

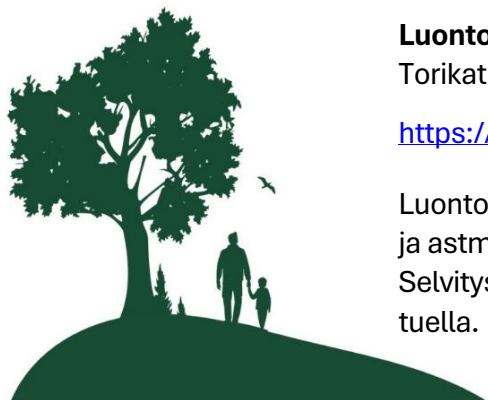


Luontoterveyden osaamiskeskuksen selvityksiä

## Astma ja ilmastonmuutos

Johanna Joutsenniemi

**Viittausohje:** Joutsenniemi J. Astma ja ilmastonmuutos. Luontoterveyden osaamiskeskus 2025. Imatra. 41 s.



### Luontoterveyden osaamiskeskus

Torikatu 7, 55800 Imatra

<https://luontoterveydenosaamiskeskus.fi>

Luontoterveyden osaamiskeskus on Allergia-, iho- ja astmaliiton tutkimus- ja tietopalveluyksikkö. Selvitys on toteutettu Anne-Sofie Telvin rahaston tuella.



**ALLERGIA  
IHO  
ASTMA**

## SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	2
1.1 ILMASTONMUUTOS, HENGITYSELINSAIRAUDET JA SIITEPÖLYALLERGIAT .....	3
1.2 SIITEPÖLYALLERGIAN JA ALLERGISEN ASTMAN TAUSTAA .....	5
2. ILMASTONMUUTOS JA SIITEPÖLY.....	7
2.1 SIITEPÖLYKAUDESSA TAPAHTUVAT MUUTOKSET .....	7
2.2 ALLERGEENISTEN KASVIEN ESIINTYVYYDEN MUUTOKSET .....	9
3. ILMANSAASTEET .....	11
4. SÄÄ JA ÄÄRIMMÄISET SÄÄILMIÖT .....	17
4.1 LÄMPÖILOJEN VAIHTELUT (KUUMUUS JA KYLMYYS).....	17
4.2 SATEET, TULVAT & MERENPINNANNOUSU .....	19
4.3 METSÄ- JA MAASTOPALOT .....	19
4.4 UKKOSMYRSKYASTMA .....	21
5. MIKROBIOMI.....	24
6. HAAVOITTUVAT RYHMÄT (LAPSET JA NUORET, RASKAANA OLEVAT, VANHUKSET) ...	25
7. MUUT ILMASTONMUUTOKSEN VÄLILLISET VAIKUTUKSET .....	27
7.1 MIELENTERVEYS .....	28
7.2 TALOUDELLINEN NÄKÖKULMA.....	29
7.3 EPÄTASA-ARVO .....	29
LIITE 1: ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET IHMISTEN TERVEYTEEN. ....	36
LIITE 2: MEKANISMI, JONKA KAUTTA ILMATEITSE LEVIÄVÄT ALLERGEENIT LISÄÄVÄT ALLERGISTEN HENGITYSTIESAIRAUKSIEN RISKIÄ .....	37
LIITE 3: ULKOILMAN SAASTUMISEN JA ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUS ALLERGEENISIIN KASVILAJEIHIN.....	38
LIITE 4: ESIMERKKEJÄ SIITÄ, MITEN ILMASTONMUUTOS VOI LISÄTÄ ALTISTUMISTA ASTMALLE .....	39
LIITE 5: ILMASTONMUUTOS, YMPÄRISTÖSAASTEET SEKÄ ALLERGISET JA AUTOIMMUUNISAIRAUDET .....	40
LIITE 6: ILMASTONMUUTOKSEN JA SÄÄN ÄÄRI-ILMIÖIDEN KIERRE.....	41

# 1 Johdanto

Ilmastonmuutos nostetaan esille usein ympäristökysymyksenä. Kyseessä on kuitenkin ilmiö, joka on tiiviisti yhteydessä ihmisten terveyteen ja elämänlaatuun. Ilmastonmuutos tarkoittaa merkittäviä ja pitkäaikaisia muutoksia sääilmiöissä pitkällä ajanjaksolla. (Sanders & Davis 2023; Tran ym. 2023.) Ilmastonmuutoksen vaikutukset koskettavat jokaista, ja ne ovat laaja-alaiset sekä vaihtelevat maantieteellisen alueen ja sosioekonomisen aseman mukaan. Ilmastonmuutoksen aiheuttamia maailmanlaajuisia terveysuhkia ovat Maailman terveysjärjestön WHO mukaan puhtaan juomaveden, riittävän suojan, riittävän ravinnon ja puhtaan hengitysilman vaarantuminen. (Katelaris & Beggs 2018.) Ilmastonmuutoksen merkittävimmät vaikutukset ovat lämpötilan nousu sekä äärimmäisten sääilmiöiden lisääntyminen. Juuri näiden muutosten on dokumentoitu olevan yhteydessä hengityselinsairauksien esiintyvyyden kasvuun, sekä niiden vakavuuteen. (McDermott-Levy ym. 2023; Tran ym. 2023.)

Ilmastonmuutoksen odotetaan pahentavan hengityselinsairauksia monilla eri tavoilla. Keskeisiä tekijöitä ovat maapallon korkeammat lämpötilat sekä lisääntyneet helleaallot, siitepölykauden muutokset sekä pituudessa että vakavuudessa, ilmansaasteiden vaikutus siitepölyyn, hengityselinsairauksien paheneminen ja esiintyvyyden muutokset sekä äärimmäisten sääilmiöiden aiheuttamat muutokset. Uhka kohdistuu erityisesti haavoittuvassa asemassa oleviin, kuten ikääntyneisiin, lapsiin ja sosioekonomisesti heikommassa asemassa oleviin. (Eguiluz-Gracia ym. 2020; Singh & Kumar 2022; Katelaris & Beggs 2018; Pacheco ym. 2021) Epäsuoria vaikutuksia, jotka koskevat koko ihmiskuntaa, ovat muun muassa WHO:nkin linjauksen mukaan ruoan ja veden puute, biodiversiteetin menettäminen ja poliittinen epävakaus (Sampath ym. 2023).

Tämän katsauksen tarkoituksena on tarkastella ilmastonmuutoksen vaikutuksia astmaa ja muita hengityselinsairauksia sairastavien hyvinvointiin, terveyteen ja elämänlaatuun. Katsauksen taustalla on yleinen kirjallisuuskatsaus. Kirjallisuuskatsauksessa haettiin tutkimuksia edellisen kymmenen vuoden ajalta (2014–2024) koskien ilmastonmuutosta ja hengityselinsairauksia sekä terveyttä ja elämänlaatua. Tässä kirjallisuuskatsauksessa on mukana 45 artikkelia, joiden pohjalta on koostettu uusinta tietoa ilmastonmuutoksesta, ilmastonmuutoksen vaikutuksesta siitepölyihin, ilmastonmuutoksen ja astman, allergian sekä hengityselinsairauksien

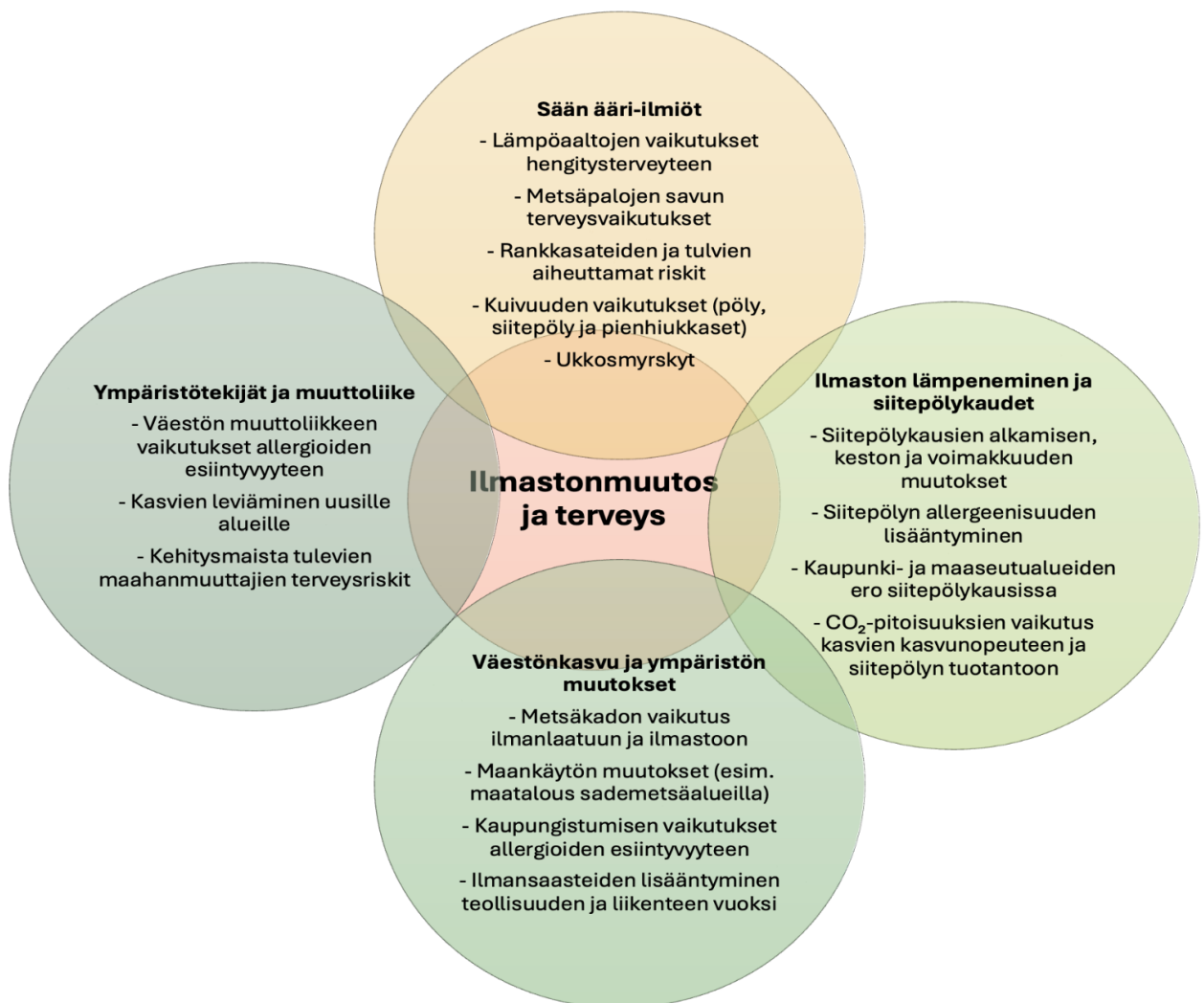
välisestä yhteydestä sekä siitä, minkälaisia seurauksia ilmastonmuutoksella voi olla astmasta tai hengityselinsairauksista kärsivien elämään. Katsaus etenee suurista teemoista pienempiin johdannon kautta. Johdannossa käsitellään ilmastonmuutosta, allergioita ja hengityselinsairauksia yleisellä tasolla. Tämän jälkeen katsaus etenee aihepiireittäin siten, että ensin kuvataan kirjallisuuteen nojaten ilmastonmuutoksen aiheuttama ilmiö, ja tämän jälkeen kuvatun ilmiön vaikutukset väestöön. Katsauksen lopussa sivutaan myös taloudellista näkökulmaa sekä tasa-arvon teemaa.

### **1.1 Ilmastonmuutos, hengityselinsairaudet ja siitepölyallergiat**

Ilmatoon ja ilmastonmuutokseen liittyviä terveysvaikutuksia on useita. Näistä keskeisiä ovat muun muassa akuuttien sydän- ja hengitysoireiden lisääntyvä esiintyvyys johtuen ilmansaasteista, allergeenien, kuten kasvien siitepölyn ja sieni-itiöiden ajalliset ja alueelliset muutokset sekä kuolleisuus ja akuutit sairaudet helleaaltojen vuoksi. Ennustetaan, että edellä mainitut vaikutukset eivät kohdistu vain jo hengityselinsairauksista kärsiviin, vaan myös terveisiin yksilöihin. Tämä tarkoittaa, että hengityselinsairauksien yleisyys ja ilmaantuvuus kasvaa. (D'Amato ym. 2015.)

Ilmastonmuutoksella on keskeinen rooli erityisesti hengityselinsairauksien kehittymisessä, sillä esimerkiksi allergioilla ja astmalla yhteys luontoon on läheinen. Ympäristökijät, kuten ilmansaasteet ja allergeenit, vahingoittavat epiteelikudoksen rajapintaa, mikä johtaa muun muassa tulehduksen ja limanerityksen lisääntymiseen sekä värekarvojen vaurioitumiseen. (Le Souëf ym. 2024; Sözener ym. 2023.) Ilmastonmuutoksen vaikutukset hengityselinsairauksista kärsiviin ovat toistaiseksi olleet suhteellisen vähäiset. Arvioiden mukaan ilmastonmuutoksen aiheuttamat suorat ja epäsuorat vaikutukset ovat tulevaisuudessa kuitenkin väistämättömät, ja ennusteiden mukaan vuonna 2025 Euroopassa puolet väestössä kärsii vähintään yhdestä allergiasta. Toisen arvion mukaan 2050-luvulle tultaessa allergiset sairaudet vaikuttavat neljän miljardin ihmisen arkeen, jolloin mittasuhteet ovat jo pandemian luokkaa. (Le Souëf ym. 2024; Singh & Kumar 2022; Nazarova 2024) Jotkut tutkimukset ovat yhdistäneet siitepölyn myös aivohalvauksiin sekä sydäninfarkteihin (Singh & Kumar 2022). On näyttöä, että ilmastonmuutoksen myötä myös immunologisten sairauksien esiintyvyys kasvaa (Ray & Ming 2020).

Maailmanlaajuiset ilmastoon liittyvät muutokset ovat monimutkaisia ja päällekkäisiä, pääsääntöisesti ihmisten aiheuttamia ilmiöitä. Ilmiöiden välillä on myös synergiaa, esimerkiksi maapallon keskilämpötilan nousu nopeuttaa ilmansaasteiden, kuten otsonin tuotantoa. Tämä saastumisen ja ilmastonmuutoksen välinen suhde pahentaa molempien yhteisvaikutuksia, minkä seurauksena myös saasteiden vaikutus hengitysterveyteen voimistuu. (Le Souëf ym. 2024; Kline & Prunicki 2023; Domingo ym. 2024.) Ilmastonmuutos on jo tiettävästi muuttanut luonnon ekosysteemejä (Singh & Kumar 2022). Kuviossa 1 on havainnollistettu joitakin ilmastonmuutoksen vaikutuksia terveyteen.



**Kuvio 1.** Ilmastonmuutoksen vaikutuksia ihmisten terveyteen

Siitepölyallergioihin liitetään useita oireita ja sairauksia, joista yleisimmät ovat allerginen nuha, allerginen sidekalvon tulehdus (silmätulehdus) sekä allerginen astma (Bullock ym. 2010).

Astman yleisin fenotyyppi on allerginen astma, ja se kattaa noin 80 % kroonisista astmatapauksista (Hughes ym. 2022). Suomessa allergisesta nuhasta kärsii 20–30 % aikuisista ja noin 15 % lapsista (Pallasaho ym. 2011). Astmaa sairastaa 10–14 % aikuisista ja 6–10 % lapsista (Pakkasela ym. 2020). Joidenkin arvioiden mukaan astmaa sairastaa jopa 18 % maapallon väestöstä (Rorie & Poole 2021). Näiden lisäksi keuhkohtaumatauti (COPD) on yleinen hengityselinsairaus, johon ympäristötekijöillä on huomattava vaikutus. Keuhkohtaumatautia sairastaa noin 250 miljoonaa ihmistä maailmanlaajuisesti, ja keuhkohtaumatauti johti vuonna 2019 noin 3,2 miljoonan ihmisen kuolemaan. (Tran ym. 2023.) Euroopassa sekä keuhkohtaumataudin sairastavuus- ja kuolleisuusluvut vaihtelevat huomattavasti eri maiden välillä. Arvioiden mukaan aikuisista 4–6 % sairastaa keuhkohtaumatautia Euroopassa. Suomessa keuhkohtaumatautia sairastaa arviolta 5,4 % aikuisista. Tupakoitsijoilla, etenkin iäkkäillä tupakoitsijoilla, keuhkohtaumatauti on yleinen. (Kotaniemi ym. 2009.)

Kausiluonteisen allergisen nuhan sekä allergisen astman esiintyvyys on kasvanut huomattavasti viimeisen neljänkymmenen vuoden aikana. Allerginen nuha, astma ja atooppinen ihottuma vaikuttavat lähes viidennekseen maailman väestöstä. (Wright 2020.) Ilmastonmuutoksen myötä lisääntyvät hengityselinsairaudet ja allergiat aiheuttavat kasvavia lääketieteellisiä ja sosiaalisia kustannuksia, ja tekevät siitepölyallergiasta todellisen kansanterveysongelman (D'Amato & D'Amato 2023). Vaikka hengityselinsairauksien esiintyvyys on kasvanut, on myös näyttöä kuolemien vähentymisestä. Tran ym. (2023) huomasivat analyysissään, että keuhkohtaumataudin ja astman kuolleisuusluvut ovat vähentyneet vuosina 2000–2018. Toisaalta syyt kuolleisuuden laskuun löytyvät sosioekonomisen aseman sekä eläintapojen parantumisesta. Merkittävin seikka on tupakoinnin väheneminen. (Tran ym. 2023.) Sosioekonomisen aseman parantuessa myös ruokavalio muuttuu ja hygienia paranee, sekä kosketus luontoon sekä eläimiin vähenee. Tämä osaltaan saattaa lisätä allergisen astman sekä allergisen nuhan esiintyvyyttä, kun varhainen altistuminen erilaisille allergeeneille vähenee (Schmidt 2016; Sampath ym. 2023).

## **1.2 Siitepölyallergian ja allergisen astman taustaa**

Allergisoivaa siitepölyä tuottavat useat kasvit, kuten erilaiset heinät, sekä puut kuten esimerkiksi koivut ja pähkinäpuut. Siitepölyn allergeenisuus riippuu kasvista. (Ziska 2021.) Kasvien

siitepölyhiukkaset ovat 20–60 mikrometrin kokoisia. Alle 5 µm:n kokoiset siitepölypartikkelit pääsevät kulkeutumaan keuhkorakkuloihin. Siitepölyn kulkeutuminen keuhkorakkuloihin vaikuttaa allergian sekä hengityselinsairauksien syntymekanismiin. (Oh 2022.) Siitepölypartikkelit voivat hajota näihin pieniin, alle 5 µm:n osiin esimerkiksi kosteuden ja ukkosmyrskyn vaikutuksesta (D'Amato ym. 2021; D'Amato ym. 2016; Oh 2022). Tuulipölytteiset (anemofiiliset) kasvit, kuten koivu, tuottavat suuria määriä tuulen mukana kulkeutuvia, kevyitä siitepölyhiukkasia. Nämä siitepölyhiukkaset saattavat pysyä ilmassa useita päiviä ja kulkeutua satoja kilometrejä. Suomessa allergisoivin kasvi on tuulipölytteinen koivu, jota kasvaa runsaasti koko maassa. (Oh 2022; Rojo ym. 2021.) Siitepölyjen proteiinit aktivoivat immuunijärjestelmää, ja edistävät siten tulehduksen syntyä. Allergian kehittyminen astmaksi on monimutkainen prosessi, mutta on näyttöä, että siitepölylle altistuminen voi olla yksi allergisen astman laukaiseva tekijä. (Lee ym. 2023.) Siitepölyn aiheuttamaan allergiseen reaktioon vaikuttaa kolme tekijää: kuinka suuren määrän siitepölyä kasvi vapauttaa, kuinka kauan yksilö altistuu siitepölylle ja kuinka allergisoivaa siitepölyä on (Schmidt 2016).

Astma on krooninen hengitysteiden sairaus, ja astmalle tyypillistä on mm. hengitysteiden tulehdus sekä keuhkoputkien lisääntynyt herkkyys. Oireina ovat esimerkiksi yskä ja hengästyneisyys. Astman oireiden voimakkuus saattaa vaihdella iän myötä. On näyttöä, että astmaan liittyvä sairastavuus sekä kuolleisuus ovat vahvasti yhteydessä ympäristötekijöihin. (Arceneaux & Gregory 2024.) Astman syntyyn vaikuttavat sekä geneettiset tekijät, että elinympäristö (McDermott-Levy, Pennea & Moore 2023). Lisäksi tiedetään, että sekä allergisella astmalla että allergisella nuhalla on samankaltainen fysiologia. Sekä allerginen nuha että allerginen astma ovat IgE-välitteisiä. Tästä seuraa, että allerginen nuha on riskitekijä allergiselle astmalle ja päinvastoin. (Hughes ym. 2022.) Erilaiset allergeenit laukaisevat astman pahenemisvaiheita sekä ylläpitävät oireita (Coban & Aydemir 2014).

## 2. Ilmastonmuutos ja siitepöly

Ilmastonmuutos on pidentänyt siitepölykautta ja nostanut siitepölytasoja ja ilmassa leviävien allergeenien pitoisuuksia kasvien fotosynteesin tehostuessa, ja tämän kehityssuunnan odotetaan myös jatkuvan. Siitepölymäärän kasvu korreloi voimakkaasti vuosittaisten lämpötilan nousujen kanssa (Ray & Ming 2020). Ilmassa kulkevat allergeenit, eli aeroallergeenit, ovat siitepölyä ja itiöitä, jotka kulkeutuvat ilmateitse. Kasvien siitepöly ja etenkin aeroallergeenit ovat merkittävä allergioiden ja astman laukaiseva tekijä. (McDermott-Levy ym. 2023; D'Amato & D'Amato 2023.)

### 2.1 Siitepölykaudessa tapahtuvat muutokset

Keskeiset vaikuttajat siitepölykauden muutoksissa ovat vuotuinen keskilämpötila ja sen nousu, teollisuuden aiheuttamat saasteet kuten hiilidioksidi ja muu ihmisen toiminta. Yhä nouseva maapallon keskilämpötila sekä CO<sub>2</sub>-pitoisuudet kiihdyttävät kasviperäisen siitepölyn tuotantoa lisäten siitepölyn pitoisuuksia hengitysilmassa sekä pidentämällä siitepölykautta. Ilmastonmuutos vaikuttaa siten siitepölykauden ajoitukseen ja voimakkuuteen. (Arceneaux & Gregory 2024; Kelly ym. 2023; Anderegg ym. 2021; Nazarova 2024.) Lämpenevät syksyt ja pakkasen puuttuminen voivat olla ongelma, sillä monet yksivuotiset allergisoivat kasvit, kuten marunatuoksukki (*Ambrosia artemisiifolia*), kuolevat pakkasessa (Barnes 2018; Chapman, Haynes, Beal, Essl & Bullock 2013). Pakkasen puuttuessa tai siirtyessä myöhemmäs talveen, allergiakausi pitenee molemmista päistä, ja mahdollistaa kasveille sekä pidemmän kukinnan että suuremman siitepölymäärän levittämisen (Arceneaux & Gregory 2024). Marunatuoksukin kohdalla näin on jo tapahtunut Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Syksyn hallojen viivästyessä, joissain paikoissa Kanadaa marunatuoksukille altistuminen on pidentynyt kolmella viikolla. (Barnes 2018.)

Leudommat talvet mahdollistavat myös kotoperäisten kasvien, kuten koivun, leviämisen pohjoisemmas. Yhä aikaisemmin alkavat keväät mahdollistavat koivun kukinnan aikaisemmin, ja Keski-Euroopassa kukinta on jo aikaistunut. Koivu on tuulipölytteinen, joten siten se on hyvin allergisoiva kasvi. (Biedermann, Winther, Till, Panzner, Knulst & Valovirta 2019.) Yhdysvalloissa on huomattu sama ilmiö keväällä kukkivien lajien, kuten tammen, koivun ja erilaisten heinien kohdalla, eli siitepölykausi alkaa keväällä yhä aiemmin. Arvioiden mukaan siitepölykaudet ovat

pidentyneet Pohjois-Amerikassa noin 20 päivällä, ja samalla siitepölypitoisuudet ovat kasvaneet viidenneksen 1990-luvulta lähtien. (Anderegg ym. 2021; Beggs ym. 2023.)

Britanniassa on havaittu, että keväällä kukkivien kasvien kukinta on aikaistunut 4,5 päivällä verrattuna 1900-luvun loppuun. Samankaltaisia tuloksia allergiakauden pidentymisestä ja siitepölymäärien kasvusta on raportoitu myös muun muassa Italiasta ja Puolasta. Länsi-Puolassa joidenkin heinien ja nokkosen siitepölykaudet ovat jo pidentyneet 2–4 päivällä vuosien 1996 ja 2011 välillä. (Barnes 2018; Schmidt 2016; Weber 2024.) Aikaisemman alkavan siitepölykauden lisäksi on havaittu, että siitepölykauden aikana vapautuu aiempaa enemmän siitepölyä, eli siitepölyn kokonaismäärä kasvaa. (Barnes 2018.) Ilmansaasteiden vuoksi kukkivien kasvien kukinta on aikaistunut kaupunkialueilla 2–4 päivällä verrattuna vastaaviin maaseutualueisiin (D'Amato, Holgate ym. 2015). Maailmanlaajuisesti siitepölykauden arvioidaan alkavan peräti kuusi viikkoa aiemmin tämän vuosisadan loppuun mennessä, ja kestävän kaksi viikkoa pidempään kuin nyt. Samalla siitepölyn vuosittaisen kokonaismäärän odotetaan kasvavan 40 %. (Le Souëf ym. 2024.)

Ihmiset eivät altistu vain yhdelle kemikaalille tai tekijälle, kuten siitepölylle, kerrallaan. Fossiilisten polttoaineiden polttaminen ja liikenteen päästöt saastuttavat kaupunkien ilmaa. Nämä monimutkaiset sekoitukset erilaisia kemikaaleja voivat muuttaa hengitysteiden puolustusmekanismeja ja toimia allergeenien kanssa synergisesti. Tämä saattaa lisätä allergiaoireita tai altistaa sairastumiselle. (Wright 2020; Beggs ym. 2023.) Toisin sanoen, erilaiset kasvihuonekaasut ja ilmansaasteet voivat muuttaa siitepölyjen allergeenisia profiileja ja lisätä siitepölyn allergeenisuutta. Tutkimuksissa on osoitettu, että esimerkiksi korkeat otsonitasot lisäävät koivun siitepölyn allergeenipitoisuutta. Marunatuoksukista on saatu samanlaisia tuloksia. (Barnes 2018; Beggs ym. 2023; Ziska 2021.) Tämän lisäksi siitepölyhiukkaset voivat ikään kuin imeä itseensä raskasmetalleja, rikkiä ja nitraatteja, ja saasteen pienhiukkaset kiinnittyvät siitepölyhiukkasten pintaan. Tällainen saasteiden ja siitepölyn vuorovaikutus voi vaikuttaa allergeenien vapautumiseen ja siitepölyproteiinin sitoutumista ilmassa oleviin hiukkasiin, etenkin voimakkaasti saastuneilla alueilla. (Kline & Prunicki 2023.) Hiilidioksidi on merkittävä siitepölyntuotannon kiihdyttäjä. On arvioitu, että vuoteen hiilidioksiditasojen kaksinkertaistuminen voi nostaa siitepölytaasoja 200 %. (Beggs ym. 2023.) Ihmisellä on siten vaikutuksensa tähän yhtälöön. Ihmisten myötävaikutus selittää noin 50 % siitepölykausiin muutoksista (Anderegg ym. 2021).

## Ilmiön vaikutus väestöön

Kasvien siitepöly on merkittävin allergioiden sekä allergisen astman laukaisija. Allergiakauden pidentyminen ja siitepölyn kokonaismäärän kasvu onkin kenties keskeisin vaikutus allergikoille sekä astmaa ja muita hengityselinsairauksia sairastaville. Siitepölymäärän kasvu ja pidentynyt allergiakausi sekä pahentaa jo allergisten oireita sekä altistaa uusia terveitä yksilöitä. Toisin sanoen, hengityselinsairauksista tulee sekä vakavampia, että niiden esiintyvyys kasvaa. Pitkän aikavälin tutkimuksista on saatu näyttöä, että siitepölylle herkistyminen, allergiat ja muut hengityselinsairaudet lisääntyvät kaikilla ikäryhmillä, mutta erityisesti lapsilla. Tämän seurauksena allergisesta astmasta tulee yhä yleisempää lapsilla ja nuorilla. (Anderegg ym. 2021.) Ilmansaasteet voivat toimia synergisesti siitepölyhiukkasten kanssa ja ne voivat muuttaa allergeeniproteiini immuunivastetta. Nämä muutokset voivat pahentaa ilmastonmuutoksen vaikutusta hengityselinsairauksiin entisestään. (Beggs ym. 2023.) On myös näyttöä, että ilmastonmuutos voi muuttaa ruokien ravitsemuksellista arvoa. Tämä voi osaltaan vaikuttaa astmaan sekä astmaan liittyviin sairauksiin. (Wright 2020.)

## 2.2 Allergeenisten kasvien esiintyvyyden muutokset

Merkittävien allergeenista siitepölyä tuottavien kasvien maantieteellisen levinneisyyden odotetaan muuttuvan ilmastonmuutoksen myötä. Kasvuvyöhykkeet ovat jo siirtyneet pohjoisemmaksi ainakin 1960-luvulta alkaen. Tämän seurauksena siitepölyallergioista kärsivät saattavat altistua uusien kasvien siitepölyille sekä ennestään tuttujen kasvien siitepölyille, mutta pidempinä ajanjaksoina. (Barnes 2018; Pacheco ym. 2021.) Ilmastonmuutos vaikuttaa kasvien fysiologiaan muun muassa lämpötilan ja hiilidioksidin kautta. Tämän seurauksena vieraslajit pääsevät leviämään entistä laajemmalle, mikä saattaa myös rajoittaa kotoperäisten kasvien elintilaa. (Le Souëf ym. 2024.) Uudessa-Seelannissa toteutettu tutkimus paljasti, että vaikka kasvillisuuden monimuotoisuus (esimerkiksi maalla asuminen kaupungin sijaan) suojasi lapsuusiän astmalta, vieraslajeilla tällaista vaikutusta ei ollut. Sen sijaan vieraslajit heikensivät kasvillisuuden monimuotoisuuden tuomaa suojaa ja lisäsivät astmaan sairastumisen riskiä. (Deng ym. 2020.)

Hyvä esimerkki allergeenisten kasvien leviämisestä on Pohjois-Amerikasta kotoisin oleva marunatuoksukki (*Ambrosia artemisiifolia*). Ensimmäiset havainnot marunatuoksukista Euroopassa ovat vuodelta 1888, Unkarista. Sittemmin marunatuoksukki on levinnyt aggressiivisesti

lähes kaikkialle Keski-Eurooppaan, ja myös Pohjois-Eurooppaan lähes Itämerelle asti. (Barnes 2018.) Marunatuoksukin siitepölyä, siemeniä ja kasveja on löytynyt myös Ruotsista ja Tanskasta (Schou & Jensen 2019). Suomeen on kulkeutunut marunatuoksukin siitepölyä kaukokulkeumina 1990-luvulta alkaen (Helsingin Sanomat 2024). Ennusteiden mukaan marunatuoksukki-allergiasta voi tulla yleinen terveysongelma koko Euroopassa, myös alueilla, joissa sitä ei vielä esiinny (Barnes 2018). Joidenkin arvioiden mukaan marunatuoksukin määrä voi nelinkertaistua vuoteen 2050 mennessä, ja suurimmat siitepölypitoisuuksien lisäykset tapahtuvat Itä- ja Pohjois-Euroopassa. On odotettavissa, että myös Euroopassa marunatuoksukin kasvu-kausi pitenee, ja marunatuoksukki sietää hyvin korkeita lämpötiloja (Wright 2020; Schmidt 2016; Ray & Ming 2020; Katelaris & Beggs 2018; Weber 2024.)

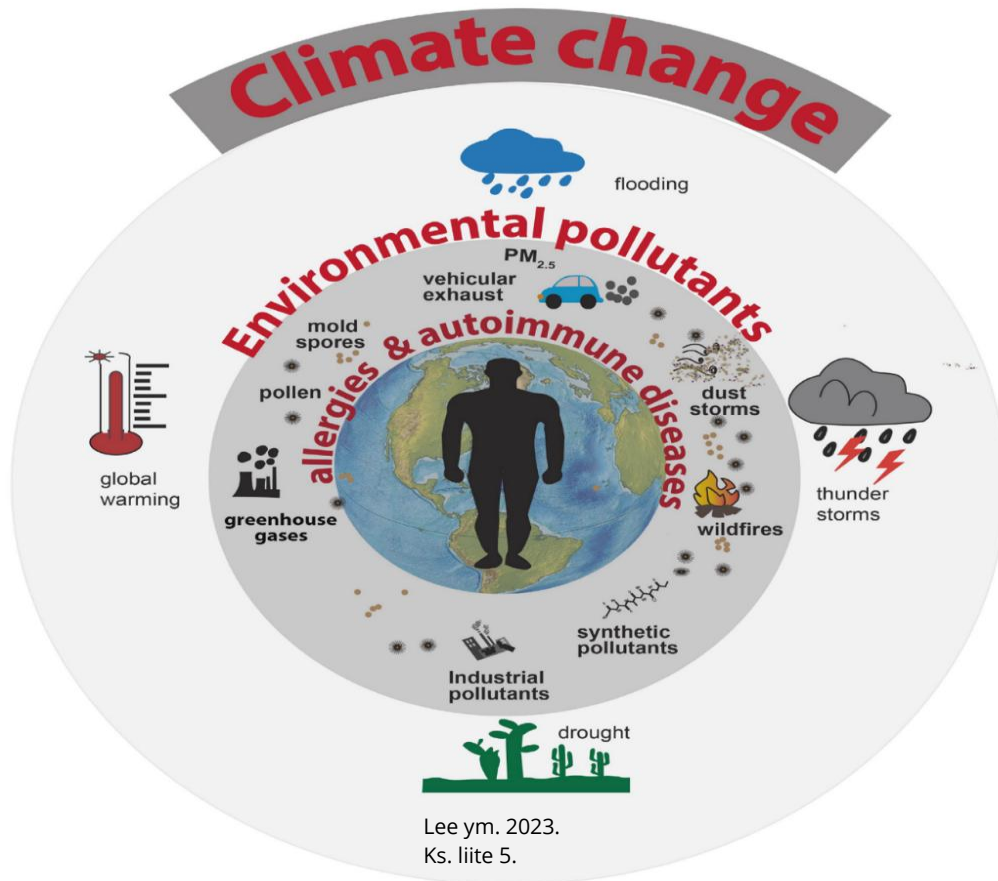
Marunatuoksukin leviäminen on siis merkittävä ongelma. Marunatuoksukki on voimakkaasti allergisoiva kasvi, sillä se päästää ilmoille valtavan määrän erittäin allergisoivaa siitepölyä. Yksi marunatuoksukki voi tuottaa jopa miljardi siitepölyhiukkasta, ja kasvin siitepölyn sisältämä proteiini saa immuunijärjestelmän reagoimaan voimakkaasti. Altistumista pahentaa marunatuoksukin pitkä allergiakausi, joka jatkuu pitkälle syksyyn ja päättyy vasta pakkasiin. (Schmidt 2016.) Lisäksi koeasetelmissa on havaittu, että hiilidioksidipitoisuuksien noustessa marunatuoksukin allergiaproteiinista tulee voimakkaampi eli allergisoivampi (Barnes 2018).

Siitepölyntuotannon ja allergiakauden pidentymisen lisäksi kohonneet lämpötilat ja kasvihuonekaasut voivat vaikuttaa myös siitepölyn vapautumiseen ja leviämiseen. Tuulipölytteisillä kasveilla kasvin korkeus voi vaikuttaa siitepölyn kulkumatkaan sekä siementen leviämiseen. Tuulet siis saattavat osaltaan vaikuttaa esimerkiksi marunatuoksukin kaltaisten aggressiivisesti allergisoivien kasvien leviämismopeuteen. (Ziska 2021.)

### **Ilmiön vaikutus väestöön**

Vierasperäiset kasvit rajoittavat kasvillisuuden monimuotoisuutta ja diversiteetin tuomaa suojaa, jonka seurauksena astmaan sairastumisen riski kasvaa. Se, miten kasvien leviäminen ja vieraslajit vaikuttavat hengityselinsairauksiin, on yhä epäselvää. (Deng ym. 2020.) On kuitenkin varmaa, että marunatuoksukin leviäminen Euroopassa on yhä kasvava ongelma. Mallinnukset osoittavat, että tulevaisuudessa marunatuoksukille herkistyy yhä useampi myös Euroopassa ja

jopa Pohjoismaissa, missä marunatuoksukkaa ei vielä aktiivisesti esiinny. Vierasperäiset lajit vievät elintilaa myös kotoperäisiltä lajeilta.



### 3. Ilmansaasteet

Maailman terveysjärjestö WHO linjaa, että ilman saastuminen on yksi merkittävin ilmastoon liittyvistä terveysriskeistä. Ihmisten käyttämien fossiilisten polttoaineiden, kuten maakaasun, öljyn ja hiilen, polttaminen vapauttaa muun muassa hiilidioksidia sekä muita kaasuja maapallon ilmakehään. Fossiilisten polttoaineiden vapauttama hiilidioksidi nostaa hitaasti ilmakehän lämpötilaa. (Sanders & Davis 2023.) Kohonneet lämpötilat sen sijaan heikentävät ilmanlaatua, lisäävät siitepölyn määrää sekä muita allergeeneja hengitysilmassa (Arceneaux & Gregory 2024; D'Amato & D'Amato 2023; Rorie 2022). Kaikissa arvioituissa skenaarioissa koskien kasvihuonekaasujen päästöjä, ennustetaan maapallon keskilämpötilan kohoavan 2000-luvulla (Deng 2020; Katelaris & Beggs 2018). Arktisilla alueilla keskimääräiset vuosittaiset lämpötilat ovat jo

nousseet kaksinkertaisesti maailman keskiarvoon verrattuna (Demain 2018). Joidenkin ennusteiden ja ilmastoskenaarioiden mukaan maapallon keskilämpötila voi nousta 5 celsiusastetta vuoteen 2100 mennessä (Le Souëf ym. 2024)

Ilmastonmuutokseen liittyvistä muuttujista ilmansaasteet ovat kenties merkittävin muuttuja, joka vaikuttaa suoraan hengityselinsairauksiin, ja useat tutkimukset tukevat väitettä (Le Souëf ym. 2024; Eguiluz-Gracia ym. 2020). Ihmisten toiminta, kuten lihantuotanto, metsien kaataminen sekä fossiilisten polttoaineiden käyttö lisäävät kasvihuonekaasujen (Greenhouse Gases) päästöjä. Kasvihuonekaasut estävät maapallolta poistuvaa lämpösäteilyä karkaamasta avaruuteen. Tämä johtaa niin kutsutun kasvihuoneilmaston voimistumiseen, joka on keskeinen tekijä ilmastonmuutoksessa. (Arceneaux & Gregory 2024; EPA 2024 a.) Kasvihuonekaasuihin luetaan hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), metaani (CH<sub>4</sub>) sekä dityppioksidi (N<sub>2</sub>O) (EPA 2024 a). Näiden kasvihuonekaasujen pitoisuudet ovat kasvaneet globaalisti ja merkittävästi edellisen vuosisadan aikana (Arceneaux & Gregory 2024). Hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) pidetään merkittävimpana kasvihuonekaasuna ja siten suurimpana ilmastonmuutoksen aiheuttajana (D'Amato & D'Amato 2023).

On näyttöä, että erittäin korkeat hiilidioksiditasot voivat suoraan vahingoittaa nisäkkäiden keuhkoja, mutta on epäselvää, miten tällainen voisi vaikuttaa ihmisten keuhkoihin, ja minkälainen rooli hiilidioksidilla olisi tällöin esimerkiksi astman synnyssä ja kehittämisessä (Le Souëf ym. 2024). Vaikka hiilidioksidi ei suoraan ole saaste, kohonneet hiilidioksidipitoisuudet vaikuttavat useisiin ekologisiin prosesseihin. Esimerkiksi lisääntynyt hiilidioksidi ikään kuin toimii lannoitteena tai ravinteina kasveille. Tämä ei väistämättä ole huono vaikutus, sillä kaikki kasvit eivät allergisoi. (Wright 2020; Barnes 2018; Sanders & Davis 2023; Le Souëf ym. 2024.) Kuitenkin juuri allergisoivien kasvien kohdalla hiilidioksidin määrän kasvu on ongelma. Koeasetelmissa on havaittu, että esimerkiksi marunatuoksukin siitepölymäärän tuotanto lisääntyy 61 %, mikäli hiilidioksidin määrä ilmakehässä kaksinkertaistuu. (Barnes 2018; Rorie 2022.) Toisten arvioiden mukaan marunatuoksukin siitepölymäärän tuotanto lisääntyy 30–90 % tai 60–100 % vuoteen 2085 mennessä Yhdysvalloissa. Marunatuoksukki viihtyy ihmisten muokkaamilla alueilla, kuten kaupungeissa ja kaupunkien liepeillä. Kaupunkialueiden korkeampien ilmansaaste-pitoisuuksien vuoksi marunatuoksukki myös kukkii pidempään kaupungissa kuin maaseudulla. (Demain 2018; Domingo ym. 2024; Schmidt 2016.)

Kasvava kaupungistuminen altistaa yhä useammat ihmiset epäpuhtaalle ilmalle. Arviolta 90 % maailman väestöstä elää alueilla, missä ilmanlaatu ei vastaa Maailman terveysjärjestön (WHO) suosituksia, ja ilmansaasteet ovat yksi merkittävin ennenaikaiseen kuolemaan johtaneista syistä. (Eguiluz-Gracia ym. 2020; Pacheco ym. 2021.) Kaupungistuminen jatkuu, ja 66 % maapallon väestöstä asuu kaupungeissa vuoteen 2050 mennessä (Singh & Kumar 2022). EU:n kaupunkiväestöstä altistuu jo nyt 96 % ilmansaasteille, jotka ylittävät turvalliset rajat (Patella ym. 2018). Maanpinnan kohenneet otsonitasot ovat ongelma erityisesti kaupungeissa, missä moottoriajoneuvot sekä teollisuus tuottavat monenlaisia haitallisia yhdisteitä, kuten VOC-yhdisteitä, hiilimonoksidia sekä NO<sub>x</sub>-yhdisteitä. Kohonneita otsonitasoja on kaupunkien ohella havaittu myös maaseudulla. (McDermott-Levy ym. 2023; Arceneaux & Gregory 2024; Demain 2018; D'Amato & D'Amato 2023.) Korkeat lämpötilat saattavat pidentää kohonneiden otsonitasojen kestoa (D'Amato & D'Amato 2023). Taulukossa 1 on lueteltu joitakin teollisuuden synnyttämiä ilmansaasteita, näiden ilmansaasteiden lähteitä sekä niiden vaikutuksia ihmisiin.

### **Ilmiön vaikutus väestöön**

Ilmastonmuutoksella nähdään olevan sekä suoria että epäsuoria vaikutuksia yksilön terveyteen. Yleensä tarkastellaan erikseen sosiaalisia ja fyysisiä ympäristötekijöiden vaikutuksia allergisiin sairauksiin ja astmaan. On helpompaa eritellä ympäristötekijät omiin kategorioihinsa, mutta tulee muistaa, että nämä vaikutukset toimivat myös yhdessä, vuorovaikutuksessa keskenään, eivätkä ne siten välttämättä ole lopullisesti täysin eroteltavissa toisistaan. (Wright 2020.) Joidenkin arvioiden mukaan juuri ilmansaasteilla on suurin vaikutus hengityselinsairauksiin ja erityisesti astmaan, sillä erilaiset ilmansaasteet ovat lisääntyneet voimakkaasti useista eri syistä samanaikaisesti (Le Souëf ym. 2024). Yksi peruuttamaton vaikutus onkin kuolema. On arvioitu, että 12 % kaikista kuolemista maailmanlaajuisesti vuonna 2019 johtui ilman saastumisesta (Sanders & Davis 2023.)

**Taulukko 1, ilmansaasteet**

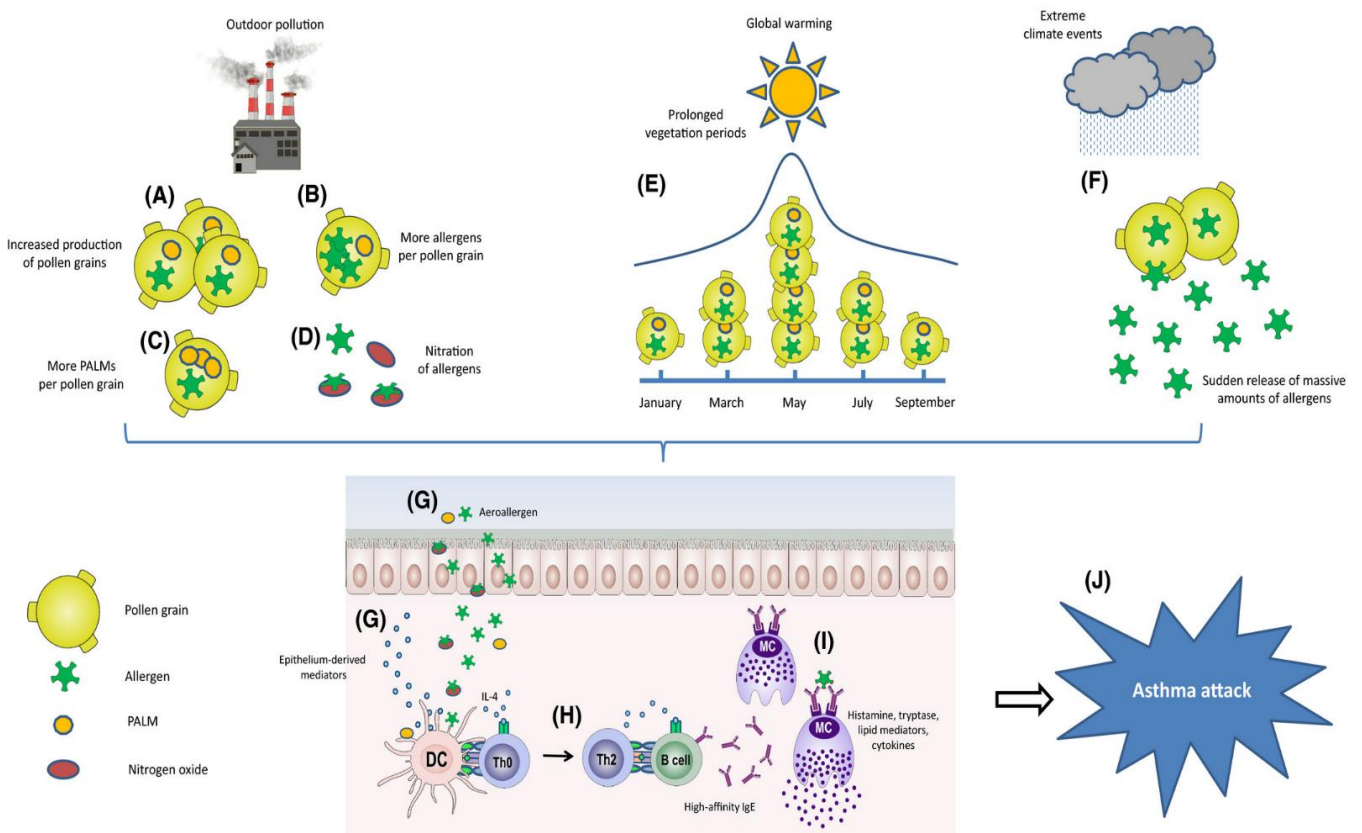
Yhdisteen nimi & se-lite	Syntyy	Lähteet	Vaikutukset ihmisiin	Kirjallisuus-lähteet
Hiilimonoksidi (CO). Väritön, hajuton ja myrkyllinen kaasu.	Epätäydellisen palamisen tuloksena esimerkiksi silloin, kun fossiilinen polttoaine tai puu ei pala täysin.	Moottoriajoneuvot, teollisuus, avotuli ja tupakointi	Suurina pitoisuuksina hengitettynä vähentää veren hapenkuljetuskykyä, mikä voi johtaa vakaviin terveysongelmiin tai jopa kuolemaan	EPA 2024 b, WHO 2021
Typen oksidit (NOx). Ryhmä kaasuja, kuten typpimonoksidi (NO) ja typpioksidi (NO <sub>2</sub> )	Polttomoottoreissa tai teollisissa prosesseissa korkeat lämpötilat aiheuttavat typen ja hapen reaktion.	Moottoriajoneuvot, energiantuotanto (hiili-, öljy- ja kaasukäyttöiset voimalat), teollisuus	NOx-yhdisteet edistävät maan tasalla olevan otsonin muodostumista ja voivat aiheuttaa hengitysteiden ärsytystä sekä pahentaa keuhkosairauksia.	EPA 2024 c, EEA 2024
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC Volatile Organic Compounds). Ryhmä orgaanisia kemikaaleja, jotka haihtuvat helposti ilmaan huoneen lämmössä.	Esimerkiksi bensiinin höyryt, liuottimet, maalit, liimat ja luonnolliset yhdisteet.	Moottoriajoneuvot, teollisuus, rakennusmateriaalit, maalit, liimat ja luonnolliset yhdisteet.	VOC-yhdisteet voivat reagoida NOx-yhdisteiden kanssa ja muodostaa otsonia maan tasalle. Ne voivat myös aiheuttaa päänsärkyä ja hengitysteiden ärsytystä.	EPA 2024 d, WHO 2010
PM <sub>2.5</sub> hienojakoiset pienhiukkaset. Hienojakoisia pienhiukkasia, jonka aerodynaaminen halkaisija on alle 2,5 mikrometriä.	PM <sub>2.5</sub> -hiukkasia syntyy polttoaineiden (hiilen, öljyn, tai puun) palamisesta.	Teollisuusprosessit ja rakennustointiminta, energiantuotanto ja teollisuus, moottoriajoneuvot sekä luonnolliset lähteet kuten maastopalot ja tulivuorenpurkaukset.	PM <sub>2.5</sub> -hiukkaset voivat tunkeutua keuhkoihin ja verenkiertoon. Ne vaikuttavat negatiivisesti hengityselimiin sekä sydän- ja verisuonijärjestelmään pahentaen astmaa tai aiheuttaen astma-kohtauksia. Pitkäaikainen altistuminen voi johtaa keuhkosyöpään tai keuhkohtaumatautiin (COPD). Lapsilla PM <sub>2.5</sub> voi häiritä keuhkojen kehitystä.	WHO 2021 EPA 2024 e
Maanpinnan tasolla oleva otsoni (O <sub>3</sub> )	Syntyy maan pinnalla valokemiallisista reaktioista muista saasteista.	Muut saasteet, kuten typen dioksidi, hiilivedyt. Lisäksi lämpöä ja uv-säteilyä tarvitaan.	Lisää astman pahenemisvaiheiden tiheyttä, altistaa infektioille ja pahentaa COPD:tä.	Demain 2018
Rikkioksidi (SO <sub>2</sub> )				

Ilmansaasteet vaikuttavat monella tapaa ihmisten terveyteen. Pitkäaikainen ilmansaasteille altistuminen on yhdistetty keuhkohtaumataudin (COPD) pahenemiseen, keuhkojen toiminnan heikentymiseen sekä kuolleisuuden kasvuun. Lisäksi on näyttöä, että ilmansaasteet saattavat vaikuttaa myös neurologisiin sairauksiin, esimerkiksi Parkinsonin tautiin. (Patella ym. 2018.) Tutkimukset osoittavat, että lapsuusiän astma liittyy etenkin kaupunkialueilla asuvilla ilmansaasteille, kuten typpidioksidille ja hienojakoisille  $PM_{2.5}$ -hiukkasille, altistumiseen. Ilmansaasteet helpottavat allergeenien pääsyä hengitysteihin, ja esimerkiksi typpioksidi, joka pääsee tunkeutumaan syväälle keuhkoihin, on yhteydessä lisääntyneeseen astman sairastavuuteen. (Arceneaux & Gregory 2024; Le Souëf ym. 2024.) Typen oksidi on yhdistetty uusimmissa tutkimuksissa astman lisäksi myös epänormaaliin keuhkojen kehitykseen ja keuhkotulehdukseen (Le Souëf ym. 2024). Toinen astman laukaiseva tekijä voi olla maanpinnan kohonneet otsonitasot. On näyttöä, että kohonneiden otsonitasojen ja astman välillä on yhteys (Arceneaux & Gregory 2024). Ilmastomuutoksen aiheuttamat korkeammat lämpötilat yhdessä ilmansaasteiden kanssa kiihdyttävät otsonin muodostumista maanpinnan tasolla. (McDermott-Levy ym. 2023.) Kohonneet otsonitasot on yhdistetty lasten lisääntyneisiin päivystyskäynteihin. Otsonille altistuminen aiheuttaa muun muassa keuhkotoiminnan äkillistä heikkenemistä, hengitysteiden yliherkkyyttä, tulehdustiloja ja epiteelisolujen vaurioita sekä voi pahentaa keuhkohtaumatautia. Lisäksi astman kehittymisen sekä pahenemisvaiheen ja  $PM_{2.5}$ -hiukkasten välillä on havaittu yhteys. (McDermott-Levy ym. 2023; Arceneaux & Gregory 2024; Demain 2018; D'Amato & D'Amato 2023.)

Maailmanlaajuisessa tutkimuksessa on arvioitu, että vuonna 2015 kaikista maailman astmaa koskevista päivystyskäynneistä 8–20 % johtui ainoastaan otsonista (Singh & Kumar 2022). Lisäksi ilmansaasteille altistuminen voi ylipäätään lisätä hengitysteiden läpäisevyyttä, vaurioittaa hengitysteiden epiteeliä, heikentää värekarvojen toimintaa, vaikuttaa limaneritykseen sekä aiheuttaa hengitysteiden yliherkkyyttä. Kokonaisuudessaan ilmansaasteet voivat muuttaa mikrobiomia ja ne häiritsevät immuunivastetta. (Le Souëf ym. 2024; D'Amato & D'Amato 2023.) Karkajalouden saasteet, kuten metaani ja ammoniakki, on yhdistetty heikentyneeseen keuhkojen toimintaan (Eguiluz-Gracia ym. 2020). Myös keuhkohtaumataudin (COPD) kuolleisuuteen on yhdistetty  $PM_{2.5}$ -hiukkasten korkeat pitoisuudet (Tran ym. 2023). Edellä olevien lisäksi  $PM_{2.5}$ -

hiukkaspäästöt ja PM<sub>10</sub>-hiukkaspäästöt on yhdistetty lisääntyneisiin sairaalakäynteihin sekä keuhkosyövän lisääntyneeseen riskiin (Tran, Tsai ym. 2023).

Ilmansaasteiden rooli hengityselinsairauksissa on siis merkittävä. Edellä kuvatun lisäksi erilaiset ilmansaasteet ja siitepöly vaikuttavat ihmisten terveyteen myös yhdessä: Ilman epäpuhtaudet tarttuvat siitepölyhiukkasten tai kasvien mikrokokoisten osien pintaan, ja muuttavat siitepölyn tai kasvin osan allergeeneja sisältävien hiukkasten morfologiaa sekä lisäävät niiden allergiopotentiaalia (D'Amato & D'Amato 2023; Hughes ym. 2022; Deng ym. 2020; Sampath ym. 2023; Ziska 2021). Kaikissa tutkimuksissa saasteiden vaikutusta allergeeneihin ei ole todennettu, ja ilmiöiden merkitys on osittain epäselvä. Ranskalainen tutkimus, johon osallistui yli 36 tuhatta allergisesta nuhasta kärsivää potilasta, ei todennut ilmansaasteiden vaikuttavan siitepölyhiukkasiin siten, että sillä olisi yhteys allergiseen nuhaan. Toisaalta Kanadassa havaittiin, että ilmansaasteet korkeiden siitepölypitoisuuksien kanssa lisäsivät astmaan liittyvien sairaalakäyntien riskiä. (Eguiluz-Gracia ym. 2020.)



**Kuva 2.** Ulkoilman saasteiden ja ilmastonmuutoksen vaikutus allergeeneihin ja niiden aiheuttamiin allergia- ja astmaoireisiin (Eguiluz-Gracia ym. 2020).

## 4. Sää ja äärimmäiset sääilmiöt

Äärimmäiset sääilmiöt sekä luonnon katastrofit, kuten tulvat tai metsäpalot, yleistyvät ilmastomuutoksen myötä. Myös merenpinnan ennustetaan nousevan jäätiköiden sulamisen kiihtyessä. Muuttuvat sääolosuhteet johtuvat pääosin globaalista lämpötilan kohoamisesta. Maastopalot synnyttävät pienhiukkasia, jotka ovat terveydelle vaarallisia hengittää. Merenpinnan nousu ja lisääntyvät myrskyt, kuten hurrikaanit ja pyörremyrskyt, voivat lisätä homeitiöiden kasvua kosteilla ja matalilla alueilla. (Sanders & Davis 2023.) Äärisääilmiöt, kuten ukkosmyrskyt, trooppiset myrskyt sekä äärimmäinen kuumuus vaikuttavat ilmassa kulkeviin allergeeneihin sekä edistävät mikrobien ja homeen kasvua. Äärimmäiset sääilmiöt itsessään siis aiheuttavat terveysongelmia suoraan sekä välillisesti. Erilaiset sääilmiöt saattavat vaikuttaa ihmisten hengitysteihin joko suoraan tai välillisesti. Jotkut sääilmiöt, kuten kuumuus ja ukkosmyrskyt, voivat esimerkiksi lisätä aeroallergeenien pitoisuuksia hengitysilmassa. (Arceneaux & Gregory 2024.)

### 4.1 Lämpötilojen vaihtelut (kuumuus ja kylmyys)

Vaihtelevat, epävakaat sääolosuhteet ovat ilmastomuutoksen piirteitä. Etenkin alueilla, jotka ovat kaukana suurista meristä, odotetaan yhä lisääntyviä ja pidempikestoisia kuumia jaksoja. Kuumien jaksoiden tai lämpöaaltojen esiintymistiheyden ennustetaan kasvavan 2000-luvulla. On arvioita, joiden mukaan kesien lämpöaallot ovat normaali vuosittainen ilmiö vuoteen 2150 mennessä. (Barnes 2018.) Vähintään 3–5 peräkkäisen päivän mittainen kuumuuden jakso, jolloin päivittäinen korkein lämpötila ylittää keskimääräisen korkeimman lämpötilan vähintään viidellä celsiusasteella, määritellään helleaaloksi (Biagioni ym. 2023).

### Ilmiön vaikutus väestöön

Lämpötiloihin liittyvä kuolleisuus on dokumentoitu hyvin Euroopassa, ja korkeat lämpötilat ja hellejaksot ovat yksi merkittävin sääilmiöihin liittyvä syy kuolleisuuteen globaalisti (D'Amato ym. 2015; McDermott-Levy ym. 2023). Äärimmäisten lämpötilojen ja kuolleisuuden sekä sairastavuuden välillä on siis yhteys. Äärimmäiset hellejaksot voivat pitkittyessään nostaa kehon lämpötilaa, mikä vaikuttaa sydämen toimintaan ja hengitykseen. Astmapotilailla tämä voi johtaa keuhkojen ilmanvaihdon heikkenemiseen, ja voi altistaa päivystyskäynneille sekä sairaalahoitolle. On näyttöä, että kuumuusjaksojen jälkeen päivystyskäyntien määrä ja sairaalajaksot

lisääntyvät. Lisäksi kuumuus ja sen aiheuttama stressi voivat aiheuttaa nestehukkaa. Nestehukka voi häiritä verenkiertoa ja siten myös keuhkojen verenkiertoa. (McDermott-Levy ym. 2023.)

Akuuttien hengityselinsairauksien lisääntymisestä hellekausina on niin ikään näyttöä. Yhden celsiusasteen nousu nostaa ennenaikaisen kuolemanriskin kuusinkertaiseksi potilailla, jotka kärsivät hengityselinsairauksista verrattuna muuhun väestöön. (D'Amato ym. 2015.) Kiinassa toteutettu tutkimus osoitti, että päivittäisissä lämpötilan vaihteluissa yhden celsiusasteen nousu johti 2,5 % kasvuun astmasta johtuvissa sairaalakäynneissä (Deng 2020). Lämpötilan nousu ja kuumat jaksot vaikuttavat ilmansaasteiden käyttäytymiseen. Pienhiukkaset (erityisesti PM<sub>2,5</sub>-hiukkaset) saattavat muuttaa jakautumistaan sekä pitoisuuttaan, ja ne voivat levitä herkemmin korkeammassa lämpötiloissa. Tämä lisää astmakohtausten sekä astmaan sairastumisen riskiä. Jo astmaa sairastavien sairaus yleensä pahenee äärimmäisten hellejaksojen aikana. (Arceneaux & Gregory 2024.)

Lisäksi äärimmäiselle kuumuudelle altistuvat väestöt ovat alttiimpia mielenterveysongelmille ja stressille. Vaikutukset voivat niin ikään olla suoria tai epäsuoria. Suoria vaikutuksia ovat esimerkiksi altistuminen luonnon katastrofeille tai äärimmäiselle kuumuudelle, epäsuoria vaikutuksia ovat esimerkiksi pakolaisuus ja taloudelliset menetykset. Altistuminen kroonisille stressitekijöille on yhdistetty hengityselinsairauksiin. On myös havaittu, että epäsuotuisat vaikutukset saattavat siirtyä seuraavalle sukupolvelle. (Wright 2020.)

Kuumuuden lisäksi kylmyys tai nopeasti laskevat lämpötilat voivat aiheuttaa astman pahentumista, ja tästä on näyttöä erityisesti lasten kohdalla. Korkea suhteellinen ilmankosteus yhdistettynä kylmään säähän on yhdistetty astmakohtauksiin nuoremmilla lapsilla. (McDermott-Levy ym. 2023.) Toinen kylmiin jaksoihin liittyvä huolenaihe on, että kylmän ilman jaksot saattavat lisätä epävarmuutta ilmastolämpenemisen todellisuudesta, ja yleinen epäluuloisuus ilmastomuutosta kohtaan lisääntyy. Vastaavasti tämä toimii myös toiseen suuntaan: keskimääräisten lämpötilojen noustessa, myös huoli ilmastomuutoksesta kasvaa. On myös havaittu, että tietyt hiukkaspitoisuudet yhdessä kylmän ilman kanssa lisäävät hengityssyistä johtuvaa kuolleisuutta. (D'Amato, Holgate ym. 2015.)

## 4.2 Sateet, tulvat & merenpinnannousu

Keskimäärin merenpinta on noussut maailmassa noin 18–20 cm edellisen sadan vuoden aikana. Tästä 7 cm:n nousu on tapahtunut vuodesta 1993 alkaen. (Demain 2018.) Ilmastonmuutos on aiheuttanut sademääriin monimutkaisia muutoksia. Toisilla alueilla saadaan sateita entistä enemmän, toisaalla vähemmän. Arvioidaan, että tulevaisuudessa kuivien alueiden ja kosteiden alueiden kontrasti tulee olemaan jyrkempi. (Katelaris & Beggs 2018.) Kun ilmastonmuutoksen myötä rankkasateet ja myrskyt joillain alueilla yleistyvät, ja näistä voi seurata tulvia (Kline & Prunicki 2023).

### Ilmiön vaikutus väestöön

Merenpinnan noustessa ja sademäärien muuttuessa ilmastonmuutoksen myötä, odotetaan myös homeallergioiden lisääntyvän. Merenpinnan noususta laadittujen ennusteiden mukaan merenpinnan nousu lisää tulvien riskiä sekä saattaa altistaa 3,3 miljardia ihmistä maailmanlaajuisesti aiempaa kosteammille, homeita ja sieni-itiöitä suosiville olosuhteille. Huonosti ilmastoidut, kosteat elinolosuhteet ovat yhteydessä hengityselinsairauksiin, ja on osoitettu, että homeitiöiden hengittäminen on yhteydessä sekä astmaan että allergiseen nuhaan. (Barnes 2018; Sanders & Davis 2023.) Arvioiden mukaan kosteissa ja homeelle altistuneissa tiloissa asuminen nostaa hengityssairauksiin sairastumisen riskiä 30–50 % (Deng ym. 2020). Lisäksi homeet ja kodin kosteusvauriot on liitetty kohonneeseen riskiin sairastua keuhkohtaumatautiin (COPD) (D'Amato ym. 2015; Deng ym. 2020).

Rankkasateet voivat aiheuttaa tulvia, ja tulvavesi on likaista. Likainen tulvavesi lisää esimerkiksi erilaisten tartuntatautien riskiä. Lisääntyneet sademäärät on yhdistetty korkeampiin kuolleisuuslukuihin lähinnä kulkutautien ja riittämättömän ravinnon vuoksi. (Kline & Prunicki 2023.)

### 4.3 Metsä- ja maastopalot

Äärimmäiset kuivat jaksot ilman sadetta luovat suotuisat olosuhteet maasto- ja metsäpaloille. Metsäpalojen tuottamille pienhiukkasille altistumista on arvioitu mittausasemien ja satelliittien avulla, mutta metsäpalojen aiheuttamien ilmansaasteiden erottaminen muista ilmansaasteista sekä altistumisen arvioiminen, on haastavaa. (Deng ym. 2020.) Metsäpalot ovat lisääntyneet maailmanlaajuisesti, ja esimerkiksi yksin Kanadassa on ollut vuonna 2022 niin laajoja

metsäpaloja, että paljosten savu on peittänyt suuria alueita Pohjois-Amerikasta (Balmes & Holm 2023). Ennustetaan, että ilmastonmuutoksen myötä maasto- ja metsäpalot yleistyvät, ja niistä tulee pikemminkin normaaleja vuosittaisia ilmiöitä, kuin poikkeuksia. (Arceneaux & Gregory 2024; Nazarova 2024) Kuten siitepölyjenkin kohdalla, myös metsäpalojen kohdalla ilmastonmuutos näyttää lisäävän sekä metsäpalojen kestoja että intensiteettiä (Barnes 2018). Metsäpaloista syntynyt savu saattaa kulkea tuhansien kilometrien päähän ja huonontaa ilmanlaatua kaukana paloalueista. Metsäpalojen epätäydellisen palamisen seurauksena syntynyt savu sisältää ennen kaikkea erilaisia hiukkaspäästöjä, häkää, typpidioksidia ja typpioksidia sekä haihtuvia ja puolihaihtuvia orgaanisia yhdisteitä. (Arceneaux & Gregory 2024; Barnes 2018; Le Souëf ym. 2024; Balmes & Holm 2023.)

### **Ilmiön vaikutus väestöön**

On osoitettu, että metsäpalosavulle altistuminen liittyy kokonaiskuolleisuuden kasvuun. Toisaalta hengityselinsairauksista johtuvaa kuolleisuutta ei tässä viitekehyksessä ole osoitettu. Siitä huolimatta on laajasti näyttöä siitä, että altistuminen savulle lisää astman ja muiden hengityselinsairauksien vuoksi tehtyjä poliklinikka- ja lääkärikäyntejä. (Arceneaux & Gregory 2024; Barnes 2018; Le Souëf ym. 2024; Balmes & Holm 2023.) Lisäksi tiedetään, että metsäpaloissa syntyvät pienhiukkaset muun muassa aktivoivat tulehdusgeenejä, minkä seurauksena syntyy akuutteja hengitysoireita (Le Souëf ym. 2024). Hyvin tunnettu metsäpalosavun aiheuttama vaikutus on astman paheneminen sekä aikuisilla että lapsilla.

On näyttöä, että metsäpaloihin liittyvät  $PM_{2.5}$ -hiukkaset voivat olla lasten terveydelle haitallisia kuin ilmansaasteista syntyvät  $PM_{2.5}$ -hiukkaset. Arvellaan, että metsäpalosavun vaikutukset keuhkoihin ovat samankaltaiset kuin  $PM_{2.5}$ -hiukkasten vaikutukset. Esimerkiksi metsäpalosavun polysykliset aromaattiset hiilivedyt voivat vaikuttaa T-solujen toimintaan, mikä lisää astman, sidekalvotulehduksen sekä nuhan esiintymistä. Yhteys metsäpalosavun ja keuhkoah-  
taumataudin pahenemiselle on selkeä, ja joissain tutkimuksissa on viitteitä keuhkokuumeen ja keuhkoputken tulehduksen lisääntyneeseen riskiin metsäpalosavun vuoksi. Viimeksi mainitut löydökset ovat kuitenkin ristiriitaisia. Toistuvista altistuksista metsäpalosavulle on toistaiseksi niukasti tutkimustietoa, sillä altistus on usein lyhytaikaista, eikä välttämättä toistu. (Balmes & Holm 2023; Sampath ym. 2023.) Metsäpalojen hienojakoisten  $PM_{2.5}$ -hiukkasten vaikutuksia

hengityselinsairauksiin on tutkittu esimerkiksi Yhdysvalloissa sekä Australiassa. Vuosina 2004–2009 Kaliforniassa tehty tutkimus osoitti, että esimerkiksi astmaan liittyvät sairaalakäynnit kasvoivat 10,3 % (95 % luottamusväli 2,3–19,0 %). Erityisen merkittäviä vaikutukset olivat 0–5-vuotiailla lapsilla. (Luedders ym. 2024.) Australiassa vuosina 2019–2020 tehty tutkimus puolestaan osoitti, että metsäpalojen jälkeen 65 %:lla oli jatkuvia astmaoireita (Luedders ym. 2024).

#### **4.4 Ukkosmyrskyastma**

Ukkosmyrskyastma on melko dramaattinen esimerkki ilmaston ja astman välisestä yhteydestä. Ukkosmyrskyastmalla tarkoitetaan äkillistä astman oireiden puhkeamista, joka johtuu ukkosmyrskyn sekä korkeiden ilmassa esiintyvien allergeenitasojen välisestä vuorovaikutuksesta. Ukkosmyrskyastmasta tunnistetaan kolme yhteistä tekijää: korkea altistus ilmassa esiintyville allergeeneille, ukkosmyrskyn esiintyminen sekä herkistyneiden, kuten allergiasta kärsivien yksilöiden, läsnäolo.

Keskeinen mekanismi ukkosmyrskyastmassa on, että kasvien siitepölyhiukkaset hajoavat osmoottisen shokin vuoksi joutuessaan kosketuksiin ukkosmyrskyn veden kanssa (Beggs 2024; D'Amato ym. 2021; D'Amato ym. 2018; Nazarova 2024). Tarkemmin sanottuna, siitepölykauden aikana ukkosmyrskyt voivat keskittää siitepölyä maanpinnan tasolle, ja sään aiheuttama kosteus voi lisätä siitepölyhiukkasten hydratoitumista sekä joskus myös niiden fragmentoitumista. Tämän seurauksena ilmakehään syntyy allergeeneja sisältäviä biologisia aerosoleja. Tämän jälkeen siitepöly maantasolla pääsee vapauttamaan allergeenipartikkeleita johtuen osmoottisesta shokista. Tapahtuman seurauksena alempiin hengitysteihin pääsee kulkeutumaan erilaisia, pienikokoisia komponentteja, jotka voivat aiheuttaa keuhkotulehdusta ja astmaa. On myös näyttöä, että ukkosmyrskyn aikana esiintyvät voimakkaat sähköiset kentät voivat vaikuttaa siitepölyyn rikkoen sen rakenteen, ja siten tehostaa keuhkoputkien herkistymistä. (D'Amato ym. 2021; D'Amato ym. 2016.)

Ukkosastman mahdollisuutta lisää esimerkiksi nopeat lämpötilan vaihtelut. Vaikka siitepölyn ja sääolosuhteiden välinen yhteys on tiedossa, on ukkosastmaepidemioiden taustatekijät yhä tuntemattomia. (D'Amato ym. 2021; D'Amato ym. 2018.) Ukkosmyrskyjen esiintyvyyteen liittyvät myös tornadot, sillä tornadojen yhteydessä esiintyy usein voimakkaitakin ukkosmyrskyjä.

Ilmastonmuutoksen myötä tornadot ovat yleistyneet, ja tornadokausi alkaa yhä aiemmin Yhdysvalloissa vuosittain. (Rorie & Poole 2021.)

### **Ilmiön vaikutus väestöön**

Nämä sääilmiöt, kuten ukkosmyrskyt, pahentavat oireita niillä, jotka kärsivät jostain hengityselinsairaudesta sekä lisäävät astmakohtausten riskiä. (Wright 2020.) Äärisään ilmiöt näkyvät suoraan myös väestön terveydessä. On havaittu, että astmakohtausten suhteellinen riski kasvoi äärimmäisten sääilmiöiden myötä lapsilla 1,19 kertaiseksi (95 % luottamusväli 1,08–1,32) ja ensiapukäyntien riskisuhde kasvoi 1,25 kertaiseksi (95 % luottamusväli 1,14–1,37.) (Makrufardi ym. 2023.)

Ukkosastma ei ole yleinen, vaikka se on vakava. Ukkosmyrskyihin liittyvät astmaepidemiat ovat lisääntyneet lauhkeilla ja subtrooppisilla alueilla ilmastonmuutoksen seurauksena. Kehitysuunnan ennustetaan pysyvän samana, sillä ilmastonmuutos lisää äärimmäisten sääilmiöiden, kuten helleaaltojen, rankkasateiden ja ukkosmyrskyjen voimakkuutta maailmanlaajuisesti. Lisäksi sairaalahoitoa vaatineet tapaukset ovat lisääntyneet siitepölypitoisuuden kasvun myötä (D'Amato ym. 2021; D'Amato ym. 2018; Hughes ym. 2022.) Esimerkiksi Australiassa, Melbourneissa vuonna 2016 esiintynyt ukkosmyrskyastma aiheutti 3365:n ihmisen hakeutumisen päivystykseen. Lisäksi kirjattiin 476 astmaan liittyvää sairaalakontaktia, mikä on 992 % enemmän kuin normaalisti, ja 10 ihmistä kuoli. Australian lisäksi ukkosmyrskyastmaa on tavattu allergiakauden aikana Yhdysvalloissa, Iso-Britanniassa, Italiassa, Iranissa, Kiinassa, Saudi-Arabiassa ja Kanadassa. (Beggs 2024; Luedders ym. 2024; Rothenberg 2022.) Ukkosmyrskyn aikana sekä terveet, allergisesta nuhasta kärsivät sekä astmasta kärsivät saattavat saada vakavia tai lieviä astmaoireita (D'Amato ym. 2018). Taulukossa 2 kuvataan lyhyesti ukkosmyrskyastman syyt, seuraukset sekä siihen varautuminen.

## Taulukko 2. Ukkosmyrskyastma

<p>Ukkosmyrskyn aiheuttaman astman laukaisee harvinainen yhdistelmä suuria siitepölypitoisuuksia. Yleensä ukkosmyrskyastmaa esiintyy siitepölykaudella, eli loppukeväästä alkukesään.</p>
<p>Kuka tahansa, myös terveet henkilöt, voivat saada oireita.</p>
<p>Henkilöillä, joilla on astmahistoria, diagnosoimaton astma, allerginen nuha tai ylipäätään allergia heinien siitepölylle, on kohonnut riski sairastua.</p>
<p>Ukkosastmassa astman pahenemisvaiheen vakavuus vaihtelee, ja se voi olla hengenvaarallinen.</p>
<p>Ukkosastmaa voi välttää ennakoimalla: pysymällä sisätiloissa silloin, kun siitepölypitoisuus on erittäin korkea, sekä seurata sääennusteita ukkosmyrskyjen varalta.</p>

Lähde: D'Amato ym. 2021

## 5. Mikrobiomi

Ilmastonmuutoksen uskotaan vaikuttavan nykyiseen, biodiversiteetin kiihtyvään köyhtymiseen. Tämän seurauksena myös ympäristön ja ihmisten mikrodiversiteetti vähenee. Ihmisten limakalvoilla ja iholla elävät mikrobit, eli mikrobiomi, on olennainen tekijä ihmisen immuunijärjestelmän kehittämisessä sekä sen ylläpidossa. Näin ollen muutokset ympäristön tai ihmisen itsensä mikrobiomissa voivat selittää astman ja allergioiden yleistymistä. Ympäristön muutoksella voi olla myös epäsuoria vaikutuksia. Esimerkiksi ruokavalio saattaa ajan kuluessa muuttua siten, että vaikutukset ulottuvat myös suoliston bakteereihin eli dysbioosiin. Tutkimuksissa on jo tunnistettu keuhkojen mikrobiomin muutoksia, ja nämä muutokset on yhdistetty tiettyihin astmatyyppeihin. Ilman epäpuhtaudet häiritsevät keuhkojen mikrobisyhteisön toimintaa, mikä puolestaan johtaa tulehdusta edistävien olosuhteiden syntyyn. (Le Souëf ym. 2024.)

### Ilmiön vaikutus väestöön

Tutkimuksissa on havaittu, että ympäristön monimuotoisuus on keskeinen tekijä allergioiden synnyssä. Maaseudulla, missä mikrobien monimuotoisuus on korkea, allergioita esiintyy vähemmän kuin kaupunkialueilla. Tämä havainto on linjassa niin kutsutun hygieniahypoteesin kanssa. Hygieniahypoteesin mukaan varhaislapsuudessa koettu altistus ympäristön monimuotoisille mikrobeille saattaa tasapainottaa immuunivastetta ja siten vähentää allergisten sairauksien riskiä. (Domingo ym. 2024; Eguiluz-Gracia ym. 2020; Rothenberg 2022.) On havaittu, että ilmansaasteista, ilmastonmuutoksesta ja kaupungistumisesta johtuva luonnon monimuotoisuuden väheneminen on yhteydessä kroonisten sairauksien, kuten hengitys- sydän- ja verisuonitautien lisääntymiseen (Singh & Kumar 2022). Ilmastonmuutoksen aiheuttamaa biodiversiteetin vähenemistä voidaan tarkastella dysbioosin aiheuttajana. On tunnistettu, että dysbioosi, eli suoliston mikrobiomin häiriötila, saattaa johtaa useisiin sekundäärisiin vaikutuksiin, kuten infekti- ja autoimmuunisairauksien kehittymiseen. (Ray & Ming 2020.) Myös dysbioosin ja allergisten sairauksien välinen yhteys on hyvin dokumentoitu. Suoliston mikrobiomin häiriintyminen varhaislapsuudessa voi johtaa muuttuneeseen mikrobiomiin suolistossa ja altistaa allergisille sairauksille sekä autoimmuunisairauksille. (Ray & Ming 2020.)

## 6. Haavoittuvat ryhmät (lapset ja nuoret, raskaana olevat, vanhukset)

Ilmastonmuutos koskettaa jokaista, ja voi vaikuttaa kaikkien terveyteen, mutta yksilölliset riskit vaihtelevat useiden eri tekijöiden mukaan. Haitalliset terveystvaikutukset kohdistuvat erityisesti niihin ryhmiin, joilla ei ole mahdollista sopeutua ilmastonmuutoksen aiheuttamiin uhkiin. Tällaisia haavoittuvia ryhmiä ovat esimerkiksi iäkkäät, lapset, köyhyydessä elävät, syrjäytyneet tai sosiaalisesti eristäytyneet aikuiset, raskaana olevat ja vammautuneet tai sairaat henkilöt. (Kelly ym. 2023.)

Astma on lasten ja nuorten yleisin krooninen sairaus, ja yleisin päivystyskäyntiin johtava syy (Wright 2020; McDermott-Levy ym. 2023; Biagioni ym. 2023). Vuosien 1980 ja 1995 välillä lasten astman esiintyvyys kaksinkertaistui Yhdysvalloissa. Kasvu on hidastunut, mutta jatkuu yhä. Yhdeksi taustavaikuttajaksi arvellaan ilmastonmuutosta. Nykyisen kehityksen odotetaan myös jatkuvan lähitulevaisuudessa. (Le Souëf ym. 2024; Schmidt 2016.) Luvut eivät ole täsmällisiä, sillä kaikkia oireita ei raportoida (Schmidt 2016).

Lapset ovat erityisen haavoittuvia, sillä allergeeneille altistuminen tapahtuu kriittisissä kehitysvaiheissa. Tällöin elimistö on herkempi muutoksille, sillä lasten aineenvaihdunta poikkeaa aikuisten aineenvaihdunnasta. Erityisen herkkä elimistö on sikiönkehityksen, varhaislapsuuden sekä nuoruuden aikana. (McDermott-Levy ym. 2023; Wright 2020.) Toinen herkkä kehitysvaihe on 0–5-vuotiailla lapsilla, ja tässä iässä lapset ovat erityisen alttiita ilmastonmuutoksen vaikutuksille. Tämän ikäisillä lapsilla on nopea hengitystahti, ja sekä hengityselimistö että immuunijärjestelmä ovat vielä kehittymässä. (McDermott-Levy ym. 2023; Domingo ym. 2024) Lisäksi lapset hengittävät enemmän ilmaa painokiloa kohden kuin aikuiset, heidän keuhkoputkensa ovat pienemmät ja keskimäärin lapset myös viettävät enemmän aikaa ulkona kuin aikuiset.

Noin 90 % maailman lapsista hengittää saastunutta ilmaa. Ilmansaasteiden tiedetään liittyvän sekä astman kehittymiseen että astman pahenemiseen lapsilla. Otsonille altistuminen aiheuttaa tulehdusta ja epiteelivaurioita hengitysteissä. Tämän seurauksena hengitysteiden reaktiivisuus kasvaa ja keuhkojen toiminta heikentyy. On havaittu, että akuutti otsonille altistuminen liittyy astmaan, akuutteihin hengitystieinfektioihin, keuhkohtaumatautiin (COPD) ja keuhkokuumeeseen. Pitkäaikainen otsonille altistuminen on yhdistetty astman pahenemisvaiheiden lisääntymiseen ja keuhkojen toiminnan heikentymiseen lapsilla. (Kline & Prunicki 2023.)

Kehittyneissä maissa on dokumentoitu kattavasti ilmansaasteiden yhteys lasten astman pahentumiseen. Otsonin lisäksi PM<sub>2.5</sub>-hiukkaspitoisuudet ovat yhteydessä astman pahenemiseen, ja erityisesti kouluikäiset lapset ovat tässä riskiryhmässä. (Biagioni ym. 2023.) Myös helleaalloilla on yhteys lasten hengityselinsairauksiin mutta sen lisäksi niillä on yhteys myös munuaisongelmiin ja mielenterveysongelmien pahentumiseen (Domingo ym. 2024). Meta-analyyseissä on osoitettu, että liikenteen saasteille varhaislapsuudessa altistuminen on yhteydessä astman, allergisen nuhan sekä allergisen ihottuman kohonneeseen riskiin (Ray & Ming 2020). Lapsena koetut ympäristöaltistukset voivat vaikuttaa terveyteen vielä myöhemmin aikuisuudessa. (McDermott-Levy ym. 2023; Kline & Prunicki 2023.)

Raskausaikana riski sairastua hengityselinsairauksiin, kuten astmaan ja allergiseen nuhaan, on korkeampi. On näyttöä, että raskaana ollessaan naiset herkistyvät ilman epäpuhtauksille herkemmin esimerkiksi sen vuoksi, että hormonaaliset tekijät vaikuttavat aivojen hengityskeskukseen. Tämä lisää herkistymistä muun muassa hiilidioksidille. On näyttöä, että raskauden aikana ilmansaasteille altistuminen lisää lasten astman ja allergioiden riskiä (Biagioni ym. 2023). Hormonien lisäksi on tunnistettu muitakin tekijöitä, esimerkiksi raskauden aikaiset immuunijärjestelmän muutokset voivat altistaa virusten aiheuttamille infektioille. (Sanders & Davis 2023.) Lisäksi PM<sub>2.5</sub>-hiukkasille altistuminen on yhdistetty ennenaikaiseen synnytykseen (McDermott-Levy ym. 2023).

lääkäillä aikuisilla on heikentynyt immuunipuolustus ja siten suurempi kuolleisuus- sekä sairastavuusriski. Heikentyneen immuunipuolustuksen lisäksi vanhuus tuo mukanaan usein monia kroonisia sairauksia. Muut sairaudet voivat pahentaa astmaa tai vaikeuttaa astman hoitoa. (Arceneaux & Gregory 2024.) Helleaallot ovat merkittävä uhka ikääntyneille, sillä heidän elimistönsä ei välttämättä sopeudu lämpötilanmuutoksiin enää yhtä hyvin. Euroopassa helleaaltojen aikaan kuolleisuus on ollut korkeampaa iäkkäillä. Ilmansaasteille altistuminen voi hengityselinsairauksien lisäksi vaikuttaa ikääntyneillä myös dementiaan ja Alzheimerin tautiin. (Pacheco ym. 2021.)

Aiemmassa luvussa mainitut sään ääri-ilmiöt osuvat voimakkaimmin juuri näihin haavoittuviin ryhmiin, kuten lapsiin. Lapset ovat poikkeuksellisen alttiita ilmastonuutoksen aiheuttamille rasitteille, sillä he ovat riippuvaisia aikuisten avusta ja tuesta. (McDermott-Levy ym. 2023.)

## 7. Muut ilmastonmuutoksen välilliset vaikutukset

Ilmastonmuutos on käsitteenä niin laaja, että lienee mahdotonta eritellä kaikkia sen suoria ja epäsuoria vaikutuksia. Edellä kuvattujen vaikutusten lisäksi tunnistetaan useita muitakin vaikutuksia ihmisiin ja ihmisten terveyteen. Ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset, kuten merenpinnan nousu ja makean veden lähteiden ehtyminen, saattaa lisätä ihmisten muuttoliikettä. Muuttoliikkeen myötä ihmiset voivat altistua uusille allergeeneille, uudelle ruokavaliolle ja uusille sisä- ja ulkoilman saasteille. Kaikki edellä kuvattu voi vaikuttaa hengityselinsairauksien ja atooppisten sairauksien kehittymisen riskiin. (Deng ym. 2020.)

Äärimmäiset sääilmiöt eivät vaikuta ainoastaan saasteisiin ja siitepölyyn, vaan myös sienien siitepölyyn eli sieni-itiöihin. Myös sieni-itiöt vaikuttavat osaltaan allergioiden ja hengityselinsairauksien syntyyn ja vakavuuteen. Sieni-itiöt voivat vapauttaa yhdisteitä, jotka voivat pahentaa allergioita, ja esimerkiksi Melbournen ukkosmyrskyastman aikana vuonna 2016 sieni-itiöiden määrä ilmassa oli kaksinkertainen. (Sampath ym. 2023.) Kasvien allergeenien tavoin myös sieni-itiöt vuorovaikuttavat ilmansaasteiden kanssa, eli saasteet lisäävät niidenkin allergeenisuutta ja voivat muuttaa niiden kemiallista rakennetta (Eguiluz-Gracia ym. 2020). Puut ja kasvit toimivat myös sienten isäntinä (Ziska 2021).

Hiekka- ja pölymyrskyjä esiintyy erityisesti Pohjois-Afrikassa ja Aasiassa. Näillä alueilla, joilla esiintyy hiekkamyrskyjä, astman esiintyvyys on kasvanut 15–25 %. Hiekkamyrskyt kuljettavat mukanaan monimutkaista seosta, jossa on esimerkiksi silikaatteja, savea, piidioksidia, raskasmetalleja, siitepölyä, sieni-itiöitä, viruksia ja bakteereita. (Sampath ym. 2023.) Tutkimuksissa on löydetty yhteys Saharan pölylle altistumisen, keuhkohtaumataudin (COPD) ja astman pahenimisvaiheiden välillä. Hiekkamyrskyt yhdistetään hengityselinsairauksista johtuviin kuolemiin sekä sydän- ja verisuonitapahtumiin. Lisäksi Länsi-Afrikassa hiekkamyrskyille altistuminen on yhteydessä imeväiskuolleisuuden kasvuun. (Pacheco ym. 2021.)

Artikkeleissa oli jonkin verran mainintoja myös hyönteisten aiheuttamasta uhasta, vaikka ne eivät suoraan liity allergioihin. Tutkijoiden huolenaiheena kuitenkin on, että ilmaston lämpenemisen myötä kasvien lisäksi myös hyönteiset pääsevät levittäytymään yhä pohjoisemmas. Tämän seurauksena sellaiset virukset, joita levittää hyönteiset, kuten denguekuume, pääsevät myös leviämään pohjoiseen. (Barnes 2018; Patella ym. 2018.)

On näyttöä, että ilmansaasteet lisäävät riskiä erilaisille hengitystieinfektioille, kuten influenssalle. Ilmansaasteet on yhdistetty myös COVID-19-infektioiden leviämiseen ja kuolleisuuteen. Altistuminen erilaisille ilmansaasteille saattaa aiheuttaa voimakkaamman tulehdusvasteen ja kudosaaurioita erityisesti niillä henkilöillä, joilla immuunipuolustus on heikentynyt. (Pacheco ym. 2021.)

Lisäksi muita astmalle altistavia, joskaan ei suoraan välttämättä ilmastonmuutokseen liittyviä tekijöitä, ovat sisäilman saasteet, mm. tupakansavu, karvaiset lemmikit (eläinpöly), homeet, pölypunkit (Eguiluz-Gracia ym. 2020).

Domingo ym. (2024) nostaa esille eurooppalaisten vastuuta kolonialismin perinnöstä. Aggressiivinen metsien tuhoaminen, ja eurooppalainen viljelymalli Afrikassa ja Aasiassa altistavat maan eroosiolle ja siten heikentävät ilmanlaatua. Tällä on vaikutusta alkuperäiskansojen hengityselinterveyteen. Lisäksi alkuperäiskansoja rasittaa kolonialistinen historia ja investointien puute terveydenhuoltoon. (Domingo ym. 2024.)

## **7.1 Mielenterveys**

Ilmastoahdistus on varsin tuttu tunne 2020-luvulla. Ilmastonmuutoksen aiheuttaman ilmastoahdistuksen ja astman hoitotasapainon välistä yhteyttä on tutkittu arabiankielisissä maissa. Tutkimustulosten mukaan astman hallinta ja ilmastoahdistus olivat merkittäviä ennustajia koskien astmaatikkojen elämänlaatua. Hengityselinsairauksista kärsivät saattavat kokea enemmän ilmastoahdistusta verrattuna terveisiin, sillä heille ilmastonmuutos on erityinen uhka. Ilmastoahdistus vaikutti myös negatiivisesti astman hallintaan, eli kuinka tehokkaasti astman oireita hoidettiin. Astman hoidon laiminlyönti vaikuttaa suoraan potilaan kokemaan elämänlaatuun (QoL) sekä nostaa riskiä, että astma pahenee. Elämänlaadun vaikutuksen ymmärtäminen, sekä sen ymmärtäminen, että elämänlaatuun voi omilla valinnoillaan vaikuttaa, on ratkaisevan tärkeää astmapotilailla. Huonoksi koettu elämänlaatu on yhteydessä heikentyneeseen astman hoitoon sitoutumiseen. Ilmastoahdistusta voidaan pitääkin kroonisena stressitekijänä. Krooninen stressi ja ilmastoahdistus voivat heikentää elämänlaatua, ja tämä voi johtaa esimerkiksi unettomuuteen sekä heikentää sosiaalista toimintakykyä. (Atta, ym. 2024.) Atta ym. (2024) vahvistavat jo ennestään löydetyn havainnon: elämänlaadun ja astman hallinnan välillä on

voimakas positiivinen korrelaatio. Tämä tarkoittaa, että hyvin hoitotasapainossa oleva astma johtaa parempaan elämänlaatuun. (Atta ym. 2024.)

## **7.2 Taloudellinen näkökulma**

Maailman terveysjärjestö WHO:n mukaan ilmastonmuutos on vuosituhannen merkittävin terveysuhka. Arvioiden mukaan ilmastonmuutoksen aiheuttamat suorat kustannukset terveydenhuollossa vuoteen 2030 mennessä ovat 2–4 miljardia dollaria vuodessa. Tässä luvussa on mukana terveydenhuollossa ilmastonmuutoksen myötä koituvat kokonaistaakka, ei pelkästään astman ja allergioiden aiheuttama taakka. (Arceneaux & Gregory 2024.) Toisen arvion mukaan kuolleisuuteen ja terveyteen liittyvät kokonaiskustannukset ilmastonmuutoksen myötä olivat 1,575 biljoonaa dollaria Euroopassa vuonna 2010 (D'Amato ym. 2015). Lasten ja nuorten astman hoidon suoriksi ja epäsuoriksi kustannuksiksi on laskettu 55–151 miljardia euroa vuosittain (Beggs ym. 2023).

Astma on yleisin syy 5–17-vuotiaiden lasten poissaoloon koulusta Yhdysvalloissa. Tästä aiheutuu 13,8 miljoonaa menetettyä koulupäivää joka vuosi. Lisäksi astmasta johtuvat sairaalajaksot, käynnit päivystyksessä, lääkehoidot sekä huoltajien poissaolo työstä, aiheuttavat vuosittain yli 80 miljardin dollarin kustannukset Yhdysvalloissa. (McDermott-Levy ym. 2023.) Ennustetaan, että allergioiden hoito- ja diagnostiikkakustannukset kasvavat 30 % lähivuosina ilmastonmuutoksen vuoksi (Nazarova 2024).

## **7.3 Epätasa-arvo**

Ilmastonmuutos ja sen seuraukset ovat myös ympäristöoikeuteen ja tasa-arvoon liittyvä ongelma. Ilmastonmuutoksen vaikutukset jakautuvat epätasaisesti yhteisöjen välillä, ja ilmastonmuutos voi pahentaa sosioekonomista epätasa-arvoa sekä köyhyyttä. (Arceneaux & Gregory 2024.) Lisäksi odotettavissa olevat ilmastonmuutoksen vaikutukset kohdistuvat suurelta osin sellaisiin osiin väestöissä, joissa on jo nyt korkea altistuminen erilaisille ilmansaasteille, ja siten sairaustaakka hengityselinsairauksien osalta on korkea tai kasvussa. (Wright 2020.) Maailman terveysjärjestö WHO huomauttaa, että useissa maissa ei ole kunnollista, organisoitua allergian hoitoa, ja terveydenhuolto on järjestäytymätöntä. Tämä lisää sekä kustannuksia että heikentää elämänlaatua. (Nazarova 2024.)

On tiedossa, että astman esiintyvyys on merkittävän suuri tietyissä etnisissä ryhmissä, kuten tummaihoisten sekä alkuperäiskansojen keskuudessa. Astma on huomattavasti yleisempää köyhissä tai pienituloisissa kotitalouksissa kuin korkeakoulutetun väestön keskuudessa. Myös astmaan kuolleisuus on epätasaista, sillä tummaihoisten todennäköisyys kuolla astmaan verrattuna valkoihoisiin on yli kaksinkertainen. Tummaihoiset sekä pienituloiset asuvat myös useammin sellaisilla kaupungin alueilla, joissa otsoni- ja pienhiukkaspitoisuudet ovat korkeat. (Kelly ym. 2023.)

Sosiaaliset tekijät, esimerkiksi huonot asuinolosuhteet, tiheät asuinalueet, terveydenhuollon saatavuus sekä astmaa sairastavien lasten vanhempien koulutustaso vaikuttavat siihen, saako lapsi astmadiagnoosin sekä asianmukaista hoitoa (McDermott-Levy ym. 2023). Hoitoon pääsyyn vaikuttaa myös rajalliset resurssit sekä kustannusten nousu. Yhteisöissä, joihin kuuluu erilaisia vähemmistöjä, tai joissa on alhainen sosioekonominen asema, ihmisillä on korkeampi riski altistua ilmastonmuutoksen negatiivisille vaikutuksille, ja heillä on vähemmän mahdollisuuksia sopeutua muutoksiin. Esimerkiksi matala tulotaso, alhainen koulutus sekä terveydenhuollon rajallinen saatavuus lisäävät kroonisten hengityselinsairauksien, kuten astman riskiä. (Arceneaux & Gregory 2024.) Lisäksi kuumuuden myötä on löydetty yhteys myös heikentyneisiin oppimistuloksiin kouluissa, joissa ei ole ilmastointia. Tällainen sosiaalinen epätasa-arvo kantaa kauas aikuisuuteen asti. (McDermott-Levy ym. 2023).

## Lähteet

- Anderegg William R.L., Abatzoglou John T., Anderegg Leander D.L., Bielory Leonard, Kinney Patrick L. & Ziska Lewis 2021. Anthropogenic climate change is worsening North American pollen seasons. *Proceedings of the National Academy of Sciences - PNAS*, 2021-02, Vol.118 (7), p.1-6. <https://doi:10.1073/pnas.2013284118>
- Arceneaux Leslie S. & Gregory Karen L. 2024. Climate change and its impact on asthma. *The Nurse practitioner*, 2024-05, Vol.49 (5), p.25-32. <https://doi:10.1097/01.NPR.0000000000000174>
- Atta Mohamed Hussein Ramadan, El-Sayed Ahmed Abdelwahab Ibrahim, Taleb Fuad, Elsayed Shimmaa Mohamed, Al Shurafi Sharaf Omar, Altaheri Asmaa, Abdu Almoliky Mokhtar & Asala Maha Gamal Ramadan 2024. The Climate-Asthma Connection: Examining the Influence of Climate Change Anxiety on Asthma Control and Quality of Life: A Multi-National Study. *Journal of advanced nursing*, 2024-10.
- Balmes John R. & Holm Stephanie M. 2023. Increasing wildfire smoke from the climate crisis: Impacts on asthma and allergies. *Journal of allergy and clinical immunology*, 2023-11, Vol.152 (5), p.1081-1083. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2023.09.008>
- Barnes Charles S. 2018. Impact of Climate Change on Pollen and Respiratory Disease. *Current allergy and asthma reports*, 2018-11, Vol 18 (11), p. 59-11. <https://doi.org/10.1007/s11882-018-0813-7>
- Beggs Paul J. 2024. Thunderstorm Asthma and Climate Change. *JAMA : the journal of the American Medical Association*, 2024-03, Vol.331 (10), p.878-879.
- Beggs Paul J., Clot Bernard, Sofiev Mikhail & Johnston Fay H. 2023. Climate change, airborne allergens, and three translational mitigation approaches. *EBioMedicine*, 2023-07, Vol.93, p.104478-104478. <https://doi:10.1016/j.ebiom.2023.104478>
- Biagioni Benedetta, Cecchi Lorenzo, D'Amato Gennaro & Annesi-Maesano Isabella 2023. Environmental influences on childhood asthma: Climate change. *Pediatric allergy and immunology*, 2023-05, Vol.34 (5), p.e13961.
- Biedermann Tilo M., Winther Lone, Till Stephen J., Panzner Petr, Knulst André & Valovirta Erkki 2019. Birch pollen allergy in Europe. *Allergy (Copenhagen)*, 2019-07, Vol.74 (7), p.1237-1248. <https://doi:10.1111/all.13758>
- Bullock James M., Chapman Dan, Schafer Steffi, Roy David, Girardello Marco, Haynes Thomas, Beal Stephen, Wheeler Belinda, Dickie Ian, Phang Zara, Tinch Rob, Civić Kristijan, Delbaere Ben, Jones-Walters Laurence, Hilbert Andrea, Schrauwen Andrew, Prank Marje, Sofiev Mikhail, Niemelä Sami, Räisänen Petri, Lees Bev, Skinner Murray, Finch Steve & Brough Chris 2010. Assessing and controlling the spread and the effects of common ragweed in Europe. Final report: ENV.B2/ETU/2010/0037.
- Chapman Daniel S., Haynes Tom, Beal Stephen, Esll Franz & Bullock James M. 2013. Phenology predicts the native and invasive range limits of common ragweed. *Global change biology*, 2014-01, Vol.20 (1), p.192-202.
- Coban Hikmet & Aydemir Yusuf 2014. The relationship between allergy and asthma control, quality of life, and emotional status in patients with asthma: a cross-sectional study. *Allergy, asthma, and clinical immunology*, 2014-12, Vol.10 (1), p.67-67. <https://doi:10.1186/s13223-014-0067-4>
- D'Amato Gennaro, Vitale Carolina, De Martino Annamaria, Viegi Giovanni, Lanza Maurizia, Molino Antonio, Sanduzzi Alessandro, Vatrella Alessandro, Annesi-Maesano Isabella & D'Amato Maria 2015. Effects on asthma and respiratory allergy of Climate change and air pollution.

Multidisciplinary respiratory medicine, 2015-12, Vol.10 (1), p.39-39, Article 39.

<https://doi:10.1186/s40248-015-0036-x>

D'Amato Gennaro, Holgate Stephen T., Pawankar Ruby, Ledford Dennis K., Cecchi Lorenzo, Al-Ahmad Mona, Al-Enezi Fatma, Al-Muhsen Saleh, Ansotegui Ignacio, Baena-Cagnani Carlos E., Baker David J., Bayram Hasan, Bergmann Karl Christian, Boulet Louis Philippe, Buters Jeroen T., D'Amato Maria, Dorsano Sofia, Douwes Jeroen, Finlay Sarah Elise, Garrasi Donata, Gómez Maximiliano, Haahtela Tari, Halwani Rabih, Hassani Youssouf, Mahboub Basam, Marks Guy, Michelozzi Paola, Montagni Marcello, Nunes Carlos, Oh Jay Jae Won, Popov Todor A., Portnoy Jay, Ridolo Erminia, Rosário Nelson, Rottem Menachem, Sánchez-Borges Mario, Sibanda Elopy, Sienra-Monge Juan José, Vitale Carolina & Annesi-Maesano Isabella 2015. Meteorological conditions, climate change, new emerging factors, and asthma and related allergic disorders. The World Allergy Organization journal, 2015, Vol.8 (1), p.25.  
<https://doi:10.1186/s40413-015-0073-0>

D'Amato Gennaro, Annesi-Maesano Isabella, Vaghi Adriano, Cecchi Lorenzo & D'Amato Maria 2018. How Do Storms Affect Asthma? Current allergy and asthma reports, 2018-04, Vol.18 (4), p.24-5. <https://doi.org/10.1007/s11882-018-0775-9>

D'Amato Gennaro & D'Amato Maria 2023. Climate change, air pollution, pollen allergy and extreme atmospheric events. Current opinion in pediatrics, 2023-06, Vol.35 (3), p.356-361.  
<https://doi:10.1097/MOP.0000000000001237>

D'Amato G, Vitale C, D'Amato M, Cecchi L, Liccardi G, Molino A, Vatrella A, Sanduzzi A, Maesano C & Annesi-Maesano I. 2016. Thunderstorm-related asthma: what happens and why. Clinical & experimental allergy reviews, 2016-03, Vol.46 (3), p.390-396. <https://doi:10.1111/cea.12709>

Demain Jeffrey G. 2018. Climate Change and the Impact on Respiratory and Allergic Disease: 2018. Current allergy and asthma reports, 2018-04, Vol.18 (4), p.22-5.  
<https://doi.org/10.1007/s11882-018-0777-7>

Deng Shi-Zhou, Jalaludin Bin B., Antó Josep M., Hess Jeremy J. & Huang, Cun-Rui 2020. Climate change, air pollution, and allergic respiratory diseases: a call to action for health professionals. Chinese medical journal, 2020-07, Vol.133 (13), p.1552-1560.  
<https://doi:10.1097/CM9.0000000000000861>

Domingo Karyssa N., Gabaldon Kiersten L., Hussari Mohammed Nour, Yap Jazmyn M., Valmadrid Luke Carmichael, Robinson Kelly & Leibel Sydney 2024. Impact of climate change on paediatric respiratory health: pollutants and aeroallergens. European respiratory review, 2024-04, Vol.33 (172), p.230249. <https://doi:10.1183/16000617.0249-2023>

Eguiluz-Gracia Ibon, Mathioudakis Alexander G., Bartel Sabine, Vijverberg Susanne J.H., Fuertes Elaine, Comberiat Pasquale, Cai Yutong Samuel, Tomazic Peter Valentin, Diamant Zuzana, Vestbo Jørgen, Galan Carmen & Hoffmann Barbara 2020. The need for clean air: The way air pollution and climate change affect allergic rhinitis and asthma. Allergy (Copenhagen), 2020-09, Vol.75 (9), p.2170-2184.

EEA 2024. European Environment Agency. Air Pollution. Saatavissa: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution>. Viitattu: 10.12.2024

EPA 2024 a. United States Environmental Protection Agency. Overview of Greenhouse Gases. Saatavissa: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>. Viitattu: 10.12.2024

EPA 2024 b. United States Environmental Protection Agency. Carbon Monoxide (CO) Pollution in Outdoor Air. Saatavissa: <https://www.epa.gov/co-pollution>. Viitattu: 10.12.2024

EPA 2024 c. United States Environmental Protection Agency. Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>) Pollution. Saatavissa: <https://www.epa.gov/no2-pollution>. Viitattu: 10.12.2024

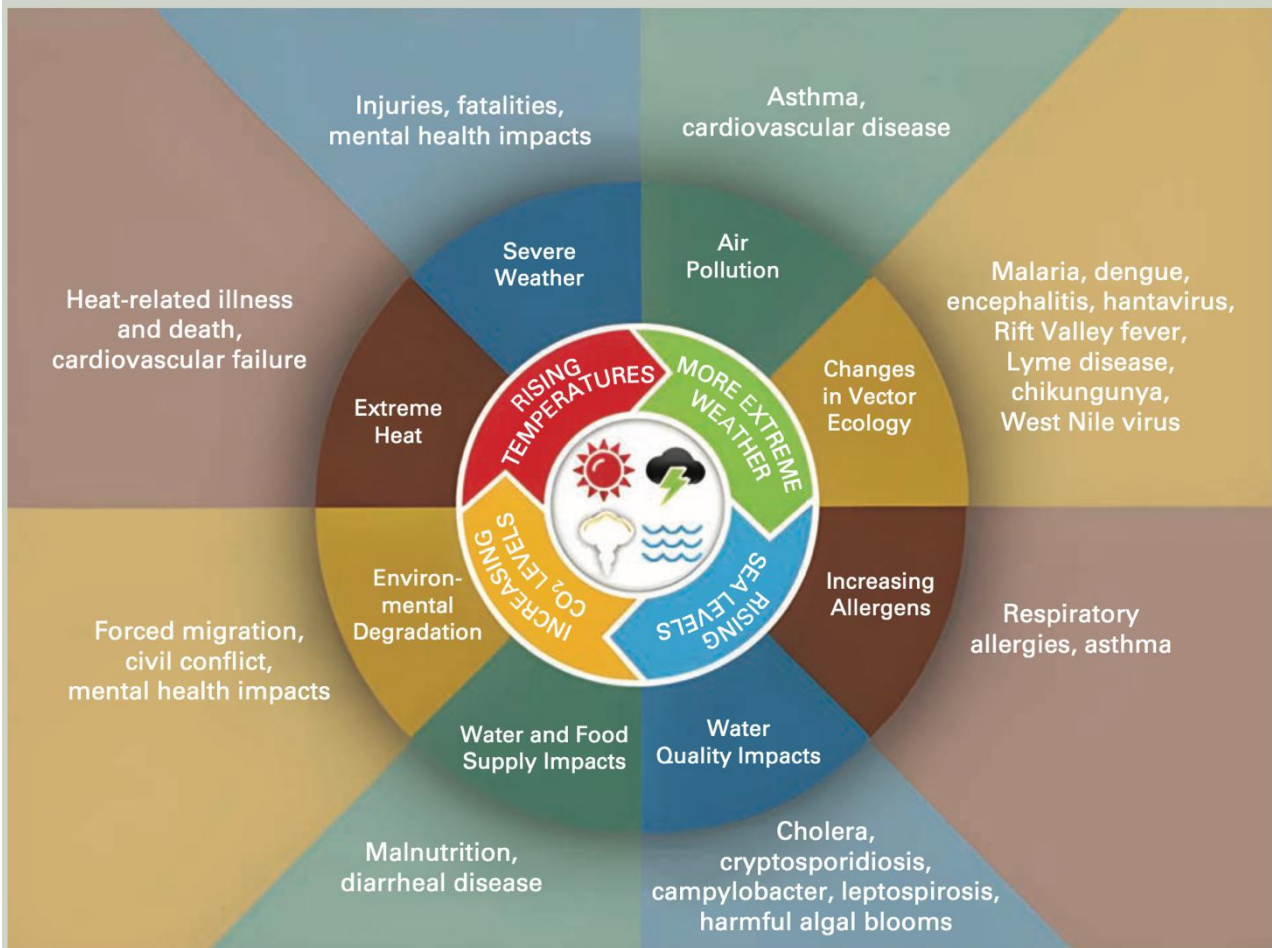
- EPA 2024 d. United States Environmental Protection Agency. Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality. Saatavissa: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>. Viitattu: 10.12.2024
- EPA 2024 e. United States Environmental Protection Agency. Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub>) Trends. Saatavissa: <https://www.epa.gov/air-trends/particulate-matter-pm25-trends>. Viitattu: 10.12.2024.
- Helsingin Sanomat. Eurooppaan levinneestä voimakkaasti allergisoivasta vieraslajista voi tulla myös Suomen riesa. 15.9.2024. Saatavissa: <https://www.hs.fi/suomi/art-2000010697770.html>. Viitattu: 11.12.2024
- Hughes Kira Morgan, Price Dwan & Suphioglu Cenk 2022. Importance of allergen-environment interactions in epidemic thunderstorm asthma. *Therapeutic Advances in Respiratory Disease*, 2022, Vol.16; 17534666221099733. <https://doi:10.1177/17534666221099733>
- Katellaris Constance H. & Beggs Paul J. 2018. Climate change: allergens and allergic diseases. *Internal medicine journal*, 2018-02, Vol.48 (2), p.129-134.
- Kelly Grace, Idubor Osatohamwen I., Binney Sophie, Schramm Paul J., Mirabelli Maria C. & Hsu Joy 2023. The Impact of Climate Change on Asthma and Allergic-Immunologic Disease. *Current allergy and asthma reports*, 2023-08, Vol.23 (8), p.453-461. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11882-023-01093-y>
- Kline Olivia & Prunicki Mary 2023. Climate change impacts on children's respiratory health. *Current opinion in pediatrics*, 2023-06, Vol.35 (3), p.350-355. <https://doi:10.1097/MOP.0000000000001253>
- Kotaniemi Jyrki-Tapani, Sovijärvi Anssi & Lundbäck Bo 2009. Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Finland: Prevalence and Risk Factors. *COPD-JOURNAL OF CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE*, 2005, Vol.2 (3), p.331-339. <https://doi:10.1080/15412550500218122>
- Lee Alexandra S., Aguilera Juan, Efobi Jo Ann, Jung Youn Soo, Seastedt Hana, Shah Mihir M., Yang Emily, Konvinse Katherine, Utz Paul J., Sampath Vanitha & Nadeau Kari C. 2023. Climate change and public health: The effects of global warming on the risk of allergies and autoimmune diseases. *EMBO Rep.* 2023 Apr 5;24(4):e56821. <https://doi:10.15252/embr.202356821>
- Luedders Jennilee, Poole Jill A. & Rorie Andrew C. 2024. Extreme Weather Events and Asthma. *Immunology and allergy clinics of North America*, 2024-02, Vol.44 (1), p.35-44. <https://doi.org/10.1016/j.iac.2023.07.001>
- Makrufardi Firdian, Manullang Amja, Rusmawatingtyas Desy, Lin Sheng Chieh, Chuang Hsiao Chi & Chung Kian Fan 2023. Extreme weather and asthma: a systematic review and meta-analysis. *European respiratory review*, 2023-06, Vol.32 (168), p.230019. <https://doi:10.1183/16000617.0019-2023>
- McDermott-Levy Ruth, Pennea Emma & Moore Caroline 2023. Protecting Children's Health: Asthma and Climate Change. *MCN, the American journal of maternal child nursing*, 2023-07, Vol.48 (4), p.188-194. <https://doi:10.1097/NMC.0000000000000927>
- Nazarova E.V. 2024. Environmental Effects on the Prevalence of Allergies. *Russian meteorology and hydrology*, 2024-02, Vol.49 (2), p.114-122. <https://doi.org/10.3103/S1068373924020043>
- Oh Jae Won 2022. Pollen Allergy in a Changing Planetary Environment. *Asthma & Immunology Research*, 14(2), , pp.168-181. <https://doi:10.4168/aaair.2022.14.2.168>
- Pacheco Susan E., Guidos-Fogelbach Guillermo, Annesi-Maesano Isabella, Pawankar Ruby, D' Amato Gennaro, Latour-Staffeld Patricia, Urrutia-Pereira Marylin, Kesic Matthew J. & Hernandez Michelle L. 2021. Climate change and global issues in allergy and immunology. *Journal of*

- allergy and clinical immunology, 2021-12, Vol.148 (6), p.1366-1377.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaci.2021.10.011>
- Pakkasela Johanna, Ilmarinen Pinja, Honkamäki Jasmin, Tuomisto Leena E., Andersén Heidi, Piirilä Päivi, Hisinger-Mölkänen Hanna, Sovijärvi Anssi, Backman Helena, Lundbäck Bo, Rönmark Eva, Kankaanranta Hannu & Lehtimäki Lauri 2020. Age-specific incidence of allergic and non-allergic asthma. BMC pulmonary medicine, 2020-01, Vol.20 (1), p.9-9.  
<https://doi:10.1186/s12890-019-1040-2>
- Pallasaho Paula, Juusela Maria, Lindqvist Ari, Sovijärvi Anssi, Lundbäck Bo & Rönmark Eva 2011. Allergic rhinoconjunctivitis doubles the risk for incident asthma - Results from a population study in Helsinki, Finland. Respiratory medicine, 2011-10, Vol.105 (10), p.1449-1456.  
<https://doi.org/10.1016/j.rmed.2011.04.013>
- Patella Vincenzo, Florio Giovanni, Magliacane Diomira, Giuliano Ada, Crivellaro Maria Angiola, Di Bartolomeo Daniela, Genovese Arturo, Palmieri Mario, Postiglione Amedeo, Ridolo Eerminia, Scaletti Christina, Ventura Maria Teresa & Zollo Anna 2018. Urban air pollution and climate change: "The Decalogue: Allergy Safe Tree" for allergic and respiratory diseases care. Clinical and molecular allergy CMA, 2018-09, Vol.16 (1), p.1-11. <https://doi:10.1186/s12948-018-0098-3>
- Ray Carly & Ming Xue 2020. Climate Change and Human Health: A Review of Allergies, Autoimmunity and the Microbiome. International journal of environmental research and public health, 2020-07, Vol.17 (13), p.4814-7. <https://doi:10.3390/ijerph17134814>
- Rojo Jesús, Oteros Jose, Picornell Antonio, Maya-Manzano José M., Damialis Athanasios, Zink Katrin, Werchan Matthias, Werchan Barbora, Smith Matt, Menzel Annette, Timpf Sabine, Traidl-Hoffmann Claudia, Bergmann Karl-Christian, Schmidt-Weber Carsten B. & Buters Jeroen 2021. Effects of future climate change on birch abundance and their pollen load. Global change biology, 2021-11, Vol.27 (22), p.5934-5949. <https://doi:10.1111/gcb.15824>
- Rorie Andrew 2022. Climate Change Factors and the Aerobiology Effect. Immunology and allergy clinics of North America, 2022-11, Vol.42 (4), p.771-786.  
<https://doi.org/10.1016/j.iac.2022.05.007>
- Rorie Andrew & Poole Jill A. 2021. The Role of Extreme Weather and Climate-Related Events on Asthma Outcomes. Immunology and allergy clinics of North America, 2021-02, Vol.41 (1), p.73-84. <https://doi.org/10.1016/j.iac.2020.09.009>
- Rothenberg Marc E. 2022. The climate change hypothesis for the allergy epidemic. Journal of allergy and clinical immunology, 2022-05, Vol.149 (5), p.1522-1524.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaci.2022.02.006>
- Sampath Vanitha, Aguilera Juan, Prunicki Mary & Nadeau Kari C. 2023. Mechanisms of climate change and related air pollution on the immune system leading to allergic disease and asthma. Seminars in immunology, 2023-05, Vol.67, p.101765-101765.  
<https://doi.org/10.1016/j.smim.2023.101765>
- Sanders Bethany & Davis Melissa 2023. Effects of Climate Change and Air Pollution on Perinatal Health. Journal of midwifery & women's health, 2023-05, Vol.68 (3), p.383-390.  
<https://doi:10.1111/jmwh.13522>
- Schmidt Charles W. 2016. Pollen Overload: Seasonal Allergies in a Changing Climate. Environmental health perspectives, 2016-04, Vol.124 (4), p.A71-A75. <https://doi:10.1289/ehp.124-A70>
- Schou Jesper S. & Jensen Frank 2019. Ragweed in Denmark: Should We Prevent Introduction or Mitigate Damages? Journal of benefit-cost analysis, 2019-09, Vol.10 (3), p.469-502.  
<https://doi.org/10.1017/bca.2019.28>

- Singh Anand Bahadur & Kumar Pawan 2022. Climate change and allergic diseases: An overview. *Frontiers in allergy*, 2022-10, Vol.3, p.964987-964987.  
<https://doi.org/10.3389/falgy.2022.964987>
- Le Souëf Peter N., Adachi Yuichi, Anastasiou Eleni, Ansotegui Ignacio J., Badellino Héctor A., Banzon Tina, Pozo Beltrán Cesar, D'Amato Gennaro, El-Sayed Zeinab A., Gómez Rene Maximiliano, Hossny Elham, Kalayci Ömer, Morais-Almeida Mário, Nieto-Garcia Antonio, Peden David B., Phipatanakul Wanda, Wang Jiu-Yao, Wan I-Jen, Wong Gary, Xepapadaki Paraskevi & Papadopoulos Nikolaos G. 2024. Global change, climate change, and asthma in children: Direct and indirect effects - A WAO Pediatric Asthma Committee Report. *A WAO Pediatric Asthma Committee Report. The World Allergy Organization journal*, 2024-11, Vol.17 (11), p.100988.  
<https://doi:10.1016/j.waojou.2024.100988>
- Sözener Zeynep Çelebi, Treffeisen Elsa R., Öztürk Betül Özdel & Schneider Lynda C. 2023. Global warming and implications for epithelial barrier disruption and respiratory and dermatologic allergic diseases. *Journal of allergy and clinical immunology*, 2023-11, Vol.152 (5), p.1033-1046. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2023.09.001>
- Tran Huan Minh, Chuang Ting-Wu, Chuang Hsiao-Chi & Tsai Feng-Jen 2023. Climate change and mortality rates of COPD and asthma: A global analysis from 2000 to 2018. *Environmental research*, 2023-09, Vol.233, p.116448-116448. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116448>
- Tran Huan Minh, Tsai Feng-Jen, Lee Yueh-Lun, Chang Jer-Hwa, Chang Li-Te, Chang Ta-Yuan, Chung Kian Fan, Kuo Han-Pin, Lee Kang-Yun, Chuang Kai-Jen & Chuang Hsiao-Chi 2023. The impact of air pollution on respiratory diseases in an era of climate change: A review of the current evidence. *The Science of the total environment*, 2023-11, Vol.898, p.166340-166340.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166340>
- Weber Richard W. 2024. Current and Future Effects of Climate Change on Airborne Allergens. *Current allergy and asthma reports*, 2024-07, Vol.24 (7), p.373-379. DOI:  
<https://doi.org/10.1007/s11882-024-01151-z>
- WHO 2021. WHO Air Quality Guidelines. Saatavissa <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>. Viitattu: 10.12.2024.
- WHO 2010. WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Saatavissa:  
<https://www.who.int/publications/i/item/9789289002134>. Viitattu: 10.12.2024
- Wright Rosalind J. 2020. Influences of climate change on childhood asthma and allergy risk. *The lancet child & adolescent health*, 2020-12, Vol.4 (12), p.859-860.  
[https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(20\)30315-1](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(20)30315-1)
- Ziska Lewis H. 2021. Climate, Carbon Dioxide, and Plant-Based Aero-Allergens: A Deeper Botanical Perspective. *Frontiers in allergy*, 2021-08, Vol.2, p.714724.  
<https://doi:10.3389/falgy.2021.714724>

## Liite 1: Ilmastonmuutoksen vaikutukset ihmisten terveyteen.

Figure 1. Impact of climate change on human health<sup>6</sup>



Used with permission of the Asthma and Allergy Foundation of America.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset ihmisten terveyteen. Lähde: Arceneaux Leslie S. & Gregory Karen L. 2024.

## Liite 2: Mekanismi, jonka kautta ilmaitse leviävät allergeenit lisäävät allergisten hengitystiesairauksien riskiä

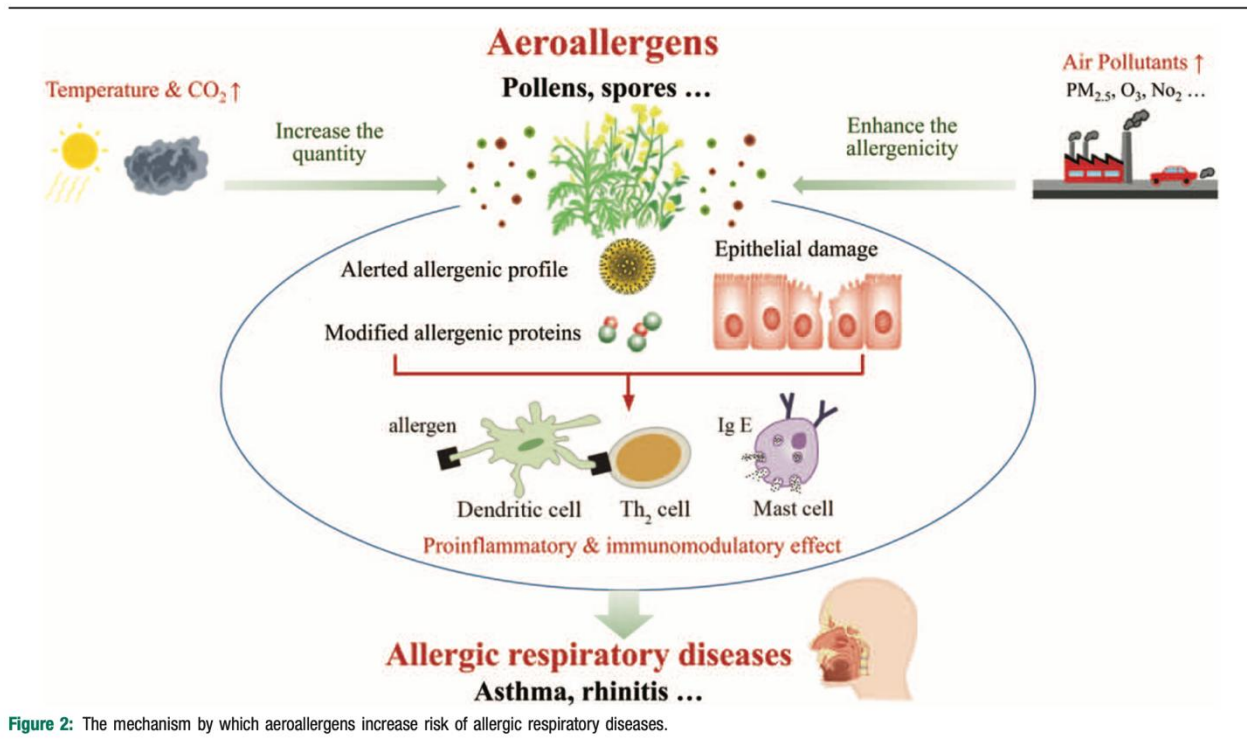
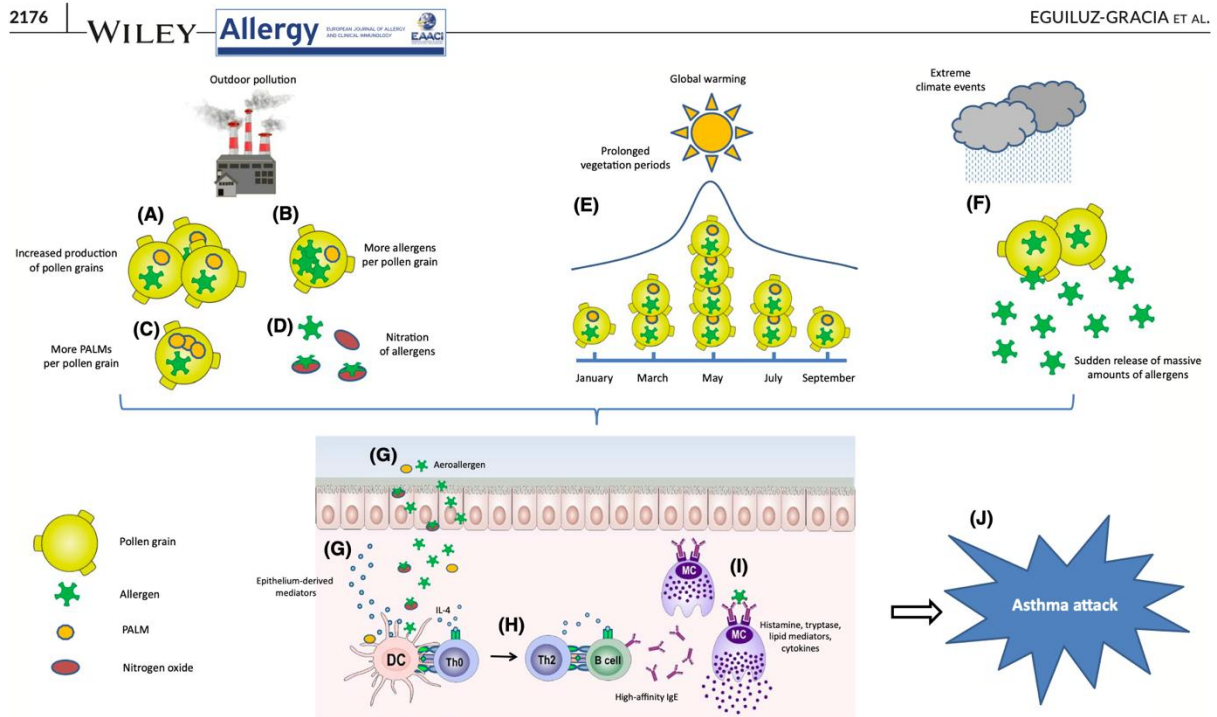


Figure 2: The mechanism by which aeroallergens increase risk of allergic respiratory diseases.

Mekanismi, jonka kautta ilmaitse leviävät allergeenit lisäävät allergisten hengitystiesairauksien riskiä. Lähde: Deng ym. 2020

## Liite 3: Ulkoilman saastumisen ja ilmastonmuutoksen vaikutus allergeniin kasvilajeihin

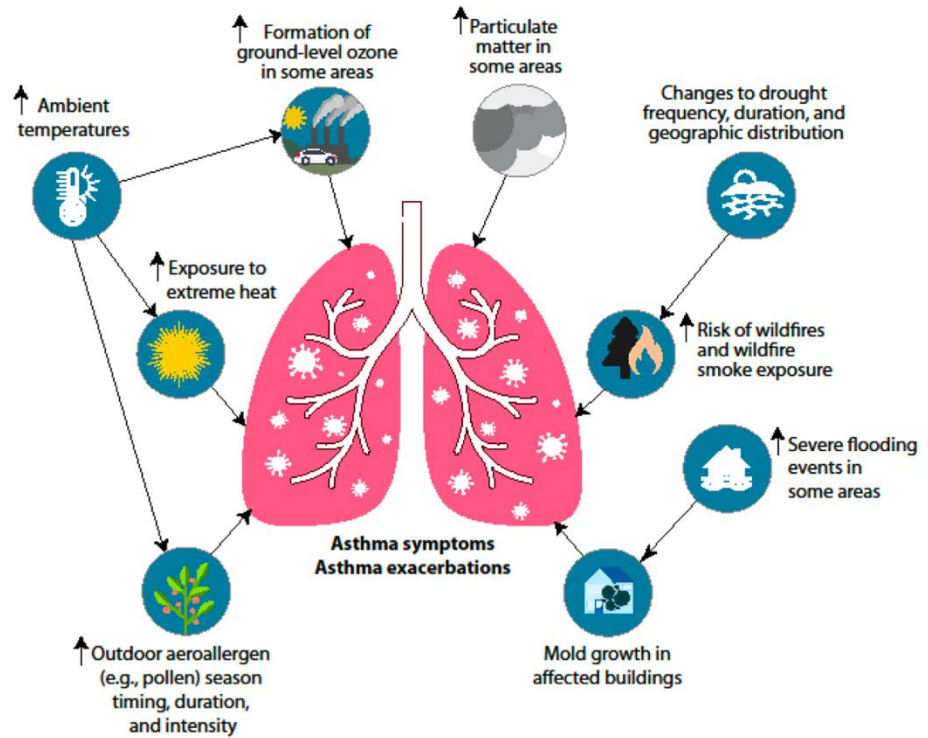


**FIGURE 3** Effect of outdoor pollution and climate change over allergenic plant species: Outdoor pollution increases the amount of pollen grains produced by plants (A), and the amount of both allergens (B) and PALMs (C) per pollen grain. Moreover, aeroallergens can become chemically modified by outdoor pollutants like nitrogen oxides (D). The global warming induces prolonged vegetation periods of allergenic plants (E), and extreme climate events like thunderstorms, which provoke the sudden release of massive amounts of allergens to the atmosphere (F). All these effects result on a higher availability of aeroallergens, and they increase the chances of interaction between the allergens and the stromal and immune cells of the airway mucosa. The interaction of native and nitrated allergens with airway epithelial cells can result on the release of pro-inflammatory mediators (G), whereas allergen interaction with dendritic cells can result on IgE sensitizations (H). The chances of sensitization are further increased by the higher availability of PALMs and nitrated allergens (G). Moreover, allergen interaction with sensitized mast cells can induce the release of inflammatory mediators (I), ultimately inducing the onset of asthma attacks in pollen-allergic patients (J). PALM: pollen-associated lipid mediator

Ulkoilman saastumisen ja ilmastonmuutoksen vaikutus allergeniin kasvilajeihin. Lähde: Eguluz-Gracia ym. 2020.

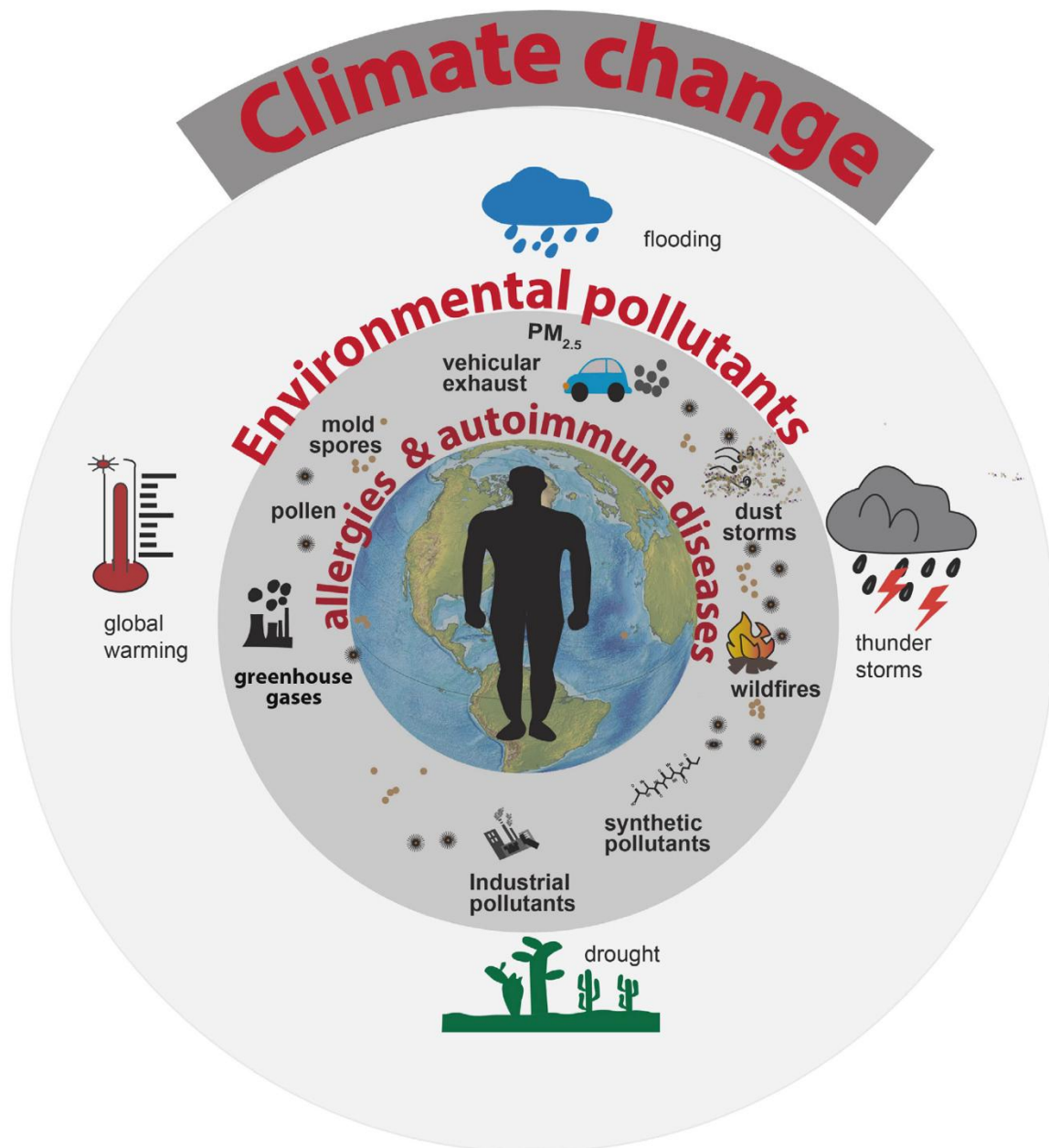
## Liite 4: Esimerkkejä siitä, miten ilmastonmuutos voi lisätä altistumista astmalle

Fig. 1 Examples of how climate change can increase exposure to asthma triggers



Esimerkkejä siitä, miten ilmastonmuutos voi lisätä altistumista astmalle. Lähde: Kelly ym. 2023

## Liite 5: Ilmastonmuutos, ympäristösaasteet sekä allergiset ja autoimmuunisairaudet

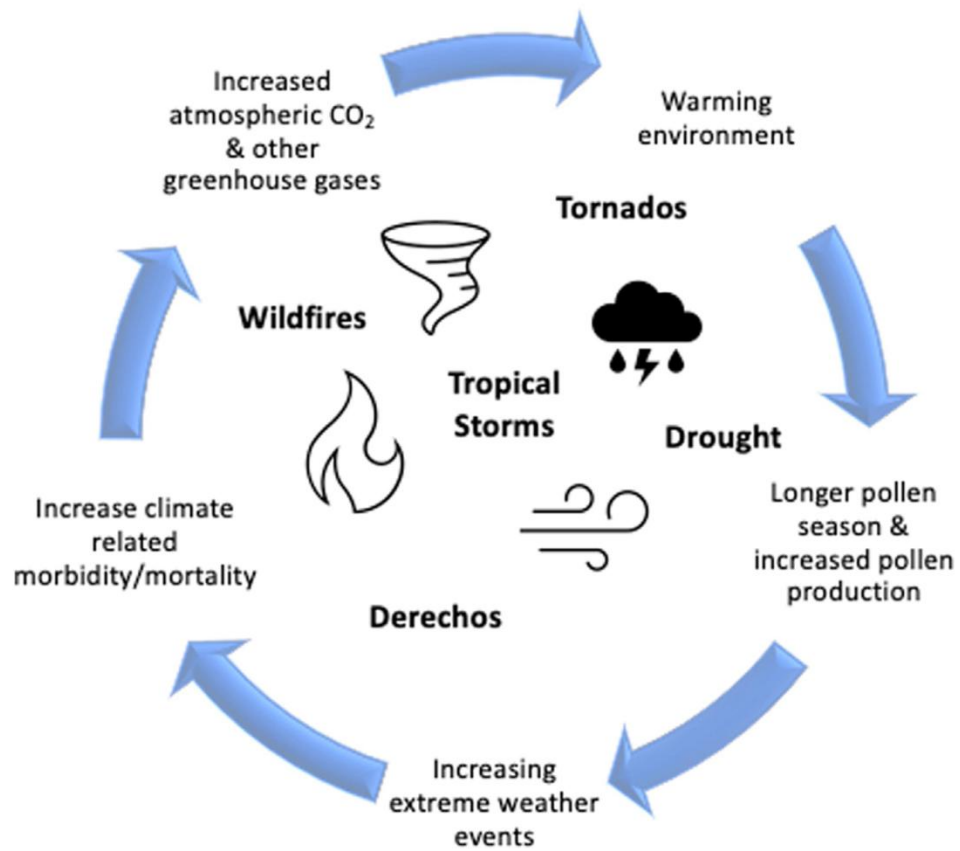


**Figure 1. Climate change, environmental pollutants, and allergic and autoimmune diseases.**

The outer circle of the figure represents the various factors that contribute to climate change, such as greenhouse gas emissions and wildfires. These factors lead to changes in temperature, humidity, and other environmental conditions, which can in turn alter the distribution and prevalence of allergens and autoimmune diseases.

Ilmastonmuutos, ympäristösaasteet sekä allergiset ja autoimmuunisairaudet. Lähde: Lee ym. 2023

## Liite 6: Ilmastonmuutoksen ja sään ääri-ilmiöiden kierre.



**Fig. 1.** Cycle of climate change and extreme weather.

Ilmastonmuutoksen ja ääri-ilmiöiden kierre. Lähde: Rorie 2022.