



Ojasta
allikkoon?

Otsonikerrokselle löytyi uusia uhkia

■ Ilmakehän otsonikerrosta on suojeltu jo neljänneksivuosisadan ajan kieltämällä pahamaineiset CFC-aineet. Tuore tutkimus on kuitenkin paljastanut, että uudet, korvaavat yhdisteet voivat olla ympäristön ja maapallon tulevaisuuden kannalta vielä haitallisia.

Jarmo Wallenius

Maapallon yläilmakehän otsonikato voidaan pysäyttää, kun lopetetaan otsonia tuhoavien CFC-yhdisteiden eli freonien ja halonien käyttö.

Näin on uskottu ja sen mukaan toimitettu vuosikymmeniä. Vuonna 1987 solmittu kielto­sopimuksen on allekirjoittanut valtaosa maailman maista.

Sopimuksen myötä on kuitenkin saatettu joutua ojasta allikkoon.

CFC-yhdisteet ja bromatut halonit korvattiin aikoinaan fluoratuilla hiilivedyillä. Nyt ne ovat paljastuneet jopa tuhansia kertoja vaarallisemmiksi kasvihuonekaasuiksi kuin hiilidioksidi.

Kasvihuonekaasut lämmittävät maanpinnalta 8–18 kilometrin korkeuteen ulottuvaa alailmakehää eli troposfääriä – ja kiihdyttävät sitä kautta ilmastonmuutosta. 50 kilometrin korkeuteen ulottuvan yläilmakehän eli stratosfäärin samat kaasut saavat puolestaan viilenemään.

Osa viime vuosina käyttöön otetuista uusista fluoratuista hiilivedyistä eli F-kaasuista on lisäksi osoittautunut samanlaisiksi otsonikerroksen syöjiksi kuin pahiksiksi ennestään tiedetyt CFC-yhdisteet.

”Kaiken huipuksi F-kaasujen joukossa on myös myrkyllisiä PFC-yhdisteitä, jotka eivät helposti hajoa troposfäärissä. Jotkut saattavat säilyä ilmakehässä jopa kymmeniätuhansia vuosia”, kuvailee brittiläisessä Itä-Anglian yliopistossa työskentelevä ympäristökemisti ja aerosolitutkija **Johannes Laube**.

”Jotkut yhdisteistä saattavat säilyä ilmakehässä kymmeniätuhansia vuosia.”

”Toisista myrkyllisistä yhdisteistä taas on löydetty kaksoissidoksia, jotka pilkkoutuvat helposti jo ilmakehän alemmissä kerroksissa ja jotka mitä ilmeisimmin ovat peräisin muovien polttamisesta”, kertoo Laube, joka esitteli tutkimustuloksiaan Aberdeenissä järjestetyllä Britannian tiedeviikolla.

➤ ➤ ➤ sivulle 15

Maailman paras ympäristösopimus?

Maailman parhaana ympäristösopimuksena pidetty Montrealin sopimus täytti viime syksynä 25 vuotta. Se neuvoteltiin maapallon yläilmakehän luonnollisen otsonikerroksen ja -kieron turvaamiseksi.

Sopimuksen ovat ratifioineet lähes kaikki maat. Allekirjoittajat ovat sitoutuneet olemaan käyttämättä täysin halogenoituja kloorifluoridihydrokloridien (CFC) eli freoneja ja haloneja. Ne on korvattu osittain halogenoiduilla kloorifluorihidrideillä (HCFC) ja fluorihidrideillä (HFC) tai muilla sopivilla

hiilivety-yhdisteillä.

Yhdysvaltain avaruushallinnon Nasan laskelmien mukaan otsonikerroksesta tuhoutuisi vuoteen 2065 mennessä 67 prosenttia, ellei CFC-yhdisteiden käyttöä olisi rajoitettu. Haitallista uv-säteilyä pääsisi maahan yli kuusi kertaa nykyistä enemmän.

Otsonikato oli suurimmillaan vuosikymmenen vaihteessa. Nykyinen arvio on, että otsonikerros palautuu – CFC-kiellon ansiosta – 1960-luvun tasolle 2060-luvulla tai sen jälkeen.

Pohjoiselle napa-alueelle ja Pohjoismaiden ylle syntyi pari vuotta sitten niin voimakas otsonikerroksen ohentuma, että se sai nimen arktinen otsoniaukko.

Scanstockphoto



Saksasta Etelä-Afrikkaan lentävien reittilentokoneiden poimimat ilmanäytteet ovat osoittaneet, että useiden uusien, haitallisten yhdisteiden pitoisuudet ovat kasvussa.

Elintärkeä otsonikerros

Otsonikerroksen merkitystä elämän menestykselle maapallolla ei voi yliarvioida. Ilman otsonia ei olisi ihmistäkään.

Otsonia, hapen kolmeatomista allotrooppista muotoa O_3 , alkoi kerrostua maapallon ilmakehään pari kolme miljardia vuotta sitten. Ilman sopivaa otsonikerrosta elämän olisi myöhemmin ollut vaikea siirtyä vedestä maalle.

90 prosenttia otsonista on 20–40 kilometrin korkeudessa stratosfäärissä ja kymmenesosa 8–14 kilometrin korkeudessa troposfäärissä.

Vaikka stratosfäärissä joka sadastuhannes molekyyli on otsonia, koko ilmakehän molekyyleistä otsonia on vain miljoonasosa. Jos otsoni levitettäisiin tasaisesti merenpinnan tasolle, se muodostaisi vain muutaman millimetrin paksuisen vaipan Maan ympärille. Pienellä määrällä on kuitenkin iso merkitys.

Kun maapallolla vallitsee luonnollinen otsonitasapaino, Auringon alle 243 nanometrin ultraviolettisäteily hajottaa stratosfäärin happimolekyyliä happiatomeiksi. Otsonia syntyy, kun vapaat atomiset happiradikaalit reagoivat happimolekyylien kanssa. Koska otsoni ei ole kovin stabiili molekyyli, uv-säteily kykenee myös hajottamaan otsonia happiatomeiksi ja -molekyyleiksi.

Stratosfäärin nykyisenoloinen otsonikerros suojaa ihmistä ja kaikkia eläviä soluja liialliselta ultraviolettisäteilyltä. Otsoni imee uv-säteet itseensä niin tehokkaasti, että vain yksi kolmas-kymmenesmiljoonasosa niistä pääsee Maahan asti.

Määrä on meille juuri sopiva. Jos otsonikerros olisi paksumpi ja saisimme vähemmän uv-säteilyä, ihmiselle välttämätöntä D-vitamiinia kehittyisi kehossamme heikommin kuin nyt.

Pitoisuuden vaihtelut suuria

Otsonikierron ja -kerroksen sykleissä esiintyy luonnollista vaihtelua. Otsonia syntyy ja tuhoutuu eniten päiväntasajalla, mutta pitoisuudet eivät ole siellä suurimmat, sillä stratosfäärin ilmavirtaukset kuljettavat otsonia kohti maapallon napoja.

Suurimmat otsonipitoisuudet esiintyvätkin planeetan keskisillä leveysasteilla ja navoilla pallonpuoliskojen kevät-kuukausina. Pohjoisessa otsonia on eniten huhtikuussa ja vähiten lokaussa.

Vuosittuhannen vaihteessa huomattiin, että otsonipitoisuus oli sekä Etelämantereen että Pohjoisnavan yläpuolella pudonnut jopa 40 prosenttia. Vuoden 2011 kevättalvella pitoisuudet olivat myös Pohjoismaiden yllä niin

alhaiset, että ohentumasta käytettiin nimitystä arktinen otsoniaukko.

Tällaisia ohentumia syntyy, kun alueilla on poikkeuksellisen kylmää, alle -75 celsiusastetta. Silloin stratosfääriin muodostuu typpihaposta, rikkihaposta ja vesihöyrystä koostuvia helmiäispilviä.

Kloori- ja bromiyhdisteet imeytyvät pilvien jääkiteisiin, joissa ne reagoivat aktivoituen halogeeneja. Aktivoituneet kloori- ja bromiradikaalit pilkkovat otsonia uv-säteilyn avulla. Yksi atomi voi katalysoida kymmeniätuhansia otsonia tuhoavia reaktioita. Katalyyttinä voivat toimia myös muun muassa vety, hydroksyyli ja typpioksidi.

Katalyyttisissä reaktioissa uv-säteilyä ei absorboitu. Pilkkoutuminen on sitä tehokkaampaa, mitä kylmempiä pilvet ovat. Jäätymistä edesauttavat napa-alueiden polaaripyörteet, lännestä itään puhaltavat tuulivirtaukset.

Otsonia syntyy myös alailmakehässä, mutta mekanismi eroaa stratosfäärin reaktioista. Sinne ei pääse tarpeeksi korkeaenergistä uv-säteilyä, vaan vapaita happiatomeita syntyy typen oksidien hään ja hiilivetyjen valokemiallisissa ketjureaktioissa.

Toisin kuin stratosfäärin otsoni troposfäärin otsoni on ilmakehän epäpuhtaus, josta on haittaa niin ihmisen hengityselimille kuin kasveille. Vastapainoksi troposfäärin otsoni toimii kuitenkin myös puhdistajana ja saasteiden hapettajana. Veden otsonointi on paljon käytetty menetelmä.

Ihmisen tuottamien aineiden osuus otsonikerroksen ohentumisessa on ollut yli 80 prosenttia.

Otsoniaukko tuli yllätyksenä kaikille

Perinteiset CFC-yhdisteet keksittiin 1920-luvulla. Ne mullistivat jäädytystä ja ilmastointitekniikan ja myöhemmin punnekaasut ja vaahdotuskäytännöt 1950–1960-luvuilla.

Ilmakehän otsonimittaukset 1920-luvulla aloittanut tutkija **Gordon Dobson** havaitsi otsonipitoisuudessa luonnollista vuodenaikojen mukaista vaihtelua. **Sydney Chapman** alkoi paneutua otsonikerroksen peruskemiaan ja -fyysiikkaan 1930-luvulla.

Vuoden 1995 kemian nobelisti **Paul Crutzen** esitti vuonna 1970, että ihmisen toiminnalla saattoi olla osuutta otsonipitoisuuksiin. Peltojen ja metsi-

en lisääntynyt lannoitus kasvatti dityppioksidipäästöjä ja sitä kautta otsonia tuhoavan typpioksidin määrää stratosfäärissä.

CFC-yhdisteiden otsonia tuhoava vaikutus havaittiin vuonna 1974. Sittemmin on todistettu, että ihmisen tuottamien aineiden osuus otsonikerroksen ohentumisessa on yli 80 prosenttia.

Etelämantereen yläpuolelta vuonna 1985 löydyntynyt otsoniaukko tuli siitä huolimatta isona yllätyksenä myös tutkijoille. CFC:n merkitystä oli vähätelty, vaikka oli jo osoitettu, että lähes kaikki ihmisen ilmaan päästämät CFC-yhdisteet olivat yhä tallella ilmakehässä.



Tutkijat salapoliiseina

Uusien CFC-yhdisteiden ja halonien metsästäminen on Lauben mukaan varsinaista kaasusalapoliisin työtä, sillä ilmakehän kerrosten pieniä pitoisuuksia on vaikea havaita ja mitata.

Tutkijat ovat keränneet aerosolinäytteitä muun muassa isoilla ilmapalloilla, jotka yltyvät stratosfääriin asti. Osa tutkimusvälineistöistä on perua kylmän sodan ajoilta.

”Viime aikoina olemme hyödyntäneet korkealla lentävää entistä vakoilukonetta”, Laube kuvaa ryhmänsä kekseliäisyyttä.

Kansainvälinen tutkijatiimi on käyttänyt hyväkseen myös puhtaita maanpäällisiä näytteitä, joita otetaan Tasmanian Cape Grimissä. Aseman ilmanäytteet ulottuvat vuoteen 1978.

”Lisäksi olemme saaneet koko viime vuosisadan käsittäviä näytteitä lumijään kairauksista, joita olemme tehneet Grönlannissa ja Etelämantereella. Hiljattain pullotimme ilmaa Alppien vuoristoasemilla.”

Ryhmä on erottanut ensin jäännöskasut tyypeistä ja hapestä ja myöhemmin toisistaan kaasukromatografian avulla. Lopullinen analyysi isotoppierotuksineen on tehty massaspektrometrillä.

Tiimi on tähän mennessä löytänyt ilmakehästä yhteensä kolmisenkymmentä uutta kaasuyhdistettä. Osassa niistä on mukana halogeeniatomeja, fluoria, klooria, bromia ja jodia. Stratosfäärissä hajotessaan yhdisteet aiheuttavat otsonikatoa.

”Sen sijaan troposfäärissä varsinkin eräät uudet perfluorihilivedyt näyttävät käyttäytyvän hyvin voimakkaina kasvihuonekaasuina.”

Kiihdyttävät kasvihuoneilmiötä

Johannes Lauben mukaan uudet CFC-, HFC- PFC- ja HCFC-yhdisteet ovat ilmaantuneet ilmakehään vasta 2000-luvulla, osittain aivan viime vuosina.

Uudetkin yhdisteet näyttävät olevan peräisin tutuista lähteistä, kuten sammuusjärjestelmistä ja vaahtosammuttimisista, vaahtomuovin valmistusprosesseista, ilmastointi- ja jäädytyslaitteista sekä elektroniikkateollisuudesta.

Yhdisteiden biologisia lähteitä ovat merileväistutukset ja riisipellot. Tuttuja luonnollisia kloorin ja bromin lähteitä ovat tulivuoret ja valtameret. Kloori ja bromi kuitenkin liukenevat jo tavallisesti alailmakehässä sateiden myötä veteen.

Yllätyksenä tutkijoille ovat tulleet suoranaiset kaasupylväät, jotka kohoavat korkeuksiin muun muassa Reinin ja Mainin väliseltä alueelta Saksassa.

Euroopasta Etelä-Afrikkaan lentävien reittikoneiden ottamista näytteistä on havaittu, että keskisillä leveysasteilla osa pitoisuuksista on kasvamaan päin ja että ne ovat päiväntasaajan pohjoispuolella eteläisiä korkeammat.

Uusien halogenoitujen hiilivetyjen pitoisuudet ilmakehässä ovat silti yhä pieniä – muutamasta sadasta biljoonasasta (ppt) muuttamaan tuhannesbiljoonasasaan (ppq) – mutta se ei ole koko totuus.

”Huolestuttavinta on, että yhdisteiden kokonaisvaikutus kasvihuoneilmiöön ja ilmaston lämpenemiseen on suuri, arviolta 20 prosenttia.” □

Kirjoittaja on fyysikko ja tiedetoimittaja. jarmowallenius@hotmail.com



Scanstockphoto

Tutkijoiden Grönlannissa kairaamat lumi- ja jäänäytteet kertovat samaa tarinaa kuin yläilmakehästä saadut näytteet.

Otsoni altistaa sydänkohtauksille

Teksasilaisen Rice-yliopiston tutkijat ovat löytäneet yhteyden sydänkohtausten, alailmakehän haitallisen otsonin ja ilmansaasteiden välillä. Ilman otsonipitoisuuden nousu tappaa Houstonin kaupungissa 45 henkeä vuodessa.

Tutkimuksessa yhdistettiin tiedot Houstonin ilmanlaatumittauksista ja sairaalan potilastiedoista kahdeksan vuoden ajalta. Professorit **Katherine Ensor** ja **Loren Raun** kertoivat tuloksistaan Yhdysvaltain tiedeseuran vuotuisessa kongressissa helmikuussa.

USA:n keuhkoliitto on rankannut Houstonin maan kahdeksanneksi pahimmaksi otsonin haitta-alueeksi. Parin miljoonan asukkaan kaupungissa sattuu vuosittain noin 1 400 sairaalan ulkopuolella tapahtuvaa sydänpysähdystä. Niistä 90 prosenttia johtaa kuolemaan. Yli puolet tapauksista osuu kuumiin kesäkuukausiin.

Ensor kollegoineen on osoittanut, että 30 prosentin eli 20 ppb:n lisäksi ilman otsonipitoisuudessa ja 6 mikrogramman lisäys pienhiukkaspitoisuudessa kasvattaa sydänpysähdysten riskiä viisi prosenttia.

Pienhiukkasten vaikutukset näkyvät vuorokauden viipeellä, kun taas otsonilisa heijastuu sydänkohtauksina jo kolmen tunnin kuluttua.