



LEARNING TOXICOLOGY
THROUGH OPEN EDUCATIONAL
RESOURCES

KAASUMAISTEN PÄÄSTÖJEN KULKEUTUMINEN KAUPUNKIYMPÄRISTÖSSÄ

Dana PERNIU, Ileana MANCIULEA

Transilvania University of Brasov

d.perniu@unitbv.ro, i.manciulea@unitbv.ro

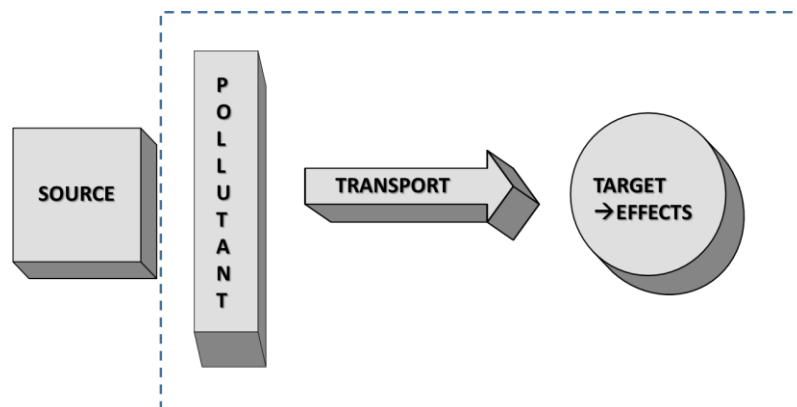
Käännös Merja Mäkelä



1. KAASUMAISTEN PÄÄSTÖJEN KULKEUTUMINEN ILMASSA - YLEISIÄ HUOMAUTUKSIA

Kuten edellisissä jaksossa esitettiin, saastumista koskevan käsitteen ymmärtämistä lähestytään integroidulla tavalla ottaen huomioon pilaantumisen lähde, epäpuhtauksien vapautuminen, sen kulkeutuminen ja vaikutukset ihmisten terveyteen, luontoon ja rakentamiseen.

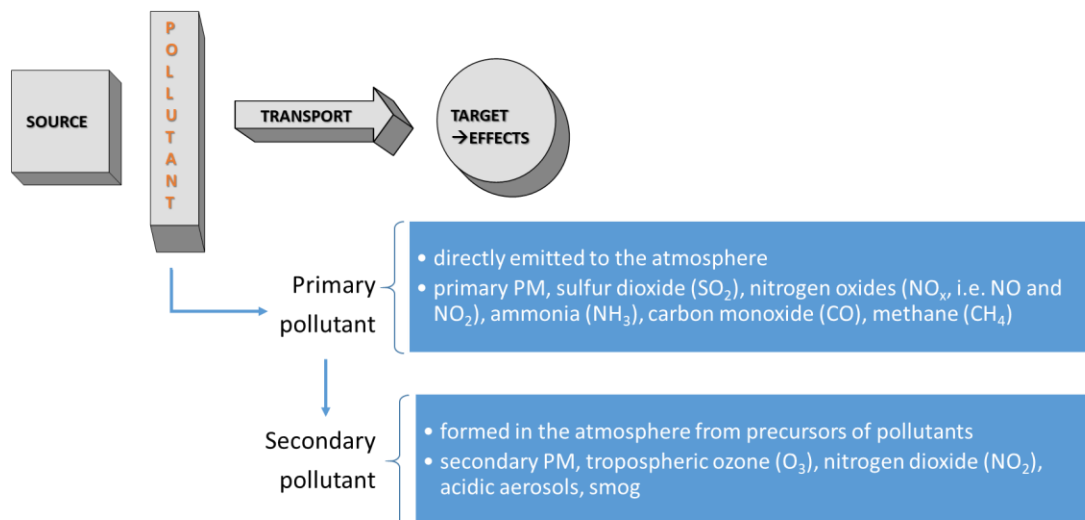
Tämän osan tavoitteena on esittää saasteiden kulkeutuminen ympäristössä, joka perustuu fysikaalisiin ja kemiallisiin prosesseihin, joissa ilmakehän epäpuhtaudet ovat mukana. Suoraan kulkuun yhteydessä meillä on kysymys "mistä epäpuhtaudet saapuvat?". Tätä muunnetaan analysoimalla epäpuhtauksien vaikutukset ihmisten terveyteen ja luonnolliseen ja rakennettuun ympäristöön.



Ilmakehän epäpuhtaudet voivat olla suoraan ilmakehässä tai muodostuvat ilmakehän komponenttien välisistä reaktioista. Ensisijaiset epäpuhtaudet emittoituvat suoraan ilmakehään, kuten primäärihiukkaspäästöt, rikkidioksidi, ammoniakki, hiilimonoksidi, metaani.

Toissijaiset epäpuhtaudet ovat niitä, jotka muodostuvat kemiallisten reaktioiden kautta esiasteista, jotka voivat olla epäpuhtauksia. Toissijaisista epäpuhtauksista mainittakoon toissijaiset hiukkaspäästöt, troposfäärin otsonit, typpidioksidi, happo-aerosolit ja savusumu.

Euroopan unionin asiakirjoissa keskeiset ilman epäpuhtaudet ovat niitä, jotka aiheuttavat eniten haitallisia vaikutuksia ihmisten terveyteen, ja ne ovat hiukkaspäästöjä, typpidioksidia ja troposfääristä otsonia. Seuraavissa osissa kuvataan näitä epäpuhtauksia yhdessä rikkidioksidin kanssa merkittävänä ilmakehän epäpuhtautena.



Kaasumaiset epäpuhtaudet kulkeutuvat ilmakehän tasolla dispergoitumalla, mikä aiheutuu ilmamassojen liikkeistä. Ilmakehän prosessit erotetaan fysikaalisina ja kemiallisina prosesseina, ja molemmat voivat toimia samanaikaisesti monimutkaisina ja toisistaan riippuvaisina. Ilmakehän tuulen kuljetuksen fysikaaliset prosessit ja pilvien muodostuminen ja saostuminen vaikuttavat voimakkaasti happamien kerrostumien muotoihin ja määriin, kun taas kemialliset reaktiot ohjaavat muodostuvia yhdisteitä.

Kemiallisen vakauden huomioon ottaen nämä saasteet voivat kulkeutua eri etäisyyksille lähteestä aiheuttaen paikallista, alueellista tai maailmanlaajuista saastumista. Aineen siirtäminen ilmassa pintoihin, mukaan lukien maaperä, kasvillisuus, pintavesi tai sisäpinnat, tapahtuu kuivalla tai märällä prosessilla, jota kutsutaan ilmakehän kerrostumaksi. Kuivattu laskeuma sisältää ei-vesipohjaisia kemikaaleja, tavallisesti sisältäen ei-polaarisia molekyylejä. Märkä kerrostuminen on prosessi, joka käsittää epäpuhtauksien siirtämisen maapallon pintaan sateella, lumella tai sumuvesiliuoksella. Jos ilmakehä on saastunut happamista epäpuhtauksista (rikkioksidit, sulfaatit, typpioksidit, nitraatit ja ammoniumyhdisteet), kerrostumista kutsutaan happamaksi kerrostumaksi ja se voi olla joko märkä (epäpuhtaus, joka on liennut ilmakehään ja happamainen saostuminen tapahtuu) tai kuiva (happoa saastuttavat aineet adsorboidaan hiukkasiin ja sijoitetaan vedettömään muotoon).

Ilmakehässä tapahtuu valtava määrä kemiallisia reaktioita. muutamia esimerkkejä ovat:

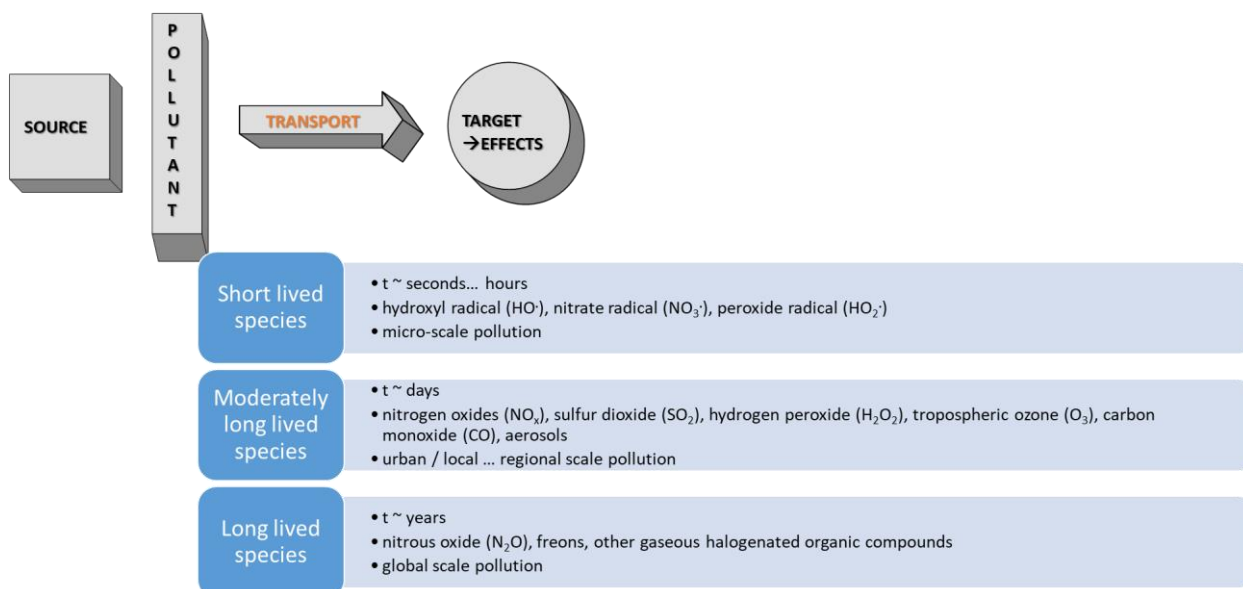
- *Valokemialliset prosessit* ovat auringon valoenergian aiheuttamia kemiallisia reaktioita. Esimerkkinä on typen oksidien reaktio hiilivetyjen kanssa auringonvalon läsnäollessa otsonin muodostamiseksi. Troposfäärisen otsonin, fotokemiallisen smogin muodostuminen ovat merkityksellisiä esimerkkejä tämän tyyppisistä reaktioista muodostetuista toissijaisista epäpuhtauksista.

- *Happo-emäsreaktioita* esiintyy veden läsnäollessa happamien lajien (kuten hiilidioksidin, SO_2 : n, NO_x : n jne.) ja emäksisten lajien (enimmäkseen NH_3) välillä. Happamat saostumat, sulfaatti-aerosolit ovat tämän tyyppisille prosesseille olennaisia.
- *Redox-reaktioita* esiintyy vastakkaisen luonteen omaavien yhdisteiden tai aineiden välillä. Aineet, kuten O_2 , vetyperoksidi, hydroksyyliiradikaali, otsoni toimivat hapettimina, kun taas rikkidioksidi, typpimonoksidi ja hiilimonoksidi voivat hapettaa ilmakehässä, mikä synnyttää toissijaisia epäpuhtauksia.

Auringonvalon säteilyn aiheuttaessa ilmakehässä muodostuu aggressiivisia yhdisteitä, joilla on suuri reaktiivisuus ja erittäin lyhyt käyttöikä sekuntien ja useiden tuntien välillä. Nämä yhdisteet aiheuttavat saastumista mikroympäristötasolla ja osallistuvat sekundääristen epäpuhtauksien tuottaviin reaktioihin. Esimerkiksi hydroksyyliiradikaalia, joka liittyy lukuisiin kemiallisiin ja valokemiallisiin prosesseihin orgaanisten tai epäorgaanisten yhdisteiden kanssa, kutsutaan "ilmakehän puhdistusaineeksi".

Yhdisteet, jotka ovat kohtuullisen pitkäikäisiä, vaihtelevat eri päivinä, ovat primäärisiä tai sekundäärisiä epäpuhtauksia, aiheuttavat pilaantumista paikallisella tasolla, kaupungeissa tai maaseudulla.

Vakaimmat yhdisteet (joilla on erittäin alhainen reaktiivisuus), joiden pitkäikäisyys on vuosissa, voivat kulkeutua pitkiä matkoja troposfäärissä tai korkealla ja aiheuttaa saastumista maailmanlaajuisesti. Esimerkki sisältää typpioksidin ja hiilidioksidin, jotka ovat kasvihuonekaasuja ja joilla on merkittävä vaikutus ilmastonmuutokseen.



Ilman saastumisen vaikutukset voivat saavuttaa eri tavoitteet ja reseptorit. Yleisesti ottaen ihmisten terveydentilan suhteen ilman saastuminen aiheuttaa suuren riskin hengitys-, sydän- ja verisuonitaudeille ja voi myös vaikuttaa keskushermoston toimintaan. Ihmisen altistuminen määritellään tapahtumaksi, kun henkilö joutuu kosketukseen tiettyyn pitoisuuteen tietyn ajanjakson aikana. Altistuminen tapahtuu, kun ihmiset viettävät aikaa saastuneessa ympäristössä. Altistuminen riippuu ilman saastumisesta ympäristössä, jossa ihmiset viettävät aikaa, saastuneessa ympäristössä kuluttamasta ajasta ja myös henkilökohtaisesta toiminnasta.

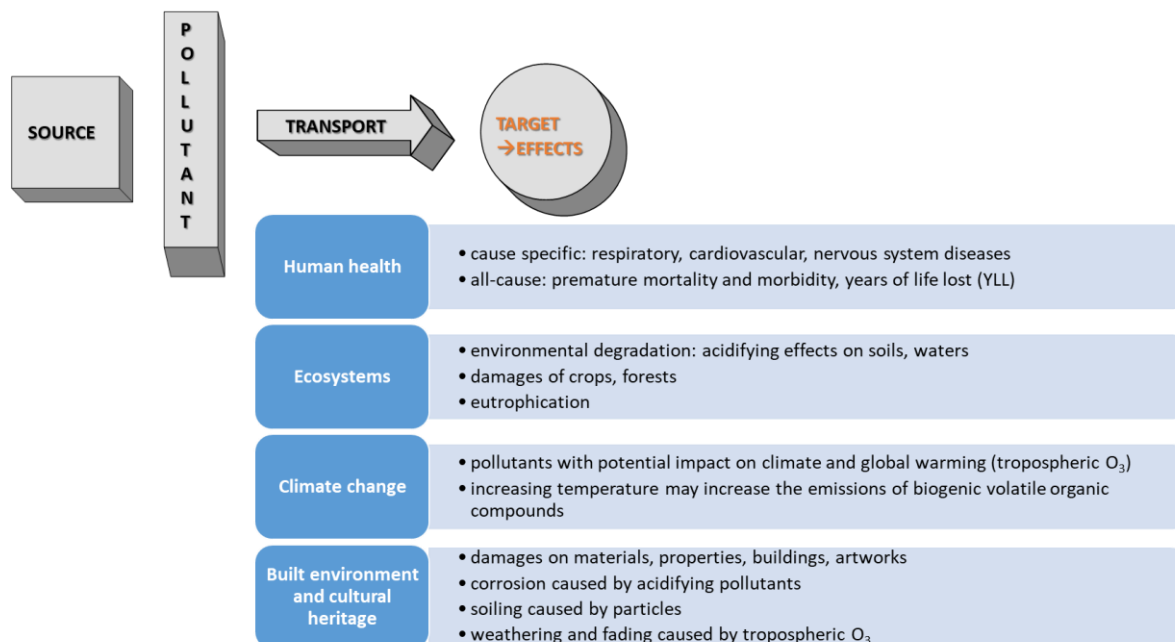
Maailman terveysjärjestö mainitsee seuraavat vaikutukset erityisten oireiden seurauksena:

- **Lyhytaikaisen altistuksen** jälkeen (muutaman vuoden välein tai päivinä) – Vaikutukset ovat sidoksissa akuutteihin terveysvaikutuksiin, kuten vinkuminen, yskä, vatsan tuotanto, hengitysteiden infektiot, keuhkofysiologisten muutosten fysiologiset muutokset. Lisäksi tulevat kuolleisuus, hengityselinten, sydän- ja verisuonitautien sairaalakäynnit, sydän- ja verisuonitautien poliklinikkakäynnit, sydän- ja verisuonitautien hoitotarkastukset, hengitys- ja sydänlääkkeiden käyttö, rajoitetun toiminnan päivät, työpoissaolot, koulupoissaolot.
- **Pitkäaikainen altistuminen** (yli kuukausia tai vuosia) - liittyy krooniseen sairauteen: sydän- ja verisuonitaudit, krooninen hengityselinsairaus, krooninen hengityselinten sairaus ja esiintyvyys, kuten astma, krooniset muutokset fysiologisissa toiminnoissa, keuhkosityöpä, krooninen sairaus sydän- ja verisuonitaudit, kohdunsisäiset rajoitukset.

Ilmanlaadun huonosta vaikutuksesta ihmisten terveyteen arvioidaan määrällisillä indikaattoreilla, kuten kuolleisuus, sairastuvuus, ennenaikaiset kuolemantapaukset, menetetyt elinvuodet.

- *Kuolleisuus* heijastaa elinikäodotuksen pienenemistä johtuen ilmansaasteiden aiheuttamista ennenaikaisista kuolemista. Sairastuvuus liittyy sairauden esiintymiseen ja sairauden ja vammaisuuden vuosiin, jotka vaihtelevat subkliinisistä vaikutuksista ja oireista, kuten yskästä, kroonisiin sairauksiin, jotka vaativat sairaalahoitoa. Eliniänodote on vuosien määrä, jonka henkilö voi odottaa elävän keskimäärin, joka perustuu väestön kuolemansyitä koskevien tietojen arviointiin.
- *Ennenaikaiset kuolemat* ovat kuolemantapauksia, jotka tapahtuvat ennen kuin henkilö saavuttaa odotetun iän. Tämä odotettu elinikä on yleensä maan tai sukupuolen tavanomaisen elinajanodote. Ennenaikaiset kuolemantapaukset ovat estettävissä, jos niiden syy voidaan poistaa.
- *Menetetyt elinvuodet (Years of Life Lost YLL)* määritellään vuosien lukumäärän potentiaalisen elämän menetetty johtuen ennenaikaisesta kuolemaa. Se on arvio vuosien

keskimääräisestä lukumäärästä, jonka henkilö olisi elänyt, jos hän ei olisi kuollut ennaikaisesti.



Euroopan unionin jäsenmaiden tasolla arvioitiin tärkeimpien ilman epäpuhtauksien PM_{2.5}, NO₂, O₃ vaikutukset tiettyjen terveystuntareiden - ennaikaisten kuolemien ja menetettyjen elinvuosien perusteella.

Saasteiden osalta arvioitiin vuosina 2013-2015 kaupunkialueiden väestön prosentuaalinen osuus altistumiselle saastuneista aineista, jotka ylittävät Euroopan unionin ja Maailman terveysjärjestön asettamat raja-arvot. Alla olevassa taulukossa esitetään arvio vuosien 2019-2000 EU: n 28 jäsenvaltiossa 100 000 henkilön menettämien vuosien arvojen arvosta epäpuhtauden altistumisen vuoksi. Tiedot on otettu muodossa "Ilmanlaatu Euroopassa - 2017-raportti".

Raportissa todettiin, että indikaattorin ja ilman epäpuhtauspitoisuuden välillä on suora korrelaatio.

| | | |
|--|--|---|
| <p>Exposure to PM_{2.5} 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • EU reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 25 µg/m³ (year) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 7 – 8% | <p>Exposure to PM_{2.5} 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • WHO reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 10 µg/m³ (year) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 82– 85% | <p>Years of life lost – PM_{2.5} (2014)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 708 years of life lost / 100 00 inhabitants |
| <p>Exposure to NO₂ 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • EU reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 40 µg/m³ (year) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 7 – 9 % | <p>Exposure to NO₂ 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • WHO reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 40 µg/m³ (year) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 7 – 9 % | <p>Years of life lost – NO₂ (2014)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 486 years of life lost / 100 00 inhabitants |
| <p>Exposure to O₃ 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • EU reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 120 µg/m³ (8 - hour) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 7 – 30 % | <p>Exposure to O₃ 2013 – 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • WHO reference concentration: <ul style="list-style-type: none"> • 100 µg/m³ (8 - hour) • % urban population: <ul style="list-style-type: none"> • 95 – 98 % | <p>Years of life lost – O₃ (2014)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 29 years of life lost / 100 00 inhabitants |

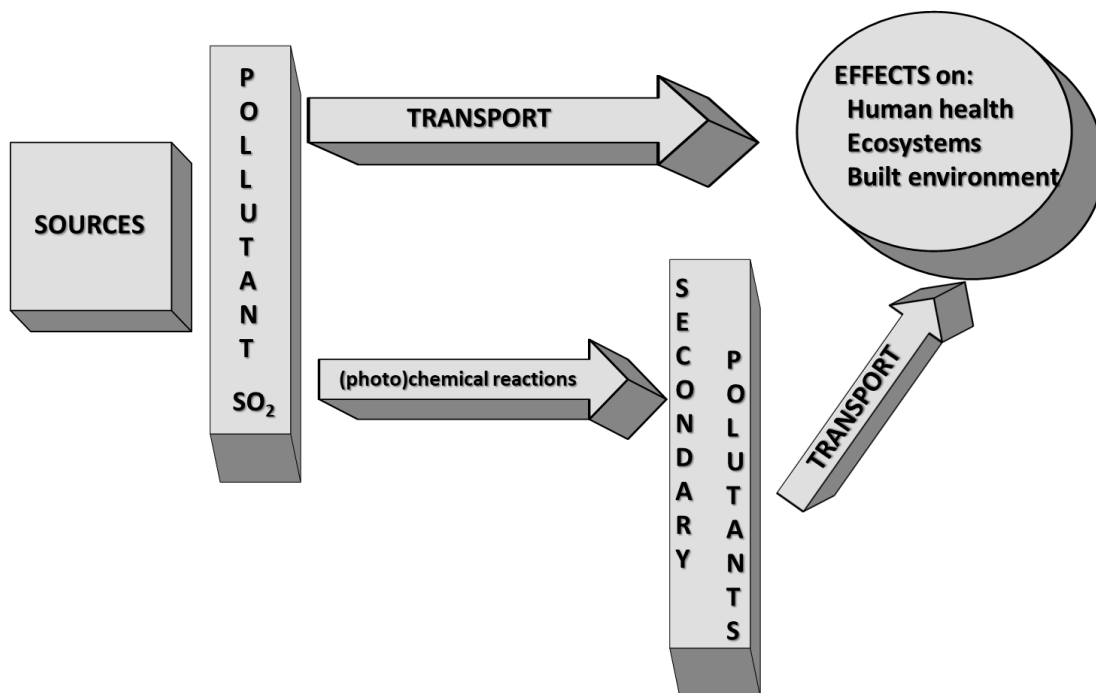
Ilman saastumisen vaikutus ekosysteemeihin ilmenee alentaen ympäristön tekijöiden laatua, kuten maaperän, makean veden tai järven happamoituminen, viljelmien, metsien tai rehevöitymisen aiheuttamat vahingot.

Saastuneen ilmakehän komponentit vaikuttavat ilmastomuutoksiin, mikä vaikuttaa keskilämpötilan nousuun.

Ilmakehän saastuminen vaikuttaa myös rakennettuun ympäristöön, kulttuuriperintöön rakennusmateriaalien vahingoittumisena, metallisten materiaalien korroosiona, pinnan likaantumisenä ja häviämisenä.

1. RIKKIDIOKSIDI

Rikkidioksidi on ilmakehän ensisijainen epäpuhtaus, joka on peräisin suoraan saastelähteistä. Ilmakehässä sitä voivat kuljettaa ilmamassat tai se voi osallistua fysikaalisiin, kemiallisiin tai valo-hapettumisprosesseihin aiheuttaen sekundaarisia epäpuhtauksia, joilla on erittäin haitallisia vaikutuksia ihmisen terveyteen ja luonnolliseen ja rakennettuun ympäristöön.



1.1. SO₂-päästöjen lähteet

Rikkidioksidia voi syntyä luonnollisista tai antropologisista lähteistä. Tulivuorenpurkautumisen, paikallisen luonnon saastumisen lähteenä ilmakehässä vapautuu valtavia määriä rikkidioksidia. Esimerkiksi Filippiinien kesäkuussa 1991 tapahtuneen Pinatubon tulivuoren purkautumisen yhteydessä ilmakehässä vapautui 20 megatonnia rikkidioksidia. Rikkidioksidipäästöjen toinen luonnollinen lähde on rikkiä sisältävän orgaanisen aineen biologinen hajoaminen proteiineista. Hajoamistuote on vetysulfidi, joka hapettuu rikkidioksidiksi.

Antropologisista lähteistä tärkein on fossiilisten polttoaineiden palaminen. Sekä kivihiili että raakaöljy sisältävät rikkiä, joka synnyttää poltossa rikkidioksidia muiden primaaristen ja sekundaaristen epäpuhtauksien kanssa. Prosesseja parantamalla bensiinin rikkipitoisuus pienenee, joten tieliikenteen aiheuttamat SO₂-päästöt eivät ole kovin korkeita. Muun kuin maantieliikenteen päästöt ovat hieman suuremmat, sillä raakaöljyä (jossa on korkeampi rikkipitoisuus) poltetaan, mikä edistää SO₂-päästöjä. Fossiilisten polttoaineiden palamisen aiheuttamien päästöjen suurin osuus tulee kivihiilen polttamisesta, koska tällä energiankuljettajalla on korkea rikkipitoisuus. On huomattava, että viimeisten vuosikymmenten aikana SO₂-päästöt vähenevät pääasiassa teknisen kehityksen vuoksi rikin poistamisesta polttoaineesta ja pakokaasuista.

Tärkeä rikkidioksidin lähde on raudaton sulatusteollisuus. Tällöin sulfidimalmien kuumennusprosessi tuottaa rikkidioksidia.

- volcanic eruption
 - Localized natural source
 - e.g. Mt. Pinatubo, Philippines, June 1991
- biogenic emissions
 - Oxidation of sulfur gases (e.g. H₂S) produced by decomposition of plants



coal
combustion

- Depending on geographic area from which is mined, coal contains 1...9% S
- Coal burning for energy production is the major source for SO₂ atmospheric emissions



oil
combustion

- Shipping burns residual fuel oil, thus non-road transportation like maritime transportation is source for SO₂ atmospheric emission

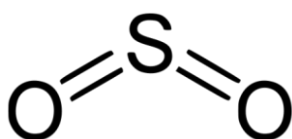


non ferrous
smelting
industry

- During conversion of Copper, Nickel, Zinc sulfide ores, large quantities of SO₂ are emitted in atmosphere

1.2. SO₂-ominaisuudet

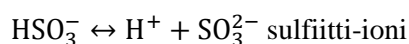
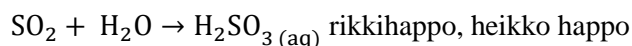
Rikkidioksidi on kaasumaista, väritöntä spesifisellä hajuyhdisteellä. Sillä on ei-polaarinen molekyyli, joka mahdollistaa kuivan kerrostumisen. Se on myös liukoinen veteen, mikä mahdollistaa myös märän kerrostumisen saostumisen. Se reagoi veden kanssa, tuloksena on rikkihappo, heikko happo, joka tuottaa kahta anionityyppiä - bisulfiitti ja sulfiitti.



Väritön, terävä, kova tuoksu

SO₂ ei-polaarinen molekyyli → kuiva laskeuma

Erittäin vesiliukoinen → märkä laskeuma



1.3. SO₂ atmospheric concentration limits

Saastumattomassa ilmakehässä rikkidioksidin määrän tulisi olla keskimäärin yksi osa miljoonasta. Antropisten päästöjen vuoksi sen pitoisuus kasvaa. Ilmanlaatudirektiivin ja Maailman terveysjärjestön suosittelemien raja-arvojen perusteella on luotu ihmisten terveyden suojele.

Euroopan komission ilmanlaatustandardi (EU-AQD):

350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1 tunnin keskiarvo

125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24 tunnin keskiarvo

WHO: n ilmanlaadun suuntaviiva (WHO-AGQ):

20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24 tunnin keskiarvo

500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10 minuutin keskiarvo

EU:n ilmanlaadun raportin mukaan vuonna 2015 30 prosenttia kaikista SO_2 -asemista ilmoitti pitoisuutensa WHO:n päivittäisen ohjearvon yläpuolelle, joten 38 prosenttia EU-28-kaupunkiväestöstä altistui SO_2 -tasolle, joka ylittää terveyden suojelun rajan. On huomattava, että sen rekisteröinti väheni huomattavasti, koska vuonna 2000 80 prosenttia EU:n kokonaisväestöstä oli alttiina SO_2 : n ylittymiselle.

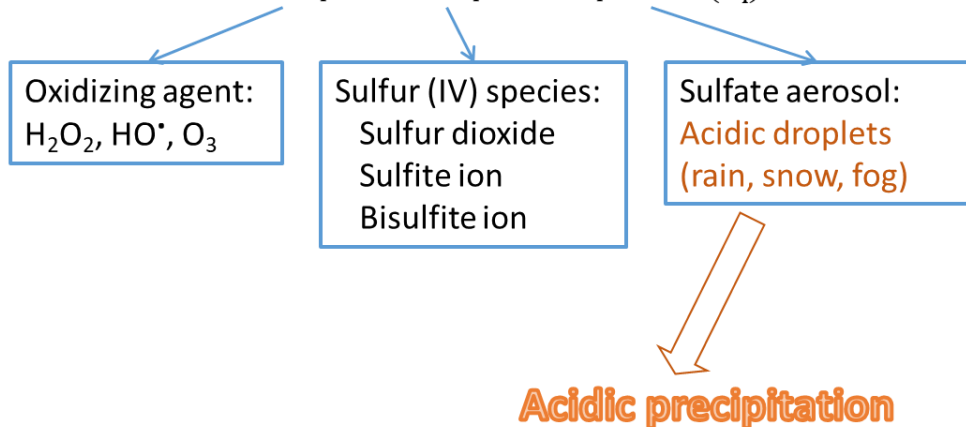
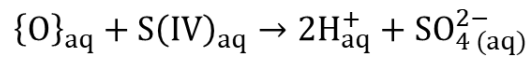
1.4. SO_2 :n kulkeutuminen ilmaitse

Ilmakehästä rikkidioksidi kulkeutuu kuivalla kerrostumalla ja se kiinnittyy hiukkaspäästöihin. Ilmakehän veden ja oksidatiivisten lajien, kuten vetyperoksidin, hydroksyyliiradikaalin, otsonin, rikkidioksidin tai sulfiitti-anionien sisältämän tetravalenttisen rikin läsnäollessa hapettuu heksaanivalenttiseksi rikiksi, sulfaatti-anioneiksi. Hapetus tapahtuu tuntien tai päivien aikana. Hapettumisprosesseissa muodostuu vetyioneja, jolloin reaktiotuote on rikkihappo liuotettuna ilmakehään. Niinpä syntyvät happo-aerosolit ja ne kerääntyvät happamiksi sateiksi sateeksi, lumeksi, sumuiksi jne. Sitä kutsutaan happosateeksi, jonka pH-arvo on alle 5. Luonnollisesti saastumattomassa ilmakehässä sateella on pH arvo 5,6.

Happo voi olla happamassa reaktiossa ammoniakkin kanssa, jolloin saadaan ammoniumsulfaattisuolaa. Aluksi syntyneissä vesipisaroissa veden haihtumista voi tapahtua ja tällöin muodostuu kiinteitä ammoniumsulfaatin hiukkasia. Hapettuneita rikkiyhdisteitä hallitsevia aerosoleja kutsutaan usein sulfaatti-aerosoleiksi.

Kuiva laskeuma: $\text{SO}_2(g) + \text{PM}_{(s)} \rightarrow \text{PM}_{(s)}$

Märkä laskeuma: $\{\text{O}\}_{\text{aq}} + \text{S(IV)}_{\text{aq}} \rightarrow 2\text{H}^+_{\text{aq}} + \text{SO}_4^{2-}_{\text{(aq)}}$

Wet deposition:

Kaupunkiympäristö voi saastua rikkidioksidilla ja hiukkasilla, kuten tuhkalla tai noella. Nämä epäpuhtaudet ovat peräisin erityisesti sellaisten toimien tuloksena, joissa hiiltä käytetään energianlähteenä. Tällaista saastumista kutsutaan teollisuuden smogiksi.

Sana smog on muodostettu yhdistämällä kaksi englantia sanasta - savu ja sumu. Teollisuustuotantoa tuotetaan teollisuuskeskuksissa, joissa energiaa tuotetaan hiilen polttamalla, yleensä talvella, märällä ja kylmällä säällä.

Industrial smog

Seos, joka koostuu lentotuhkasta, SO₂ joistakin haihtuvista orgaanisista yhdisteistä (VOC)

SMOG = SMOKE + FOG

Smogia syntyy teollisuuskeskuksissa, tyypillisesti talvella, märällä ja kylmällä säällä.

1.5. SO₂-vaikutukset ihmisten terveyteen

Väestön altistuminen rikkidioksidille on vain sisäänhengitettynä. Rikkidioksidialtistuksen heikoimmassa asemassa olevat ryhmät ovat lapset, vanhukset ja ne, joilla on jo keuhkohtaumia. Rikkidioksidin haitallisista vaikutuksista ihmisten terveyteen aiheuttavat silmän ärsytystä, hengitysvaikeuksia ja sydänkohtauksen riskiä.

Ensimmäisellä puoliskolla tai XX vuosisadalla raportoitiin teollisen smogin aiheuttama akuutti saastumisjakso (kuten 1930 Meuse Valley, 1939 Saint Louis, 1948 Donora jne.). Lontoossa (Lontoon smog) teollisen smogin tapaus tunnetaan hyvin joulukuulta 1952, kun 4000 kuolemaa rekisteröitiin hengitystiesairauksien ja sydän- ja verisuonitautien vuoksi, altistumalla pääasiassa rikkidioksidille ja hiukkasille.



London smog

1.6. SO₂-vaikutukset ekosysteemeihin

Joutuessaan kosketuksiin maaperän tai vesipinnan (järvien ja jokien) kanssa rikkidioksidi saa aikaan happamoitumista. Se on haitallista puille ja kasveille vahingoittamalla lehdet ja vaikuttamalla niiden kasvuun. Lisäksi se vähentää biologisen monimuotoisuutta.



1.7. SO₂-vaikutukset rakennettuun ympäristöön

Rikkidioksidilla on kielteisiä vaikutuksia rakennettuun ympäristöön historiallisten muistomerkkien huononemisen vuoksi, koska kalsium- ja magnesiumkarbonaattireaktiot ovat happamia aerosoleja.

Hapot aerosolit vahingoittavat rakennusaineita, kuten kalkkikiveä, dolomiittia, marmoria tavanomaisista rakennuksista, mutta myös kulttuurisista ja historiallisista kohteista.



2. Typen oksidit - NO_x

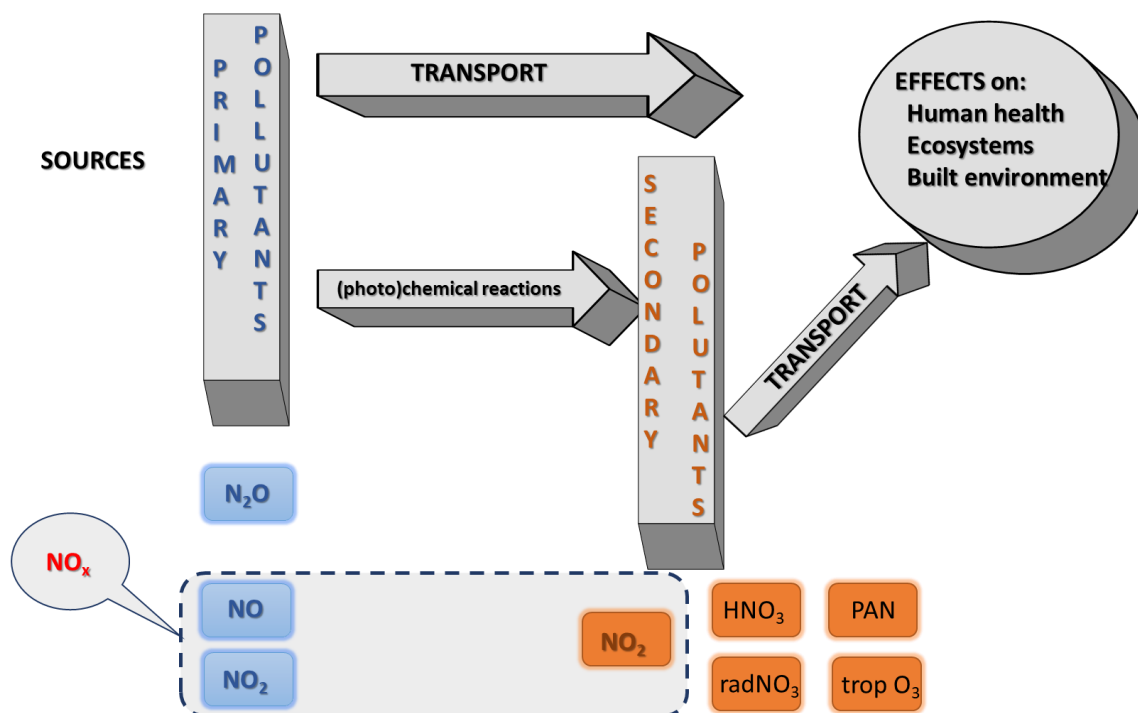
Merkittävä määrä typpiyhdisteitä on läsnä ilmakehässä. Me mainitsemme oksidit, kuten:

- Typpioksiduuli tunnetaan nimellä "naurukaasu" (koska se on euforinen vaikutus hengitysteitse, jota käytetään turvallisena lääkkeenä ja hapettimena rakettimoottoreissa, moottoriurheilussa jne.), se on ilmakehän ensisijainen epäpuhtaus.
- Typen oksidi ja typpidioksidi ovat suurimmat ilmakehän pilaavat aineet, jotka on nimetty yhteisiksi nimikkeellä NO_x.

Käytännössä typpioksidit, jota vapautuu ilmakehään, hapetetaan nopeasti typpidioksidiksi. Näin ollen typen oksidi on ensisijainen epäpuhtaus ja typpidioksidi on toissijainen. Hyvin alhaiset typpidioksidimäärät vapautuvat suoraan ilmakehässä.

Typpioksidit osallistuvat kemiallisiin ja valokemiallisiin prosesseihin, aiheuttaen sekundäärisiä epäpuhtauksia, kuten typpihappoa, nitraattiradikaaleja, peroksisetyylinitraattia ja troposfääristä otsonia.

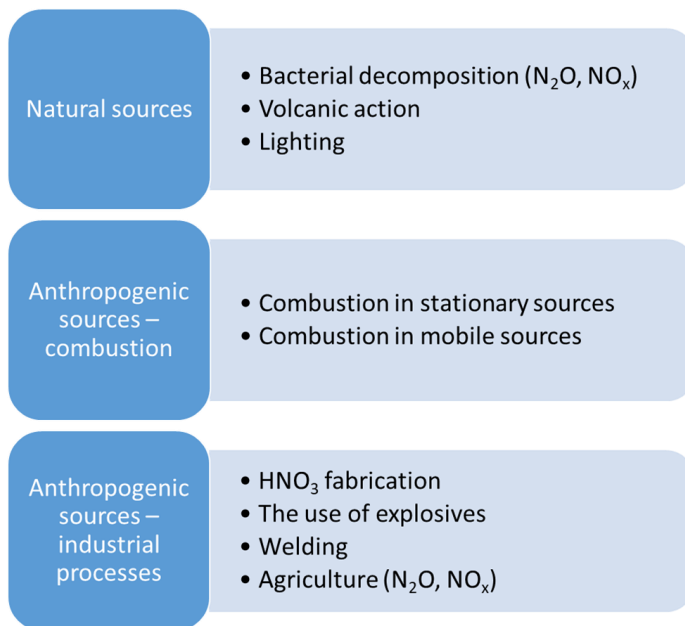
Ensisijaiset tai sekundääriset typpipitoiset epäpuhtaudet tunnetaan aiheuttavan haitallisia vaikutuksia ihmisen terveyteen, luonnolliseen tai rakennettuun ympäristöön.



2.1. NO_x-päästöjen lähteet

Typhen oksidien päästöjen luonnolliset lähteet vaikuttavat merkittävästi niiden läsnäoloon troposfäärissä. Luonnollisten prosessien seurauksena typpidioksidin taustapitoisuus on 0,02 ppmv. Orgaanisen aineen biokemiallinen hajoaminen on yksi luonnollisista lähteistä typhen oksideille (N₂O: na ja NO_x: nä). Tulivuorenpurkaus ja salamointi myrskyjen aikana luovuttavat typpidioksideja troposfääriin.

Antropisten lähteiden joukossa tärkeä osuus kuuluu fossiilisten polttoaineiden polttoon energiantuotannossa sekä kiinteissä että liikkuvissa lähteissä. Teollisuusprosessit, kuten typpihapon tuotanto, räjähteiden käyttö ja hitsaus, ovat myös typhenoksidipäästöjen lähteitä. Maatalousala on mainittava, koska synteettisten typpipohjaisten lannoitteiden käyttö denitrifikaation aikana vapauttaa merkittävän määrän typpeä troposfääriin.



Euroopan unionin ja Maailman terveysjärjestön antamat viralliset asiakirjat asettavat typpidioksidin ilmakehän pitoisuuden rajat arvoon $40\mu g/m^3$ vuosikeksiarvona ja $200\mu g/m^3$ tuntikeskiarvona.

2.2. NO_2 -ominaisuudet

Oksidien joukossa aggressiivinen epäpuhtaus on typpidioksidi. Alle $-11.2^\circ C$:n lämpötilassa se on väritön kiinteä aine, jonka muodostavat dimeerimolekyylit. Lämpötilassa $-11.2^\circ C$ - $21.2^\circ C$ se on kellertävän ruskea neste ja $21.2^\circ C$:n yläpuolella on punaruskea neste. Sekä neste- että kaasumaisessa muodossa se on radikaalirakenne vajaan typpi-atomin elektronin takia. Tämä antaa typpidioksidille suuren reaktiivisuuden.

Typpidioksidilla on luonteenomaista pistävä haju, sen läsnäolo ilmakehässä suurella pitoisuudella voidaan havaita vähentyneen näkyvyyden vuoksi punertavanruskean sameuden vuoksi.

Ilmakehän vedellä typpidioksidi muodostaa typpihapon ja typpihapon seoksen, joka voidaan neutraloida ammoniakilla, jos se on läsnä.

Typpidioksidilla on hapettavat ominaisuudet ja se voi reagoida hydroksyylin kanssa muodostaen happamia yhdisteitä.

Typpidioksidi on edeltäjä troposfäärille otsonille ja sillä on tärkeä rooli fotokemiallisessa smogien muodostumisessa.

| lämpötila (°C) | -11.2°C | -11.2°C.....21.2°C | 21.2°C..... |
|----------------|---|---|---|
| olomuoto | kiinteä | neste | kaasu |
| yhdiste | dinitroyreenitrioksidi N ₂ O ₄ (dimeeri) | typpidioksidi NO ₂ (vapaa radikaali) | typpidioksidi NO ₂ (vapaa radikaali) |
| väri | väritön | kellertävänruskea | punaruskea |

- Ominainen pistävä haju
- Absorboi näkyvän valon säteilyä → vähentää ilmakehän näkyvyyttä
- reagoi veden kanssa → typpihappo + typpihapoke
- Ammoniakin yhteydessä → ammoniumnitraattia
- Troposfäärin hapettumiskyvyn säädin → reagoi hydroksyyli-radikaalien kanssa
- Toimii kriittisessä roolissa otsonin muodostumisessa ja poistamisessa troposfäärissä → fotokemiallinen smog

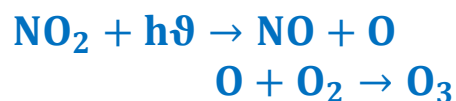
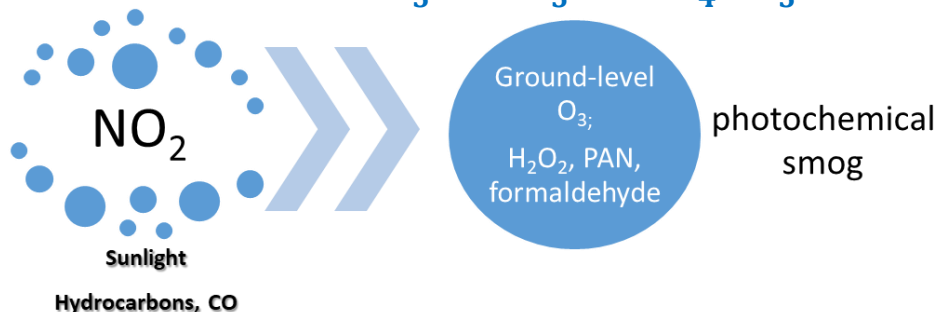
2.3. NO₂ - sekundääristen saasteiden joukon tärkein esiaste

Reaktiivisuuden vuoksi typpidioksidi vastaa ainakin kahdesta suuresta ilmakehän saastumisongelmasta:

- hapan aerosoli
- fotokemiallinen smog.

Valokemiallinen savusumu muodostuu auringon säteilyn aikana alueilla, joilla on voimakasta tieliikennettä ja teollista toimintaa. Valokemialliset smogin esiasteet ovat typpidioksidia, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, hiilivetyjä, jotka auringonvalossa saavat aikaan sarjan fotokemiallisia reaktioita sekundääristen epäpuhtauksien, kuten troposfäärisen otsonin, peroksisetyylinitraatin ja formaldehydin muodostamiseksi. Siten valokemiallinen smog on monimutkainen yhdiste saasteista kehittyneenä kelta-ruskeana sameana kuumissa aurinkoisessa säässä kaupungeissa, joissa liikenne on ruuhkaista (tunnetaan myös nimellä Los Angeles -smog).





2.4. NO₂:n vaikutukset

Typpidioksidilla on useita haitallisia vaikutuksia ihmisten terveyteen vähentämällä hengityselinten, keuhkojen toimintaa, kun väestö altistuu hengityksen kautta.

Ilmakehän typpidioksidi, mutta myös typpioksiduuli lisäävät epätasapainoa typpiraaka-aineissa vesiekosysteemeissä, mikä johtaa rehevöitymiseen.

Kun maaperään ja pintaveteen kerääntyy typen oksideja, ne aiheuttavat happamoitumista.

Kosketuksessa rakennettuihin ympäristökomponentteihin happamuuden takia typpipohjaiset kaasumaiset epäpuhtaudet johtavat myös vaurioihin.

On tärkeää mainita, että typpioksiduulilla ei ole välitön haitallisia vaikutuksia ihmisten terveyteen, mutta se on kasvihuonekaasu ja vaikuttaa ilmastonmuutokseen.

| | |
|-------------------|---|
| Human health | <ul style="list-style-type: none"> • Effects on respiratory system • Reducing pulmonary function |
| Ecosystems | <ul style="list-style-type: none"> • Aquatic ecosystems: eutrophication • Soil, lakes, rivers: acidification • Reduce atmospheric visibility |
| Built environment | <ul style="list-style-type: none"> • Damages on construction materials, due to acid precipitation |

N_2O is a green-house gas, contributing to climate change

3. ALAILMAKEHÄN OTSONI

3.1. Otsoni ilmakehässä

Maapallon ilmakehässä otsonia on luonnollisesti läsnä *stratosfäärissä*, noin 25 kilometrin korkeudessa. Se muodostuu biomolekyylisen hapen valohapetuksesta UV-auringon säteilyn alaisena. Siten ilmakehän otsonia hyödyttää maapalloa, koska se absorboi haitallista UV-auringonsäteilyä.

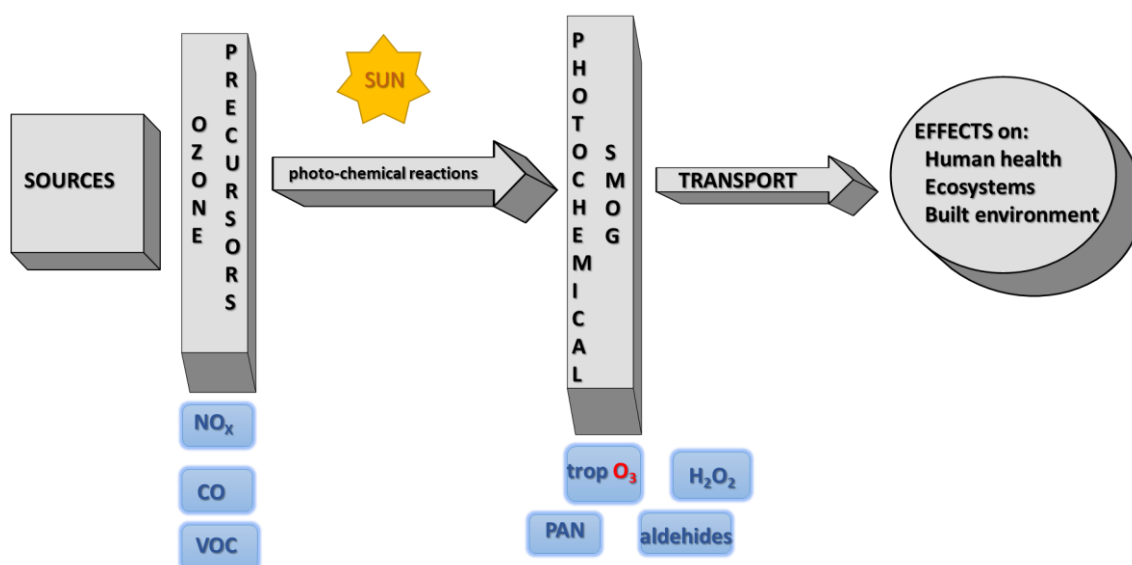
Troposfäärissä, maanpinnan tasolla, otsonilla on kaasumaista epäpuhtautta, jolla on kielteisiä vaikutuksia ihmisten terveyteen sekä luonnolliseen ja rakennettuun ympäristöön. Se tunnetaan ympäröivien hapettimien yhdisteistä merkittävimpana ja myrkyllisenä saasteena. Troposfäärinen otsoni on toissijainen epäpuhtaus, jota lähde ei suoraan lähetä:

- *stratosfääri*
 - otsonikerros
 - (+)absorboi haitallista UV-auringonsäteilyä
- *troposfääri*
 - alailmakehän otsonin (troposfäärinen otsonin)
 - (-) vaarallinen saaste.

Saastumismallin avulla voidaan selittää, että troposfäärinen otsonia on toissijainen epäpuhtaus. Otsonin esiasteiden, niiden erityisten lähteiden, auringon säteilyn aiheuttamat epäpuhtaudet tuottavat *valokemiallisen savun*. Paikallisella tasolla sillä on haitallisia vaikutuksia ihmisten terveyteen, luonnolliseen ja rakennettuun ympäristöön. Valokemiallinen smog on määritelty

sumun ja kemikaalien yhdistelmäksi, joka on seurausta tieliikenteestä ja teollisuuden lähteistä, jotka reagoivat auringon säteilyn läsnäollessa.

Valokemiallisessa smogissa typpidioksidi, auringon säteilyn ja joidenkin hiilivetyjen (haittuvien orgaanisten yhdisteiden perheen) läsnäollessa, muodostaa typpimonoksidia ja atomihapetta. Atomihappi reagoi muiden päästöjen kanssa, kuten hiilimonoksidin kanssa autoista emittoituneena, muodostaen suuren valikoiman tuotteita, joissa esimerkiksi on otsonia. On myös mainittava vetyperoksidi, orgaaniset yhdisteet kuten peroksisätyliinitraatit, aldehydit, kuten formaldehydi.



3.2. Alailmakehän otsoni: lähteet esiasteisiin

Lähteet troposfääriin otsonin esiasteisiin voivat olla luonnollisia - kasveja, jotka aiheuttavat terpeeniyhdisteitä tai ihmisistä, kuten kaupunkiliikenteestä, mutta myös tietyistä maatalousalan toiminnoista.

Luonnolliset lähteet

- Esiasteiden biogeeniset päästöt
- Esim. VOC-päästöt kasvillisuudesta

Antropogeeniset lähteet

- Omien lähteiden esiasteiden aiheuttamat fotokemialliset reaktiot
- Esim. kaupunkiliikenne, maatalous

3.3. Alailmakehän otsoni: ominaisuudet

Otsoni on hapen kolmioatominen muoto, se on epästabiili kaasu, se on väritöntä, pistävänhajuista, erittäin reaktiivista ja se on voimakas hapetin.

Ihmisen terveyden suojelun raja-arvo on 100 mikrogrammaa kuutiometriä kohti 8 tunnin keskiarvona.

3.4. Alailmakehän otsoni: vaikutukset

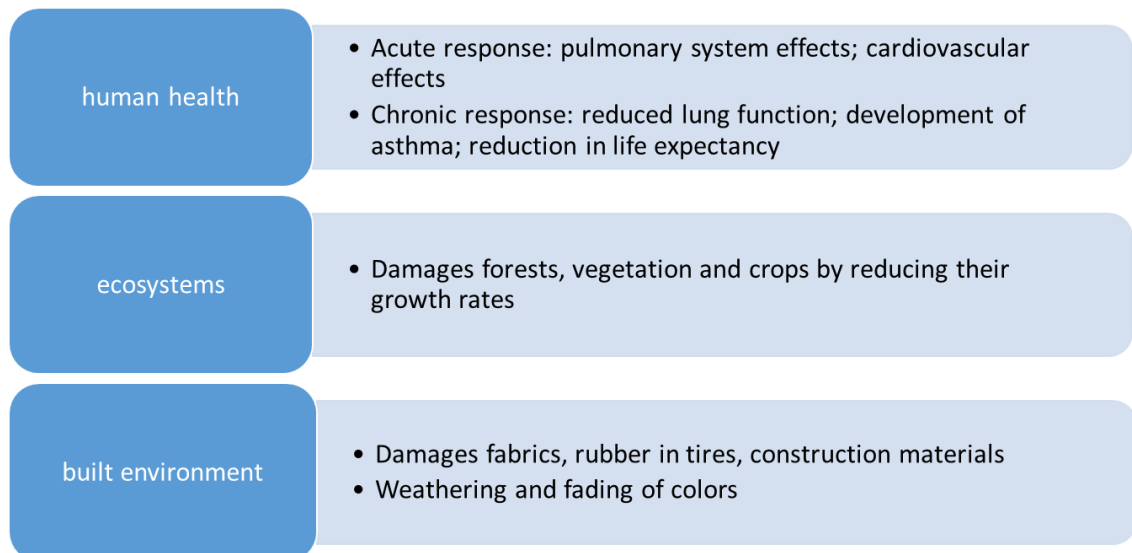
Otsonilla saastuneelle ilmakehälle altistumisen vaikutuksista ihmisten terveyteen mainitsemme akuutit vauriot hengitysteissä ja sydän- ja verisuonijärjestelmissä. Kroonisesta sairaudesta raportoidaan keuhkojen toiminnallisuuden vähenemisenä, astman kehittymisenä ja elinajanodotteen vähenemisenä.

Myös ekosysteemeihin vaikutukset ovat negatiivisia kasvustojen vaurioitumisena ja kasvun vähenemisenä. Maapallon otsonin katsotaan olevan kasvillisuuden ja satojen kannalta vahingollisempi kuin altistuminen millekään muulle epäpuhtaudelle.

Troposfäärin otsonin esiintyminen johtaa kuitujen, kumiin, rakennusmateriaalien hajoamiseen.

Lisäksi otsoni aiheuttaa pintojen ja rakennusmateriaalien kastelua ja häviämistä.

Troposfäärinen otsonia on kasvihuonekaasu, joka vaikuttaa ilmastonmuutokseen.



Ground-level ozone is a green-house gas, contributing to climate change

4. HIUKKASET

Ilmakehään luonnollisesti tai antropologisten toimintojen seurauksena on ominaista hiukkasten leviäminen sekä luonnollisista että ihmisen lähteistä, joiden mitat ovat 0,5 mm pölyhiukkasille, hiekalle tai sumulle sekä molekyylikokoisille, jotka vapautuvat antropologisista toiminnoista.

4.1. Hiukkasten symbolit

Määritämme hiukkasten (symboli PM) olevan kiinteiden ja nestemäisten hiukkasten seos, joka on dispergoituneena ilmassa. Hiukkaseos koostuu hienojakoisten kiinteiden ja nestemäisten hiukkasten seoksesta, joka on ilmassa. Arvioitaessa hiukkasten vaikutusta ympäristöön ja ihmisten terveyteen tärkein asia on niiden ulottuvuus.

PM_{aerodynamic diameter}

PM-lyhenteeseen liittyy alaindeksi numero, joka ilmaisee kokofraktion tai aerodynaamisen halkaisijan. Tämän ominaisuuden perusteella hiukkaset luokitellaan seuraavasti:

- *Kokonaisuudessaan suspendoitunut aine* (melko vanha nimi) tarkoittaa kaikkia partikkeleita, joiden dimensio on alle 100 mikrometriä. Nämä hiukkaset voidaan nähdä paljaalla silmällä, tietäen, että näkyvyysraja on noin 50 mikrometriä.
- *Karkeiden hiukkasten* osuudet sisältävät niitä hiukkasia, joiden läpimitta on välillä 2,5-10 mikrometriä.
- *Jakeiden pienhiukkaset* sisältävät niitä, joiden halkaisija on 2,5 mikrometriin asti.
- *Ultrafinehiukkasten tai nanometrinen hiukkasten* osuudet ovat halkaisijaltaan alle 0,1 mikrometriä.

Kaikki hiukkaset, joiden mitat ovat alle 10 mikrometriä, eivät näy paljaalla silmällä, ne näkyvät mikroskoopilla.

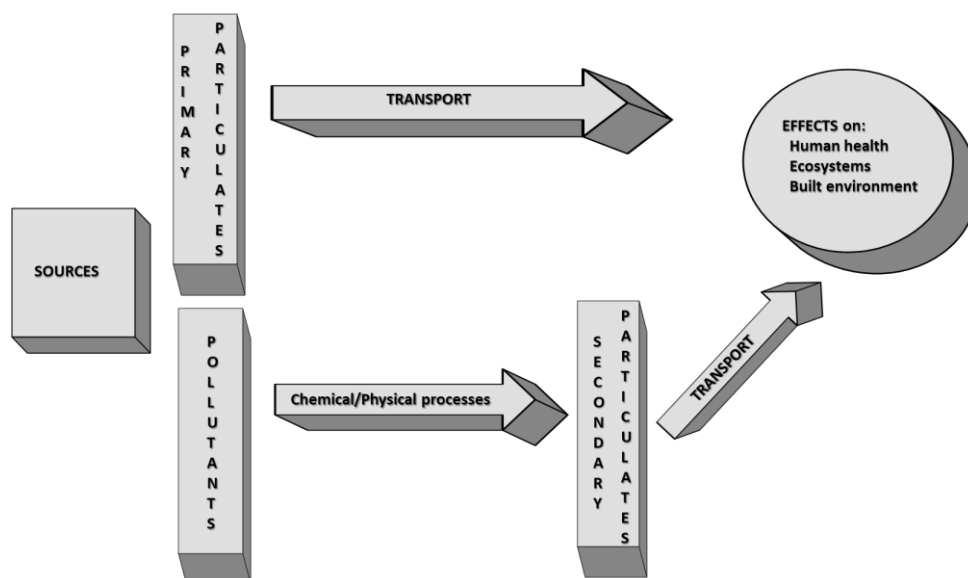
Hiukkasten tai yksinkertaisesti hiukkasten kuvaamiseksi käytetään seuraavia termejä:

- *Aerosolit* on määritelty kiinteällä ja nestemäisellä järjestelmällä, joka on hajonnut ilmassa.
- *Pöly, noki* – ovat kiinteitä hiukkasia, jotka hajotetaan ilmassa.
- *Mist, sumu* – on nestemäisille hiukkasille, jotka hajotetaan ilmassa.

| Jae | Aerodynaamisen halkaisijan alue | Symboli | Huom. |
|---|--|--|-------------------------------------|
| Kokonaisuudessaan suspendoituneet hiukkaset | $\leq 100\mu m$ | TSP | Voidaan nähdä paljaalla silmällä |
| Karkeat hiukkaset | $d \leq 10\mu m$ $2.5\mu m \leq d \leq 10\mu m$ | PM ₁₀ PM _{2.5-10} | Voidaan havaita vain mikroskoopilla |
| Pienhiukkaset | $d < 2.5\mu m$ | PM _{2.5} PM ₁ | |
| Erittäin hienot hiukkaset | $d < 0.1\mu m$ | UFP | |

Hiukkasten päästöjen perusteella voidaan erottaa *primääriset hiukkaspäästöt*, suoraan emittoidut ja *sekundääriset hiukkaspäästöt*, jotka muodostuvat ilmakehässä fysikaalisten ja kemiallisten prosessien seurauksena sellaisten kaasumaisten epäpuhtauksista kuten rikkidioksidista, typen oksidista, jotka vapautuvat erityisistä lähteistä.

Ilmakehään joutuessaan hiukkaset kulkeutuvat ilmassa liikkeen avulla tai kerääntyvät. Niiden mittojen funktiona partikkelien elinikä ilmakehässä vaihtelee ja siten myös niiden kulkeutumisetäisyys. Päästölähteestä riippuva partikkelikoostumus määrää niiden ulottuvuuden, kulkeutumisen ja myös niiden vaikutuksen ihmisen terveyteen, luonnolliseen ja rakennettuun ympäristöön.



4.2. PM-päästölähteet

Partikkeleita tuottaa valtava määrä luonnonlähteitä ja antropisia lähteitä.

Luonnollisesti hiukkasia esiintyy maaperän eroosion, ilmassaan kuljettaman pölyn seurauksena.

Meren aerosoleissa, jotka tunnetaan merisumuna, on runsaasti suoloja ja orgaanisia aineita.

Hiukkasilla on myös biologista alkuperää, kuten siitepölyä, hometta.

Merkittävä määrä hiukkasia syntyy tulivuorenpurkauksen aikana.

Hiukaspäästöjen tärkein lähde on fossiilisten polttoaineiden palaminen, olkoonkin, että polttoaine olisi hiiltä, öljyä, öljytuotteita tai biomassaa.

Teollisista lähteistä mainitsemme rakennusalan, kaivostoiminnan, sementin, keraamisten materiaalien valmistuksen, sulatusteollisuuden. Tärkeä hiukaspäästö on liikenteessä tapahtuva eroosio ja myös maatalouden toiminta.

Toissijaisten hiukkasten esiasteet ovat ilmakehän kaasumaisia epäpuhtauksia, kuten rikkidioksidiä, typpioksideja, ammoniakkia, jotka aiheuttavat aineita, joilla on alhainen haihtuvuus, kuten rikkihapolla, ammoniumsulfaatilla, ammoniumnitraatilla, jotka sitten kondensoituvat ja koaguloivat synnyttäen aerosoleja.

Ne kulkeutuvat epäorgaanisina hiukkasina tai kerääntyvät kuoriksi hiilipitoisiin hiukkasiin.

Kaasumaiset epäpuhtaudet voivat olla orgaanisia, vapautuen luonnollisista lähteistä, kuten terpeeneistä tai antropologisista lähteistä, kuten polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä. Ne voivat tuottaa toissijaisia orgaanisia aerosoleja (SOA) hapettumisreaktioilla. Primaarihiukkasten suhteen sekundääristen aineiden muodostumiseen liittyvät kemialliset prosessit ovat suhteellisen hitaita ja niiden pysyvyys ilmakehässä on pitempi.

Luonnolliset lähteet

- Tuulen kantama maa ja pöly
- Merelliset aerosolit (merisumu)
- Homeen itiöt, kasvinosat
- Vulkaaninen tuhka

Primäärinen PM:n antropogeeniset lähteet

- Fossiilisten polttoaineiden polttaminen (hiili, öljy, bensiini, biomassa)
- Rakennustyömaat
- Rakentaminen, kaivaminen, sementin, keraamisten tuotteiden valmistus
- Sulatusala
- Päällystämättömät tiet, liikenteen aiheuttama eroosio

Sekundäärinen PM-muodostus

- Ilmassa muodostuu kaasumaisten epäpuhtauksien reaktioita > pienen haihtuvuuden omaavat aineet, jotka tiivistyvät kiinteä / nestefaasiin, muodostavat > PM.
- Ensisijaisten kaasumaisten epäorgaanisten epäpuhtauksien lähteet (SO₂, NO_x) tai orgaaniset yhdisteet (luonnollisesti emittoituvat - monoterpeenit tai antropologisista vaikutuksista peräisin olevat - aromaattiset hiilivedyt) lähteet muodostavat.

4.3. PM-koostumus

Ottaen huomioon niiden muodostumismekanismit hiukkasmaisilla aineilla on erilainen koostumus ja siten eri ulottuvuudet. Hiukkaset sisältävät yleensä epäorgaanisia yhdisteitä, vettä ja elementaarisen hiilen ydintä, polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä, toissijaisia orgaanisia aerosoleja ja myös biologisia orgaanisia aineita. Yleensä nämä hiukkaset sisältävät noki- tai sulfaatti- ja nitraattiaerosoleja ja niiden luonne on pääasiassa hapen.

Karkeat hiukkaset sisältävät lähinnä pölyä, tuhkaa, metallioksidia, merikloridista peräisin olevaa natriumkloridia, biologisia komponentteja. Yleensä nämä hiukkaset sisältävät pääasiassa nokea tai epäorgaanisia yhdisteitä, jotka ovat samankaltaisia kuin maaperässä, ja niillä on siten pääasiassa emäksinen luonne.

PM_{2,5}

- Epäorgaaniset yhdisteet:
 - Anionit: sulfaatit, nitraatit, kloridi
 - Kationit: ammonium, vety, natrium, kalium, kalsium, magnesium
 - Siirtymämetallit (kadmium, kupari, nikkeli, sinkki)

- Hiukkassidottu vesi
- Orgaaninen hiili, alkuainehiili (EY)
- Polysykliset aromaattiset hiilivedyt
- Toissijaiset orgaaniset aerosolit
- Biogeeniset orgaaniset aineet
- Pääosin: nokea tai sulfaatti- ja nitraattiaerosolit
- Yleensä happamat (ei-neutraloidut hapot)

PM₁₀

- Uudelleen sidottu pöly, maaperän pöly, katupöly
- Hiili ja öljy, lentotuhka
- Si, Al, Mg, Fe, CaCO₃, NaCl
- Merisuola
- Biologiset komponentit: siitepöly, muotin itiöt
- Pääasiassa: noki tai epäorgaaninen – maaperä
- Yleensä perusmaa (maaperän sisältö)

4.4. PM:n kulkeutuminen

Hiukkasten kulkeutuminen ilmassan liikkeen avulla riippuu partikkeleiden ulottuvuudesta. Hienoilla ja hienojakoisilla hiukkasilla on melko pitkä elinikä, ne kulkeutuvat pitkiä matkoja, satoja kilometrejä, joten niiden vaikutus nähdään aluetasolla.

Karkeilla hiukkasilla on alempi elinikä, minuuttien ja useiden tuntien välillä, joten niillä on suurempi sedimentaatioaste. Niiden kulkeutuminen ilmassassa tapahtuu lyhyillä etäisyyksillä, alle 10 kilometrin, joten vaikutus ilmenee paikallistasolla.

| Hieno ja ultrahieno PM | Karkea PM |
|--|----------------------------------|
| Elinäika: päiviä ja viikkoja | Lifetimes: minuuteista tunteihin |
| 100-1000 km kulkeutumismatka | 1-10 km kulkeutumismatka |
| Vaikuttaa alueelliseen ja laajempaan alueeseen | Vaikutus paikalliseen alueeseen |

4.5. PM-ilmanpitoisuus ihmisten terveyden suojelemiseksi

Ilmanlaadun direktiivin mukaiset ilman pitoisuudet Euroopan unionin tasolla ovat 25 mikrogrammaa kuutiometriä kohden, mikä tarkoittaa vuosittain hiukkasia, joiden aerodynaaminen halkaisija on enintään 2,5 mikrometriä. Hiukkaspäästöt, joiden aerodynaaminen halkaisija on enintään 10 mikrometriä, raja-arvot ovat 40 mikrogrammaa kuutiometriä kohti vuosittaisena keskiarvona ja 50 mikrogrammaa kuutiometriä kohden vuositasolla.

Maailman terveysjärjestön ehdottamat rajat ovat tiukempia, arvot ovat pienemmät kuin Euroopan unionin suosittelemat.

| | PM _{2,5} | PM ₁₀ |
|-----------------------------|-----------------------------|---|
| EU raja (AQD): | 25µg/m ³ -vuosi | 40µg/m ³ -vuosi 50µg/m ³ - 24 tuntia |
| WHO limit (WGO guidelines): | 10µg/m ³ - vuosi | 20µg/m ³ -vuosi 20µg/m ³ - 24 tuntia |

4.6. PM effects on human health

Hiukkasten vaikutukset ihmisten terveyteen riippuvat niiden ulottuvuuksista.

Jopa Euroopassa hiukkaspäästöt ovat vähentyneet kaudella 2000-2015, mutta hiukkasille (jopa PM_{2,5}, jopa PM₁₀) altistuneelle väestölle on yhä huomattava pitoisuusosuudet, jotka ylittävät EU:n määräämät raja-arvot tai joita Maailman terveysjärjestö suosittelee.

Kun otetaan huomioon tunkeutuminen ihmiskehoon hengitysteitse, karkeat hiukkaset tunkeutuvat hengityselimiin ja rintakehään suodatettuna nenän ja kurkun välityksellä.

Hienojakoiset hiukkaset, hengitettävät hiukkaset, tunkeutuvat syvälle keuhkoihin, alveoliin ja keuhkoputkiin.

Karkeiden hiukkasilla on suurempi sedimentaatioaste, tällöin pitkäaikainen altistus hengitysteitse pienenee, mutta lyhytaikainen altistus aiheuttaa hengityselinten sairautta.

On olemassa lukuisia tutkimuksia, jotka osoittavat, että hienojakoiset hiukkaset ovat vastuussa hengitys-, sydän- ja verisuonijärjestelmien taudeista sekä myös keskushermoston vaurioista.

PM_{2,5}

EU-28 väestön altistuminen PM_{2,5}-tasoille (2015):

yli EU-rajan (25µg/m³-vuosi): 7%

yli WHO-rajan (10µg/m³-vuosi): 82%

- Hengitettävät hiukkaset tavallisesti kulkevat keuhkoihin syvälle kaasunvaihtoväliin (alveolit ja terminaaliset keuhkoputket) ja ne voivat imeytyä solupintoihin.
- Hengityselimet ja sydän- ja verisuonitaudit (astman paheneminen, hengityselinten oireet).
- Kuolevuus sydän- ja verisuonitaudista ja hengityselimistä, keuhkosityöpä.
- Se liittyy jatkuvasti haitallisiin neurologisiin prosesseihin, jotka liittyvät keskushermoston sairauksiin.

PM₁₀

EU-28 väestön altistuminen PM₁₀-tasolle (2015):

yli EU-rajan (50µg/m³-päivä): 20%

yli WHO-rajan (20µg/m³-vuosi): 62%

- Hengitettävät hiukkaset, rintakehän hiukkaset: hengitettynä, suodatetaan tehokkaasti nenän ja kurkun avulla.
- Hiukkaset tunkeutuvat vain alempiin hengitysteihin.
- Ihmisen pitkäaikainen altistus hengitettynä vähenee.
- Lyhytaikainen altistus vaikuttaa hengityselinten terveyteen.

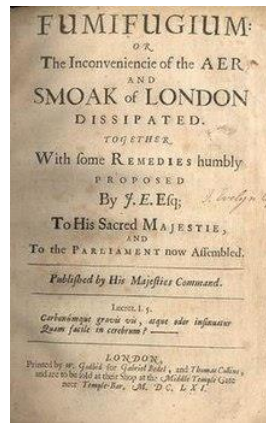
4.7. PM-vaikutukset ympäristöön

Kivihiilen polttamien savujen haitalliset vaikutukset on mainittu 1300-luvulta lähtien. Vuosisatojen aikana rekisteröitiin suuri määrä hiukkasten aiheuttamia pilaantumisjaksoja. Tekniikan kehityksen myötä ilmakehässä syntyneestä hiukkasista on monimutkaisempi koostumus, joten niiden vaikutus ilmenee monin eri tavoin.

Ilmakehässä hiukkasten esiintymistä havaitaan vähentyneellä näkyvyydellä.

Mitat ja koostumuksen seurauksena hiukkaset ovat kuivina tai märkinä kerääntymänä, jolloin maaperän tai veden pinnan muutokset tapahtuvat.

Kivihiilen polttaminen tunnetaan Yhdistyneessä kuningaskunnassa 1300-luvulta.



Voimakkaasti vähentynyt näkyvyys



Laskeutumisen jälkeen (märkä tai kuiva) - maaperän ja pintaveden happamoituminen
Ravintetasapainon muuttaminen pintavesissä



Ravinteiden rapautuminen maaperään

4.8. PM-vaikutukset rakennettuun ympäristöön

Hiukkasmaisten aineiden esiintyminen ilmakehässä johtaa rakennusmateriaalien vahingoittumiseen, esineiden huonontumiseen ja jopa historiallisten muistomerkkien syntymiseen. Pinnan likaantuminen, kastelu ja metallisten materiaalien korrosio ovat vain muutamia esimerkkejä rakennusmateriaalien hiukkasten aiheuttamista vahingoista.

Rakennusmateriaalien vahingot, mukaan lukien kulttuurisesti tärkeät esineet hajoamisen ja likaantumisen vuoksi



Happosateeseen liittyvät vauriot - sää, korrosio

5. REFERENCES

<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>

http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf

<https://www.eea.europa.eu/help/glossary>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Fumifugium>

<https://ca.news.yahoo.com/mystery-of-1952-great-smog-which-killed-12000-londoners-has-been-solved-093408147.html>

<https://www.thetimes.co.uk/article/most-children-in-britain-are-exposed-to-illegal-air-pollution-levels-d3l5rqlms>

<https://www.theguardian.com/commentisfree/2017/may/06/observer-view-on-curbing-air-pollution-diesel-car-scrappage-health>

<https://www.greenoptimistic.com/top-10-polluted-places-blacksmith-institute-20131107/#.WkOb8t-WZPY>

<https://saferenvironment.wordpress.com/2008/09/05/coal-fired-power-plants-and-pollution/>

<http://www.cruiselawnews.com/2016/12/articles/pollution-1/deliberate-dumping-coverup-and-lies-doj-fines-princess-cruises-40000000/>

<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf

<http://www.history.com/news/the-killer-fog-that-blanketed-london-60-years-ago>

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:-_Acid_rain_damaged_gargoyle_.jpg

http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf

<https://ca.news.yahoo.com/mystery-of-1952-great-smog-which-killed-12000-londoners-has-been-solved-093408147.html>

<https://www.theguardian.com/commentisfree/2017/may/06/observer-view-on-curbing-air-pollution-diesel-car-scrappage-health>



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



South-Eastern Finland
University of Applied Sciences

U. PORTO



**Universitatea
TRANSILVANIA
din Braşov**



**UNIVERZITA
KARLOVA**



ИКИТ

<https://toxoyer.com>

Project coordinator: Ana I. Morales
Headquarters office in Salamanca.
Dept. Building, Campus Miguel de Unamuno, 37007.
Contact Phone: +34 663 056 665