

<https://helda.helsinki.fi>

UV-valojen vaikutus sisäilmanlaatuun

Ehn, Mikael

2022

Ehn , M & Graeffe , F 2022 , ' UV-valojen vaikutus sisäilmanlaatuun ' , Infektioidentorjunta ,
Vuosikerta. 40 , Nro 4 , Sivut 47-51 .

<http://hdl.handle.net/10138/353244>

unspecified
submittedVersion

Downloaded from Helda, University of Helsinki institutional repository.

This is an electronic reprint of the original article.

This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.

Please cite the original version.

UV-valojen vaikutus sisäilmanlaatuun

Mikael Ehn & Frans Graeffe

Kun pääaineena on ollut aerosolifysiikka, koronapandemian aikana on ollut erittäin kiinnostavaa seurata keskustelua viruksen ilmajälitteisyydestä. Koska meidän tutkimuksemme keskittyy täysin aerosolihiukkasten muodostumiseen ilmakehässä, sekä niiden fysikaalisiin ja kemiallisiin reaktioihin ja vuorovaikutuksiin, hiukkasten toimiminen virusten välittäjinä oli uusi ja kiinnostava aspekti. Aerosolien käyttäytymistä ilmassa on tärkeää ymmärtää molemmissa yhteyksissä, ja siten oman tietotaidon perusteella saattoi hyvin hahmottaa, mitkä ongelmakohdat olivat tartuntamuotokeskusteluissa. Esimerkiksi vanha oletamus, että viiden mikrometrin aerosolihiukkanen tippuisi lähtökohtaisesti maahan sekunneissa tai alle, oli suoranaisesti (aerosoli)fysiikan lakien vastainen. Todellisuudessa tämän kokoiset hiukkaset leijuvat ilmassa keskimäärin kymmeniä minutteja. Vertailun vuoksi lähes kaikki siitepölyhiukkaset ovat yli viisi mikrometriä halkaisijaltaan, ja jokainen heinänuhasta kärsivä tiedostaa, että parin metrin etäisyyden pitäminen kukkiviin kasveihin ei pelasta allergiaoireilta.

UV-valon vaikutus ilmakehään

Vakiintuneiden kaavojen pyörittelyä pidemmälle meillä ei kuitenkaan ollut annettavaa koronaviruksen leviämisen suhteen, joten olemme tyytyneet pelkästään seuraamaan tieteellistä keskustelua aerosolien tärkeydestä (1). Lähemmäs omaa tutkimusalaa päästiin kuitenkin syksyllä 2021, kun tuli vastaan uutinen UV-valoa käyttävistä puhdistusroboteista, joita oli hankittu sairaaloihin huoneiden desinfiointiin. Vaikka virusten ja muiden taudinaiheuttajien tappaminen tai deaktivointi ei ollut mitenkään tuttua meille, UV-valon vaikutus ilmakehään oli sitäkin tutumpi aihe. Ilmakehässä auringon UV-säteily mahdollistaa lähes kaiken siellä tapahtuvan kemian, kuten otsonikerroksen muodostumisen stratosfääriin tai hapettimien tuottamisen ala-ilmakehään. Hapettimet ovat tärkeitä, koska niiden avulla kaikenlaiset ilmaan päästetyt yhdisteet, kuten pakokaasut, lopulta ”häviävät” ilmakehästä, eli käytännössä esimerkiksi hiilivedyt hapettuvat hiilidioksidiksi (CO₂). Hapetus hiilivedystä hiilidioksidiksi vaatii kuitenkin useita reaktioita hapettimen kanssa, ja siinä välissä muodostuu suuri määrä muita hapetustuotteita, jotka esimerkiksi voivat tiivistyä kaasufaasista aerosolihiukkasiin (jotka määritelmän mukaan ovat ilmassa leijuvia kiinteitä tai nestemäisiä hiukkasia). Näiden hengittäminen on haitallista terveydelle vaikka eivät mitään viruksia sisältäisikään, ja WHO arvioi (<https://www.who.int/health-topics/air-pollution>) yli 7 miljoonan ihmisen kuolevan joka vuosi huonon ilmanlaadun takia. Suurin osa näistä kuolemista aiheutuu juuri aerosolihiukkasten hengittämisestä. Ilmakehän hapetuskemiaan liittyvää tutkimusta olemme tehneet pitkään, joten kiinnostus heräsi kuullessamme, että UV-säteilyä käytetään myös sisätiloissa ilman ”puhdistamiseen”.

Pieni pohjustus ilmakehän kemiaan ja UV-säteilyyn on tarpeellinen, joten esitämme lyhyesti pari tärkeää reaktiota. Ensinnäkin, UV-säteily on näkyvää valoa (aallonpituudet 400-700 nm) energeisempää, johtuen sen lyhyemmästä aallonpituudesta (10-400 nm). Huoneiden desinfiointiin käytettävät UV-valot menevät tämän lisäksi kategoriaan UVC, jolloin puhutaan aallonpituusvälistä 200-280 nm. Ilmakehässä happimolekyylit (O₂) absorboivat alle 200 nm auringonsäteilyä, jolloin O₂-molekyylit hajoaa kahdeksi happiatomiksi (O), jotka voivat yhdistyä toisten happimolekyylien kanssa muodostaen otsonia (O₃). Näin

muodostuu stratosfäärin otsonikerros. Otsonia on myös ala-ilmakehässä, jossa me elämme, ja se on aerosolien ohella yksi pahimpia ilmanlaadun heikentäjiä. Täällä otsoni voi absorboida UVC-aallonpituuksia, jolloin jälleen vapautuu happiatomi. Jos tämä happiatomi reagoi vesihöyryn kanssa, on tuloksena kaksi hydroksyyli-radikaalia, OH. Tästä radikaalista käytetään termiä ”ilmakehän puhdistaja” (detergent of the atmosphere), koska se on niin ärhäkkä hapetin ja pystyy reagoimaan lähes kaikkien muiden molekyylien kanssa. Aerosolitutkimuksissamme teemme usein laboratoriossa kokeita, joissa sekoitamme kammiossa otsonia, vesihöyryä, sekä jotain tiettyä tutkittavaa hiilivetyä. Tämän jälkeen laitamme UV-valot päälle, jolloin muodostuu OH-radikaaleja, jotka reagoivat hiilivetyjen kanssa muodostaen uusia alemman höyrynpaineen omaavia hapetustuotteita, jotka sitten tiivistyvät ja tuottavat suuria määriä aerosolihiukkasia (2).

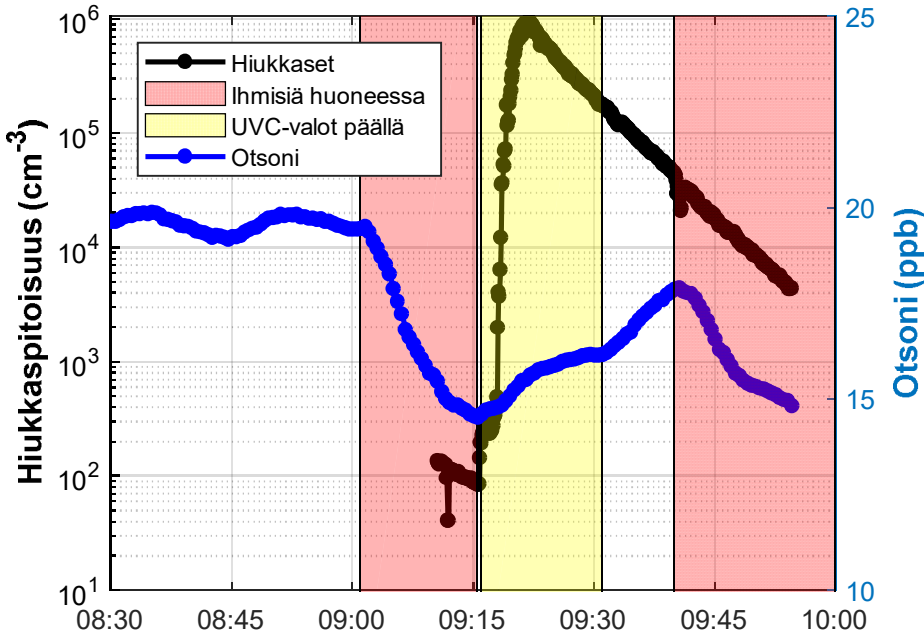
Koska sisäilmassa on suuria määriä hiilivetyjä, joiden lähteinä toimivat esimerkiksi hajusteet, puhdistusaineet (3), erinäiset pinnat (4), ja ihmiset itse (5), sekä yleensä ulkoilman pitoisuuksia otsonia, me odottaisimme UVC-valojen käytön huoneessa olevan hyvinkin verrattavissa meidän tyypillisiin kammiokokeisiimme. Kirjallisuushaku ei kuitenkaan antanut ymmärtää, että tätä olisi tutkittu juuri lainkaan. Tämän takia otimmekin yhteyttä sairaalaan, jossa tiesimme UVC-laitteen olevan käytössä, toiveena päästä tekemään suoraan mittauksia laitteillamme.

Sisäilman testimittaus sairaalassa

Saimme lopulta sovittua ensimmäiset testimittaukset HUSiin loppusyksystä, jonne veimme kaksi helposti siirrettävissä olevaa laitetta: toinen mittaamaan otsonipitoisuutta ja toinen aerosolihiukkasten lukumäärää. Mittaukset tehtiin kokoushuoneessa, jossa ilmanvaihto ei ole yhtä tehokasta kuin alueilla, joissa hoidetaan potilaita. Etuna oli kuitenkin alustavien mittausten tekeminen paikassa ilman tarvetta työläille lupaprosesseille. Tapasimme sekä sairaalan että UVC-laitteen maahantuojan edustajien kanssa, ja paikalle tuotiin myös itse UVC-laite. Me käynnistimme mittauslaitteemme ja poistuimme tilasta, jonka jälkeen UVC-laite oli päällä 15 minuutin ajan. Kun tämän jälkeen palasimme huoneeseen sammuttamaan omat mittauksemme, huomasimme myös ainoan jo tiedossa olleen ”ilmanlaatuhaitan”, eli vahvan ja vaikeasti kuvailtavan hajun UV-säteilyn jäljiltä. Hajut johtuvat lähes aina haihtuvista hiilivedyistä, jotka lisäksi voivat sisältää muita atomeja kuten rikkiä tai klooria, mutta tiedossamme ei ole vertaisarvioituja tutkimuksia, jossa olisi todettu tämän hajun tarkkaa alkuperää.

Kokeen aikana mitatut otsoni- ja hiukkaspitoisuudet käyttäytyivät kuten saatoimme odottaa (kuva 1). Otsonia oli huoneessa joitakin kymmeniä miljoonasosia, eli käytännössä sisäilmassa on ilmanvaihdon myötä ulkoilmaa vastaavat pitoisuudet. Kun ihmisiä tuli huoneeseen (kuvassa punainen alue), otsonia reagoi meidän sekä meistä erittyvien yhdisteiden kanssa, jolloin se lähti laskuun. Meidän lähdettyä pois huoneesta ja UVC-valon ollessa päällä, otsoni lähti palautumaan kohti edeltävää tasoaan, kunnes se taas lähti laskuun mennessämme takaisin huoneeseen kokeen jälkeen. Hiukkaspitoisuus taas oli aluksi alhainen, noin parisataa hiukkasta kuutiometriä kohden, joka on 1-2 kertaluokkaa alhaisempi kuin ulkoilma, koska ilmanvaihtolaitteissa lähes poikkeuksetta on hiukkassuodatin. Kun UVC-valot käynnistyivät, hiukkaspitoisuus kuitenkin nousi parissa minuutissa neljä kertaluokkaa, eli tiivistymiskykyisiä höyryjä muodostui suuri määrä, ja nämä muodostivat keskenään uusia hiukkasia (nukleaatio). Hetken kuluttua hiukkasmäärä ei enää noussut, ja lähti jopa laskuun, johtuen kahdesta ilmiöstä: uudet hiukkaset muodostavat jo niin suuren pinta-alan, että kaikki höyryt tiivistyvät näiden päälle, eivätkä siten enää nukleoidu uusiksi hiukkasiksi. Tämän lisäksi hiukkaset törmäilevät myös

keskenään, jonka seurauksena hiukkasten lukumäärä vähenee (koagulaatio), mutta niiden koko suurenee.



Kuva 1. Otsonipitoisuus (sininen käyrä) ja hiukkasten lukumääräpitoisuus (musta käyrä) ajan funktiona. Noin klo 9.15 UVC-valot (254 nm) käynnistettiin vartiksi (keltainen tausta), jonka seurauksena hiukkaspitoisuus kasvoi monta kertaluokkaa.

Alustavia tuloksia

Jo näiden alustavien tulosten perusteella on siis syytä tiedostaa, että UVC-valot sisätiloissa voivat tuottaa ei-toivottuja muutoksia sisäilmanlaatuun. UVC-laitteen maahantuoja halusi ystävällisesti tukea myös jatkotutkimusta ja lainasi meille Kumpulan laboratorioon vastaavan laitteen viikoksi, jolloin pystyimme tekemään tarkempia mittauksia, jossa mittasimme myös hiukkasten kokojakaumaa, niiden kemiallista koostumusta, sekä kaasufaasista haihtuvia hiilivetyjä ja tiivistyviä höyryjä. Nämä suureet ovat kiinnostavia, koska niiden avulla voisimme muun muassa mahdollisesti tarkentaa, mitkä tärkeimmät hiukkasia muodostavat yhdisteet tarkalleen ovat. Tulosten tarkempi erittely tässä kirjoituksessa ei ole asianmukaista, mutta yhteenvedona voimme todeta, että hiukkasia muodostui myös näissä kokeissa suuria määriä. Ilmanvaihto laboratoriossamme oli tehokkaampi (samaa tasoa kuin sairaaloissa, eli noin 10 ilmanvaihtoa tunnissa), ja huoneen tilavuus suurempi, joten pitoisuudet olivat noin kertaluokkaa alhaisemmat kuin HUSin kokoushuoneen mittauksissa. Kaasufaasimittausten tulokset voimme tiivistää sanomalla, että käytännössä kaikkien ~1000 monitoroidun yhdisteen pitoisuudet nousivat. Tämä oli pieni yllätys, sillä UVC-valo reagoi hajottamalla molekyyliä (tästä kumpuaa myös sen käyttö desinfiointiin, jossa se hajottaa eliöiden molekyyli-rakenteita), joten olisimme odottaneet suuremman osan yhdisteistä

myös vähenevän. Nyt kuitenkin lähteitä oli lähes kaikille yhdisteille, oletettavasti sekä ilmassa olevien molekyylien reaktioista että säteilyn reagoiessa eri pintojen kanssa (6).

Tällä hetkellä olemme kirjoittamassa tuloksiamme yhteen artikkelia varten. Koska emme tämän lyhyen mittaussetin perusteella pysty tarkentamaan yksittäisiä päälähteitä havaituille hiukkasille, emme myöskään voi vetää johtopäätöksiä niiden odotetusta vaikutuksesta. Tiedossa on kuitenkin, että suurien aerosolihiukasmäärien hengittäminen ei missään tapauksessa ole terveellistä, joten toiveemme onkin, että nämä alustavat mittaukset motivoisi muita tutkijoita tarkastelemaan myös tätä ilmanlaatuaspektia UVC-teknologian kehittyessä ja mahdollisesti yleistyessä. Esimerkiksi n.s. far-UVC, eli 222 nm, on todettu (7) olevan vähintään yhtä tehokas virusten tappaja kuin yleisemmin käytössä oleva 254 nm UVC (jota myös käytettiin tässä työssä). Moni laitevalmistaja mainostaa far-UVC:tä täysin turvallisiksi, koska 222 nm säteily on todettu aiheuttavan paljon vähemmän ihovaurioita kuin 254 nm. Ymmärtääksemme syynä on tämän aallonpituuden paljon tehokkaampi absorptio ihmissoluissa oleviin molekyyliisidoksiin, kuten peptidisidoksiin. Siten, 222 nm UVC absorboituu lähes täysin jo uloimpaan kudosterrokseen, jossa enimmäkseen kuolleita isosoluja, eikä sen takia vaurioita eläviä soluja. Tämän perusteella onkin ehdotettu, että 222 nm UVC-valot soveltuisivat käytettäväksi tiloissa, joissa ihmisiä liikkuu (toisin kuin 254 nm UVC, jossa suoraa säteilyä pitää välttää). Tällä kaikella ei kuitenkaan pitäisi olla suurta vaikutusta UV-valon tuottamaan ilmakemiaan, joten toivommekin selvästi enemmän tutkimuksia näiden valojen vaikutuksesta sisäilmanlaatuun. Kiinnostavana sivuhaarana tämä oli meidän puolesta erittäin antoisa projekti, mutta ilmakehätutkijat (vailla resursseja sisäilman tutkimiseen) eivät luultavasti ole pitkässä juoksussa paras ratkaisu vastaavien ongelmien ratkaisemiseen.

Parempi ymmärrys UVC-valojen vaikutuksesta sisäilmanlaatuun mahdollistaisi konkreettiset keskustelut niiden käyttötavoista. Yhtenä esimerkkinä, pitäisikö laitteen käyttäjän odottaa jonkin aikaa ennen kuin laite haetaan huoneesta pois? Jos ilma vaihtuu 10 kertaa tunnissa, se tarkoittaa että 30 minuutin jälkeen, hiukkasista on ilmanvaihdon mukana hävinnyt reilut 99 %. Vai voisiko käyttäjä hyödyntää suojarusteita, esim. FFP2 suojainta, joka suodattaa yli 99 % hiukkasista hengitysilmaasta, jolloin ei välttämättä mitään ”varoaikaa” tarvitsisi? Ja lopuksi voi pohtia kumpi asetetaan etusijalle, virusten hävittäminen ilmasta ja pinnoilta vai hengitysilman puhtaus??

Mikael Ehn
Professori
Ilmakehätieteiden keskus (INAR), Helsingin yliopisto

Frans Graeffe
Väitöskirjatutkija
Ilmakehätieteiden keskus (INAR), Helsingin yliopisto

Lähteet

1. Greenhalgh et al.: Ten scientific reasons in support of airborne transmission of SARS-CoV-2, Lancet, 397, 1603-1605, 2021

2. Luo et al.: Formation kinetics and mechanisms of ozone and secondary organic aerosols from photochemical oxidation of different aromatic hydrocarbons: dependence on NO_x and organic substituents, *Atmos. Chem. Phys.*, 21, 7567–7578, 2021.
3. Wolkoff et al.: Risk in cleaning: chemical and physical exposure, *Science of The Total Environment*, 215, 1–2, 1998.
4. Rizk et al.: "Impact of material emissions and sorption of volatile organic compounds on indoor air quality in a low energy building: Field measurements and modeling." *Indoor air*, 28, 6, 2018
5. Wang et al.: "Emission Rates of Volatile Organic Compounds from Humans." *Environmental Science & Technology* 56, 8, 2022
6. Mitxelena-Iribarren et al.: "Evaluation of the Degradation of Materials by Exposure to germicide UV-C Light through Colorimetry, Tensile Strength and Surface Microstructure Analyses", *Materials Today Communications*, 31, 2022.
7. Eadie et al.: Far-UVC (222 nm) efficiently inactivates an airborne pathogen in a room-sized chamber. *Sci. Rep.* 12(1), 4373, 2022.