

Tuleviku kliimatingimuste analüüs Tallinna kliimariskide hindamiseks

Lepingulise töö aruanne, kolmas etapp

Kliimauuringute keskus, füüsika instituut, Tartu ülikool

05.12.2025

Sisukord

Sisukord	2
1. Aruande eesmärk ja lugemisjuhised	3
2. Põhisõnumid kliimariskide hindamiseks	4
3. Sissejuhatus: kuidas andme- ja teaduspõhiselt kliimamuutustega kohaneda?	7
4. Tulemused: tuleviku kliimatingimused Eestis, sh Tallinnas	11
4.1 Kuum ja külm	13
4.2 Märg ja kuiv	14
4.3 Tuul	16
4.4 Lumi ja jää	17
4.5 Muu	18
5. Kasutatud andmed ja meetodid tuleviku kliimatingimuste analüüsimisel	19
5.1 Kliimaprojektsioonid	19
5.2 Globaalse soojenemise taseme põhine lähenemine	20
5.3 Emissioonistsenaariumid ja ajavahemikud	22
5.4 Tõenäoline globaalse soojenemise ulatus tänastest poliitikatest lähtuvalt on sajandi lõpuks ligi kolm kraadi	24
Lisad	26
Lisa 1. Mõisted ja lühendid	26
Lisa 2. Globaalsed ja regionaalsed kliimamuutuste riskid	33
Lisa 3. Kliimasüsteemi murdepunktid	37
Lisa 4. Näiteid avaldunud kliimariskidest ja kohanemise strateegiatest teistest linnadest	39
Lisa 4.1 Näiteid juba avaldunud kliimariskidest	39
Lisa 4.2 Näiteid kliimamuutustega kohanemise strateegiatest	40
Lisa 5. Andmetabelid Eesti maismaa (seehulgas Tallinna) kliimatingimusi kirjeldavate parameetrite muutuste jaoks	44
Viited	45

1. Aruande eesmärk ja lugemisjuhised

Tuleviku kliimatingimuste analüüs Tallinna kliimariskide hindamiseks pakub teaduspõhist alust, mis aitaks linnal langetada otsuseid kliimariskide vähendamiseks, kohanemismeetmete kavandamiseks ja säilenõtkuse suurendamiseks ning hinnata edasiste uuringute ja analüüside vajadust. Aruanne on suunatud linnaüksustele, kes tegelevad: poliitika kujundamise ja strateegiliste arengudokumentide koostamisega, ruumilise planeerimise ja linnaruumi arendamisega, linna taristu ja hoonete haldamise ning hooldusega, riskijuhtimise ja kriisivalmiduse korraldamisega. Samuti linna välistele asutustele ja partneritele, kes osalevad kliimamuutustega kohanemise meetmete väljatöötamises või rakendamises — näiteks linna teenuseosutajad, planeerimisbürood, konsultandid, arendajad ning kogukonnad ja elanikud, kelle jaoks kliimariskide teadlik juhtimine on oluline.

Põhisõnumid (ptk 2) võtavad kokku kõige tähtsama kliimariskide hindamiseks, kusjuures iga sõnumi juures on viide raporti osale, kust leiab sõnumiga seotud põhjalikuma selgituse ja vastavad teaduslikud viited. Sissejuhatus (ptk 3) avab kliimamuutustega kohanemise tausta ja selgitab, kuidas täppisteaduslikud tulevikukliima projektsioonid aitavad kliimariske analüüsida. Tulemuste peatükk (ptk 4) kirjeldab Eesti, sh Tallinna, tulevikukliimat lähtuvalt analüüsitud kliimamudelite projektsioonidest ja teaduskirjandusest. Kliimamuutuste kirjeldus on mugavalt leitav kliimamõju tegurite kaupa (Tabel 1). Metoodika (ptk 5) kirjeldab kasutatud kliimaandmeid ja analüüsimeetodeid. Aruande põhjalikud lisad avavad laiemat tausta kliimariskide hindamiseks. Lisad selgitavad põhimõisteid (Lisa 1), avavad kliimariskide globaalset tausta (Lisa 2), kirjeldavad suure võimaliku mõjuga kliimasüsteemi murdepunkte (Lisa 3) ning toovad näiteid avaldunud kliimariskidest ja kliimamuutustega kohanemise strateegiatest teistest linnadest (Lisa 4). Lisana 5 on eraldiseisvas failis toodud põhjalikud andmetabelid, mis kirjeldavad Eesti kliima tingimusi erinevate globaalse soojenemise tasemetega. Viidete alt leiate raporti põhjaluseks olnud materjalid, millest soovime vajadusel otsida detailsemat infot erinevate raportis käsitletud aspektide kohta.

2. Põhisõnumid kliimariskide hindamiseks

Eesootavad kliimamuutused on ulatuslikud ja väga suure mõjuga

Üleilmne kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamine on olnud suhteliselt aeglane ja seetõttu võib globaalne temperatuur sajandi lõpuks kerkida kuni kolm kraadi (ptk 5.3 ja 5.4), tuues kaasa tohutud mõjud. Näiteks ulatuslikud ekvaatorilähedased piirkonnad muutuvad soojenemise tõttu tõenäoliselt praktiliselt elamiskõlbmatuks (Lisa 2).

Tallinna mõjutavad nii kohalikud kui ka kaugemad kliimamuutused

On oluline paremini valmis olla nii Eestis (ptk 4) kui ka kaugemal avalduvate (Lisad 2 ja 3) kliimamuutuste mõjudeks. Välised mõjud võivad avalduda näiteks läbi majanduslike või geopoliitiliste mõjude, kliimarände, toidu hindade, muutuste tarneahelates või läbi primaarenergia kättesaadavuse (Lisa 2).

Mitmed muutused on kindlad ja suure mõjuga

Oluline on hinnata erinevate muutuste ulatust, teaduslikku selgust ja mõju. Paljud kliimamuutuste aspektid on teaduslikult väga hästi mõistetud ja üheselt selged, näiteks kuumalainete (ptk 4.1) ja paduvihmade (ptk 4.2) intensiivistumine ja sagenemine. Muutuste ulatuse, teadusliku selguse ja mõju hindamine loob aluse kliimariskide juhtimise ja kohanemismeetmete prioriteetide seadmiseks (ptk 3).

Tervist kahjustavate kuumalainete arv kasvab

Iga kraadikümnendiku globaalse soojenemisega tugevnevad ja sagenevad Eestis ja Tallinnas kuumalained, mille mõju võimendavad linnalised soojusaared (ptk 4.1). Samuti on kuumalained pikemad. Koos kuumalainetega kasvab vajadus siseruumide jahutamise järele, kusjuures sajandi lõpuks võib jahutusvajadusega kraadpäevi olla Eestis üle viiekümne (Tabel 2, Lisa 5).

Padusadudest tingitud üleujutuste arv kasvab

Iga kraadikümnendiku globaalse soojenemisega tugevnevad ja sagenevad Eestis ja Tallinnas paduvihmad ja nendest tingitud linnalised üleujutused. Paduvihmad tugevnevad keskmistest sajuhulkadest kiiremini (ptk 4.2). Kahekraadise globaalse soojenemise korral kasvaks päevade

arv, mil sajab rohkem kui 10 mm, ca 27% ja kolmekraadise globaalse soojenemise korral ca 45% (Tabel 3, Lisa 5).

Tihenev hoonestus võimendab kuumalainete ja paduvihmade mõju

Sademetes ja kuumalainete mõjud võimenduvad linnaruumi tihedamaks muutudes – tihenev hoonestus suurendab samaaegselt nii üleujutuse kui ka kuumastressi riske, rõhutades vajadust integreeritud lähenemise järele kliimakindla linnaruumi kavandamisel (ptk 3). Linnade soojussaare efekt võimendab kuumalainete mõju märgatavalt, mistõttu on ruumiline planeerimine ja rohevõrgustiku arendamine peamised leevendusvõimalused.

Määramatus ei õigusta tegevusetust

Kuigi paljud kliimamuutuste aspektid on teaduslikult väga hästi mõistetud ja üheselt selged, on atmosfääri tsirkulatsiooni muutustega seotud muutused ebaselged (Tabel 1; ptk 4.3 ja 4.5). Otsuseid tuleb langetada olemasoleva parima teadusliku arusaama põhjal, arvestades määramatust kui riskijuhtimise osa, mitte takistust (ptk 3).

Mereveetaseme tõus võib tuua kaasa ulatuslikumad üleujutused rannikul

Läänemere keskmine suhteline veetase tõenäoliselt tõuseb (ptk 4.5). Mereveetaseme tõus võib kaasa tuua senisest ulatuslikumad üleujutused rannikul, aga samas on ebaselge, kuidas muutused talvetormides ranniku üleujutusi mõjutavad.

Muutused tormisuses ja tuulisuses on ebaselged

Muutused talvistes ehk tsüklonaalsetes tormides ja nendega kaasnevates tormituultes on ebaselged, kuna sõltuvad suuremastaapse õhuringluse muutustest (ptk 4.3). Suve- ehk äikese- ehk konvektiivsed tormid võivad soojemas kliimas tugevneda (ptk 4.3). Muutused nii keskmise kui ka tugevate tuulte kiiruses on väikesed ja ebaselged (Tabel 4, Lisa 5)

Kliimariske tuleb analüüsida pidevalt

Kliimarisike hindamine on pidev ja iteratiivne protsess, mida tuleb ajakohastada vastavalt uutele teadusandmetele ja linnaruumi muutustele (ptk 3). Efektiivne kohanemine eeldab eri sektorite andmete ja meetodikate ühtlustamist. Selleks on vaja ühist alusraamistikku, mis seob teadusliku kindluse ja praktilise rakendatavuse ning toetab kliimapoliitika ja ruumilise planeerimise kooskõlalist arengut.

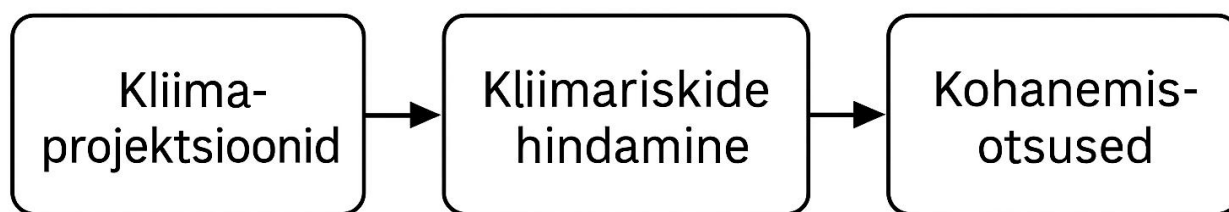
Looduslähedased lahendused on tõhusad

Looduslähedased lahendused jahutavad linnaruumi, hoiavad vett ja seovad süsinikku (Lisa 4). Ökosüsteemide vastupanuvõime tugevdamine on sageli kulutõhusam ja püsivam strateegia kui üksikute riskide tehniline maandamine, pakkudes samal ajal lisahüvesid elukeskkonna kvaliteedi ja ökoloogilise stabiilsuse seisukohalt.

3. Sissejuhatus: kuidas andme- ja teaduspõhiselt kliimamuutustega kohaneda?

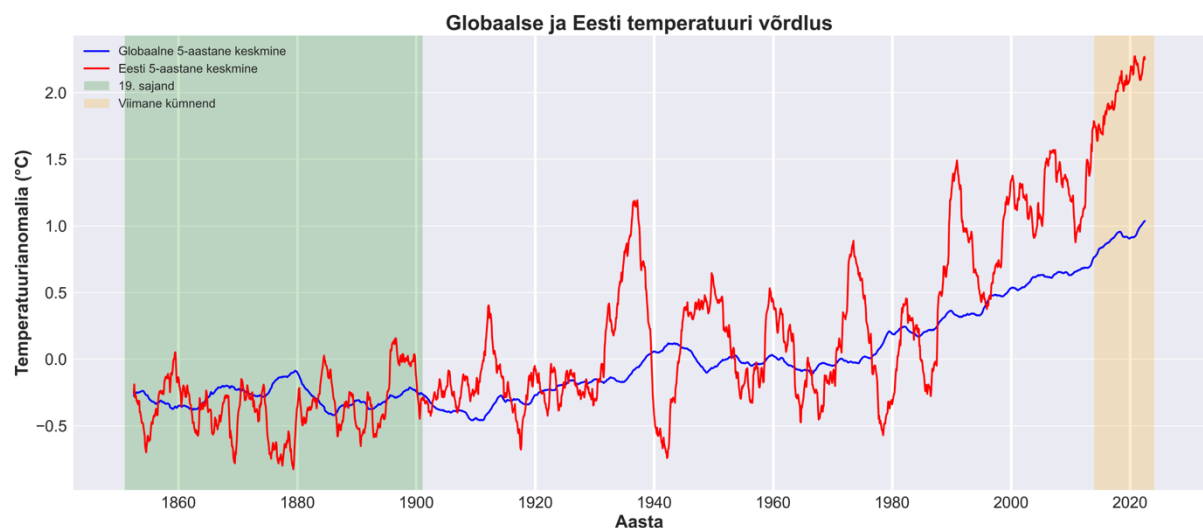
Kliimamuutustega kohanemine on sisuliselt kliimariskide juhtimine, mille aluseks on nende riskide põhjalik hindamine. Kliimarisk tähendab kliimamuutuste võimalikku negatiivset mõju keskkonnale, majandusele või ühiskonnale. Selliste riskide minimeerimiseks on vajalik nende pidev ja süsteemne juhtimine. Riskide juhtimise protsess algab riskihindamisest, mis hõlmab kolme peamist komponenti: potentsiaalsete ohtude tuvastamine, nende ohtude esinemise tõenäosuse hindamine ja haavatavuse analüüs ehk kui vastuvõtlik on süsteem nendele ohtudele.

Terviklik lähenemine võimaldab luua efektiivseid strateegiaid kliimamuutustega kohanemiseks ja nende mõjude leevendamiseks. Kliimariskide juhtimine peab põhinema andmetel (Joonis 1): hinnatakse riskide tõenäosusi, tagajärgi ja seotud määramatust. Võimalike ohtude ja nende tõenäosuste hindamiseks kasutatakse nii mineviku- kui ka tulevikukliima andmeid. Minevikukliima puhul saab kasutada otseselt mõõdetud või füüsikaliselt modelleeritud kliimaelementide ruumilisi aegridu, millest arvutatakse ka kliimamõju tegurid. Kõige tavalisemad kliimaelemendid on õhutemperatuur ja sademed; nendest saab määrata näiteks ohte inimestevisele, nagu kuumaperioodide sagedus või soojussaarte ulatus. Tuleviku prognoosimiseks kasutatakse kliimamudeleid, mille olulised osad on füüsikaline kirjeldus ja erinevad inimtegevuse stsenaariumid. Kuna ei ole teada, kuidas inimesed tulevikus käituvad, on teaduspõhine lähenemine kasutada mitut stsenaariumi, et katta võimalike kliimamuutuste ulatus. Stsenaariumipõhise lähenemise korral on vajalik kliimamudelite ansambel (mitme mudeli komplekt), mis katab erinevaid tuleviku stsenaariume ja võimaldab kvantifitseerida tulemuste hajuvust ning usaldusväärsust.



Joonis 1. Kliimamudelite abil loodud kirjeldus tulevikukliimast ehk kliimaprojektsioonid on teaduspõhiseks aluseks kliimariskide hindamisele ja kliimamuutustega kohanemise otsustele.

Arvestades vajadust kiiresti pidurdada kliimamuutusi ning samuti kohaneda toimunud ja tulevikus võimalike kliimamuutustega, seisavad otsustajad silmitsi küsimusega: „Milliste kohanemis- ja leevendusmeetmetega peaksime kliimamuutusi ohjama?“ Kliimamuutustega kohanemist peaks alustama kindlatest teadmistest ning liikuma edasi valdkondadesse, kus meil on täpsustamist ja uurimist vajavad määramatused. Määramatustest alustamise puhul kipub auditoorium klammerduma määramatusele ning selleläbi võimendama neid kindlatest teadmistest suuremaks. Meil on palju kindlaid teadmisi nii praeguste kui tulevaste kliimamuutuste kohta ja neid tuleb päev-päevalt juurde [1], [2]. Esiteks teame, et kliima on juba oluliselt muutunud ja muutub jätkuvalt — see ei ole vaid tulevikuprobleem — ning teame, et selle põhjuseks on inimtekkeliste kasvuhoonegaaside heide. Samuti teame, et Eesti kliima on soojenenud globaalsest keskmisest oluliselt kiiremini (Joonis 2).



Joonis 2. Eesti soojeneb oluliselt kiiremini kui planeet Maa tervikuna. Eesti ja globaalse keskmise temperatuuri aegrida Berkeley Earth andmebaasi järgi 19. sajandi keskpaigast ([Berkeley Earth](#)). Globaalne keskmine temperatuur on perioodil 2014-2023, võrreldes perioodiga 1850-1900, tõusnud 1,2 °C ja Eesti temperatuur 2,36 °C.

On olemas kindlad teadmised kliimamuutuste põhjustest: rohkem kui 90% kahekümnenda sajandi teisest poolest aset leidnud kliima soojenemisest on inimtekkeline [1]. Teame, et inimtekkeline kliima soojenemine on põhjustanud paljudes piirkondades, seehulgas Põhja-Euroopas ja Eestis, kuumalainete ja paduvihmade sagenemise ja intensiivistumise [1]. Tähelepanu suunamine äärmusväärtusele on põhjendatud, sest just ekstreemsed sündmused põhjustavad suure osa inimühiskonnale ja ökosüsteemidele tekitatud kahjust. Siiski on kliimamuutuste mitmed detailid ebaselged, eriti väiksemates ruumi ja ajamastaapides.

Ebaselged on sageli muutused, mis on seotud suuremastaapse atmosfääri- ja ookeanitsirkulatsiooni muutustega. Eesti puhul näiteks muutused tuulisuses ja tormisuses.

Linnades kliimamuutuste mõjud võimenduvad ja selle põhjusteks on soojussaare efekt, linnaline maakasutus (tihe hoonestu ja betooni ning asfaldi domineerimine maakattena), samuti looduslike ökosüsteemide taandumine. Need tegurid võimendavad üksteise mõjusid. Soojussaared, ehk ümbritsevatest piirkondadest kõrgemate temperatuuridega alad linnades, tekivad betooni, asfaldi ja kivipindade ning ehitiste poolt neelatud soojuse lisaakumulatsiooni tõttu. Taimede pakutav vari ja aurumisest tulenev niiskem mikrokliima aitaksid hoida temperatuure madalamal. Kõvakattega pinnad takistavad vihmavee imbumist pinnasesse, eemaldades ühe olulise jahutusallika - vee aurumise. Soojussaarte tõttu suureneb siseruumide jahutusvajadus, mis omakorda paiskab õhu konditsioneerimise kaudu veelgi enam soojust linnaruumi. Tugevate valingvihmade korral võib vee mitteimbumine kõvakattega pindadesse või sademevee torustike ülekoormus põhjustada üleujutusi, mis võivad kahjustada vara. Erinevalt maapiirkondadest ei võimalda linnade tihe hoonestus jätta ruumi looduslikele vee kogunemise aladele.

Linnade taristu on projekteeritud ja ehitatud kehtivate normide järgi toimima tol hetkel teada olevate koormuste vahemikes — st kindlate temperatuuride, sademete, tuulekoormuste ja muude kliimaelementide tavapärastes piirides. Linnade laienedes ja tihenedes ei pruugi olemasolev taristu kliimamuutuste tingimustes enam tagada elanikele vajalikke teenuseid. See puudutab nii joogivee kättesaadavust põuaperioodidel, sademevee kanalisatsioonide toimetulekut valingvihmadega kui ka energiasüsteemide talitlust äärmuslike ilmasündmuste korral. Kuna linnad paiknevad sageli veekogude ääres, on need eriti haavatavad üleujutuste suhtes näiteks äärmuslike meretaseme tõusude korral.

Kliimamuutustega kohanemise põhistrateegia hõlmab mitmeid olulisi samme, mis on suunatud kliimariskide mõju vähendamisele ning kogukondade, majanduse ja ökosüsteemide vastupanuvõime suurendamisele. Esmalt tuleb läbi viia põhjalik kliimamõjude analüüs, millele järgneb riskide ja haavatavuse hindamine. Nende andmete põhjal tuleks arendada paindlikud kohanemisstrateegiad, koostada detailsed tegevusplaanid ja neid rakendada. Kõigi nende tegevuste sujuvamaks muutmiseks on vaja kaasata kogukonnad, tõsta nende teadlikkust ja edendada koostööd erinevatel kohanemistasemetel.

Siinne kliimatingimuste analüüs on aluseks esimesele sammule – kliimamõjude analüüsile. Euroopa Liit ja mitmed rahvusvahelised organisatsioonid on välja töötanud teaduspõhised kohanemisstrateegiad ja ka praktilised soovitused kliimamuutustega toimetulekuks. Näiteks Euroopa kliimamuutustega kohanemise platvorm [Climate-ADAPT](#) [3] pakub juurdepääsu andmetele Euroopa kliimamuutuste, haavatavuse, kohanemisstrateegiate ja -vahendite kohta. Ning seda ka riikide tasemel. [EU kliimamuutustega kohanemise missiooni](#) eesmärk on toetada piloodina Euroopa regioone ja kogukondi kliimakindluse saavutamisel aastaks 2030, aidates neil mõista kliimariske, välja töötada kohanemisteede ning rakendada uuenduslikke lahendusi vastupidavuse suurendamiseks. Mitmed Maailma Meteoroloogia organisatsiooni (WMO) väljaanded pakuvad teavet just kliimamuutustega kohanemiseks: [WMO-No. 1170](#) käsitleb, kuidas kliimateenused toetavad kliimamuutustega kohanemisel, [WMO-No. 1206](#) kirjeldab kuidas kliimateenuseid üles ehitada ja [WMO/TD-No. 1500](#) pakub soovitusi äärmusväärtuste analüüsiks teaduspõhiste otsuste vastuvõtmisel. Ka Kliimaministeeriumi kodulehel (<https://kliimaministeerium.ee/rohereform-kliima/kliimapoliitika/kliimamuutustega-kohanemine>) on toodud olulisemad viited välisallikatele.

4. Tulemused: tuleviku kliimatingimused Eestis, sh Tallinnas

Et luua pilt Eesti ja Tallinna kliima tulevikust, kombineerime teaduskirjandusel põhinevad teadmised kliimamudelite projektsioonide analüüsiga Eesti jaoks (tabelid 1 kuni 4; Lisa 5), lähtuvalt valitsustevahelise kliimamuutuste paneeli (IPCC) lähenemisest [1]. Järgnevalt on kirjeldatud globaalse soojenemisega kaasnevaid muutusi erinevates kliimamõju tegurites Eestis. Kontseptuaalne ülevaatlik kokkuvõte kliimamõju tegurite (climate impact-drivers) muutuste kohta on esitatud tabelis 1, tuginedes alljärgnevas tekstis kirjeldatud ja viidatud tõenditele. Kogu Eesti kliimamuutustele keskendumine on põhjendatud sellega, et kliimamudelid ei suuda veel kirjeldada erinevusi Tallinna linna ja laiema ümbritseva ala vahel, sest mudelite ruumiline lahusus on liiga jäme ja kõik füüsilised protsessid pole neis täielikult kirjeldatud (ptk 5.1). On oluline märkida, et kliimamudelid ei suuda väga esitada esinduslikult äärmusväärtusi, aga näitavad väga hästi üldiseid muutuste suundumusi (tabelid 2 kuni 4; Lisa 5).

Tabelites 2 kuni 4 on toodud Eesti maismaa kliimatingimuste muutused kahe ja kolmekraadise globaalse soojenemise korral. Ligi kolmekraadine globaalne soojenemine toimuks sajandi lõpuks, kui tänased poliitikad jätkuvad (ptk 5.3 ja 5.4). Tänaste üleilmsete poliitikate jätkumisele vastav globaalse soojenemise tase sajandi keskpaigaks on ligikaudu kaks kraadi (ptk 5.3; Joonis 5). Ehk Tabelid 2 kuni 4 kirjeldavad olukorda käesoleva sajandi keskpaigas ja lõpus, kui tänapäevaste heitkoguste vähendamiseks ei õnnestu suurendada. Samas tuleb ka rõhutada, et kasvuhoonegaaside eluiga atmosfääris on pikk, süsihappegaasi puhul sada aastat ja rohkem. See tähendab, et kliima soojenemine jätkub, kuni inimtegevus lisab veel kasvuhoonegaase atmosfääri ja inimtekkeliste kasvuhoonegaaside heitkoguste nulli jõudes tuleb hakkama saada nendes kliimatingimustes, mis kliimaneutraalsuse saavutamise hetkeks kätte jõudnud soojenemisega kaasnevad.

Tabel 1. Minevikus toimunud ja tulevikus toimuvad kliimamuutused Eestis. Muutused on esitatud kliimamõju tegurite kaudu. Mineviku muutused toetuvad mõõtmistele, tulevikumuutuste suunda vaadatakse käesoleval sajandil, kas tõusva (nool üles ↑), langeva (nool alla ↓) või ebaselgena (?). Tulevikus aset leidvate muutuste teadusliku arusaama selgus võib olla kas kõrge, keskmine või madal. Olulisemad teaduslikud viited koos kliimaprojektsioonide analüüside tulemustega on toodud tabelile järgnevas tekstis.

Kliimamõju tegur	Muutus mõõtmiste põhjal	Muutus käesoleval sajandil	Teaduslik selgus tuleviku osas
KUUM JA KÜLM			
Keskmine temperatuur	↑	↑	kõrge
Kuumalained	↑	↑	kõrge
Külmalained	↓	↓	kõrge
MÄRG JA KUIV			
Keskmine sademete hulk	↑	↑	kõrge
Paduvihmad	↑	↑	kõrge
Põuasus	?	↑	madal
TUUL			
Keskmine tuule kiirus	?	?	madal
Tormituul	?	?	madal
LUMI ja JÄÄ			
Lumikatte kestus	↓	↓	kõrge
Merejää	↓	↓	kõrge
MUU			
Pilvede hulk	?	?	madal
Aluspinnale jõudev päikesekiirgus	?	?	madal
Üleujutused rannikul	?	↑	madal
Merevee tase	↑	↑	keskmine

4.1 Kuum ja külm

Muutused temperatuuriga seotud kliimamõju näitajates on väga usaldusväärselt teada [1]. Mineviku ja tuleviku kliima analüüsid näitavad kooskõlaliselt soojenemist Põhja-Euroopas ja Eestis ning soojenemine ja sellega kaasnevad muutused süvenevad koos globaalse soojenemisega [1, ptk 12], [4], [5].

Põhja-Euroopa ja Eesti kliima soojeneb üleilmsest keskmisest kiiremini, samuti on Põhja-Euroopa ja Eesti soojenemine kiirem kui kogu Euroopa keskmine [5], [6], [7]. Globaalsest keskmisest kiirema soojenemise põhjused peituvad maismaa kiiremas soojenemises [1, ptk 2], [8], võrreldes ookeaniga, ja Arktika-lähedaste piirkondade kiiremas soojenemises [1, ptk 2], [9]. Lähtuvalt CMIP6 kliimaprojektsioonide andmetest tõuseb Eesti aasta keskmine temperatuur globaalsest keskmisest temperatuurist ligikaudu 1,3 korda kiiremini (Lisa 5).

Kõik aastaajad soojenevad Eestis, kusjuures kõige rohkem soojenevad talved ja kevaded [5] (Lisa 5). Lähtuvalt CMIP6 kliimamudelite projektsioonidest soojeneb Eesti kliima talvel 4,2 kraadi ja suvel 2,6 kraadi kahekraadise globaalse soojenemise korral ning talvel 5,7 kraadi ja suvel 3,9 kraadi kolmekraadise globaalse soojenemise korral (Tabel 2). Tugeva talvise soojenemise mõjul on talved lühemad ning keskmine küttevajadus väheneb [10], kusjuures küttevajadusega kraadpäevade arv võib väheneda sajandi lõpuks rohkem kui 1400 võrra (Tabel 2 GWL 3.0). Kõige külmemad päevad on keskmiselt palju soojemad justnimelt talvel (vt TNn Tabelis 2).

Eestis ja Põhja-Euroopas on külmalaineid globaalse soojenemise mõjul juba vähem ning kuumalained rohkem [1, ptk 2], [11], [12] ning lähtuvalt CMIP6 kliimaprojektsioonidest see trend globaalse soojenemisega järjest süveneb [13]. Sagedasemad ja tugevamad kuumalained kasvatavad järsult vajadust siseruumide jahutamise järele [10] ja kuumalainete mõju võimendavad linnalised soojussaared [14]. Jahutusvajadusega kraadpäevade arv võib sajandi lõpuks kasvada 44 võrra (Tabel 2 GWL 3.0). Samas on ka tulevikus külmemaid päevi ja aastaid, kuna looduslik aastatevaheline muutlikkus ei kao ära (Lisa 5).

Tabel 2. Kuuma ja külmaga seotud parameetrite muutus Eesti maismaal, vastavalt kahe- ja kolmekraadise globaalse soojenemise korral. Kahekraadine globaalne soojenemine, võrreldes tööstuseelse ajaga, esindab tõenäolist muutust 21. sajandi keskpaigaks ja kolmekraadine globaalne soojenemine 21. sajandi lõpuks, tänaste poliitikate jätkudes. Eesti kliimatingimusi kirjeldavad parameetrite väärtused ajaloolise (tööstuseelse) perioodi jaoks on antud absoluutväärtusena. Eesti kliimatingimusi kirjeldavad parameetrite väärtuste muutused kahekraadise (GWL 2.0) ja kolmekraadise (GWL 3.0) globaalse soojenemise korral on antud muutustena väärtustest ajaloolisel perioodil. TG - keskmine temperatuur, TNn - minimaalne temperatuur, TXx - maksimaalne temperatuur, HD17 - kütmisvajadusega kraadpäevade arv, CDD_cool – jahutusvajadusega kraadpäevade arv.

Parameeter	Ajalooline		GWL 2.0		GWL 3.0	
	Talv	Suvi	± Talv	± Suvi	± Talv	± Suvi
Keskmine temperatuur, TG (°C)	-6,8	15,0	+4,2	+2,6	+5,7	+3,9
Minimaalne temperatuur, TNn (°C)	-22,4	5,3	+7,4	+2,8	+10,4	+4,2
Maksimaalne temperatuur, TXx (°C)	4,5	25,6	+2,5	+2,5	+3,9	+4,3
	Aasta		± Aasta		± Aasta	
Kütmisvajadusega kraadpäevad, HD17 (°C·päeva)	4708,2		-1032,7		-1427,9	
Jahutusvajadusega kraadpäevad, CDD_cool (°C·päeva)	12		+23		+44	

4.2 Märg ja kuiv

Atmosfääri veeringe intensiivistumine on teaduslikult väga selge ja sellega kaasneb üldine suundumus, et piirkondades, kus sademete hulk ületab aurumist, keskmine sademete hulk kasvab ja piirkondades, kus aurumine ületab sademeid, keskmine sademete hulk kahaneb [1,

ptk 8], [15], [16]. Seetõttu on väga selge ka, et Eesti aastakeskmise sademete hulk kasvab [5], [11]. Mida tugevam on globaalne soojenemine, seda rohkem intensiivistub globaalne atmosfääri veeringe ja seda rohkem kasvab ka Eesti keskmine sademete hulk [1, ptk 8], [11]. Lähtuvalt CMIP6 kliimaprojektsioonide andmetest kasvab Eesti aastakeskmise sademete hulk ca 10% kahekraadise globaalse soojenemise korral ning ca 14% kolmekraadise globaalse soojenemise korral (tabel 3).

Lähtuvalt CMIP6 kliimaprojektsioonidest on keskmise sajuhulga kasv Eestis kõige tugevam talvel, seejärel sügisel ja kevadel (Lisa 5). Suvine muutus on ebaselge ehk suvine sademete hulk võib Eestis nii kasvada kui kahaneda (Lisa 5). Nii aastakeskmist kui ka sesoonsete sajuhulkade muutust moduleerivad lisaks üleüldisele atmosfääri veeringe intensiivistumisele ka globaalsest soojenemisest tingitud muutused suuremastaapses õhuringluses [17]. Õhuringluse muutused on teaduslikult ebaselged, sest sõltuvad omakorda sellest, kuidas muutuvad õhutemperatuuri ja -niiskuse jaotused suures geograafilises mastaabis [17], [18].

Äärmuslikud sademed on muutunud Eestis ja Põhja-Euroopas sagedasemaks ja intensiivsemaks ning see trend jätkub globaalse soojenemisega [11]. Tugevamad paduvihmad põhjustavad omakorda tugevamaid üleujutusi, eriti piirkondades, kus vihmaveel pole võimalik ära voolata, näiteks linnades [19]. Paduvihmade tugevus on otseselt seotud atmosfääri niiskussisaldusega ja kuna soojema atmosfääri keskmine niiskussisaldus on kõrgem, siis on ka paduvihmade intensiivistumine üldise soojenemise tõttu üheselt selge [1, ptk 8], [20], [21]. Kahekraadise globaalse soojenemise korral kasvaks päevade arv, mil sajab rohkem kui 10 mm, ca 27% ja kolmekraadise globaalse soojenemise korral ca 45% (Tabel 3). Kahekraadise globaalse soojenemise korral kasvaks maksimaalne ööpäevane sajuhulk ca 12% ja kolmekraadise globaalse soojenemise korral ca 19% (vt RX1day tabelis 3 ja Lisas 5).

Muutused meteoroloogilistes pöudades, mis on määratud sademete vähesusega, on Eestis ebaselged [11], [22]. Atmosfääri veeringe intensiivistumine, kõrgemad temperatuurid ja neist tingitud suurem aurustumine võivad potentsiaalselt põuasust üldisemalt siiski suurendada [1, ptk 8]. On leitud, et varasem lume sulamine ja lume puudumine vähendab kevadisel perioodil Põhja-Euroopas mulla niiskust [23]. Lisaks põhjustab tõenäoline muutlikkuse kasv väga

märgade ja väga kuivade tingimuste vahel potentsiaalselt nii tugevamaid sademetest tingitud üleujutusi kui ka rohkem põuasust [24].

Tabel 3. Sademetega seotud parameetrite muutus Eesti maismaal, vastavalt kahe- ja kolmekraadise globaalse soojenemise korral. Kahekraadine globaalne soojenemine, võrreldes tööstuseelse ajaga, esindab tõenäolist muutust 21. sajandi keskpaigaks ja kolmekraadine globaalne soojenemine 21. sajandi lõpuks, tänaste poliitikate jätkudes. Eesti kliimatingimusi kirjeldavad parameetrite väärtused ajaloolise (tööstuseelse) perioodi jaoks on antud absoluutväärtusena. Eesti kliimatingimusi kirjeldavad parameetrite väärtuste muutused kahekraadise (GWL 2.0) ja kolmekraadise (GWL 3.0) globaalse soojenemise korral on antud muutustena väärtustest ajaloolisel perioodil. RX1day - ühe päeva maksimaalsed sademed, RX5day - viie päeva maksimaalsed sademed, PRCPTOT - keskmised sademed, R10mm - päevade arv, kus sademeid on rohkem kui 10mm.

Parameeter	Ajalooline	GWL 2.0	GWL 3.0
	Aasta	± Aasta	± Aasta
Maksimaalne ühe päeva sadu, RX1day (mm)	23,6	+2,8	+4,4
Maksimaalne viie päeva sadu, RX5day (mm)	46,3	+5,2	+7,3
Aasta sademete summa, PRCPTOT (mm)	673,0	+66,7	+91,2
Üle 10 mm sademetega päevade arv, R10mm (päeva)	11,1	+3,0	+4,9

4.3 Tuul

Muutused Eestis on ebaselged nii tormituulte kui ka keskmise tuule kiiruse osas [11] (tabel 4, Lisa 5). Muutused tuule kiiruses on suuresti määratud globaalsest soojenemisest tingitud muutustega suuremõõtmelises õhuringluses, aga muutused õhuringluses on teaduslikult ebaselged [18]. Suve- ehk äikese- ehk konvektiivsed tormid ja nendega kaasnevad tormituuled võivad olla soojemas kliimas küll potentsiaalselt tugevamad, aga ka selles osas on ebaselgus [25], [26]. Talve- ehk tsüklonaalsed tormid ja nendega kaasnevad tormituuled võivad nihkuda koos tormide valdava trajektoori nihkumisega [27]. Aga ka tsüklonaalsete tormide valdava trajektoori nihkumise osas ja selle mõjus Eestile valitseb ebaselgus [11], [18].

Tabel 4. Tuulisusega seotud parameetrite muutus Eesti maismaal, vastavalt kahe- ja kolmekraadise globaalse soojenemise korral. Kahekraadine globaalne soojenemine, võrreldes tööstuseelse ajaga, esindab tõenäolist muutust 21. sajandi keskpaigaks ja kolmekraadine globaalne soojenemine 21. sajandi lõpuks, tänaste poliitikate jätkudes. Eesti kliimatingimusi kirjeldavad parameetrite väärtused ajaloolise (tööstuseelse) perioodi jaoks on antud absoluutväärtusena. Eesti kliimatingimusi kirjeldavad parameetrite väärtuste muutused kahekraadise (GWL 2.0) ja kolmekraadise (GWL 3.0) globaalse soojenemise korral on antud muutustena väärtustest ajaloolisel perioodil. WSmax - maksimaalne tuule kiirus, FG - keskmine tuule kiirus.

Parameeter	Ajalooline		GWL 2.0		GWL 3.0	
	Talv	Suvi	± Talv	± Suvi	± Talv	± Suvi
Maksimaalne tuule kiirus, WSmax (m/s)	10,1	7,4	-0,2	-0,2	±0,0	-0,4
Keskmine tuule kiirus, FG (m/s)	5,2	3,6	±0,0	-0,1	+0,1	-0,2

4.4 Lumi ja jää

Tugeva talvise soojenemise tõttu on talved lühemad ning nii lumikatte kestus kui ka merejääga perioodi pikkus lühenevad [7], [28], [29]. Sulata päevad (ID *ice days*) e päevade arv, mil maksimaalne temperatuur jääb alla 0 °C, langeks kahekraadise globaalse soojenemise korral ca 39% ja kolmekraadise globaalse soojenemise korral ca 51% (vt ID tabelis 5). Külmapäevad (FD *frost days*) näitab päevade arvu, mil minimaalne temperatuur langeb alla nulli. Nende kahe vahet FD - ID kutsutakse sulaga päevadeks ja need on päevad, kui temperatuur on mõlemal pool nullkraadi. Sarnaselt ID ja FD kahanemisele kahaneb summaarselt ka sulaga päevade aastane hulk. Merejää ei ole soojenemise mõjul mitte ainult vähem pindala mõttes, aga see on ka õhem [28]. Nii lühem lumikatte kestus kui ka vähema merejää esinemine on teaduslikult selged, kuna mõlemad sõltuvad otseselt temperatuurist, mille tõus on teaduslikult väga selge [28].

Tabel 5. Lume ja jääga seotud parameetrite muutus Eesti maismaal, vastavalt kahe- ja kolmekraadise globaalse soojenemise korral. Kahekraadine globaalne soojenemine, võrreldes tööstuseelse ajaga, esindab tõenäolist muutust 21. sajandi keskpaigaks ja kolmekraadine globaalne soojenemine 21. sajandi lõpuks, tänaste poliitikate jätkudes. Eesti kliimatingimusi kirjeldavad parameetrite väärtused ajaloolise (tööstuseelse) perioodi jaoks on antud absoluutväärtusena. Eesti kliimatingimusi kirjeldavad parameetrite väärtuste muutused kahekraadise (GWL 2.0) ja kolmekraadise (GWL 3.0) globaalse soojenemise korral on antud muutustena väärtustest ajaloolisel perioodil. ID - sulata päevad (temperatuur terve päeva alla nulli), FD - külmapäevad, temperatuuri miinimum alla nulli, sulaga päevad FD-ID - päevad mil nii külm kui sula.

Parameeter	Ajalooline	GWL 2.0	GWL 3.0
	Aasta	± Aasta	± Aasta
Sulata päevad, ID (päeva)	91,0	-35,4	-46,1
Külmapäevad, FD (päeva)	147,2	-44,9	-65,1
Sulaga päevad, FD-ID (päeva)	56,2	-9,5	-19,0

4.5 Muu

Lisaks tuulisusele on ebaselged ka teised peamiselt suuremõõtmelise õhuringluse muutusest tingitud muutused Eesti kliimas [11]. Selle alla käivad näiteks muutused pilvisuses ja aluspinnale jõudva päikesekiirguse hulgas [30], mis omakorda sõltub suuresti pilvisusest.

Kuigi muutused ranniku üleujutustes sõltuvad samuti muutustest suuremõõtmelises õhuringluses [31], võib tulevikus Eesti rannikul eeldada tugevamaid üleujutusi keskmise suhtelise mereveetaseme tõusu tõttu [32]. Oluline on aga ka rõhutada, et Läänemere veetaseme keeruline dünaamika toob kaasa määramatuse Läänemere keskmise suhtelise veetaseme muutuses [33].

5. Kasutatud andmed ja meetodid tuleviku kliimatingimuste analüüsimisel

5.1 Kliimaprojektsioonid

Kliima tuleviku projektsioonide koostamisel kasutatakse kliimamudeleid. Kliimamudelid on olemuslikult füüsikalised ja matemaatilised tegeliku keskkonna protsesside lihtsustused. Kuna mudel on aga piiratud täpsusega, siis kasutatakse reeglina mudelite ansamblit: erinevates teadusasutustes loodud kliimamudelite simulatsioonide kogumit, mille statistilisel töötlemisel antakse hinnang erinevate kliimasüsteemis toimuvate muutuste tõenäosusele. Et kliimamudelid oleksid omavahel võrreldavad, tehakse simulatsioone sarnaste konfiguratsioonidega, mille tulemusi nimetatakse võrdluseksperimentideks CMIP (*Climate Model Intercomparison Project*). Kõige kaasaegsem globaalsete kliimamudelite võrdluseksperiment on CMIP6, kuid kasutusel on veel ka CMIP5, sest selle projekti mudelid on omakorda sisendiks paljudele alammudelitele, näiteks EURO-CORDEX regionaalsete mudelite ansamblile.

Täpsete linnaliste kliimatingimuste kirjeldamine ei ole kahjuks veel tänapäevastele kliimamudelite ansamblitele jõukohane. Seetõttu keskendume käesolevas aruandes suuresti Eesti kliimamuutustele, mis kirjeldavad muutusi ka Tallinnas ja selle lähiümbruses. Esiteks on kliimamudelid piiratud ruumilise lahtusega ja teiseks ei saa neis otse kirjeldada protsesse, mille mastaap on mudeli võrgusilmast väiksem.

Tuleviku kliima tingimused sõltuvad inimtekkeliste kasvuhoonegaaside heitkogustest ja seetõttu kutsutakse heitkogustest sõltuvaid kliimaproгноose projektsioonideks. IPCC AR6 raportis on kasutatud inimtegevuse mõjude hindamiseks sotsiaalmajanduslikke alusstsenaariume (*SSP*), mida kombineeritakse heitkoguste vähendamise ambitsioonikusega, saades *SSP-RCP* (*representative concentration pathways*) kombinatsioonid (vt Lisa 1 SSP ja RCP mõistete selgitust). *SSP-RCP* kombinatsioonid esitavad võimalikke tuleviku kasvuhoonegaaside emissioone ja muid kliimat mõjutavaid tegureid, näiteks aerosoole ja maakasutust. Sõltuvalt ühiskonna ja tehnoloogiate arengust ning rahvusvahelisest kliimapoliitikast, võivad emissioonide määrad suurel määral erineda ja sellest tulenevalt erineb ka kliimasüsteemi reaktsioon.

Kliimasüsteemi iseloomustab ka sisemine muutlikkus. Atmosfäär, hüdrofäär ja krüosfäär moodustavad mittelineaarse vastastiksidemetega süsteemi, millel ei ole ühte kindlat tasakaaluasendit, vaid toimub võnkumine erinevate seisundite vahel. Globaalselt väljendub see keskmise temperatuuri muutlikkuses paari kraadikümnendiku võrra [34], kuid regionaalselt võib muutlikkus olla suurem ja püsivam ning oluliste sotsiaalmajanduslike tagajärgedega [35].

Käesolevas töös kasutame CMIP6 globaalsete kliimamudelite projektsioone, kaasates neid kliimamudeleid, mis on kaasatud Copernicuse interaktiivses kliimaatlases [4]. Atlases oli esindatud 39 mudelit. Mudelid, millel oli 360-päevane kalendriforming, jätsime välja, kuna nende ühtlustamine teiste mudelitega tekitas probleeme. Kokku kaasasime 31 mudelit, mis on saadaval Amazon AWS CMIP6 arhiivis [36].

5.2 Globaalse soojenemise taseme põhine lähenemine

Antud töös kasutame globaalse soojenemise taseme e *GWL* (ik *global warming level*) põhist lähenemist kliimamuutuste ulatuse kirjeldamiseks [1, ptk 1]. See on Valitsustevahelise Kliimamuutuste Paneeli kuuendas raportis läbivalt kasutatud lähenemine, mis on alternatiivne SSP-RCP lähenemisele. *GWL* lähenemine on hiljutistel aastatel rahvusvaheliselt üha enam kasutust leidnud. *GWL* viitab otseselt üleilmsele keskmisele soojenemise määrale, sõltumata sellest, millest see on põhjustatud (erinevalt näiteks RCP ja SSP-RCP stsenaariumitest, mis viitavad kiirgussunni muutustele).

Mida tugevam on globaalne soojenemine, seda ulatuslikumad on kliimamuutused ja see kehtib ka Eesti ja Tallinna piirkonna regionaalse kliima jaoks [1, ptk 1]. Seetõttu on võimalik kasutada globaalse soojenemise taseme, see tähendab globaalse keskmise aluspinnalähedase õhutemperatuuri tõusu, võrreldes tööstusrevolutsioonieelse ajaga, kirjeldamaks regionaalsete kliimamuutuste ulatust. Globaalse soojenemise tase ise sõltub enam-vähem võrdeliselt kumulatiivsetest inimtekkeliste kasvuhoonegaaside heitkogustest. Kokkuvõtvalt kehtib seos, et mida suuremad on kasvuhoonegaaside heitkogused, seda tugevam on globaalne kliima soojenemine ja ka regionaalsed kliimamuutused Eestis ja Tallinna piirkonnas.

GWL 2 (globaalne temperatuuri tõus 2 kraadi, võrreldes tööstuseelse ajaga) vastab Pariisi kokkuleppe eesmärgile hoida soojenemine alla 2 kraadi ja see on *optimistlik stsenaarium*.

Selle saavutamiseks peaksid riigid tegema kiireid ja resolootseid otsuseid kasvuhoonegaaside heite vähendamiseks ja süsiniku sidumiseks.

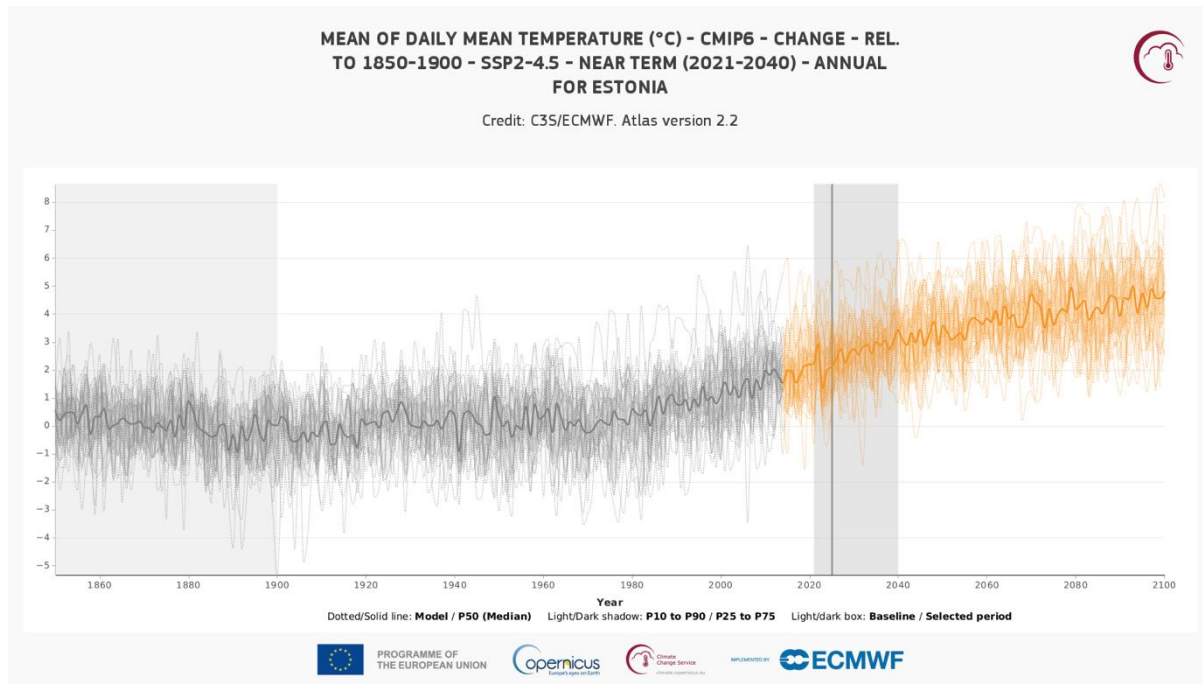
GWL 3 (globaalne temperatuuri tõus 3 kraadi, võrreldes tööstuseelse ajaga) on *tõenäoline stsenaarium*. Praegu riikide poolt võetud kohustuste ja sajandi teiseks pooleks loodud tehnoloogiate (süsiniku eemaldamine atmosfäärist) abil on võimalik soojenemine hoida sajandi lõpuks alla kolme kraadi.

GWL 4 (globaalne temperatuuri tõus 4 kraadi, võrreldes tööstuseelse ajaga) on *keeruline stsenaarium*, mis realiseerub siis, kui regioonide vahel on rohkem konkurentsi ja vähem koostööd ning maailmas domineerib nõrk kliimapoliitika.

Regiooniti on tehtud uuringuid selle kohta, millised muutused toimuvad kohalikus kliimas erinevate GWL tasemeni jõudmise korral [37]. Eesti kohta siiani detailsed uuringud puuduvad, aga lähtudes IPCC raportitest [1], [38] võib öelda järgmist. Kahe kraadi piiresse jääva soojenemisega on Eestis tõenäoliselt võimalik täielikult kohaneda, rakendades kohanemismeetmeid kohapeal (Eestis). Ka kolme kraadi lähedale jääva soojenemisega on Eesti kliima muutuste (temperatuur, sademed, ekstreemsed ilmaolud) osas võimalik tõenäoliselt suuremas osas edukalt kohaneda. Kuid kolmekraadise globaalse soojenemisega kaasnevad ulatuslikud kliimamuutused põhjustavad tõenäoliselt juba niivõrd ulatuslikku globaalset ebastabiilsust — rahvaste ränne, regionaalsed konfliktid toidu- ja veepuuduse pärast (Lisa 2) — et kohanemine ei ole enam riigisiseste meetmetega lahendatav küsimus. Soojenemine tuntavalt üle kolme kraadi, e *keeruline stsenaarium*, toob tõenäoliselt kaasa tõsised väljakutsed globaalsele ühiskonnakorraldusele.

Analüüsisime Eesti kliimaparameetrite muutust sõltuvana globaalse soojenemise tasemest, lähtudes alljärgnevatest eeldustest. Tööstuseelseks võrdlusperioodiks valisime ajavahemiku 1850–1900. Globaalse soojenemise tasemed arvutasime globaalse temperatuuri 20-aastase libiseva keskmise põhjal, kus väärtus võtab arvesse kümme varasemat ja kümme hilisemat aastat. Näiteks, kui aastate 2033–2052 keskmine temperatuur on esimene, mis ületab 2,0 °C soojenemise, siis loetakse GWL 2,0 °C saabumise aastaks 2043. See on kooskõlas IPCC AR6 meetodikaga [1]. GWL põhiste andmete jaoks tegime arvutused otse CMIP6 ansambli andmetest [36] ning aegridade tulemused arvutasime Copernicuse Atlase [4] eeltöödeldud ansambli andmeid kasutades. Mudelite ansambli kasutamine on kliimaprojektsioonide esitamisel enim levinud praktika: rohkem kui kolmekümnest mudelist koosneva andmestiku

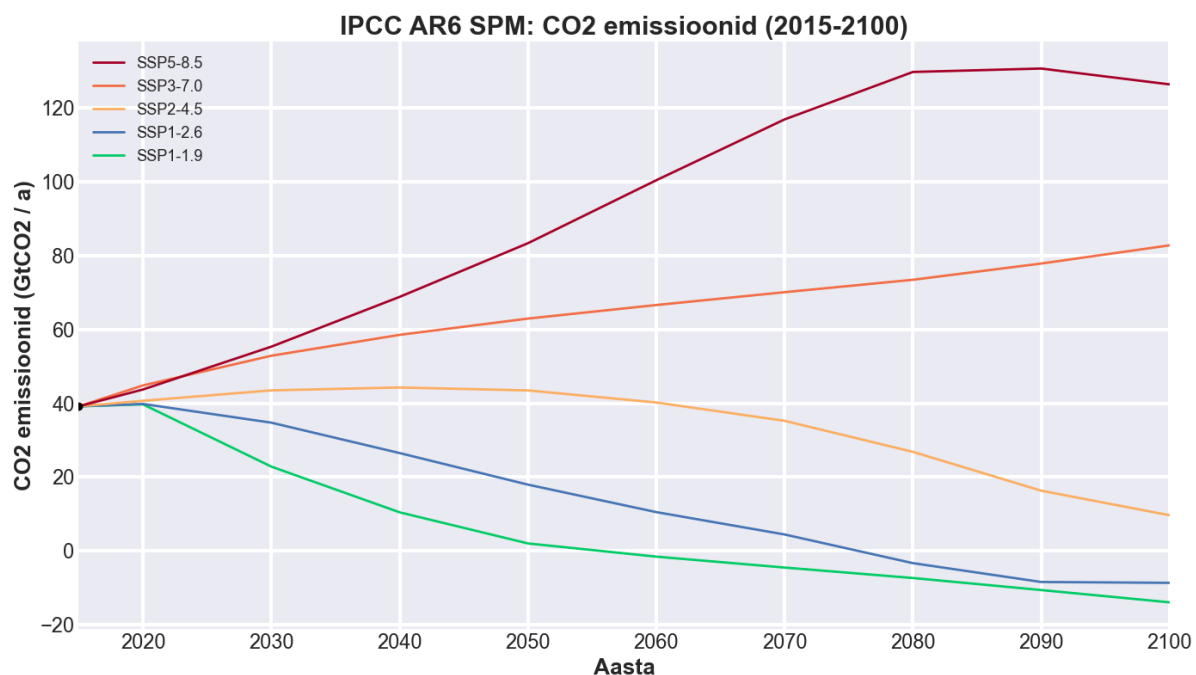
baasil luuakse statistiliselt kõige tõenäolisemad ning vähem tõenäosed, kuid siiski võimalikud, prognoosid. Üldjuhul võetakse kõige tõenäosemaks prognoosiks lihtsalt mediaanväärtus ja äärmustena vaadatakse 10% maksimaalseid ja minimaalseid väärtusi. Kliimaprojektsioonide ansamblit illustreerib näide joonisel 3. Joonis 3 esitab kliimamudelite temperatuuri andmeid Eesti jaoks ajavahemikus 1850-2100. Hallid jooned näitavad minevikku (kuid ei ole mõõtmisandmed) ja kollased tulevikku. Iga individuaalne mudeli prognoos on kujutatud eraldi joonena, mediaanväärtus jämeda joonega.



Joonis 3. Eesti temperatuuri projektsioonid CMIP6 ansambli alusel. Y-telg, suhteline muutus ajaloolise keskmise suhtes. <https://atlas.climate.copernicus.eu/atlas>

5.3 Emissioonistsenaariumid ja ajavahemikud

Millisest inimtekkeliste kasvuhoonegaaside emissioonistsenaariumist või globaalse soojenemise tasemest kliimamuutustega kohanemisel lähtuda, sõltub kasutaja vajadustest ja tehtavatest eeldustest. Sõltuvalt inimkonna valikutest on aastaks 2100 võimalikud väga erinevad kumulatiivsed inimtekkeliste kasvuhoonegaaside heitkogused ja globaalse soojenemise ulatused [39]. Joonisel 4 on toodud aastaste süsihappegaasi emissioonide aegrida erinevate SSP-RCP stsenaariumite jaoks.

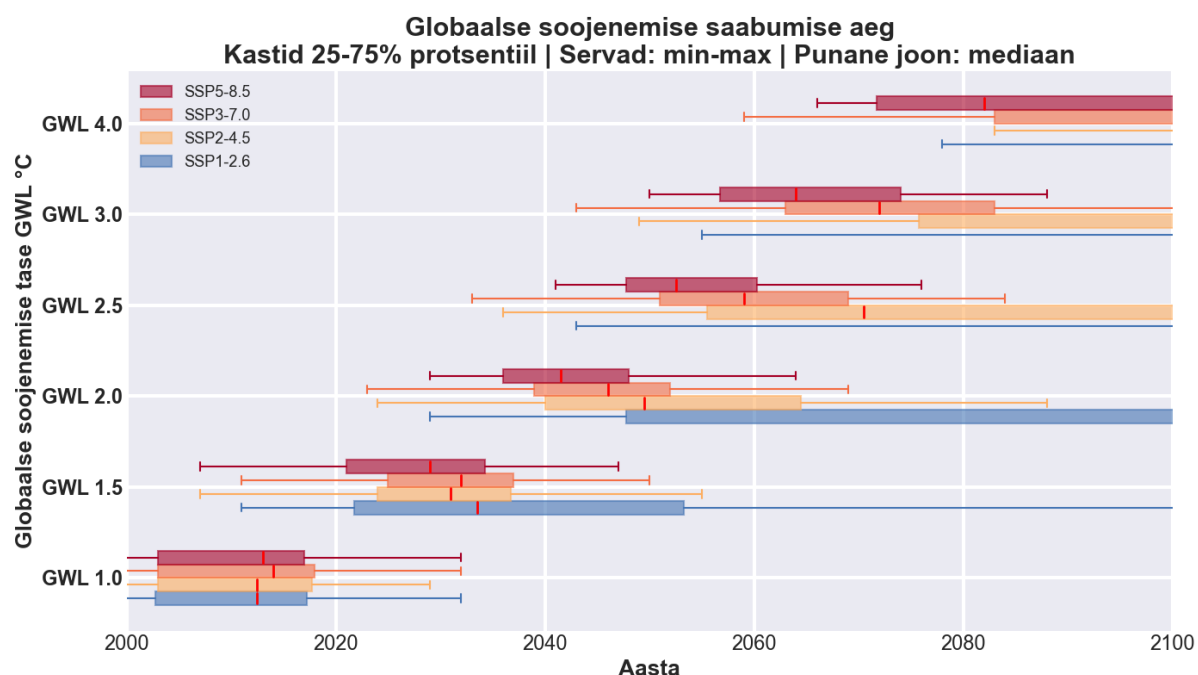


Joonis 4. CO₂ emissioonid erinevate sotsiaalmajanduslike stsenaariumite SSP ja kiirgussundide korral.

Pariisi kliimaleppe eesmärk on tugevdada ülemaailmseid jõupingutusi kliimamuutuste kahjulike mõjude vähendamiseks, hoides üleilmse keskmise aluspinnalähedase õhutemperatuuri tõusu tunduvalt alla 2 °C, võrreldes tööstuseelse tasemega, ja püüelda selle poole, et temperatuuri tõus ei ületaks 1,5 °C, võrreldes tööstuseelse tasemega [40]. Kliimamuutuste leevendusmeetmed on juba aidanud vähendada inimtekkeliste kasvuhoonegaaside heidet: näiteks oli inimtekkelise kasvuhoonegaaside heite kasvumäär aastatel 2010–2019 madalam kui aastatel 2000–2009, kuigi heitkogused olid 2010–2019 endiselt rekordkõrged [39, ptk 2].

GWL tasemetega (2, 3 ja 4 °C) saab katta eeldatava globaalse soojenemise vahemiku erinevate emissioonistsenaariumite jaoks. Sõltuvalt inimtekkeliste kasvuhoonegaaside emissioonidest, jõutakse kindla globaalse soojenemise tasemeni kas varem või hoopis hiljem (joonis 5). Joonis 5 esitabki orienteeruvad ajavahemikud, millal on oodata vastavat globaalse soojenemise taset (GWL). Jooniselt 5 on näha, et 1,5 kraadi soojenemise tase on peaaegu kindel ja saabub suuresti sõltumata sellest, millise sotsiaalmajandusliku stsenaariumi järgi ühiskond käitub, kuna kasvuhoonegaasid selle taseme saavutamiseks on atmosfääris juba peaaegu olemas. Kahekraadise soojenemise juures eristub selgelt stsenaarium SSP1-2.6, kuid nagu me joonise 4 alusel teame, eeldab SSP1-2.6 kiiret KHG emissioonide langust, mis ei ole paraku tõenäoline [41]. Varasemad kliimaanalüüsid on ekstreemse stsenaariumina kasutanud RCP8.5, aga on

üldine seisukoht, et see järjepanu kasvaval kivisöe kasutamisel põhinev perspektiiv ei ole praeguste tehnoloogiliste ja ühiskondlike arengute juures õnneks enam tõenäoline. Selle asemel kasutatakse GWL ansamblit, kuhu on valitud mudelid vastavalt soojenemise tasemele üle erinevate emissioonistsenaariumite.



Joonis 5. Globaalse soojenemise tasemete (GWL) saabumise ajad. GWL on defineeritud kui keskmine aasta, mil 20 aasta keskmine temperatuur saavutab vastava väärtuse. See tähendab, et kui GWL 2.0 aastaks on märgitud 2042, siis on ajavahemiku 2032-2052 globaalne keskmine temperatuur 2 kraadi kõrgem tööstusrevolutsiooni eelsest temperatuurist. Kasutatud SSP-RCP stsenaariumid vastavad joonisel 4 esitatud emissioonidele. Allikas: AdaptEst teadusliku raporti käsikiri.

5.4 Tõenäoline globaalse soojenemise ulatus tänastest poliitikatest lähtuvalt on sajandi lõpuks ligi kolm kraadi

Isegi kui kõik praegu kehtivad kliimaeesmärgid täidetakse, tõuseks üleilmne keskmine temperatuur, võrreldes tööstuseelse ajaga, ikkagi 2,8 °C võrra [41]. Tulevased heitkogused võivad olla nii väiksemad kui ka suuremad, võrreldes kehtivate eesmärkidega [39]. Kuid globaalse soojenemise piiramist 1,5 °C-ni käesoleva sajandi lõpuks on praktiliselt võimatu saavutada, kuna inimtekkelised kasvuhoonegaaside heitkogused jätkuvalt kasvavad [39], [41].

Lisaks määramatusele inimtekkeliste kasvuhoonegaaside heitkogustes, on määramatus ka Maa kliimasüsteemi tundlikkuses nendele heitmetele [1, ptk 7]. Praegu hinnatakse, et ühiskond

järgib kõige täpsemalt mõõdukat SSP2-4.5 kliimastsenaariumi [42]. Kõige tõenäolisem hinnang ülemaailmse keskmise temperatuuri muutuseks aastaks 2100 SSP2-4.5 stsenaariumi kohaselt on 2,9 °C, võrreldes tööstuseelse perioodiga [1, ptk 4]. Kuid väga tõenäoline vahemik (st 90% tõenäosus jääda kindlate soojenemise piiride vahele) üleilmseks soojenemiseks SSP2-4.5 stsenaariumi korral on 2,1 °C kuni 4,0 °C, võrreldes tööstuseelse tasemega [1, ptk 4]. Seega võivad praegu kehtivad kliimamuutuste leevendamise eesmärgid piirata soojenemist tuntavalt alla 3 °C, kuid ka globaalne soojenemine ligi 4 °C-ni on endiselt võimalik kehtivate eesmärkide piires [1, ptk 4,7].

Lisad

Lisa 1. Mõisted ja lühendid

CMIP (3, 5, 6) Coupled Model Intercomparison Project Phase 3, 5 and 6

Maailma Kliimauuringute Programmi (WCRP) projekt, mis pakub kliimaprognoose, et mõista mineviku, oleviku ja tuleviku kliimamuutusi. CMIP ning sellega seotud andmeinfrastruktuur on muutunud hädavajalikuks Valitsustevahelise Kliimamuutuste Paneeli (IPCC) ning teiste rahvusvaheliste ja riiklike kliimaanalüüside jaoks. <https://wcrp-cmip.org/>

CMIP on rahvusvaheline kliimamudelite võrdlusprojekt, mille eesmärk on paremini mõista mineviku, oleviku ja tuleviku kliimamuutusi. Kliimamudel on keeruline arvutuskood, mis loob Maast digitaalse analoogi. See mudel digitaliseerib protsessid ja mõjud Maa kliimasüsteemi osade: atmosfääri, ookeani, maismaa pinna, krüosfääri ja biosfääri vahel. Kliimamudeleid kasutatakse selleks, et uurida, kuidas inimtegevuse muutused tulevikus mõjutavad Maa kliimat, kui palju see soojeneb ning kuidas ülejutused, põuad ja teised äärmusnähtused muutuvad.

Kuid paljud kliimaga seotud protsessid toimuvad nii väikeses mõõtkavas, et mudelid ei ole võimelised neid täpselt kirjeldama ning seetõttu tehakse kirjeldustes lihtsustusi. Need lihtsustused sõltuvad mudelist ning on ainulaadsed. Seetõttu on tarvis võrrelda erinevate mudelitega arvutatud simulatsioone, et mõista, millised saadud tulemused on eri mudelite puhul kooskõlalised ning millised ei ühti. Alates 1995. aastast on CMIP koordineerinud seda mudelite võrdlust kliimateaduse kogukonnas.

See ansambiline (multimudeliline) lähenemine aitab analüüsida kliimamudelite usaldusväärsust, aitab parandada mudelsimulatsioone ning loob parema arusaama mineviku, oleviku ja tuleviku kliimast. Üks CMIP-i täiendav tugevus on selle globaalne infrastruktuur, mis kogub andmeid ning pakub avatud juurdepääsu kasvavale rahvusvahelisele teaduskogukonnale.

CMIP on kasvanud tagasihoidlikust teaduslikust algatusest 1990ndate alguses globaalseks ettevõtmiseks: rohkem kui 50 modelleerimiskeskust üle maailma osalevad CMIPi kuuendas faasis - CMIP6. Juba on avaldatud sadu teadusartikleid ning samuti on neid tulemusi juba arvesse võetud poliitiliste otsuste tegemisel.

CMIP-i on korraldatud mitmes faasis, iga kord täiustades kliimamudelite eksperimentide protokolle, standardeid ja andme jagamise mehhanisme. CMIP6 on kõige viimane faas, mis on avaldanud oma mudelväljundid avalikuks kasutuseks.

<https://wcrp-cmip.org/>

EURO-CORDEX

Rahvusvahelise CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment) initsiatiivi Euroopa haru, mida toetab Maailma Kliimauuringute Programm (WRCP). Selle eesmärk on organiseerida rahvusvaheliselt koordineeritud raamistik, et luua paremad piirkondlikud kliimamuutuste prognoosid kõigil kontinentidel paiknevatele piirkondadele kogu maailmas.

<https://www.euro-cordex.net/>

Ilm (*weather*)

Atmosfääri lühiajaline seisund mingis kindlas paigas. Ilma saab iseloomustada õhutem-peratuuri, -niiskuse, -rõhu, tuulte režiimi ja tugevuse, sademete ja teiste meteoroloogiliste näitajate abil.

IPCC (*Intergovernmental Panel for Climate Change*)

Valitsustevaheline Kliimamuutuste Paneel on ÜRO egiidi all tegutsev rahvusvaheline organisatsioon, mille oluline osa on rahvusvaheline sõltumatute teadlaste kogu, mis koostab kliimamuutuse kohta teaduslikke raporteid, millega teavitatakse valitsusi kliimamuutuste alaste teadmiste seisust. Selleks analüüsib teadlaste kogu kliimamuutuste alast teaduskirjandust, mis hõlmab looduslikke, majanduslikke ja sotsiaalseid mõjusid ning riske. Samuti käsitletakse võimalikke kliimamuutuste ohjamise meetmeid. IPCC ei vii läbi oma originaaluuringuid. Organisatsioon püüdleb teaduspõhisuse, objektiivsuse ja põhjalikkuse poole. Tuhanded teadlased ja muud eksperdid vaatavad vabatahtlikena läbi tuhandeid publikatsioone, et lõpuks koostada teaduslikult kooskõlaline kliimaraport. Hindamisraporteid koostatakse alates 1990. aastast ning viimane 6. raport (IPCC AR6) avaldati 2021-2023 aastatel.

Kasvuhoonegaasid (*greenhouse gases*)

Soojuskiirgust neelavad gaasid, nagu süsinikdioksiid, veeaur, metaan, dilämmastikoksiid, osoon jt. Tekivad peamiselt fossiilkütuste põletamisel, elektri- ja soojusenergia tootmisel, transpordis, energiamahukas tööstuses, aga ka intensiivses põllumajanduses (eriti looma-kasvatuses) ning prügilates. Kasvuhoonegaasid põhjustavad kliima soojenemist (SEI). Kui-gi ka veeaur on oluline kasvuhoonegaas, on veeauru hulga muutus atmosfääris looduslik

tagasisidemehhanism inimtekkelisele soojenemisele, sest veeauru hulk atmosfääris sõltub ilmatingimustest (suuresti õhutemperatuurist) ja veeauru eluiga atmosfääris on lühike.

Kiirgussund (*radiative forcing* - RF)

Muutus kiirgusvoos atmosfääri ülapiril (Maa poole miinus ülespoole suunatud voog) (mõõdetud W/m^2-s), mis tuleneb välise mõjutaja, näiteks süsinikdioksiidi (CO_2) kontsentratsiooni, vulkaaniliste aerosoolide või Päikese kiirgusvoo muutustest. Stratosfääriliselt täpsustatud kiirgussund arvutatakse nii, et kõik troposfääri omadused jäävad muutumatuna algväärtustele ning kui stratosfääri temperatuurid on muutunud, siis lastakse need kohanduda kiirgus-dünaamilise tasakaalu väärtusteni. Kiirgussundi nimetatakse hetkeliseks, kui stratosfääri temperatuurimuutusi ei võeta arvesse. Kui aga arvestatakse nii stratosfääri kui ka troposfääri kohandumist, nimetatakse seda „efektiivseks kiirgussunniks“ (effective radiative forcing) [43].

Kliima (*climate*)

Laiemas mõttes on kliima globaalse kliimasüsteemi olekute kogum pikema aja jooksul. Kliimasüs-teem koosneb atmosfäärist (õhk), hüdrofäärist (vesi), krüosfäärist (jää), litosfäärist (maa-koor ja maapind) ja biosfäärist (elusloodus). Kitsamas mõttes mingi paiga ilmade pikaajaline laad ja rütm.

Kliima soojenemine ehk globaalne soojenemine (*global warming*)

Inimtekkelisest kasvuhooneefektist põhjustatud energia akumulatsioon kliimasüsteemis, mis on mõõdetav Maa temperatuuri tõusuna. Kliima soojenemine põhjustab oma-korda kliimamuutusi.

Kliima tundlikkus (*climate sensitivity*)

Maapinna temperatuuri muutus vastusena atmosfääri süsinikdioksiidi (CO_2) kontsentratsiooni või muu kiirgussunni teguri muutusele. [43]

Kliima element (*climatic element*)

Füüsikaline suurus, mille abil saab iseloomustada mingi koha kliimat, näiteks keskmine õhutemperatuur, suhteline õhuniiskus ja sademete hulk. Kliima elementi saab mõõta. [44]

Kliimanäitaja (*climate indicator*)

Kliimanäitaja on karakteristik, mis kirjeldab kliimasüsteemi (k.a. suurema piirkonna) kliimatingimusi ning aitab jälgida ja mõista kliima üldisi muutusi. Eraldi vaadeldakse kliima põhinäitajaid, mis üheskoos osutaksid olulistele laiema ühiskondliku tähtsusega muutustele kliimasüsteemis. Need puudutavad nii atmosfääri, ookeani, krüosfääri ja biosfääri ning maismaad. Näiteks merejää ulatus, paksus ja kestus või ookeani soolsus, õhutemperatuur jne. [43]

Kliimaindeks (*climatic index*)

Numbriline näitaja, mis iseloomustab kliimat kliima elementide matemaatilise funktsioonina. Selleks võivad olla näiteks külmapäevade arv aastas või maksimaalne viie päeva saju hulk. Vt tabeleid 2-5. [44]

Kliimamudel (*climate model*)

Kliimasüsteemi kvalitatiivne või kvantitatiivne kirjeldus, mis põhineb selle koostisosade füüsikalistel, keemilistel ja bioloogilistel omadustel, nende omavahelisel mõjul ning tagasisideprotsessidel ning võtab arvesse selle omadusi. Kliimasüsteemi võib kirjeldada eri keerukusastmega mudelitega; see tähendab, et iga koostisosa või nende kombinatsioon saab olla esindatud spektri või hierarhia kaudu, mis erinevad sellistes aspektides nagu ruumiliste dimensioonide arv, selles, kui suurt osa füüsikalistest, keemilistest või bioloogilistest protsessidest mudelites arvestatakse ilmutatult, või tasemel, millesse kaasatakse empiirilised parameetriseeringud. Areng on toimunud keerukamate mudelite suunas, millel on interaktiivsed keemilised ja bioloogilised protsessid. Kliimamudeleid kasutatakse kliimasüsteemist parema arusaamise loomiseks ja kliima simuleerimiseks, aga ka operatiivsete ülesannete, sealhulgas kuu-, aastaajaliste ja aastatevaheliste kliimaennustuste tegemisel. [43]

Kliimamuutused (*climate change*)

Kliima soojenemisest tingitud muutused Maa kliimas. Kliimamuutused avalduvad näiteks merevee taseme tõusuna, veeringe muutustena, õhuringluse ja ookeanihoovuste muutus-tena, sagedasemate ja tugevamate üleujutuste, põudade ja kuumalainetena.

Kliimamuutuste leevendamine (*climate change mitigation*)

Tegevused, mille eesmärk on kliimamuutuste ulatuse vähendamine, vähendades kasvu-hoonegaaside heidet ning suurendades kasvuhoonegaaside sidumist. Näiteks kortermaja-de renoveerimine energiatarbimise vähendamiseks ning ühistranspordi ja kergliiklussüs-teemide arendamine nende kasutamise soodustamiseks erasõidukite asemel.

Kliimamuutustega kohanemine (*climate change adaptation*)

Tegevused, mille eesmärk on suurendada looduskeskkonna ja inimühiskonna vastupa-nuvõimet kliimamuutustele. Sellega on hõlmatud kogu ühiskond nii kodumajapidamis-te, asumite ja ettevõtete kui ka majandussektorite ja riikide tasandil. Näiteks rannaalade kaitsmine meretaseme tõusu ja üleujutuste eest, üleujutatavatelt aladelt elanike ümber-asustamine, üleminek uute põllukultuuride kasvatamisele, varajase hoiatussüsteemi loomine kuumalainete eest hoiatamiseks ja kliimateadlikkuse suurendamine [45].

Kliimamõju tegur (*climate impact-driver*)

Füüsikaline kliimatingimus, mis mõjutab otseselt ühiskonda või ökosüsteeme. Näiteks kuumalained, paduvihmad või põuad.

Kliimaprojektsioonid (*climate projections*)

Täppisteaduslikud tuleviku kliimatingimuste prognoosid, mis sõltuvad tulevastest inim-tekkelistest kasvuhoonegaaside heitkogustest ja on kliimamuutuste leevendamise ja nen-dega kohanemise teaduslikuks aluseks. Kliimateadlased koostavad kliimaprognoose nii kasvavate inimtekkeliste kasvuhoonegaaside heitkoguste, heitkoguste kiire ja laiaulatusli-ku vähendamise kui ka vahepealsete inimtegevuse arengu stsenaariumide jaoks.

Kliimaststsenaarium (*climate scenario*)

Usutav kirjeldus sellest, kuidas tulevik võiks areneda, põhinedes terviklikul ja sisuliselt kooskõlalisel eelduste komplektil selle kohta, millised on peamised mõjurid (näiteks tehnoloogiliste muutuste tempo, hinnad) ning nende vahelised seosed. Oluline on esile tõsta, et stsenaariumid ei ole ennustused ega prognoosid, vaid neid kasutatakse selleks, et näidata tulevikusuundumuste ja tegevuste mõju. [43]

<https://www.carbonbrief.org/qa-how-do-climate-models-work/>

Looduslähedased lahendused (*nature-based solutions*)

Viisid, kuidas me saame toetuda loodusele ja hoida loodust nii, et see aitab lahendada inimeste probleeme ja kaitseb samal ajal loodust ennast. Need lahendused on kasulikud nii inimestele kui ka taimedele ja loomadele. Näiteks: linnade haljastamine, et vähendada kuumust ja õhusaastet; jõgede loodusliku voolusäingi taastamine üleujutuste vältimiseks; metsade istutamine, et siduda süsinikku ja pakkuda elupaiku loomadele. Need tegevused aitavad meil kohaneda muutuva keskkonnaga ja parandavad samal ajal meie elukeskkonda.

RCP - *representative concentration pathways*

RCP stsenaariumid hõlmavad aja jooksul muutuvat kasvuhoonegaaside (GHG) kui ka aerosoolide ja keemiliselt aktiivsete gaaside heitkoguste ja kontsentratsioonide komplekti, samuti maakasutust ja maakatte muutust. Sõna "representative - esindav" märgib, et iga RCP esindab vaid üht paljudest võimalikest stsenaariumidest, mis viiksid konkreetsete kiirgussunni tasemeteni. Termin "pathway - rada" rõhutab, et huvi pakub mitte üksnes pikaajaline kontsentratsiooni tase, vaid ka ajaliselt järgitav rada selle tulemuseni jõudmiseks [46], [47].

RCPd viitavad tavaliselt kontsentratsiooniraja sellele osale, mis ulatub kuni aastani 2100, mille jaoks integreeritud hindamismudelid on loonud vastavad heitkoguste stsenaariumid. Pikendatud kontsentratsioonirajad kirjeldavad RCPde pikendusi ajavahemikule 2100–2300, mis arvutati lihtsate reeglite abil, mis loodi sidusrühmade konsultatsioonidel ega esinda täielikult kooskõlalisi stsenaariume. Neli RCPd, mis loodi integreeritud hindamismudelitest, valiti avaldatud artiklitest ja neid kasutati juba IPCC viienda raporti raames ning kasutatakse ka kuuendas raportis. Need hõlmavad kõige tõenäolisemate hinnangute järgi 21. sajandi lõpuks soojenemist vahemikus alla 2°C kuni >4°C: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ja RCP8.5.

- RCP2.6: rada, mille korral kiirgussund saavutab tipu ligikaudu 3 W/m² juures ja seejärel langeb, jõudes 2,6 W/m²-ni aastal 2100 (pikendatud kontsentratsioonirada ehk ECP (Extended Concentration Pathway) säilitab pärast 2100 püsivad heitkogused).
- RCP4.5 ja RCP6.0: Kaks vahepealset stabiliseerivat rada, mille korral kiirgussund piirdub ligikaudu 4,5 W/m² ja 6,0 W/m²-ga aastal 2100 (ECP-d säilitavad pärast 2150. aastat püsivad kontsentratsioonid).
- RCP8.5: Kõrge kiirgussunniga rada, mil RF >8,5 W/m² aastal 2100 (ECP säilitab püsivad heitkogused 2100-2150 ja püsivad kontsentratsioonid pärast 2250. aastat) [43].

SSP - Shared Socio-economic Pathways

Need sotsiaalmajanduslikud rajad on välja töötatud, et täiendada kontsentratsiooniradasid (RCP-d). RCP-de heitkoguste ja kontsentratsiooniradu ei seostatud meelega kindla sotsiaalmajandusliku arenguga, et uurida RCP-de käitumist, valides erinevaid sotsiaalmajanduslike radasid (SSP-d). Seda integreerivat SSP-RCP raamistikku kasutatakse laialdaselt kliimamõjude ja -poliitika analüüsides, kus RCP stsenaariumide alusel saadud kliimaprojektsioone analüüsitakse erinevate SSP-de taustal. Heitkoguste uuendustega koos töötati välja uus komplekt heitkoguste stsenaariumeid kombinatsioonis SSP-dega. Seega kasutatakse nüüd lühendit SSP kahel viisil: Ühelt poolt tähistavad SSP1, SSP2, ..., SSP5 viit sotsiaalmajanduslike alusstsenaariumide perekonda. Teiselt poolt tähistavad lühendid SSP1-1.9, SSP1-2.6, ..., SSP5-8.5 uusi heitkoguste stsenaariumeid, mis on SSP rakendamise tulemus integreeritud hindamismudelis. Need SSP stsenaariumid ei sisalda kliimapolitiika eeldusi, kuid koos nn jagatud poliitika eeldustega (SPA-d) saavutatakse vastavalt sajandi lõpuks erinevad ligikaudsed kiirgussunni tasemed 1.9, 2.6, ..., või 8.5 W/m² [43].

Vt veel <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change/>

Soojussaar (*urban heat island*)

Nähtus, kus linnapiirkond on ümbritsevate maapiirkondadega võrreldes suhteliselt soojem, sest linnalise maakasutuse tõttu on soojuse lahkumine tõkestatud. Soojussaarte tugevus sõltub mitmest tegurist: hoonete paigutuse tihedusest, nende suurusest ja disainist, aga ka tänavate paigutusest, linnaehitusmaterjalide soojust neelavatest omadustest, piiratud õhuliikumisest, vähesest haljastusest ja veekogudest ning inimtegevusest tekkivast olme- ja tööstussoojusest [43].

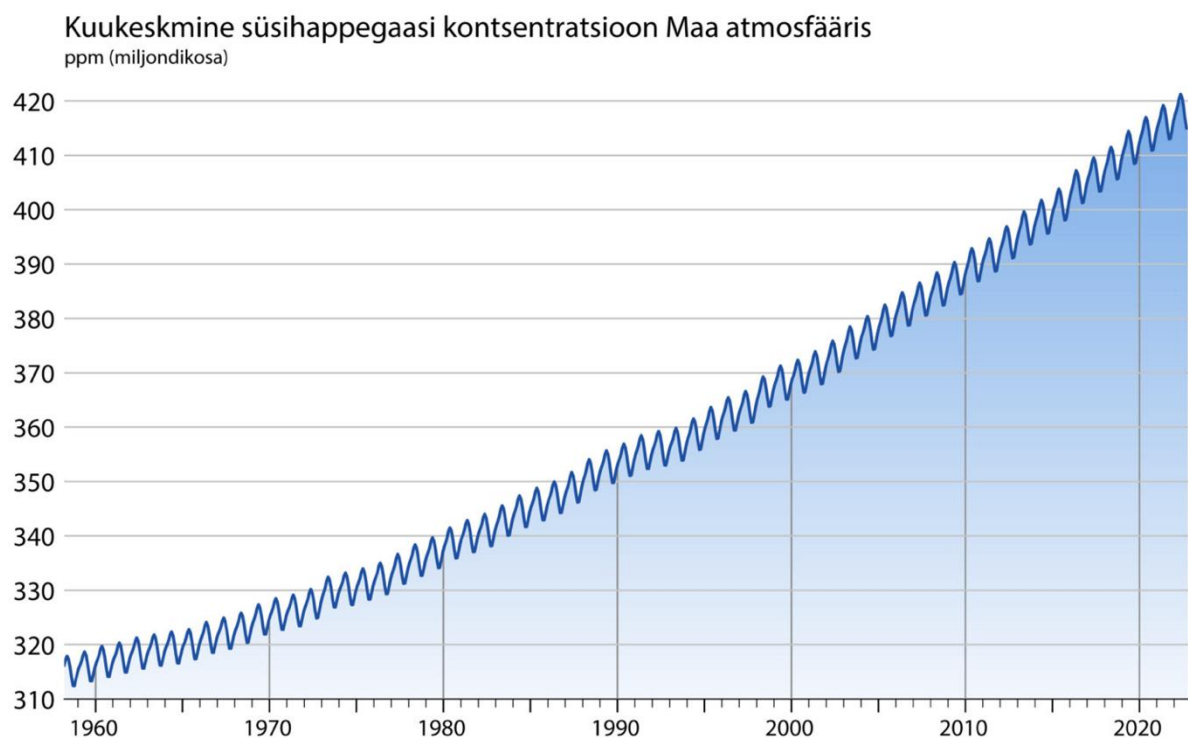
Tegeliku kuivuse indeks

Mullaniiskuse kättesaadavuse iseloomustamiseks kasutatav indeks. Arvutatakse kui keskmise aastase tegeliku aurustumise ja keskmise aastase sademete hulga suhe. Tavaliselt arvutatakse see 30-aastase võrdlusperioodi kohta.

Lisa 2. Globaalsed ja regionaalsed kliimamuutuste riskid

[IPCC AR6 Sünteesiraport \(Summary for policymakers, 2021\)](#) selgitab, et 3,3 – 3,6 miljardit inimest elab tingimustes, mis on väga haavatavad kliimamuutuste suhtes. ÜRO Globaalriskide Aruandes [48], mis põhineb 1100 eksperdi küsitlusel 136 maailma riigist (valitsusasutustest, ettevõtetest, kodanikuühendustest ja akadeemilistest asutustest) nimetatakse kliimamuutusi 28 välja toodud riski hulgas suurimana. Regionaalselt hinnatuna on kliimamuutused suurim risk ka Euroopa jaoks.

Inimtekkeliste kliimamuutuste põhjuseks on inimtekkeliste kasvuhoonegaaside lisandumine atmosfääri, mis tekivad peamiselt fossiilkütuste kasutusel. Kasvuhoonegaasid lasevad suuresti läbi (nähtava ja lähisinfrapunase) päikesekiirguse, aga neelavad maa ja vee pinnalt maailmaruumi kiirguvat pikalainelist kiirgust ehk soojuskiirgust ja ka kiirgavad seda. Seetõttu soojeneb atmosfääri pinnalähedane kiht. Piltlikult öeldes kujutavad kasvuhoonegaasid endast just nagu soojendavat „tekki“ meie planeedi ümber. Ilma selle „tekita“ oleks meie planeet külma tõttu elamiskõlbmatu, aga kui see paksemaks muutub, läheb paljudes kohtades Maal kliima inimeste jaoks liiga kuumaks. Enim kasvuhooneefekti tekitab veeaur, mis aga vahetub atmosfääris umbes iga 8 päeva jooksul loodusliku tsükliks ja mille hulk sõltub suuresti temperatuurist. Akumuleeruvatest (pika elueaga) kasvuhoonegaasidest enim mõjutab kliimat süsinikdioksiid ehk süsihappegaas (CO_2). Selle keskmine kontsentratsioon enne tööstusajastut (19. sajandi keskel) atmosfääris oli umbes 280 ppm (miljondikosa), aga nüüdseks on see tõusnud [49] 425 ppm-ini ja tõus jätkub (Joonis 6). Kasvuhoonegaasidest lisandub inimtegevuse tõttu atmosfääri ka metaani (CH_4), diämmastikoksiidi ehk naerugaasi (N_2O) jt. kasvuhoonegaase.



Joonis 6. Inimtegevus on põhjustanud süsihappegaasi kontsentratsiooni tõusu Maa atmosfääris. Kuukeskmise süsihappegaasi kontsentratsiooni [ppm e miljondikosa] aegreas on näha nii aastaaegade vaheldumine kui ka pidev pikaajaline kontsentratsiooni kasv. Hawaiiil Mauna Loa observatooriumis on süsihappegaasi kontsentratsiooni atmosfääris mõõdetud juba möödunud sajandi viiekümnnendatest aastatest. Allikas:

https://scrippsco2.ucsd.edu/graphics_gallery/mauna_loa_record/mauna_loa_record_color.html

Globaalne keskmine soojenemine läheneb 1,5 kraadi tasemele. Emapilgul tundub kliima soojenemine pooleteise kraadi võrra väike, aga Eesti korral tähendab see kliimat, mis varem valitses Leedus. Kolmekraadine soojenemine aga „nihutaks“ meid kliima poolest Põhja-Ukrainasse [50]. Sellised muutused üle maailma põhjustavad looduslike vööndite nihkumist, kusjuures piirkonniti võivad muutused olla globaalsest keskmisest märksa suuremad – näiteks pooluste lähedal, ka Eesti laiuskraadil. Kohanemise keeruliseks muutev asjaolu on ka kliimamuutuste suur kiirus.

Tänapäevaste poliitikate jätkudes muutub ulatuslikel ekvaatorilähedastel aladel toidu kasvatamine käesoleval sajandil väga keeruliseks [1]. Kliima soojenemisega kaasnevad kuivemad tingimused Lõuna-Euroopas muudavad ka seal toidu kasvatamise järjest keerulisemaks [51]. Niigi kuivad Lõuna-Euroopa maad, nagu Hispaania, Portugal, Kreeka ja Türgi, muutuvad veelgi kuivemaks – hakkavad osaliselt kõrbestuma. Nende suurte põllumajandustootjate toodangut jääb vähemaks või tuleb teha suuri kulutusi niisutamisele, mis tõstab toiduainete hinda Euroopa turul. Tähele tasub panna ka Lääne-Euroopa suurima põllumajandustootja

Prantsusmaa kuivenemistendentsi – siiani ei ole seal suuri probleeme kuivusega olnud, kuid mured võivad sageda.

Kliimastenaariumi SSP3-RCP8.5 korral võib 2070. aastal kannatada äärmusliku kuumuse (aasta keskmine temperatuur üle 29 °C) tervelt kolmandik maailma rahvastikust [52]. Praegu valitseb nii suur kuumus vaid üksikudel väheasustatud aladel peamiselt Sahara kõrbes, mis kokku moodustavad 0,8% maismaa pindalast. Suur osa Aafrikast, Lõuna-Ameerikast ja Aasia lõunapiirkondadest võib muutuda kuumuse tõttu peaaegu elamiskõlbmatuks [1]. [Soissa ja Martin](#) [53] mainivad, et kliima muutusest tingitud aeglaselt kulgevad elukeskkonna muutused, nagu merevee taseme tõus ja kõrbestumine, võivad 2050. aastaks põhjustada maailmas 216 miljoni inimese ümberasumise, kellest suur osa lähevad eeldatavasti elama teise riiki. Suurt migratsioonisurvet on oodata Kesk-Aasia riikidest, kusjuures vene keelt esimese võõrkeelena kõnelevate inimeste peamise sihtriikide hulgas Euroopa Liidus mainitakse Eestit ja Lätit, kus juba on arvukas venekeelne kogukond. Migratsiooni ühe peamise ohuna nimetatakse olukorda, kus sihtriigis ei ole kättesaadavad päritolukohale sarnased elatise teenimise võimalused, mis võib õõnestada majanduslikke võimalusi, kultuuri ja sotsiaalseid sidemeid ning lõppkokkuvõttes tuua kaasa teisese rändelaine.

Samas aruandes [53] mainitakse, et migratsiooni põhjustavaid kliimamuutused juba toimuvad ja eeldatavasti laienevad ka Euroopa Liidus. Kogukahjud Euroopa Liidu riikides sagedasemate ja kestvamate põudade tõttu on 9 miljardit eurot aastas, peamiselt põllumajanduses, energeetikas ja veevarustuses. Kliimamuutused pärsivad majandust eelkõige Lõuna-Euroopas, põhjustades rohkem kuumalaineid ja ulatuslikumaid looduspõlenguid. Kuumastressi tõttu kaotatakse Euroopa Liidus 2030. aastaks 0,03% inimtöötundidest, mis vastab 103 000 täistöökohta kaotusele. Aruandes soovitatakse Euroopa Liidu liikmesriikidel seadusandlikult reguleerida kliimapõgenike staatus. Eesti ja Läti, aga ka näiteks Rootsi ei ole seda sätestanud. Itaalia seevastu otsesõnu tunnustab keskkonnaseisundit sunnitud migratsiooni põhjusena ning Austria ja Saksamaa kohtud on teatud juhtudel keelanud põgenike tagasisaatmise loodusõnnetustest laastatud riikidesse.

EEA Raport 01/2019 [54] rõhutab, et kliimamuutustega kaasnevad nii keskmise kui äärmusliku õhu- ja veetemperatuuri tõus, vee kättesaadavuse vähenemine, äärmuslikud ilmasündmused ning merelt lähtuvad ohud. Need muutused mõjutavad primaarenergiaallikate kättesaadavust, energia muundamist, edastamist, jaotamist ja salvestamist ning energianõudlust. Eriti

mõjutatud on taastuvad energiaallikad. Väheneb energiavajadus kütmiseks, aga ka vee kättesaadavus hüdroenergia tootmiseks ja soojuselektrijaamade jahutuseks. Äärmuslike ilmastikunähtuste ja merepinna tõusu tõttu suurenevad riskid energiainfrastruktuurile. Üldiselt on kliimamuutustel Põhja-Euroopa oma energiasüsteemile nii kasulik kui kahjulik mõju, samas kui Lõuna-Euroopa seisab silmitsi valdavalt kahjuliku mõjuga.

Lisa 3. Kliimasüsteemi murdepunktid

Kliimasüsteemi murdepunktid on kriitilised lävendid, mille ületamisel võivad väikesed temperatuuri või muude tingimuste muutused viia suurte, ennast võimendavate ja sageli pöördumatute muutusteni Maa kliimasüsteemi elementides [55]. Nende kriitiliste lävendite ületamine võib drastiliselt muuta piirkondlikku ja ka globaalset kliimat ning ökosüsteeme. Tänapäevaks teada murdepunktid on näiteks Gröönimaa ja Lääne-Antarktika jääkilbi sulamine, Atlandi meridionaalse tsirkulatsiooni (AMOC) aeglustumine või seiskumine, Amazonase vihmametsa ja boreaalmetsade hävimine (põhjustab suure täiendava süsinikuheite), igikelta sulamine (metaaniheide), koralliriffide hävimine ja Arktika merejää sulamine.

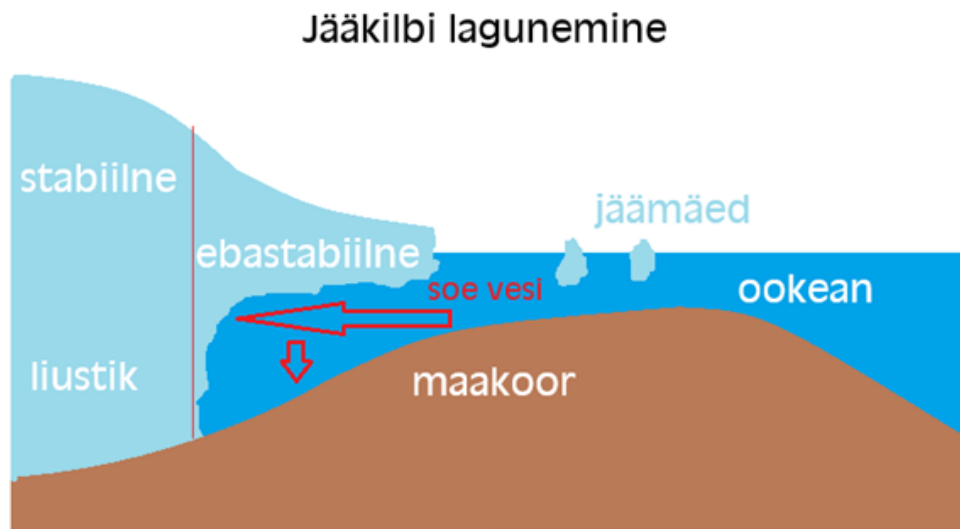
Lääne-Antarktika jääkilbi sulamine

Antarktika jääkate koosneb Ida-Antarktika jääkilbist ja mõnevõrra väiksemast Lääne-Antarktika jääkilbist, mis on Ida-Antarktikaga kitsama mandriosa kaudu ühendatud. Lääne-Antarktika jääkilp on erinevalt Ida-Antarktika omast suhteliselt hiljutises geoloogilises minevikus sulanud ja taastekkinud. Viimane sulamine toimus Eemi jäävaheajal umbes 115 000 – 130 000 aastat tagasi, mille kliimatingimustele tänapäeva kliima läheneb [56]. Lääne-Antarktika jääkilbi pindala on ligi 2 miljonit ruutkilomeetrit, paksus kuni 2 kilomeetrit ja maht 2,1 miljonit kuupkilomeetrit. Selle täielikul sulamisel tõuseks maailmamere veetase 5,3 meetrit [57].

2100. aastaks on oodata maailmamere taseme jätkuvat tõusu 0,28 – 1,01 meetri võrra [1, ptk 9], millesse annab panuse Lääne-Antarktika jääkilbist ookeani ulatuvate šelfiliustike sulamine soojeneva ookeanivee toimel. Samas on teadmised sellest protsessist üsna kasinad ja määramatused suured. Liustiku sulamine ei toimu mitte ühtlaselt, vaid soojenev vesi tungib jääkilbi alla (mille põhi asetseb ümbritseva ookeani põhjast madalamal) ning uuristab jääkilpi õhemaks. Selle tagajärjel murdub kilbi servast lahti üha rohkem jäämägesid ja jäämassi liikumine kilbi keskosast serva suunas kiireneb, mis omakorda kiirendab liustiku lagunemist ja sulamist (Joonis 7).

Lääne-Antarktika jääkilbi servaaladel on sulamine juba käivitunud ning kliima- ja ookeanimudeli arvutustest nähtub, et protsessi kiirus ei sõltu palju sellest, kas realiseerub mõõdukas (RCP 4.5) või optimistlik (Pariisi kliimaleppe järgne 2 °C või isegi 1,5 °C)

stsenaarium, küll aga saab sulamine alates selle sajandi keskpaigast olema kiirem “pessimistliku” (RCP 8.5) stsenaariumi korral [57].



Joonis 7. Mandrijää kilbi (näiteks Lääne-Antarktika) lagunemise põhimõtteskeem.

Atlandi meridionaalse tsirkulatsiooni (AMOC) aeglustumine

Atlandi meridionaalset tsirkulatsiooni põhjustab külma ja seetõttu raske ookeanivee „sukeldumine“ Arktikas, mis omakorda indutseerib vee pealevoolu troopilistelt laiuskraadidelt – sooja pinnahoovuse. Ookeani sügavustes eksisteerib külm vastuhoovus Arktikast lõuna suunas. Inimtekkeliste kliimamuutuste tagajärjel on soojenemine kõige suurem Arktika aladel. Seetõttu väheneb jääkate, pinnavesi muutub soojemaks ja vastavalt aeglustub pinnavee laskumine, mispeale aeglustub ka pinnahoovus, väheneb põhja suunas liikuva vee mass ja selle poolt edasi kantav soojushulk. Juba aastaid tagasi tehtud teadusuuring [58] näitas mitmete erinevate markerite põhjal, et hoovus on nõrgem, kui kunagi varem viimase 1600 aasta jooksul ja järjekindel nõrgenemine jätkub pidevmõõtmiste ajal, mida alustati selle sajandi algusaastatel.

AMOC täielikku seiskumist või põhjalikku ümberkujunemist peeti veel hiljaaegu vähetõenäoliseks sündmuseks, kuid uued arvutused paralleelselt mitme kliima- ja ookeanimudeliga [59] näitavad, et piiramatult kasvava globaalse kasvuhooonegaaside heite korral võib see juhtuda seni arvatust suurema tõenäosusega.

Lisa 4. Näiteid avaldunud kliimariskidest ja kohanemise strateegiatest teistest linnadest

Lisa 4.1 Näiteid juba avaldunud kliimariskidest

Kliimariskid linnades avalduvad mitmel viisil.

1. Kuumalained, mida võimendab linna soojussaare (*urban heat island, UHI*) efekt: kõrghooned, teed, haljasalad ja betoonpinnad neelavad rohkesti päikesekiirgust, mistõttu kuumalaine ajal võib temperatuur olla linnas kohati 5 – 10 kraadi kõrgem, kui ümbritsevas maapiirkonnas [60].

Londoni uuselamupiirkondade korterid on liialt soojad, et kuumalaine ajal saaks seal normaalselt elada, sest projekteerimisel on silmas peetud kütmist talvel, aga mitte jahutamist suvel. 28-korruselise elamu korteri temperatuur ei langenud 2025. aasta suvel kahe kuu jooksul kordagi alla 27° ja maksimaalne termomeetri näit oli koguni 33°. Suremus suureneb, sest kroonilised haigused ägenevad kuuma tõttu [61]. Eesti laiuskraadil ei ole olukord eeldatavasti parem, vaid kuumus võib olla isegi püsivam, sest öist jahedust jätkub südasuvel veel lühemaks ajaks.

2025. aasta juulis ja augusti alguses tabas kuumalaine Norrat, Rootsit ja Soomet. Oslos püsis päevane temperatuur umbes nädala jooksul 30 kraadi läheduses. See ohustas patsiente Oslo kaheksas haiglas üheteistkümnest, sest siiani jahedas Norras ei ole ruumide jahutamisele piisavalt mõeldud. Norra tervishoiuminister tunnistab, et on vaja uuendada haiglate ventilatsioonisüsteeme. Kaalutakse mobiilsete jahutusseadmete soetamist [62]. Uuring [63] näitab, et viimase sajandi jooksul on kuumalained Lõuna- ja Kesk-Rootsis saagenenud, pikenenud ja muutunud ka temperatuuri poolest äärmuslikumaks. 2018. aasta juuli ja augusti kuumalaine ajal lisandus Rootsis viie nädala jooksul umbes 750 surma ehk 8% lisaks tavalisele suremusele [64].

2. Suurenenud vihmavahingud Kesk-Euroopa linnades. Peale erakordselt tugevaid, üleujutuse läbi suurt kahju põhjustanud vihmavahinguid 2011. aastal on Kopenhaagenis ette võetud arendustöö maksumusega 1,5 miljardit eurot, et kindlustada linna üleujutuse vastu. Keset linna asuv park Enghaveparken on ümber kujundatud nii, et ta suudab vajadusel vastu võtta

22600 kuupmeetrit sadevett [65]. Tsüklonaalse tormiga kaasnenud ekstreemsajud 2023. aasta oktoobris kinnitasid, et ettevõetud ümberkorraldused on vajalikud. Cardiffi ja Bristolil ülikoolide uuring [66] näitas, et viimase 40 aastaga on 52% maailma suurlinnade kliima muutunud sajusemaks ja 44% kuivemaks, kusjuures 17% linnadest täheldati nii väga kuivade perioodide kui tugevate sadude sagenemist, mis on näide “kliima piitsalöögi” (*climate whiplash*) efektist. Muutuste põhjus on selles, et soojem atmosfäär sisaldab keskmiselt rohkem veeauru, mis saab vihmamana alla sadada. “Piitsalöögiks” tavatsetakse nimetada eri äärmuste (näiteks kuiv – niiske, külm - kuum) vaheldumist, mis kahjustab bioloogilist mitmekesisust, põllumajandust ja inimeste elu, kui üksik kõrvalkalle [67].

3. Tormide sagenemine. 2023. aasta 18.-22. oktoobril tegid tormid Babet ja Aline (Saksamaal nimetatud Viktor ja Wolfgang) suurt kahju Iirimaa, Suurbritannias, Põhja/Saksamaal ja Taanis, eriti tihedalt asustatud kohtades. Kahjud tulenesid osalt otseselt tugevast tuulest, osalt merevee taseme tõusust ja ekstreemsajust. Ainuüksi kindlustuskahju hinnatakse 691 miljonile eurole [68]. Tormi tekitatud umbes kahemeetrine merevee taseme tõus ujutas üle mitmete Taani lõunaosa linnade tänavad. Selles piirkonnas ei ole veetase olnud nii kõrge üle saja aasta. Mõnes kohas, kus veetaset on mõõdetud alates 19. sajandi lõpust, et ole siiani nii kõrget taset olnudki. Statistiliselt hinnatakse, et see võis olla senist kliimat arvestades korra 200 või isegi 500 aasta jooksul korduv sündmus [69].

Lisa 4.2 Näiteid kliimamuutustega kohanemise strateegiatest

Tallinnaga võrreldava suurusega (249000 elanikku) Tampere linn Soomes on koostanud detailse teekaardi konkreetsete kliimaeesmärkide saavutamiseks 2030. aastaks [70]. Esimene versioon sellest avaldati 2022. aastal ning alates 2024. aasta novembrist on kättesaadav täiendatud versioon. See dokument näeb ette vähendada 2030. aastaks kasvuhoonegaaside heiteid 77,5 - 80%, võrreldes 1990. aasta baastasemega, ja kompenseerida ülejäänud heide süsiniku sidumisega. Eesmärk on ambitsioonikas, kuid tundub realistlik, sest 2022. aastaks oli Tampere vähendanud oma heiteid juba 35%, võrreldes 1990. aastaga. Vahe-eesmärk käesolevaks aastaks (2025) on baastasemest 60% väiksem heide.

Tampere teekaardil on ette nähtud 396 linnavõimude poolt rakendatavat meetet, mis jagunevad seitsme teema vahel:

0. kliimajuhtimine ja koostöö sidusrühmadega (*stakeholders*)

1. jätkusuutlik linnaplaneerimine;
2. jätkusuutlik liikuvus;
3. jätkusuutlik ehitus;
4. jätkusuutlik energia
5. jätkusuutlik tarbimine
6. jätkusuutlik linnaloodus

Looduspõhiste lahenduste hulka kuuluvad tänavahaljastuse rohkendamine ja rohekatuste rajamine linna soojussaare efekti leevendamiseks, arvestades sagenevaid kuumalaineid. Ekstreemsadude tulvavetega toimetulekuks on kavas looduslike jõesängide taastamine ja sadevett mahutavate rohealade loomine. Looduspõhiste lahenduste all nimetatakse ka linnaaiandust ja rohumaid.

Teemade alajaotustena eristatakse 35 meetmepaketti. 172-leheküljelise teekaardi dokumendi alguses antakse peale eessõna ja sissejuhatust detailsed lugemisjuhised, millele järgnevad sisupeatükid:

1. linna kliimaeesmärgid;
2. täienduste selgitus eelmise versiooni suhtes;
3. hetkeolukorra kirjeldus;
4. teekaart teemade, meetmepakettide ja meetmete kaupa;
5. heitmete vähendamise kava ja selle maksumus;
6. Järeldused.

Järgneb 34 lehekülge lisasid, mis sisaldavad teekaardi detailset eelarvet ja olemasolevate arengudokumentide loetelu meetmete kaupa ning loetelu meetmetest, mis teekaardi uue versiooniga ümber vaadatakse. Teekaardi arvestuslik rahaline kogumaht on 425 miljonit eurot investeeringuid ja 102 miljonit eurot opereerimiskulusid, ning oodatav kokkuhoid linna jaoks 129 miljonit eurot.

Norra pealinna Oslo (725 000 elanikku) 2020. aastal heaks kiidetud kliimastrateegia [71] on näide ambitsioonikast kliimamõju vähendamise kavast väljaspool Euroopa Liitu. Strateegia on Pariisi kliimaleppe eesmärkidest lähtuv dokument, mis sätestab Oslo linna jaoks viis peamist kliimeesmärki:

1. Kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamine 95% võrra aastaks 2030, võrreldes 2009. aastaga.
2. Looduslike alade majandamine nii, et need seovad süsinikku taimestikus ja pinnases.
3. Energia kogutarbimise vähendamine 10% võrra aastaks 2030, võrreldes 2009. aastaga.
4. Kliimamuutustega kohanemine selliste meetmete abil nagu rohekatused ja vee äravoolualad.
5. Kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamine kaudsete mõjude läbi väljaspool linna piire 2030. aastaks, võrreldes 2020. aastaga.

Nende eesmärkide elluviimiseks on kliima- ja energiasstrateegias loetletud 16 kasvuhoonegaaside heitkoguste vähendamise sihtvaldkonda, mille saab lühidalt kokku võtta järgmiste meetmetena:

- tagada Oslos ümbritsevate metsaalade võime süsinikku siduda;
- vähendada autoliiklust 2030. aastaks kolmandiku võrra, võrreldes 2015. aasta tasemega, asendades selle ühistranspordi, jalgrattasõidu ja jalgsi liikumisega;
- viia kogu autotranspordi, sadamaoperatsioonide ja Oslo fjordi sisese meretranspordi süsiniku netoheide süsinikuvabade energiaallikate ja taastuvkütuste abil 2030. aastaks nulli;
- tagada suuremas osas kohalik energiatootmine ning vähendada hoonete energiatarbimist energiatõhususe kaudu;
- soodustada elanike ja ettevõtete tarbimise vähendamist ja kliimasõbralikumaks muutmist ning kliimateadlikkust ja teaduslike teadmiste ellurakendamist;
- koostöö riigi, piirkonna ja rahvusvahelisel tasandil parimate lahenduste rakendamiseks, mis aitavad kiiresti KHG heitkoguseid vähendada.

Eesti oludele sarnase elatustaseme ja lähiajalooga linnadest on ambitsioonika kliimanetraalsusele lähenemise eesmärgi 2030. aastaks püstitanud näiteks Łódź, mis oma 672 000 elanikuga on Poola suuruselt kolmas linn ja oluline tööstuslinn. Vastava tegevuskava [72] üldeesmärk on vähendada süsiniku netoheidet linna administratiivpiires, võrreldes 2018. Aastaga, 80%, aga lisaks sellele pööratakse tähelepanu ka linna tarbimisest (näiteks elekter) kaudselt pärineva heite vähendamisele. Tegevuskavas on hõlmatud järgnevad sektorid: statsionaarne energiatootmine (tööstusobjektid välja arvatud), transport (linna piires asuv lennujaam välja arvatud), jäätme- ja heitveekäitlus ja maakasutus. Väidetavalt ei ole linnas kindlaks tehtud KHG heiteid keemilistest protsessidest tööstuses. 2018. aasta andmeil

moodustas lõviosa (82,2%) neist heidetest hoonete kütmine, 12,9% transport, 4,6% jäätme- ja heitveekäitlus ning 0,3% maakasutus.

Łódźi kliimaeesmärkide saavutamise meetmed on jaotatud kaheks suureks rühmaks: juhtimismeetmed ja sotsiaalse innovatsiooni meetmed.

Juhtimismeetmed:

- linnaehituslikud meetmed, sh. hoonete renoveerimine energiatõhususe tõstmiseks, keskendudes enim seda vajavatele linnaosadele ja tehes koostööd teiste linnadega;
- linna KHG-heite inventuur ja pideva seire süsteemi loomine;
- kliimameetmete rahastamise integreerimine linna eelarve struktuuri.

Sotsiaalse innovatsiooni meetmed:

- süsinikuheite vähendamise töörühm koostöös ettevõtlussektoriga;
- ettevõtete rahastatud kohaliku rohefondi loomine kliimamuutuste leevendamiseks;
- kaasav eelarve – võimalus elanikele esitada oma projekte ja nende üle hääletada;
- „vox populi“ platvorm kohalikeks e-hääletusteks;
- ökoportaal – veebileht, mis kajastab linna keskkonnategevusi;
- sotsiaalse tegevuse keskused – uute ideede elluviimiseks elanike ja kodanikuühenduste poolt;
- kodanike paneel – juhuslikult valitud linnaelanike kogu elanike jaoks tähtsate otsuste menetlemiseks.

Nagu näeme, on Łódźi lähenemine hoopis teistsugune, kui Tampere ja Oslo: ootused ettevõtete, vabaühenduste ja kodanike vabatahtlikule osalusele ning selle mõjule heitkoguste vähendamisel on väga kõrged. Linnavõimude roll ei ole kuigi selgelt sätestatud, mis võib olla oluline takistus kava elluviimisel. Lõpuks märgitakse, et tegevuskava järgmine uuendus on kavandatud 2026. aasta septembriks.

Lisa 5. Andmetabelid Eesti maismaa (seehulgas Tallinna) kliimatingimusi kirjeldavate parameetrite muutuste jaoks

Lisana 5 on toodud eraldiseisvas failis põhjalikud andmetabelid, mis kirjeldavad Eesti kliima tingimusi erinevate globaalse soojenemise tasemete (GWL) ja SSP-RCP stsenaariumite jaoks. Neid põhjalikke andmetabeleid on võimalik kasutada erinevate sektorite tarvis kliimariskide hindamiseks. Tabelis on eraldi toodud globaalse soojenemise tasemete põhine tabel (Lehekülg GWL-põhine kokkuvõte), detailsemad andmed eraldi SSP-RCP stsenaariumite ja ajaperioodide jaoks (Lehekülg CMIP6 ja SSP-RCP) ning muutujate ehk tabeli andmeväljade nimede selgitused inglise ja eesti keeles (Lehekülg Kliimaindeksid).

Lisa 5 esimesel leheküljel on toodud juhend (Lehekülg Juhend), mis kirjeldab teisi lissasse 5 kuuluvaid lehekülgi (andmetabeleid):

- Lehekülg GWL-põhine kokkuvõte -- GWL-põhised indeksid. Ajaloolised andmed on antud absoluutväärtusena, GWL tasemetele vastavad väärtused on antud muutustena ajalooliste väärtuste suhtes.
- Lehekülg CMIP6 ja SSP-RCP -- stsenaariumite ja perioodide põhised indeksid.
- Lehekülg Kliimaindeksid -- indeksite lühendite selgitused ning eesti- ja ingliskeelsed nimetused.

Maksimaalsed (MAX) ja minimaalsed (MIN) kliimanäitajate/kliimaindeksite väärtused (Leheküljed GWL-põhine kokkuvõte ja CMIP6 ja SSP-RCP) esindavad vastava perioodi keskmist minimaalset aastat ja keskmist maksimaalset aastat mudelite lõikes. GWL-põhise tabeli puhul vastava 20 aastase perioodi (Lehekülg GWL-põhine kokkuvõte) ja SSP-RCP tabeli puhul (Lehekülg CMIP6 ja SSP-RCP) vastava 30 aastase perioodi jaoks. Leheküljel CMIP6 ja SSP-RCP on eraldi toodud arväärtused ka Eesti maismaa (Eesti) ja Tallinna piirkonna (Tallinn) jaoks.

- [1] Intergovernmental Panel On Climate Change (Ipcc), *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 1. tr. Cambridge University Press, 2023. doi: 10.1017/9781009157896.
- [2] Crimmins, A.R., C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, B.C. Stewart, and T.K. Maycock, Eds., „Fifth National Climate Assessment“, doi: <https://doi.org/10.7930/NCA5.2023>.
- [3] „Discover the key services, thematic features and tools of Climate-ADAPT“. Vaadatud: 15. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en>
- [4] „Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store, (2024): Gridded dataset underpinning the Copernicus Interactive Climate Atlas. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)“. doi: 10.24381/cds.h35hb680.
- [5] O. B. Christensen ja E. Kjellström, „Projections for Temperature, Precipitation, Wind, and Snow in the Baltic Sea Region until 2100“, *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*, 2018. doi: 10.1093/acrefore/9780190228620.013.695.
- [6] T. E. Palmer, B. B. Booth, ja C. F. McSweeney, „How does the CMIP6 ensemble change the picture for European climate projections?“, *Environ. Res. Lett.*, kd 16, nr 9, lk 094042, sept 2021, doi: 10.1088/1748-9326/ac1ed9.
- [7] H. von Storch, A. Lehmann, ja D. Maraun, *Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*. Cham, Switzerland: Springer, 2015. Vaadatud: 15. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-16006-1>
- [8] R. T. Sutton, B. Dong, ja J. M. Gregory, „Land/sea warming ratio in response to climate change: IPCC AR4 model results and comparison with observations“, *Geophys. Res. Lett.*, kd 34, nr 2, 2007, doi: 10.1029/2006GL028164.
- [9] M. Previdi, K. L. Smith, ja L. M. Polvani, „Arctic amplification of climate change: a review of underlying mechanisms“, *Environ. Res. Lett.*, kd 16, nr 9, lk 093003, sept 2021, doi: 10.1088/1748-9326/ac1c29.
- [10] J. Spinoni *et al.*, „Changes of heating and cooling degree-days in Europe from 1981 to 2100“, *Int. J. Climatol.*, kd 38, nr S1, lk e191–e208, 2018, doi: 10.1002/joc.5362.
- [11] In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E., „IPCC Interaktiivne Atlas (2021)“. <https://github.com/IPCC-WG1/Atlas>. Vaadatud: 10. jaanuar 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>
- [12] J. Jaagus *et al.*, „Long-term changes in heat wave parameters in the eastern Baltic region“, *Theor. Appl. Climatol.*, kd 155, nr 6, lk 5053–5068, juuni 2024, doi: 10.1007/s00704-024-04925-7.
- [13] K. Ruosteenoja ja K. Jylhä, „Extreme Cold Days and Spells in Northern Europe at 0.5°C–2.0°C Global Warming Levels“, *Int. J. Climatol.*, kd 45, nr 9, lk e8875, 2025, doi: 10.1002/joc.8875.
- [14] C. Heaviside, H. Macintyre, ja S. Vardoulakis, „The Urban Heat Island: Implications for Health in a Changing Environment“, *Curr. Environ. Health Rep.*, kd 4, nr 3, lk 296–305, sept 2017, doi: 10.1007/s40572-017-0150-3.
- [15] T. G. Huntington, „Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis“, *J. Hydrol.*, kd 319, nr 1, lk 83–95, märts 2006, doi: 10.1016/j.jhydrol.2005.07.003.

- [16] I. M. Held ja B. J. Soden, „Robust Responses of the Hydrological Cycle to Global Warming“, *J. Clim.*, kd 19, nr 21, lk 5686–5699, nov 2006, doi: 10.1175/JCLI3990.1.
- [17] G. Zappa ja T. G. Shepherd, „Storylines of Atmospheric Circulation Change for European Regional Climate Impact Assessment“, *J. Clim.*, kd 30, nr 16, lk 6561–6577, aug 2017, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0807.1.
- [18] T. G. Shepherd, „Atmospheric circulation as a source of uncertainty in climate change projections“, *Nat. Geosci.*, kd 7, nr 10, lk 703–708, okt 2014, doi: 10.1038/ngeo2253.
- [19] P. Hosseinzadehtalaei, H. Tabari, ja P. Willems, „Satellite-based data driven quantification of pluvial floods over Europe under future climatic and socioeconomic changes“, *Sci. Total Environ.*, kd 721, lk 137688, juuni 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137688.
- [20] M. R. Allen ja W. J. Ingram, „Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle“, *Nature*, kd 419, nr 6903, lk 224–232, sept 2002, doi: 10.1038/nature01092.
- [21] N. A. Da Silva ja J. O. Haerter, „Super-Clausius–Clapeyron scaling of extreme precipitation explained by shift from stratiform to convective rain type“, *Nat. Geosci.*, kd 18, nr 5, lk 382–388, mai 2025, doi: 10.1038/s41561-025-01686-4.
- [22] J. Jaagus ja A. Aasa, „Changes in drought indices in Estonia during the period of the contemporary climate warming“, *International Baltic Earth Secretariat Publication*, juuni 2018.
- [23] K. Ruosteenoja, T. Markkanen, A. Venäläinen, P. Räisänen, ja H. Peltola, „Seasonal soil moisture and drought occurrence in Europe in CMIP5 projections for the 21st century“, *Clim. Dyn.*, kd 50, nr 3, lk 1177–1192, veebr 2018, doi: 10.1007/s00382-017-3671-4.
- [24] D. L. Swain *et al.*, „Hydroclimate volatility on a warming Earth“, *Nat. Rev. Earth Environ.*, kd 6, nr 1, lk 35–50, jaan 2025, doi: 10.1038/s43017-024-00624-z.
- [25] N. S. Diffenbaugh, M. Scherer, ja R. J. Trapp, „Robust increases in severe thunderstorm environments in response to greenhouse forcing“, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, kd 110, nr 41, lk 16361–16366, okt 2013, doi: 10.1073/pnas.1307758110.
- [26] J. T. Allen, „Climate Change and Severe Thunderstorms“, *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*, 2018. doi: 10.1093/acrefore/9780190228620.013.62.
- [27] „The Response of the Northern Hemisphere Storm Tracks and Jet Streams to Climate Change in the CMIP3, CMIP5, and CMIP6 Climate Models - Harvey - 2020 - Journal of Geophysical Research: Atmospheres - Wiley Online Library“. Vaadatud: 17. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020JD032701>
- [28] M. Leppäranta, „History and Future of Snow and Sea Ice in the Baltic Sea“, *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*, 2023. doi: 10.1093/acrefore/9780190228620.013.891.
- [29] H. E. M. Meier *et al.*, „Climate change in the Baltic Sea region: a summary“, *Earth Syst. Dyn.*, kd 13, nr 1, lk 457–593, märts 2022, doi: 10.5194/esd-13-457-2022.
- [30] X. Hou, M. Wild, D. Folini, S. Kazadzis, ja J. Wohland, „Climate change impacts on solar power generation and its spatial variability in Europe based on CMIP6“, *Earth Syst. Dyn.*, kd 12, nr 4, lk 1099–1113, nov 2021, doi: 10.5194/esd-12-1099-2021.
- [31] N. H. Schade, C. Jensen, ja T. Kruschke, „Large scale atmospheric conditions favoring storm surges in the North and Baltic Seas and possible future changes“, *Front. Environ. Sci.*, kd Volume 13-2025, 2025, doi: 10.3389/fenvs.2025.1601836.
- [32] H. E. M. Meier *et al.*, „Oceanographic regional climate projections for the Baltic Sea until 2100“, *Earth Syst. Dyn.*, kd 13, nr 1, lk 159–199, jaan 2022, doi: 10.5194/esd-13-159-2022.
- [33] R. Weisse ja B. Hünicke, „Baltic Sea Level: Past, Present, and Future“, *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*, 2019. doi: 10.1093/acrefore/9780190228620.013.693.

- [34] L. A. Parsons, M. K. Brennan, R. C. J. Wills, ja C. Proistosescu, „Magnitudes and Spatial Patterns of Interdecadal Temperature Variability in CMIP6“, *Geophys. Res. Lett.*, kd 47, nr 7, lk e2019GL086588, apr 2020, doi: 10.1029/2019GL086588.
- [35] G. B. Bonan, C. Deser, W. R. Wieder, D. L. Lombardozzi, ja F. Lehner, „When is a trend meaningful? Insights to carbon cycle variability from an initial-condition large ensemble“, *Npj Clim. Atmospheric Sci.*, kd 7, nr 1, lk 320, dets 2024, doi: 10.1038/s41612-024-00878-w.
- [36] „CMIP6 AWS, Coupled Model Intercomparison Project 6“. Vaadatud: 10. jaanuar 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://registry.opendata.aws/cmip6>
- [37] B. Becsi ja H. Formayer, „Linking local climate scenarios to global warming levels: applicability, prospects and uncertainties“, *Environ. Res. Clim.*, kd 3, nr 4, lk 045003, aug 2024, doi: 10.1088/2752-5295/ad574e.
- [38] H.-O. Pörtner *et al.*, Toim, *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2022.
- [39] P. R. Shukla *et al.*, Toim, *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2022. doi: 10.1017/9781009157926.
- [40] „Paris Agreement“. U.N. Doc. FCCC/CP/2015/10/Add.1, 3156 U.N.T.S. 79, 12. detsember 2015. [Online]. Kättesaadav aadressil: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- [41] United Nations Environment Programme, *Emissions Gap Report 2025: Off Target - Continued Collective inaction puts Global Temperature Goal at Risk*. United Nations Environment Programme, 2025. doi: 10.59117/20.500.11822/48854.
- [42] C. B. Staff, „In-depth Q&A: The IPCC's sixth assessment report on climate science“, Carbon Brief. Vaadatud: 15. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://www.carbonbrief.org/in-depth-qa-the-ipccs-sixth-assessment-report-on-climate-science/>
- [43] „IPCC Glossary Search“. Vaadatud: 17. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://apps.ipcc.ch/glossary/>
- [44] „UNTERM“. Vaadatud: 17. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://unterm.un.org/unterm2/en/>
- [45] „Säästva arengu sõnaseletusi - Sõnastik“. Vaadatud: 17. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <http://www.seit.ee/sass/?ID=1>
- [46] R. H. Moss *et al.*, „Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts, and response strategies“, okt 2008, Vaadatud: 17. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/949784>
- [47] D. P. van Vuuren *et al.*, „The representative concentration pathways: an overview“, *Clim. Change*, kd 109, nr 1, lk 5, aug 2011, doi: 10.1007/s10584-011-0148-z.
- [48] „<https://un-futureslab.org/project/un-global-risk-report/>“. Vaadatud: 18. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://un-futureslab.org/project/un-global-risk-report/>
- [49] „Carbon Dioxide - Earth Indicator - NASA Science“. Vaadatud: 18. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://science.nasa.gov/earth/explore/earth-indicators/carbon-dioxide/>
- [50] „Average Annual Temperature“, Center for Sustainability and the Global Environment. Vaadatud: 18. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://sage.nelson.wisc.edu/data-and-models/atlas-of-the-biosphere/mapping-the-biosphere/ecosystems/average-annual-temperature/>
- [51] „EU Agricultural Outlook 2025-35: EU agriculture navigates challenges while embracing opportunities - Agriculture and rural development“. Vaadatud: 18. detsember 2025.

- [Online]. Kättesaadav aadressil: https://agriculture.ec.europa.eu/media/news/eu-agricultural-outlook-2025-35-eu-agriculture-navigates-challenges-while-embracing-opportunities-2025-12-16_en
- [52] C. Xu, T. A. Kohler, T. M. Lenton, J.-C. Svenning, ja M. Scheffer, „Future of the human climate niche“, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, kd 117, nr 21, lk 11350–11355, mai 2020, doi: 10.1073/pnas.1910114117.
- [53] International Organization for Migration, *Migration in the Context of Climate and Environmental Changes within Central Asia and to the European Union and the Russian Federation*. United Nations, 2024. doi: 10.18356/9789292688271.
- [54] „Trends and projections in Europe 2019 - Tracking progress towards Europe's climate and energy targets“. Vaadatud: 18. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/trends-and-projections-in-europe-1>
- [55] „Global Tipping Points | understanding risks & their potential impact“, Global Tipping Points. Vaadatud: 18. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://global-tipping-points.org/>
- [56] S. C. Y. Lau *et al.*, „Genomic evidence for West Antarctic Ice Sheet collapse during the Last Interglacial“, *Science*, kd 382, nr 6677, lk 1384–1389, dets 2023, doi: 10.1126/science.ade0664.
- [57] K. A. Naughten, P. R. Holland, ja J. De Rydt, „Unavoidable future increase in West Antarctic ice-shelf melting over the twenty-first century“, *Nat. Clim. Change*, kd 13, nr 11, lk 1222–1228, nov 2023, doi: 10.1038/s41558-023-01818-x.
- [58] D. J. R. Thornalley *et al.*, „Anomalously weak Labrador Sea convection and Atlantic overturning during the past 150 years“, *Nature*, kd 556, nr 7700, lk 227–230, apr 2018, doi: 10.1038/s41586-018-0007-4.
- [59] S. Drijfhout, J. R. Angevaere, J. Mecking, R. M. van Westen, ja S. Rahmstorf, „Shutdown of northern Atlantic overturning after 2100 following deep mixing collapse in CMIP6 projections“, *Environ. Res. Lett.*, kd 20, nr 9, lk 094062, aug 2025, doi: 10.1088/1748-9326/adfa3b.
- [60] „Urban heat island“, World Meteorological Organization. Vaadatud: 18. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://community.wmo.int/urban-heat-island>
- [61] S. Gecsoyler ja M. Goodier, „‘Do not buy these flats’: residents warn about unbearable heat inside London new-builds“, *The Guardian*, 12. august 2025. Vaadatud: 18. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://www.theguardian.com/australia-news/2025/aug/12/do-not-buy-these-flats-residents-warn-about-unbearable-heat-inside-london-new-builds>
- [62] S. Nerbøberg, „Røde Kors: Norge er ikke forberedt på hetebølger“, NRK. Vaadatud: 18. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: https://www.nrk.no/norge/rode-kors_-norge-er-ikke-forberedt-pa-hetebolger-1.17507360
- [63] M. Vieira Passos, J.-C. Kan, G. Destouni, K. Barquet, ja Z. Kalantari, „Identifying regional hotspots of heatwaves, droughts, floods, and their co-occurrences“, *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, kd 38, nr 10, lk 3875–3893, okt 2024, doi: 10.1007/s00477-024-02783-3.
- [64] C. Åström, P. Bjelkmar, ja B. Forsberg, „Attributing summer mortality to heat during 2018 heatwave in Sweden“, *Environ. Epidemiol.*, kd 3, lk 16, okt 2019, doi: 10.1097/01.EE9.0000605788.56297.b5.
- [65] A. Mooney, „Extreme rainfall puts cities on alert“, *Financial Times*, 21. märts 2025. Vaadatud: 18. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://www.ft.com/content/69c2d5c8-004e-44f3-99e9-621216c25496>
- [66] D. Carrington ja D. C. E. editor, „‘Global weirding’: climate whiplash hitting world’s biggest cities, study reveals“, *The Guardian*, 12. märts 2025. Vaadatud: 15. detsember

2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://www.theguardian.com/environment/2025/mar/12/global-weirding-climate-whiplash-hitting-worlds-biggest-cities-study-reveals>
- [67] „Climate whiplash“, RMetS. Vaadatud: 18. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://www.rmets.org/metmatters/climate-whiplash>
- [68] „EUR 691m –PERILS’ third industry loss estimate for Babet-Aline Floods and Storms of October 2023“, Perils. Vaadatud: 18. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://www.perils.org/news/eur-691m-perils-third-industry-loss-estimate-for-babet-aline-floods-and-storms-of-october-2023>
- [69] „Værste stormflod i over 100 år: Kan nogle steder have været en 500-årshændelse“, DR. Vaadatud: 18. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://www.dr.dk/nyheder/vejret/vaerste-stormflod-i-over-100-aar-kan-nogle-steder-have-vaeret-en-500-aarshaendelse>
- [70] „Climate Neutral Tampere 2030 | www.tampere.fi“. Vaadatud: 18. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://www.tampere.fi/en/nature-and-environment/climate-action-tampere/climate-neutral-tampere-2030>
- [71] „Climate Strategy for Oslo towards 2030“, Klimaetaten. Vaadatud: 18. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: <https://www.klimaoslo.no/rapport/climate-strategy-for-oslo-towards-2030/>
- [72] „ccc__o__dz__.pdf“. Vaadatud: 18. detsember 2025. [Online]. Kättesaadav aadressil: https://netzerocities.app/_content/files/knowledge/4666/ccc__o__dz__.pdf