

Sään säätäjät



■ Suomalaiset tutkivat sateen syntyä Arabiemiraateissa. Harvardin yliopiston kemistit aikovat nostaa laboratorion stratosfääriin. Sään ja ilmaston muokkauksen tutkimusta yhdistävät aerosolihiukkasten kemia ja fysiikka.

Pilvet ovat Arabian niemimaalla toivottuja vieraita. Kuuma kysymys kuuluu, kuinka saada ne satamaan.



Kalevi Rantanen

”Alustavat tulokset osoittavat, että tietyissä olosuhteissa saadaan ehkä aikaan jopa sadetta”, sanoo Ilmatieteen laitoksen tutkimusprofessori **Hannele Korhonen**.

Korhonen viittaa Yhdistyneiden arabiemiirikuntien rahoittamaan Oasis-hankkeeseen, jossa tutkitaan aerosolihiukkasten osuutta sateen syntymisessä ja synnyttämisessä. Tutkimusprofessori toimii hankkeen vetäjänä.

Suomalaisten työ Arabiemiraateissa on osa sateentutkimusohjelmaa, joka sisältää monenlaisia projekteja. Suomalaistutkijat tekevät mittauksia ja mallinnusta. Mit-taustieto pilvistä kerätään optisella tutkalla eli Lidarilla.

”Kriteerit täyttävän mittauspaikan löytäminen ja Lidar-mittauslaitteen operointiin tarkoitetut luvat otivat aikaa enemmän kuin olimme ajatelleet, mutta nyt mittaukset sujuvat hyvin”, kertoo tutkimusprofessori **Heikki Lihavainen** Ilmatieteen laitoksesta.

Vielä tuloksia ei ole ehditty varsinaisesti analysoida.

”Joitakin mielenkiintoisia havain-toja olemme kyllä tehneet ja saaneet uusia ideoita kokeelliselle toiminnalle”, Lihavainen kuvailee.

Ilmatieteen laitoksen tutkijat työ-stävät emiraateista kerättyä dataa sää- ja pilvimallien avulla. Professori **Hanna Vehkamäen** ryhmä Helsingin yliopistosta puolestaan etsii optimaalisia jääytimiä kvanttimekaanisten simulaatioiden voimin.

Pilvimallit kuvaavat yleisessä muodossa ilmakehässä esiintyviä sulfaatteja, nitraatteja, merisuolaa ja muita hiukkasia. Tarkalla mallinnuksella pyritään ymmärtämään, miten lentokoneesta ilmaan vapautetut tiivistymisytimet vaikuttavat pilvien ominaisuuksien ja sateen syntymiseen.

Sateen aikaansaaminen ei kuitenkaan ole suomalaistutkimuksen taivoite.

”Meidän hankkeemme on selkeästi tieteellinen. Emme yritä tehdä sadetta, vaan hankimme tietoa luonnollis-

ten hiukkasten käyttäytymisestä pilvessä”, Hannele Korhonen tähdentää.

Arabiemiraattien ohjelmasta rahoitetaan kuitenkin monia hankkeita, joihin kuuluu myös ”operatiivisen toiminnan tehostamiseen” eli suoraan sateentekemiseen pyrkiviä tutkimuksia.

Eri maissa selvitetään muun muassa sitä, kuinka voitaisiin miehittämättömillä lennokeilla havaita optimaaliset olosuhteet pilvissä ja kylvää niihin tiivistysytimiä. Emiraateissa on jo käytössä ”sateentekolaitteita” eli lentokoneisiin kiinnitettyjä soih-tuja. Ne syöttävät ilmaan hiukkasia, joilla yritetään kasvattaa vesipisarointa ”sadekokoon”.

Arabiemiraatit eivät ole asialla yksin. Noin 50 maassa harjoitetaan Korhosen mukaan toimintaa – osin kaupallista-kin –, jonka tarkoituksena on nimenomaan synnyttää sadetta.

”Vakuuttavaa näyttöä onnistumisesta ei kuitenkaan ole”, professori sanoo ja lisää, ettei takuukeinoa sateen tuottamiseen ole näkyvissä lähitulevaisuudessakaan.

Siihen on yksinkertainen syy. Ennen kuin syntyy sadetta taivaalla pitää olla vettä – eli pilviä. Pilvissä olosuhteet vaihtelevat, eikä kahta samanlaista löydy. ”Sateentekijöiden” kaipaamien pilvien on oltava aivan tietyntylisiä.

Siihen on yksinkertainen syy. Ennen kuin syntyy sadetta taivaalla pitää olla vettä – eli pilviä. Pilvissä olosuhteet vaihtelevat, eikä kahta samanlaista löydy. ”Sateentekijöiden” kaipaamien pilvien on oltava aivan tietyntylisiä.

”Pilvien pitää olla sellaisia, että niillä on valmiiksi potentiaalia sataa, jos niitä hieman häiritään. Mikä tahansa pilvi ei siis ole otollinen kohde kylvämiselle. Kuivuusalueilla ilmakehässä ja pilvissä ei yksinkertaisesti ole riittävästi vettä, jotta merkittävä sadetta voitaisiin edes teoriassa saada aikaiseksi.”

Haitat huolettavat

Paradoksaalista kyllä, koko maailman ilmaston muokkaaminen olisi todennäköisesti helpompaa kuin sateen tekeminen, jos haluttaisiin vain viilentää ilmastoa pitkällä aikavälillä. Ongelmana ovat arvaamattomat sivuvaikutukset.

”Takuuvarmaa keinoa sateen tuottamiseen ei ole näkyvissä.”



>>>

Stratosfääriin rikkihiukkaset toimisivat ilmaston viilentäjinä varsin luotettavasti. Pinatubon tulivuorenpurkauksen vuonna 1993 syöksemät sulfaatit alensivat ilman lämpötilaa puoli celsiusastetta.

”Muokkauksen seurauksena voisi kuitenkin olla arvaamattomia muutoksia sademäärissä. Syntyisi myös poliittisia ja oikeudellisia ongelmia”, Korhonen kuvailee.

Tutkimusprofessori muistuttaa myös, että sään ja ilmaston muokkaaminen ovat eri asioita.

”Sään muokkaus vaikuttaa hetkeliseen säähän paikallisesti, ilmastomuokkaus keskimääräiseen säähän kymmenien vuosien aikana maailmanlaajuisesti.”

Molempia tutkimuskohteita yhdistää silti sama tiede. Hiukkaset vaikuttavat sekä säähän että ilmastoon. Monesti myös samat ihmiset tutkivat kumpakin aihetta.

Hannele Korhonen oli mukana Ilmatieteen laitoksen ja Minnesotan yliopiston aerosolitutkijan **Anton Laakson** vetämässä tutkimusryhmässä, joka julkaisi vuonna 2017 simulaation rikkihiukkasten heijastusvaikutuksista eri leveysasteilla.

Tutkimuksessa selvitettiin ensi kertaa, mitä tapahtuu, kun hiukkasia levitetään ilmakehään muuallakin kuin päiväntasaajalla. Tulosten mukaan ilmastoon optimaalinen muokkaus vaatisi viilennysvaikutuksen voimistamista tropiikkia korkeammilla leveysasteilla. Lämpövaikutusta voidaan tasoittaa vaihtelemalla hiukkasten levitysaluetta leveyspiirien ja vuodenaikojen mukaan.

Samalla kävi kuitenkin ilmi, että rikki-injektio vähentäisi sateita enemmän kuin hiilidioksidin lisääntyminen niitä kasvattaa. Ilmastomuokkaus siis kuivattaisi maapalloa.

Tieto vahvistaa tuloksia, joihin

Korhonen päätyi vuonna 2016 yhdessä VTT:n erikoistutkijan **Tommi Ekholmin** kanssa tekemässään tutkimuksessa. Kaksikko selvitti auringon säteilyn takaisin heijastamisen vaikutuksia yleisesti.

Tutkimuksen mukaan pilvien ominaisuuksia muokkaamalla tai syöttämällä hiukkasia stratosfääriin saadaan aikaan viilennysvaikutus suhteellisen pienin kustannuksin. Miinuspuolella ovat suuret riskit, kuten monsuunisaiteiden väheneminen ja sen seurauksena ruoantuotannon hankaloituminen

Aasiassa ja Afrikassa.

Jos taas muokkaus jouduttaisiin sen huonojen puolien takia äkillisesti lopettamaan, voisi syntyä uusia järkytyksiä ja haittoja.

Laboratorio lentoon

Mallinnuksen ohella tarvitaan kokeita etenkin siellä, missä ilmastoa mahdollisesti muokattaisiin. Harvardin yliopiston ilmastokemisti **Frank Keutsch** kollegoineen suunnittelee laboratorionkoetta, joka suoritetaan lentävässä laboratoriossa Arizonassa vielä tänä vuonna.

Amerikkalaistutkijat aikovat kylvää hiukkaspilven 20 kilometrin korkeuteen ja tutkia sen vaikutuksia auringon säteilyvirtaan. Ilmapallo nostaa ylös gondolin, jossa on hiukkasten levityslaitteita, mittauslaitteita ja potkurit ohjausta varten.

Potkurit kuljettavat gondolia muutamia metrejä sekunnissa eli kävelyvauhtia. Lentokone olisi liian nopea, eikä mittauksia ehdittäisi tehdä. Nyt tutkijat toivovat saavansa tarpeellisen datan koottua noin vuorokaudessa.

Potkurien toinen tehtävä on sekoittaa hiukkaset tehokkaasti ilmaan. Lentäessä syntyy noin kilometrin mittainen vana, jonka halkaisija on satakunta metriä. Vanan sisään tutkijat syöttävät hiukkasia ja kaasuja.

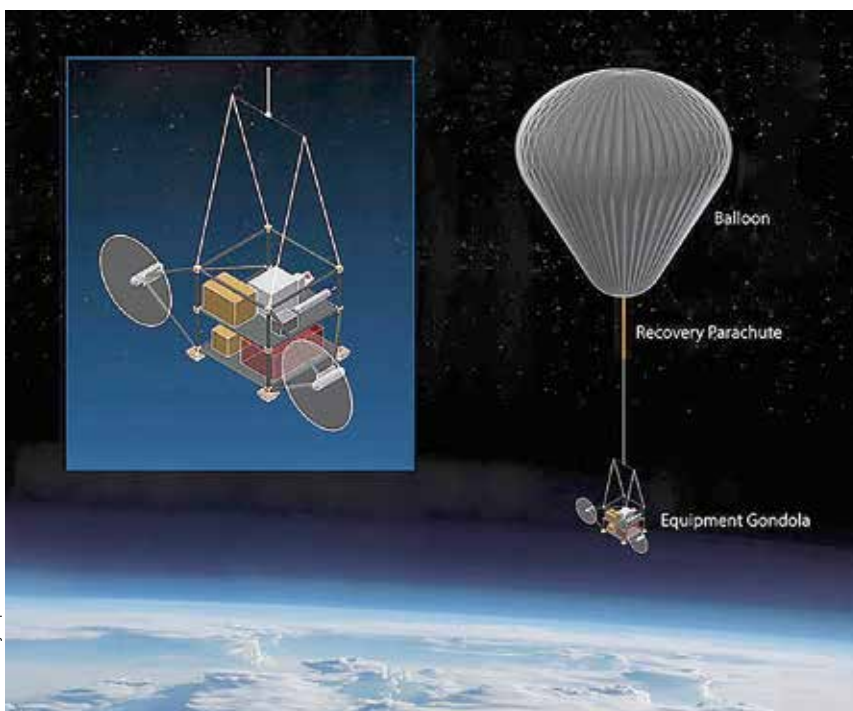
Materiaalia kylvetään vain pieni määrä, sadasta grammasta kilogrammaan. Koe halutaan silti tehdä ulkona, sillä laboratorion suljetun kammion seinät vaikuttaisivat tulokseen. Muutenkin on vaikea kopioida sisätiloissa kaikkia stratosfäärissä tärkeitä ilmiöitä.

Harvardin kemistit etsivät vaihtoehtoja sulfaateille, joiden pelätään tuhoavan otsonikerrosta. Sulfaattihiukkasten pinnalle kertyy otsonia hävittävien kemikaalien esiasteita, suolahappoa ja kloorinitraattia. Hiukkasen pinnalla ne hajoavat otsonia tuhoaviksi radikaaleiksi.

Korvaavia aineita voisivat olla timantit ja titaanidioksidi, mutta timanttipöly on kallista ja titaanidioksidi puolestaan fotokatalyyttinen aine, jonka pelätään aiheuttavan epätoivottavia sivureaktioita.

Tärkein koe tehdäänkin kalsiumkarbonaatilla. Amerikkalaistutkijoiden valistuneen arvauksen mukaan juuri kalsiumkarbonaatti voi olla sekä toimiva että suhteellisen vaaraton aine.

Voisivatko 20 kilometrin korkeuteen kylvetyt kalsiumhiukkaset viilentää ilmastoa?



Harvardin yliopisto

Harvardin yliopiston lentävä laboratorio aikoo nousta stratosfääriin asti.

Peilejä ja robotteja

Vuosikymmenten tutkimustyön jälkeen hiukkasten kylväminen eli kemialliset menetelmät ovat edelleen ykkössijalla, kun etsitään keinoja sateen ja ilmaston muokkaamiseen. Myös muut ideat ja tutkimussuunnat on silti hyvä pitää mielessä.

Yhdysvaltain tiedeakatemian vuonna 1992 julkaisemassa raportissa ilmastomuokkauksesta esiteltiin ajatus sijoittaa maapallon ympärille 55 000 peiliä, joilla suunnattaisiin liika auringonvalo sivuun. Tuntuu älyttömältä, mutta kuka tietää, mitä avaruustekniikka tuo mukanaan tulevaisuudessa?

Tätä nykyä tutkitaan aktiivisesti hieman vähemmän eksoottisia ideoita, kuten sähköisten ilmiöiden hyödyntämistä. Arabiemiraattien sateentutkimusohjelman apurahan sai samaan aikaan Hannele Korhosen kanssa ilmakehäfyysikko **Giles Harrison** brittiläisestä Readingin yliopistosta.

Harrisonin keksintö on muuttaa keinotekoisesti pilven pisaroiden sähkövarausta ja siten edistää sateen syntymistä. Varauksia syöttäisi sähkökäyttöinen robotti eli lennokki. Silloin ulkoisten



Scanstockphoto

**55 000 peiliä
ympäri maapalloa
heijastamassa auringon-
säteitä pois? Tänään utopiaa,
huomenna ehkä todellisuutta.**

kemikaalilisäysten kuljettaminen pilveen tulisi tarpeettomaksi.

Geneven yliopiston fyysikko **Jérôme Kasparian** ja hänen kollegansa ovat

puolestaan tutkineet tiivistysytimien luomista pilviin laserilla. Säde ionisoi hapen ja typen atomeja. Ionit keräävät vettä ympärilleen pisaroiksi.

Ryhmä on jo tehnyt kokeita laboratorion virtausreaktorilla, jossa hiukkaa sekoitetaan erilaisiin kaasuihin. Mallien perusteella kalsiumkarbonaatti lämmittäisi stratosfäärin alaosaa kymmenen kertaa vähemmän kuin sulfaattiaerosolit. Otsonikerrosta se saataisi jopa korjata. Karbonaatti neutraloisi vedyn halideja sekä rikkihappoja ja typpihappoa vakaiksi suoloiksi. Ne eivät tuottaisi otsonia hajottavia radikaaleja.

Harvardilaiset painottavat tekevänsä ylälmoissakin laboratoriotutkimusta, eivät ilmastomuokkauskoetta. Kokeen odotetaan tuottavan lisätietoa ihmisen mahdollisuuksista vaikuttaa ilmastoon ilmakehän hiukkaskoostumusta muuttamalla.

”Parempi tietää”

Amerikkalaiset lupaavat ilmoittaa kokeestaan hyvissä ajoin etukäteen. He vakuuttavat myös, että ratkaisuja ei patentoida. Tieto tulee olemaan kaikkien käytössä.

Kokeen toteutuminen ei silti ole

varmaa. Arvostelijat sanovat, että jo asian tutkiminen vähentäisi kiinnostusta päästöjen ehkäisemiseen.

Frank Keutschin työoveri **David Keith** vastaa, että näin voi käydä, mutta se ei ole riittävä syy olla tutkimatta ilmastomuokkausta. Keith tekee vertailun liikenteeseen.

Turvavyöt ja turvatyyny ovat lisänneet liikenneturvallisuutta hieman vähemmän kuin teknisesti olisi mahdollista, koska kuljettajat ovat vastaavasti nostaneet nopeuksiaan.

On jopa havaittu, että autoilijat suhauttavat kypärää käyttävän pyöräilijän ohitse lähempää kuin kypärättömän. Monessa paikassa esiintyy sama ilmiö, jolle taloustieteilijät ovat antaneet nimen moraalikato.

Kannatamme silti niin turvavöiden kuin pyöräilykypärien käyttöä. Haitta moraalikadosta on pienempi kuin turvalaitteista saatava hyöty. Tutkijoiden mukaan parasta on tehdä molempia: sekä ehkäistä ongelmia ennalta että lieventää vahinkoja, joiden estäminen on jo myöhäistä.

Keith korostaa, että ilmastomuok-

kaus olisi vain osaratkaisu. Kaikkea maailman liikalämpöä ei muokkauksella saada pois.

Planeetan lämpenemisen estämiseen tarvitaan myös päästöjen pienentämistä. Päästövähennykset ovat tarpeen myös hiilidioksidin muiden haittojen, kuten merien happamoitumisen, lieventämiseksi ja poistamiseksi.

Tutkimusta puolestaan tarvitaan jo tiedon vuoksi.

”Tietäminen on parempaa kuin tietämättömyys”, Keutsch sanoo.

Lisääntyvä tieto ilmakehän kemiasta ja fysiikasta tuottaa sovelluksia myös muille aloille. Keith kuvailee tulevaisuutta kirjassaan *A Case for Climate Engineering* (2013) seuraavasti:

”Teknologia kehittyi sotkuisesti muodostaen toisiinsa kytkeytyneitä silmukoita. Meidän pitää varautua yllätyksiin. Saatamme aloittaa sulfaatti-aerosoleista, joiden tarkoituksena on rajoittaa äärimmäisiä lämpötiloja, ja päätyä toisenlaiseen teknologiaan, jolla on erilaiset tavoitteet.” □

Kirjoittaja on vapaa tiedetoimittaja.
kalevi.rantanen@kolumbus.fi