

Maapallojärjestelmän keikahduspisteet: havaintoja Tiedesparrauksen keskusteluista

Tämä on yhteenveto Suomalaisen Tiedeakatemian, Operaatio Arktiksen ja Huoltovarmuuskeskuksen järjestämästä [Tiedesparrauksesta](#), jonka tavoitteena oli tunnistaa keikahduspisteiden **suoria ja ketjuuntuvia vaikutuksia Suomeen sekä arvioida vaikutuksia huoltovarmuuteen**.

Ilmastojärjestelmän keikahduspisteellä tarkoitetaan kriittistä kynnyspistettä, jonka ylittäminen aiheuttaa itseään voimistavia ja peruuttamattomia muutoksia koko järjestelmän toiminnassa.¹ Työpajassa keskityttiin erityisesti Atlantin meridionaaliseen kiertoliikkeeseen (AMOC) keikahduspisteen ylittymiseen. Se on ”Atlantin valtameren merkittävin kiertoliike, joka kuljettaa vettä pinnan läheisenä virtauksena etelästä kohti Eurooppaa vuorovaikuttaen ilmapvirtausten kanssa, ja kylmennyttä vettä pohjavirtauksena takaisin kohti etelää.”²

Tämä yhteenveto kokoaa havaintoja Tiedesparrauksen aikana käydyistä keskusteluista. Se ei kuitenkaan ole kattava kuvaus kaikista keskustelujen yksityiskohdista.

Suomalainen Tiedeakatemia fasilitoi työtä osana Jane ja Aatos Erkon säätiön rahoittamaa Tieteelliset ilmiökartat -hanketta.

Tiedesparrauksen osallistujat

Marko Ahvenainen, Huoltovarmuuskeskus
Hilppa Gregow, Ilmatieteen laitos
Ellen Haaslahti, Operaatio Arktis
Emma Hakala, Ulkopoliittinen instituutti
Ossi Heino, Huoltovarmuuskeskus
Liina Huttunen, Operaatio Arktis
Viktor Jaakkola, Operaatio Arktis
Kaisa Karttunen, Helsingin yliopisto
Joonas Merikanto, Ilmatieteen laitos
Roope Siirtola, Huoltovarmuuskeskus
Tapio Tourula, Huoltovarmuuskeskus
Petteri Uotila, Helsingin yliopisto
Tuulia Väliheikki, Huoltovarmuuskeskus

¹ Merikanto, J., Makkonen, R., Thölix, L., Uotila, P., Yamineva, Y., Lappalainen, H., & Gregow, H. (2024). Ilmaston keikahduspisteiden merkitys Suomelle: Uusin tieto Atlantin meridionaalisen kierron (AMOC) mahdollisesta pysähtymisestä sekä sitä ehkäisevistä ilmastotoimista (Politiikkasuositus 27.5.2024). ACCC. https://www.acccflagship.fi/wp-content/uploads/Tipping_points_Policy_Brief_suomi.pdf

² ibid. s. 3

Sisällysluettelo

AMOC:n keikahduspisteen ylittymisen vaikutukset Suomeen	3
Ruoka	3
Energia	4
Infrastruktuuri	5
Logistiikka	5
Turvallisuus	6
Vesi	6
Terveys	6
Väestölliset ja alueelliset muutokset	7
Talous	7
AMOC:n kaltaiset keikahduspisteet haastavat tarkastelemaan huoltovarmuutta kokonaisvaltaisesti tavoitteiden, keinojen ja periaatteiden tasolla	9
Aukko seurannassa ja muutoksen mittaamisessa	9

AMOC:n keikahduspisteen ylittymisen vaikutukset Suomeen

AMOC:n keikahduspisteen ylittymisen suoria vaikutuksia on tutkittu verraten vähän. AMOC:n täydellisen pysähtymisen keskeisimpiä vaikutuksia Suomessa olisivat merkittävästi kylmemmät talvet (noin 20 °C), sadannan väheneminen, lumipeitekauden pidentyminen sekä Itämeren ja Atlantin jääpeitteen merkittävä lisääntyminen talvisin. Talvisin Itämeri jäätyisi kauttaaltaan, ja Pohjois-Atlantti peittyisi merijäähän Brittien saarten eteläosaa myöten. Nykyiset havaintoaineistot ja mallinnustulokset antavat ristiriitaisia viestejä AMOC:n hidastumisesta ja tulevasta käyttäytymisestä, ja tieteellistä konsensusta pysähtymisen todennäköisyydestä ei tällä hetkellä ole. Globaali ilmaston lämpeneminen kompensoisi viilenemistä, ja pysähtyminen voisi tapahtua usean vuosikymmenen aikana tai jäädä vain osittaiseksi.

Tiedesparrauksen työpajan työskentely syventyi erityisesti AMOC:n keikahduspisteen ylittymisen ketjuuntuviin vaikutuksiin. Ketjuuntuvilla vaikutuksilla tarkoitetaan sitä, että suorat vaikutukset yhdistyvät poliittisiin, taloudellisiin ja valtion rajat ylittäviin ilmiöihin, esimerkiksi kuivuuden vaikutukset poliittiseen epävakauteen.³

Työpajassa tunnistetut ketjuuntuvat vaikutukset on jaoteltu seuraaviin teemoihin: ruoka, energia, infrastruktuuri, logistiikka, turvallisuus, vesi, terveys, väestölliset ja alueelliset muutokset sekä talous. Joidenkin teemojen yhteyteen on nostettu tunnistettujen vaikutusten taustalla piileviä oletuksia. Työpajassa emme ehtineet tunnistaa oletuksia niin laajasti, että listaus kattaisi kaikki teemat.

Lisäksi on hyvä muistaa, että eri sektoreilla voi olla merkittäviä keskinäisiä yhteisvaikutuksia. Miten esimerkiksi Suomen sisäinen muuttoliike vaikuttaisi tuotantorakenteen muutoksiin? AMOC:in mahdollinen romahtaminen tapahtuisi todellisuudessa, jossa ilmastomuutos olisi edennyt pitkälle. Esimerkiksi ruoantuotanto olisi heikentynyt ja muuttoliike kiihtynyt maailmanlaajuisesti. Euroopan unionin sisällä kuilu kuuman etelän ja kylmän pohjoisen välillä aiheuttaisi taloudellista ja poliittista vastakkainasettelua. Tällaisten tekijöiden huomattavia ristivaikutuksia ei tässä tarkastelussa ole pystytty huomioimaan.

Ruoka

Kasvuvyöhykkeiden muuttuessa **viljelysadot heikkenisivät** ja maataloustuotanto laskisi merkittävästi. Keskustelussa nousi esiin kysymys siitä, menetettäisiinkö Suomen **ruokaomavaraisuus** kokonaan.

³ vrt. Hakala, E. & Räisänen, H. (2024). *Ilmastomuutoksen ketjuuntuvia ja siirtymävaikutuksia huoltovarmuudelle*. Huoltovarmuuskeskus. Saatavilla: <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/files/c12400c49a9a8ef85bcfa05565887acb5c12478a/hvk-ilhu-tilannekatsaus-saavutettava.pdf>

Perinteiseksi ymmärretty **ruoan alkutuotanto** saattaisi romahtaa tai siirtyä kontrolloidumpiin olosuhteisiin, kuten kasvihuoneisiin tai tankkeihin. Kasvijaistuksen merkitys todennäköisesti kasvaisi. Kasvukausi lyhenisi ja kertyvä lämpösumma jäisi alhaiseksi, mikä rajoittaisi viljelykasvivalikoimaa. Lisääntyvä kuivuus vaatisi enemmän panostuksia kastelujärjestelmiin. Muutokset alkutuotannossa saattaisivat heikentää maaseudun elinvoimaisuutta.

Meriekosysteemien muuttuessa Pohjois-Atlantin nykyinen lajisto kärsisi ja **kalakannat vähenisivät**.

Ruoantuotannon haasteilla olisi merkittäviä taloudellisia ja yhteiskunnallisia vaikutuksia. **Ruoan hinta nousisi** huomattavasti sekä maailman markkinoilla että kotimarkkinoilla, mikä aiheuttaisi muutoksia ihmisten **ruokavaliossa** ja ruokakulttuurissa.

Kilpailu ruoantuotannon resursseista, eli sopivasta maaperästä, vedestä ja energiasta, kiristyisi. Paine kasvaisi erityisesti Keski-Euroopassa, kun etelässä kuivuus ja lämpeneminen sekä pohjoisessa kylmyys rajoittaisivat tuotantoa.

Haasteisiin vastaamiseen voitaisiin tarvita **suorien valtiollisten investointien kohdentamista** muualle maailmaan. Esimerkiksi ruoantuotantoon alueilla, joissa olosuhteet säilyisivät suotuisampina.

Oletuksia tunnistettujen vaikutusten taustalla:

- Ruoantuotanto ja viljelymenetelmät pysyvät nykyisenkaltaisina.
- Tunnetuille viljelykasveille ja -tavoille ei ole nopeasti käyttöönotettavissa olevia vaihtoehtoja.
- Suomi kykenee ostamaan tuontiruokaa muualta.

Energia

Viilenevässä ilmastossa **energian kulutus kasvaisi** erityisesti lisääntyneiden lämmitystarpeiden takia, mikä voisi nostaa **energian hintoja**. Ankarat ja heikkotuuliset pakkasjaksot voisivat synnyttää sähköpulaa.

Vesivoimatuotanto todennäköisesti heikkenisi tai loppuisi ja aurinkoenergia olisi vähemmän saatavilla mahdollisesti pilvisempien olosuhteiden vuoksi. Ydinvoiman rooli saattaisi kasvaa vakaana perustuotantona. Maalämmön mahdollisuudet tunnistettiin, mutta sen riittävyys suurissa kohteissa jäi epävarmaksi.

Erityinen haaste syntyisi, jos yhteiskunta olisi siirtynyt keikahduspisteen ylittyessä laajasti sähköiseen liikenteeseen ja lämmitykseen. Merkittävästi kylmemmät olosuhteet voisivat haastaa sähköistyvän yhteiskunnan toimintaa sekä **järjestelmä- että laitetasolla**.

Energiajärjestelmän tulisi olla riittävän monipuolinen takaamaan sähkönsaanti myös ankarissa olosuhteissa.

Infrastruktuuuri

Nykyisen infrastruktuurin toleranssialueet eivät todennäköisesti vastaa sääolosuhteita keikahduspisteen jälkeisessä maailmassa. Rakennukset, tiet ja muu infrastruktuuuri on suunniteltu nykyiseen ilmastoon, ei -40–50 °C pakkasiin.

Nykyiset **ajoneuvot eivät kestäisi äärimmäisiä pakkasia**. Tämä edellyttäisi vahvempien talvivarusteiden kehittämistä ja kokonaan uudenlaista ajattelua siitä, miten arki toimii ankarissa olosuhteissa.

Viilenevä ilmasto voisi tuoda myös mahdollisuuksia. Viileitä ja jäisiä olosuhteita hyödyntävälle infrastruktuurille ja teollisuudelle, kuten datakeskuksille ja jäänmurtajayrityksille, voisi muodostua uusia taloudellisia mahdollisuuksia. Edellyttäen, että energiaa ja raaka-aineita olisi riittävästi saatavilla.

Oletuksia tunnistettujen vaikutusten taustalla:

- Rakennettu infrastruktuuuri ei kestä muuttuneita arktisia olosuhteita.
- Energiantuotantojärjestelmä ei tuota riittävästi sähköä ääriolosuhteissa.
- Fossiilisiin energialähteisiin ei palata.

Logistiikka

Suomi muuttuisi entistä selvemmin talvisaareksi, mikä asettaisi paineita talvimerenkulkukapasiteetille ja jäänmurtajaresursseille. Koska valtaosa Suomen ulkomaankaupasta kulkee Itämeren kautta, jääolojen ankaroituminen nostaisi merkittävästi **kuljetuskustannuksia** ja kuljetusreitit monimutkaistuisivat. Suomen kilpailukyky, elinkeinoelämä ja tuotantojärjestelmä eivät välttämättä kestäisi tilannetta.

Vaihtoehtoisten reittien kehittäminen, esimerkiksi Ruotsin kautta, olisi haastavaa nykyisten volyymien kuljettamiseksi. Jäänmurtajakapasiteetin lisääminen olisi välttämätöntä.

Logistiikan luonne voisi muuttua kokonaisvaltaisesti, sekä kuljetettavien tavaroiden laatu että tarvittavat logistiset ratkaisut voisivat poiketa merkittävästi nykyisestä. Kysymys ei olisi pelkästään siitä, miten nykyinen järjestelmä saataisiin toimimaan uusissa olosuhteissa, vaan siitä, millaista logistiikkaa ylipäänsä tarvittaisiin ja mitä olisi järkevää kuljettaa.

Oletuksia tunnistettujen vaikutusten taustalla:

- Nykyinen logistiikkajärjestelmä on välttämätön.

Turvallisuus

Jos elinkeinoelämän rakenteet muuttuisivat merkittävästi, esimerkiksi metsäteollisuuden romahtaessa **työttömyys** todennäköisesti kasvaisi. Ihmiset ja ryhmät, joilla olisi siihen resursseja, voisivat hakeutua asumaan vakaammille alueille Suomessa tai sen rajojen ulkopuolella. Seurauksena **yhteiskunnalliset jännitteet** saattaisivat lisääntyä.

Kysymys siitä, kuka pitäisi huolta Pohjois-Euroopan infrastruktuurista ankarissa olosuhteissa, nousisi todennäköisesti keskeiseksi. Resurssiniukkuus muualla maailmassa, erityisesti ruoan ja veden osalta, **kärjistäisi resurssikilpailua Euroopassa** ja korostaisi omavaraisuuden merkitystä.

Muuttoliike voisi lisääntyä voimakkaasti, kun olosuhteet etelässä heikkenisivät ja pohjoisessa muuttuisivat äärimmäisen haastaviksi. Vakavassa kriisitilanteessa solidaarisuus voisi heikentyä ja protektionismi vahvistua.

Yhteiskuntajärjestelmä joutuisi testiin: Yritettäisiinkö pitää koko Suomi asuttuna ja millä resursseilla? Lisäksi testattaisiin demokratioiden kykyä sopeutua ja sopeuttaa samalla, kun autoritaarisemmat hallintotavat voisivat näyttäytyä houkuttelevina vaihtoehtoina kriisinhallinnassa.

Vesi

Itämeri kärsii tällä hetkellä suuresti ravinnekuormasta ja lämpenemisestä. Sen viileneminen voisi tuoda helpotusta tilanteeseen.

Puhtaan veden arvo globaalilla tasolla kasvaisi dramaattisesti. Muun maailman vesivarojen huetessa, Suomen runsaat ja puhtaat vesivarat voisivat muodostua merkittäväksi kauppavaltiksi, jopa tärkeämmäksi kuin perinteiset luonnonvarat kuten mineraalit. Tämä herättäisi kysymyksen siitä, millä tavoin vettä voitaisiin hyödyntää taloudellisesti ja kenen ehdoilla. Voisivatko vesivarat osittain kompensoida muiden vientialojen heikkenemistä ja rahoittaa esimerkiksi kalliiksi muuttuvaa talvilogistiikkaa?

Kuitenkin jos globaalit markkinat ja kauppajärjestelmä olisivat kriisissä, myös veden viennissä olisi haasteita.

Terveys

Ennen kuin lämpötilat laskisivat merkittävästi, ilmasto lämpeneminen voisi vapauttaa ikiroudasta aiemmin kadonneita taudinaiheuttajia. Tämä voisi johtaa **pandemiariskien** kasvuun aikana, jolloin yhteiskunta olisi jo valmiiksi muutoksen kuormittama. Tällaisessa tilanteessa terveyskriisit voivat entisestään heikentää yhteiskunnan toimintakykyä.

Terveyskriisit ovat erityisen haastavia, sillä ne voivat kehittyä nopeasti ja vaativat välitöntä reagoitua. Samalla pitkäaikaiset ilmasto-olosuhteiden muutokset

voisivat muuttaa **tautien leviämisen malleja** ja lisätä paineita terveydenhuoltojärjestelmälle.

Ilmavirtausten ja merenvirtausten muutokset voisivat muuttaa saasteiden kulkeutumisreittejä. Esimerkiksi ilman kiertoliikkeen muutokset vaikuttaisivat siihen, mistä ja miten ilmansaasteet, haitta-aineet ja jopa patogeenit leviäisivät Suomeen.

Oletuksia tunnistettujen vaikutusten taustalla:

- Terveydellisiä haasteita ei pystytä ennakoimaan ja niihin ei kyetä vastaamaan.

Väestö ja alueelliset muutokset

Jos olosuhteet muuttuisivat äärimmäisen haastaviksi, talvisin pakkasen laskisi 40–50 °C, ihmiset ja asutus lähtisivät todennäköisesti hakeutumaan pois näiltä alueilta.

Kaupungistuminen voimistuisi, kun energiantuotanto ja ruoantuotanto keskittyisivät yhä enemmän. Markkinat todennäköisesti ohjaisivat kehitystä: infrastruktuuria ylläpidettäisiin siellä, missä olisi rahaa ja kyvykkyyttä.

Maastamuutto kasvaisi todennäköisesti merkittävästi. Ne, joilla olisi resursseja ja mahdollisuuksia, muuttaisivat paremmille seuduille. Tämä todennäköisesti lisää **eriarvoisuutta** ja voisi johtaa yhteiskunnallisiin jännitteisiin, jopa arabikevään kaltaisiin tilanteisiin, kun työttömyys kasvaisi ja ihmiset keskittyisivät kaupunkeihin. Demografiset megatrendit, kuten väestön ikääntyminen ja syntyvyyden lasku, kietoutuisivat yhteen ilmaston muutosten kanssa.

Suomalaiset voisivat joutua pohtimaan muuttoa lämpimämpiin maihin, jos Pohjoismaissa viilenisi merkittävästi. **Muuttopaine** kohdistuisi "sweet spot" - alueille, joissa olosuhteet pysyisivät siedettävänä. Kansainvälisyyden merkitys kasvaisi: kielitaito, kulttuuriosaaminen ja integroitumiskyky muihin maihin muodostuisivat keskeisiksi.

Oletuksia tunnistettujen vaikutusten taustalla:

- Väestön ikääntyminen ja syntyvyyden lasku jatkuvat.

Talous

Perinteiset tuotantorakenteet, kuten metsäteollisuus, heikkenisivät tai romahtaisivat muutaman vuosikymmenen aikana ja vaikutukset heijastuisivat koko elinkeinoelämään ja sen rakenteeseen.

Resurssien tulisi riittää samanaikaisesti sekä sopeutumiseen että peruspalvelujen ylläpitoon. **Pitkjänteiset investoinnit** muuttuisivat haastaviksi: kuka investoisi vuosikymmeniksi, jos väestöä muuttaa jatkuvasti pois? Infrastruktuurin

elinkaarikustannukset joutuisivat uudelleenarvioitaviksi, kun olosuhteet muuttuisivat dramaattisesti.

Perustavanlaatuinen kysymys koskisi hyvinvointia: Olisiko murrosaikana mahdollista saavuttaa tilanne, jossa talouden pienentyminen ei heikentäisi merkittävästi hyvinvointia? Teknologinen kehitys voisi tarjota ratkaisuja, mutta yhtä lailla syventää eriarvoistumista, jos vain osa väestöstä hyötyisi innovaatioista.

Oletuksia tunnistettujen vaikutusten taustalla:

- Suomen markkinatalous jatkaa toimintaansa.
- Yhteiskunnan palvelut ja rakenteet pysyvät pääosin ennallaan.

AMOC:n kaltaiset keikahduspisteet haastavat tarkastelemaan huoltovarmuutta kokonaisvaltaisesti tavoitteiden, keinojen ja periaatteiden tasolla

Radikaalit muutokset vaatisivat kipeää priorisointia: mitkä järjestelmät ylläpidetään, mistä luovutaan ja miten rajalliset resurssit kohdennetaan? Kysymys ei ole vain teknisistä ratkaisuksista, vaan siitä, mihin yhteiskuntana olisimme valmiita panostamaan ja mistä olisi pakko luopua. Tällaisessa tilanteessa huoltovarmuuden ajatus nykytilanteen säilyttämisestä ei välttämättä toimisi. Sen sijaan tarvittaisiin kykyä vahvistaa resilienssiä muuttuvassa tilanteessa.

Työpajassa tarkasteltiin AMOC:n keikahduspisteen ylittymisen mahdollisia vaikutuksia Suomeen ja Suomen huoltovarmuuteen. Huoltovarmuudella tarkoitetaan kykyä ylläpitää yhteiskunnan taloudellisia perustoimintoja vakavissa häiriöissä ja poikkeusoloissa eli kykyä turvata väestön elinmahdollisuudet, yhteiskunnan toimivuus sekä maanpuolustuksen materiaaliset edellytykset.

AMOC:n keikahduspisteen ylittymisen kuvittelu muuttaa ajattelua huoltovarmuudesta, sillä kyse ei olisi tilapäisestä häiriöstä, vaan pysyvästä ja etenevästä muutoksesta. Paluuta normaaliin ei olisi. Muutos tapahtuisi pitkällä jopa vuosikymmeniä kestävällä aikavälillä, mikä ei kuitenkaan helpottaisi siihen sopeutumista. Kuinka ennakoitaisiin ja päätettäisiin oikea ajankohta luopua tietyistä elinkeinoista, esimerkiksi viljantuotannosta ja metsäteollisuudesta? Miten suuria rakenteellisia muutoksia edistettäisiin poliittisesti?

Keskilämpötilan lasku, lumipeitteen lisääntyminen ja Itämeren jääpeitteen laajeneminen muuttaisivat perustavanlaatuisesti elämää ja toimintaa Suomessa. Meriyhteyksien vaikeutuminen muodostaisi kriittisen pullonkaulan ja maa- sekä metsätalouden olosuhteet heikkenevät merkittävästi, millä olisi vakavia seurauksia Suomen talouteen ja kilpailukykyyn. Suomen vesiresurssit saattaisivat nousta vahvuudeksi.

Ennakoiva huoltovarmuus edellyttää rohkeutta aloittaa muutos ennen pakottavaa tarvetta sekä kykyä hyväksyä epävarmuus ja investoida tulevaisuuteen, jonka muotoa emme vielä täysin tunne. Olemmeko valmiita luopumaan siitä, mikä nyt on tärkeää, jotta voimme rakentaa jotain uutta? Mikä tekee elämästä merkityksellistä, kun toimintaympäristö muuttuu radikaalisti?

Aukko seurannassa ja muutoksen mittaamisessa

Keskustelussa tunnistettiin merkittävä tietoaukko siinä, miten AMOC:n heikkenemisen signaaleja seurataan ja mitataan. Ylipäätään keskustelussa haastettiin oletus siitä, että nykyiset ilmastomallit kuvaavat riittävän tarkasti tulevia ilmastoskenaarioita.

AMOC:n romahtamista voitaisiin todennäköisesti ennakoida merimittauksilla. Erityisesti eteläisellä pallonpuoliskolla makeamman veden kulkeutumisen seuranta voisi paljastaa AMOC:n muutoksia varhain. Virtausmittareiden asettaminen merenpohjaan, kuten Pohjois-Atlantilla jo tehdään, voisi tarkentaa arviota muutoksen ajoituksesta. Keskustelussa huomautettiin, että EU:n tulevaisuuden tutkimusrahoituksessa meren seuranta onkin keskeinen prioriteetti.

Toisaalta tunnistettiin tarve myös erottaa paremmin toisistaan jatkuva ilmaston lämpeneminen ja AMOC:n kiertoliikkeen heikkeneminen. Tieteen keinoin on pystyttävä tunnistamaan ja tulkitsemaan oikein, mitkä havaitut vaikutukset liittyvät lämpenemiseen ja mitkä AMOC:n romahtamiseen.