasid suhteliselt vähe (Usbeck jt., 2010; Wan jt., 2010), lisaks on tuule kiiruse trendid tundlikud anemomeetri kõrgusele maapinnast (Troccoli jt., 2011). Maapinnalähedasi tuuli saab tuletada ka järelanalüüsi kaudu, aga on leitud ebakõlasid järelanalüüsil põhinevate ja maismaa jaamades mõõdetud tuule kiiruse trendide osas (Smits jt., 2005; McVicar jt., 2008).

Ekstreemsed tuule kiirused kujutavad ohtu inimestele, mere- ja lennuliiklusele, transpordile ning infrastruktuurile. Modernsed logistikasüsteemid on kavandatud nii, et minimeerida ekstreemsete ilmastikunähtuste mõju (Love jt., 2010). Ekstreemsete tuulte esinemine on peamiselt seotud troopiliste ja keskklaiustel liikuvate madalrõhkondadega ning konvektiivsete äikesetormidega (Emanuel, 2003; Zipser jt., 2006; Leckebusch jt., 2008). Lisaks ekstreemsetele tuultele võivad ka teised tuule parameetrid avaldada olulist mõju. Muutused tuule keskmises kiiruses võivad avaldada mõju potentsiaalsele aurumisele ja seeläbi vee kättesaadavusele ning põudade esinemisele (McVicar jt., 2008). Püsivad keskklaiustel esinevad tuuled võivad tõsta veetaset rannikul (McInnes jt.,

2009), samal ajal võivad pikemaajalised püsivad tuuled samast ilmakaarest avaldada mõju rannajoone stabiilsusele ja muutustele lainekliimas (Pirazzoli ja Tomasin, 2003). Rannikualade üleujutused on oluline risk kuna suur osa eurooplastest elab rannikul või selle lähedal. Rannikut mõjutavad nii tormidega kaasnev erosioon kui tormiajudest tulenevad üleujutused, mis mõlemad otseselt sõltuvad talvetormide tugevusest ja võimenduvad koos globaalse merepinna tõusuga (Smith jt., 2000; Woodworth jt., 2005).

Tormid on Euroopas üheks kõige olulisemaks kliimaatiliseks ohuks kindlustusfirmade jaoks. Tüüpilised majanduslikud kahjud on seotud tormituultega, mis kahjustavad elektrisüsteeme, kommunikatsioonisüsteeme ja häirivad transporti. Sageli on tormituulte poolt haavatavad majade kergkatused ja majad ise, mis võivad kahjustada saada kukkuvate puude tõttu. Kohanemine muutuva tuulekliimaga võib vähendada kahjustusi hinnanguliselt kuni poole võrra (Leckebusch jt., 2007; Donat jt., 2010a; Donat jt., 2010b), mis omakorda tähendab, et kohanemine, rajades kindlustusi merevee tõusu vastu ja üldine riskidega tegelemine, on vajalik.

IPCC AR4 (Trenberth jt., 2007) kohaselt on mõlemal poolkeral keskklaiustel läänetuuled tugevnenud. Samuti on tuule kiiruse kasvutrend jälgitav suurtel laiustel Alaskal perioodil 1921-2001 (Lynch jt., 2004), Kanada-Arktika saarestiku alal ja Yukoni piirkonnas perioodil 1950-2000 (Wan jt., 2010) ning Antarktika rannikul 20. sajandi teisel poolel (Turner jt., 2005). Kogu Euroopas on Smits jt. (2005) leidnud 10 meetri kõrgusel anemomeetri andmetele tuginedes ajaperioodil 1962-2002 ekstreemsete tuulte (tuuled, mis esinevad keskmiselt 10 korda aastas) kahanemistrendi. Pirazzoli ja Tomasin (2003) leidsid üldise kahanemistrendi aasta keskmiste ja aasta maksimaalsete tuulte osas perioodil 1951-1970. Vautard jt. (2010) leidsid samuti vaatlusandmetele tuginedes tuulekiiruse kahanemistrendi Euroopas keskklaiuste põhjaosas ja võrreldes keskmise tuulekiirusega tugevama kahanemistrendi ekstreemsete tuulekiiruste puhul. Võttes arvesse teisi ilmastikunähtusi, nagu äikesetormid, tornaadod, mesoskaala konvektiivsed süsteemid, mis on seotud tugevate tuultega, on nende kohta liiga vähe uurimusi, et hinnata nende mõju ekstreemsete tuulte muutustele. Perioodil 1948-2004 näitab enamik mudeleid maapinnalähedaste tuulte (10 m) usaldusväärset ( $p < 0.05$ ) kiiruse kasvu Läänemere regioonis, mis on peamiselt põhjustatud läänetuulte kiiruse kasvust (Chen jt., 2006). Keskmised muutused talvel, kevadel, suvel, sügisel ja kogu aasta jooksul on vastavalt 3,5 %, 2,6 %, 4,9 %, 5 % ja 3,8 %.

Tomingas (2002) kasutas õhurõhu andmetel põhinevaid tsirkulatsiooniindekseid ja leidis perioodil 1946-1997 läänetuulte intensiivistumise talvel ja nõrgenemise aprillis, septembris ja suvel juunist augustini. Olulise tsonaalse tuulekomponendi kiiruse kasvu 850 hPa tasemel 1,04 m/s võrra leidis ka Keevallik (2003) veebruaris Tallinnas perioodil 1955-1995. Ajavahemikul 1948-2003 esines kaks perioodi, kus Läänemere keskosa rannikul ja Liivi lahel on 1950-ndatel ja 1970-ndate lõpust kuni 1990-ndate keskpaigani olnud tugevate tuulte esinemissageduse kasv (Orviku jt., 2003). See järeldus üldise tugevate tuulte kiiruse kasvu osas Eesti rannikul perioodil 1948-2003 toetab erinevaid mujal mainitud üldiseid trende õhurõhu andmetel põhinevate tormisuse indeksite ja tuule andmeridade usaldusväärsete osas (Alexandersson ja Vedin, 2002). See tuule kiiruse kasv on ilmselt seotud läänetuulte esinemissageduse ja tsükloonaalse aktiivsuse kasvuga talvel Atlandi ookeani põhjaosas, mis omakorda põhjustab soojemaid talvesid Põhja-Euroopas ja jäävaba Läänemerd Eesti ranniku lähedal. Rockel ja Woth (2007) uurisid nn kontrollkliima perioodil 1961-1990 päeva keskmise tuulekiiruse 99 % kvantiile (1 % kõige tugevamad tuuled) SRES-A2 stsenaariumi simulatsioone kaheksa erineva regionaalse kliimamudeli põhjal. Kirde-Euroopas jäid kuu keskmised 99 % kvantiilid



jaanuaris kõikidel kontrollsimulatsioonidel vahemikku 13-17 m/s ja juulis vahemikku 10-12 m/s. Siiski maismaa kohal saab neid arve kasutada vaid tuule kiiruse kvalitatiivsete muutuste hindamiseks, kuna regionaalsed mudelid vaevu näitavad tuule kiirust üle 17 m/s.

Pryor ja Barthelmie (2004a) statistiline analüüs näitas, et mida positiivsem on NAO indeksi väärtus, seda tugevamate tuulte esinemist see keskmiselt iseloomustab. See seaduspära on tänu suuremale õhurõhu gradiendile ja soojemale kliimale.

Regionaalne talvetormide riski suurenemine Euroopas tsüklonite trajektooride muutuste tõttu on leidnud kinnitust paljudes töödes (Pinto jt., 2007; Debernard ja Røed, 2008; Leckebusch jt., 2008; Sterl jt., 2009; Donat jt., 2010a, Donat jt., 2010b). Mitmetes töödes on leitud muutusi tsüklonite trajektoories. Mõned autorid on leidnud tsüklonite trajektooride nihkumise põhja suunas, tsüklonite intensiivsuse kasvu, aga seevastu tsüklonite koguarvu kahanemise põhjapoolkeral ja Atlandi ookeani põhjaosas (Gulev jt., 2001; McCabe jt., 2001). Kasutades poolautomaatset tsüklonite jälgimise meetodikat, leidsid Gulev jt. (2001), et Atlandi ookeani põhjaosas on perioodil 1958-1999 tsüklonid tugevamaks muutunud. Näiteks Wang jt. (2006) raporteerivad, et 20. sajandi teisel poolel on tsüklonite trajektoolid Põhja-Atlandil nihkunud umbes 180 km võrra põhjapoole. Neid tulemusi on kinnitanud Paciorek jt. (2002), Simmonds ja Keay (2002), Zhang jt. (2004), Graff ja LaCasce (2012), Woollings jt. (2012) ja IPCC (2013). Seetõttu on suuremal hulgal suhteliselt sooja merelist õhku hakanud liikuma Põhja-Euroopasse. Sarnase järelduseni on jõudnud ka Sepp jt. (2005), kus mainiti, et kõrgemad talve temperatuurid Põhja-Euroopas on seotud muutustega tsüklonite trajektoories. Võib arvata, et need muutused jätkuvad ka tulevikus.

Mitmed uurimused on täheldanud keskklaiustel ekstreemsete tuule kiiruste kahanemist (Pirazzoli ja Tomasin, 2003; Smits jt., 2005; Pryor jt., 2007; Zhang jt., 2007) ja kasvutrendi suurtel laiustel (Lynch jt., 2004; Turner jt., 2005; Hundecha jt., 2008; Stegall ja Zhang, 2012). Osa hiljutisi uurimusi on leidnud mitmeid vaatlusandmetel põhinevaid muutusi tuulte kiiruses erinevates maailma piirkondades. Mitmed tööd on võrrelnud tuule kiiruse trende vaatlusandmete ja järelanalüüsi põhjal ning leidnud erinevusi või isegi vastupidiseid muutusi (Smits jt., 2005; McVicar jt., 2008). Kuna on esinenud ebakõlad anemomeetri ja õhurõhu järelanalüüsi trendides mõnedes piirkondades, annavad need tulemused praegusel juhul aluse vähesele kindlusele tuule kiiruse trendides ja nende põhjustes. On vähe kindlust, kuidas vaadeldud trendid keskmises tuule kiiruses on seotud ekstreemsete tuule kiirustega (IPCC, 2013).

Kokkuvõtlikult on suurem üksmeel talvetormide sagenemises Läänemere piirkonnas, samas on raske midagi öelda ekstreemsete tuulte väärtuste kohta.

## 3.4 Hüdroloogiline tsükkel

### 3.4.1 Sademed

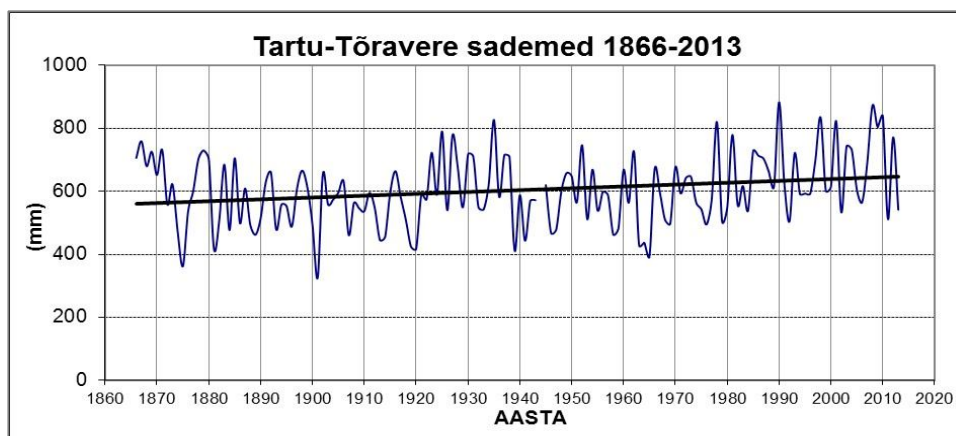
Folland jt. (2001) leidsid, et 20. sajandi jooksul on põhjapoolkera laiuskraadide vahemikus 55°N kuni 85°N toimunud üldine sademete suurenemine 12 % võrra. See muutus ei ole homogeenne, vaid on piirkonniti erinev. AR4 järeldas, et sademed maismaa kohal on perioodil 1900-2005 suurenenud 30°N põhja poole, kuid troopikas domineerib alates 1970-ndatest langustrend. AR5 (Hartmann jt., 2013) nendib siiski, et enne 1950 on globaalse sademete kasvutrendi usaldusväärus madal ning sellele järgneval perioodil on trendi usaldusväärus keskmine. Trendi väikese usaldusvääruse

põhjuseks on ebapiisava andmestik. Kättesaadav globaalselt ebatäielik andmestik annab vastukäivaid tulemusi ning statistiliselt mitteusaldusväärseid pikaajalisi trende.

Läänemere piirkonnas on dokumenteeritud sademete suurenemine ajavahemikus 1976-2000, võrreldes perioodiga 1951-1975. Ka Läänemere piirkonnas ei ole muutused ühtlased, kõige rohkem on suurenemist täheldatud Rootsis ja Läänemere idarannikul, samas kui Lõuna-Poolas on täheldatud sademete hulga vähenemist.

Eestis on 20. sajandi teisel poolel toimunud statistiliselt oluline aasta keskmine sademete hulga kasv, 10-25 %. Samas on siin segadused mõõtmismetoodikas ja märgumisparandi arvesse võtmisel jääb tegelik kasv pigem vahemikku 5-15 % (Jaagus, 2006). Suurem trend on täheldatav perioodil oktoobrist märtsini. Samas on perioodil 1866-1995 Eesti jaoks täheldatud ainult nõrka ja statistiliselt ebaolulist kasvutrendi, mis on tugevam sügisel-talvel ja nõrgem kevadel-suvel. Lisaks on sademete summas täheldatud regulaarseid, 50-60, 25-33 ja 5-7 aasta pikkusi, tsüklilisusi (Jaagus, 1992; Jaagus jt., 1998; Jaagus ja Tarand, 1998).

Eesti sademete muutlikkust iseloomustab pikk Tartu-Tõravere aegrida (joonis 4). Aasta keskmine sademete hulk konkreetses piirkonnas võib erineda rohkem kui kaks korda, näiteks 1965. a oli see 400 mm, 1990. a aga 850 mm.



Joonis 4: Tartu-Tõravere sademete aastased summad.

### 3.4.2 Siseveed

Eesti jõgede äravool on suure ajalise muutlikkusega ning veerikkad ja veevaesed perioodid vahelduvad. Veerohkust mõjutab oluliselt inimtegevus (mitte ainult veemajandus vaid ka ruumilise tegevusega seotud aktiivsus nagu põllumajandus, metsandus, tööstus jne) ning viimase mõju eristamine kliimamuutuse mõjust on keeruline. Sageli toimivad nad sünkroonselt.

Veevaru jõgedes ja järvedes sõltub paljuski sademetest, kaudselt mõjutab seda ka õhutemperatuur. Viimane mõjutab aurumist ning hüdroklimaatiliste aastaegade pikkust ja vaheldumise aegu. Lumerohkus aga määrab kevadise suurvee ning aitab kujundada suvise madalveeperioodiaegse veevaru veekogus. Seega, Eesti jõgede äravoolule on üldiselt iseloomulik sademetega sarnane perioodilisus (Nõges jt., 2012). Selgemini avaldub lühiajaline muutlikkus perioodi kestusega 3-4 aastat ning pikaajaline muutlikkus perioodi kestusega 26-27 aastat, milles kajastuvad selgesti ja

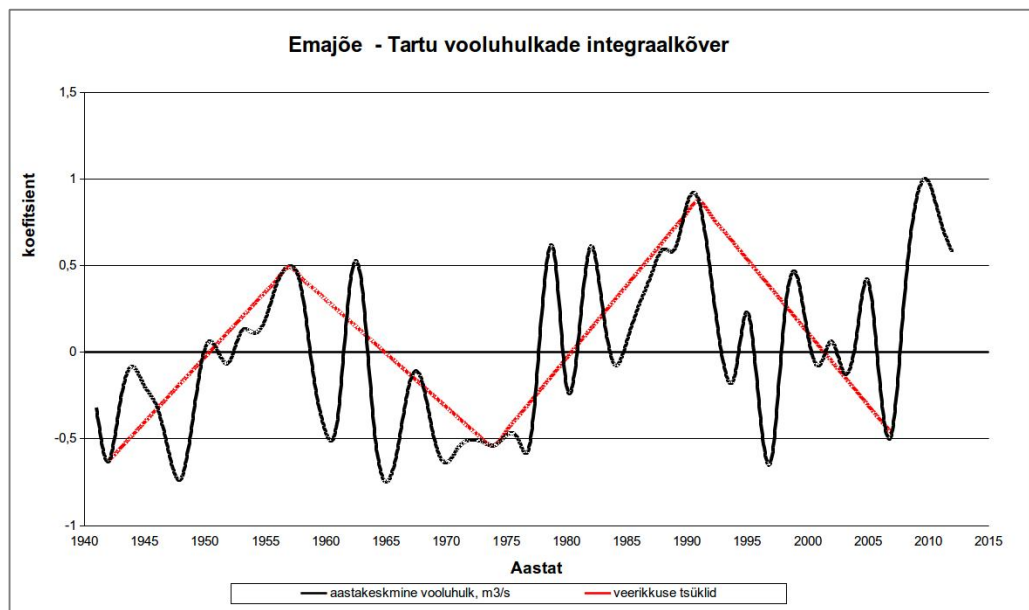
korrapäraselt 20. sajandi veevaesed ning veerikkad perioodid (vt joonis 5 – integraalköver Emajõe Tartu lävendis). Ühesuunalist kliimamuutuse mõju äravoolule ei ilmne nii nagu selget kindlasuunalist pikaajalist trendi sademetes ei ole täheldatud Eestis, nagu kirjeldatud peatükis 3.4.1. Viimase 150 aasta jooksul ei ole meil esinenud ühesuunalist äravoolu vähenemist ega ka suurenemist. See on kooskõlas IPCC tehnilises dokumendis “Kliimamuutus ja vesi” (Bates jt., 2008) kirjeldatud uurimistulemustega, kus paljudes piirkondades sarnaselt Eestiga ei ole täheldatud selget vähenemis- või suurenemistrendi äravoolus.

Miinumäravoolu dünaamikas (oluline tegur veeökosüsteemi seisukohast) kajastuvad samuti selgesti ja korrapäraselt 20. sajandi veevaesed ning veerikkad perioodid. Jõgede miinumäravool on olnud perioodil 1961-1990 suurem võrreldes aastatega 1931-1960.

Atmosfääri tsirkulatsiooni protsessidega seostatakse veetaseme pikaajalist muutlikkust kahes loodusliku veevahetusega järves – Peipsis ja Võrtsjärves, järgides veerohkemaid ja veevaesemaid perioode (Nõges jt., 2012). Ühe tsükli pikkus on ca 30 aastat.

Kliima üldine soojenemine on kajastunud sesoonsuse muutustes (Jaagus ja Ahas, 2000). Kevadised kliimaatilised aastaajad on hakanud saabuma varem ja sügisesed hiljem, mille tagajärjel on soe poolaasta pikenenud ja talv lühemaks jäänud. Ajavahemikus 1946-1998 on trendi järgi Eesti siseveekogudel talve lõpp nihkunud varasemaks keskmiselt ühe kuu võrra. Lühenenud on jääkatteperiood nii Eesti jõgedes kui järvedes (Jaagus, 1997). Suurvesi jõgedel on nihkunud varasemale ajale ning suurveetipud on laugemad (Reihan jt., 2012). Kõrge kevadise suurvee ( $\leq 10\%$ , s.o suurvesi mis esineb kord 10 aasta jooksul) esinemise tõenäosus on perioodil 1922-2010 vähenenud (Sarauskiene jt., ilmumas).

Peipsi ja Võrtsjärve veetemperatuuri andmed näitavad tõusutrendi (Nõges, 2009; Nõges ja Järvet, 2005) nii nagu teisteski järvedes Läänemere valgalas (BACC, 2008).



Joonis 5: Emajõe vooluhulkade muutlikkus. Allikas: Keskkonnaagentuur

### 3.4.3 Lumikate

Lumikatet on Eestis mõõdetud enam kui 100 aasta jooksul. Selle kestus, paksus ja veevaru varieeruvad oluliselt. Kui 1970. aastate keskel ja 1980. aastate lõpul valitsesid pehmed talved praktiliselt puuduva lumikattega, siis aastail 1920-1933 olid talved pikad ja paksu lumega (1921/1922 oli talve pikkus Nõmkülas ja Illukal 186 päeva, 1924. a veebruaris mõõdeti Tallinnas rekordiliseks lume paksuseks 104 cm). Lumikattega päevi on Eestis aastas keskmiselt 109, varieerudes vahemikus 61-155 päeva. Aastate 1961-2002 jaoks on leitud lumikatte kestvuses negatiivne trend, 40 aasta jooksul on keskmine lumikate vähenenud 25,9 päeva võrra (Tooming ja Kadaja, 2006).

## 3.5 Ekstreemsed nähtused

### 3.5.1 Temperatuuri äärmusväärtused

Temperatuuri ja sademete äärmusväärtusi iseloomustatakse väga erinevate suurustega, millel on kõigil oma kasutusvaldkonnad. Sageli raskendab see ka teema ühtlustatud käsitlemist. Lisanduvad geograafilistest kliimatilistest iseärasustest tingitud erinevused muudavad omakorda raskemaks erinevate kriteeriumite ühtlustatud rakendamise. Äärmusväärtuste puhul kasutatakse sageli "äärmusindekseid" (Zhang jt., 2011). Temperatuuri puhul on sagedasemad indeksid sesooni või aasta kohta päevase maksimaalse temperatuuri maksimumväärtus  $TX_x$ , päevase miinimumtemperatuuri maksimaalne väärtus  $TN_x$ , maksimaalse temperatuuri miinimumväärtus  $TX_n$  ja päevase miinimumtemperatuuri minimaalne väärtus  $TN_n$ .

Globaalses mastaabis on AR5 (Hartmann jt., 2013) kohaselt väga tõenäoline, et alates umbes 1950. aastast on toimunud külmade päevade ja külmade ööde arvu kahanemine ning soojade päevade ja ööde arv on suurenenud. Väide kehtib ennekõike maismaa-alade kohal, kus on olemas piisav andmestik.

Ajavahemikul 1961-2010 mõõdeti Eesti kõige kõrgem õhutemperatuur  $35,6\text{ °C}$  11. augustil 1992 Võrus, kõige madalam temperatuur  $-42,6\text{ °C}$  aga 30. detsembril 1978 Narvas (Tarand jt., 2013). Eesti külmarekordiks on siiski 17. jaanuaril 1940. aastal Jõgeval mõõdetud  $-43,5\text{ °C}$ . Tammets (2012) on leidnud, et aasta maksimaalse temperatuuri keskmine tõus aastail 1961-2010 on ümmarguselt poolteist kraadi ehk siis  $0,3\text{ °C}$  dekaadi kohta, mis langeb kokku ka keskmiste temperatuuri tõusu trendiga. Samuti näitab Tammets (2012) kohaselt Eesti meteoroloogiajaamade aasta minimaalse õhutemperatuuri aegrida tõusutendentsi. Keskmine tõus aastast 1961 on umbes  $4\text{ °C}$ .

Eestis peetakse inimese tervisele eriti ohtlikuks ööpäevade maksimaalse õhutemperatuuri püsimist  $+30\text{ °C}$  ja kõrgemal viie või enama ööpäeva vältel. Sellist olukorda on Eestis esinenud ajavahemikul 1961-2010 vaid kolmel korral: 2003. aasta juuli lõpul Edela-Eestis ning 2006. ja 2010. aasta juulis Kagu-Eestis (Tammets, 2012).

### 3.5.2 Sademete äärmusväärtused

Ka sademete režiimi kirjeldamisel on oluline tähtsus ekstreemumite analüüsil. Erakordselt suured sademete hulgad, nagu ka kestvad põuaperioodid, mõjutavad oluliselt inimtegevust (Tarand jt., 2013). Globaalses mastaabis on AR5 (Hartmann jt., 2013) kohaselt tõenäoline, et alates 1951 aastast on suurenenud äärmuslike sademetega seotud sündmuste hulk kasvanud, kuid trendides on väga olulised regionaalsed erinevused.

Levinud indeksina on kasutusel ööpäevaste sademete 95 või 99 % protsentiili läveväärtus R95p ja R99p ja seda ületavate päevade arv R95 ja R99 vastavalt. R95 ja R99 indeksite ajalist muutlikust Eestis jaoks on uurinud (Päädam ja Post, 2011), kes leidsid perioodil 1961-2008 R95 kasvuks 16 päeva dekaadi kohta. (Tammets ja Jaagus, 2013) on arvutanud välja mitmeid indekseid, kuid peatähelepanu on pööratud indeksile ekstreemselt märg päev (EWD), mis on 10-päevase perioodi viimane päev, mille jooksul sadas keskmiselt üle 100 mm sademeid päeva kohta. Eestis on aasta keskmine EWD 0,83 ja perioodil 1957-2009 oli selle suuruse kasvutrend 0,11 päeva dekaadi kohta. Seejuures tulenes kasvutrend peamiselt suvekuude EWD kasvust. EWD ja ka teised sademete äärmusväärtuste indeksid on Eesti territooriumil jaotunud üsna juhuslikult (Tammets ja Jaagus, 2013).

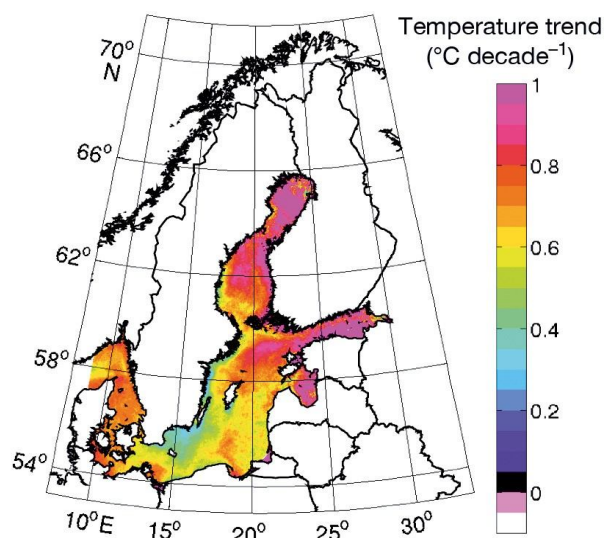
Tammets ja Mätlik (2012) on leidnud, et 100 mm või suurem ööpäeva sademete hulk on aastatel 1961-2010 esinenud Eestis vaid 13 korral. Seejuures on esimene selline sadu registreeritud alles aastal 1972. Käesolevas dokumendis lähtutakse võimaluse korral referentsperioodist 1971-2000 ning sel ajaperioodil esines 100 mm ja suuremat ööpäeva sademete hulka 11 korral.

Samas on analüüsitud ka mõnevõrra suurema tõenäosusega sündmust, ööpäevaseid sademeid rohkem kui 30 mm. Pikaajalise keskmisena esineb selliseid sademeid 20 mõõtejaama peale ca 17 korda aastas ehk suhtelise tõenäosusega 85 %.

## 3.6 Läänemeri

### 3.6.1 Merevee pinnatemperatuur

Merevee pinnatemperatuur on üks peamine Läänemere pinnakihi kliimat ja selle muutlikust iseloomustav parameeter. Merevee pinnatemperatuur määrab olulisel määral atmosfäär-ookean soojusvahetuse iseloomu. Hiljuti avaldatud uurimuses (Lehmann jt., 2011) on leitud satelliitide infrapunakanali andmete analüüsil Läänemere aasta keskmise pinnatemperatuuri soojenemine, Eesti ranniku ümbruses ajavahemikul 1990-2008, 0,6-1,0 °C dekaadi kohta (joonis 6).

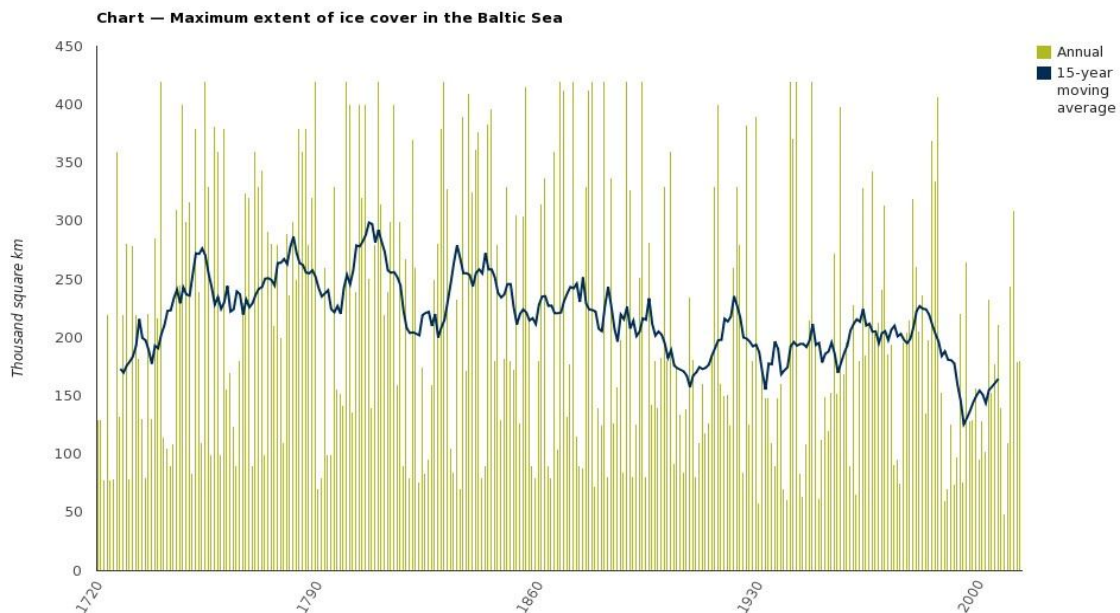


Joonis 6: Läänemere pinnatemperatuuri muutus ajavahemikus 1990-2008 (Lehmann jt., 2011).

### 3.6.2 Merejää

Merejää ulatus ja paksus on oluline regiooni kliimat iseloomustav parameeter võimaldades anda kiirhinnangu talve karmusele. Samal ajal sõltub merejääd palju ka inimtegevus mõjutades talvist transporti, sadamate avatust ja jää peal liikumist. Merejää kliimarežiimi saab iseloomustada mitmesuguste parameetritega millest olulisemad on merejää ulatus, paksus ja jäähooaja pikkus.

Läänemere jääkatte aegrea järgi, joonisel 7<sup>1</sup>, on viimase 50 aasta jooksul Läänemere maksimaalne jääkatte ulatus kõikunud vahemikus 50 000 km<sup>2</sup> kuni 400 000 km<sup>2</sup>, varasematel aastatel kuni 420 000 km<sup>2</sup>. Maksimaalses jää ulatuses on toimunud järsk hüpe umbes 1990. aastal, sellele on eelnenud valdavalt jäärikkad ja järgnenud jäävaesemad aastad. Merejää pindala kahanemisega on kaasnenud ka jää lühem kestus Eesti rannikualadel: jäänähete teke on muutunud hilisemaks ja kadumine varasemaks (Jaagus, 2003).



Joonis 7: Läänemere maksimaalne jää ulatus üksikute aastate ja 15-aastase libiseva keskmisena.

### 3.6.3 Merevee tase

Merevee tase mõjutab oluliselt inimtegevust rannikualadel määrates ära asustuse paiknemise, navigatsiooni iseärasused ning ka tormide poolt tekitatud merepinna lokaalse tõusu tõttu põhjustatud üleujutuste ohu. Kuna globaalse soojenemise üheks oluliseks tagajärjeks on ka maailmamere veetaseme tõus on oluline teada selle tõusu mõju Eesti rannikule ja territooriumile. Läänemere veetase sõltub kahest olulisest tegurist: jääaja jääkilbi kadumisest tingitud maapinna kerkimine ning maailmamere või kitsamalt Põhja-Atlandi ookeani veetase. Lühiajalisi meretaseme

<sup>1</sup> Allikas: FMI ja EEA, [http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/maximum-extent-of-ice-cover#tabchart\\_1](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/maximum-extent-of-ice-cover#tabchart_1)

tõuse võivad põhjustada tsüklonitega kaasnev veekerge ning tugevast tuulest põhjustatud merevee kuhjumine rannikutsoonis koos lainetusega.

Vastavalt AR5-le on globaalne merepinna tõus ajavahemikus 1901-2010 olnud vahemikus 1,5 kuni 1,9 mm/aastas. Tõus on olnud kiirem, keskmiselt 2 mm/aastas, perioodil 1971-2010 ja 3,2 mm/aastas perioodil 1993-2010. Sarnane kiirem merepinna taseme tõus on esinenud ka ajavahemikus 1920-1950<sup>2</sup>.

Eestis on pikkade, 1924-2004, mere taseme aegridade uurimisel leitud (Suursaar ja Sooäär, 2007), et Pärnus on maakerge kompenseerinud suvise merevee taseme tõusu, kuid talvisel perioodil on täheldatud keskmise merepinna taseme tõusu 15 cm. Ristnas, kus maakerge on suurem, on tuvastatud merepinna keskmise taseme alanemine suvel ja muutumatus talvel.

## 4 Kliimaprojektsioonid Eesti jaoks ajavahemikel 2041-2070 ja 2071-2100

### 4.1 Eesmärk

Kliimamuutustega toime tulemine ja sellega kaasnev strateegiline planeerimine regionaalses mastaabis eeldavad teadmisi piirkonna kliimariskide ja nende võimalike muutuste kohta tulevikus. Käesolevas peatükis selgitatakse lühidalt kaasaegseid kliimaprojektsioonide saamise meetodeid, mida kasutatakse tuleviku kliima projitseerimiseks ning tehakse ettepanek konkreetsete kliimasimulatsioonide valimiseks, mida saaks kasutada Eesti jaoks vajalike strateegiliste otsuste toetamiseks.

### 4.2 Kliimamudelid ja baaskliima

IPCC hinnanguraportite üks oluline osa on globaalsete, ookeani ja atmosfääri modelleerivate, erinevates keskustes üle maailma arendatud kliimamudelite tulemuste analüüs. Kliimamudelid on peamiseks vahendiks, mis aitavad teadlastel mõista keeruka kliimasüsteemi erinevate komponentide vastasmõjusid ning võimalikke reaktsioone ühe või teise komponendi muutlikkusele. Kõige rohkem pakub ühiskonnale huvi kliimasüsteemi pikaajaline, aastakümnete või aastasade jooksul toimuv, reaktsioon inimtekkeliste kasvuhoonegaaside (KHG) hulga muutusele atmosfääris. Inimeste poolt kliimasüsteemile avaldatav mõju ei piirdu siiski kasvuhoonegaasidega, olulised on ka inimtekkelised aerosoolid ja inimeste poolt põhjustatud muutused maakera pinnal, peamiselt metsade langetamine ja linnade ehitamine.

IPCC hinnanguraportid tuginevad oma tulemustes ja hinnangutes rahvusvahelistele modelleerimis ja võrdluseksperimentidele. AR5 puhul on selleks kliimamudelite baaseksperiment CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*), lisaks kasutatakse veel ka eelmist, CMIP3 eksperimenti. CMIP5 projektis osalevad mudelid jagunevad ühendatud Maa-Ookeani mudeliteks (AOGCM) ja Maa Süsteemi Mudeliteks (ESM). Viimased võtavad lisaks globaalsele atmosfääri ja ookeani liikumisele arvesse ka biogeokeemilisi protsesse, millised osalevad kliimat mõjutavate protsesside kujundamises. Võetakse arvesse ka inimtekkeliste kasvuhoonegaaside mõju (Flato, 2011). Regionaalsed kliimamudelid (RCM) arvutavad atmosfääri protsesse piiratud ruumi alal ning neid

---

<sup>2</sup> AR5 WG1, ptk. 3, lk 289

kasutatakse globaalmodelite peenskaleerimiseks, st arvutatakse peenemal võrgustikul (50 km või 12 km globaalmodeli 125 km asemel) ja seeläbi saab täpsemalt jälgida regionaalseid protsesse (Laprise, 2008; Rummukainen, 2010). Samas vajavad regionaalsed kliimamudelid oma tööks äärevälju globaalsest kliimamudelist. Käesoleva raportis kasutavad kaks RCM-i ESM-i EC-EARTH (Hazeleger jt., 2010) ja üks AOGCM-i CNRM-CM5.1 (Voltaire jt., 2013).

Vajadus kliimamuutuste mõju hindamiseks regionaalsel ja lokaalsel tasandil on üks põhilisi ühiskondade huvisid. Selle küsimusega tegelemiseks on Maailma Kliima Uurimise Programm (*World Climate Research Programme*) ellu kutsunud koordineeritud regionaalse kliima peenskaleerimise eksperimendi (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*) CORDEX. CORDEX projekti raames viiakse erinevates maailma piirkondades läbi koordineeritud kliima regionaalse peenskaleerimise eksperimente, mis kasutavad ääreväljadena CMIP5 projekti mudeleid. Sarnaselt CMIP5 eksperimendiga, on prioriteetseteks kasutatavateks stsenaariumiteks RCP4.5 ja RCP8.5. Euroopa kohta käivat CORDEX eksperimenti nimetatakse EURO-CORDEX ning see leiab lähemat käsitlemist punktis 4.4.

Käesolevas töös kasutatakse baaskliima perioodina võimalusel ajavahemikku 1971-2000 ning võrdlusperioodidena tulevikust 2041-2070 ja 2071-2100. See on traditsioonilisem lähenemine, kui IPCC viimases raportis enamasti kasutatav võrdlusperiood 1986-2005 ja tulevikust 2081-2100.

### 4.3 Stsenaariumite valik

Pikaajaliste kliimasimulatsioonide jaoks on vaja hinnanguid, kuidas antud ajaperioodil inimtegevus või ka looduslikud mõjurid mõjutavad kliimasüsteemi. Simulatsioonide omavaheliseks võrreldavuseks on omakorda vaja, et neid hinnanguid oleks piiratud kogus ja nad oleksid piisavalt konkreetselt määratletud.

Aastal 1992 avaldas IPCC esimese variandi kasvuhoonegaaside stsenaariumitest, mida nimetati IS92. Aastal 2000 tehti uus stsenaariumite kogum, SRES, mida on kasutanud ÜRO kliimapaneeeli varasemad aruanded IPCC TAR ja IPCC AR4.

AR5 kasutab mõistet RCP (*Representative Concentration Pathway*), kirjeldamaks erinevaid võimalikke inimtegevusest põhjustatud kasvuhoonegaaside emissioone, nendest tulenevaid kasvuhoonegaaside kontsentratsioone. Lisaks võetakse arvesse lühiajaliste kasvuhoonegaaside võimalikke kontsentratsioone ja maakasutuse muutusi.

Kui SRES stsenaariumid võtsid aluseks sotsiaal-majandusliku stsenaariumi ja arvutasid selle baasil võimalikud kasvuhoonegaaside emissioonid, siis RCP-de puhul on püütud arvesse võtta ka kliimamuutuse tagasisidet ühiskonna arengule.

CMIP5 jaoks valiti välja neli RCP stsenaariumi (Vuuren jt., 2011; Thomson jt., 2011; Riahi jt., 2011; Masui jt., 2011) ja seega moodustavad need aluse AR5 kliimaprojektsioonidele (IPCC, 2013). Siinkohal on oluline märkida, et kõik neli RCP stsenaariumit on valminud üksteisest sõltumatult, erinevate uurimisrühmade poolt ja erinevate majandusmodelite alusel.

Kasvuhoonegaaside kontsentratsiooni stsenaariumid (RCP) on kõige paremini iseloomustatavad neile vastavate kasvuhoonegaaside emissioonide tippude aegadega, millega kaasnevad kokkuvõttes erinevad kontsentratsioonide jaotused aastate lõikes. Stsenaariumid on täpsemalt kirjeldatud tabelis 5 ja joonisel 8. Neli stsenaariumit on saanud nime selle järgi, kui suur on nende põhjustatud keskmine kiirguslik lisamõju ( $W/m^2$ ) aastal 2100: madalaim RCP, RCP2.6 tipneb  $3 W/m^2$  juures ja



taandub aastaks 2100 2,6 W/m<sup>2</sup> juurde. RCP4.5 ja RCP6 on mõõdukad stsenaariumid, millede puhul emissioonide tipp jääb 21. sajandi sisse ja kiirguslikud mõjud sajandi lõpuks on vastavalt 4.5 W/m<sup>2</sup> ja 6 W/m<sup>2</sup>.

*Tabel 5: RCP stsenaariumite peamised omadused, kasvuhoonegaaside emissioonide tippaeg ja kiirguslik mõju aastal 2100. Kiirguslik mõju antakse suurenemisena võrreldes kontrollperioodiga 1986-2005.*

Stsenaarium	KHG emissiooni tipp	kiirguslik mõju 2100
RCP2.6	2010-2020	+2,6 W/m <sup>2</sup>
RCP4.5	2040	+4,5 W/m <sup>2</sup>
RCP6	2080	+6 W/m <sup>2</sup>
RCP8.5	2100+	+8,5 W/m <sup>2</sup>

Kõige pessimistlikum stsenaarium, RCP8.5 eeldab, et kasvuhoonegaaside emissioon jätkab kasvu terve 21. sajandi vältel ja põhjustab sajandi lõpuks kiirgusliku mõju 8.5 W/m<sup>2</sup> (Moss jt., 2010; IPCC, 2013).

Orienteeruvad temperatuuri tõusud ja nendele vastavad globaalse keskmise temperatuuri tõusud, vastavalt CMIP5 mudelite keskmisele, on esitatud tabelis 6.

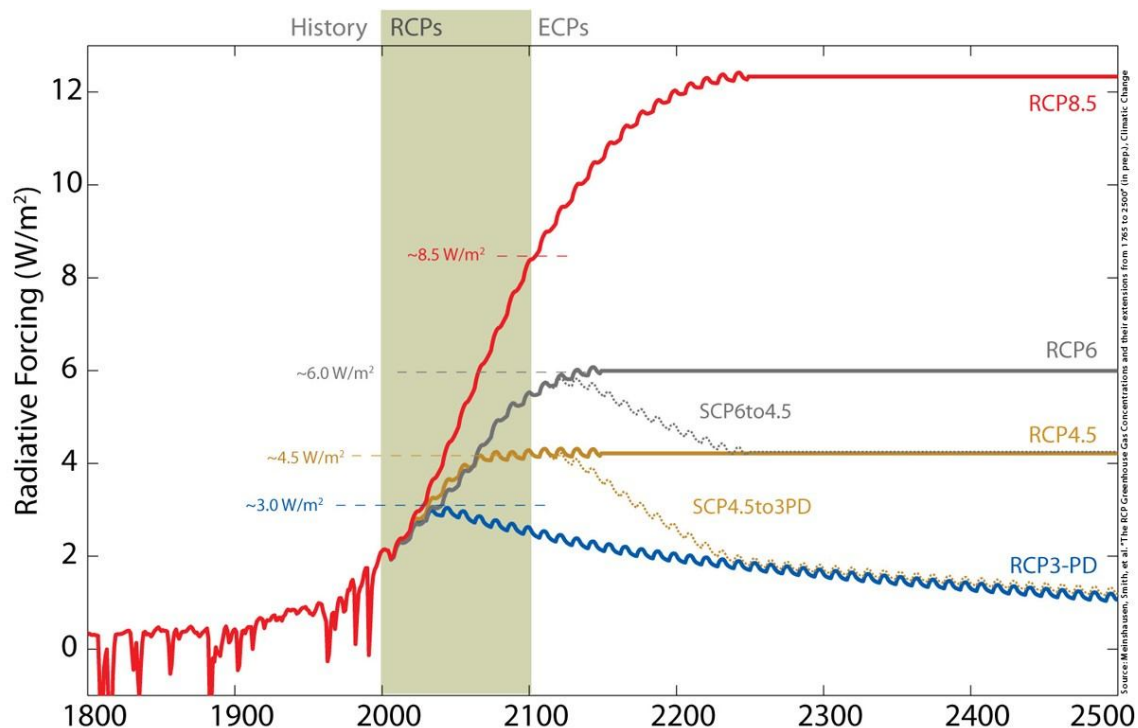
Käesolevas raportis käsitletakse põhiliselt kahte stsenaariumit: RCP4.5, kui kliimamõjude leevendamise meetodeid rakendades saavutatav tase ja kõrge emissiooniga tase RCP8.5, mis realiseerub, kui riigid ei ole võimelised kliimamuutuste leevendamise osas koostööd tegema. Mõlemad on ühtlasi CMIP5 eksperimendi baasiks (Taylor jt., 2012). Eesti riikliku kliimamõjudega kohanemise strateegia puhul tuleks peamiselt lähtuda stsenaariumist RCP4.5, kui igal juhul kätte jõudvast minimaalsest kliimamuutuse tasemest ning lisada sinna stsenaarium RCP8.5 ekstreemsete kliimamuutuse kirjeldamiseks. Tuleb siiski meeles pidada, et RCP4.5 stsenaarium eeldab, et kõik maailma riigid võtavad kasvuhoonegaaside emissioonide piiramise ette ja teevad seda sarnastel alustel. RCP4.5 stsenaariumis kasutatud majandusmudelite puhul on selleks kasvuhoonegaaside emissioonide maksustamine vastavalt nende saja-aastasele soojendamise potentsiaalile.

RCP2.6 jääb välja, kuna on ühest küljest liialt optimistlik – kasvuhoonegaaside emissioonide maksimum peaks saabuma juba käesoleval kümnendil, teisalt on selle kohta saada ka vähem regionaalsete kliimamudelite andmeid.

RCP6 jääb välja, kuna selle kohta on saada vähem regionaalse kliima modelleerimise andmeid ning on küsitav, kui palju selle lisamine annaks lisainfot võrreldes RCP4.5 ja RCP8.5 kasutamisega, millede vahele ta oma kiirgusliku mõjuga jääb.

Tabel 6: Globaalse keskmise temperatuuri tõus °C ja globaalse merepinna taseme tõus meetrites aastateks 2081–2100, võrreldes kontrollperioodiga 1986–2005. Mõlemad on antud nii stsenaariumi keskmisena kui tõenäolises vahemikus.

Stsenaarium	temperatuuri tõus 2100	merepinna taseme tõus 2100
RCP2.6	1,0 (0,3-1,7)	0,40 (0,26-0,55)
RCP4.5	1,8 (1,1-2,6)	0,47 (0,32-0,63)
RCP6	2,2 (1,4-3,1)	0,48 (0,33-0,63)
RCP8.5	3,7 (2,6-4,8)	0,63 (0,45-0,82)



Joonis 8: Erinevate stsenaariumite kiirguslik mõju (Meinshausen et al., 2011).

#### 4.4 EURO-CORDEX mudelprojektsioonid

Osana globaalsest CORDEX projektist, pakub EURO-CORDEX<sup>3</sup> regionaalseid projektsioone Euroopa jaoks horisontaalsetel võrgulahutustel 50 km (EUR-44) ja 12,5 km (EUR-11), niiviisi täiendades uuema ja parema lahutusvõimega informatsiooniga varasemaid regionaalse kliima projekte nagu PRUDENCE ja ENSEMBLES (Jacob jt., 2014).

Regionaalsete kliimasimulatsioonide suure (ja kall) arvutusmahu tõttu ei ole EURO-CORDEX projekti raames kõrge lahutusega EUR-11 projektsioone tehtud praeguseks kõigi stsenaariumite, vaid ainult RCP4.5 ja RCP8.5 jaoks.

<sup>3</sup> [www.euro-cordex.net](http://www.euro-cordex.net)

Käesolevas uurimuses kasutatakse kokku kuut erinevat kliimaprojektsiooni Eesti jaoks 21. sajandil, kolme erinevat RCM-i dünaamilise peenskaleerimise režiimis kahe erineva RCP stsenaariumiga. Kasutatavate mudelite valik sõltub nende kättesaadavusest ning kuigi see on hetkel piiratud, siis on autorid seisukohal, et kolme erineva mudeli kasutamine on piisav Eesti kohta mõistliku kliimaprojektsiooni tegemiseks.

Kasutatavad EURO-CORDEX projekti mudelid on 12 km lahutusega mudelprojektsioonid kolmest keskusest, milleks on Rootsi Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi (SMHI) (mudel RCA4, ääreväljad CNRM), Taani Meteoroloogia Instituudi (DMI) (mudel DMI-HIRHAM5, ääreväljad EC-EARTH) ja Hollandi Kuningliku Meteoroloogia Instituudi (KNMI) (mudel KNMIRACMO22, ääreväljad EC-EARTH) mudelite projektsioonid. Nende kolme mudeli põhjal koostatud miniansamblit kasutatakse tulevikuprojektsioonide koostamisel. Miniansamblid on moodustatud mõlema stsenaariumi, RCP4.5 ja RCP8.5, jaoks. Järgnevas tekstis viidatakse mudelitele ja projektsioonidele keskuse akronüümi ja stsenaariumi järgi.

Kõik andmed, välja arvatud lume kohta, on esitatud muudatusena võrreldes ajaloolise perioodiga (1971-2000) modelleerituna sama mudeli poolt. See on vajalik, kuna isegi kõrglahutuslikud kliimamudelid ei esita kohalikku kliimat sarnaselt.

Andmed esitatakse kaartidel ja kus vajalik, ka tabelitena, teksti sees sesoonsete keskmistena üle mudelite ja lisas eraldi kuude kaupa ja ka mudelite kaupa eraldi. Viimane on vajalik näitlikustamiseks mudelite vahelisi erinevusi, mis võimaldab hinnata ühe või teise projektsiooni hajuvust ja regionaalseid erinevusi.

Kliimaparameetrite jaoks, mis ei ole otseselt tuletatavad regionaalse kliimamudeli simulatsioonidest, esitatakse ülevaade olemasoleva teaduskirjanduse alusel.

EURO-CORDEX simulatsioonide kasutamisega kaasneb üks oluline piirang. Kuna andmed on uued, siis uurimused, mis kasutavad atmosfääri mudelit sisendina, tulevad paratamatult viivitusega ning käesoleval hetkel ei ole olemas piisavat hulka analüüse näiteks mere või sisevetega seotud protsesside kohta, mis lähtuksid EURO-CORDEX simulatsioonidest. See ei tohiks siiski olla suur probleem, kuna keskmine kliimamuutuse signaal EURO-CORDEX projektist ei erine oluliselt varasematest projektidest, nagu näitavad Kotlarski jt. (2014). Seega, varasemate kliimamudelite tulemuste kasutamine praegusel hetkel ei oleks põhiliste atmosfääri parameetrite jaoks õigustatud.

## 5 Projitseeritud muudatused kliimaparameetrites

### 5.1 Temperatuur

#### 5.1.1 Globaalne perspektiiv

IPCC AR5 kokkuvõtete põhjal võib väita, et globaalne keskmine temperatuuri muutus perioodil 2016-2035 (võrreldes perioodiga 1986-2005) jääb tõenäoliselt vahemikku 0,3 kuni 0,7 °C. Perioodiks 2081-2100 soojenemise projektsioon on juba toodud tabelis 6.

Soojenemine Arktika regioonis ületab globaalse keskmise ning soojenemine maapinna kohal ületab soojenemise ookeanide kohal. On väga tõenäoline, et sagedamini esinevad ekstreemselt kõrgete temperatuuride esinemine, samal ajal kui ekstreemselt madalate temperatuuride esinemine väheneb, kuumalained ja põuad sagedamini esinevad ning vältavad pikemat aega. Kuumalainete all peetakse

siin silmas perioode, mil enam kui 5 päeva järjest ületab ööpäevane maksimaalne temperatuur kontrollperioodi (maist septembrini 1971-2000) keskmist maksimaalset temperatuuri vähemalt 5 °C võrra.

CMIP5 projektsioonid näitavad soojenemist ka kõikidel aastaegadel Euroopas, seejuures on enim mõjutatud Lõuna-Euroopa suved ning Põhja-Euroopa talved (Kjellström jt., 2011; Goodess jt., 2009). Suviseid kuumalaineid võimendavaks faktoriks on õhutemperatuuri tõusust põhjustatud kuivemad pinnasetingimused (Seneviratne jt., 2010; Hirschi jt., 2011). Euroopa talvede muutlikkus võib aga olla seotud jääkatte vähenemisega Barentsi ja Kara meredel (Petoukhov ja Semenov, 2010). Soojenemisele vaatamata jätkub külmade talvede esinemine Euroopas ka järgnevatel dekaadidel.

### 5.1.2 Eesti perspektiiv

Tabel 7 koos joonistega 9 ja 10 illustreerib projitseeritud muutusi keskmistes sesoonsetes temperatuurides, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. Andmed on esitatud ansambli keskmisena kahe ajavahemiku ja kahe stsenaariumi jaoks. Tabelis 7 toodud aasta keskmised temperatuuri tõusud on suuremad, kui AR5-s prognoositud globaalsed keskmised tabelis 6. See langeb hästi kokku CMIP5 prognooside keskmise temperatuuri tõusu jaotusega, mis on suurem põhjapoolkeral ja iseäranis kõrgematel laiustel.

Kuude lõikes täheldatakse kõige suuremat temperatuuri kasvu märtsis ning seda mõlema stsenaariumi ja mõlema ajaperioodi jaoks. See on lihtsasti selgitatav lumevaesemate kevadete ja sellest tuleneva kiirema aluspinna soojenemisega. Suuremat temperatuuri kasvu täheldatakse ka teistel talve- ja kevadkuudel. Väiksem temperatuuri kasv on perioodi 2041-2070 jaoks projitseeritud suvekuudele (JJA), perioodi 2071-2100 jaoks aga sügiskuudele (SON).

Kõrge lahutusega mudelite väljund võimaldab jälgida ka soojenemise jaotust Eesti erinevates piirkondades ning mandri ja mere vahel. Stsenaariumi RCP4.5 ja ajavahemiku 2041-2070 puhul on vahed märgatavad ainult suvekuudel, kus maapind soojeneb vähem kui meri. Sarnane tendents on järgitav ka teise ajaperioodi jaoks ning on olemas ka stsenaariumis RCP8.5. Maismaa tunduvalt suurem soojenemine võrreldes merega on kõige tuntavam talvekuudel. Kõige väiksem või peaaegu puuduv geograafiline erinevus temperatuuri tõusus esineb sügiskuudel.

Mudelite vahelisi temperatuuride erinevusi saab jälgida lisas A. Nii näiteks on väga erinev prognoos veebruarikuu jaoks, kus SMHI mudel prognoosib RCP8.5 jaoks soojenemist kuni 8 °C, aga DMI kõigest 3,5-4 °C.

Kui tekstis ei ole märgitud teisiti, on tabelites kujutatud terve joonisel 10 kujutatud territooriumi keskmised väärtused.

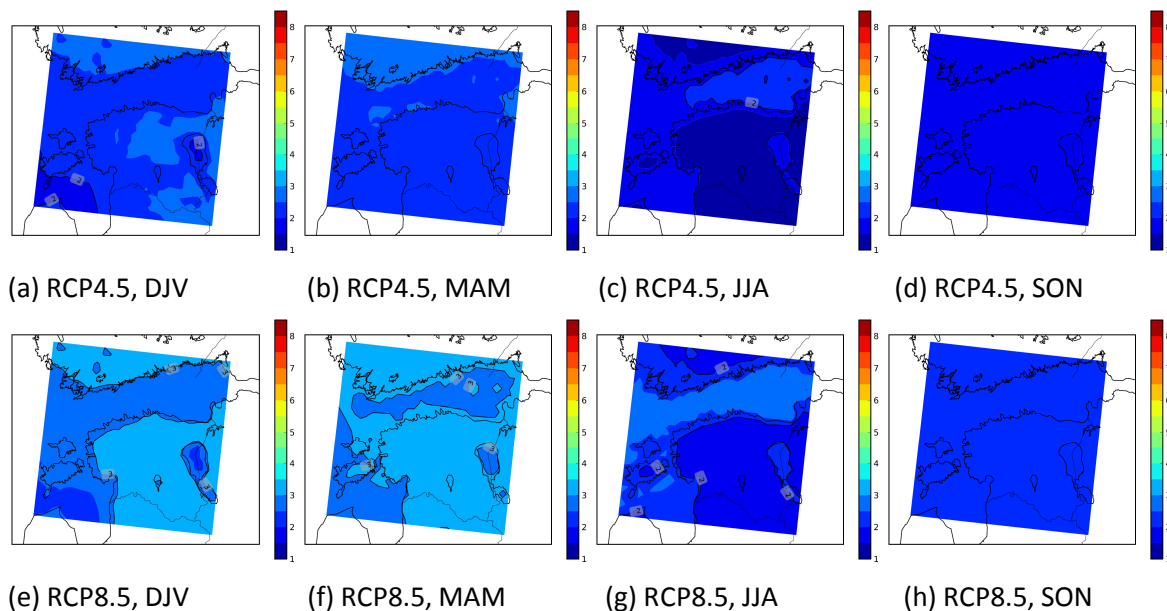
Kui tekstis on juttu suuruste suhtelisest muutusest, siis mõeldakse selle all ühte kahest seosest:

$$\text{suhteline muutus} = \frac{\text{projektsioon} - \text{kontroll}}{\text{kontroll}} \quad (1)$$

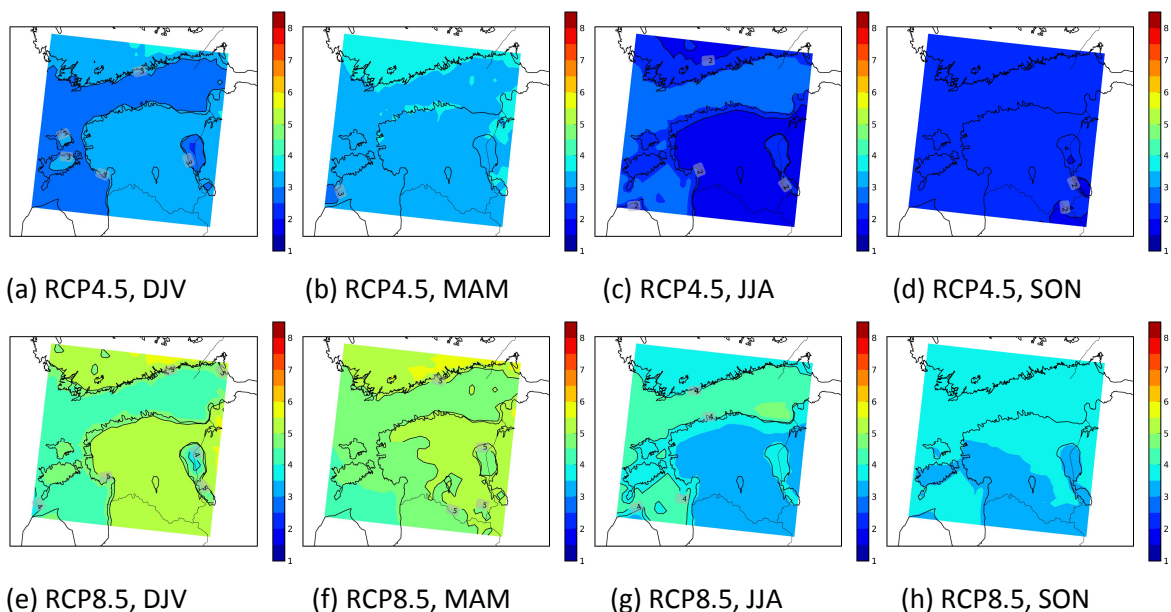
$$\text{suhteline muutus} = \frac{\text{projektsioon} - \text{kontroll}}{\text{kontroll}} * 100 \% \quad (2)$$

Tabel 7: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, kogu ansambli hõlmatava ala keskmise jaoks.

Periood	2041-2070	2071-2100	2041-2070	2071-2100
Stsenaarium	RCP4.5		RCP8.5	
Talv (DJV)	2,3	3,1	2,9	4,9
Kevad (MAM)	2,4	3,4	3,1	4,9
Suvi (JJA)	1,6	2,2	2,2	3,8
Sügis (SON)	1,7	2,2	2,2	3,6
Aasta keskmine	2,0	2,7	2,6	4,3
Det	2,1	2,8	2,5	4,2
Jaan	2,5	3,3	2,9	5,2
Veeb	2,4	3,2	3,3	5,2
Märts	2,7	3,8	3,6	5,5
Apr	2,3	3,4	3,1	5,0
Mai	2,2	3,1	2,5	4,3
Juuni	1,8	2,5	2,4	3,9
Juuli	1,5	2,2	2,1	3,6
Aug	1,5	2,0	2,1	3,7
Sept	1,6	1,8	2,3	3,8
Okt	1,5	2,2	2,2	3,3
Nov	2,0	2,5	2,2	3,7



Joonis 9: Keskmise temperatuuri absoluutne muutus (°C) sesoonide kaupa, periood 2041-2070, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. Ülemisel real stsenaarium RCP4.5 ja alumisel RCP8.5, aastaajad talvest sügiseni vasakult paremale.



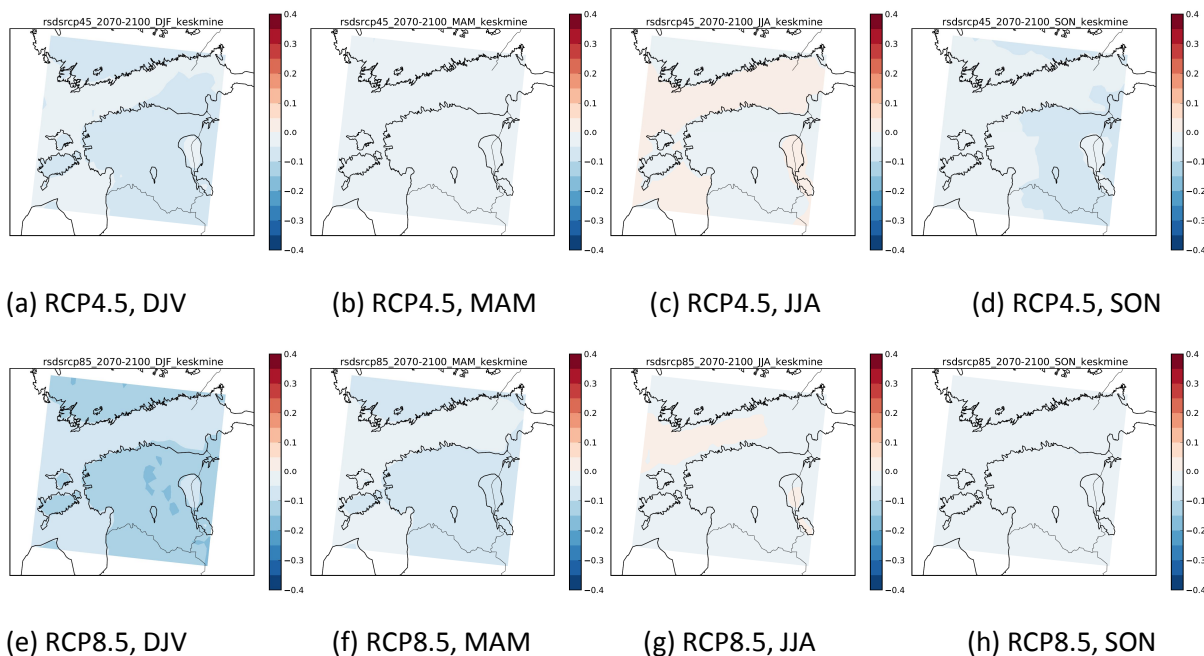
*Joonis 10: Keskmise temperatuuri absoluutne muutus (°C) sesoonide kaupa, periood 2071-2100, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. Ülemisel real stsenaarium RCP4.5 ja alumisel RCP8.5, aastaajad talvest sügiseni vasakult paremale.*

## 5.2 Maapinnale langev lühilaineline kiirgus

EURO-CORDEX projekti kõrglahutusega mudelansambli poolt arvatud maapinnale jõudva lühilainelise kiirguse suhtelise muutuse kokkuvõtte on esitatud tabelis 8, sesoonsed muutused joonisel 11. Mudelansambli peamine ühine tulemus on, et ees ootab maapinnale jõudva lühilainelise kiirguse vähenemine. Tuntavam on vähenemine külmemal osal aastast, oktoobrist märtsini, suvekuudel ja septembris jääb kiirguse muutus vähetuntavaks. See tulemus on kooskõlas oodatava läänevoolu tugevnemisega, mis toob kaasa pilvisema ilma külmemal poolaastal.

Tabel 8: Maapinnale jõudva lühilainelise kiirguse suhteline muutus (valem 2 lk 27), võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, aastaegade ja kuude kaupa.

Periood	2071-2100	2071-2100
Stsenaarium	RCP4.5	RCP8.5
DJV	-6 %	-11 %
MAM	-3 %	-6 %
JJA	0 %	-1 %
SON	-4 %	-3 %
Aasta keskmine	-3 %	-5 %
Dets	-6 %	-10 %
Jaan	-5 %	-12 %
Veeb	-6 %	-11 %
Märts	-7 %	-10 %
Apr	-2 %	-2 %
Mai	0 %	-4 %
Juuni	-1 %	-2 %
Juuli	1 %	0 %
Aug	-1 %	0 %
Sept	-1 %	2 %
Okt	-3 %	-5 %
Nov	-9 %	-7 %



Joonis 11: Keskmise aluspinnale langeva lühilainelise kiirguse suhteline muutus (valem 1 lk 27), periood 2071-2100, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, sesoonide kaupa. Ülemisel real stsenaarium RCP4.5 ja alumisel real stsenaarium RCP8.5, aastaajad talvest sügiseni vasakult paremale.

## 5.3 Tuul

### 5.3.1 Globaalne perspektiiv

Ekstreemsete tuule kiiruste projitseerimisel esineb suur määramatus nii nagu ka senistes tuule kiiruste analüüsid. See on seotud kvaliteetsete uurimuste vähesusega ja probleemidega mudelite kvaliteedis. Lisaks muudab tuule kiiruste analüüsi raskeks tuule mõõtmiste piiratud kvaliteet, kuna suurem osa maapealseid tuule mõõtmisi on mõjutatud kohalikest aluspinna tingimustest.

Erandiks on keskmine tuule kiirus troopilistes tsüklonites, mis kipub aja jooksul tõusma, kuigi see tõusutrend ei pruugi esineda kõikide ookeanide kohal. On tõenäoline, et troopiliste tsüklonite esinemissagedus aastaks 2100 veidi väheneb või jääb muutumatuks (IPCC, 2012).

IPCC AR4-s (Hegerl jt., 2007) on leitud, et keskklaiustel esinevad aastased trendid, mis vastavad õhurõhu vähenemisele pooluste piirkonnas, on tõenäoliselt osaliselt seotud inimtegevusega, mis mõjutab tormide trajektoore ja tuule mustreid mõlemal poolkeral.

Võrreldes perioode 1981-2000 ja 2081-2100 on (Gastineau ja Soden, 2009) globaalselt 17 mudelit kasutava ansambli põhjal leidnud 99 % kvantiili (1 % kõige tugevamad tuuled) tuulte kiirustel 850 hPa kõrgusel kahanemise troopikas ja suurenenemise keskklaiustel. Võrreldes samu perioode, siis üldiselt on keskmine tuule kiirus kasvanud Euroopas, mõningates piirkondades Kesk- ja Põhja-Ameerikas, Vaikse ookeani troopilistel laiustel ja Lõuna-Jäämere kohal. Keskmine tuule kiiruse kahanemine on aga jälgitav piki ekvaatorit (Collins jt., 2010). Liikudes mõlemal poolkeral lähistroopilise vööndi lähedusest polaaralade suunas on jälgitav tuule kiiruse suurenemine, mis peegeldab keskklaiuste tormide tee kitsenemist polaaralade suunas. 99 % kvantiili tuule kiirus näitab kahanemistrendi enamike ookeanipiirkondade kohal, välja arvatud Vaikse ookeani põhjaosa, Arktika ja Lõuna-Jäämere kohal lõunapool 40°S talvel (DJV), Vaikse ookeani lõunaosa kohal 10° ja 25°S vahel suvel (JJA) ja Lõuna-Jäämere kohal lõunapool 50°S suvel (JJA). Mitmed uurimused pärast IPCC AR4 on leidnud, et madalrõhkondade tugevamaks muutumine Antarktika lääneosas on põhjustanud selles piirkonnas tugevamaid tuuli ja soodustanud jää kasvu (Goosse jt., 2009; Turner ja Overland, 2009). 99 % kvantiili tuule kiirus on suurenenud Arktikas, suurel osal maismaa alal põhjapoolkeral talvel (DJV), samuti Aafrikas ja Põhja-Austraalias ning Kesk- ja Lõuna-Ameerikas suvel (JJA).

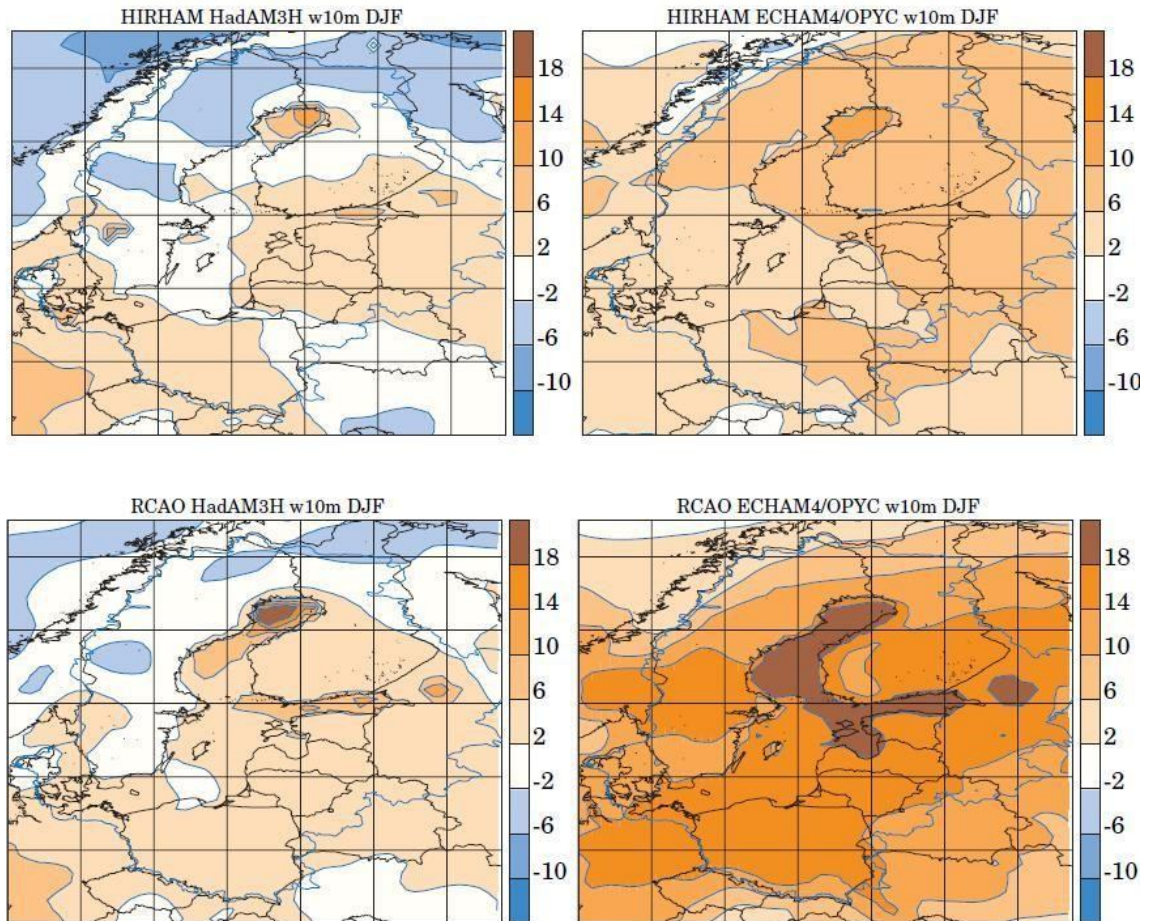
Vaatamata nendele projektsioonidele, peab siiski mainima, et projitseeritud tugevate tuultega on tegelenud suhteliselt vähesed uurimused. Lisaks sellele on esinenud tugevate tuulte simulatsioone koostavates mudelites, regioonides ja kasutatud meetodikas mitmeid puudusi, samuti tulevikuprojektsioonide välja töötamisel ning arendamisel. Seega on meil hetkel üsna madal kindlus tugevate tuulte tulevikuprojektsioonide osas (IPCC, 2012).

### 5.3.2 Eesti perspektiiv

Põhja-Euroopa kohta tehtud mudelarvutustes leidsid Räisänen jt. (2003) suurima tuule kiiruse suurenemise nn kontrollkliima 1961-1990 ja tuleviku perioodi 2071-2100 vahel ECHAM4/OPYC3 mudeli SRES-A2 stsenaariumi põhjal talvel ja varakevadel (joonis 12). Vastavad simulatsioonid HadAM3H mudeli põhjal ei näita talvel peaaegu mingit muutust maismaa kohal. Globaalse tsirkulatsioonimudeli ECHAM4/OPYC3 põhjal tõuseb talvel (DJV) keskmine tuule kiirus kuni 18 % SRES-A2 stsenaariumi korral ja 13 % SRES-B2 stsenaariumi (sarnane RCP4.5-ga) korral keskmiselt kogu Läänemere regioonis. Vastavalt HadAM3H mudeli simulatsioonid näitavad keskmise tuule kiiruse kasvu vähem kui 5 % kogu Läänemere kohta keskmiselt. Suurim tuule kiiruse kasv esineb

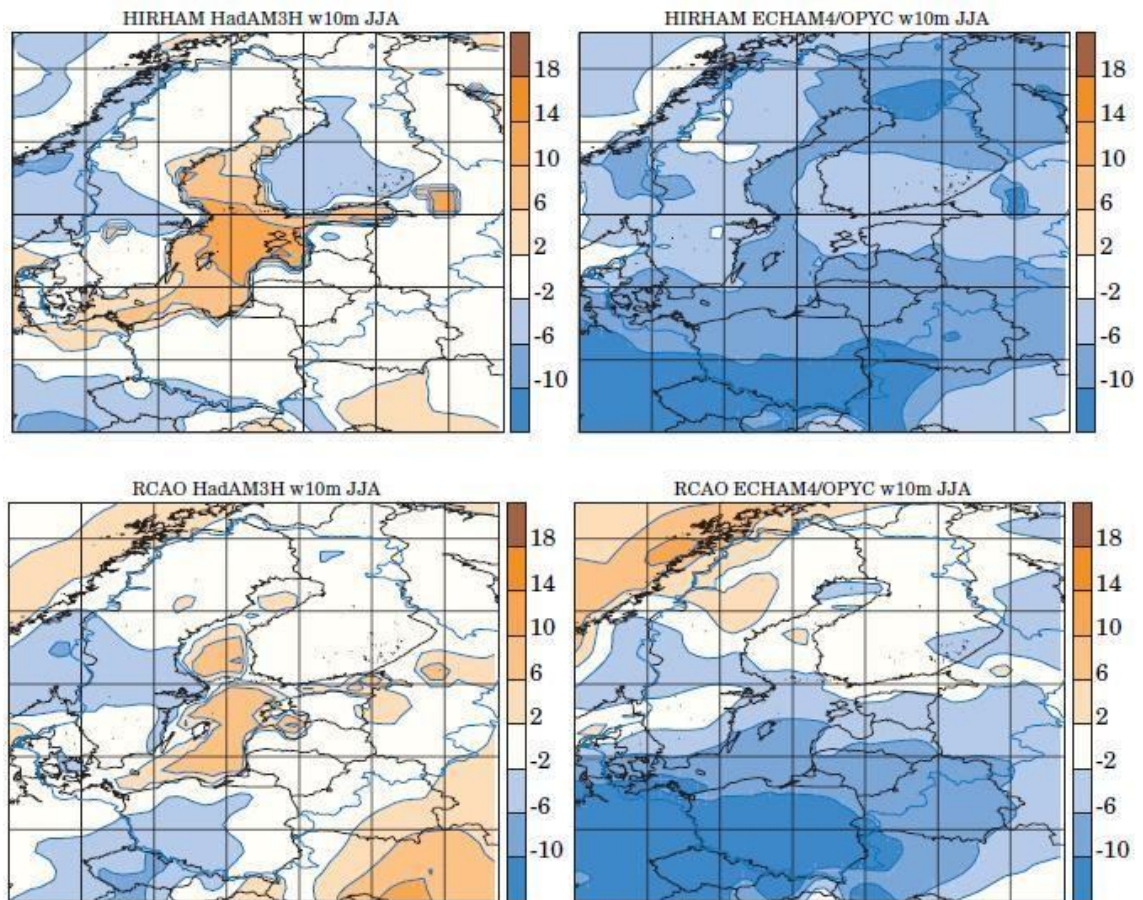


Läänemere kesk- ja põhjaosa kohal, kus projitseeritakse ka mere jääkatte vähenemist (Räisänen jt., 2003).



*Joonis 12: Regionaalse kliimamudeli simuleeritud tuule kiiruse muutus (%) talvel (DJF) perioodide 1961-1990 ja 2071-2100 vahel, kasutades SRES-A2 emissiooni stsenaariumit (sarnase kuid natuke nõrgema kiirgusliku mõjuga kui RCP8.5). Ülemised joonised kujutavad DMI-HIRHAM5 ja alumised RCAO mudelit. Vasakpoolsed joonised kasutavad HadAM3H ja parempoolsed ECHAM4/OPYC3 globaalse tsirkulatsioonimudeli ääretingimusi (BACC, 2008).*

Joonis 13 näitab suveperioodi jaoks enamjaolt vastupidist trendi. Suvised (JJA) tuule kiiruse muutused näitavad ECHAM4/OPYC3 mudeli simulatsioonide korral Läänemere keskise tuule kiiruse vähenemist kuni 7 % ja HadAM3H simulatsioonide puhul keskmise tuule kiiruse kasvu umbes 5 % keskmiselt kogu Läänemere kohta.



*Joonis 13: Regionaalse kliimamudeli simuleeritud tuule kiiruse muutus (%) suvel (JJA) perioodide 1961-1990 ja 2071-2100 vahel SRES-A2 emissiooni stsenaariumi korral. Ülemised joonised kujutavad DMI-HIRHAM5 ja alumised RCAO mudelit. Vasakpoolsed joonised kasutavad HadAM3H ja parempoolsed ECHAM4/OPYC3 globaalse tsirkulatsioonimudeli ääretingimusi (BACC, 2008).*

Vastavalt Meier jt. (2006) neljale regionaalsele simulatsioonile on sarnane keskmine tuule kiiruse kasv talvel 3-19 % ja üldine vähenemine suvel Läänemere ja Kattegati kohal (tabel 9). Need suurused varieeruvad eri mudelite ja stsenaariumite korral. Siiski statistiline analüüs näitas, et neist kahest mudelist vaid ECHAM4/OPYC3 tulemused on talve jaoks statistiliselt usaldusväärsed 95 % tasemel. Kõik see peegeldab Läänemere pinnavee temperatuuri tõusu, mis vähendab veepinna ja atmosfääri alumise kihi stabiilsust ning viib suuremate tuulekiiruste esinemiseni (Räisänen jt., 2003). Pryor ja Barthelmie (2004b) leidsid üldiselt, et RCAO tuule ruumilised mustrid ECHAM4/OPYC3 globaalse tsirkulatsioonimudeli põhjal näitavad suuremaid muutusi kontrollkliima ja tuleviku perioodi vahel kui RCAO mustrid HadAM3H GCM mudeli põhjal.

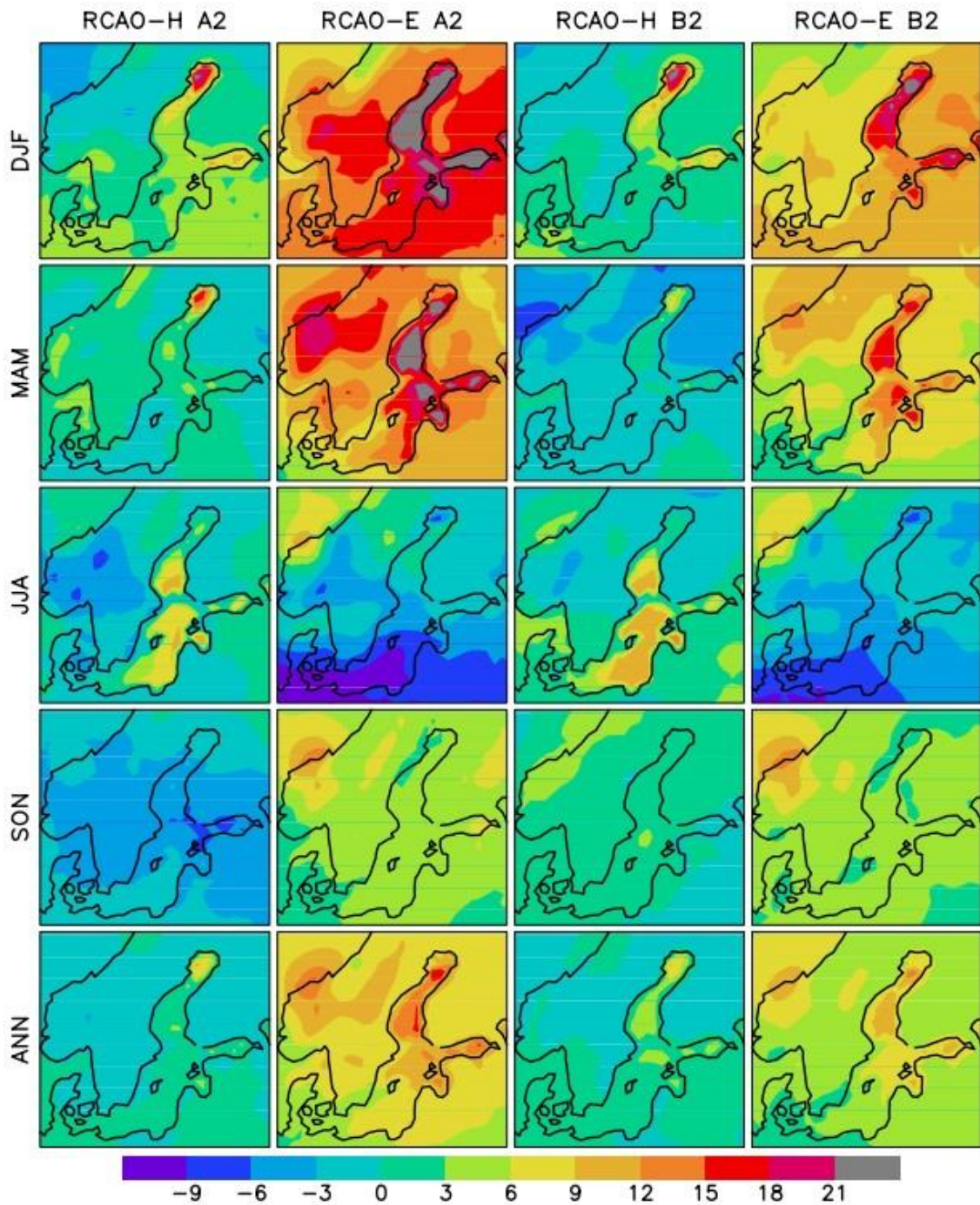
*Tabel 9: Läänemere ja Kattegati kohal esinevad keskmised tuule kiiruse muutused (%) erinevatel sesoonidel A2 ja B2 stsenaariumite korral perioodil 2071-2100, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. Usaldusväärsed muutused ( $p < 0,05$ ) on tumedas kirjas. RCAO-H on HadAM3H globaalse mudeli põhjal jooksutatud RCAO regionaalne mudel ja RCAO-E on ECHAM4/OPYC3 globaalse mudeli põhjal jooksutatud RCAO regionaalne mudel (Meier jt., 2006).*

	DJV	MAM	JJA	SON
RCAO-E/A2	<b>18,5</b>	<b>14,9</b>	<b>-5,9</b>	<b>4,2</b>
RCAO-E/B2	<b>12,1</b>	<b>9,4</b>	<b>-4,9</b>	<b>3,8</b>
RCAO-H/A2	<b>4,5</b>	1,1	3,3	-3,3
RCAO-H/B2	3,1	-0,7	<b>5,7</b>	1,5

Suurim keskmise tuule kiiruse kasv on projitseeritud talvekuudel RCAO-E mudeli SRES-A2 ja SRES-B2 stsenaariumite korral Läänemerel Botnia lahe, Soome lahe, Liivi lahe ja Eesti rannikumere kohal. Kohati on see rohkem kui 20 %. Maismaa alade kohal on tuule kiiruse kasv väiksem. Ka 95 ja 99 kvantiili (vastavalt 5 % ja 1 % kõige tugevamad tuuled) korral on talvel täheldatav tuule kiiruse kasv samades piirkondades ja samal määral. Seega võib väita, et ekstreemsed tuule kiirused kasvavad sarnaselt keskmise tuule kiirusega. Siiski peab sellesse järeldusse suhtuma ettevaatlikkusega, kuna mudelid ei suuda adekvaatselt hinnata tugevaid tuuli kontrollperioodil (Meier jt., 2006). Keskmise tuule kiiruse suurenemine esineb ka kevadel, aga veidi väiksemal määral kui talvel. Seevastu suvekuudel on üldiselt Läänemere piirkonnas jälgitav keskmise tuule kiiruse vähenemine, eriti mere lõunaosade ja maismaa kohal (joonis. 14). RCAO-H mudel näitab sarnaseid tendentse, aga palju väiksemas ulatuses.

Ekstreemsete tuulte muutlikkust on analüüsinud (Rockel ja Woth, 2007). Analüüsidest kaheksa regionaalse kliimamudeli projektsioone SRES-A2 stsenaariumi kohta, leiti ekstreemsete tuulte (päeva keskmise tuule kiiruse 99 % kvantiil ehk 1 % kõige tugevamad tuuled) kerget kasvu maist augustini ja novembrist jaanuarini ning suuremat, kuni 1 m/s tuule kiiruse kasvu veebruaris ja oktoobris.

Kokkuvõttes, oodata on talviste keskmiste tuule kiiruste kasvu ennekõike läänevoolu tugevnemise arvelt, kuid selle täpne ulatus on raskesti prognoositav. Ekstreemsete tuule kiiruste kohta on raske midagi kindlat väita.



Joonis 14: Sesoonsed ja aastased RCAO mudeli simulatsioonid keskmise tuule kiiruse muutuste kohta (%) Läänemere piirkonnas perioodiks 2071-2100, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000 (Meier jt., 2006).

## 5.4 Veeringe

### 5.4.1 Sademed – globaalne perspektiiv

21. sajandi jooksul toimuva soojenemisega seotud muutused üldises veeringluses on ebaühtlased. Kontrast kuivade ja niiskete regioonide ning kuivade ja niiskete aastaegade sademete hulcade vahel suureneb. Stsenaariumi RCP8.5 projektsioonide kohaselt on tõenäoline, et 21. sajandi lõpuks suurenevad aastased sademete hulgad kõrgetel laiuskraadidel ja Vaikse ookeani ekvatoriaalses osas. Paljudes kuiva kliimaga parasvöötme ja lähistroopika piirkondades vähenevad keskmised sademete hulgad, samal ajal kui parasvöötme niiske kliimaga piirkondades sademete hulgad kasvavad. Ekstreemsed sajud parasvöötme maa-alade kohal ja niisketes troopilistes piirkondades sagenevad ja intensiivistuvad. Mandri-Euroopa sademete trendid ei ole nii selgelt väljendunud, sademete hulga suurenemist on oodata Põhja-Euroopas ja vähenemist Lõuna-Euroopas (Kjellström jt., 2011). Liikudes Lõuna-Rootsi suunas vähenevad sademete hulgad suvekuudel ja kasvavad talveperioodil (Schmidli jt., 2007), tuues mägistel aladel kaasa pigem vihma kui lund (Steger jt., 2013). Põhja-Euroopas väheneb pikaajaline keskmine lumikatte kestus (Räisänen ja Eklund, 2012).

### 5.4.2 Sademed – Eesti perspektiiv

Tabel 10 võtab kokku mudelite poolt projitseeritud sademete suhtelise muutuse, mida täiendavad joonised 15 ja 16. Väärtus 0,1 vastab 10 % kasvule, -0.1 vastavalt 10 % kahanemisele jne. Tabelist on näha, et kõigi arvutatud ajaperioodide ja stsenaariumite puhul on täheldatav sademete hulga kasv. Kasv on suurem sajandi lõpuks ja suurema KHG kontsentratsiooni korral. Sajandi lõpuks esinevad suuremad sademete hulgad kevadkuudel, perioodil 2041-2070 pigem suvekuudel. Väikseim sademete muutlikkus esineb sügiskuudel.

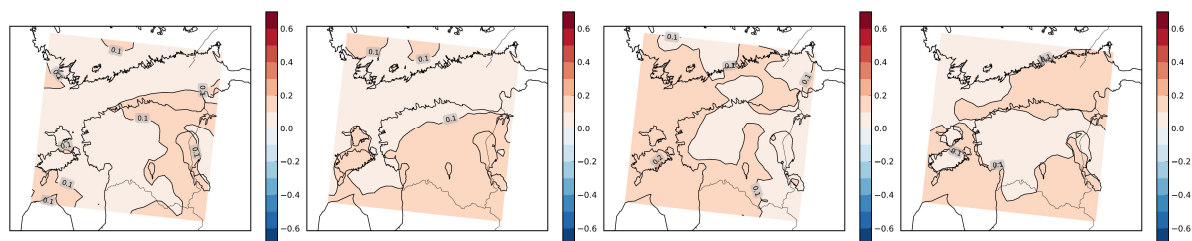
Joonistel 15 ja 16 esitatud geograafiline jaotus näitab selgelt, et talve- ja kevadkuudel on sademete suurenemist oodata pigem maismaal ning suve- ja sügiskuudel pigem mere kohal.

Aasta keskmine sademete hulga kasv 19 % RCP8.5 korral on väga heas kooskõlas AR5 sademete prognoosiga, milles Eesti ala jääb vahemikku 10-20 %.

Kuigi kõigi mudelite keskmisena on oodata sademete kasvu, on üksikute mudelite ja kuude vahelised erinevused suured ning esineb ka kuid, mille jaoks üksikud mudelid prognoosivad sademete vähenemist. Näiteks KNMI puhul RCP8.5 jaanuaris 2041-2070 (joonis 39g) ning SMHI ja KNMI puhul RCP4.5 oktoober 2071-2100 (joonised 38f ja 38g). Ükski mudel ei näita siiski sesoonset sademete alanemist, kuid mudelite vaheline erinevus demonstreerib siiski sademete modelleeritavuse keerukust ja kaootilist iseloomu.

Tabel 10: Suhteline sademete muutus (valem 2 lk 27) stsenaariumite RCP4.5 ja RCP8.5 ning ajavahemike 2041-2070 ja 2071-2100 jaoks, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000.

Periood	2041-2070	2071-2100	2041-2070	2071-2100
Stsenaarium	RCP4.5		RCP8.5	
DJV	9 %	16 %	15 %	22 %
MAM	10 %	21 %	16 %	24 %
JJA	11 %	15 %	18 %	19 %
SON	10 %	11 %	8 %	12 %
Aasta keskmine	10 %	16 %	14 %	19 %
Dets	10 %	17 %	10 %	20 %
Jaan	9 %	18 %	17 %	30 %
Veeb	9 %	11 %	18 %	17 %
Märts	12 %	26 %	15 %	21 %
Apr	3 %	17 %	4 %	14 %
Mai	16 %	18 %	30 %	38 %
Juuni	6 %	14 %	17 %	22 %
Juuli	8 %	4 %	15 %	11 %
Aug	19 %	27 %	22 %	23 %
Sept	14 %	17 %	6 %	11 %
Okt	10 %	4 %	8 %	13 %
Nov	7 %	12 %	11 %	13 %

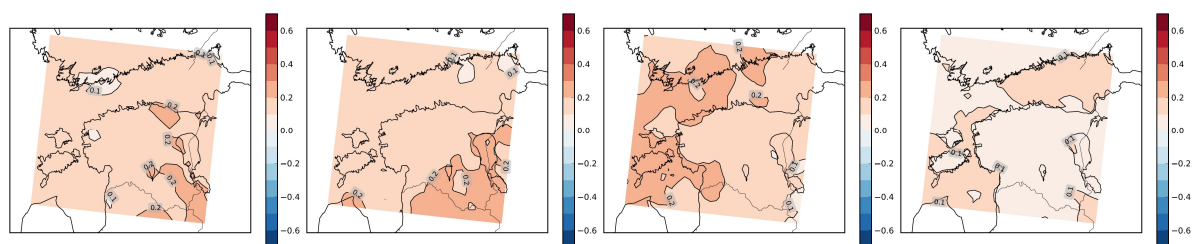


(a) RCP4.5, DJV

(b) RCP4.5, MAM

(c) RCP4.5, JJA

(d) RCP4.5, SON



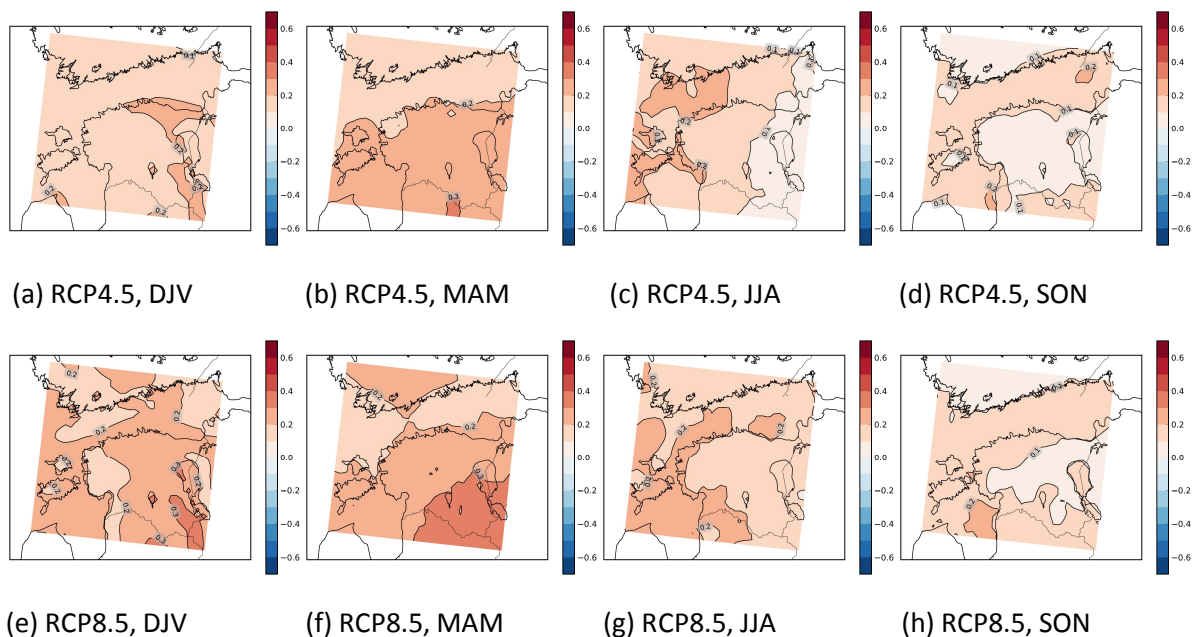
(e) RCP8.5, DJV

(f) RCP8.5, MAM

(g) RCP8.5, JJA

(h) RCP8.5, SON

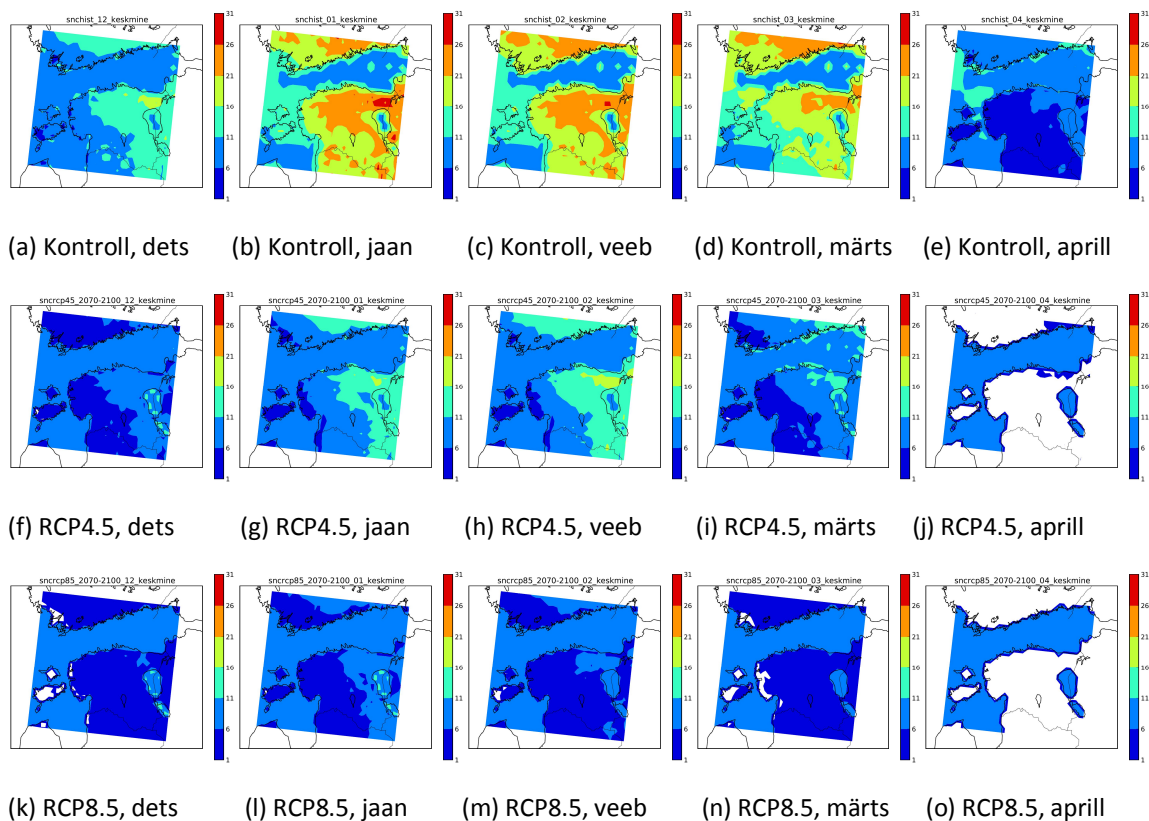
Joonis 15: Keskmine suhteline sademete muutus (valem 1 lk 27) aastaegade kaupa, periood 2041-2070, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. Üleval stsenaarium RCP4.5 ja all RCP8.5, vasakult paremale aastaajad talvest sügiseni.



*Joonis 16: Keskmine suhteline sademete muutus (valem 1 lk 27) aastaegade kaupa, periood 2071-2100, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. Üleval stsenaarium RCP4.5 ja all RCP8.5, vasakult paremale aastaajad talvest sügiseni.*

### 5.4.3 Lumikate

Lumikate mängib tähtsat rolli veeringes ja aluspinna kiirgusbilansis. Lume kiirem sulamine toob kaasa varasema suurvee ja õhem lumekiht väiksema kevadise suurvee. Joonisel 17 on kujutatud mudelite kontrollperioodi keskmine lumikattega päevade arv. Jaanuaris ja veebruaris on valdavas osas Mandri-Eestist keskmine lumikate 26-31 päeva, mis viitab mudelite võimele simuleerida püsivat lumikatte ning ka kogu lumikattega päevade arv on lähedane Eesti lumikatte teatmikus avaldatud andmetele. Projektsioonid 21. sajandi lõpuks näitavad olulist lumikatte kahanemist. Joonisel 17 kujutatud RCP4.5 stsenaariumi kohaselt on aprillis lume võimalus väga väike, märtsis on keskmine lumikatte aeg vähenenud rohkem kui 10 päeva ja jaanuaris-vebruaris võib lund rohkem kui pooltel päevadel kohata ainult üksikutes piirkondades Kirde-Eestis. RCP8.5 stsenaariumi järgi on lumikate veelgi vähenenud, ulatudes maksimaalselt 10 päevani kuus Kirde- ja Kagu-Eestis. Selline prognoositud trend oleks kooskõlas Eesti lumikatte teatmikus avaldatud trendi, aastate 1962-2001 jooksul vähenemine 25,9 päeva, jätkumisega 21. sajandil.



Joonis 17: Keskmise lumikattega päevade arv, ülemine rida kontrollperiood 1971-2000, keskmine RCP4.5 ja alumine RCP8.5, periood 2071-2100. Vasakult paremale kuud detsembrist aprillini.

#### 5.4.4 Siseveed

Kliimamudelite väljundandmed on omakorda sisendandmeteks hüdroloogilistele mudelitele prognoosimaks veevaru pikemaajalises perspektiivis. Kui kliimamudelite tulemused on vasturääkivad või määramatus suur, siis on raske anda hinnangut ka veevaru muutustele tulevikus. Raskusi valmistab kahe mudeli ühitamine kuna globaalse kliimamudeli ja hüdroloogilise mudeli skaalad on erinevad. Käesoleval hetkel ei ole piisavat hulka analüüsi sisevetega seotud protsesside kohta, mis lähtuksid kliimamudelite uusimatest simulatsioonidest, mistõttu esitatakse ülevaade olemasoleva teaduskirjanduse alusel.

Kliimamuutuse mõju jõgede äravoolule ja veeringe komponentidele uuriti Eestis 1990. aastate teisel poolel projekti: “Country Case Study on Climate Change Impacts and Adaptation Assessments in the Republic of Estonia” raames (Jaagus jt., 1998; Järvet jt., 2000). Nimetatud töö tulemuste põhjal on koostatud 2013. aastal “Eesti kuues kliimaaruanne” ning tulemustest on ülevaade töös: “Kliimamuutuse mõju veeökosüsteemidele ning põhjaveele Eestis ja sellest tulenevad veeseireprogrammi võimalikud arengusuunad” (Nõges jt., 2012). Ehkki töö on tehtud enam kui 15 aastat tagasi, on see jäänud ainukeseks äravoolu modelleerimise katseks Eestis kliimamuutuse vaatevinklist vaadatuna. Kokkuvõtvalt olid üldised järeldused järgmised:

- Kevadine suurvesi Eesti jõgedel on 2100. aastal väiksem võrreldes baasperioodiga (1961-1990) ning saabub umbes kuu varem. Suurveest põhjustatud üleujutuste esinemise tõenäosus



on väiksem. Märkatava äravoolu vähenemise tõttu suurveeperioodil (tüüpiliselt aprillis ja mais), pikeneb suvine miinimumäravoolu periood kevade poole, millega kaasneb vegetatsiooniperioodi esimese poole veevaru vähenemine.

- Lõuna- ja Ida-Eesti jõgedes jääb äravoolu sesoonne jaotus suhteliselt sarnaseks võrreldes baasperioodiga. Põhja-Eestis, kus jõed on mõjutatud karstist, suureneb sügisene äravool.
- Kliimamuutuse mõju äravoolu sesoonsusele on suurim Lääne-Eestis ja saartel, kus sügisene äravool suureneb, ületades isegi kevadist äravoolu. Nelja hüdroloogilise põhiperioodi asemel jääb kaks. Seega, sademete hulga suurenemine sügisel suurendab sügisest äravoolu ning sügis võib saada aasta veerikkaimaks perioodiks Põhja- ja Lääne-Eestis ning saartel. See oleks suur muutus Eesti siseveekogude hüdroloogilises režiimis.
- Eesti jõgedes maksimaalse ja minimaalse kuu äravoolu vaheline erinevus kahaneb aastaks 2100. Äravoolu aastasisene ühtlustumine on seotud rohkem maksimaalse äravoolu vähenemise kui minimaalse äravoolu suurenemisega (Nõges jt., 2012).

Talviste õhutemperatuuride suurenemise tõttu muutub Eestis jõgede jääkateperiood lühemaks või enamikel jõgedel jääkatet enam ei teki (BACC, 2008; Nõges jt., 2012). Selle tulemusena suureneks jõgede talvine äravool, sest sademed ei akumuleeru enam lumena. Hiljutised globaalsete kliimamudelite tulemused vihjavad, küll robustsemal moel, eespool leitud sesoonsete muutuste võimalikkusele ka pinnavees (Bates jt., 2008)).

Uurides kliimamuutuse mõju pinnaveevarule on peale aastasisese äravoolu jaotuse oluline prognoosida ka summaarset aastast äravoolu Eesti jõgedes või veevaru/veetaset järvedes – kas meie territooriumil paiknev mageveehulk väheneb või suureneb. Kaheteistkümnne kliimamudeli stsenaariumi SRES-A1B kohaselt peaks Eesti territooriumil aasta äravool suurenema maksimaalselt 20 % perioodiks 2090-2099, võrreldes perioodiga 1980-1999 (Bates jt., 2008).

IPCC emissioonimudeli SRES-A2 stsenaariumi (sarnase kuid natuke nõrgema kiirgusliku mõjuga kui RCP 8.5) kohaselt prognoositakse 2100 aastaks Euroopa järvede sh Eesti järvede veetemperatuuri tõusu 2-7 °C võrra, täpsemad prognoosid Eesti kohta puuduvad.

## 5.5 Ekstreemsed nähtused

### 5.5.1 Temperatuuri äärmusväärtused

Käesolevas töös lähtume ekstreemsete temperatuuride prognoosimisel lihtsast kuu maksimaalsete ja minimaalsete temperatuuride erinevusest. Tabelis 11 on esitatud kuu maksimaalsete temperatuuride muutus kahe perioodi ja kahe stsenaariumi puhul. Tulemused on erinevate stsenaariumite ja perioodide jaoks erinevad, toome siinkohal välja üldisemad suundumused sajandi lõpu projektsioonide RCP8.5 stsenaariumi puhul.

Maksimaalsed temperatuurid kasvavad kohati rohkem kui keskmised temperatuurid, mida käsitleti tabelis 7, näiteks veebruaris 5,17 °C keskmine vs 6,6 °C maksimaalne, juuni 3,9 °C keskmine vs 5,3 °C maksimaalne. Samas ei saa seda tendentsi välja tuua kõikide kuude jaoks. Talvekuudel ületab maksimaalse temperatuuri kasv minimaalse temperatuuri kasvu, teistel aastaaegadel on tulemus vaheldusrikkam. Kuude lõikes esineb kõige väiksem maksimumi kasv märtsis ja septembris,

vastavalt 1,1 ja 2,0 °C, mis on mõlemad väiksemad mistahes kuu minimaalsest maksimumi tõusust. Keskmised maksimaalsed väärtused tõusevad vahemikus 2,6 kuni 4,9 °C.

Ülevaate kuu miinimumtemperatuuride muutust annab tabel 12. Kuu minimaalsete temperatuuride muudus on näha vähem varieeruvust kui maksimaalsetes, keskmine minimaalne temperatuur tõuseb vahemikus 2,7 kuni 3,9 °C.

Tabel 11: Kuu maksimaalsete temperatuuride (°C) absoluutsed muutused võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. Esitatud on vastavalt 30 aasta keskmine, minimaalne ja maksimaalne kuu maksimaalse temperatuuri muutus.

Periood		2041-2070	2071-2100	2041-2070	2071-2100
Stsenaarium		RCP4.5		RCP8.5	
Dets	keskmine	1,9	2,4	2,2	3,5
Dets	maksimaalne	1,7	2,3	2,2	4,0
Dets	minimaalne	2,0	2,7	2,5	3,7
Jaan	keskmine	1,6	2,4	2,2	3,7
Jaan	maksimaalne	1,0	1,9	2,1	3,8
Jaan	minimaalne	2,1	1,8	2,6	3,3
Veeb	keskmine	1,3	2,4	2,4	4,5
Veeb	maksimaalne	1,5	4,0	2,7	<b>6,6</b>
Veeb	minimaalne	0,7	1,6	1,2	2,3
Märts	keskmine	2,8	4,0	3,6	4,9
Märts	maksimaalne	-0,5	2,1	0,1	1,1
Märts	minimaalne	1,8	3,0	2,9	4,6
Apr	keskmine	1,6	2,8	2,1	3,6
Apr	maksimaalne	1,5	1,7	1,1	3,0
Apr	minimaalne	0,8	4,0	2,5	4,5
Mai	keskmine	1,7	2,1	1,7	3,1
Mai	maksimaalne	2,3	2,5	2,4	3,4
Mai	minimaalne	1,0	0,9	1,2	2,5
Juuni	keskmine	1,5	1,7	1,3	3,2
Juuni	maksimaalne	3,1	1,9	2,4	<b>5,3</b>
Juuni	minimaalne	1,6	1,5	2,9	2,4
Juuli	keskmine	1,7	1,8	1,7	3,8
Juuli	maksimaalne	2,7	1,0	2,8	2,9
Juuli	minimaalne	1,7	1,3	0,3	3,0
Aug	keskmine	1,3	1,6	1,3	3,4
Aug	maksimaalne	3,9	2,3	1,3	3,1
Aug	minimaalne	0,6	1,6	0,7	2,7
Sept	keskmine	1,5	1,2	2,4	3,9
Sept	maksimaalne	-0,5	0,2	1,1	2,0
Sept	minimaalne	1,4	0,6	2,4	4,3
Okt	keskmine	1,0	1,3	1,4	2,6
Okt	maksimaalne	1,7	1,4	1,9	3,6
Okt	minimaalne	1,6	2,2	2,4	3,4
Nov	keskmine	1,7	2,1	2,2	3,3
Nov	maksimaalne	1,1	1,7	2,7	3,6
Nov	minimaalne	2,1	2,2	1,8	3,4

Tabel 12: Kuu minimaalsete temperatuuride (°C) absoluutsed muutused võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. Esitatud on vastavalt 30 aasta keskmine, minimaalne ja maksimaalne kuu minimaalse temperatuuri muutus.

Periood		2041-2070	2071-2100	2041-2070	2071-2100
Stsenaarium		RCP4.5		RCP8.5	
Dets	keskmine	1,9	2,3	2,1	3,5
Dets	maksimaalne	1,7	1,7	1,7	3,6
Dets	minimaalne	2,0	2,4	1,4	3,4
Jaan	keskmine	1,7	2,4	2,3	3,7
Jaan	maksimaalne	1,3	2,5	2,1	3,3
Jaan	minimaalne	1,4	2,2	3,0	<b>4,5</b>
Veeb	keskmine	1,3	2,1	2,1	3,5
Veeb	maksimaalne	1,2	2,0	2,4	4,0
Veeb	minimaalne	0,2	0,8	1,1	2,0
Märts	keskmine	1,9	2,6	2,6	3,7
Märts	maksimaalne	-0,8	0,8	0,6	<b>0,7</b>
Märts	minimaalne	1,3	2,1	1,6	3,9
Apr	keskmine	1,5	2,6	2,2	3,8
Apr	maksimaalne	2,5	3,1	2,3	3,4
Apr	minimaalne	1,1	2,8	2,4	4,0
Mai	keskmine	1,5	2,3	1,7	3,5
Mai	maksimaalne	1,0	1,4	2,5	3,7
Mai	minimaalne	1,8	1,6	1,5	3,0
Juuni	keskmine	1,1	1,7	1,4	2,7
Juuni	maksimaalne	0,0	1,4	0,2	3,2
Juuni	minimaalne	1,4	1,8	2,2	2,9
Juuli	keskmine	1,4	1,5	1,5	3,3
Juuli	maksimaalne	1,4	1,1	2,9	2,7
Juuli	minimaalne	1,8	1,8	1,4	3,2
Aug	keskmine	1,3	1,5	1,6	3,1
Aug	maksimaalne	2,4	1,9	1,7	3,8
Aug	minimaalne	1,0	2,0	1,5	3,4
Sept	keskmine	1,6	1,9	2,3	3,9
Sept	maksimaalne	1,6	1,9	2,4	3,8
Sept	minimaalne	2,0	2,4	3,0	3,9
Okt	keskmine	1,5	2,0	2,1	3,4
Okt	maksimaalne	1,6	2,0	2,4	<b>4,3</b>
Okt	minimaalne	2,0	2,3	2,1	3,6
Nov	keskmine	1,8	2,2	2,2	3,3
Nov	maksimaalne	1,9	2,0	2,3	3,8
Nov	minimaalne	2,5	2,9	2,5	3,2

## 5.5.2 Sademete äärmusväärtused

EURO-CORDEX ansambli alusel analüüsiti ööpäevas 30 mm ületavate sademete tõenäosust (tabel 13). Tabeli viimases veerus on näidatud 30 mm ületavate sademete esinemise tõenäosus kindlas punktis kindlal päeval terve ala keskmisena. Kõigi aastaaegade summaarne tõenäosus jääb natuke alla Tammets ja Mätlik (2012) toodud väärtusele 85 %. Arvestades, et mudelite puhul on arvestatud ka Eestit ümbritsevad merealad, on arvutuslikud väärtused siiski piisavalt realistlikud. Mudelid prognoosivad mõlema perioodi ja kõigi aastaaegade kohta suurte sadude esinemise suhtelist kasvu. Külma aastaaja korral on siiski tegemist niivõrd harva sündmusega, et selle esinemise sageduse muutuse olulisus on küsitav.

*Tabel 13: Ööpäevas 30 mm ületavate sademete esinemise sageduse projitseeritud suhtelised muutused (valem 2 lk 27) aastaaegade, stsenaariumite ja prognoositud perioodide kaupa. Kontroll näitab sündmuse esinemise tõenäosust kindlas punktis ühel päeval kontrollperioodil 1971-2000.*

Periood	2041-2070	2071-2100	2041-2070	2071-2100	
Stsenaarium	RCP4.5		RCP8.5		kontroll
SON	188 %	184 %	174 %	245 %	0,16 %
DJV	201 %	141 %	231 %	435 %	0,01 %
MAM	158 %	207 %	209 %	244 %	0,08 %
JJA	124 %	137 %	139 %	165 %	0,54 %

## 5.6 Läänemeri

### 5.6.1 Merevee pinnatemperatuur

Vastavalt BACC (2008) hinnangutele suureneb merepinna temperatuur aastateks 2071-2100 2,9 °C ansambli keskmisena võrreldes perioodiga 1961-1990. Merepinna temperatuuri kasv on suurim mais ja juunis ning väljendub kõige rohkem Läänemere lõuna- ja keskosas. Meier jt. (2011) on saanud stsenaariumiga SRES-A1B (sarnane RCP6-ga, mis jääb RCP4.5 ja RCP8.5 vahele) merepinna temperatuuri suurimad tõusud kevadisel ajal Botnia lahel ja Soome lahel. Samuti on nad modelleerimiste abil saanud perioodi 2061-2090 merepinna temperatuurid, võrreldes perioodiga 1970-1999, Eesti rannikuvetes talvel ja kevadel 2,1-2,8 °C kõrgemad ning suvel ja sügisel 1,0-2,0 °C kõrgemad. Soojenemine on suurem Soome lahes. Uuematel stsenaariumitel põhinevaid hinnanguid ning BACC raporti uuemat versiooni pole käesoleva tehnilise raporti ajaks veel ilmunud.

### 5.6.2 Merevee tase

Merevee taseme tõus on globaalselt üks olulisemaid kliimamuutusega kaasnevaid mõjureid, suurendades üleujutusohu paljudes rannikupiirkondades. AR5 aruandes on globaalse merepinna tõusu prognoosid võrreldes AR4-ga tõusnud, peamiselt tänu paranenud mandrijää sulamise arvestamisele. Kuid isegi praegu on Gröönimaa ja Antarktika jääkilbi võimaliku sulamise osas kaunis suur määramatus.

Keskmiseks maailmamere taseme tõusuks aastateks 2081-2100 prognoosib IPCC AR5 stsenaariumi RCP4.5 korral 32-63 cm (tabel 6) ja RCP8.5 korral 45-82 cm, kusjuures aastaks 2100 tõus jätkub ja RCP8.5 järgi on see 52-98 cm.

Läänemere veetasel mõjutavad lisaks maailmamere tasemele jääaja järgne maapinna taseme tõus, muutused keskmises tuulisuses, merevee soolsuses ja temperatuuris. Meier jt., (2011) järgi on veetaseme kõrguse kohalik muutus Läänemeres kõige kõrgem just Soome lahes ja Riia lahes, lisades 6-8 cm suhtelist tõusu. See uuring ei võta arvesse maapinna taseme tõusu, mis on ca 1 mm Pärnus, üle 2 mm Hiiumaal ja muutub veel suuremaks loode suunas liikudes, saavutades maksimumi ca 9 mm Botnia lahe põhjaosas Rootsi ranniku lähedal (Ekman, 1996). Seega, kohalik suhteline muutus Meier jt. (2011) järgi ja maapinna taseme tõus on Eesti läänerannikul teineteist tasakaalustava mõjuga ning arvestada tuleb peamiselt globaalse keskmise tõusuga. Isegi juhul, kui realiseerub RCP4.5 stsenaariumi kohane keskmine merepinna taseme tõus, kujutab see Pärnu linnale koosmõjus tormiajudega arvestatavat ohtu, rääkimata RCP8.5-ga kaasnedes võivast kuni 1 m globaalsest merepinna tõusust. Veel enam, isegi RCP2.6 kohane globaalne tõus 26-55 cm, kujutab endast arvestatavat ohutegurit.

### 5.6.3 Merejää

Hiljutine, AR5 stsenaariumitele vastav Läänemere jää modelleerimine (Luomaranta jt., 2014) näitab, et vastavalt stsenaariumile RCP4.5 oleks 2040. aastate tüüpilisel talvel Läänemere jääga kaetus vähenenud. Soome lahe rannikualad, Väinameri ja Liivi laht on endiselt jääs, kuid jää paksus on kahanenud kaks kuni kolm korda. 2080. aastateks on Läänemere jääga kaetus veelgi vähenenud. Väinameri ja Liivi laht on peaaegu jäävabad, kuid Soome lahe rannikualad endiselt jääga kaetud. Vastavalt stsenaariumile RCP8.5 on 2040. aastate jääga kaetus pisut väiksem kui RCP4.5 puhul, kuid siiski üsna sarnane optimistlikuma stsenaariumiga. 2080. aastate tüüpilisel talvel on aga enamuse Läänemerest jäävaba. Jää tekiks ainult Botnia lahel, paksusega 30-40 cm ja Soome lahe kirdeosas, paksusega 0-10 cm. Prognoositud jää ulatus Läänemerel aastaks 2085 on RCP4.5 korral 75 000 km<sup>2</sup> (30 000 km<sup>2</sup> - 140 000 km<sup>2</sup>) ja RCP8.5 korral 45 000 km<sup>2</sup> (23 000 km<sup>2</sup> - 70000 km<sup>2</sup>), võrreldes praeguse keskmisega 115 000 km<sup>2</sup>.

## 6 Kliimaprojektsioonide tõlgendamine

Kliima on Maa ajaloo jooksul olnud pidevas muutumises ning kuigi tänapäeval osatakse selgitada ja isegi kvantitatiivselt kirjeldada valdavat osa kliimat mõjutavaid üksikprotsesse, ei suudeta kõiki neid protsesse kas omavahel piisavalt hästi siduda, puuduvad piisavad mõõtmisandmed nende täpseks kirjeldamiseks või on tegemist olemuslikult kaootiliste protsessidega. Püüded kliimasüsteemi kvantitatiivselt kirjeldada on realiseerunud arvutimudelites, mille areng on viimaste aastakümnete jooksul olnud kiire ja vastav teadussuund saab üha rohkem investeringuid.

Tänapäeval ollakse tasemel, kus globaalsed kliimasimulatsioonid saavad hästi hakkama lähiminekliku kliima tähtsamate omaduste esitamisega globaalsel tasandil, kuid regionaalsel tasandil jäävad tulemused sageli ebamäärasemaks ja mudelite vahel esinevad suured erinevused.

Veel enam muutub olukord keeruliseks, kui proovime kirjeldada tuleviku kliimat, sest siin lisandub kliimasüsteemi enda keerukusele veel välise mõjurite määramatus. Viimaste alla kuuluvad looduslikud tegurid nagu Päikese aktiivsuse muutus ja vulkaaniline tegevus, kuid üha enam ka inimtegevus. Inimtegevus ei mõjuta mitte lihtsalt atmosfääri koostist, sinna kasvuhoonegaase lisades, vaid maakasutuse muutuse kaudu avaldatakse mõju näiteks veeringele. Kuigi maakasutuse

mõju arvatakse olevat ennekõike lokaalne, võib vihmametsade kadumine mõjutada globaalset atmosfääri tsirkulatsiooni. Ning isegi, kui me oskaksime täpselt kirjeldada mitmesuguste inimtegevuste tulemuste mõju kliimasüsteemile, ei oska me täpselt prognoosida neid inimtegevusi endid.

Seega on kliimasüsteemi mõistmisega seotud määramatused tingitud paljudest erinevatest faktoritest ning võib eeldada, et nii kliima modelleerimise arenemisega kui ka ühiskondlike protsesside parema mõistmisega muutuvad praegustega võrreldes järgmiste aastakümnete jooksul tehtavad kliimaprojektsioonid 21. sajandi lõpu kohta. Siiski võib kliimasüsteemis eristada robustsemaid ja vähem kaootilisi seoseid kaootilisematest.

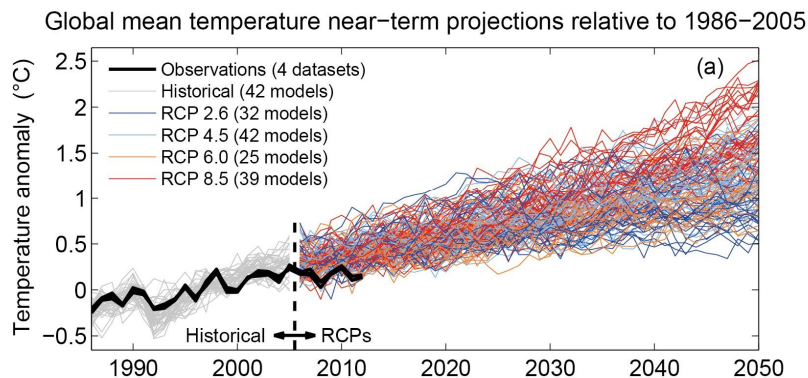
Järgnevaga annamegi lühikese hinnangu raportis toodud järelduste paremaks mõistmiseks. Esitatud hinnangud tulemuste usaldusvärsusele on kooskõlas IPCC vastavate hinnangutega.

## Temperatuur

Temperatuuri muutus aluspinna lähedal on otseselt seostatav kasvuhoonegaaside põhjustatud lisanduva pikalainelise kiirgusega ning tegemist on esimese ja kõige paremini mõistetud kliima muutumise osaga. Seega võib vähemasti globaalsel tasandil peaaegu kindlalt eeldada, et kasvuhoonegaaside lisamine atmosfääri põhjustab temperatuuri tõusu. Seda eeldust kinnitavad ka globaalsed temperatuuri mõõtmised, mille alusel on valdav osa teadlasi veendunud, et suurem osa 20. sajandi teisel poolel aset leidnud globaalsest temperatuuri tõusust on seostatav just inimtegevusest põhjustatud kasvuhoonegaaside kontsentratsiooni kasvuga.

Keerulisem on temperatuuri tõusu simuleerimine regiooniti, kuid ka siin tundub peamiselt mudelite abil saadud hinnang viitavat, et temperatuuri kasv on suurem kõrgetel laiustel. Ka Eesti jääb piirkonda, kus temperatuuri kasv on eeldavalt suurem kui globaalne keskmine. Samas muudab siinse olukorra hindamise keerulisemaks asjaolu, et Eesti temperatuur ei ole määratud mitte globaalse keskmisega, vaid on mõjutatud tsirkulatsioonimustrist – kas valitsevaks on Siberi kõrgrõhkkond või Atlandilt tulevad tsüklonid. Kokkuvõttes võib siiski öelda, et Eesti kohta käiv temperatuuri muutuse prognoos – kasv suurem kui globaalne keskmine ja aastaegade lõikes pigem talvel ja kevadel, on praeguste teadmiste kohaselt parim võimalik ning ei saa eeldada, et see lähiajal palju muutuks. Keerulisem on aga prognoosida temperatuuri kasvu täpset ulatust ja selle illustreerimiseks kasutame IPCC viimasest aruandest pärinevat lühiajalist kliimaprognosi (joonis 18).

Joonis näitab üsna üheselt, et mudelid on ülehinnanud 21. sajandi alguse temperatuuri kasvu ning sellest tõsiasjast tulenevalt on ka AR5 välja toodud kliimasüsteemi tasakaaluline tundlikkus – temperatuuri kasv CO<sub>2</sub> kahekordistumisel – muutnud vahemikku võrreldes AR4-ga suuremaks. Temperatuuri muutuse vahemik räägib ise enda eest.



Joonis 18: IPCC AR5 lühiajaline kliimaprognosis.

### Sademed

Üks globaalse temperatuuri tõusuga otseselt kaasnev nähtus on suurem aurumine aluspinnalt, mis isenesest toob kaasa intensiivsema veeringe ja suurenenud globaalse sademete hulga. Samas on tunduvalt keerulisem määrata regionaalset sademete jaotust. Kuigi praegu määratakse Eesti piirkonda, kus aastaringelt on oodata pigem sademete hulga kasvu, on juba meist mitte kaugele jäävas Kesk-Euroopas võimalik sademete hulga vähenemine. Seega on võimalik, et tulevikus tehtavate kliimaprojektsioonide kohaselt see piir, mis eraldab sademete suurenemisega piirkondi sademete vähenemisega piirkondadest, muutub nii palju, et muutuvad ka Eesti kohta tehtavad projektsioonid.

### Tuulisus

Tuule kohta käivaid projektsioone loetakse üldiselt ebakindlateks ning siinkohal on raske öelda, millises suunas tulevikus tehtavad projektsioonid võiksid erineda praegustest.

### Aluspinnale langev lühilaineline kiirgus

Seotud otseselt pilvisusega ja määramatus on kokkuvõttes sarnane sademete kohta esitatuga.

### Lumikate

Lumikatte kestus ja lume kogus on määratud põhiliselt temperatuuri ja sademetega. Kõrgem temperatuur ühest küljest vähendab lumikatte kestust ja akumulatsiooni perioodi, samas kui intensiivsemad sademed võivad kaasa tuua lühiajaliselt suuremaid lumekoguseid. Siinkohal võib eeldada, et sademete projektsioonide muutus või täpsustamine toob kaasa nii akumulatsioonide muutuse kui ka sellest tulenevate kevadiste suurvete hinnangu muutuse.

Lumikatte kestuse lühenemise peamiseks tagajärjeks võib olla suvise põuaperioodi pikenemine, juhul kui varase lume sulamisega talvele järgneb sademetevaene suvi. Suvise põuaperioodi pikenemine koos suurenenud temperatuuridega võib kujuneda tõsiseks riskiks ja see probleem vajab eraldi pikemat käsitlemist.



## Merevee tase ja jää ulatus

Läänemere tase on otseselt seotud globaalse merepinna tasemega. Viimane on omakorda nii otseselt kui kaudselt seotud globaalse temperatuuriga. Otseselt on sellega seotud ookeanide soojuspaisumine, mis kaasneb merevee temperatuuri tõusuga erinevates ookeani kihtides. Vee soojenemisega ei ole kaugeltki kõik selge, näiteks ei osata täpselt kirjeldada soojema vee laskumist sügavamatesse ookeani kihtidesse, kuna selle kirjeldamiseks vajalikke globaalseid mõõtmisi lihtsalt ei ole piisavalt. Siiski on kindel, et vee soojenemine on toimunud ja sellega on kaasnenud ka kiirenenud merepinna taseme tõus 20. sajandi lõpus. Samuti on kindel, et see soojenemine ja kaasnev merepinna tõus jätkuvad ka 21. sajandil. Keerulisem protsess on mandrijää ja liustike sulamine, mis on ühest küljest seotud temperatuuriga, kuid ka jää dünaamikaga ja akumulatsioonide tahkete sademetega. Eesti jääb õnneks piirkonda, kus maapinna tase kerkib ja see on seniajani kas kompenseerinud (Pärnu) või ületanud globaalset merepinna taseme tõusu (Ristna). Samas peab arvestama ka teiste teguritega, nagu keskmise tuulisuse muutus ja magevee suurenev sissevool. Seega, kuigi merepinna tasemes Eesti rannikul on palju määramatust, tuleb siiski arvestada globaalse signaaliga, mis viitab merepinna tõusule ka kõige nõrgema kasvuhooonegaaside stsenaariumi korral.

Läänemere jää ulatus on statistiliste uuringute kohaselt heas korrelatsioonis temperatuuriga ja seega võib eeldada, et selle prognoositavus on samas suurusjärgus temperatuuri prognoosidega.

## Sisevete temperatuur ja tase

Sisevete käitumine on kõige otsesemalt mõjutatud sademetest ja aurumisest. Kuna sademete prognoosimises on palju ebamäärast, kandub see paratamatult üle ka kõigisse sisevetega seotud protsessidesse ja muudab sisevetes toimuvate muutuste prognoosimise väga ebamääraseks. Lisaks ei ole Eesti kohta hetkel saadaval viimaste IPCC mudelite alusel tehtud sisevete modelleerimisi, mis tähendab, et olemasolevad andmed on sisuliselt vananenud ja see vähendab nende kasutatavust veelgi.

## Viited

- Alexandersson, H., Vedin, H. (2002). "Stormar det mera nu? (Do we have more storms today?)" In: *Väder och Vatten* 10, p. 18.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J.P., eds. (2008). In: *Climate Change and Water*. IPCC Secretariat, Geneva,
- Debernard, J.B., Røed, L.P. (2008). "Future wind, wave and storm surge climate in the Northern Seas: a revisit". In: *Tellus A* 60.3, pp. 427–438.
- Chen, D., Achberger, C., Räisänen, J., Hellström, C. (2006). "Using statistical downscaling to quantify the GCM-related uncertainty in regional climate change scenarios: A case study of Swedish precipitation". English. In: *Advances in Atmospheric Sciences* 23.1, pp. 54-60. issn: 0256-1530 doi: [10.1007/s00376-006-0006-5](https://doi.org/10.1007/s00376-006-0006-5).
- Collins, M., Soon-Il, A., Cai, W., Ganachaud, A., Guilyardi, E., Jin, F-F., Jochum, M., Lengaigne, M., Power, S., Timmermann, A., Vecchi, G., Wittenberg, A. (2010). "The impact of global warming on the tropical Pacific Ocean and El Niño". In: *Nature Geoscience* 3.6, pp. 391–397.
- Donat, M.G., Leckebusch, G.C., Pinto, J.G., Ulbrich, U. (2010a). "European storminess and associated circulation weather types: future changes deduced from a multimodel ensemble of GCM simulations". In: *Climate Research* 42.1, pp. 27–43.
- (2010b). "Examination of wind storms over Central Europe with respect to circulation weather types and NAO phases". In: *International Journal of Climatology* 30.9, pp. 1289– 1300.
- Dufresne, J.-L., Bony, S. (2008). "An assessment of the primary sources of spread of global warming estimates from coupled oceanatmosphere models". In: *J. Climate* 21, pp. 5135– 5144.
- Ekman, M. (1996). "A consistent map of the postglacial uplift of Fennoscandia". In: *Terra Nova* 8.2, pp. 158-165. issn: 1365-3121 doi: [10.1111/j.1365-3121.1996.tb00739.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.1996.tb00739.x).
- Emanuel, Kerry (2003). "TROPICAL CYCLONES". In: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 31.1, pp. 75–104. doi: [10.1146/annurev.earth.31.100901.141259](https://doi.org/10.1146/annurev.earth.31.100901.141259).
- Flato, G.M. (2011). "Earth system models: an overview". In: *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 2, pp. 783–800.
- Folland, C.K., Karl, T.R., Christy, J.R., Clarke, R.A., Gruza, G.V., Jouzel, J., Mann, M.E., Oerlemans, J., Salinger, M.J., Wang, S-W. (2001). "Observed Climate Variability and Change." In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ed. by Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom ja New York, NY, USA, p. 881.
- Gastineau, G., Soden, B.J. (2009). "Model projected changes of extreme wind events in response to global warming". In: *Geophysical Research Letters* 36.10, n/a–n/a. issn: 19448007. doi: [10.1029/2009GL037500](https://doi.org/10.1029/2009GL037500).
- Goodess, C., Jacob, D., Déqué, M., Gutiérrez, J., Huth, R., Kendon, E., Leckebusch, G., Lorenz, P., Pavan, V. (2009). *ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Tech. rep. Met Office Hadley Centre.

- Goosse, H., Lefebvre, W., de Montety, A., Cresspin, E., Orsi, A.H. (2009). "Consistent past half-century trends in the atmosphere, the sea ice and the ocean at high southern latitudes". In: *Climate Dynamics* 33.7-8, pp. 999–1016.
- Graff, L.S., LaCasce, J.H (2012). "Changes in the extratropical storm tracks in response to changes in SST in an AGCM". In: *Journal of Climate* 25.6, pp. 1854–1870.
- Gulev, S.K., Zolina, O., Grigoriev, S. (2001). "Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data". In: *Climate Dynamics* 17.10, pp. 795–809.
- Hartmann, D.L., Klein Tank, A.M.G., Rusticucci, M., Alexander, L.V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F.J., Dlugokencky, E.J., Easterling, D.R., Kaplan, A., Soden, B.J., Thorne, P.W., Wild, M., Zhai, P.M. (2013). "Observations: Atmosphere and Surface". In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ed. by Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. Cambridge, United Kingdom ja New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Hazeleger, W., Severijns, C., Semmler, T., Ștefănescu, S., Yang, S., Wang, X., Wyser, K., Dutra, E., Baldasano, J.M., Bintanja, R., Bougeault, P., Caballero, R., Ekman, A.M.L., Christensen, J.H., van den Hurk, B., Jimenez, P., Jones, C., Kållberg, P., Koenigk, T., McGrath, R., Miranda, P., van Noije, T., Palmer, T., Parodi, J.A., Schmith, T., Selten, F., Storelvmo, T., Sterl, A., Tapamo, H., Viterbo, M.V.P., Willén, U. (2010). "EC-Earth: A seamless Earth-system prediction approach in action". In: *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 91, pp. 1357–1363. doi: [DOI:10.1175/2010BAMS2877.1](https://doi.org/10.1175/2010BAMS2877.1).
- Haywood, J. M., Bellouin, A.J., Boucher, O., Wild, M., Shine, K.P. (2011). "The roles of aerosol, water vapor and cloud in future global dimming/brightening". In: *J. Geophys. Res.* 116.D20203. doi: [doi:10.1029/2011JD016000](https://doi.org/10.1029/2011JD016000).
- Hegerl, G.C., Zwiers, F.W., Braconnot, P., Gillett, N.P., Luo, Y., Marengo Orsini, J.A., Nicholls, N., Penner, J.E., Stott, P.A (2007). "Understanding and Attributing Climate Change". In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ed. by Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. Cambridge, United Kingdom ja New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 663–745.
- Hirschi, M., Seneviratne, S.I., Alexandrov, V., Boberg, F., Boroneant, C., Christensen, O.B., Formayer, H., Orłowsky, B., Stepanek, P. (2011). "Observational evidence for soil-moisture impact on hot extremes in southeastern Europe". In: *Nature Geoscience* 4.1, pp. 17–21.
- Hundecha, Y., St-Hilaire, A., Ouarda, T.B.M.J., El Adlouni, S., Gachon, P. (2008). "A nonstationary extreme value analysis for the assessment of changes in extreme annual wind speed over the Gulf of St. Lawrence, Canada". In: *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 47.11, pp. 2745–2759.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ed. by Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. Cambridge, United Kingdom ja New York, NY, USA: Cambridge University Press, p. 996.
- (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on*

- Climate Change*. Ed. by Field, C.P., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G-K., Allen, S.K., Tignor, M., Midgley, P.M. 582. Cambridge, UK ja New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ed. by Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. Cambridge, United Kingdom ja New York, NY, USA: Cambridge University Press, p. 1535.
- Jaagus, J. (1992). "Periodicity of precipitation in Estonia." In: *Man and Nature*. Ed. by Kaare, T. Estonian Geographical Society, pp. 43–53.
- (1997). "The impact of climate change on the snow cover pattern in Estonia". English. In: *Climatic Change* 36.1-2, pp.65-77. issn:0165-0009 doi: [10.1023/A:1005304720412](https://doi.org/10.1023/A:1005304720412).
- (2006). "Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation." In: *Theor. Appl. Climatol.* 83, pp. 77–88.
- Jaagus, J., Järvet, A., Roosaare, J. (1998). *Modelling the influence of climate change on river runoff. Country case study on climate change impacts and adaptation assessments in the Republic of Estonia*. Report to the UNEP/GEF project No. GF/2200-96-45 (Eds. Tarand, A., Kallaste, T.). Tallinn, Stockholm Environment Institute.
- Jaagus, J., Tarand, A. (1998). "Precipitation. Periodical fluctuations and a seasonal shift. Country case study on climate change impacts and adaptation assessments in the Republic of Estonia." In: *Report to the UNEP/GEF project No GF/2200-96-45*. Ed. by Tarand, A., Kallaste, T. Stockholm Environment Institute, Tallinn Centre, pp. 43–53.
- Jaagus, J. (2003). "Muutused Eesti rannikumere jääoludes 20. sajandi teisel poolel". In: *Publicationes instituti Geographici Universitatis Tartuensis* 93, pp. 143–152.
- Jaagus, J., Ahas, R. (2000). "Space-time variations of climatic seasons and their correlation with the phenological development of nature in Estonia". In: *Climate Research* 15.3, pp. 207–219.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Bøssing Christensen, O., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., Yiou, P. (2014). "EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research". In: *Regional Environmental Change* 14, pp. 563–578. doi: [DOI10.1007/s10113-013-0499-2](https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2).
- Järvet, A., Jaagus, J., Roosaare, J., Tamm, T., Vallner, L. (2000). "Impact of Climate Change on Water Balance Elements in Estonia." In: *Estonia, Geographical Studies* 8. Estonian Academy Publishers, Tallinn, pp. 35–55.
- Keevallik, S. (2003). "Changes in spring weather conditions and atmospheric circulation in Estonia (1955–95)". In: *International journal of climatology* 23.3, pp. 263–270.
- Kent, E.C., Woodruff, S.D., Berry, D.I. (2007). "Metadata from WMO publication no. 47 and an assessment of voluntary observing ship observation heights in ICOADS". In: *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 24.2, pp. 214–234.

- Kjellström, E., Nikulin, G., Hansson, U.L.F., Strandberg, G., Ullerstig, A. (2011). "21st century changes in the European climate: uncertainties derived from an ensemble of regional climate model simulations". In: *Tellus A* 63.1, pp. 24–40.
- Kotlarski, S., Keuler, K., Christensen, O.B., Colette, A., Déqué, M., Gobiet, A., Goergen, K., Jacob, D., Lüthi, D., van Meijgaard, E., Nikulin, G., Schär, C., Teichmann, C., Vautard, R., Warrach-Sagi, K., Wulfmeyer, V. (2014). "Regional climate modeling on European scales: a joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble". In: *Geoscientific Model Development* 7, pp. 1297–1333. doi: [doi:10.5194/gmd-7-1297-2014](https://doi.org/10.5194/gmd-7-1297-2014).
- Laprise, R. (2008). "Regional climate modelling". In: *Journal of Computational Physics* 227, pp. 3641–3666. doi: [doi:10.1016/j.jcp.2006.10.024](https://doi.org/10.1016/j.jcp.2006.10.024).
- Leckebusch, G.C., Renggli, D., Ulbrich, U. (2008). "Development and application of an objective storm severity measure for the Northeast Atlantic region". In: *Meteorologische Zeitschrift* 17.5, pp. 575–587.
- Leckebusch, G.C., Ulbrich, U., Fröhlich, L., Pinto, J.G. (2007). "Property loss potentials for European midlatitude storms in a changing climate". In: *Geophysical Research Letters* 34.5.
- Lehmann, A., Getzlaff, K., Harlaß, J. (2011). "Detailed assessment of climate variability in the Baltic Sea area for the period 1958 to 2009". In: *Climate Research* 46, pp. 185–196. doi: [doi:10.3354/cr00876](https://doi.org/10.3354/cr00876).
- Lohmann, U., Rotstajn, L., Storelvmo, T., Jones, A., Menon, S., Quaas, J., Ekman, A.M.L., Koch, D., Ruedy, R. (2010). "Total aerosol effect: radiative forcing or radiative flux perturbation?" In: *Atmos. Chem. Phys.* 10, pp. 3235–3246. doi: [doi:10.5194/acp-10-3235-2010](https://doi.org/10.5194/acp-10-3235-2010).
- Love, G., Soares, A., Püempel, H. (2010). "Climate Change, Climate Variability and Transportation". In: *Procedia Environmental Sciences* 1. World Climate Conference - 3, pp. 130–145. issn: 1878-0296. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2010.09.010>.
- Luhamaa, A., Kimmel, K., Männik, A., Rõõm, R. (2011). "High resolution re-analysis for the Baltic Sea region during 1965–2005 period". In: *Climate Dyn.* 36, pp. 727–738.
- Luomaranta, A., Ruosteenoja, K., Jylhä, K., Gregow, H., Haapala, J., Laaksonen, A. (2014). "Multimodel estimates of the changes in the Baltic Sea ice cover during the present century". In: *Tellus A* 66, p. 22617. doi: <http://dx.doi.org/10.3402/tellusa.v66.22617>.
- Lynch, A.H., Curry, J.A., Brunner, R.D., Maslanik, J.A. (2004). "Toward an integrated assessment of the impacts of extreme wind events on Barrow, Alaska". In: *Bulletin of the American Meteorological Society* 85.2, pp. 209–221.
- Masui, T., Matsumoto, K., Hijioka, Y., Kinoshita, T., Nozawa, T., Ishiwatari, S., Kato, E., Shukla, P.R., Yamagata, Y., Kainuma, M. (2011). "An emission pathway for stabilization at 6 W m<sup>2</sup> radiative forcing". In: *Climatic Change* 109, pp. 59–76. doi: [DOI10.1007/s10584-011-0150-5](https://doi.org/10.1007/s10584-011-0150-5).
- McCabe, G.J., Clark, M.P., Serreze, M.C. (2001). "Trends in Northern Hemisphere surface cyclone frequency and intensity". In: *Journal of Climate* 14.12, pp. 2763–2768.
- McInnes, K.L., Macadam, I., Hubbert, G.D., O'Grady, J.G. (2009). "A modelling approach for estimating the frequency of sea level extremes and the impact of climate change in southeast Australia". In: *Natural Hazards* 51.1, pp. 115–137.
- McVicar, T.R., Van Niel, T.G., Li, L.T., Roderick, M.L., Rayner, D.P., Ricciardulli, L., Donohue, R.J. (2008). "Wind speed climatology and trends for Australia, 1975–2006: Capturing the stilling

- phenomenon and comparison with near-surface reanalysis output". In: *Geophysical Research Letters* 35.20, n/a–n/a. issn: 1944-8007. doi: [10.1029/2008GL035627](https://doi.org/10.1029/2008GL035627).
- Meier, H.E. Markus, Anders Höglund, Döscher Ralf, Helén Andersson, Ulrike Löptien ja Erik Kjellström (2011). "Quality assessment of atmospheric surface fields over the Baltic Sea from an ensemble of regional climate model simulations with respect to ocean dynamics". In: *OCEANOLOGIA* 53, pp. 193–227.
- Meier, H.E.M., Broman, B., Kallio, H., Kjellström, E. (2006). "Projections of future surface winds sea levels and wind waves in the late 21st century and their application for impact studies of flood prone areas in the Baltic Sea region." In: ed. by Schmidt-Tome, P. Geological Survey of Finland, Helsinki, Finland.
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., Wilbanks, T.J. (2010). "The next generation of scenarios for climate change research and assessment". In: *Nature* 463, pp. 747– 756. doi: [doi:10.1038/nature08823](https://doi.org/10.1038/nature08823).
- Männik, A., Zirk, M., Rõõm, R., Luhamaa, A. (2014). "Climate parameters of Estonia and the Baltic Sea region derived from the high-resolution reanalysis database BaltAn65+". In: *Theor. Appl. Climatol.* accepted for publication.
- Nõges, P., Jaagus, J., Järvet, J., Laas, A., Nõges, T.A. (2012). *Kliimamuutuse mõju veeökosüsteemidele ning põhjaveele Eestis ja sellest tulenevad veeseireprogrammi võimalikud arengusuunad*. Tech. rep. Eesti Maaülikool.
- Nõges, P., Järvet, A. (2005). "Climate driven changes in the spawning of roach (*Rutilus rutilus* (L.)) and bream (*Abramis brama* (L.)) in the Estonian part of the Narva River basin". In: *Boreal Environment Research* 10.1, pp. 45–55.
- Nõges, T. (2009). "Trends in air temperature in Estonia and in water temperature of Estonian large lakes in 1961–2004, possible consequences on water quality." In: *Verh. Internat. Verein. Limnol.*
- Ohvril, H., Teral, H., Neiman, L., Kannel, M., Uustare, M., Tee, M., Russak, V., Okulov, O., Jõeveer, A., Kallis, A., Ohvril, T., Terez, E.I., Terez, G.A., Gushchin, G.K., Abakumova, G.M., Gorbarenko, E.V., Tsvetkov, A.V., Laulainen, N. (2009). "Global dimming and brightening versus atmospheric column transparency, Europe, 1906–2007." In: *Journal of Geophysical Research – Atmospheres* 114, pp. 1–17.
- Orviku, K., Jaagus, J., Kont, A., Ratas, U., Ravis, R. (2003). "Increasing activity of coastal processes associated with climate change in Estonia". In: *Journal of Coastal Research*, pp. 364–375.
- Paciorek, C.J., Risbey, J.S., Ventura, V., Rosen, R.D. (2002). "Multiple indices of Northern Hemisphere cyclone activity, winters 1949-99". In: *Journal of Climate* 15.13, pp. 1573–1590.
- Petoukhov, V., Semenov, V.A. (2010). "A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents". In: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)* 115.D21.
- Pinto, J.G., Fröhlich, E.L., Leckebusch, G.C., Ulbrich, U. (2007). "Changing European storm loss potentials under modified climate conditions according to ensemble simulations of the ECHAM5/MPI-OM1 GCM". In: *Natural Hazards and Earth System Science* 7.1, pp. 165–175.

- Pirazzoli, P.A., Tomasin, A. (2003). "Recent near-surface wind changes in the central Mediterranean and Adriatic areas". In: *International Journal of Climatology* 23.8, pp. 963–973.
- Pryor, S.C., Barthelmie, R.J. (2004a). *Use of RCM simulations to assess the impact of climate change on wind energy availability*.
- Pryor, S.C., Barthelmie, R.J. (2004b). *Use of RCM simulations to assess the impact of climate change on wind energy availability*. Tech. rep. Risø-R-1477(EN) Risø National Laboratory Roskilde Denmark.
- Pryor, S.C., Barthelmie, R.J., Riley, E.S. (2007). "Historical evolution of wind climates in the USA". In: *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 75. 1. IOP Publishing, p. 012065.
- Päädam, K., Post, P. (2011). "Temporal variability of precipitation extremes in Estonia 1961–2008". In: *Oceanologia* 53, pp. 245–257.
- Randall, D.A., Wood, R.A., Bony, S., Colman, R., Fichefet, T., Fyfe, J., Kattsov, V., Pitman, A., Shukla, J., Srinivasan, J., Stouffer, R.J., Sumi, A., Taylor, K.E. (2007). "Climate Models and Their Evaluation". In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ed. by Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. Cambridge, United Kingdom ja New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 589–662.
- Reihan, A., Kriauciuniene, J., Meilutyte-Barauskiene, D., Kolcova, T. (2012). "Temporal variation of spring flood in rivers of the Baltic States". In: *Hydrology Research* 43.4, pp. 301–314.
- Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N., Rafaj, P. (2011). "RCP8.5 – A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions". In: *Climatic Change* 109, pp. 33–57. doi: [DOI10.1007/s10584-011-0149-y](https://doi.org/10.1007/s10584-011-0149-y).
- Rockel, B., Woth, K. (2007). "Extremes of near-surface wind speed over Europe and their future changes as estimated from an ensemble of RCM simulations". In: *Climatic Change* 81.1, pp. 267–280.
- Rummukainen, M. (2010). "State-of-the-art with regional climate models". In: *WIREs Climate Change* 1, pp. 82–96.
- Russak, V., Kallis, A. (2003). *Eesti kiirguskliima teatmik*. Ed. by Heino Tooming. Tallinn: Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut.
- Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Döscher, R., Graham, L.P., Jones, C., Meier, M., Samuelsson, P., Willén, U. (2003). *GCM driven simulations of recent and future climate with the Rossby Centre coupled atmosphere – Baltic Sea regional climate model RCAO*. Tech. rep. 101. Rossby Centre.
- Räisänen, J., Eklund, J. (2012). "21st Century changes in snow climate in Northern Europe: a high-resolution view from ENSEMBLES regional climate models". English. In: *Climate Dynamics* 38.11-12, pp. 2575-2591 issn: 0930-7575 doi: [10.1007/s00382-011-1076-3](https://doi.org/10.1007/s00382-011-1076-3).
- Schmidli, J., Goodess, C.M., Frei, C., Haylock, M.R., Hundscha, Y., Ribalaygua, J., Schmith, T. (2007). "Statistical and dynamical downscaling of precipitation: An evaluation and comparison of scenarios for the European Alps". In: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 112.D4. D04105, n/a-n/a. issn: 2156-2202 doi: [10.1029/2005JD007026](https://doi.org/10.1029/2005JD007026).
- Seneviratne, S.I., Corti, T., Davin, E.L., Hirschi, M., Jaeger, E.B., Lehner, I., Orlowsky, B., Teuling, A.J. (2010). "Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review". In:

- Earth-Science Reviews* 99.3–4, pp. 125– 161. issn: 0012-8252. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004>.
- Sepp, M., Post, P., Jaagus, J. (2005). “Long-term changes in the frequency of cyclones and their trajectories in Central and Northern Europe.” In: *Nordic Hydrology* 36, pp. 297– 309.
- Simmonds, I., Keay, K. (2002). “Surface fluxes of momentum and mechanical energy over the North Pacific and North Atlantic Oceans”. In: *Meteorology and Atmospheric Physics* 80.1-4, pp. 1–18.
- “Sea Level Change and Coastal Processes: Implications for Europe.” (2000). In: ed. by Smith, D.E., Raper, S.B., Zerbini, S., Sánchez-Arcilla, A. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, p. 247.
- Smits, A., Klein Tank, A.M.G., Können, G.P. (2005). “Trends in storminess over the Netherlands, 1962–2002”. In: *International Journal of Climatology* 25.10, pp. 1331–1344. issn: 1097-0088 doi: [10.1002/joc.1195](https://doi.org/10.1002/joc.1195).
- Stanhill, G., Cohen, S. (2001). “Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences”. In: *Agricultural and Forest Meteorology* 107, pp. 255–278. doi: [doi:10.1016/S0168-1923\(00\)00241-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00241-0).
- Stegall, S.T., Zhang, J. (2012). “Wind field climatology, changes, and extremes in the Chukchi–Beaufort Seas and Alaska North Slope during 1979–2009”. In: *Journal of Climate* 25.23, pp. 8075–8089.
- Steger, C., Kotlarski, S., Jonas, T., Schär, C. (2013). “Alpine snow cover in a changing climate: a regional climate model perspective”. English. In: *Climate Dynamics* 41.3-4, pp. 735-754. issn: 0930-7575 doi: [10.1007/s00382-012-1545-3](https://doi.org/10.1007/s00382-012-1545-3).
- Sterl, A., van den Brink, H., de Vries, H., Haarsma, R., van Meijgaard, E. (2009). “An ensemble study of extreme storm surge related water levels in the North Sea in a changing climate”. In: *Ocean Science* 5.3, pp. 369–378.
- Suursaar, Ü., Sooäär, J. (2007). “Decadal variations in mean and extreme sea level values along the Estonian coast of the Baltic Sea”. In: *Tellus A* 59.2, pp. 249–260. issn: 1600-0870. doi: [10.1111/j.1600-0870.2006.00220.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2006.00220.x).
- Zhang, X., Walsh, J.E., Zhang, J., Bhatt, U.S., Ikeda, M. (2004). “Climatology and interannual variability of Arctic cyclone activity: 1948-2002”. In: *Journal of Climate* 17.12, pp. 2300–2317.
- Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G.C., Jones, P., Klein Tank, A., Peterson, T.C., Trewin, B., Zwiers, F.W. (2011). “Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data”. In: *WIREs Climate Change* 2, pp. 851–870. doi: [DOI:10.1002/wcc.147](https://doi.org/10.1002/wcc.147).
- Zhang, Y., Liu, C., Tang, Y., Yang, Y. (2007). “Trends in pan evaporation and reference and actual evapotranspiration across the Tibetan Plateau”. In: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)* 112.D12.
- Zipser, E.J., Liu, C., Cecil, D.J., Nesbitt, S.W., Yorty, D.P. (2006). “Where are the most intense thunderstorms on Earth?” In: *Bulletin of the American Meteorological Society* 87.8, pp. 1057–1071.
- Tammets, T. (2012). “Eesti ilma riskid”. In: ed. by Tammets, T., Kallis, A. Eesti Entsüklopeediakirjastus koos Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudiga. Chap. Kõrge õhutemperatuur, pp. 95–102.



- Tammets, T., Jaagus, J. (2013). "Climatology of precipitation extremes in Estonia using the method of moving precipitation totals". In: *Theor. Appl. Climatol.* 111, pp. 623–639. doi: [DOI10.1007/s00704-012-0691-1](https://doi.org/10.1007/s00704-012-0691-1).
- Tammets, T., Mätlik, O. (2012). "Eesti ilma riskid". In: ed. by Tammets, T., Kallis, A. Eesti Entsüklopeediakirjastus koos Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudiga. Chap. Suured sajud, pp. 46–56.
- Tarand, A., Jaagus, J., Kallis, A. (2013). *Eesti kliima minevikus ja tänapäeval*. Tartu Ülikooli Kirjastus.
- Taylor, K.E., Stouffer, R.J., Meehl, G.A. (2012). "An overview of CMIP5 and the experiment design". In: *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, pp. 485–498. doi: [doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1](https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1).
- The BACC Author Team, ed. (2008). *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*. Springer Verlag, p. 474.
- Thomas, B.R., Kent, E.C., Swail, V.R., Berry, D.I. (2008). "Trends in ship wind speeds adjusted for observation method and height". In: *International Journal of Climatology* 28.6, pp. 747–763. issn: 1097-0088 doi: [10.1002/joc.1570](https://doi.org/10.1002/joc.1570).
- Thomson, A.M., Calvin, K.V., Smith, S.J., Kyle, G.P., Volke, A., Patel, P., Delgado-Arias, S., Bond-Lamberty, B., Wise, M.A., Clarke, L.E., Edmonds, J.A. (2011). "RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100". In: *Climatic Change* 109, pp. 77–94. doi: [DOI10.1007/s10584-011-0151-4](https://doi.org/10.1007/s10584-011-0151-4).
- Tomingas, O. (2002). "Relationship between atmospheric circulation indices and climate variability in Estonia". In: *Boreal environment research* 7.4, pp. 463–470.
- Tooming, H., Kadaja, J. (2006). *Eesti lumikatte teatmik*. Tallinn: Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut.
- Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J.A., Rusticucci, M., Soden, B., Zhai, P. (2007). "Observations: Surface and Atmospheric Climate Change". In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ed. by Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. Cambridge, United Kingdom ja New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 235–335.
- Troccoli, A., Muller, K., Coppin, P., Davy, R., Russell, C., Hirsch, A.L. (2011). "Long-Term Wind Speed Trends over Australia". In: *Journal of Climate* 25.1, pp. 170–183. issn:0 0894-8755 doi: [10.1175/2011JCLI4198.1](https://doi.org/10.1175/2011JCLI4198.1).
- Turner, J., Colwell, S.R., Marshall, G.J., Lachlan-Cope, T.A., Carleton, A.M., Jones, P.D., Lagun, V., Reid, P.A., Iagovkina, S. (2005). "Antarctic climate change during the last 50 years". In: *International journal of Climatology* 25.3, pp. 279–294. Turner, J., Overland, J. (2009). "Contrasting climate change in the two polar regions". In: *Polar Research* 28.2, pp. 146–164.
- Usbeck, T., Wohlgemuth, T., Pfister, C., Volz, R., Beniston, M., Dobbertin, M. (2010). "Wind speed measurements and forest damage in Canton Zurich (Central Europe) from 1891 to winter 2007". In: *International Journal of Climatology* 30.3, pp. 347–358. issn: 1097-0088. doi: [10.1002/joc.1895](https://doi.org/10.1002/joc.1895).

- Vautard, R., Cattiaux, J., Yiou, P., Thépaut, J.-N., Ciais, P. (2010). "Northern Hemisphere atmospheric stilling partly attributed to an increase in surface roughness". In: *Nature Geoscience* 3.11, pp. 756–761.
- Voldoire, A., Sanchez-Gomez, E., y Méliá, D.S., Decharme, B., Cassou, C., Senesi, S., Valcke, S., Beau, I., Alias, A., Chevallier, M., Déqué, M., Deshayes, J., Douville, H., Fernandez, E., Madec, G., Maisonnave, E., Moine, M.-P., Planton, S., Saint-Martin, D., Szopa, S., Tyteca, S., Alkama, R., Belamari, S., Braun, A., Coquart, L., Chauvin, F. (2013). "The CNRM-CM5.1 global climate model: description and basic evaluation". In: *Climate Dynamics* 40, pp. 2091– 2121.
- Vuuren, D.P. van, Stehfest, E., den Elzen M.G.J., Kram, T., van Vliet, J., Deetman, S., Isaac, M., Goldewijk, K.K., Hof, A., Beltran, A.M., Oostenrijk, R., van Ruijven, B. (2011). "RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C". In: *Climatic Change* 109, pp. 95–116. doi: [DOI10.1007/s10584-011-0152-3](https://doi.org/10.1007/s10584-011-0152-3).
- Wan, H., Wang, X.L., Swail, V.R. (2010). "Homogenization and Trend Analysis of Canadian Near-Surface Wind Speeds". In: *Journal of Climate* 23.5, pp. 1209–1225. issn: 0894-8755. doi: [10.1175/2009JCLI3200.1](https://doi.org/10.1175/2009JCLI3200.1).
- Wang, X.L., Swail, V.R., Zwiers, F.W. (2006). "Climatology and changes of extratropical cyclone activity: Comparison of ERA-40 with NCEP-NCAR reanalysis for 1958-2001". In: *Journal of Climate* 19.13, pp. 3145–3166.
- Wild, M., Gilgen, H., Roesch, A., Ohmura, A., Long, C.N., Dutton, B., Kallis, A., Russak, V., Tsvetkov, A. (2005). "From dimming to brightening: decadal changes in solar radiation at Earth's surface". In: *Science* 308, pp. 847–850.
- Willson, R.C., Mordvinov, A.V. (2003). "Secular total solar irradiance trend during solar cycles 21–23". In: *Geophysical Research Letters* 30, 1199. doi: [doi:10.1029/2002GL016038](https://doi.org/10.1029/2002GL016038).
- Woodworth, P.L., Gregory, J.M., Nicholls, R.J. (2005). "Long term sea level changes and their impacts." In: *The global coastal ocean: multiscale interdisciplinary processes*. Ed. by Robinson, A.R., Brink, K.H. pp. 715–753.
- Woollings, T., Gregory, J.M., Pinto, J.G., Reyers, M., Brayshaw, D.J. (2012). "Response of the North Atlantic storm track to climate change shaped by ocean-atmosphere coupling". In: *Nature Geoscience* 5.5, pp. 313–317.

## Tabelid

Tabel 1: 2 m õhutemperatuuri projektsioonid 21. sajandi lõpuks EURO-CORDEX mudelansambli alusel. Absoluutne muutus võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. ....	8
Tabel 2: Suhteline muutus keskmises kuu sademete hulgas (valem 2 lk 27) aastaegade ja terve aasta lõikes, mis on saadud erinevate kliimamudelite põhjal aastateks 2041-2070 ja 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000 Eesti ala jaoks. ....	8
Tabel 3: Ööpäevas 30 mm ületavate sademete esinemise sageduse projitseeritud suhtelised muutused aastaegade, stsenaariumite ja prognoositud perioodide kaupa, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. Kontroll näitab sündmuse esinemise tõenäosust kindlas punktis ühel päeval.....	9
Tabel 4: Maapinnale jõudva lühilainelise kiirguse suhteline muutus (valem 2 lk 27) aastaegade kaupa, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, kogu Eesti lõikes keskmistatuna. ....	9
Tabel 5: RCP stsenaariumite peamised omadused, kasvuhoonegaaside emissioonide tippaeg ja kiirguslik mõju aastal 2100. Kiirguslik mõju antakse suurenemisena võrreldes kontrollperioodiga 1986-2005.....	24
Tabel 6: Globaalse keskmise temperatuuri tõus °C ja globaalse merepinna taseme tõus meetrites aastateks 2081–2100, võrreldes kontrollperioodiga 1986-2005. Mõlemad on antud nii stsenaariumi keskmisena kui tõenäolises vahemikus. ....	25
<i>Tabel 7: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, kogu ansambli hõlmatava ala keskmise jaoks. ....</i>	28
Tabel 8: Maapinnale jõudva lühilainelise kiirguse suhteline muutus (valem 2 lk 27), võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, aastaegade ja kuude kaupa.....	30
Tabel 9: Läänemere ja Kattegati kohal esinevad keskmised tuule kiiruse muutused (%) erinevatel sesoonidel A2 ja B2 stsenaariumite korral perioodil 2071-2100, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. Usaldusväärsed muutused ( $p < 0,05$ ) on tumedas kirjas. RCAO-H on HadAM3H globaalse mudeli põhjal jooksutatud RCAO regionaalne mudel ja RCAO-E on ECHAM4/OPYC3 globaalse mudeli põhjal jooksutatud RCAO regionaalne mudel (Meier jt., 2006).....	34
Tabel 10: Suhteline sademete muutus (valem 2 lk 27) stsenaariumite RCP4.5 ja RCP8.5 ning ajavahemike 2041-2070 ja 2071-2100 jaoks, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. ....	37
Tabel 11: Kuu maksimaalsete temperatuuride (°C) absoluutsed muutused võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. Esitatud on vastavalt 30 aasta keskmine, minimaalne ja maksimaalne kuu maksimaalse temperatuuri muutus. ....	42
Tabel 12: Kuu minimaalsete temperatuuride (°C) absoluutsed muutused võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. Esitatud on vastavalt 30 aasta keskmine, minimaalne ja maksimaalne kuu minimaalse temperatuuri muutus.....	43
Tabel 13: Ööpäevas 30 mm ületavate sademete esinemise sageduse projitseeritud suhtelised muutused (valem 2 lk 27) aastaegade, stsenaariumite ja prognoositud perioodide kaupa. Kontroll näitab sündmuse esinemise tõenäosust kindlas punktis ühel päeval kontrollperioodil 1971-2000. ....	44

## Joonised

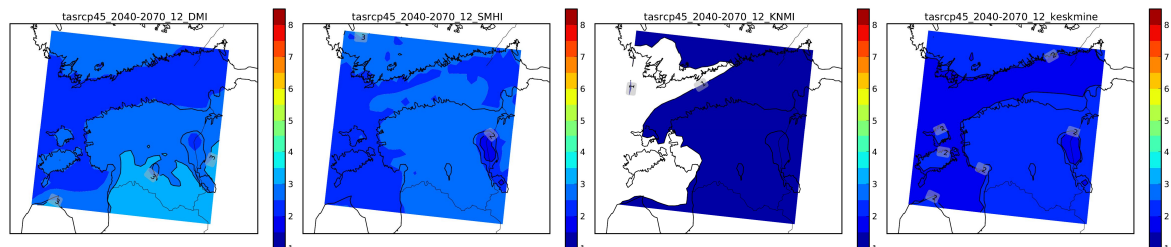
Joonis 1: Eesti kliimanormid, temperatuur ja sademed aasta lõikes perioodi 1971-2000 keskmisena.....	12
Joonis 2: Tartu-Tõravere temperatuuri aasta keskmised väärtused.....	13
Joonis 3: Globaalse kiirguse muutlikkus Tartu-Tõravere meteoroloogiajaamas ajavahemikul 1955-2013.....	14
Joonis 4: Tartu-Tõravere sademete aastased summad.....	17
Joonis 5: Emajõe vooluhulkade muutlikkus. Allikas: Keskkonnaagentuur.....	18
Joonis 6: Läänemere pinnatemperatuuri muutus ajavahemikus 1990-2008 (Lehmann jt., 2011).....	20
Joonis 7: Läänemere maksimaalne jää ulatus üksikute aastate ja 15-aastase libiseva keskmisena.....	21
Joonis 8: Erinevate stsenaariumite kiirguslik mõju (Meinshausen et al., 2011).....	25
Joonis 9: Keskmise temperatuuri absoluutne muutus (°C) sesoonide kaupa, periood 2041-2070, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. Ülemisel real stsenaarium RCP4.5 ja alumisel RCP8.5, aastaajad talvest sügiseni vasakult paremale.....	28
Joonis 10: Keskmise temperatuuri absoluutne muutus (°C) sesoonide kaupa, periood 2071-2100, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. Ülemisel real stsenaarium RCP4.5 ja alumisel RCP8.5, aastaajad talvest sügiseni vasakult paremale.....	29
Joonis 11: Keskmise aluspinnale langeva lühilainelise kiirguse suhteline muutus (valem 1 lk 27), periood 2071-2100, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, sesoonide kaupa. Ülemisel real stsenaarium RCP4.5 ja alumisel real stsenaarium RCP8.5, aastaajad talvest sügiseni vasakult paremale.....	30
Joonis 12: Regionaalse kliimamudeli simuleeritud tuule kiiruse muutus (%) talvel (DJV) perioodide 1961-1990 ja 2071-2100 vahel, kasutades SRES-A2 emissiooni stsenaariumit (sarnase kuid natuke nõrgema kiirgusliku mõjuga kui RCP8.5). Ülemised joonised kujutavad DMI-HIRHAM5 ja alumised RAO mudelit. Vasakpoolsed joonised kasutavad HadAM3H ja parempoolsed ECHAM4/OPYC3 globaalse tsirkulatsioonimudeli ääretingimusi (BACC, 2008).....	32
Joonis 13: Regionaalse kliimamudeli simuleeritud tuule kiiruse muutus (%) suvel (JJA) perioodide 1961-1990 ja 2071-2100 vahel SRES-A2 emissiooni stsenaariumi korral. Ülemised joonised kujutavad DMI-HIRHAM5 ja alumised RAO mudelit. Vasakpoolsed joonised kasutavad HadAM3H ja parempoolsed ECHAM4/OPYC3 globaalse tsirkulatsioonimudeli ääretingimusi (BACC, 2008).....	33
Joonis 14: Sesoonsed ja aastased RAO mudeli simulatsioonid keskmise tuule kiiruse muutuste kohta (%) Läänemere piirkonnas perioodiks 2071-2100, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000 (Meier jt., 2006).....	35
Joonis 15: Keskmise suhteline sademete muutus (valem 1 lk 27) aastaegade kaupa, periood 2041-2070, võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000. Üleval stsenaarium RCP4.5 ja all RCP8.5, vasakult paremale aastaajad talvest sügiseni.....	37
Joonis 16: Keskmise suhteline sademete muutus (valem 1 lk 27) aastaegade kaupa, periood 2071-2100. Üleval stsenaarium RCP4.5 ja all RCP8.5, vasakult paremale aastaajad talvest sügiseni.....	38

Joonis 17: Keskmine lumikattega päevade arv, ülemine rida kontrollperiood 1971-2000, keskmine RCP4.5 ja alumine RCP8.5, periood 2071-2100. Vasakult paremale kuud detsembrist aprillini. ....	39
Joonis 18: IPCC AR5 lühiajaline kliimaprognos.....	47
Joonis 19: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, talvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena. ....	62
Joonis 20: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, kevadkuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena. ....	63
Joonis 21: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, suvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena. ....	64
Joonis 22: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, sügiskuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena. ....	65
Joonis 23: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, talvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena. ....	66
Joonis 24: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, kevadkuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena. ....	67
Joonis 25: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, suvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena. ....	68
Joonis 26: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, sügiskuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena. ....	69
Joonis 27: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, talvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena. ....	70
Joonis 28: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, kevadkuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena. ....	71
Joonis 29: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, suvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena. ....	72
Joonis 30: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, sügiskuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena. ....	73
Joonis 31: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, talvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena. ....	74

Joonis 32: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, kevadkuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.....	75
Joonis 33: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, suvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.....	76
Joonis 34: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, sügiskuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.....	77
Joonis 35: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, talvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.....	78
Joonis 36: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, kevadkuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.....	79
Joonis 37: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, suvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.....	80
Joonis 38: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, sügiskuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.....	81
Joonis 39: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, talvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.....	82
Joonis 40: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, kevadkuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.....	83
Joonis 41: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, suvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.....	84
Joonis 42: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, sügiskuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.....	85
Joonis 43: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, talvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.....	86
Joonis 44: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, kevadkuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.....	87
Joonis 45: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, suvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.....	88
Joonis 46: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, sügiskuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.....	89

# A Temperatuur

## A.1 RCP4.5

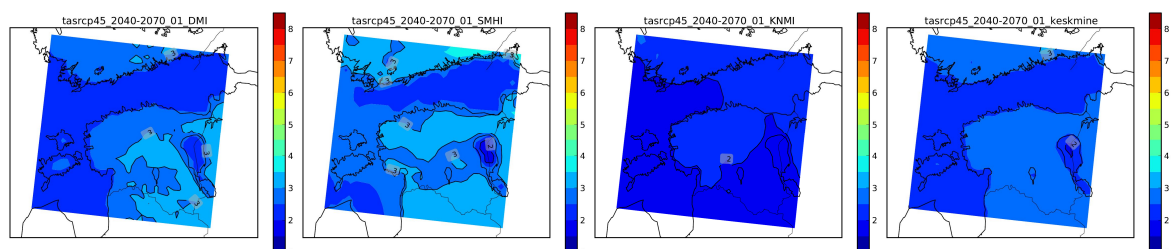


(a) RCP4.5, dets, DMI

(b) RCP4.5, dets, SMHI

(c) RCP4.5, dets, KNMI

(d) RCP4.5, dets, ans keskmise

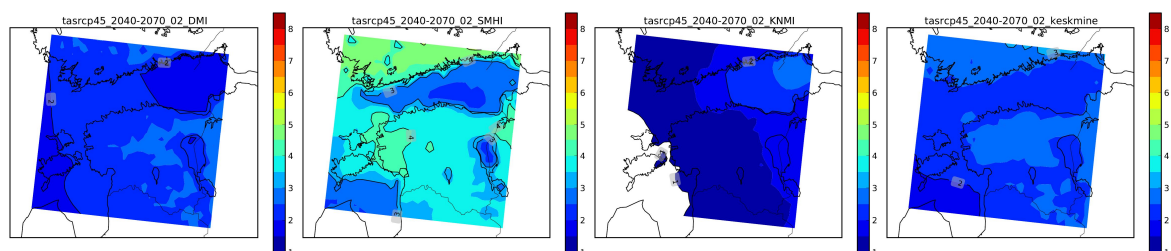


(e) RCP4.5, jaan, DMI

(f) RCP4.5, jaan, SMHI

(g) RCP4.5, jaan, KNMI

(h) RCP4.5, jaan, ans keskmise



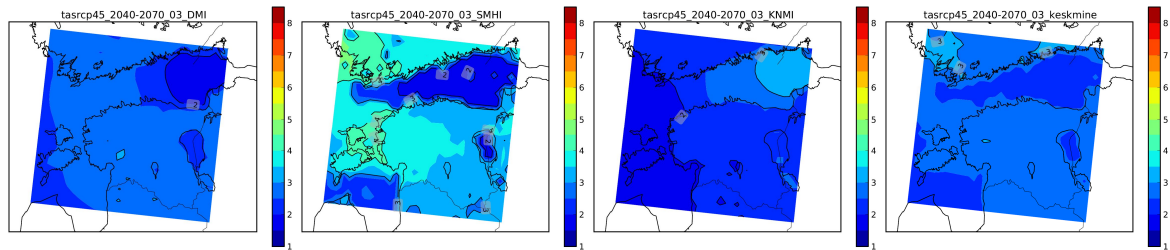
(i) RCP 4.5, veeb, DMI

(j) RCP 4.5, veeb, SMHI

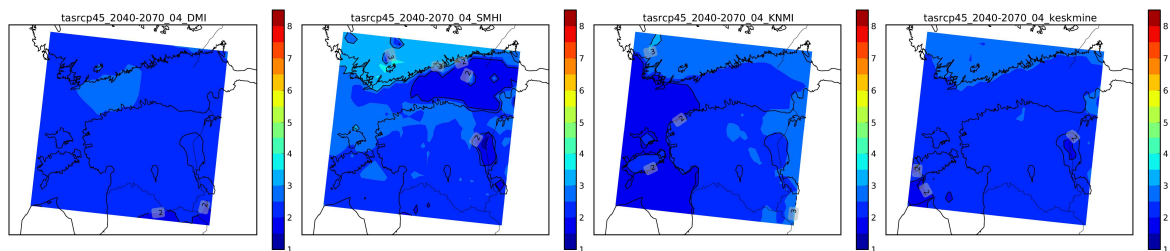
(k) RCP 4.5, veeb, KNMI

(l) RCP 4.5, veeb, ans keskmise

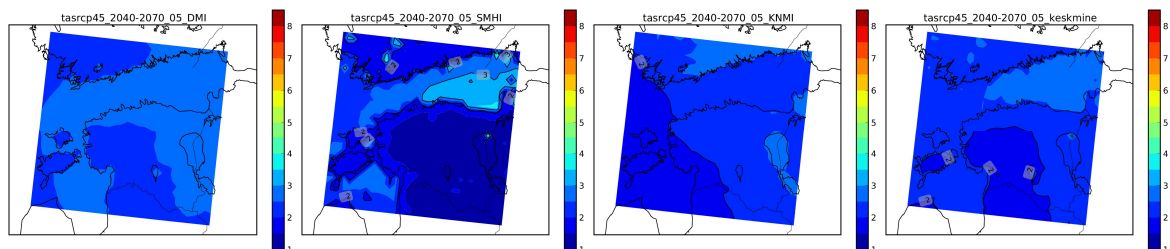
*Joonis 19: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, talvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*



(a) RCP4.5, märts, DMI    (b) RCP4.5, märts, SMHI    (c) RCP4.5, märts, KNMI    (d) RCP4.5, märts, ans keskmine



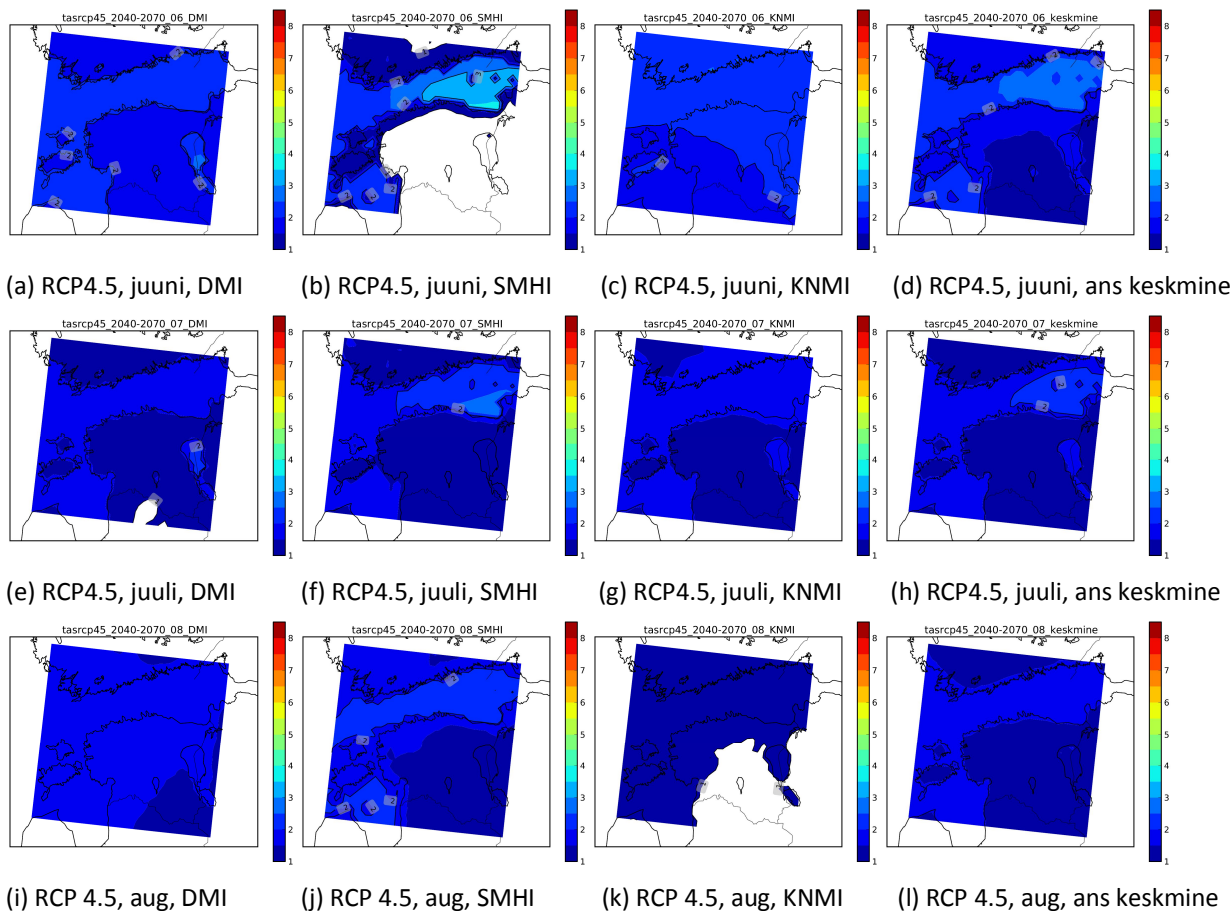
(e) RCP4.5, apr, DMI    (f) RCP4.5, apr, SMHI    (g) RCP4.5, apr, KNMI    (h) RCP4.5, apr, ans keskmine



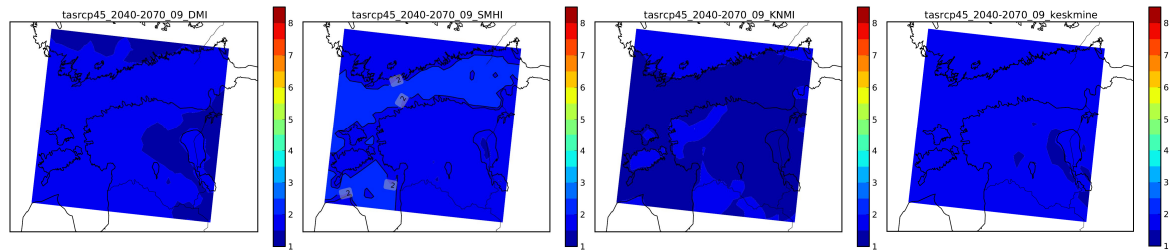
(i) RCP 4.5, mai, DMI    (j) RCP 4.5, mai, SMHI    (k) RCP 4.5, mai, KNMI    (l) RCP 4.5, mai, ans keskmine

*Joonis 20: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, kevadkuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*

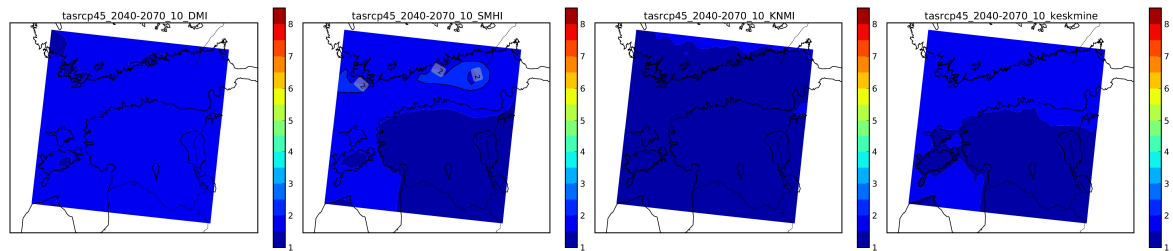




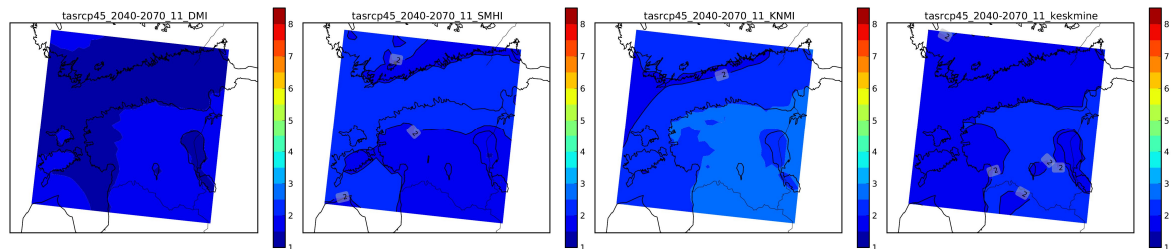
*Joonis 21: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, suvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*



(a) RCP4.5, sept, DMI      (b) RCP4.5, sept, SMHI      (c) RCP4.5, sept, KNMI      (d) RCP4.5, sept, ans keskmine

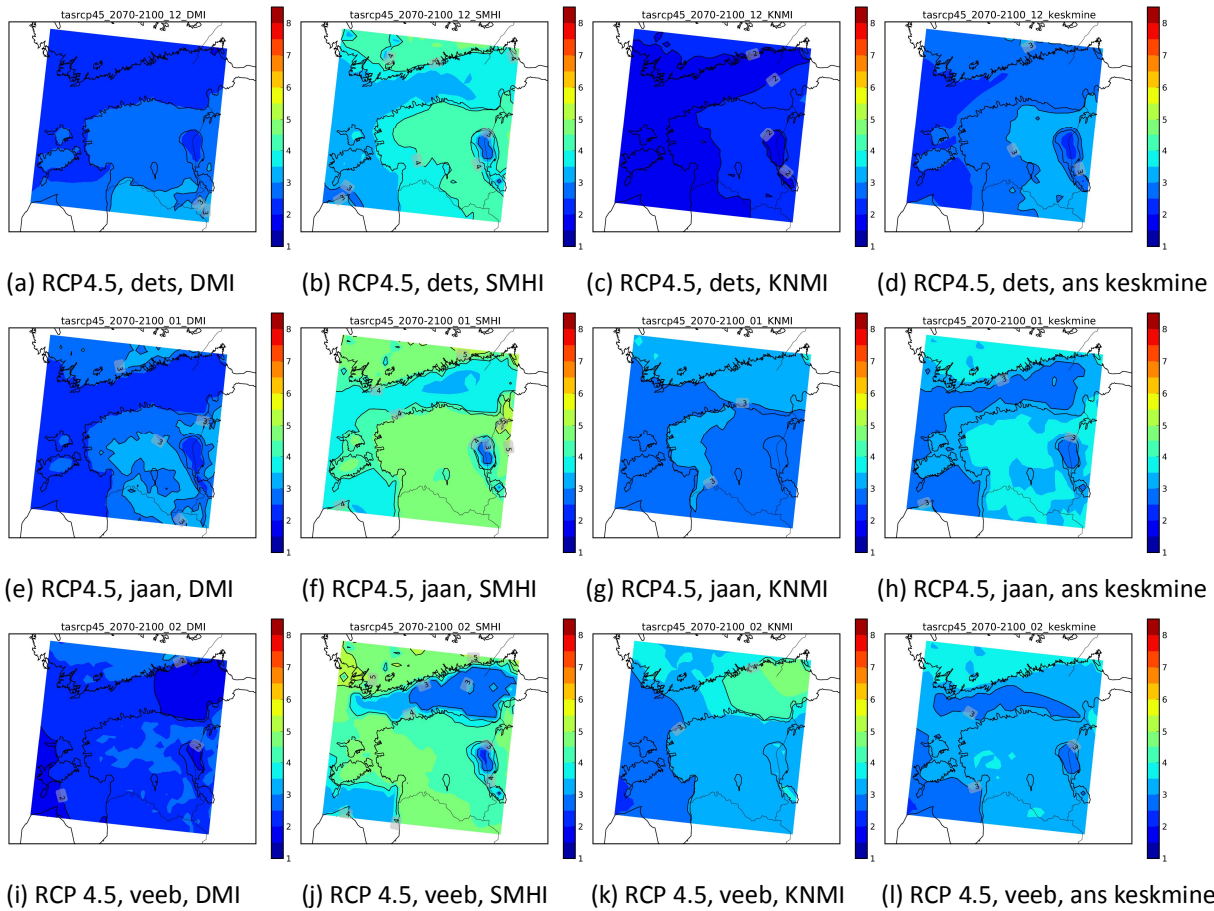


(e) RCP4.5, okt, DMI      (f) RCP4.5, okt, SMHI      (g) RCP4.5, okt, KNMI      (h) RCP4.5, okt, ans keskmine

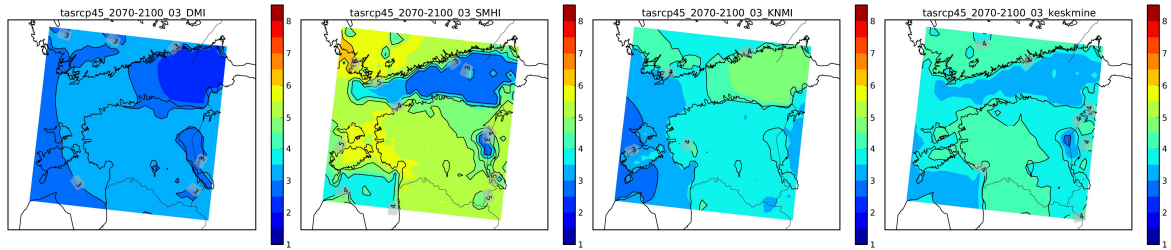


(i) RCP 4.5, nov, DMI      (j) RCP 4.5, nov, SMHI      (k) RCP 4.5, nov, KNMI      (l) RCP 4.5, nov, ans keskmine

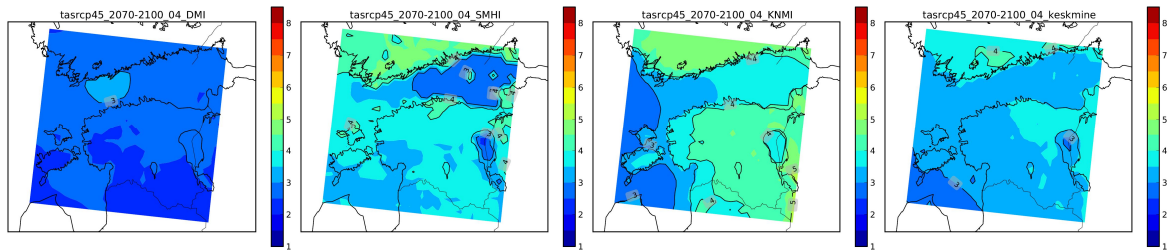
*Joonis 22: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, sügiskuu. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*



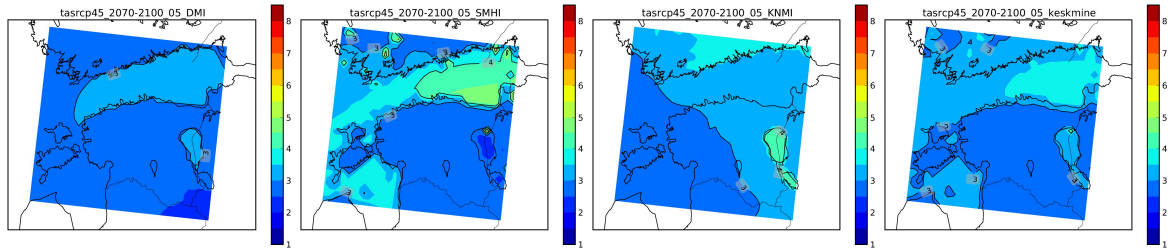
*Joonis 23: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, talvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*



(a) RCP4.5, märts, DMI    (b) RCP4.5, märts, SMHI    (c) RCP4.5, märts, KNMI    (d) RCP4.5, märts, ans keskmine

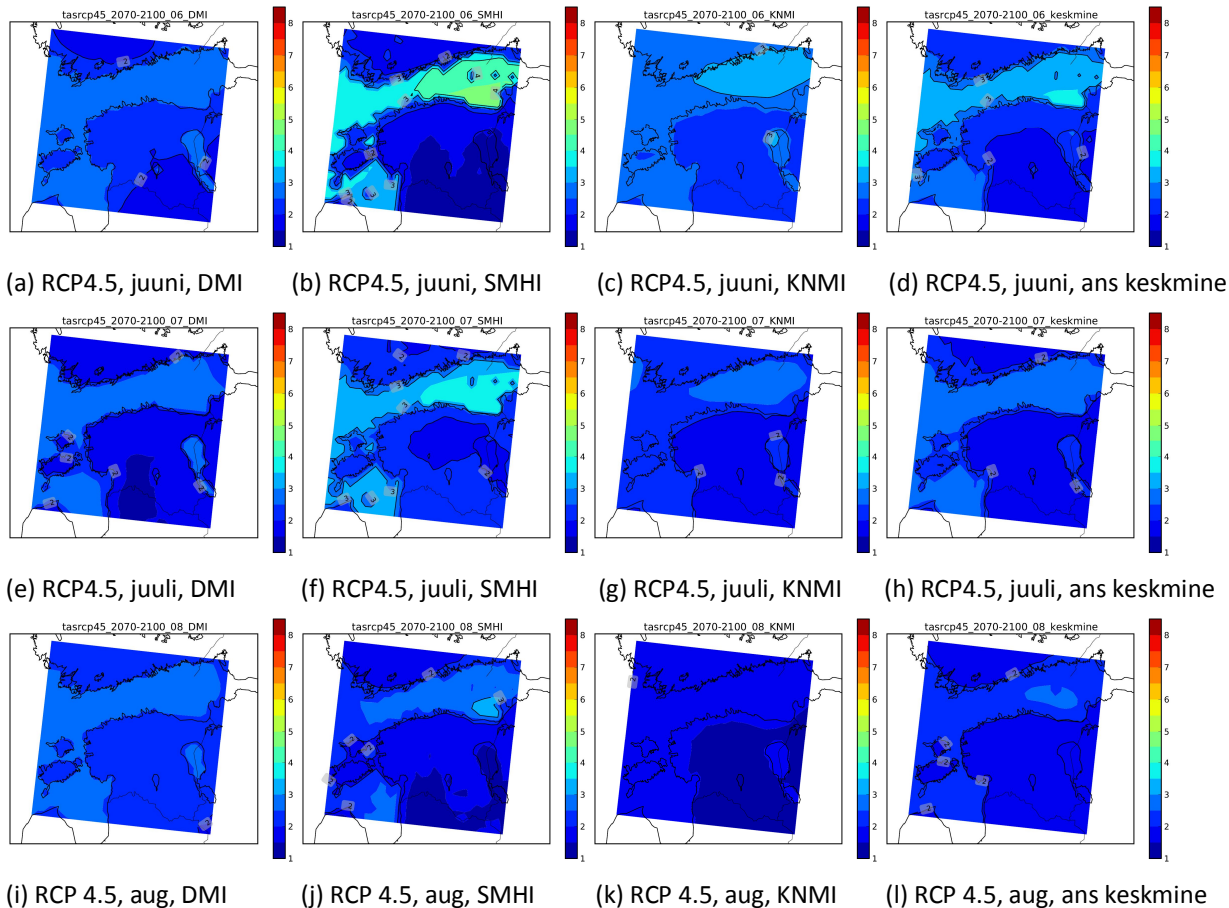


(e) RCP4.5, apr, DMI    (f) RCP4.5, apr, SMHI    (g) RCP4.5, apr, KNMI    (h) RCP4.5, apr, ans keskmine

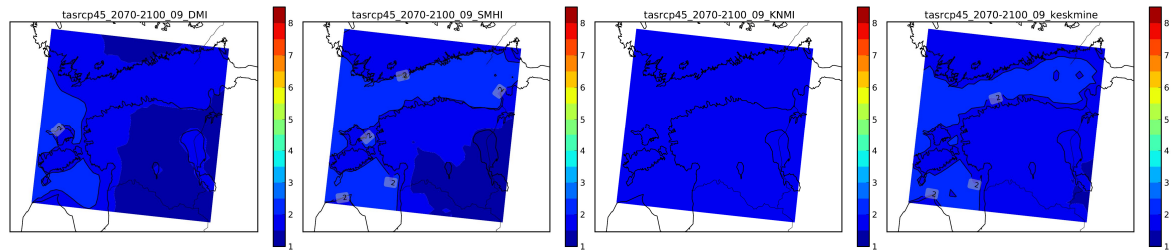


(i) RCP 4.5, mai, DMI    (j) RCP 4.5, mai, SMHI    (k) RCP 4.5, mai, KNMI    (l) RCP 4.5, mai, ans keskmine

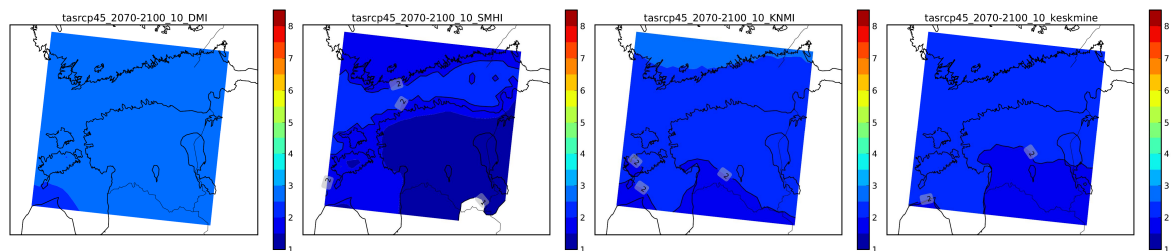
*Joonis 24: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, kevadkuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*



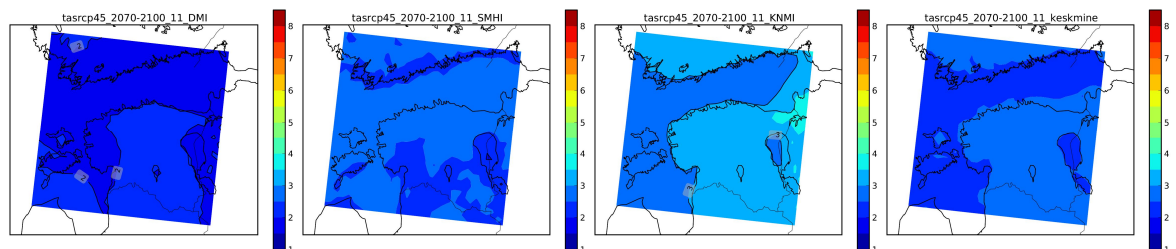
*Joonis 25: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, suvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*



(a) RCP4.5, sept, DMI      (b) RCP4.5, sept, SMHI      (c) RCP4.5, sept, KNMI      (d) RCP4.5, sept, ans keskmine



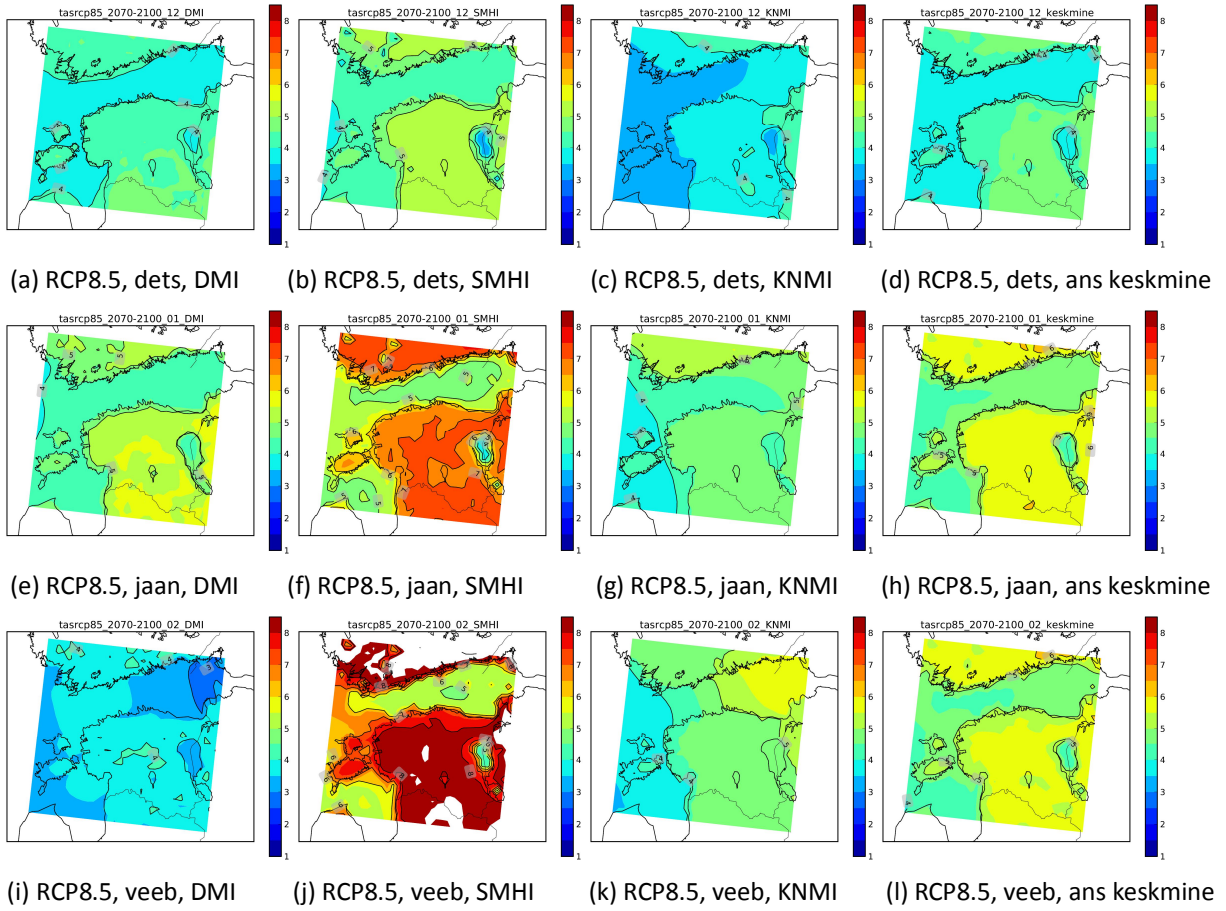
(e) RCP4.5, okt, DMI      (f) RCP4.5, okt, SMHI      (g) RCP4.5, okt, KNMI      (h) RCP4.5, okt, ans keskmine



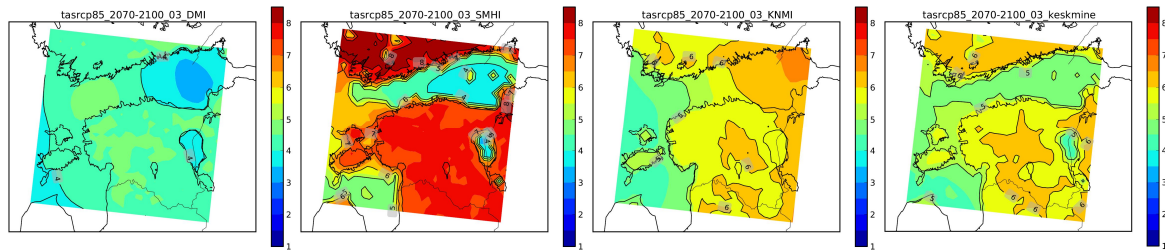
(i) RCP 4.5, nov, DMI      (j) RCP 4.5, nov, SMHI      (k) RCP 4.5, nov, KNMI      (l) RCP 4.5, nov, ans keskmine

*Joonis 26: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, sügiskuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*

## A.2 RCP8.5



*Joonis 27: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, talvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*

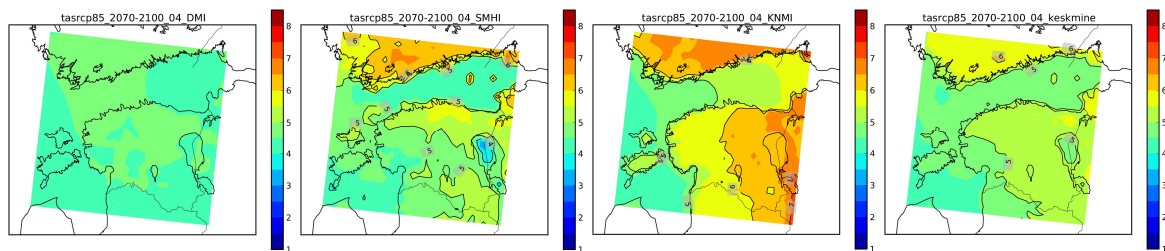


(a) RCP8.5, märts, DMI

(b) RCP8.5, märts, SMHI

(c) RCP8.5, märts, KNMI

(d) RCP8.5, märts, ans keskmine

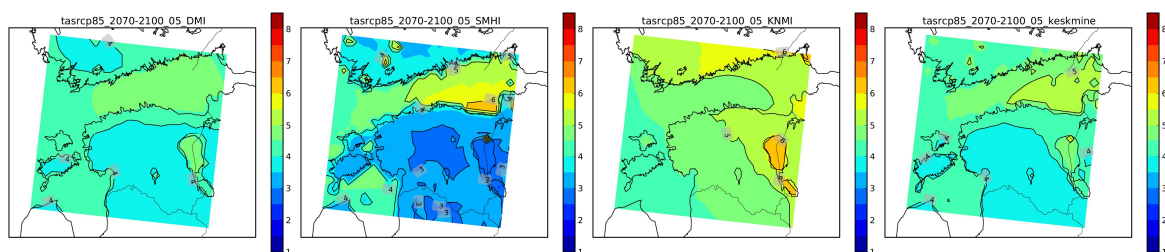


(e) RCP8.5, apr, DMI

(f) RCP8.5, apr, SMHI

(g) RCP8.5, apr, KNMI

(h) RCP8.5, apr, ans keskmine



(i) RCP8.5, mai, DMI

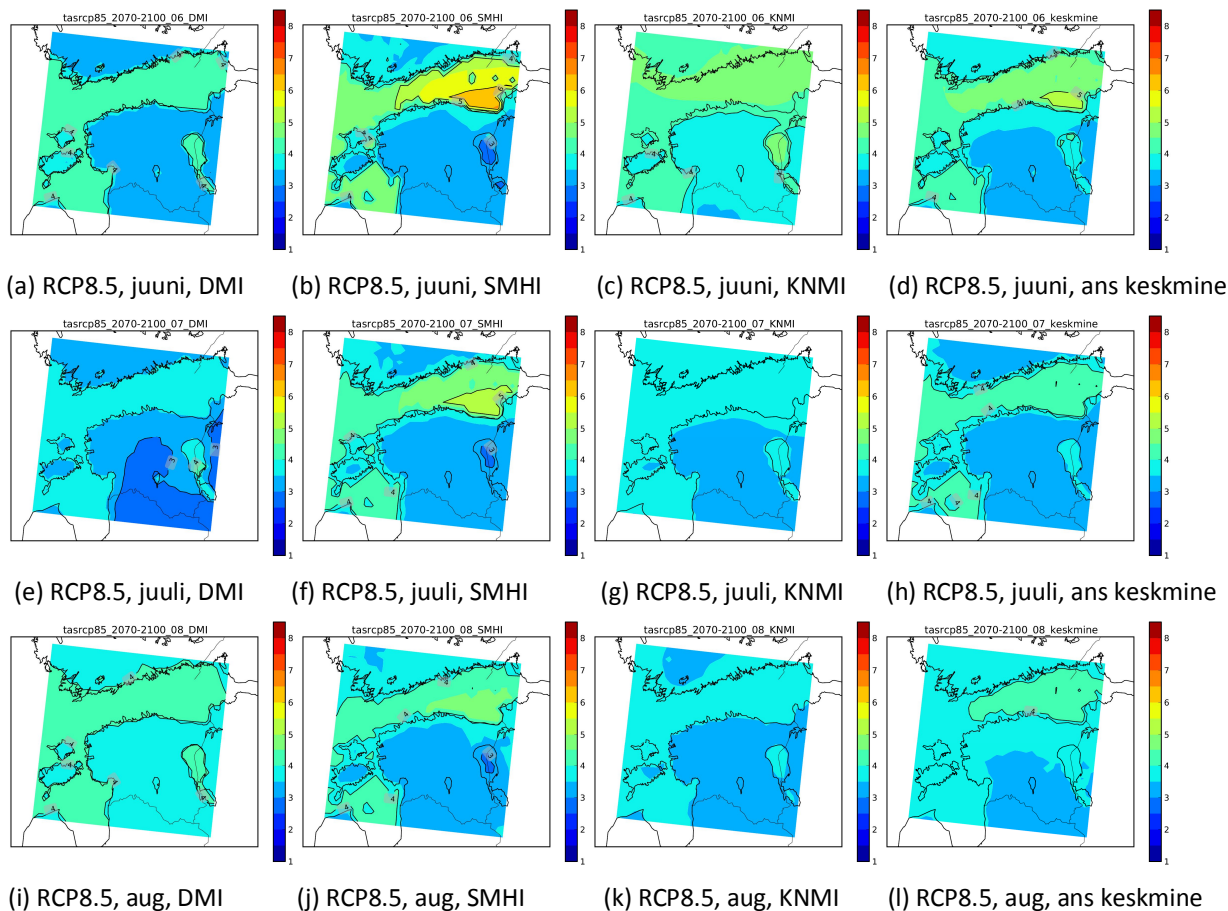
(j) RCP8.5, mai, SMHI

(k) RCP8.5, mai, KNMI

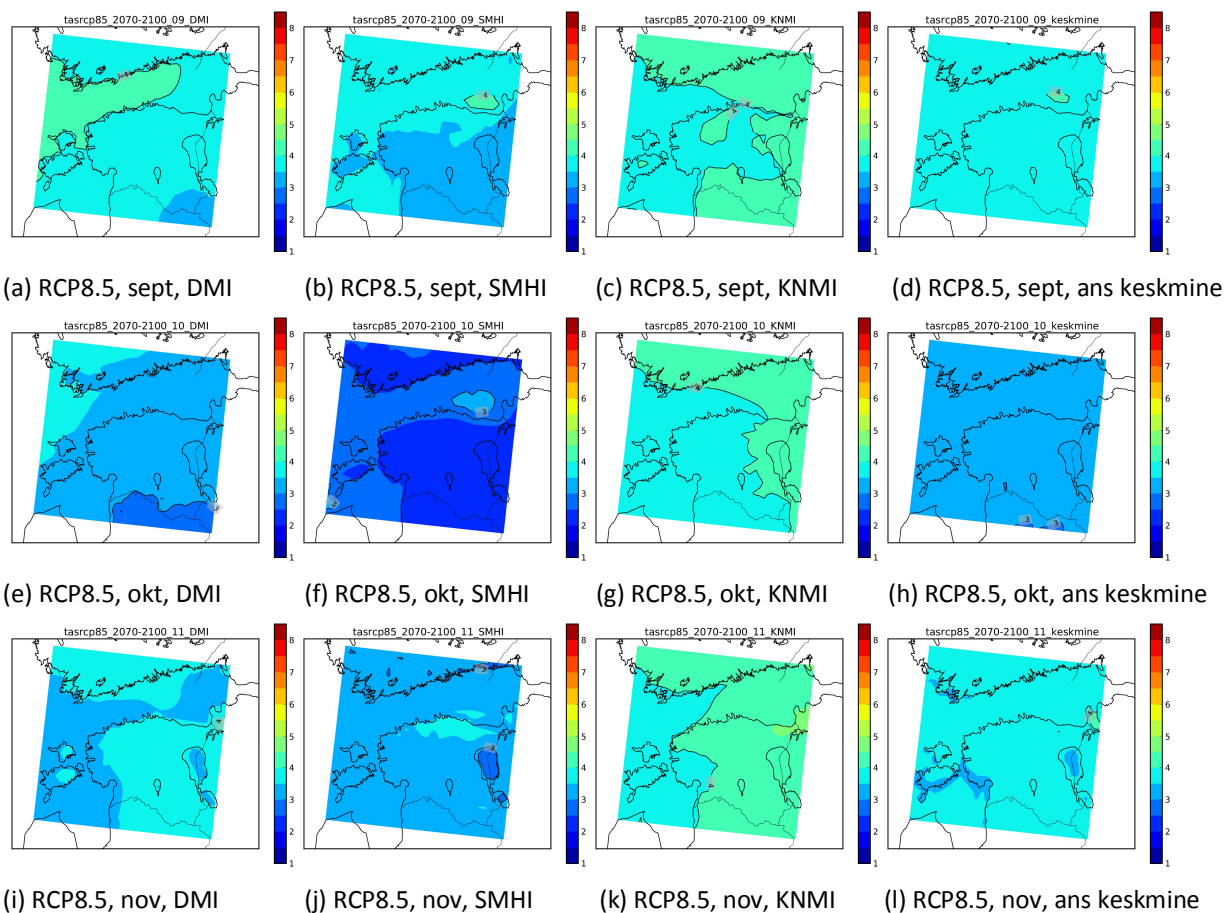
(l) RCP8.5, mai, ans keskmine

*Joonis 28: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, kevadkuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*





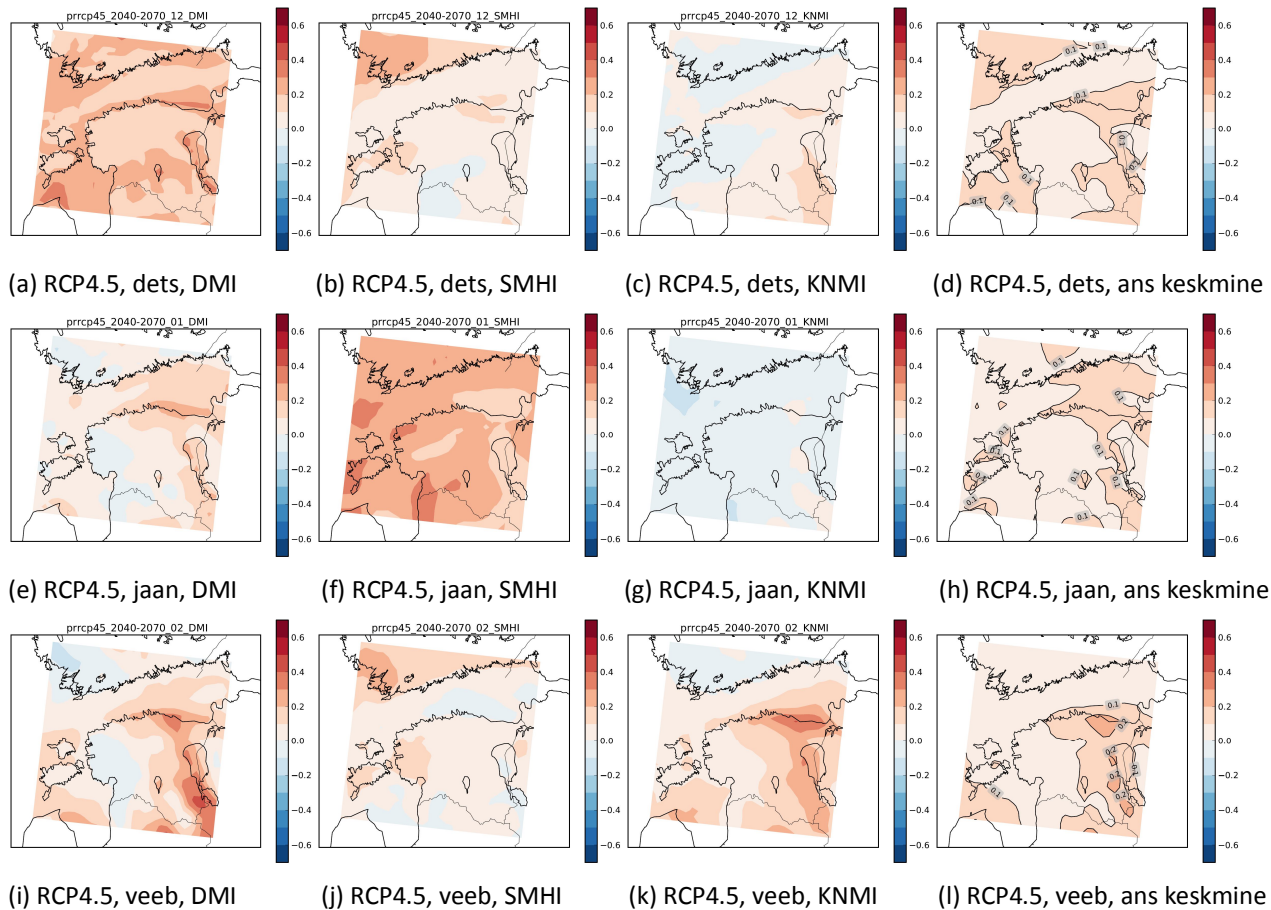
*Joonis 29: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, suvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*



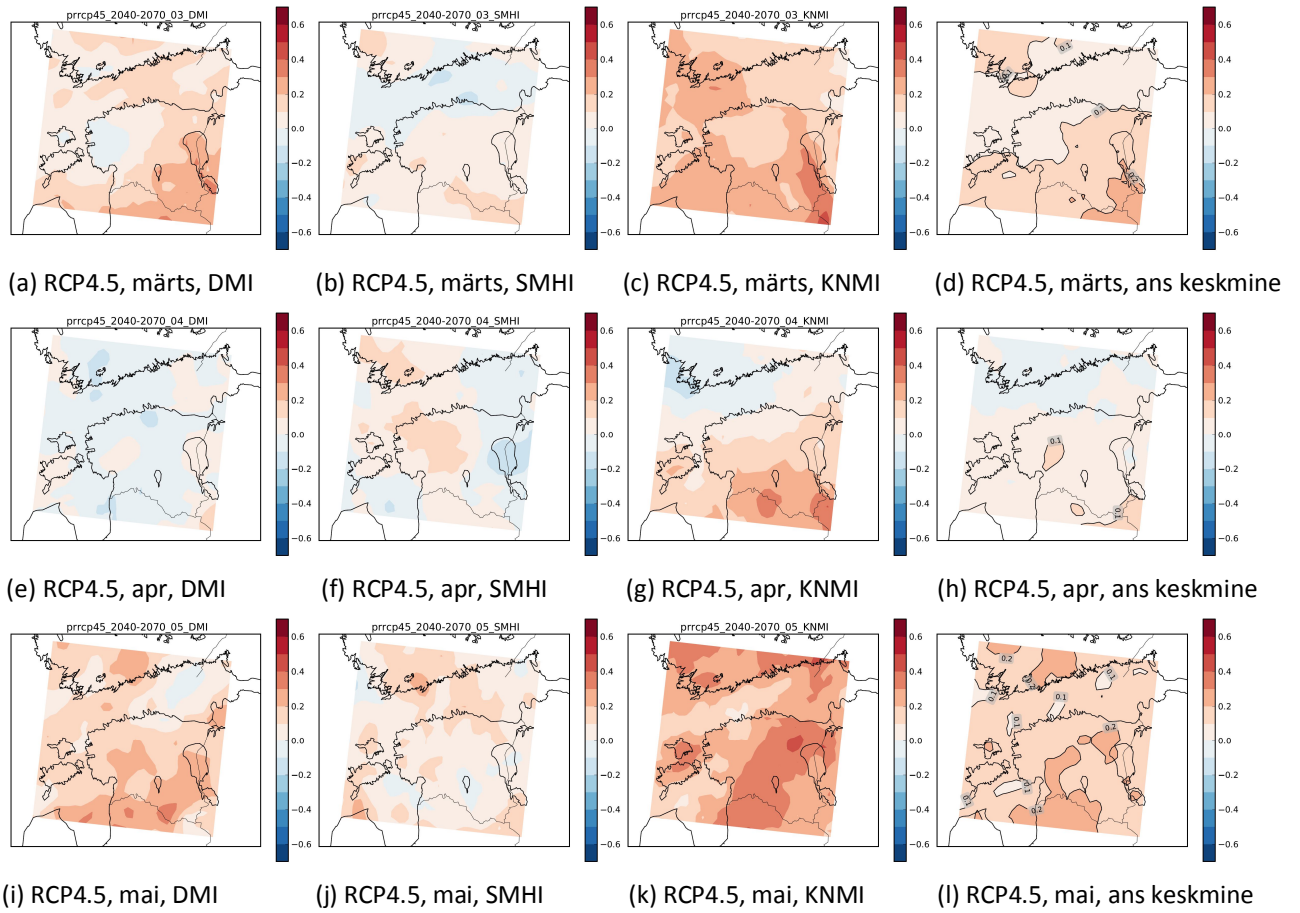
*Joonis 30: Temperatuuri absoluutne muutus (°C) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, sügiskuu. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*

## B Sademed

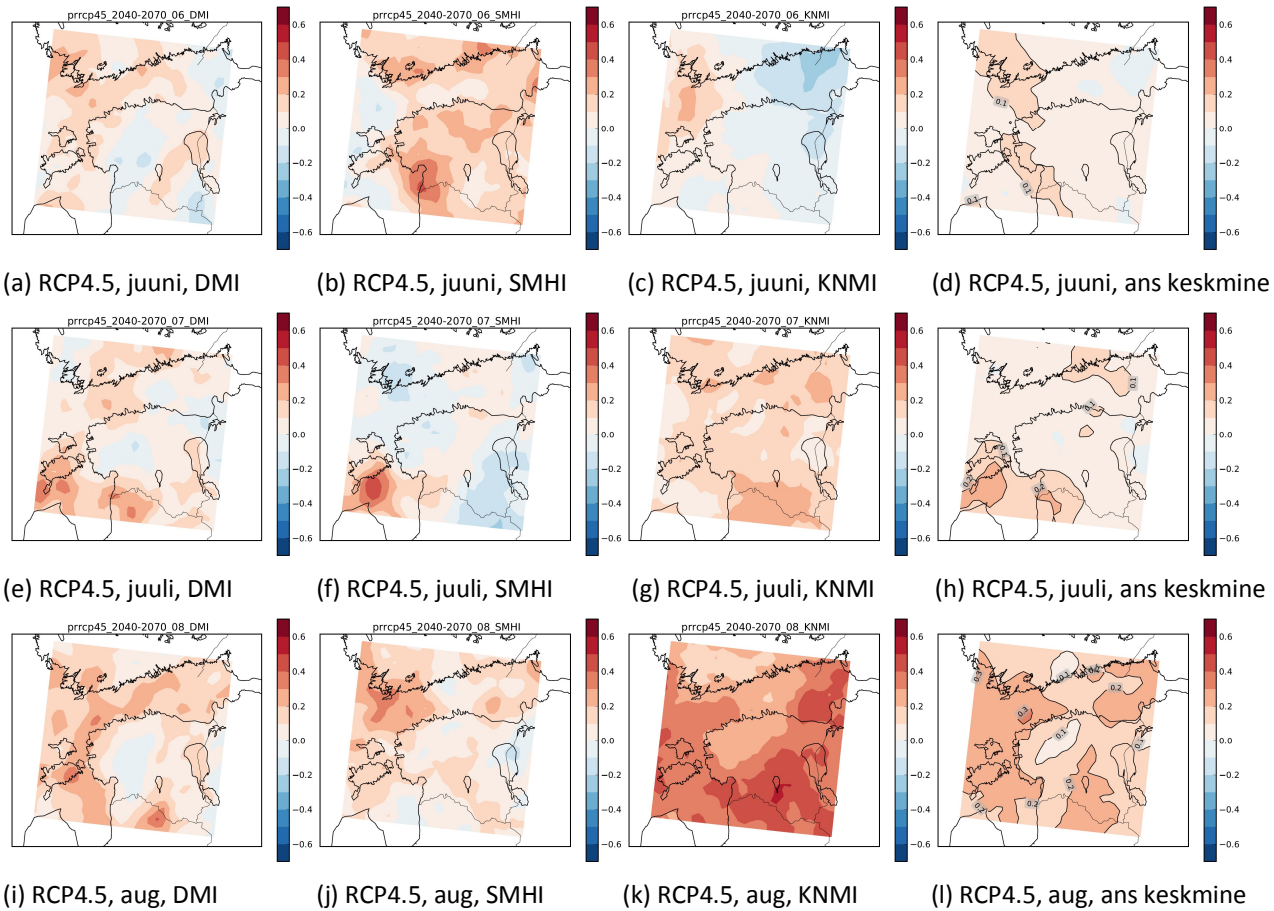
### B.1 RCP4.5



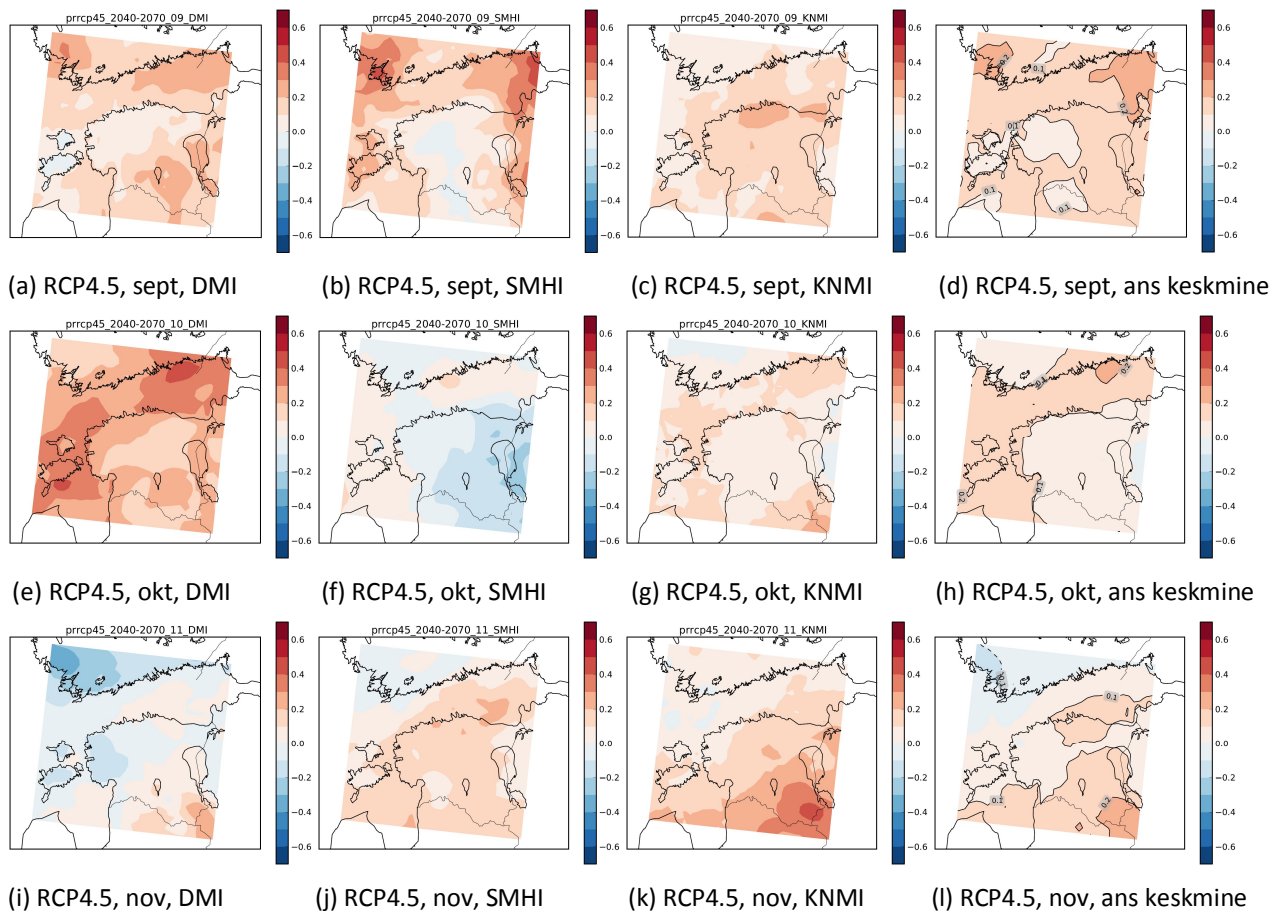
Joonis 31: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, talvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.



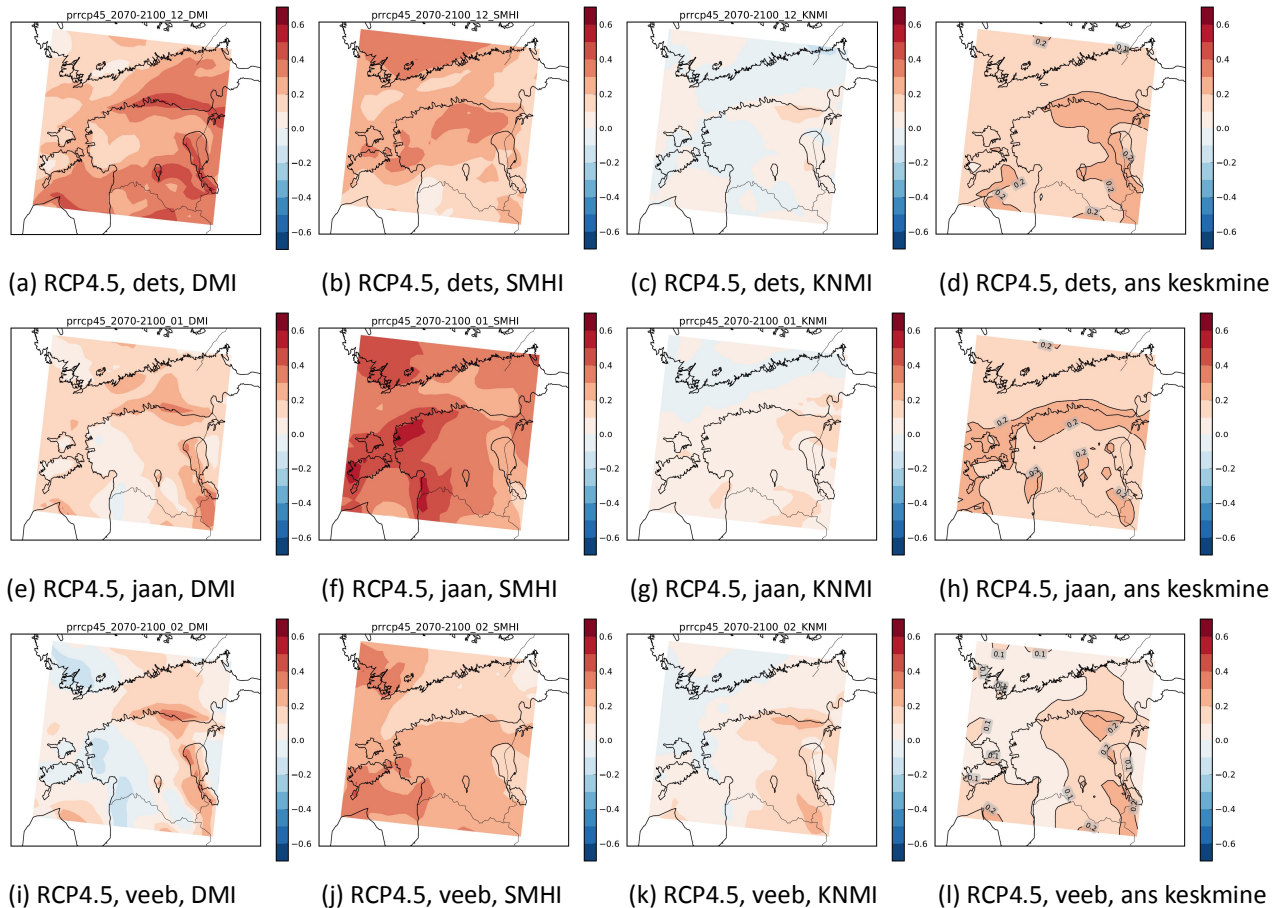
*Joonis 32: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, kevadkuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*



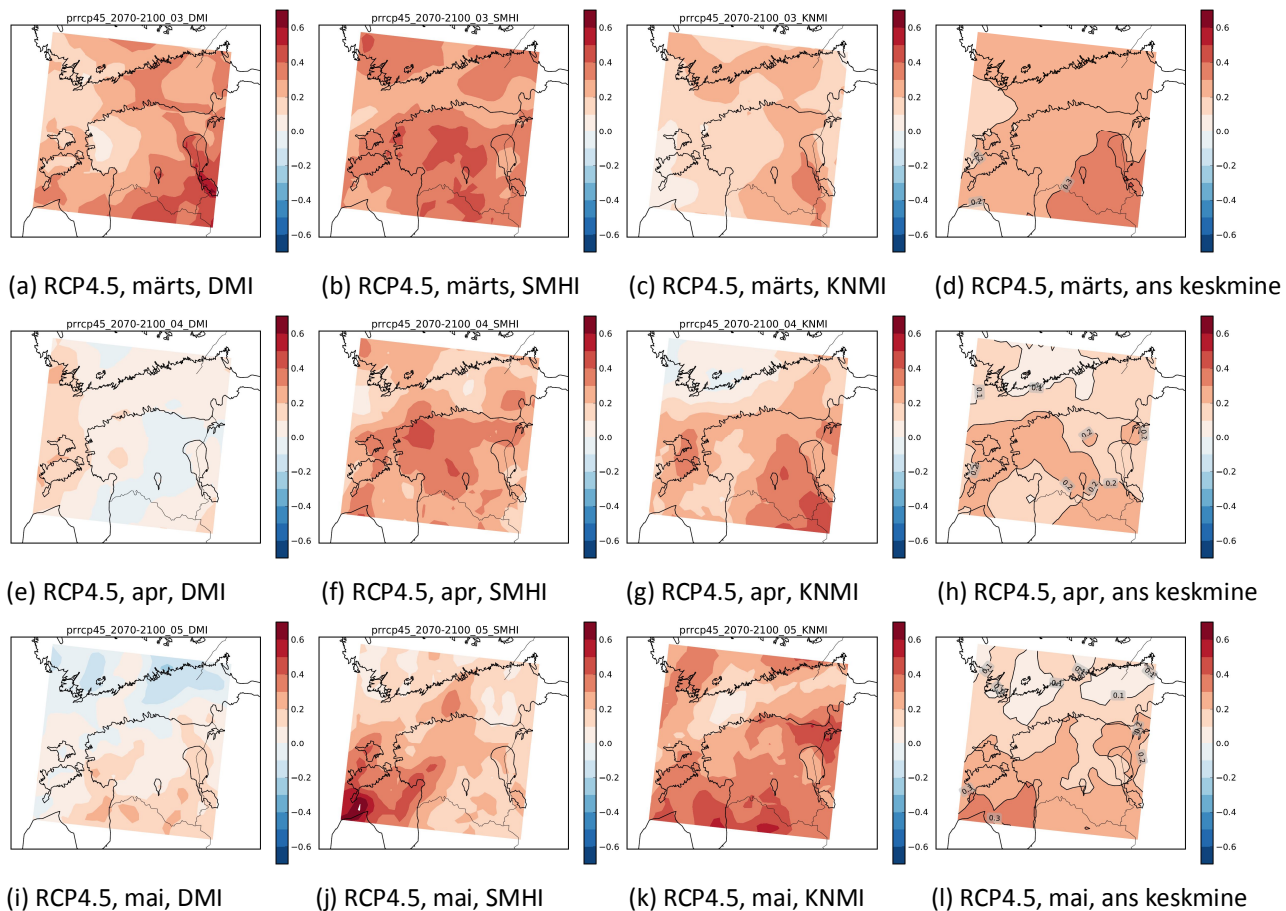
*Joonis 33: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, suvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*



*Joonis 34: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, sügiskuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*

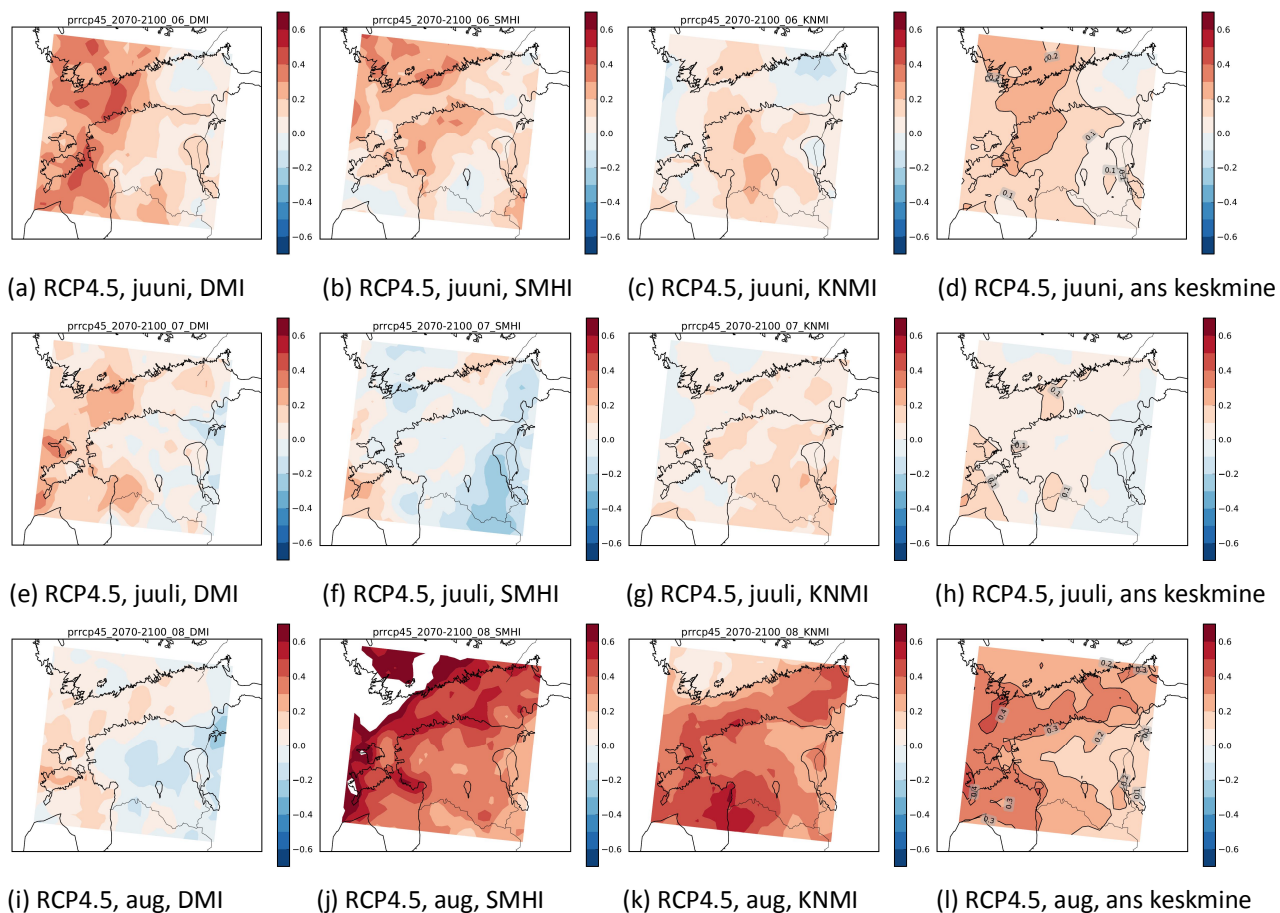


*Joonis 35: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, talvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*

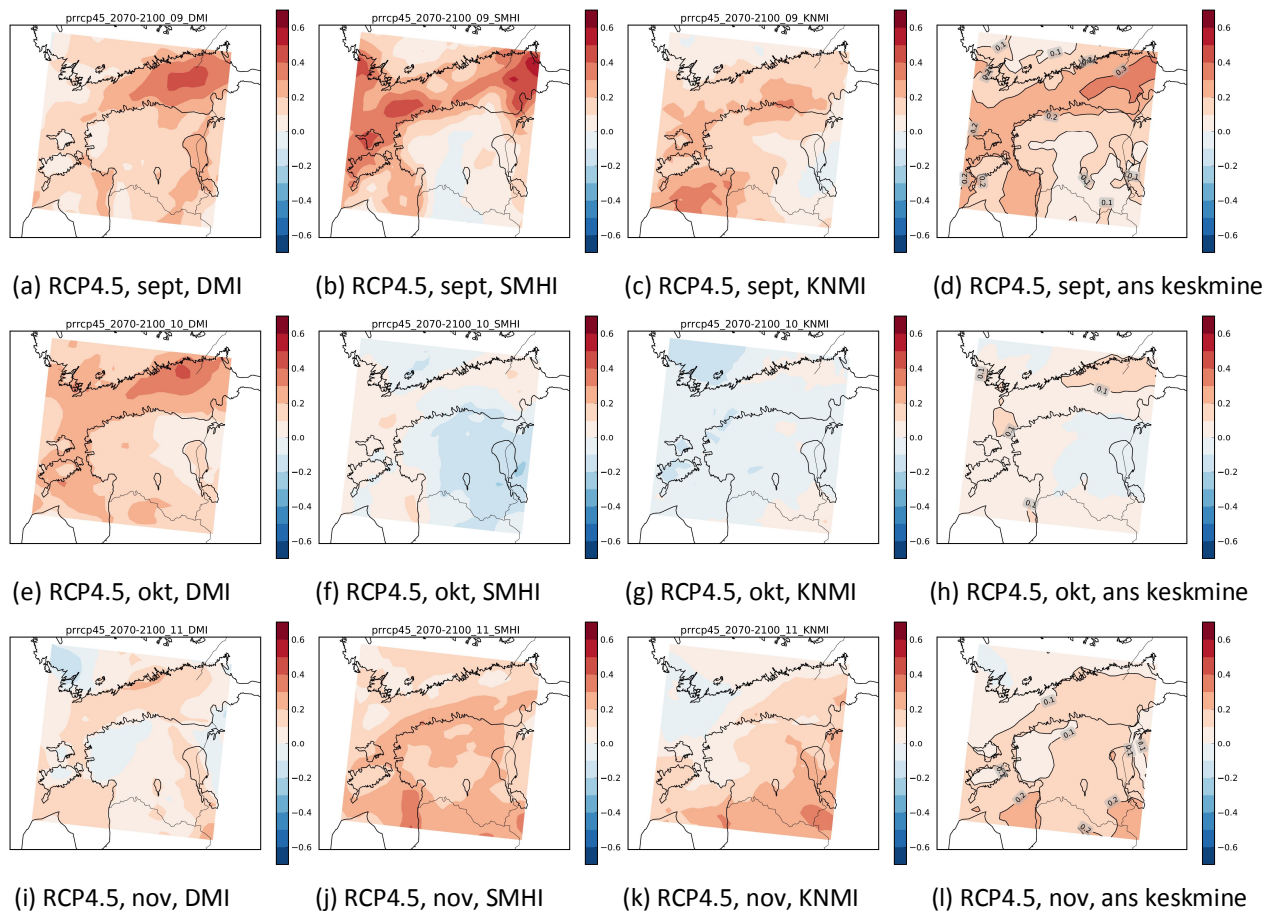


*Joonis 36: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, kevadkuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*



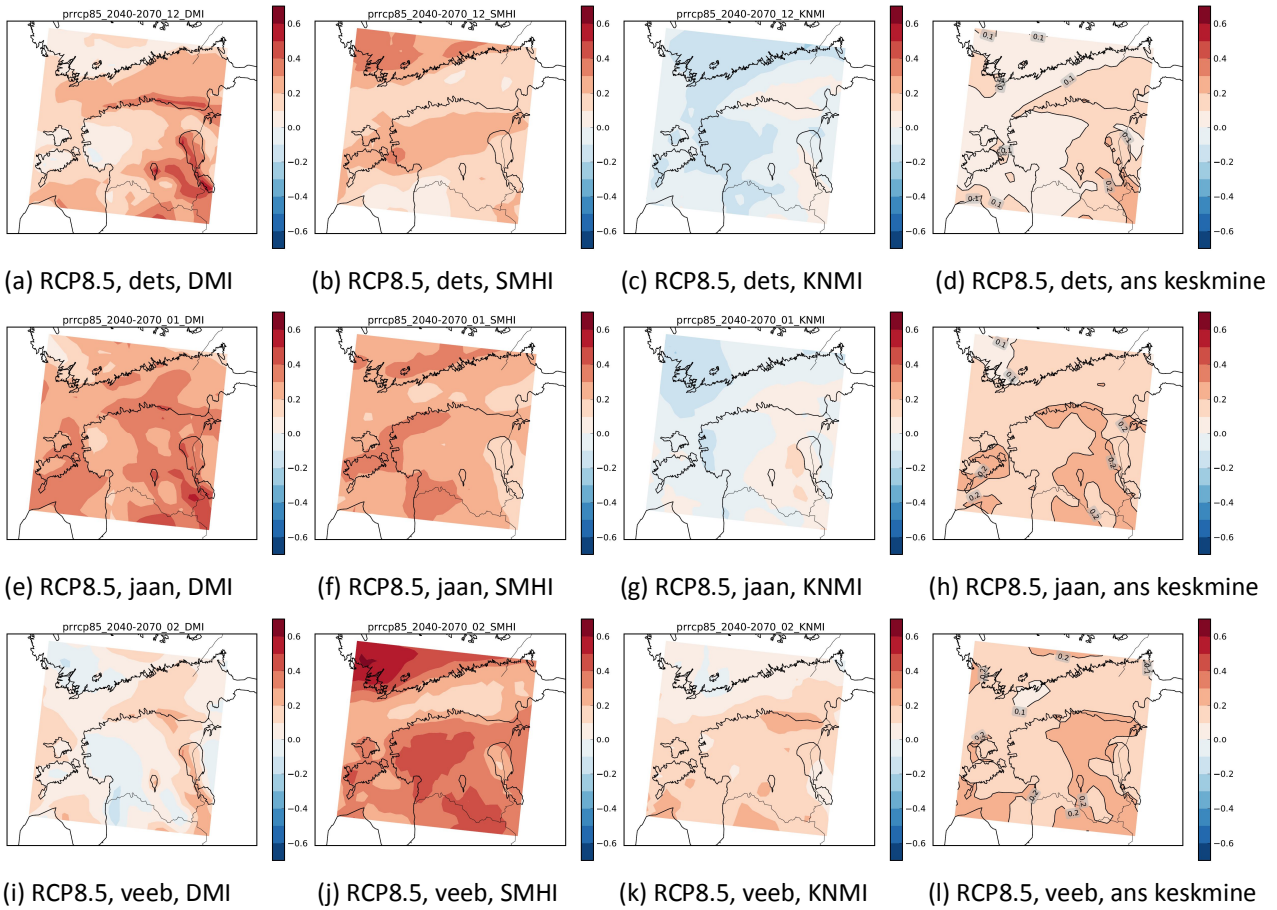


*Joonis 37: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, suvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*

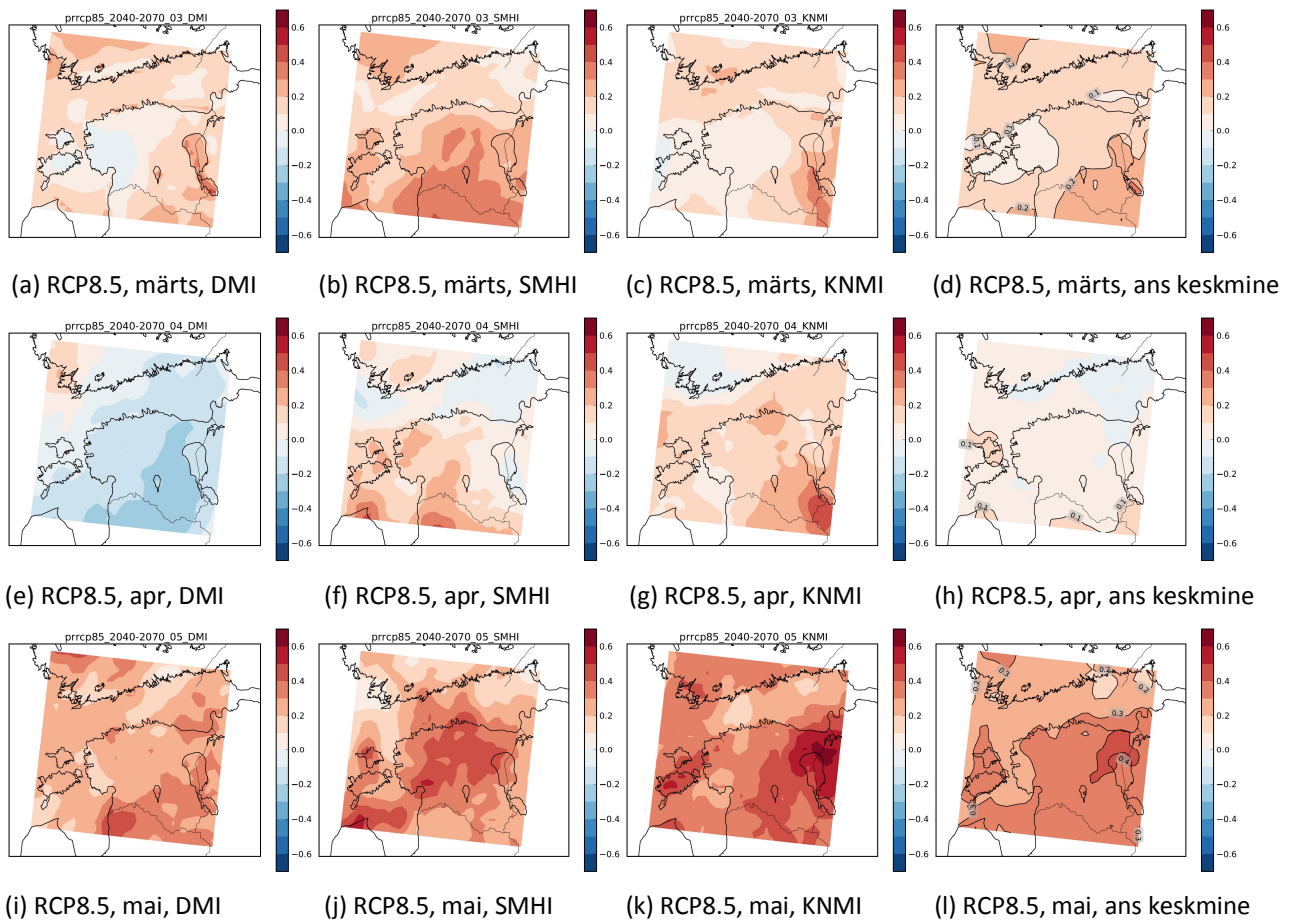


*Joonis 38: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP4.5, sügiskuu. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*

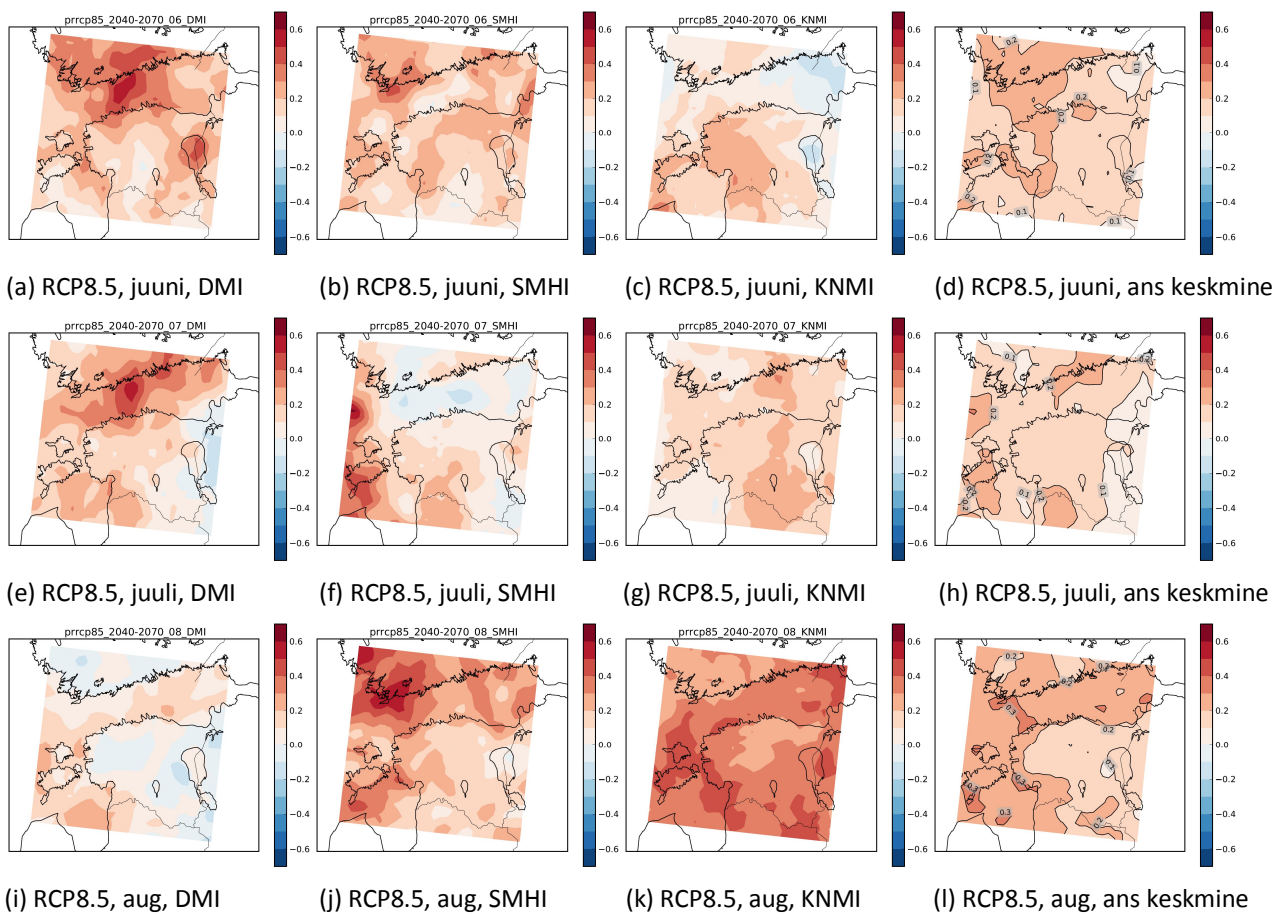
## B.2 RCP8.5



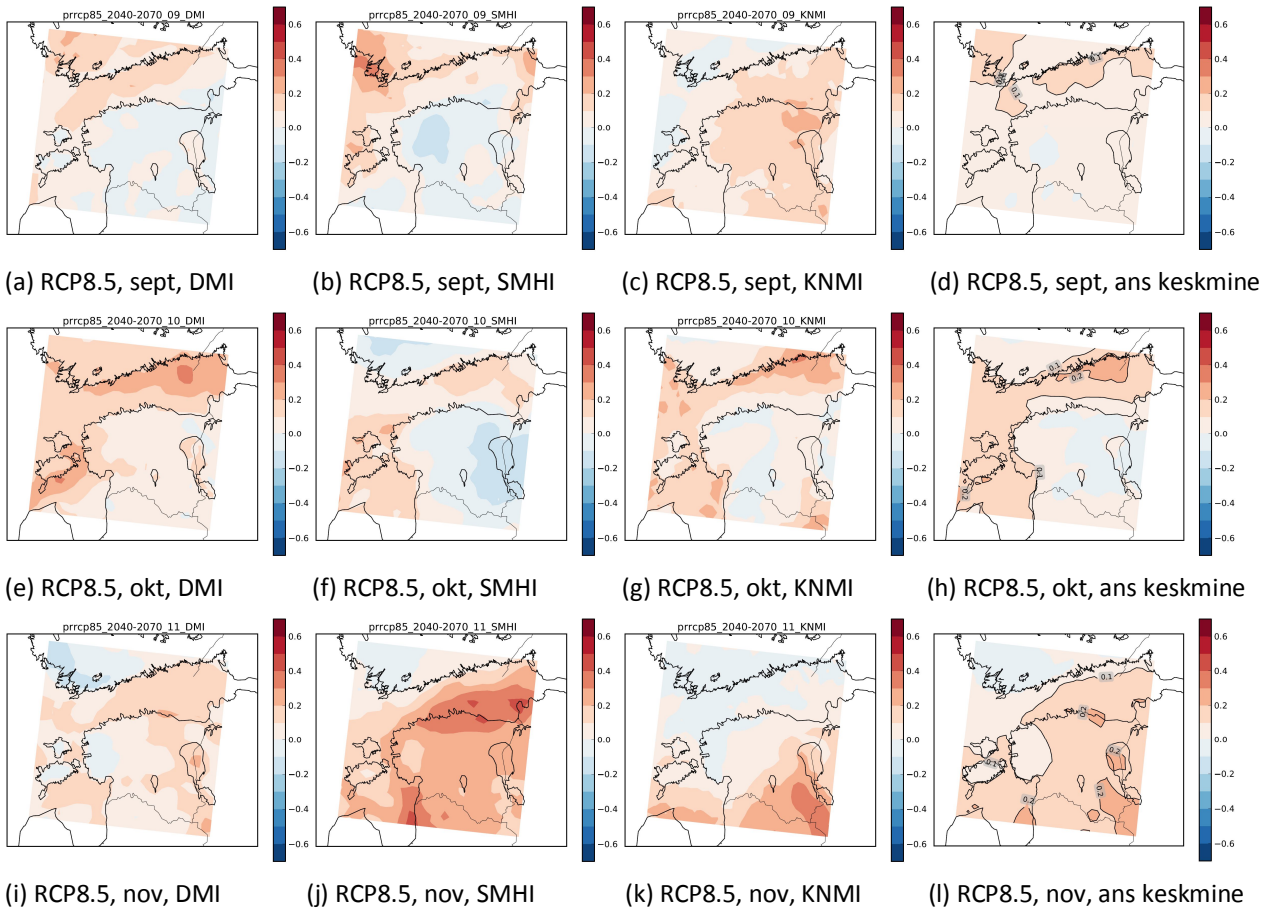
*Joonis 39: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, talvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*



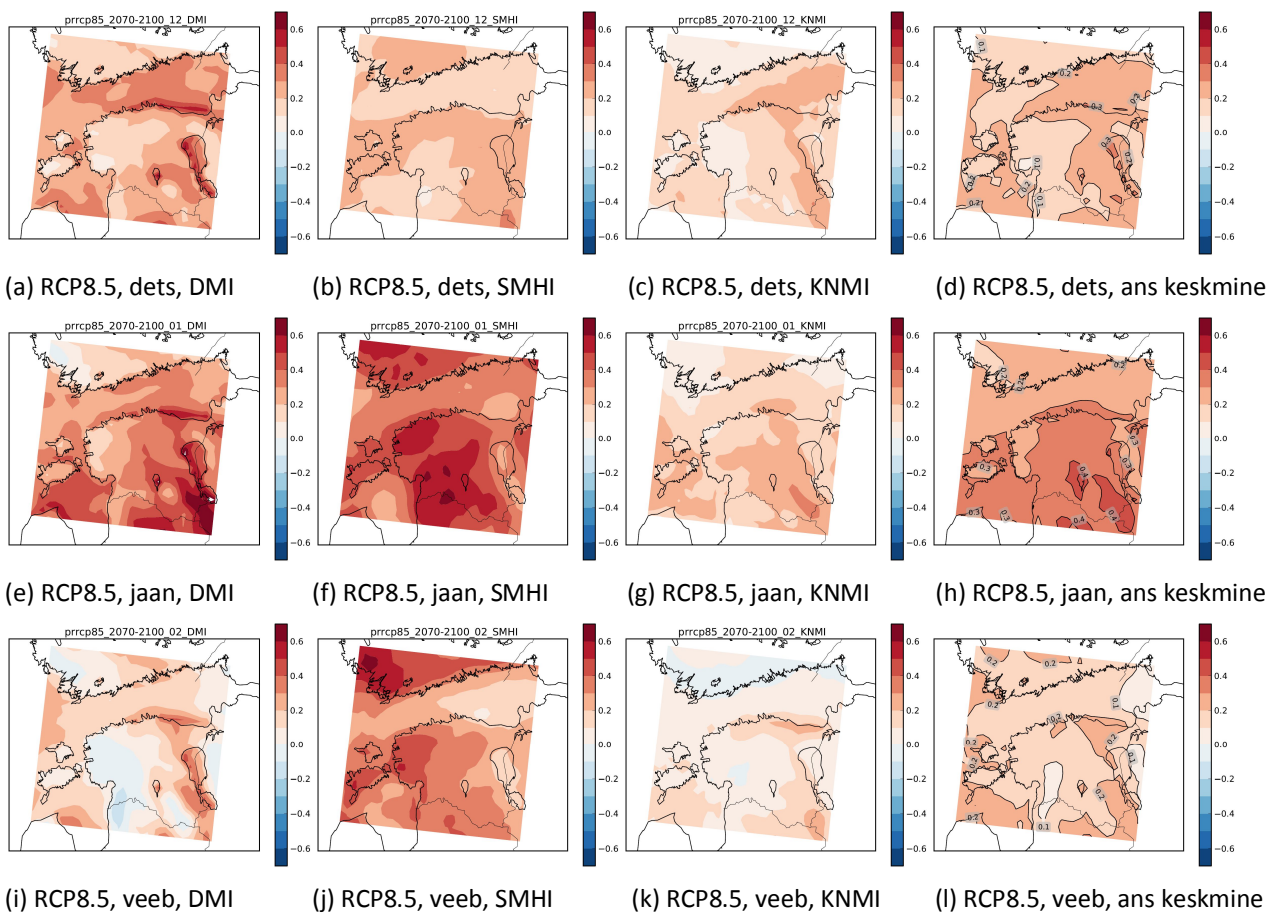
*Joonis 40: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, kevadkuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*



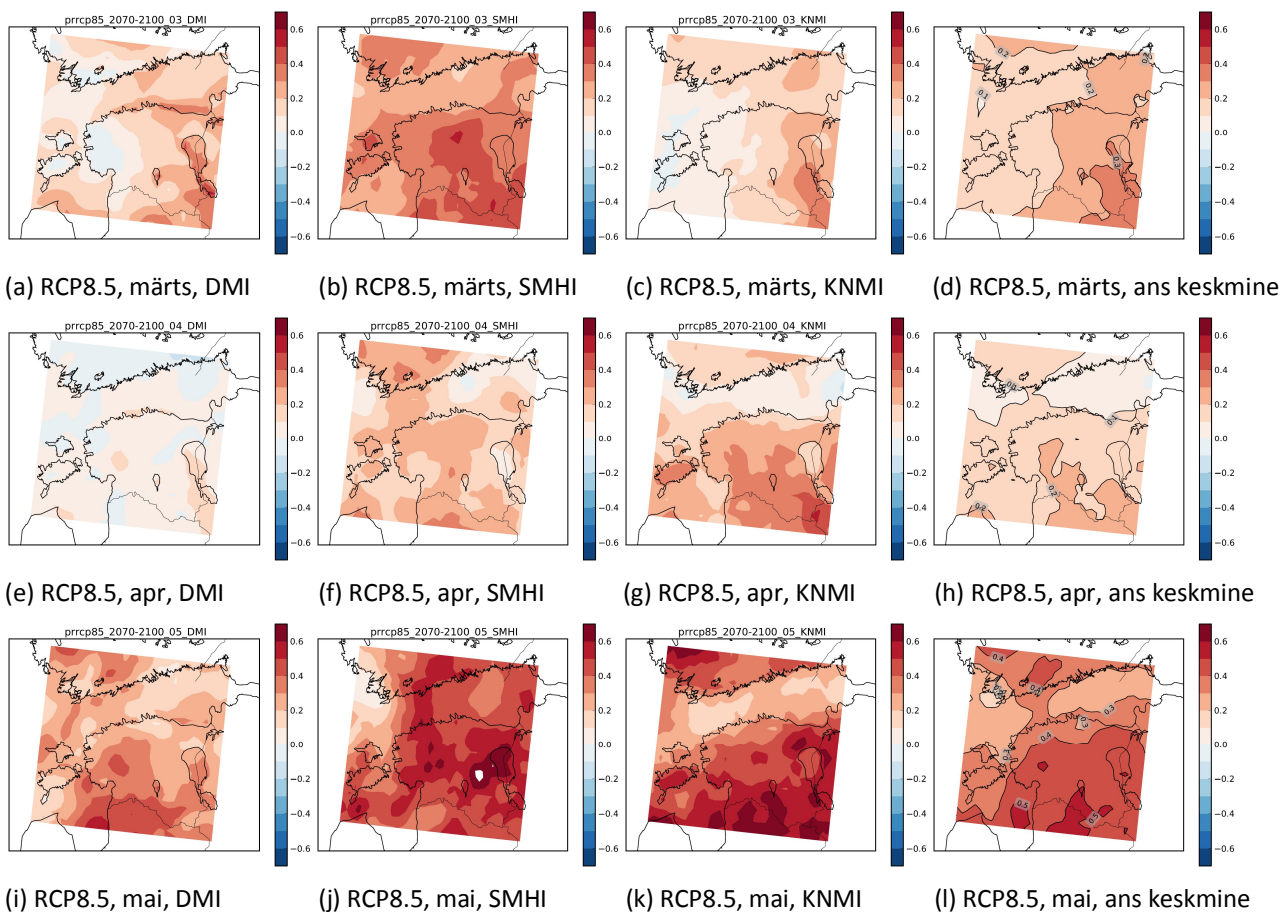
*Joonis 41: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, suvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*



*Joonis 42: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2041-2070 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, sügiskuu. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*

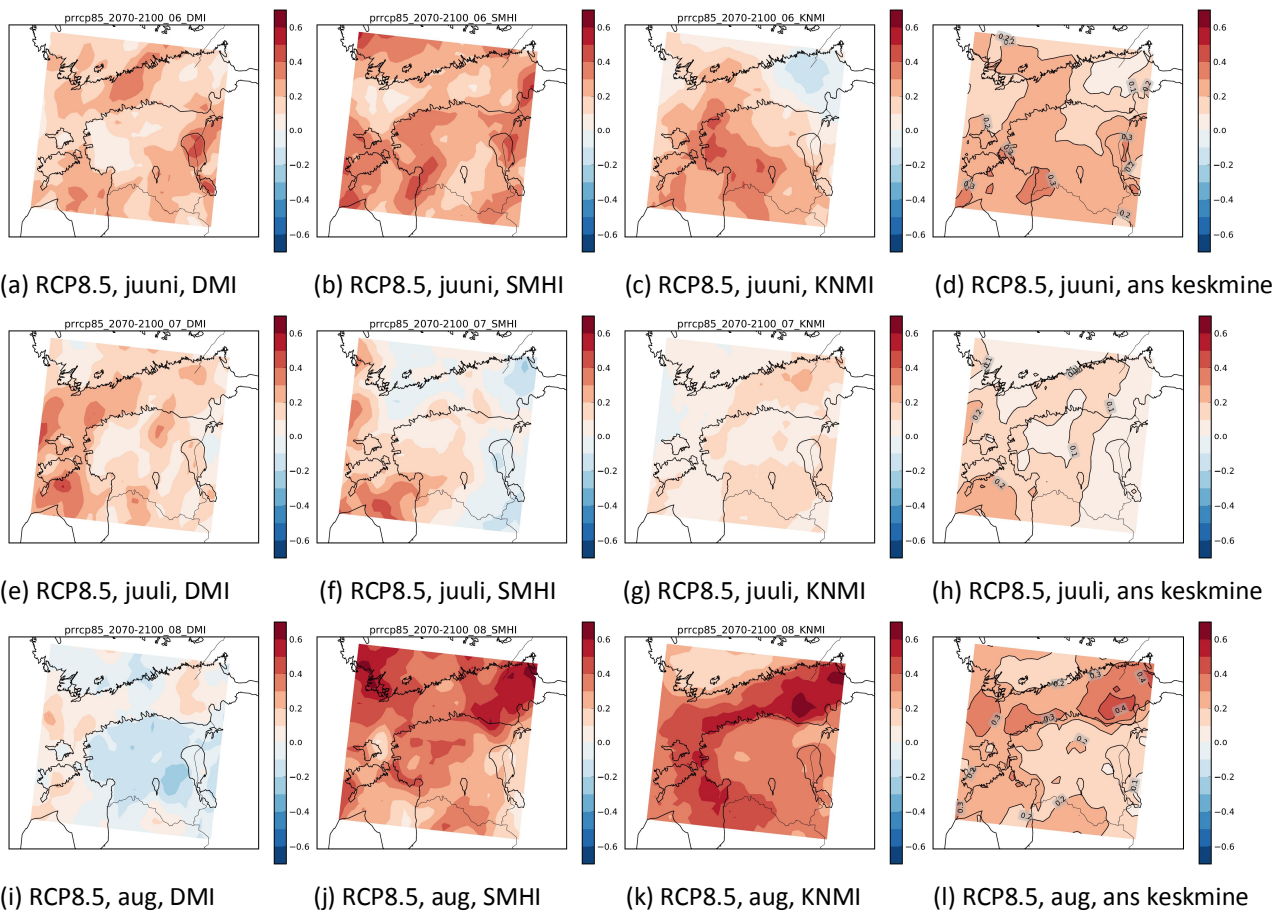


*Joonis 43: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, talvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*

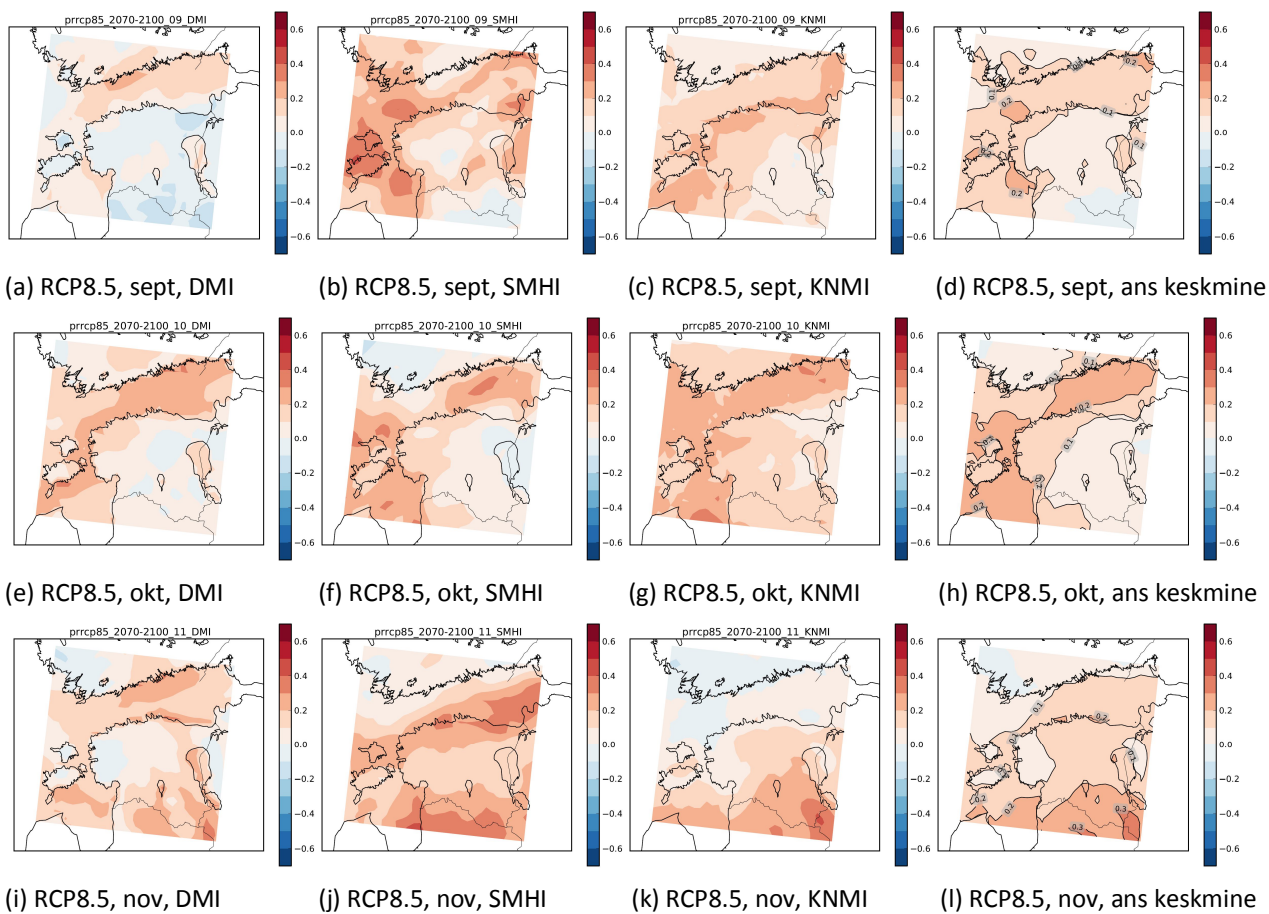


*Joonis 44: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, kevadkuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*





*Joonis 45: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, suvekuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.*



Joonis 46: Sademete suhteline muutus (valem 1 lk 27) 2071-2100 võrreldes kontrollperioodiga 1971-2000, RCP8.5, sügiskuud. Tulemused eraldi mudelite ja miniansambli keskmisena.