

Milline tulevik ootab läänemerd?



EN

Kahtlemata soojeneb koos ülejäänud maailmaga üsna kiiresti ka Läänemeri. Oleme selja taha jätnud holotseeni kliimat, ees ootab tundmatus.

Kliimamuutuse võib lühidalt kokku võtta kui **kliimasüsteemi** oleku **muutumise**. Kliima on Maa pika ajaloo jooksul palju teisenenud - olnud kord soojem, kord jahedam -, selles ei ole midagi ebatavalist. Mõju on avaldanud näiteks vulkanism, kokkupõrge asteroidiga ja muutused Maa telje kaldenurgas.

Praegune aeg paistab silma selle poolest, et suuri muutusi põhjustab üksainus Maal elav liik. Oma tegevusega oleme suutnud süsinikuringet ja **kasvuhoonegaaside** kogust atmosfääris niivõrd ulatuslikult mõjutada, et Maa pika aja jooksul välja kujunenud **kiirgusbilanss** on tasakaalust välja läinud.

Kiirgusbilanss on tasakaalus siis, kui Päikeselt tulnud energia ja süsteemi poolt ilmaruumi kiiratud soojuskiirgus on võrdsed. Sel juhul kliimasüsteemi temperatuur pikas vaates ei muutu. Kui energiat neeldub süsteemis vähem, kui hajub, siis temperatuur langeb. Vastupidisel juhul (energiat talletub rohkem, kui lahkub) temperatuur tõuseb ehk kliima soojeneb. Siin tulevad mängu **kasvuhoonegaasid**, mille hulga suurenemine võib tunduda tühisena, aga nende mõju kliimale on märkimisväärne. **Kasvuhoonegaasid**, sh veeaur, **süsihappegaas** ja metaan, neelavad atmosfääris Maalt tulevat pikalainelist **kiirgust** ehk soojuskiirgust; mida enam **kasvuhoonegaase**, seda rohkem jääb liigset soojust maalähedasse atmosfääri. Nii muutub Päikeselt Maale jõudva ja sät maailmaruumi hajuva **kiirguse** bilanss. Selle tõttu Maa süsteem soojenebki niikaua, kuni saabub uus tasakaalupunkt, seekord juba kõrgemal keskmisel temperatuuril.

Üldise temperatuuritõusuga kaasneb hulk muutusi, mis haaravad kõiki Maa sfääre ning mille tagajärjed võib kokku võtta märksõnaga „ebastabiilsus“ või lihtsamalt öeldes „korralik segadus“. Keskendume **Läänemere keskkonnale** ja selgitame praeguste andmete põhjal, millised **muutused** toob **kliima** soojenemine kaasa meie merele ja inimesele.

LÄÄNEMERI ON OSA SUUREST MAAILMAST

Läänemeres on **kliimamuutus** laia haardega protsess, mis põhjustab suuri nihkeid mere füüsikalistes ja keemilistes parameetrites, näiteks temperatuuris ja happelisuses.

Eesti Loodus

01.03.2025 00:00

Mariliis Kõuts

5000

16,17,18,19,20

Kasvuhoonegaas**Kalandus****Kiirgus****Jäämurdetööd****Ökoloogia****Merekeskkond****Vöörligid****Kaitsealused liigid****Kliimapoliitika****Süsihappegaas****Pinnavesi****Laevandus**

Keskkonnatingimuste muutused mõjutavad omakorda meres elavaid taimi ja loomi ning nende kasvukohti ja elupaiku. Lõpuks kanduvad muutused üle inimühiskonda, näiteks väheneb oluliste **kalaliikide** arvukus või sagenevad üleujutused rannikualadel. Muutused mõjutavad üksteist ka vastakuti ning mõnel juhul võib tekkida positiivse tagasiside ring, mille korral hakkab muutus iseennast jäljest võimendama. Näiteks kui jää kaob, väheneb aluspinna albeedo, sest valgus ei peegeldu enam tagasi, vaid neeldub meres. Selle mõjul soojeneb meri varasemast enam ning jää tekib jäljest väiksema tõenäosusega.

See, kui palju keskmine õhutemperatuur Läänemere piirkonnas tulevikus muutub, oleneb mitmest tegurist. Paljuski oleneb globaalse **kliimamuutuse** kiirus ja ulatus inimkonna käitumisest ja otsustest: see kätkeb nii fossiilkütuste tarvitust, **kasvuhoonegaaside** heidet kui ka terviklikke toimivaid **ökosüsteeme** toetavate tegevusviiside kasutuselevõttu. Lähtudes majandusmudelitest, on valitsustevaheline **kliimamuutuste** nõukogu (**IPCC**) koostanud kliimastenaariumid, mille kohaselt võib Maa õhutemperatuur sajandi lõpuks tõusta 1,5 kuni 4,4 °C. **IPCC** stsenaariumide põhjal on omakorda modelleeritud ja hinnatud Läänemerega seotud füüsikalisi, keemilisi ja bioloogilisi muutujaid.

ÖKOSÜSTEEMITEENUSED

Kliimamuutusi ennustada püüdes peab arvestama, et niivõrd keerulise süsteemi ja nõnda suure hulga muutujate korral, mis kõik üksteist mõjutavad, on prognoosidesse sisse kirjutatud paratamatu määramatus. Küll aga saame olla kindlad, et tuleb palju ootamatusi. **Kliimamuutuste** ennustuste põhjal saab analüüsida muutustega kaasnevaid keskkondlikke ja sotsiaalseid tagajärgi ning välja töötada kohanemismeetmeid.

Hindamaks **kliimamuutuse** mõjusid inimühiskonnale, tulevad appi **ökosüsteemiteenused** ehk loodushüved. **Ökosüsteemiteenused** on looduslike **ökosüsteemide** omadused, mis loovad meie harjumuspärase igapäevase elukorralduse aluse, näiteks hapniku tootmine, süsiniku sidumine, energia ja eluslooduse ressursid. Tegelikult loodus muidugi ärilises mõttes teenusi ei paku, aga majandus- ja rahanumbrites mõtleval maailmal võib see aidata mõista muutuste tähtsust ja kõikehõlmavust.

Üldjoontes võib **ökosüsteemiteenused** jagada reguleerivateks ja tugiteenusteks (nt kliima reguleerimine, aineringed), varustusteenusteks (nt merest saadav toit ja energia) ning kultuurilisteks ehk ühiskondlikeks hüvedeks (nt

meri kultuuri ja vaimse tervise mõjutajana). Kõnealused teenused toimivad vaid siis, kui neid pakkuvad looduslikud **ökosüsteemid** on terviklikud ja vastupidavad.

Võtmetähtsusega on reguleerivad ja tugiteenused, millest omakorda olenevad loodusvarade seisukord ja ühiskondlikud hüved.

LÄÄNEMERE KLIIMA TULEVIKUS

Vaatleme Läänemere **kliimamuutuste** mõjusid eri muutujate kaupa. See pole kindlasti lõplik ülevaade, välja on jäänud näiteks lainetus, Läänemere tsirkulatsioon ja hoovused, sest nende tuleviku suhtes on veel üksjagu teadmatust. Kirjeldatud muutused on omakorda pandud mõne meile olulise Läänemerega seotud **ökosüsteemiteenuse** konteksti. Kindlasti ei ole siin üles loetud kõiki loodushüvesid. Tehtud valik peaks lugejat innustama kaasa mõtlema, milliste merehüvede kaudu **kliimamuutused** meid veel mõjutada võiksid.

VEETEMPERATUUR

On selge, et tõusev õhutemperatuur toob kaasa kõrgemad mereveetemperatuurid. 1980. aastatest saadik on ääremereid üle maailma soojenenud ookeanist kiiremini ja Läänemeri lööb snn rekordeid. Alates 1980. aastatest on sinne merepinna keskmistatud temperatuur tõusnud eri hinnanguil 1-2 °C. Muret teeb asjaolu, et mere soojenemise tempo tundub viimastel aastakümnetel olevat kümme korda kiirem kui 19.-20. sajandil. Ennustatakse, et olenevalt inimkonna sotsiaalmajanduslikest valikutest on Läänemere aastakeskmine **pinnaveetemperatuur** sajandi lõpuks 1,1 kuni 3,2 °C võrra kõrgem kui eelmise sajandi viimasel veerandil. Enim soojeneb mere põhjaosa, sh Eesti rannikumeri suvel. See tähendab, et möödunud suve ekstreemse mereleitsaku temperatuurid muutuvad harjumuspäraseks. Snski ei pruugi muutuse teekond olla lineaarne, pigem on oodata üleminekukliimale iseloomulikku mustrit ehk siis erinõolisi aastaid suuresti kõikuva veetemperatuuriga, kus soojenemise trend võib näida ajutiselt isegi katkevat, kuniks ületatakse järjekordne temperatuurirekord.

Ahelreaktsioonina hakkab soojem vesi omakorda mõjutama mereökosüsteemi omadusi gaaside lahustumisest vees kuni mereorganismide elumiseni. Kiiremini soojenevasse sügavusvahemikku jääb peaaegu kogu Lääne-Eesti madal mereala. Selles kuni 50-meetrises tsoonis asub hulk väärtuslikke mereelupaiku, mida iseloomustavad mitmesugused suurvetikate ja taimede ning sette peal ja sees elavate loomade kooslused. Elupaiku asustavate liikide vahel on pika aja jooksul välja kujunenud vastastikused suhted ning

seeläbi moodustavad mereelanikud keerulisi ökoloogilisi võrgustikke, kus kõik lülid on üksteisega otseselt või kaudselt seotud. Läänemere jahedas **merekeskkonnas** kujunenud liikidele tähendab kiirelt tõusev keskmine meretemperatuur suurt kohanemissurvet. Isegi kui soojem meri mõnda liiki soosib või otseselt ei häiri, võivad sagedate ja intensiivsete mereleitsakute mõjud olla koguni akuutsed. Korduma kippudes võivad tundlikumad liigid selle tõttu sattuda **väljasuremisohu**.

Liigi rollist võrgustikus oleneb see, kuivõrd mõjutab tema halvem seisund kõiki ülejäänud **ökosüsteemiliikmeid**. Üks selline elupaiku kujundav võtmeliik on Läänemeres näiteks põisadru (*Fucus vesiculosus*), kellega on otseselt seotud paljud toiduahelas kõrgemal asuvad organismid. Halvimal juhul võib põisadru arvukuse ja leviku vähenemise tõttu ilmned kaskaadefekt, kus kaob veel hulk teisi liike. Seeläbi elurikkus väheneb, ökoloogiline võrgustik hõreneb ning kannatavad **ökosüsteemihüved** veekvaliteedist kuni mere vaatleja ehk inimese vaimse terviseni välja.

Veel üks ilmekas näide mereökosüsteemi suure muutuse kohta on aasta-aastalt varasemale ajale nihkuv kevadine fütoplanktonivohang, mis sajandi lõpuks võib alata üle kuu aja varem (vt 2). Kuna fotosünteesivad mikrovetikad on kõigi mereliste toiduahelate esimene lüli, tähendab muutus sellel tasandil mõjusid ka kõrgematele liikidele, kes peavad varem alustava toidubaasiga n-ö kaasa tulema. Näiteks olenevad sellest paljud kevadel küdevad kalahigid, kelle maimud vajavad arenemise ajal rohkesti toitu. Kui need kalad ei suuda oma kudemist õigesti ajastada, siis jääb nende järelkasv nälga ning populatsioonide pikaajaline saatus Läänemeres satub küsimärgi alla.

Teisest küljest võib soojenev meretemperatuur kätte mängida ka mõne trumbi. Meresoojusenergia kui loodushüve kasutusvõimalused võivad tulevikus koos kõrgema veetemperatuuriga avarduda. Aina enam saame talvises meres salvestanud soojust kasutada näiteks hoonete kütmiseks. Joonisel 3 on näha, et sajandi lõpuks võib näiteks Tallinna elanikel olla praegusega võrreldes ligi kahe kuu võrra rohkem meresoojuseküttepäevi. Meresoojusega on köetud juba üle kümne aasta Lennusadamas ja plaanis on seda rakendada ka Tallinna Hundipea sadama arenduses. Meresoojusenergia pikaajalist ja ettevaatlikku planeerimist ning mõistlikkuse piires rakendamist võib pidada üheks **kliimamuutustega** kohanemise meetmeks, sest see on kohalik ja stabiilne, suurendab meie energiajulgeolekut ning pakub alternatiivi fossiilkütastele.

SOOLSUS

Läänemere soolsus varieerub palju nii ajas kui ka ruumis. Näiteks väheneb Läänemeres soolsus põhja poole liikudes ning erinevus ilmneb ka vertikaalselt: põhjas on soolasem vesi, pinnal magedam. Soolsust mõjutab korruga mitu tegurit, seetõttu on pikaajalisi muutusi keeruline prognoosida. Ennustuste järgi muutuvad tulevikus nii soolsust vähendavad kui ka suurendavad tegurid: ühelt poolt võib sademete ja jõgede vooluhulk suurened, mis magestab merevett; teisalt võib globaalse meretaseme tõusuga suurened ka Põhjamerest pärit sissevoolu hulk ja ruumala, mis toob siia rohkem soolast vett. Eesti merealade kohta koostatud esialgsete prognooside järgi hakkab soolsus sajandi keskel suuremal määral muutuma ning võib sajandi lõpuks väheneda, aga selles hinnangus on omajagu määramatust.

Võimalikud soolsuse muutused mõjutavad bioregulatsiooni ehk **ökosüsteemi** suutlikkust loomulikul viisil puhverdada Läänemere sisse tulevate **vöörlükide** kahjulikku mõju ja levikut. Kuigi kohalikud liigid on varieeruva soolsusega kohastunud, põhjustavad suured muutused neis siiski stressi, mis võib väljenduda näiteks suuruse ja struktuuri muutustes; viimast on märgatud näiteks suurvetikate puhul. Teisest küljest mõjutavad vee soolsuse muutused (tihti koosmõjus muude tingimustega) seda, millised liigid Läänemere pidama jäävad. Kui kohalikud liigid on surve all ja peale tuleb suur hulk vööraid, kujuneb suurem oht, et **vöörlük** haarab niši.

KIHISTUMINE

Soolsuse ja temperatuuri erinevused kujundavad omakorda Läänemere ühe põhitunnuse: kihistunud veesamba. Kihistamise tingib soolase ja mageda vee erisugune tihedus, mille tõttu soolasem ja tihedam vesi vajub alla, selle peale aga asetub magedama vee kiht. Järsku soolsuse üleminekut veesambas nimetatakse halokliiniks. Läänemeres on see püsiv, asudes umbes 40-80 meetri sügavusel. Halokliinile lisandub suvel soojuslik kihistumine pinnalähedases tsoonis. Kihistumine takistab ainetransporti merepinna ja -põhja vahel, sest näiteks halo- ja termokliinis ei segune hapnik kuigi hästi. Mida rohkem erinevad kihid soolsuse ja soojuse poolest, seda tugevam barjäär tekib. Alates 1982. aastast on nii soojuslik kui ka soolsuslik kihistumine Läänemeres tugevnenud. Prognooside järgi soojuslik kihistus koos õhutemperatuuri kasvuga tulevikus suureneb, mis mõjutab suvel ja sügisel ühtviisi nii madalaid kui ka sügavaid alasid ning saavutab maksimumi sajandi lõpuks. Soolsusliku kihistumise prognoosi korral on määramatus suurem, sest seda mõjutavaid tegureid

on palju. Esialgse prognoosi põhjal suureneb Eesti merealade kihistamine sajandi keskel ja väheneb sajandi lõpus.

Kihistumine süvendab Läänemeres hapnikupuudust ja eutrofeerumist ehk toitaineküllasust, mis on omavahel tihedalt seotud. Anoksia ehk hapnikupuudus muudab vee redokstingimusi: keskkonda, kus toimuvad lämmastikuja fosforiringet kujundavad keemilised reaktsioonid. Hapniku kadudes häiruvad lämmastikku ja fosforit veest eemaldavad mehhanismid ning toitained jäävad pikemalt ringlema ja elustikku mõjutama. Kui lämmastiku puhul säilivad protsessid, mis teda näiteks gaasina süsteemist välja viivad, siis fosfor mattub vaid setetesse. Anoksia loob olukorra, kus nii-öelda vana fosforit vabastatakse setetest pidevalt ringlusesse, mille tõttu muutub Läänemere sisemine toitainekoormus nõnda suureks, et see hakkab eutrofeerumist suunama, olenemata välistest piirangutest. Seejuures muutub ka toitainete osakaal: fosforit saab liiga palju, mis omakorda toob kaasa sinivetikate vohamise surnud ringi, nimelt annab fosfori liig vees tsüanobakteritele (sinikutele) mikrovetikate ees konkurentsieelise. On selge, et tulevikus ei kao kihistumine kuhugi, ent üks lootusekiir on võtta järjepidevalt meetmeid rohketoitelisuse vastu. Kui eutroofsus väheneb, siis Läänemere elukeskkond paraneb, mis omakorda aitab vähendada **kliimamuutuste** mõju.

JÄÄKATE

Läänemerele iseloomulik talvine merejää on üks ilmsemaid **kliimamuutuse** indikaatoreid, mille kiireid muutusi näeme praegugi. Juba 19. sajandi lõpust saadik on Läänemeres mõõdetud maksimaalset jääulatust ja paksust ning jääperioodi pikkust. Kuigi jääga seotud parameetrite väärtused on olnud aasta-aastalt üsna kõikumad, on pikaajaline trend selge: viimase sajandi jooksul (1921-2020) on jää ulatus kahanenud 6400 km² kümnendi kohta. 1987. aastast saadik pole Läänemeres olnud ühtki ekstreemset jäätalve. Viimane karm talv oli aastal 2011, aga leebeid talvesid on olnud tavaliselt palju. Seejuures on tunduvalt kahanenud nii jää paksus kui ka jääperioodi pikkus.

Ennustuste järgi Eesti mereala jää järk-järgult õheneb ja taandub. Sajandi lõpus võib jääd leiduda ainult lühikest aega kitsaste ribadena madalatel rannikualadel. Aga see ei tähenda, et jää Läänemeres või Eesti rannikualadelt selle sajandi jooksul täiesti kaoks. Vähemalt esialgu muutub jääkatte esinemus ettearvamatuks: valdavalt soojade talvede vahel võib endiselt tulla mõni ootamatu, külm ja jäine talv. See on taas osake üleminekukliima mustriks, kus aastaegade ja

aastatevaheline ilm pole enam ootuspärane, vaid varieerub suuresti.

Jääkatte muutused mõjutavad otseselt jääst sõltuvaid liike, näiteks viiherhüljest, kes poegib ainult jää peal. Jääkatte taandumise ja muude tegurite koosmõjul kaob tõenäoliselt Soome lahe viiherhüljeste asurkond, kelle arvukus on juba praegu väga väike. Meie teine levinud mereimetaja hallhüljes suudab poegida ka rannikul, kuid seal on risk suurem, sest need alad on ligipäätavamad ka kiskjatele ja inimestele. Hülged etendavad suurt tasakaalustavat osa Läänemere liigilises võrgustikus, mis on seda vastupidavam häiringutele, mida vähem on selles lünki. Teisalt on hüljes osa eesti kultuurist. Nende karismaatiliste mereloomadega on tihedalt seotud mitme väikesaare folkloor ja sellel liigil on tähtis koht meie rahva kujunemisloos.

Teine **ökosüsteemiteenus**, mida jääkatte muutused mõjutavad, on **meretransport**. Ühelt poolt võib mõju olla positiivne, sest vähenevad laevade energiakulud ning vajadus igal talvel jää sisse teed rajada. Teiselt poolt nõuab asjaolu, et jää täielikult ei kao, pidevat valmisolekut sadamates, ning **jäämurdjaid** täielikult maha kanda samuti ei tasu. Samuti peab jäätekke võimalusega endiselt arvestama ka merre erisuguseid objekte, näiteks tuuleparke ehitades. Üsna kindlalt ei saa talviti loota enam jääteedele, mille kadumist saab pidada pigem kultuuriliseks, mitte majanduslikuks kaotuseks.

Praeguste hinnangute järgi on kõige tõenäolisem **IPCC** stsenaarium SSP2-4.5. Selle alusel prognoosivad teadlased Adapt-Est projekti raames Eesti rannikualade tulevikukliimat. Stsenaariumi SSP245 järgi võtab inimkond meetmeid, leevendamaks **kliimamuutusi**, kuid sellises tempos, et märkimisväärseid kliimamõjusid ei saa vältida. Valitud stsenaariumi kohaselt tõuseb Maa õhutemperatuur sajandi lõpuks ligikaudu 3,8 °C võrreldes tööstusrevolutsiooni eelse aja omaga (ajavahemik 2081-2100 võrreldes perioodiga 1950-1900 Põhja-Euroopas)

Loe lisaks:

- Meier, Markus et ai 2022. Climate change in the Baltic Sea region: a summary. - Earth System Dynamics 13:457-593.
- esd.copernicus.org/articles/13/457/2022.

MARILIIS KÕUTS (1987) on Tallinna tehnikaülikooli meresüsteemide instituudi mereökoloogia teadur.

Varakevad Juminda poolsaare tipus. Läänemerele iseloomulik talvine merejää on tulevikus tunduvalt haruldasem. Aeg-ajalt võib siiski tulla mõni ootamatult külm ja jäine talv
Joonised: TTÜ MERESÜSTEEMIDE INSTITUUT (PROJEKT

ADAPTEST) Prognoositud päev alates aasta algusest, kui merepinna temperatuur ületab 4 kraadi 1980. aastatel ning prognoos 21. sajandi keskpaigaks ja lõpukümnendiks. Tinglikult on see aeg, kui kevadine segunemine lõpeb ja algab vetikavohang Lisandunud päevade arv (võrreldes 1980. aastatega), kui merepinna temperatuur ületab 2,5 oC 21. sajandi keskpaigas ja lõpukümnendil. Tinglikult on see temperatuur, millest alates saab soojusvahetitega mereveest soojusenergiat ammutada Keskmine Eesti mereala jääpäevade arv aastas 1980. aastatel, 21 sajandi keskel (2040. aastad) ja sajandi lõpus (2090. aastad).(s) Maksimaalne ja keskmine jääkatteulatus kuude kaupa kolmel kümnendil (1980., 2040. ja 2090. aastad) ja jääkatte ulatus 15. veebruaril samal kolmel kümnendil Üleujutuspotentsiaaliga päevade arv (veetase > 100 cm) Eesti rannikul kolmel perioodil (1980., 2040. ja 2090. aastad)

MARILIIS KÕUTS