

Huoneilman epäpuhtauksien terveydellisestä merkityksestä

Nykyajan ihminen viettää huomattavan osan ajastaan sisällä — huoneilmassa — WHO:n arvion mukaan jopa 70 %. Suomalaisen ajankäyttötutkimuksessa todettiin arkivuorokaudesta noin 29 %:n kuluvaan ansio-työhön ja/tai opiskeluun ja noin tunnin työmatkoihin keskivertoihmisellä. Itse asiassa ihmiset altistuvat ulkoilmalle yllättävän vähän juuri kaupungeissa, joissa asuu 3 miljoonaa suomalaista. Huoneilman epäpuhtauksien terveydellistä merkitystä ei ole tiedostettu samoin kuin työpaikka- tai ulkoilman, huolimatta edellä mainituista seikoista. Ongelmia kuitenkin esiintyy, niistä esimerkkinä formaldehydin aiheuttamat terveydelliset haitat.

Ilman pilaantumiskäsite — puhkielessä saastuminen — yhdistetään ympäristönsuojelussa yleensä ulkoilman laatuun. Kuitenkin ilman pilaantumisen terveydelliset haitat on ensimmäisenä yhdistetty ns. työympäristöilmaan, jossa ihmiset ovat jo ammuin tunteneet myrkyllisten metallien ja kaasujen aiheuttamat vaarat. Teollistuminen, fossiilisten polttoaineiden massiivinen käyttö ja urbanisoituminen lieveilmiöineen ovat tuoneet ilman pilaantumismiehet myös ulkoilmaan. Pahimmillaan erittäin huonolaatuinen ulkoilma on suurkaupungeissa aiheuttanut vakavia terveydellisiä haittoja, kuten sairastuneisuuden lisääntymistä ja riskiryhmissä kuolleisuuden kasvua. Ilman epäpuhtauksien ter-

veydellinen merkitys riippuu kuitenkin huomattavan paljon kahdesta asiasta: epäpuhtauden pitoisuudesta hengitettävässä ilmassa ja altistuksen kestosta. On selvää, että altistuminen korkeille pitoisuuksille lyhyinäkin aikoina on saattanut johtaa akuutteihin vaikutuksiin nimenomaan työpaikoilla. Itse päästöt ovat määrällisesti yleensä vähäisiä, mutta johtuen vähäisestä laimenemisestä pitoisuudet voivat olla korkeita.

Ulkoilmaan joutuvat totaalisesti suurimmat päästöt. Siellä kuitenkin laimeneminen luonnostaan, tai käytettäessä korkeita piippuja tms. on niin huomattavaa, etteivät pitoisuudet tavallisesti kohoa lähellekään työpaikoilla havaittavia. Huoneilmassa tilanne on jossain näiden kahden välillä: vähäisetkin päästöt saattavat aiheuttaa pienissä tiloissa korkeita pitoisuuksia, joita tuuletus muiden muassa laimentaa. Huoneilman laatu onkin hyvin moniselitteinen suure, joka riippuu mm. ulkoilman laadusta.

Huoneilman laatuun vaikuttavat tekijät

Asunnoissa ja muissa sisätiloissa huone-tilavuudet ovat yleensä niin pieniä, ettei epäpuhtauksien merkittävää laimenemista pääse tapahtumaan. Toisaalta ilman laatuun vaikuttavat monet eri tekijät, kuten ulkoilman laatu (epäpuh-

tauksien pitoisuudet ulkoilmassa), sisällä syntyvien ja vapautuvien epäpuhtauksien määrä, epäpuhtauksien käyttäytyminen ilmassa (reaktiot), epäpuhtauksien poistuminen ilmasta laskeutumalla maahan tai adsorboitumalla materiaaleihin tms. sekä ilmanvaihdoista. Myös asunnon ikä vaikuttaa eri tavoin, mm. rakennustavasta ja rakennusmateriaaleista riippuen huoneilman laatuun. Huomattava tekijä on myös ihminen itse.

Ulkoilman laatu

Normaalisti ilma vaihtuu jatkuvasti asunnon ja ulkoympäristön välillä. Vaihto on joko tarkoituksellista tai luonnollista. Yleensä vaihtuvuutta voidaan lisätä huomattavasti, jos lämpötilaerot sisä- ja ulkolämpötilan välillä ovat kyllin suuret. Vanhoissa asunnoissa ilmanvaihto on usein ns. vetoa, rakenteista ja liitoskohdista tapahtunutta vuotoa. Nykyaikaisissa asunnoissa ilmastointi hoidetaan usein koneellisesti. Ns. riittävänsä ilman vaihtuvuutena on pidetty asunnoissa 0,5-kertaista vaihtoa tunnissa.

Ilmastoinnissa saatava korvausilma otetaan ulkoa tavallisesti puhdistamattomana. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikki ulkoilmassa olevat epäpuhtaudet kulkeutuvat myös sisätiloihin. Ilmanottoaukon sijainti, sen korkeus maasta ja suunta, on merkityksellinen seikka. Esimerkiksi mikäli ilmanottoaukko on lähellä kadun pintatasoa ja kadun ns. tyyneellä puolella, saadaan huomattavan huonolaatuista ilmaa. Katukuiluissa liikenteen päästöjen (hiilimonoksidi, pöly, hiilivedyt, lyijy, typen oksidit) pitoisuudet ovat yleensä korkeimmat alle metrin korkeudella ja kadun sillä puolella, missä ilmapvirtausten aiheuttama "tuuletus" on vähäisintä. Erityisesti hiilimonoksidin pitoisuudet voivat kohota huomattavasti.

Ulkoilman epäpuhtauksista tärkein on rikkidioksidi (SO₂), joka yhdessä ns. leijuvan pölyn (hiukkasten halkaisija alle 10 µm) kanssa on yleensä ollut päävastuussa pilaantuneen ulkoilman aiheuttaessa terveydellisiä haittoja. Rikki-

ted by Different Methods", CIB Proc. of the Second International CIB Symposium on Energy Conservation in the Built Environment, Session 3, Copenhagen.

/24/ Huusom, J., and Madsen, T.L., 1980, "The Importance of the Room Thermostat for the Indoor Climate and the Energy Consumption in Buildings", Proc. of the International Congress of Building Energy Management, Portugal.

/25/ Robeson, K.S., and Downie, R.H., 1978, "Personal Cooling in Industry", Technical Report No. TR 18, CSIRO, Highett, Victoria.

/26/ Olesen, B.W., and Nielsen, R., 1981, ASHRAE Trans. 87, 1.

Epäpuhtaus	Pitoisuus	
	ulkona	huoneilmassa
rikkidioksidi	+	+
typen oksidit	+	+
hiilimonoksidi	+	+
hiilivedyt:		
— alifaattiset (etaani)	+	+
— aromaattiset (bentseeni)	+	+
— klooratut (DDT, PCB)	+	+
— polysykliset (benstspyreeni)	+	+
otsoni	+	+
aldehydit:		
formaldehydi	+	+
pöly	+	+
lyijy (Pb)	+	+

Taulukko 1. Tärkeimpien ilman epäpuhtauksien pitoisuusvertailu

dioksidia vapautuu muun muassa energiantuotannosta. Muita tärkeitä epäpuhtauksia ovat liikenneperäiset typen oksidit (NO_x), edellä mainittu hiilimonoksidi eli häkä (CO), otsoni (O_3) ja erilaiset hiilivedyt (H_xC_y). Taulukossa 1 on verrattu tärkeimpien ulkoilman epäpuhtauksien tyypillisiä pitoisuuksia pitoisuuksiin huoneilmassa.

Taulukon tiedot perustuvat useisiin ulkomaisiin tutkimuksiin. Näissä on todettu mm. että rikkidioksidi, otsoni ja lyijy esiintyvät yleensä sisällä pienemmissä pitoisuuksissa. Syynä on osittain näiden adsorboituminen ja laskeutuminen kodin materiaaleihin ja tekstiileihin. Toisaalta näitä ei myöskään vapaudu huoneilmassa, kuten typenoksideja, hiilimonoksidia, aldehydejä ja eräitä hiilivetyjä ja pölyä.

Huoneilman ja ulkoilman pitoisuuksien välistä suhdetta on myös selvitetty. Tavallisimpien epäpuhtauksien välillä suhde on vaihdellut noin 0,8 — 1,3 välillä. Tämä riippuu luonnollisesti ulkoilman likaantuneisuudesta ja huoneilmassa olevista lähteistä.

Ulkoilman epäpuhtauksien terveydellinen merkitys

Ilman epäpuhtauksien terveydellistä merkitystä on luontevinta tarkastella vertaamalla pitoisuuksia terveydellisiin ohjearvoihin. Rikkidioksidin pitoisuudet taajamissa ovat lähteiden läheisyydessä yleensä korkeimmat. Suurissa kaupungeissa pitoisuudet ovat olleet vuositasolla yleensä lähellä ohjearvoja ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja jopa yli. Näin Suomessa esimerkiksi Helsingissä ja Tampereella. Viime vuosina tilanne tosin on hieman parantunut toteutetuista toimenpiteistä johtuen. Myös sulfiittiselluloosateollisuuspaikkakunnilla, öljynjalostamojen läheisyydessä ja malminjalostusteollisuuden laitosten lähellä saattaa esiintyä korkeita pitoisuuksia. Ns. lyhytaikaispitoisuudet (tunnin keskiarvot) voivat kohota yli $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kun ohjearvo on $650 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Myös leijuvan pölyn pitoisuudet ovat kaupungeissa ja varsinkin liikenneväylien ympäristössä korkeita ja

jopa samaa suuruusluokkaa vuorokausi-ohjearvon, $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kanssa. Hiilimonoksidin ja typen oksidien pitoisuudet ovat korkeimmat liikenneväylien läheisyydessä ja katukuiluissa, missä molemmilla saateraan päästä lähelle ohjearvojen tasoa. Myös liikenneperäinen lyijy saattaa kohota huomattavan korkeisiin pitoisuuksiin kaupunkien keskustoiissa: vuorokausipitoisuudet voivat ylittää 2 — $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Myös liikenteen bentseeni- ja toluenipäästöt aiheuttavat huomattavan korkeita pitoisuuksia vaikutusalueelleen.

Yhteenvetona voidaan todeta, että terveydelliseltä kannalta huonoin ilman laatu on yleensä liikenneväylien varrella ja teollisten lähteiden tai voimalaitosten lähiympäristössä. Tällaisilla paikoilla huoneilman laatu saattaa pelkästään puhdistamattomasta korvausilmasta johtuen ja "vääralta" puolelta taloa tai liian matalalta otettuna olla jo varsin heikkolaatuista, puhumattakaan sisällä olevien lähteiden aiheuttamasta lisästä.

Huonetiloiissa vapautuvat epäpuhtaudet

Sisätiloissa epäpuhtauspäästöjä aiheuttavat lähteet voidaan periaatteessa jakaa aktiivisiin, ihmisen toiminnoista aiheutuviin päästöihin ja passiivisiin — rakenteista, muoveista, maaleista, puunsuojausaineista yms tapahtuviin päästöihin.

Ihmisen toiminnoista aiheutuvat päästöt

Tupakointi on ylivoimaisesti haitallisin sisällä epäpuhtauspäästöjä aiheuttava toiminto. Tupakansavun sisältämät lukemattomat epäpuhtaudet, kuten hiilimonoksidi, syöpäsairauden vaaraa aiheuttavat monirengashiilivedyt, raskasmetallit (kadmium) tai formaldehydi saattavat pienissä tiloissa nousta huomattaviin pitoisuuksiin. Esimerkkinä todettakoon, että pelkkä tupakointi saattaa nostaa ilman formaldehydipitoisuuden haitalliselle tasolle, jolloin herkimät ihmiset voivat saada oireita. Ns. passiivinen tupakointi on huonetiloiissa

pahimpia ei tupakoivia altistavista toiminnoista.

Kaasuhellat ja kaasulämmittimet ovat melkoinen typen oksidien lähde huoneilmassa. Ne lisäävät myös ilman hiilimonoksidipitoisuutta.

Takat ja puuhellat aiheuttavat hiilimonoksidi- ja nokipäästöjä.

Ihminen itse lisää huomattavasti hiilidioksidipitoisuutta huoneilmassa.

Rakenteista johtuvat päästöt

Rakenteista johtuvat päästöt voivat olla peräisin seinien, lattoiden ja kattojen rakennusmateriaaleista. Eräs merkittävä, lähinnä epäorgaanisista rakennusmateriaaleista (betoni, tiili ja eräät kipsilaadut) vapautuva päästö on radon. Suomessa radonin lähteenä voidaan paikoin pitää myös pohjavettä. Tämän radioaktiivisen aineen merkityksestä on tehty selvityksiä mm. Ruotsissa. Radonin pitoisuudet ja annoksen merkitys riippuu huomattavasti asunnon ilmastoinnista. Kysymyksessä lienee myös varsin paikallinen ongelma.

Lastulevyistä ja urea-formaldehydiristeistä vapautuu ilmaan jonkin verran formaldehydiä. Päästöt riippuvat monista tekijöistä, mm. kosteus- ja lämpöolosuhteista, liiman ja hartsin vapaan formaldehydin määrästä ja pintojen käsittelystä. Usein suuriin päästöihin on ollut syynä valmistusvika tai virheellinen käsittely. Suomessa formaldehydi on ainoa huoneilmasta perusteellisesti tutkitu epäpuhtaus. Formaldehydi aiheuttaa mm. allergiatyypisiä vaikutuksia.

Lääkintöhallituksen tutkimuksissa keskimääräiset formaldehydipitoisuudet suomalaisissa asunnoissa olivat taulukon 2 mukaisia.

Sellaisissa asunnoissa, joista on tehty valituksia terveydellisistä haitoista ovat formaldehydipitoisuudet olleet yli $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$ ja jopa $2 \text{ mg}/\text{m}^3$. Useissa tapauksissa huippupitoisuudet on mitattu uusissa pientaloissa, joissa on käytetty runsaasti lastulevyä rakennusmateriaalina.

Puunsuojausaineet (suolakyllästeet ja pinnansuojausaineet) saattavat väärin käytettynä aiheuttaa haittoja. Ns. suolakyllästeet sisältävät tehoaineina metalleja, kuten kromia, kuparia ja eräät tyyppit myös arseenia. Kyllästysprosessissa suolat sitoutuvat tiukasti puuhun eivätkä siten haihdu. Poltettaessa haitalliset metallit sitävastoin vapautuvat, joten kylästetyn puutavaran polttamista takoisissa, helleissa tms. tulisi välttää. Pinnansuojausaineet, joihin käytetään esim. kloorifenoleita ovat haitallisia aineita. Ne haihtuvat ilmaan jossakin määrin, eivätkä sovellu esim. saunoissa pintamateriaaleiksi. Kloorifenolit ovat pienissäkin pitoisuuksissa ihoa ärsyttäviä ja ne voivat kulkeutua ihon kautta elimistöön. Myöskään orgaanisilla klooratuilla

Ilmanvaihdon arviointi työntekijän kannalta

Työpaikan ilmastoinnin avulla vaikutetaan ilman koostumukseen, epäpuhtauksiin, lämpötilaan, kosteuteen ja liikkeeseen. Teollisuusilmastoinnin oikea suunnittelu ja toteutus ovat usein vaikeita tehtäviä päästötietojen puutteellisuuden ja työtilassa esiintyvien ilmapurrojen monimutkaisuuden vuoksi. Peruslähtökohta ratkaisujen arvioinnissa on, että käytetyt mittausmenetelmät kuvaavat ilmastoinnin tehokkuutta työntekijän olosuhteiden kannalta käyttökelpoisella ja relevantilla tavalla. Työhygieenisillä mittauksilla on mahdollista selvittää työpaikalla vallitsevat olosuhteet, mutta tällöin ilmastoinnin vaikutus saadaan yleensä esiin vain laajoilla koesarjoilla. Toisaalta ilmastointilaitteiden teknillinen toimivuus voidaan todeta esimerkiksi ilmapurrojen kanavamittauksilla, mutta ne eivät kerro riittävästi työntekijän altistumisesta ilman epäpuhtauksille.

Työolosuhteiden vaatimustasoa koskevat säännökset perustuvat pääasiassa työturvallisuuslakiin (299/58) ja sen nojalla annettuihin valtioneuvoston päätöksiin. Lisäksi eräät asetukset ja päätökset sisältävät määräyksiä työpaikan ilmanvaihdon ja muista toimenpiteistä käsiteltäessä palavia nesteitä (921/76, 922/76), nestekaasua (316/79, 317/79), radioaktiivisia aineita (594/68), asbestia (805/76) tai syöpäsairauden vaaraa aiheuttavia aineita (952/75), 174/76). Yleinen rakennuslainsäädäntö koskee luonnollisesti myös työpaikkoja, mutta

teollisuusilmastoinnin erityiskysymysten osalta viranomaismääräykset ja -ohjeet ovat hyvin yleisluontoisia.

Usein joudutaan nimittäin tarkastelemaan seuraavanlaisia kysymyksiä: Miten epäpuhtaudet leviävät ilmanvaihdon vaikutuksesta? Voidaanko nykyistä ilmastointijärjestelmää käyttää tehokkaammin? Mitä tapahtuu, jos lisäpäästöjä tuottava prosessi otetaan käyttöön? Miten ilman epäpuhtauspitoisuus työtilassa muuttuu, jos ilmapurrojen suuruutta, suuntaa tai jakautumista muutetaan?

energiansäästötoimenpiteiden "liioittelusta".

Merkillepantavaa on huoneilman laatuun liittyvän tutkimuksen vähäisyys. Jos otetaan huomioon, että nykyajan ihminen viettää kaupungeissa pääosan ajastaan huoneilmassa, on tiedonpuute ilmeinen. Terveystieteiden riskien arvioinnissa ensimmäisiä tehtäviä on huoneilman epäpuhtauksien laadullinen ja määrällinen kartoittaminen. Formaldehydi on ainoa Suomessa kunnolla tutkittu huoneilman epäpuhtaus.

WHO:n työryhmän raportissa vuodelta 1979 (Health Aspects related to Indoor Air Quality) on kiinnitetty huomiota muun muassa huoneiden ilmanvaih-

don tärkeyteen terveyden ja hyvinvoinnin kannalta. Raportissa todetaan, etteivät energiansäästötoimenpiteet saa ilmanvaihdon liiallisen vähentämisen muodossa huonontaa huoneilman laatua. Raportissa kiinnitetään huomiota myös formaldehydiin, radoniin ja asbestiin (ongelma mm. USA:ssa) terveydellisinä riskitekijöinä.

Oman kappaleensa todellisenä huoneilman laadun huolenaiheena ansaitsee tupakointi. WHO:n mielestä tupakoinnin vähentämiseen huoneiloissa, varsinkin nyt kun ilmanvaihtoa pyritään vähentämään, tulisi kiinnittää erityistä huomiota.

Ilmanvaihdon suunnittelu- perusteet ja työntekijän altistumisen arviointi

Kuvassa 1 on havainnollistettu ilmastointilaitteiden toimintaa suhteessa epäpuhtauksien syntymiseen, leviämiseen ja poistumiseen työtilassa [7]. Suunnittelua varten tarvitaan tiedot muun muassa rakenteista, epäpuhtaus-, lämpö- ja kosteuspäästöjen määristä sekä niiden sijainnista työntekijöihin nähden. Ilmastointilaitteiden mitoitus, teho ja toiminta ratkaisevat yhdessä kuvan ilmiöiden ja tekijöiden kanssa epäpuhtauspitoisuudet ja työympäristön laadun.

Laimennusilmanvaihto on eräs menetelmä alentaa työpaikan yleisilman epäpuhtauspitoisuuksia. Ilmanvaihdon tarve voidaan tällöin laskea seuraavasti [1]:

$$V = k_1 \times k_2 \times \frac{G}{E} \quad (1)$$

missä

V = mitoituksessa käytettävä ilmapurro,
m³/h,

G = ilmaan vapautuva epäpuhtausvir-
ta, mg/h,

E = työpaikkailman työhygieeninen
raja-arvo, mg/m³,

k₁ = epäpuhtauden ja epäpuhtausläh-
teen ominaisuuksiin liittyvä var-
muuskerroin, yleensä ≥ 2 ,

k₂ = ilmanvaihtojärjestelyn tehokkuu-
teen liittyvä varmuuskerroin,
yleensä 1,5—4.

Käytännössä epäpuhtausvirta G voidaan arvioida esimerkiksi hitsauksessa kulutettujen hitsauspuikkojen ja niiden savuluokituksen avulla, maalaustyössä käytetyn maalimäärän ja maalin haihtuvien liuottimien osuuden avulla tai lujitteuovityössä käytetyn hartsimäärän ja styreenin haihtuvuuden avulla. Näissä tapauksissa epäpuhtausvirta voidaan laskea tunnin pituista suurinta kuormitushuippua koskevana.

Työsuojeluhallitus on julkaissut vuonna 1981 turvallisuustiedotteen