

## Terveydelle haitalliset yhdyskuntailman saasteet ja toksiset aineet

Ilman epäpuhtauksia, joista on terveydellistä haittaa, synnyttävät ennen kaikkea liikenne ja energiantuotanto. Terveydelle haitallisia aineita voi joutua yhdyskuntailmaan myös onnettomuuksissa (esimerkiksi kloorivaunun suistuessa kiskoilta) tai teollisuuden prosessipäästöinä tai muusta elinkeinotoiminnasta, mutta näiden merkitys on pikemminkin paikallinen kuin kansanterveydellinen. Ympäristön terveellisyyden kannalta suurin merkitys on sillä, kuinka paljon pakokaasujen ja savun sisältämiä tuhansia kemikaaleja pääsee yhdyskuntailmaan. WHO:n julkaisemassa ilmanlaatusuosituksia sisältävässä monografiassa on annettu perustellut suositukset yli 20 aineen enimmäispitoisuuksista ja ne on tarkistettu vuonna 1996. Mukana ovat keskeiset yleiset ilmansaasteet ja joukko teollisuuskemikaaleja. Suomessa ilmanlaadun ohjearvoja tarkistettiin vuonna 1996.

Ilman epäpuhtauksien vaikutukset terveyteen voivat olla suoria ja välittömiä, kuten rikkidioksidin vaikutus astmapotilaan hengenhdistukseen, tai pitkäaikaisvaikutuksia, kuten kivihiilen tai puun poltosta aiheutuva krooninen bronkiitti tai keuhkosityöpä. Koska yhdyskuntailma yleensä on teollisuusmaissa lainsäädännön ansiosta parantunut pahimmista 1950-luvun vuosista, on monista välittömistä vaikutuksista päästy eroon. Samalla on kuitenkin esimerkiksi savupiippuja korottamalla tehostettu epäpuhtauksien leviämistä ja tehty paikallisista ongelmista kansallisia ja maanosan laajuisiakin ongelmia (mukaan lukien ympäristön happamoituminen).

Painopiste on jonkin verran siirtynyt välittömistä vaikutuksista pitkäaikaisvaikutuksiin, ja mm. ympäristöperäistä syövän syntyä pyritään aktiivisesti selvittämään. Liikenneperäiset päästöt lisääntyivät 1990-luvulle saakka, koska automäärän kasvu kumosi sen teknisen edistyksen tuoman hyödyn, mikä autoa kehittämällä saavutettiin. Niin sanotut viisi suurta ilmansaastetta ovat häkä, rikkidioksidi, hiilivedyt, hiukkaset (noki, tuhka jne.) ja typen oksidit (NO ja NO<sub>2</sub>). Näistä ulkoilman häkä (häkämyrkytys, ks. luku 72) on terveysvaara ainoastaan poikkeuksellisissa olosuhteissa (syvissä katukuiluissa, liikennetunneleissa) ja rikkidioksidin merkitys on vähentynyt. Sen sijaan typen oksidien ja hiukkasten suhteellista

- *välittömät vaikutukset*

- *pitkäaikaisvaikutukset*

• *hiilidioksidi ja kasvihuoneilmiö*

terveysmerkitystä pidetään huomattavana. Viime vuosina on saatu merkittävää lisätietoa kaikkein pienimpien hiukkasten (ns. PM10 ja PM2,5 eli 10 µm:ä pienemmät ja 2,5 µm:ä pienemmät hiukkasfraktiot) merkityksestä. Itse asiassa merkittävimpiä saattavat olla erittäin pienet hiukkaset, joiden läpimitta on vain muutamia kymmeniä nanometrejä. Niitä syntyy etenkin liikenteen pakokaasuista. Hiilivedyistä pidetään haitallisimpina niitä, jotka ovat sitoutuneet noki- ja tuhka-hiukkasten pintaan. Näihin kuuluu mm. monia syöpää aiheuttavia polyaromaattisia hiilivetyjä ja aromaattisia amiineja.

Kokonaan oma lukunsa on hiilidioksidi, jota tähän saakka ei ole pidetty edes saasteena, vaikka sitä luonnollisesti syntyy polttoaineiden palaessa kaikkein eniten. On kuitenkin varsin vakuuttavasti osoitettu – mm. kairaamalla ja analysoimalla napajäätiköiden jäätä 160 000 vuoden ajalta tai järvenpohjasedimenttejä – että maapallon lämpötila on yhteydessä ilmakehän hiilidioksidipitoisuuteen. Siten hiilidioksidin lisääntyminen aiheuttanee tulevaisuudessa ilmaston lämpenemistä (ilmastonmuutos eli kasvihuoneilmiö). Seuraavien 50 vuoden ajaksi ennustetut muutokset ovat suurempia kuin kertaakaan koko ihmisen kehityshistorian aikana. Tällä on luonnollisesti varsin suuret vaikutukset mm. kasvillisuuteen ja maanviljelyyn. Terveysvaikutuksia on odotettavissa satomuutosten ja siitä seuraavan paikallais- ja muuttoaallon seurauksena, tartuntatautien leviämisen takia (mm. malarian ennustetaan leviävän Eurooppaan ja Pohjois-Amerikkaan) sekä merenpinnan muutosten aiheuttamien tulvien takia.

### **Pelkistävä pollutio: rikkidioksidi**

Pelkistävä pollutio on tyypillinen kylmälle ja kostealle ilmatolle. Sen tyypillisin muoto oli Lontoon kuuluisa savusumu (smog), jota esiintyi menneinä vuosikymmeninä kivihiihtakan ollessa yleinen. Savusumu aiheutuu epätäydellisestä palamisesta, ja sen tärkeimmät komponentit ovat hiukkaset (savu) ja kivihiihtä poltettaessa rikkidioksidi. Rikkidioksidi hapettuu kosteassa osittain rikkihapoksi, etenkin lentotuhkassa olevien metallioksidien katalysoidessa reaktiota.

• *SO<sub>2</sub> ja H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>*

Rikkidioksidin ja rikkihapon tyypillinen vaikutus hengitysteissä on ärsytys, tulehdusreaktio ilman infektiotakin ja hermoston kautta välittyvä reflektorinen keuhkoputkien supistuminen. Astmaattiset henkilöt ovat erityisen herkkiä. Koska rikkidioksidi on varsin vesiliukoista, suuri osa siitä jää ylähengitysteiden kosteisiin limakalvoihin varsinkin pitoisuuksien ollessa suuret. Osa menee kuitenkin keuhkorakkuloihin saakka ja aiheuttaa kudonvaurioita. Hiukkaset voimistavat vahvasti rikkidioksidin vaikutuksia, koska ne katalysoivat paljon voimakkaammin ärsyttävän rikkihapon syntyä. Rikkidioksidin päästöt ovat Suomessa vähentyneet noin 650 000 tonnista 1970-luvun lopussa noin 100 000 tonniin vuonna 1997. Tämä onkin eräs parhaiten onnistuneita ilmansuojelutoimia.

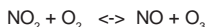
## 76. Terveydelle haitalliset yhdyskuntailman saasteet ja toksiset aineet

Savu sisältää runsaasti syöpää aiheuttavia aineita, kun palaminen on epätäydellistä. Tiheimmillä teollisuusalueilla mm. Keski- ja Itä-Euroopassa tavataan ajoittain sellaisia saastepitoisuuksia, että ne vaikuttavat myös välittömästi terveyteen. Vaaravyöhykkeessä ovat erityisesti hengitystiesairauksia sairastavat, vanhukset ja pikkulapset. Tunnetuin akuutti savusumuepisodi, josta on selvät epidemiologiset tiedot, on Lontoon sumu 5.–9.12.1952, jolloin on arvioitu noin 4 000 ihmisen kuolleen (kuva 76-1). 1990-luvun aikana on saatu vakuuttavaa epidemiologista näyttöä siitä, että kaikkein hienojakoisimmilla hiukkasilla on selvä yhteys sekä kuolleisuuteen että sairastuvuuteen, ja mahdollisesti ne olivat Lontoon episodissakin rikkidioksidia tärkeämpiä.

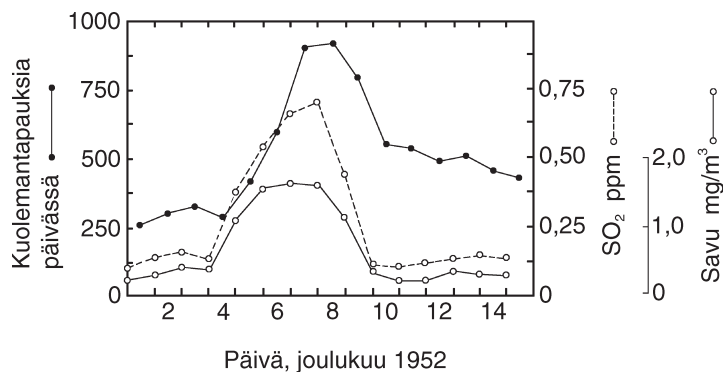
• *savu*

### Hapettava polluutio: typen oksidit ja otsoni

Hapettavalle polluutiolle eli fotokemialliselle polluutiolle on tyypillistä typen oksidien, otsonin ja hiilivetyjen esiintyminen. Typpidioksidin tärkein tuottaja on liikenne, mutta sitä voivat tuottaa myös energiantuotanto ja paikallisesti kemian teollisuus. Typen oksidien päästöt Suomessa olivat 260 000 tonnia vuonna 1997. Aurinгон ultraviolettivalon vaikutuksesta typpidioksidista ja hapesta syntyy typpimonoksidia ja otsonia. Reaktio on yleensä kaksisuuntainen. Etenkin autoliikenteen hiilivetypäästöt sekoittavat kuitenkin tasapainon, ja vahvasti hapettavaa otsonia sekä ärsyttäviä aldehydejä ja muita hapettumistuotteita alkaa kertyä ilmaan typen oksidien ohella.



Otsoni ja typen oksidit ovat ns. "syviä" ärsyttäjiä. Ne ovat huommin vesiliukoisia kuin rikkidioksidi. Siksi ne eivät jää nenän ja ylähengitysteiden limakalvoihin, vaan menevät keuhkojen alveoleihin saakka ja aiheuttavat turpoamista ja pienimpien keuhkoputken haarojen vaurioitumista. Ne vaurioittavat myös keuhkojen fagosytoivia soluja ja syöttösoluja, mikä edelleen pahentaa seinämävauriota. Otsoni ja typpidioksidi herkistävät hengitysteitä bakteri- ja virusinfektioille sekä allergeenien vaikutuksille. Pitkäaikaisvauriot



Kuva 76-1. Kuolemantapauksien yhteys päivittäiseen ilman saastumiseen Lontoon saaste-episodin aikana 1952.

saattavat johtaa emfyseemaan. Otsoni ja typpidioksidi ovat yhteydessä myös välittömään hengitystiesairastuvuuteen, ja niitä pidetään nykyään hiukkasten ohella tärkeimpänä yhdyskuntailman terveysriskinä.

### Raskasmetallit ja radioaktiiviset metallit

Energiantuotannosta aiheutuu myös merkittäviä metallien ja radioaktiivisten aineiden päästöjä. Metalleista määrältään suurimmat ovat rauta ja alumiini, joilla ei ole mainittavaa toksikologista merkitystä. Etenkin kivihiilestä ja raskaasta polttoöljystä tulee kuitenkin myös runsaasti arseenia, raskasmetalleja ja karsinogeenisiä metalleja (elohopeaa, kadmiumia, nikkeliä, berylliumia) ja lyijytetystä bensiinistä suuria määriä lyijyä (ks. luku 74). Kivihiilen ja turpeen poltto aiheuttaa myös melko suuret radioaktiivisten metallien päästöt (uraani, torium, radium, polonium) – itse asiassa nämä radioaktiivisuuspäästöt ovat suuremmat kuin vastaavan energiamäärän tuottavan ydinvoimalan suurimmat sallitut päästöt.

### Formaldehydi ja muut aldehydit

- *formaldehydi* Formaldehydi on ennen muuta limakalvoja ärsyttävä aine, mutta kokeellisten eläintulosten perusteella on keskusteltu paljon myös sen aiheuttamasta nenän limakalvojen syövästä. Vaara ihmiselle on jäänyt epäselväksi aineen runsaasta käytöstä huolimatta, ja rajoitustoimet perustuvatkin ärsyttävyyteen. Formaldehydi on erittäin vesiliukoinen, joten pääosa siitä jää hengitysteiden yläosan limakalvoihin. Siten oireet ovat nenän ja ylähengitysteiden sekä silmien sidekalvon ärsytys ja punoitus ja reflektorinen hengenahdistus.

Formaldehydiä tulee ulkoilmaan ennen muuta liikenteestä, paikallisesti myös teollisuuspäästöinä (lastulevy- ja ureaformaldehydimuoviteollisuus). Formaldehydi on myös tärkeä sisäilman laadun määrääjä, koska sitä vapautuu lastulevyistä ja muoviliimoista. Sitä on myös tupakansavussa.

- *akroleiini* Toinen liikenteen tuottama ja fotokemialliseen polluutioon liittyvä aldehydi on akroleiini. Se on huomattavasti potentimpi kuin formaldehydi ja supistaa voimakkaasti keuhkoputkia. Muuten vaikutukset muistuttavat formaldehydin vaikutuksia.

### Ilman saastumisen aiheuttamat sairaudet

- *kuolleisuus* Vaikka Lontoon sumukatastrofin kaltaisten välittömään kuolleisuuteen johtavien ongelmien luultiin teollistuneissa maissa olevan jo ohi, on sekä pienten hiukkasten että otsonin vaikutuksena pystytty osoittamaan epidemiologisesti mitattava kuolleisuuden lisääntymi-

## 76. Terveydelle haitalliset yhdyskuntailman saasteet ja toksiset aineet

Taulukko 76-1. WHO:n suosituksia eräiden ilmansaasteiden enimmäispitoisuuksien ohjearvoiksi (WHO, 1997).

Aine	Tuntikeski-arvo	Vuorokausi-keskiarvo	Vuosikeskiarvo tai eliniän riski
Arseeni			$1,5 \times 10^{-3}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>-1</sup> (elinajan riski)
Bentseeni			$6 \times 10^{-6}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>-1</sup> (elinajan riski)
Dikloorimetaani (metyleenikloridi)		3 mg/m <sup>3</sup>	
Elohopea			1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Formaldehydi	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (30 min)		
Hiilimonoksidi	30 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup> (8 tuntia)	
Kadmium			5 ng/m <sup>3</sup>
Kromi (Cr VI)			$4 \times 10^{-2}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>-1</sup> (elinajan riski)
Lyijy			0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Mangaani			0,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Mineraalikulidut			$1 \times 10^{-6}$ (kuitu/litra) <sup>-1</sup> (elinajan riski)
Nikkeli			$3,8 \times 10^{-4}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>-1</sup> (elinajan riski)
Otsoni		120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8 tuntia)	
PAH [bentso(a)pyreeni]			$8,7 \times 10^{-5}$ (ng/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (elinajan riski)
Radon			$3-6 \times 10^{-5}$ Bq/m <sup>3</sup> (elinajan riski)
Rikkidioksidi	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10 min.)	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Styreeni		0,26 mg/m <sup>3</sup> (viikko)	
Tetrakloorietyleeni		0,25 mg/m <sup>3</sup>	
Tolueeni		0,26 mg/m <sup>3</sup> (viikko)	
Trikloorietyleeni			$4,3 \times 10^{-7}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>-1</sup> (elinajan riski)
Typpidioksidi	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Karsinogeenisille aineille WHO ei ehdota raja-arvoja, vaan ilmoittaa arvioidut syöpäriskit elinaikaista jatkuvaa altistuspuitoisuutta kohti.

nen. WHO on arvioinut 100 000 – 400 000 ihmisen kuolevan vuodessa Euroopassa ilmansaasteiden takia vähintään vuoden ennenaikaisesti. Kyse on paitsi hengitystiesairauksista, myös verenkiertoelimistön sairauksista. Mekanismi ei ole vielä selvillä, mutta mm. sytokiinien tai muiden tulehduksen välittäjäaineiden on epäilty olevan osallisia keuhkojen ääreisosissa ja mahdollisesti sydämessä esiintyvään aseptiseen tulehdusreaktioon.

Tyypillinen ja hyvin tunnettu seuraus erityisesti kontrolloimattomasta kivihiilen poltosta on krooninen bronkiitti, joka oli Englannissa 1960-luvulle saakka todellinen kansantauti. Se muistuttaa sekä synnyltään että oireiltaan läheisesti ”tupakkayskää”. Kroonisen obstruktiivisen hengitystiesairauden eli keuhkohtaumataudin ja keuhkoemfyseeman kiistaton osoittaminen ilman saastumisesta johtuvaksi on vaikeaa, mutta yhteys on todennäköinen. Näiden tautien oireet pahenevat selvästi ilman laadun huonontuessa. Samoin astman oireisiin ilman laadun vaikutus on varsin selvä, mikä voidaan helposti

- bronkiitti
- keuhkohtaumatauti ja emfyseema
- astma

osoittaa mm. oirepäiväkirjaa pitämällä. Astman ja allergian lisääntyminen tällä vuosisadalla on varsin selvä, mutta sen yhteys ympäristön saastumiseen on hyvin kiistanalainen asia.

- *infektiot*

Viime aikoina on käynyt ilmeiseksi, että ilman saastuminen lisää lasten infektioita ja infektio-oireita, kuten yskää, mitattavissa määrin jopa Suomessa. Syyksi voisi epäillä ennen muuta hiukkasia, typen oksideja ja otsonia. Keuhkosityöpäsairastuvuuden yhteyttä ilman laatuun on melko vaikea osoittaa epidemiologisesti, koska sekoittavia tekijöitä on useita (pahin on tupakointi, ks. taulukko 26-4) ja muissa suhteissa täysin vastaavia paikkakuntia on vaikea löytää. Kuitenkin mm. amerikkalaisissa tilastoissa keuhkosityöpäkuolleisuus ja väestön odotettavissa oleva elinikä korreloivat kaupungin ilman pitkäaikaiseen laatuun, ja Puolan kivihiili- ja terästeollisuusalueilla keuhkosityöpä on lisääntynyt. Epäsuoraa todistusaineistoa mm. tupakoinnista ja epäpuhtauksien koe-eläintestauksesta on runsaasti, joten savun syöpää aiheuttavia ominaisuuksia voidaan pitää varsin hyvin osoitettuna ja riskejä täysin realistisina. Tämän takia sekä liikenteen että energiantuotannon päästöihin kiinnitetään yhä enemmän huomiota kansanterveydellisinä tekijöinä.

- *syöpä*

*Jouko Tuomisto*