

Helsingin yliopiston uudet professorit pitivät tervetuliaisluennot 30.5.2018. Luento on yleistajuinen professorin tieteenalan keskeisten kysymysten esittely. Petteri Uotilan ala on vesivaipan geofysiikka ja Elina Vuolan globaali kristinusko ja uskontodialogi.

## VALTAMERTEN MUISTI

Merten tilan ennustaminen on ala, jolle on monia sovelluksia ja jolla eteneminen on nopeaa johtuen yhä kattavammista merihavainnoista ja paremmasta merten fysiikan ymmärryksestä. Merten huomioonottaminen ympäristöennusteissa ilmakehän rinnalla auttaa meitä paremmin sopeutumaan ja aiemmin varautumaan ympäristömme tilan muutoksiin.

Sääkartta on monille tuttu tiedotusvälineistä. Kartasta näkyvät selkeästi lämpötilat, tuulet, matala- ja korkeapaineet, säärintamat ja sadealueet. Usein se on analyysi eli arvio siitä, mikä säätila on ollut jollain hetkellä. On oleellista, että analyysi ei ole ennuste. Säätilan analyysi perustuu havaintoihin, ja se on lähtötila sääennusteelle, joka lasketaan tietokonemallilla. Mitä tarkempi mallin lähtötila on, sen tarkempi myös sääennuste on. Merille voidaan tehdä vastaava analyysi.

### Meriennusteet ja sääennusteet

Merelliset havainnot, joihin analyysi pohjautuu, koostuvat aallokosta, vedenkorkeudesta, lämpötilasta, suolaisuudesta ja virtauksista sekä pinnalla että eri syvyyksillä. Merijään peittävyys-, paksuus- ja liikehavainnot käytetään tehtäessä analyysejä napamerille. Kuten sääennusteissa niin meriennusteissakin analyysin, joka muodostaa meriennusteen lähtötilan, tarkkuus vaikuttaa ennusteen tarkkuuteen. Vastaavasti analyysin tarkkuus riippuu havaintojen laadusta ja kattavuudesta, jotka ovat tyypillisesti huonompia meressä kuin ilmakehässä. Näiden lisäksi ennusteen tarkkuus riippuu meren tietokonemallin tarkkuudesta.

Merten tietokonemallit kokoavat teoreettisen tietämyksemme meren fysiikasta, kemiasta ja bio-

logiasta. Mallien fysikaalisena perustana ovat säilymislaite liikemäärälle, aineelle ja energialle sekä meriveden tilanyhtälö. On suorastaan ihmeellistä, että muutamalla yhtälöllä pystytään toistamaan merten monimutkaisia dynaamisia virtausilmiöitä. Jos havaittu satelliittikuva ja mallitulokset, vaikkapa kartat merenpinnan lämpötiloista, laitetaan vierekkäin, on mahdotonta sanoa, kumpi on mallin tuottama ja kumpi satelliitin ottama. Tässä kuvastuu tieteen voima.

Johtuen sääilmiöiden kaoottisuudesta, sääennusteen tarkkuus heikkenee ajan mittaan. Noin kymmenen päivän jälkeen ei enää pystytä tarkasti ennustamaan yksittäisten sääilmiöiden liikettä. Vain ilmiöiden esiintymisten todennäköisyyttä voidaan ajallisesti ja paikallisesti arvioida. Nämä todennäköisyysennusteet perustuvat parviajoihin, jotka koostuvat monista yksittäisistä mahdollisesti toteutuvista ennusteista.

Meren ilmiöiden ennustamisen periaate on sama kuin sääilmiöiden parviennusteissa. Ero on se että koska merivesi on tiheämpää kuin ilma ja koska merivirtaukset ovat hitaampia kuin ilmavirtaukset, meriennusteiden tarkkuus säilyy pidempään; kuukausia, vuosia ja jopa vuosikymmeniä riippuen siitä, onko kyseessä meren pintakerros vai sen syvemmät osat. Viime kädessä kuitenkin myös meriennusteiden tuloksena saadaan todennäköisyysjakauma, eikä yksityiskohtaista tietoa.

### Alkutila tai reunaehto-ongelma vai molemmat?

Ilmakehä, meri ja maa vuorovaikuttavat, esimerkiksi lämmönvuot merestä muuttavat ilmakehän virtauksia ja muita ominaisuuksia ilma-meri-rajapinnan läpi. Vastaavasti maanpinnan ominaisuu-

det, kuten kosteus ja lumipeite, vaikuttavat ilmakehään. Maanpinnan ominaisuuksien ennustettavuus sijoittuu ilmakehän ja meren ennustettavuuksien väliin, noin viikosta kuukauden jaksolle (Mariotti ym. 2015). Siksi noin viikkoa pidempiä ennusteita tehtäessä ilma–meri–maa-kytkösten huomioiminen parantaa sääennusteita. Koska meret peittävät noin 70 % maapallon pinnasta, niiden merkitys korostuu ilma–meri–maa-vuorovaikutuksissa.

Merten pitkä muisti ja ilma–meri-kytkösten huomioiminen parantavat etenkin pitkiä vuodenaikais-, vuosittais- ja vuosikymmenennusteita. Näihin ennusteisiin vaikuttavat sekä mallin alkutila eli analyysi että reunaehdot eli mallille annetut ulkoiset pakotteet. Lyhyissä ennusteissa alkutila on tärkeä, mutta ennusteiden pidetessä se vähitellen unohtuu. Ilmastoennusteissa, jotka keskittyvät ilmastotilojen todennäköisyyksien määrittämiseen jopa vuosisatojen päähän, ennusteen alkutila on jo kokonaan unohtunut. Tällöin ilmastojärjestelmän reunaehdot, esimerkiksi ilmakehän kasvihuonekaasujen ja pienhiukkasten pitoisuuksien sekä auringonsäteilyn voimakkuuden vaihtelut, määrittävät ennusteen todennäköisyysjakautuksen ominaisuudet. Merten rooli ympäristöennusteissa on siis tärkeä etenkin vuodenaikais-, vuosi- ja vuosikymmenennusteissa, joissa sekä alkutila että reunaehdot ovat tärkeitä. Nämä ennustusjaksot ovat siten erityisen haasteellisia mallintaa ja hyvin aktiivinen tutkimuksen ala tällä hetkellä.

### **Esimerkkejä pitkistä meriennusteista**

Meriennusteille on monia sovelluksia, joista tässä esittelen muutamia. Merillä esiintyvien myrskyjen ennustaminen on tärkeää etenkin lento- ja laivaliikenteen turvallisuuden kannalta. Napamerillä, kuten Eteläisellä valtamerellä, suuret matalapaineet sekoittavat merenpintaa ja vaikuttavat meren ja ilman lämmönvaihtoon, kun taas merenpinnan lämpötilavaihtelut puolestaan synnyttävät nopeasti voimakkaita napamerten pyörremyrskyjä (Uotila ym. 2011). Näiden myrskyjen ennustaminen on erityisen vaikeaa ja edellyttää tarkkaa tietoa merenpinnan lämmöstä.

Meren lämmön pitkä muisti auttaa myös vuodenaikaisennusteissa. Esimerkiksi kylmä Atlantti keväällä lisää helleaaltojen todennäköisyyttä loppukesästä Euroopassa (Duchez ym. 2016). Tä-

mäntyyppisiä kaukoyhteyksiä esiintyy ilmastojärjestelmässä paljon ja niiden tunnistaminen onkin vilkasta, etenkin alueellisia ilmastovaikutuksia tutkittaessa. Ilmastojärjestelmän kaukoyhteyksiä synnyttävät ja välittävät fysikaaliset mekanismit ovat vielä paljolti selvittämättä, sillä ne tyypillisesti vuorovaikuttavat monimutkaisesti, jolloin yksittäisiä mekanismeja on hankala tunnistaa.

Kesällä 2017 suomalainen jäänmurtaja *Nordica* matkasi ennätysvauhtia Luoteisväylän läpi Tyyneltä mereltä Atlantille (*Helsingin Sanomat* 19.8.2017). Valitessaan reittiään Jäämeren poikki yhtenä tietolähteenä laivan kapteeni käytti laskelmaa, joka kertoo, millä alueilla jääolot ovat kyseiselle laivatyypille turvalliset. Käytetyt arviot jääoloista perustuivat Euroopan keskipitkien sääennusteiden keskuksen 45-päivän meriennusteisiin Jäämerellä. Meriennusteen käyttö perustuu havaintoon, että merijään paksuudella on pitkä, kuukausien muisti. Toisin sanoen alueilla, joilla jää on ollut paksua toukokuussa, jää pysyy todennäköisesti paksuna aina kesäkuulle asti. Laivaliikenteen lisääntyessä napamerillä tämäntyyppisten laskelmien tarpeen voi odottaa lisääntyvän.

Valtamerillä on myös hyvin pitkän ajan ennustettavuutta, vaihteluja vuosikymmenten, mahdollisesti jopa vuosisatojen jaksoilla. Esimerkiksi Atlantin lämpötiloissa näyttäisi olevan viimeisen reilun sadan vuoden aikana noin 60–70 vuoden vaihtelujakso (Li ym. 2018). Parhaillaan meneillään oleva Atlantin lämmin vaihe nopeuttaa jään sulamista Arktisella alueella yleisen ilmaston lämpenemisen lisäksi. Kattavia, hyvälaatuisia havaintoja valtameriltä on kuitenkin vasta viime vuosikymmeniltä, joten näitä pitkäjaksoisten vaihtelujen määrittämiseen liittyy paljon epävarmuuksia ja niitä tutkitaan pääasiassa ilmastomalleilla tai epäsuorilla mittauksilla.

Ilmasto ennustettaessa ilmakehä-merimalleja ajetaan satoja, jopa tuhansia vuosia. Usein tutkitaan, saavutetaanko tietty ilmastollinen tila, esimerkiksi jäätön Jäämeri kesällä. Riittävän voimakkaalla globaalin ilmaston lämpenemisellä, kuten yli 2 °C, kaikki ilmastoennusteet tuottavat jäättömän Pohjoisen jäämeren kesällä, ennemmin tai myöhemmin (IPCC 2013). Arviot tapahtuma-ajalle voivat vaihdella useilla kymmenillä vuosilla, mutta näyttää siltä että seuraavien vuosikymmenten kuluessa Pohjoinen jäämeri tulee olemaan kesäisin jäästä vapaa (Uotila

ym. 2013). Viime kädessä ilmastollisen tilan toteutumisen määräävät ilmastoennusteen reunaehdot eli arktisen merijään tapauksessa ilmastomallin lämpenemisherkkyys kasvihuonekaasujen pitoisuuksiin kasvuille ilmakehässä.

### Meriennusteiden tulevaisuus

Merten pitkä muisti on tärkeä, sillä se parantaa ympäristöennusteita ja siten auttaa sopeutumista ja varautumista mahdollisiin muutoksiin, Suomessakin. Ennusteiden parantamiseksi tarvitaan kattavampia jatkuvia merellisiä havaintoja, etenkin jään peittämiltä napameriltä. Lisäksi on pitkälti epäselvää, miten meret vaikuttavat veden, lämmön ja hiilen kiertoihin sekä ilmaston vaihteluun, etenkin alueellisesti. Paremmat havainnot, edistyneempi teoreettinen tietämys ja tarkemmat merten tietokonemallit auttavat vastaamaan näihin haasteisiin.

### Kirjallisuutta

Duchez, A., Frajka-Williams, E., Josey, S. A., Evans, D. G., Grist, J. P., Marsh, R., ... Hirschi, J. J.-M. (2016). Drivers of exceptionally

- cold North Atlantic Ocean temperatures and their link to the 2015 European heat wave. *Environmental Research Letters*, 11(7), 074004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074004>
- IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex ja P.M. Midgley (toim.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Li, F., Orsolini, Y. J., Wang, H., Gao, Y. ja He, S. (2018). Atlantic Multidecadal Oscillation modulates the impacts of Arctic sea ice decline. *Geophysical Research Letters*, 1–10. <https://doi.org/10.1002/2017GL076210>
- Mariotti, A., Ruti, P. M. ja Rixen, M. (2018). Progress in subseasonal to seasonal prediction through a joint weather and climate community effort. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 1(1), 4. <https://doi.org/10.1038/s41612-018-0014-z>
- Uotila, P., Vihma, T., Pezza, A. B., Simmonds, I., Keay, K. ja Lynch, A. H. (2011). Relationships between Antarctic cyclones and surface conditions as derived from high-resolution numerical weather prediction data. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 116(7), 1–14. <https://doi.org/10.1029/2010JD015358>
- Uotila, P., O'Farrell, S., Marsland, S. J. ja Bi, D. (2013). The sea-ice performance of the Australian climate models participating in the CMIP5. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 63, 121–143. <https://doi.org/10.22499/2.6301.008>

PETTERI UOTILA

Kirjoittaja on Helsingin yliopiston vesivaipan geofysiikan professori.