

OTSONI

HYÖDYLLISTÄ ILMAKEHÄSSÄ, HAITALLISTA MATKUSTAMOSSA

Korkealla lentämisen edut ovat moninaiset ja selvät. Stratosfäärin alaosista löytyy kuitenkin kaasua, joka on maapallolle ja sen elämälle erittäin hyödyllistä, mutta sille suoraan altistuville haitallista. Tämä aine on otsoni.



Otsonia syntyy hapen reagoidessa siihen osuvan ultraviolettiva-
lon kanssa. Suurin osa, noin 90
prosenttia, siitä sijaitsee stratosfäärissä,
jossa suurimmat otsonitasot ovat 20–
40 kilometrin korkeudessa. Kuten tie-
detään, tätä kertymää kutsutaan otso-
nikerrokseksi, ja se suojelee maan pin-
nalla eläviä olentoja haitalliselta UV-B-
säteilyltä.

Tropopausia lähestyttäessä ot-
sonin määrä alkaa nopeasti lisään-
tyä. Erityisesti bisnesjetit ja muut uu-
demmat matkustajakoneet kykene-
vät toimimaan näillä korkeuksilla,
mikä johtaa mahdolliseen altistumi-
seen tälle pistävän hajuiselle kaasulle.
Terveysvaikutukset ovat tietysti haital-
lisia: päänsärkyä, väsymystä, hengen-
ahdistusta, rintakipua, pahoinvointia,
ärsytystä nenän, kurkun ja silmien alu-
eella ynnä muuta. Krooninen altistumi-
nen otsonille voi johtaa pysyviin keuh-
kovammoihin ja lisääntyneeseen riskiin
kuolla keuhkosairauksiin.

Mikäli koko lento suoritetaan tro-

popaussin alapuolella, on epätodennä-
köistä joutua otsonin kanssa sen suu-
remmin tekemisiin. Tämän troposfää-
rin ja stratosfäärin rajan korkeus vaihte-
lee maantieteellisen sijainnin ja vuoden-
ajan mukaan, kuten myös paikallises-
ti, esimerkiksi myrskyjen vaikutukses-
ta. Kirjallisuudessa tropopausin kor-
keuden ilmoitetaan vaihtelevan pää-
sääntöisesti napa-alueiden 22 000 ja-
lan korkeudesta päiväntasaajan alueen
49 000–59 000 jalkaan. Kuten todet-
tiin, todellisuudessa korkeuden vaihtelu
on epälineaarista ja -säännöllistä. Usein
tropopausi ”hyppii” suihkuvirtausten
mukana. Pohjoisella pallonpuoliskolla
tropopausi on matalimmillaan keväällä
ja vastaavasti korkeimmillaan syksyllä.

MOZAIC-projektista tietoa otsonitason vaihtelusta

Tropopausin korkeudesta ja otsonita-
soista matkustajakoneiden käyttämillä
korkeuksilla on kerätty dataa MOZAIC
(Measurement of OZone and water va-

por by Airbus In-Service airCRAFT) -pro-
jektissa. Siinä viisi A340-koneyksilöä
varustettiin näitä tietoja keräävin sen-
sorein. UC Berkeleyyn tutkijat perehtyi-
vät sitten hankkeessa kerättyyn dataan.
Projektiin kuuluneita lentoja suoritet-
tiin reittiväleillä München–Los Angeles
(175 kpl), München–Chicago (372) ja
München–New York (318). Ajallisesti
ne sijoittuivat vuosien 2000 ja 2005 vä-
lille. Tutkimuksen kohteena olivat koh-
datut otsonitasot, joiden osalta etsittiin
vuodenajan, korkeuden ja latitudin vai-
kutusta niihin. Luonnollisesti pohdittiin
myös, miten nämä vaikuttavat otsonial-
tistukseen lentokoneen sisällä.

Otsonin määrä vaihteli huomatta-
vasti 865 lentoa käsittäneen aineiston
sisällä, mikä tukee käsitystä kausivaih-
telusta. Suurin tunnin aikana mitattu
määrä vaihteli 0,09 ja 0,9 ppm:n vä-
lillä. Professorien **Seema Bhangarin**
ja **William Nasaroffin** löydöksen mu-
kaan mitatun otsonin huipputaso oli
0,18–0,36 ppm korkeampi huhtikuus-
sa kuin loka-marraskuussa. Tämä käy

tietysti yksiin tropopausin korkeuden kausivaihtelun kanssa. Suurten matkustajakoneiden matkalentokorkeudet ovat syksyä useammin stratosfääriin puolella kevätaikaan.

Voisi kuvitella, että jos tropopausi on napa-alueilla tropiikkia matalammalla, matkustajakoneet kohtaavat otsonia keskimäärin sitä enemmän, mitä pohjoisempaa reittiä ne kulkevat. MOZAIC-aineistoon kuuluneilla lennoilla näin ei kuitenkaan käynyt: Bhangarin ja Nazaroffin mukaan transatlanttiset lennot Münchenin ja Los Angelesin tai New Yorkin ja Chicagon välillä eivät törmänneet tasaisesti nouseviin pitoisuuksiin lennettäessä leveyspiirien 30°N ja 60°N välillä.

Paikallinen otsonitason vaihtelu sen sijaan johti siihen, että lentämällä New Yorkiin ja Chicagoon koneet osuivat läntisellä Atlantilla olevalle korkean otsonipitoisuuden alueelle. Kun lento LA:han kulki pohjoisempaa reittiä, se vältti tämän alueen. Lisäksi kävi ilmi, että suurimmat otsonimäärät löytyivät olosuhteissa, joissa tammi-maaliskuun välillä Atlantilla myrskysi. Valtameren yllä olleet myräkät johtivat tropopausin korkeuden paikalliseen vaihteluun.

Yksi tapa välttää altistumista liialli-

selle otsonille on reittisuunnittelu. Tätä varten on tarjolla tilastotietoa ilmakehässä esiintyvän otsonin määrästä. Data huomioi korkeuden, leveyspiirin ja vuodenajan. MOZAIC-projekti kuitenkin todistaa, etteivät nämä keskiarvoihin perustuvat suunnittelumenetelmät välttämättä huomioi riittävästi otsonin määrän suurta paikallista vaihtelua.

Tuleeko matkustamoon otsonia?

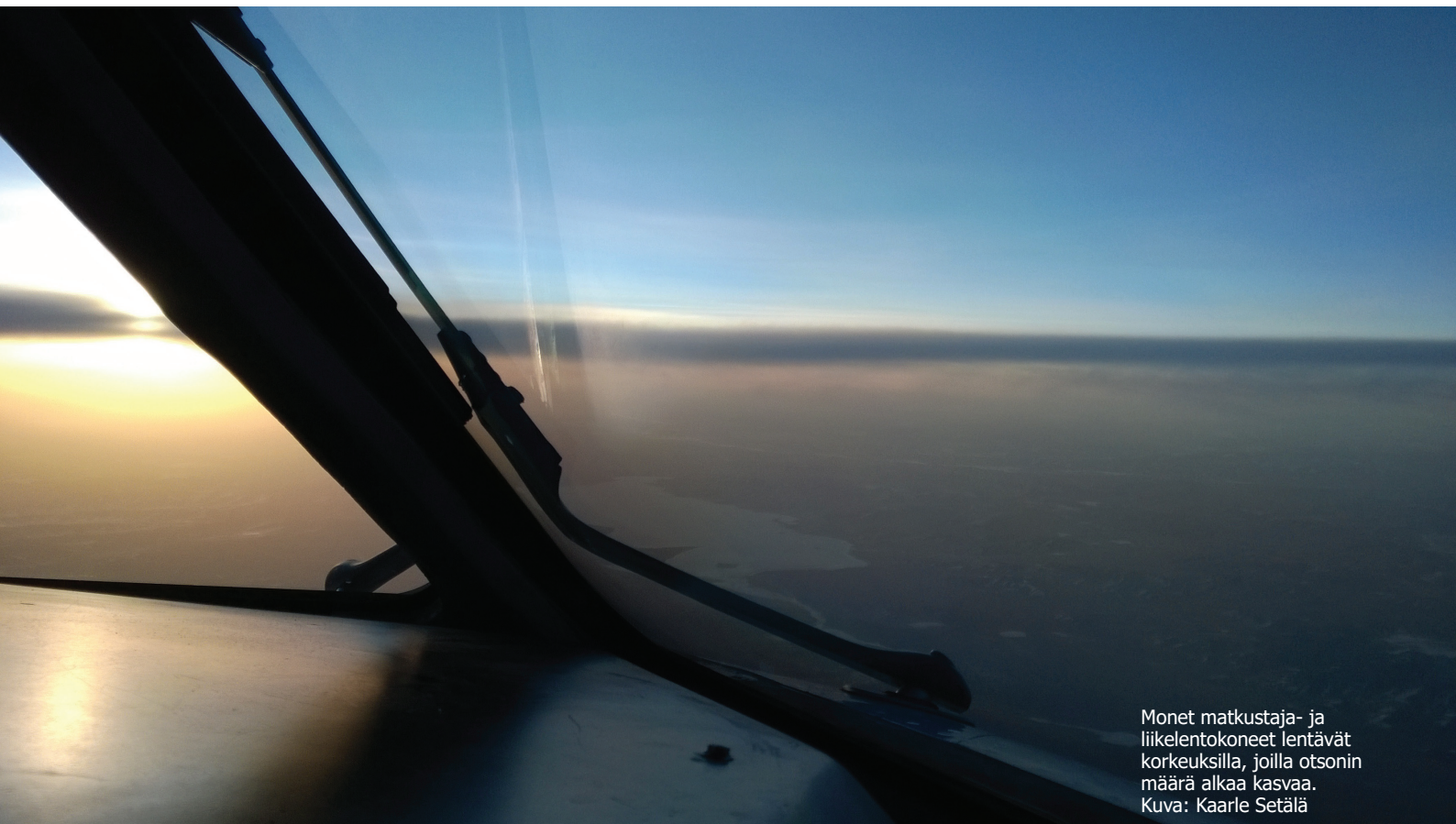
Kiinnostava kysymys tietysti on, paljonko otsonia lentokoneen sisätiloihin lopulta kulkeutuu. Se riippuu ympäröivän ilman ominaisuuksien lisäksi koneen ilmanvaihtojärjestelmästä, matkustamon pintamateriaaleista, koneen sisällä olevien ihmisten tiheydestä sekä pinta-alan suhteesta tilavuuteen. Harvard School of Public Healthin tutkijat tarkastelivat matkustamojen otsonipitoisuuksia 106 kaupallisella lennolla. Näiden joukkoon lukeutui niin kotimaanlentoja Yhdysvaltojen sisällä, kuin ulkomaanlentojakin Tyynenmeren ja Kaakkois-Aasian reiteillä.

EASA:n ja FAA:n määräysten mukaan yli kolme tuntia kestäväillä, yli lentopinnan 270 tehtävillä lennoilla otsonipitoisuus ei saa olla suurempi kuin

0,1 ppm. Lisäksi yli pinnan 320 lennettäessä pitoisuus ei saa nousta yli 0,25 ppm:n. Tutkimuksessa huomattiin viidenneksen havainnoista ylittäneen 0,1 ppm:n rajan. Tämän perusteella osassa lentokoneista ei joko ollut otsonikonverttereita, tai ne toimivat puutteellisesti. Vähän yli joka kymmenennellä lennolla ylittyi Yhdysvaltain ympäristönsuojeluviraston maan pinnalla tapahtuvaa lyhytaikaista otsonialtistusta koskeva 0,12 ppm:n suositusraja.

Tässäkin tutkimuksessa tulokset otsonitasojen kausivaihtelusta olivat linjassa tropopausin korkeuden vaihtelun kanssa. Kabiineista löytyi otsonia eniten talven ja kevään aikana, vastaavasti vähiten kesällä ja syksyllä. Tyynenmeren pohjoisosien yli lentäneet koneet kohtasivat enemmän otsonia kuin muut valtamerta ylittäneet ilma-alukset.

UC Berkeleyyn toisessa tutkimuksessa (jälleen Bhangar & Nazaroff ym.) valvottiin otsonitasoja 76 kaupallisella lennolla. Tälläkin kertaa mukana oli kotimaanlentoja USA:ssa sekä lisäksi Tyynenmeren ja Atlantin ylittäviä lentoja. Neljällä 68 kotimaanlennosta 0,1 ppm:n raja ylittyi. Otoksen 68 lentokoneesta 22 oli varustettu otsonikonverttereilla. Koneissa, joissa konverttereita ei



Monet matkustaja- ja liikelentokoneet lentävät korkeuksilla, joilla otsonin määrä alkaa kasvaa.
Kuva: Kaarle Setälä

ollut, keskimääräinen otsonin huipputaso oli keskimäärin noin 0,047 ppm suhteessa tilavuuteen. Otsonikonverttereilla varustetuissa koneissa otsonia sen sijaan oli suunnilleen 10 % tästä määrästä. Tutkimuksen mannertenvälisillä lennoilla käytetyissä koneissa oli kussakin otsonin vaaratomaksi tekevät katalysaattorit, joten matkustamon otsonitasot pysyivät helposti viranomaisrajojen sisällä.

Tutkimusryhmän arvion mukaan yli 95 %:lla tutkimukseen kuuluneista helmi- ja kesäkuun välillä tehdyistä lennoista olisi kohdattu 0,1 ppm rajan ylittäviä matkustamon otsonipitoisuuksia, mikäli otsonia poistavat laitteet eivät olisi toimineet, tai mikäli niitä ei olisi asennettu. Jopa Yhdysvaltain sisäisillä lennoilla kohdataan suuria otsonipitoisuuksia lopputalven ja kevään aikana — lisäksi näitä reittejä lennetään usein koneilla, joissa ei otsonikonverttereita ole.

Amerikkalaisen National Research Councilin (NRC) komitean tekemässä matkustamon ilmanlaatua koskevassa tutkimuksessa todettiin niin ikään otsonikonvertterin toimivuus ja suositeltiin sen käyttöä, jotta määräysten noudattaminen onnistuu luotettavasti. Lisäksi selvitys toi ilmi, että matkustamohenkilökunta kokee liiallisen otsonin määrän herkimmin, sillä sen aiheuttamat epämiellyttävät tuntemukset korostuvat fyysisen aktiviteetin myötä.

Miten otsoni poistetaan vuodatusilmasta?

Otsoni on kemiallisesti epävakaa. Sen hajoamista edistävät kuumuus ja kosketus metallipintojen kanssa. Moottorista kerättävän vuodatusilman lämpötila ja

putkiston metalli eivät kuitenkaan riitä hajottamaan otsonia, kun sen pitoisuus ilmassa on korkea. Järjestelmään lisättävä otso-

nikonvertteri koostuu metallikuoresta ja sen sisällä olevasta jalometallikatalysaattorista. Sen sisältämät kemikaalit toimivat katalyytteinä, jotka muuntavat otsonin hapeksi, kun laitteen läpi puhalletaan kuumaa vuodatusilmaa. Uutena nämä konvertterit tuhoavat yli 90 % niiden lävitse kulkevasta otsonista. Iän myötä tehokkuus laskee, kun katalysaattorien otsonia pilkkoville pinnoille kulkeutuu muitakin partikkeleita, jotka vähentävät niiden tehoa.

RSA Engineered Products myy kaksiytymistä otsonikonvertteria. Yhtiön mukaan toisenlaiset puhdistimet eivät aina toimi tyydyttävästi, mikä johtuu edellä mainitusta partikkelikertymästä. Huoltotoimenpiteiden laiminlyönti voi johtaa kalliiksi koituvaan, koko konvertteriyksikön vaihtoon. Ennen kuin laite vaihdetaan, se päästää otsonia matkustamoon liiallisia määriä.

Otsonikonvertteri on vaihtokunnossa, kun sen tehokkuus laskee noin

60 %:n alapuolelle. Sillä tasolla UC Berkeleyn tutkimuksessa arvioitiin, että 97 prosentilla helmi- ja kesäkuun välillä tehdyistä lennoista kohdattaisiin 0,1 ppm:n rajan ylittäviä otsonipitoisuuksia. On siis selvää, että laitteiden tulee toimia kunnolla.

Otsonin tunnistaminen hajusta on mahdollista, mutta ihmisen nenä ei ole kovin tehokas tässä tehtävässä. Kaasun hajua on kuvailtu pistäväksi, mutta sekin aistimus väistyy hiljalleen muuttaman minuutin kuluttua. Alkaa siis tuntua siltä, että ilman otsonipitoisuus on vähentynyt, vaikka näin ei olisi käynyt kukaan.

Australian ilmailuviranomaisen tekemän tutkimuksen "Contamination of Aircraft Cabin Air by Bleed Air: A Review of the Evidence" mukaan on selkeitä todisteita siitä, että erilaisten haitallisten aineiden, kuten otsonin, pitoisuudet voivat korkealla lennettäessä nousta myös normaalioperaatioiden aikana. NRC:n raportissa ilmaistiin huolta siitä, että uudet matkustajakonesukupolvet kykenevät nousemaan korkeammalle stratosfääriin matkalennon aikana. Bisnesjetit ovat kuitenkin jo vuosien ajan lentäneet suurempia koneita ylempillä pinnoilla, joten niissä otsoniin liittyvät riskit ovat olleet koettua elämää jo pitkään.

Artikkeli perustuu Patrick R. Veilleten 25.3.2019 Aviation Weekissä julkaistuu tekstiin "Cabin Ozone: A Potentially Serious 'Poison' At High Altitude". ✂