



Erikoistutkija, LL Esko Sammaljärvi
Kansanterveyslaitos / tilastoyksikkö

Lääket. lis. Esko Sammaljärvi toimii Kansanterveyslaitoksen tilastoyksikössä erikoistutkijana selvittellen sisä- ja ulkoilman epäpuhtauksien terveydellisiä vaikutuksia.

UDK 628.86:614.87:504
697.9:351.777

1621
AIC 1027

Sisäilmako terveysriski

A096

Vuosittain Suomessa kuolee satoja ihmisiä keuhkosityöpään, jonka aiheuttavat tupakointi, radon-kaasu tai ne yhdessä. Kymmeniä tuhansia suomalaisia altistuu sisäilman epäpuhtauksille, joita edellisten lisäksi ovat formaldehydi, hiilivedyt, liuotimet, muovimateriaalit.

Kaikki saasteet, joita ilmassa on, eivät näy eivätkä haise. Silti vuosien altistuminen niille saattaa kehittää allergioita, pahimmillaan syövän.

Energiataloudellisissa mutta riittämättömästi ilmastoiduissa, kosteissa, haisevissa, pölyisissä tiloissa kasvavat lapset maksavat aikanaan terveydellään virheet, joita rakennustekniikassa ja ilmastoinnissa nyt tehdään.

Ihminen ei pysy hengissä muutamaa minuuttia kauempaa, jos ilmanvaihto keuhkoihin täydellisesti estyy. Tällaisen äkillisen esteen hengitysteissä voi muodostaa esim. pihvinpala tai nopea kurkunpään turpoaminen allergisen reaktion tai bakteeritulehduksen (kuristustauti lapsilla) johdosta. Pihvinpalaa ja allergista kurkunpään turpoamista ei kuitenkaan pidetä tyypillisinä sisäilmaongelmina.

Sitä vastoin hidasta tukehtumista ovat umpitiiviit asunnot, erityisesti tiiviit makuuhuoneet, asunnon olematon ilmanvaihto ja lukuisat ärsyttävät, myrkylliset ja tukehduttavat kaasumaiset epäpuhtaudet, jotka syntyvät asunnon sisällä tai tulevat asuinympäristön ulkoilmasta. Äkillisen tukehtumisen sen sijaan aiheuttaa hädäkuolema, joka on tiiviin rakennustavan, uunilämmityksen ja poiskytketyn ilmanvaihdon johdosta yhtä suuri riski kuin aikaisemmin.

Pienen, suljetun, tiiviin ja huonosti ilmastoidun makuuhuoneen yön aikana synnyttämän hiilidioksidinarkoosin tarvetta ei voi perustella yönun syvyydellä, laadulla eikä sen edullisilla seuranaisvaikutuksilla. Todennäköisesti ai-

noa muoviumpioksi pakatun makuuhuoneen sisäilmakomponentti, joka muuttuu kylmänä vuodenaikana edulliseen suuntaan, on huoneilman kosteuspitoisuus. Kuitenkin, kun ilman suhteellinen kosteus nousee yli 70 prosentin tavallisessa huonelämpötilassa (20–22 °C), alkaa allergiaa aiheuttavan pölypunkin pölymassa kasvaa eksponentiaalisesti.

Asuntojen huono ilmanvaihto, kosteusongelmat, punkit ja muut allergeenit, hake ja ärsyttävät, myrkylliset ja tukehduttavat kaasut ovat esimerkkejä osin vanhoista osin uusista sisäilmaongelmista, joiden määrä, laatu ja esiintyvyys ovat nykyään toiset kuin aikaisemmin. Koska rakentamisen lopputulos on nykyään lähes monoliittinen aikaisempaan verrattuna, on ainakin näennäisesti helppoa kytkeä yhteen rakennustekniikka ja ihmisten kokemat oireet.

Tässä kytkennässä auttaa se, että joissakin suurissa rakennuksissa työskentelee tuhansia ihmisiä lähes samoissa sisäilmaolosuhteissa kolmanneksen elinajastaan. Juuri tällaisesta yhteydestä on syntynyt käsite sick building syndrome (ill building syndrome, stuffy building), jota suomeksi voi nimittää esim. rakennussairausoireeksi tai ongelmarakennusoireeksi. Oireet ilmenevät altistuneen henkilön hengitysteissä, limakalvoilla, silmissä, iholla ja keskushermostossa.

Sisäilman ongelmien tutkimus on monitieteellistä, vaikka ongelmien syyt tulevat voittopuolisesti rakennustekniikasta. Kysymys on siitä, että tekniikan synnyttämät ympäristön muutokset sisäilmassakin ovat ylittäneet väestön herkimmin reagoivan osan mukautumiskyvyn. Tästä eteenpäin on rakennustekniikkaa muokattava ihmisen ehtojen mukaan eikä päinvastoin.

Sisäilmaongelmien tausta

Tiivis ja matala rakennustapa, jonka

ensimmäinen vaihe alkoi 1960-luvulla, synnytti asuntoihin ja toimistoihin nykyisen ongelmalliseksi koetun sisäilman. Vastauksia vaaditaan mm. seuraaviin kysymyksiin:

Mitkä ovat oireita, epäviihtyvyyttä ja sairautta synnyttävät sisäympäristön haitalliset ominaisuudet ja piirteet?

Miten mitataan niitä tai edullisia piirteitä rakennuksissa. Entä niiden vaikutuksia ihmisissä?

Mitkä em. ominaisuudet ja piirteet ovat muuttuneet viimeaikaisen rakennustekniikan myötä?

Mitkä ovat sisäympäristöjen ja sisäilman haittojen parannuskeinot?

Rakennusten energiansäästötoimet; tiivistäminen ja aktiivisen ilmanvaihdon alentaminen, kärjistivät 1970-luvulla sisäilmaongelmia entisestään. Nyt 1980-luvulla näyttää siltä, että ylitsemenään ilmanvaihdoissa — mahdollisesti jälleen ihmisten terveyden kustannuksella.

Tämän hetken sisäilmaongelmat

Kansainvälinen sisäilman tutkimus käsittelee ongelmia teknisesti, luonnontieteellisesti ja lääketieteellisesti. Tällainen tieteenalakohtainen jako näkyy myös esim. KTM:n sisäilmaprojektissa, jossa tutkimusalueet ovat rakennusten ilmanvaihto, sisäilman epäpuhtaudet (aerosolit, kaasut, epäpuhtauksien esiintyminen, mittaustekniikka, lähteet, nielut ja ulko-sisäilmakytkentä) ja sisäilman epäpuhtauksien terveydellisten vaikutusten arviointi.

Sisäilman lääketieteelliset ja fysiologiset perusvaatimukset ovat usein yksilöllisiä. Parametrien vaihtelua väestötasolla (normin asettamista) ei kuitenkaan voida määrittää tällä hetkellä muille sisäilmaominaisuuksille kuin lämpötilalle (efektiiviselle lämpötilalle). Parhaimmillaan lämpötilatyytyväisyydessä päästään n. 90 % viihtyisyydestä. Loput 10 % jonkin rakennuksen lämpötilaan tyytymättömistä henkilöis-

tä voidaan tyydyttää antamalla heille vipu, jolla voivat säätää lähiympäristönsä. Useitten muitten fyysikaalisten ympäristöominaisuuksien merkityksestä tai merkityksettömyydestä kiistellään yhä keskiajan tyyliin (mm. ionit ja sähkömagneettiset kentät).

Monien sisätiloissa esiintyvien fyysikaalisten, kemiallisten ja biologisten epäpuhtauksien vaikutus ihmiseen on työlästä määrittää ja arvioida, mikä johtuu useista menetelmä- ja mittausteknisistä ongelmista. Eräiden sisäilmaepäpuhtauksien terveysriski pystytään kuitenkin määrittämään ja laadultaan arvioimaan jokseenkin luotettavasti.

Suomessa tavattavat yleisimmät sisäilman epäpuhtaudet ovat:

tupakansavu
orgaaniset hiilivedyt, erityisesti formaldehydi
radioaktiivinen säteily (radon + sen tyttäret)
häkä
kotieläinieritteet (hilse, ulosteet, sylki, veri)
bioaerosolit (homeet, sienten itiöt, levät, siitepöly)
huonepölypunkit
polymeerikuidut (jotkut muovilaadut)

Teollisuus- ja kaupunkialueilla sekä luonnonkaasua käyttävissä talouksissa esiintyvät lisäksi:

Selektiiviset sisäilmaepäpuhtaudet
typpidioksidi (kaasuliedet yms.)
rikkidioksidi
häkä
orgaaniset hiilivedyt
ulkoilma-aerosolit (savu, noki, raskasmetallit)

Ilman tunkkaantuneisuutta ja epäviihtyvyyttä synnyttävät:

Sisäilman tyypilliset epäviihtyisyystekijät
hajut (liuottimet, rikkivety, biologiset prosessituotteet)
hiilidioksidi
kosteus (vesi)

Joissakin olosuhteissa esiintyviä "epäpuhtauksia" ovat:

Sisäilman ja -ympäristön potentiaalit riskitekijät terveydelle ja viihtyvyydelle
ionit
otsoni
veto, melu
sähkömagneettiset kentät
(lämpösäteilygradientit, vaihtelevat magneettikentät, valaistusolot, mikroaaltouunisäteily yms.)

Edellämainitussa luettelossa mainitut epäpuhtaudet ja sisäympäristöjen muuttujat muodostavat epätäydellisen luettelon sisäilman terveysriskeistä. Kivin vähän on olemassa parempaa tietoa eri tekijöiden yhteisvaikutuksista ja pitkäaikaisvaikutuksista terveyteen. Ihmiseen kohdistuvien (ulkoilma)tutkimusten ja kokeellisten eläintutkimusten on todettu mm. seuraavat potentioivat haitalliset yhteisvaikutukset:

1. rikkidioksidi + sulfaattiaerosolit
2. typpidioksidi + partikkelit
3. häkä + rikkivety
4. tupakansavu + radon

Kohdan 1 yhteisvaikutus on todettu hengitysfunktio tutkimuksissa astmaattikoilla, samoin kohdan 2 yhteisvaikutus. Koe-eläintutkimuksin on todettu vaikutus 3. Kohdan 4 yhteisvaikutus (tulo-vaikutus) on todettu tilastollisesti, epidemiologisesti, ihmisellä.

Olennaista on, että kaasumaisilla ja hiukkasmaisilla epäpuhtauksilla saattaa olla toisiaan vahvistavia haittavaikutuksia. Edullisestakin eri epäpuhtausmuotojen yhteisvaikutuksesta on näyttöä, mutta vain eräissä erikoisissa laboratoriokeissa.

Monen muuttujan probleema

Ilman epäpuhtauksien synnyttämille haittavaikutuksille ei ole selviä pitoisuuksien kynnysarvoja. Altistuskokeissa on tarkoituksenmukaista kohottaa hyp-päyksittäin epäpuhtauspitoisuuksia. Tästä ei tietenkään seuraa, että sairaus, oire tai epämiellyttävyyttä koettaisiin tai havaittaisiin samalla tavalla äkillisenä muutoksena. Toisaalta biologiset vasteet ympäristöäsykkeille ovat usein ominaisuuksiltaan ja ajalliselta esiintymiseltään hyppäksenomaisia. Tämä sisäinen vaste noudattaa kuitenkin omia "kvanttilakeja" eikä ole suoraviivaisessa suhteessa ulkoiseen ärsykeeseen.

Ihmisessä todettava haitallinen vaste ympäristöäsykkeille riippuu useista yksilön kytketyistä tekijöistä: yksilön biologisista peruspiirteistä (genetiikka), iästä, aikaisemmista sairauksista, aikaisemmista altistuksista ulkoisille ärsykeille esim. työpaikalla tai asunnossa, neurofysiologisesta tilasta, vuorokauden ajasta, vuodenajasta (fysiologiset aikarytmit) ja fyysisestä aktiviteetista.

Ärsykkeen (epäpuhtauden) ulkoisessa vaihtelussa ovat mukana ainakin seuraavat komponentit:

1. absoluuttipitoisuuden vaihtelu,
2. pitoisuuden vaihtelu suhteessa muihin epäpuhtauksiin (+ samanaikainen tai peräkkäinen esiintyvyys),
3. ärsykkeen sisäinen vaihtelu (olomuoto — ärsyttävyyttä, riippuu ympäristön muutoksesta: lämpötila ym.),
4. ärsykkeen aikavaihtelut (aikaprofiili, huippupitoisuudet ym.).

Kun siis tutkitaan ja tulkitaan epä-

puhtauksien haittavasteita ihmisessä, olisi pyrittävä hallitsemaan ulkoiset ärsyketekijät ja sisäiset vastetekijävaihtelut.

Viimeaikaisella sisäilmatutkimuksella on saatu kohtuullinen sormituntuma eräiden yleisten sisäilmaepäpuhtauksien terveyshaitoista. Parhaiten on selvitetty tupakan, radonin, formaldehydin ja typpidioksidin vaikutuksia (taulukko 1).

Tupakka

Tupakointi aiheuttaa vaikeita hengityselin- ja sydänsairauksia sekä useita syöpämuotoja. Sairauksien synnyn viive-aika on yli 20 vuotta. Tupakka on suurin sisäilmaan liittyvä kansanterveysongelma. Passiivinen tupakointi synnyttää tupakoimattomilla aikuisilla mm. keuhkosityöpää ja lapsilla hengityselinsairauksia. Tupakan savu sisältää useita karsinogeenisia aineita ja kohottaa sisäilman hiukkaspitoisuutta enemmän kuin muut lähteet yhteensä. Tupakansavun hiukkasten valtaosa on kooltaan <1 µm.

Tupakansavu sisältää useita kymmeniä syöpää synnyttäviä aineita. Savu sisältää sekä kaasumaisia aineita (mm. häkää, typpidioksidia, formaldehydiä, akroeliinia ja polyaromaattisia hiilivetyjä) että hiukkasmaisia aineita, joiden pinnalle karsinogeeniset ja mutageeniset aineet ovat kiinnittyneet.

Erityisen herkkiä sisäilmassa esiintyvälle tupakansavulle ovat allergiset henkilöt ja lapset. Allergisten henkilöiden iho-oireet, nuha, nenän tukkeisuus, astma ja keuhkofunktio pahenevat jo lyhytaikaisestakin altistuksesta tupakansavulle. Tupakoinnille sisätiloissa altistuneet pikkulapset sairastuvat ylähengitystieinfektioihin, bronkiittiin ja erityisesti keuhkokuumeeseen huomattavasti useammin kuin muut lapset.

Tukholman sisäilmakonferenssissa passiivisen tupakoinnin terveysriskejä ja riskien vähentämistoimenpiteitä käsiteltiin omana tärkeänä tutkimusalueena.

Repace ja Lowrey ovat arvioineet passiivitupakoinnin keuhkosityöpäriskeä työpaikka-altistuksesta (8 tuntia/vrk). Jos syöpäriskeksi hyväksytään tapaus/100 000 altistunutta 40 työvuoden aikana, on korkein sallittu keskimääräinen tupakansavupitoisuus 0.75 mikrogrammaa kuutiometrissä. Tällaisen pitoisuuden saavuttaminen työpaikalla, jossa tupakointi on tavallista, on käytännöllinen mahdottomuus, sillä tavallisesti tupakansavua sisäilmassa on 100—1000 µg/m³. Ilmanvaihto ja ilmanpuhdistus tulisivat kohtuuttoman kalliiksi tavanomaisin menetelmin. Ratkaisuksi jää tupakoivien fyysinen erottaminen tupakoimattomista tai tupakoinnin kokonaan kieltäminen.

Radon

Radon (Rn-226) ja sen isotooppimuoto toron (Rn-220) ovat uraanin (U-238) ▶

hajoamisketjun radioaktiivisia jalokasuja. Näiden lyhytikäiset hajoamistuotteet eli radonin tyttäret esiintyvät ilmassa joko vapaina tai aerosoleihin (pölyyn) sitoutuneina. Vapaat tyttäret esiintyvät joko ionimuodossa tai neutraaleina atomeina. Radonin ja sen tyttärien pitoisuuksien suhde riippuu mm. ilmanvaihdosta ja sisätilan pinnoille kiinnittymisestä.

Radon ja sen lyhytikäiset tyttäret, erityisesti Po-214 ja Po-218, ovat ns. alfa-säteilijöitä eli hajotessaan säteilevät alfa-hiukkasen (heliumatomin ytimen). Alfa-hiukkassäteily on eräs ionisoivan säteilyn muoto. Ionisoiva säteily aiheuttaa elävissä soluissa mutaatioita eli perintöaineen muuntumista, mikä vuorostaan voi johtaa syövän syntyyn. Uraanin hajoamisketjussa syntyy myös ns. beeta-säteilyä (nopeita elektroneja), mutta tämän säteilyn syöpää synnyttävä potentiaali on pienempi kuin alfa-säteilyn samaa säteilyenergiayksikköä tai yhtä uraaniatomia (tai radiumatomia tai radonatomia) kohti.

Suurin terveysriski syntyy radonin tyttären hajoamisesta, koska näitä on radonin hajoamisketjussa useita peräkkäin ja kunkin tyttären hajoamisen puoliintumisaika on lyhyt eli niistä syntyvä alfa-säteily on intensiivisempää kuin radonista syntyvä säteily yhtä hajoavaa radonatomia kohti. Radon ja radonin tyttäret joutuvat hengityksen mukana keuhkoihin. Hiukkasiin kiinnittyneet radioaktiiviset aineet säteilevät kiinnittymiskohdassaan keuhkoissa; keuhkoputkien haaraantumiskohdissa, joista keuhkoputkisyöpä usein alkaa.

Radonin lähteet tärkeysjärjestyksessä ovat tavallisimmin: maaperä, rakennusmateriaalit ja vesi. Maaperästä radonkaasu nousee rakennuksen perustuksen halkeamia ja rakoja pitkin tai ilmastoinnin ja ilmanvaihdon synnyttämän alipaineen johdosta. Rakennusmateriaaleista kivirakennusaineet (betoni ja kipsi) ovat pääasiallisin radon-lähde. Eri-tyisesti ilmastoimaton porakaivovesi uraanipitoisilla (radiumpitoisilla) alueilla sisältää runsaasti radonia.

Radonin synnyttämä terveysriski havaittiin aluksi kaivosmiehillä, joilla pelkkä tupakointi ei selittänyt kokonaan keuhkosyövän esiintymisfrekvenssiä.

Ruotsalaistutkijoiden mukaan asunon sisäilman kohonneella radon-pitoisuudella ja tupakoinnilla on yhteisvaikutus keuhkosyövän syntyyn. Heidän mukaansa n. 30 % keuhkosyövästä johtuisi altistuksesta kohonneelle sisäilman radon-pitoisuudelle, joka tutkimuksessa on arvioitu yli 50 Bq/m³:ksi.

Kuitenkin radonin aiheuttamaa syövän lisärisiä pidetään lähes yhtä suurena sekä tupakoiville että tupakansavussa oleskeleville. Tupakansavu kiinnittää itseensä valtaosan vapaana ilmassa olevasta radonista ja sen tyttäristä, jolloin

sisätilan kokonaissäteilytiheys kohoaa. Vapaat radonin tyttäret ovat ilmeisesti suurempi säteilyriski hengitysteissä kuin kiinnittyneet. Tupakoiijalla vapaa radon + tyttäret kiinnittyvät savuaerosoleihin ennen ehtimistä keuhkoputkien haaraantumisalueille. Lisäksi tupakoiijan keuhkoputkien pintaa peittämä limakalvo on paksumpi kuin tupakoimattomilla eikä säteily pääse siten tunkeutumaan keuhkoputkien limakalvon tyvisolualueelle, jossa syöpä syntyy. Täten vaikka tupakoiija hengittää suurempaa konsentraatiota aerosoleja ja alfa-säteilyn lähteitä, ei hänen riskinsä ole juuri suurempi kuin tupakoiijan huonetilassa hengittävällä passiivitupakoiijalla.

Typidioksiidi

Saastuneessa kaupunki- tai teollisuusilmassa tavataan useita kaasumaisia ja aerosolimuuotoisia tyyppi-yhdisteitä. Ilmeisesti terveyden kannalta haitallisin tyyppi-kaasumainen yhdiste on tyypidioksiidi (NO₂), jota syntyy joko välittömästi palamistapahtumissa tai välillisesti matalamman palamislämmön (<1083°) synnyttämästä tyypidioksidista (NO). Suomessa tyypidioksidille altistumisriski syntyy kaasuliesitalouksissa, erittäin vilkkaan liikenteen läheisyydessä ja tyypilannoiteteollisuuden lähipiirissä (Oulu). Kaasun poltto suljetuissa tiloissa tilapäisasunnoissa mm. asuntovaunussa on selvä huomioon otettava altistumisriski.

Typidioksidin haitallisia terveysvaikutuksia sisäilmassa on tutkittu runsaasti. Lasten hengityselinsairauksien esiintymistä kerosiinia lämmittimissä käytävissä talouksissa USA:ssa on tutkittu myös runsaasti. Kerosiinin (polttoöllyn) palaessa syntyy mm. tyypidioksidia. Tutkituilla lapsilla on todettu

huomattavasti useampia hengitystieinfektioepäilyä kuin sähköä ruoanlaitossa tai lämmitysenergiana käytävissä talouksissa. Lasten keuhkofunktion on myös todettu alentuneen jonkin verran useissa epidemiologisissa tutkimuksissa.

Typidioksidin lyhytaikainen huippupitoisuusaltistus on suurempi terveysriski kuin pitkäaikainen jatkuva matalapitoinen altistus. Noin 0,5—1,0 ppm (940—1880 µg/m³) pitoisuus, joka voi esiintyä, kun leivotaan käyttäen kaasuuunia huonosti ilmastoiduissa keittiöissä, voi jo laukaista poskiontelotulehduksen tai muun hengitysteiden virus- tai bakteeri-infektion.

Formaldehydi

Formaldehydi on laajalti teollisuudessa käytetty kemikaali, jonka urea- ja fenoli-ensiinejä käytetään kiinnaineina lastulevyissä, laminaateissa, päällysteissä, paperituotteissa ym. Tekstiileissä formaldehydi on rypistymisen, murtumisen, palamisen ja kutistumisen estäjä.

Formaldehydi on tavallisin ja haitallisin kaasumainen sisäilman epäpuhtaus. Silmien kirvely ja vuotaminen sekä ylähengitystieärsytys ovat ensimmäiset merkit 0,5—5,0 ppm formaldehydialtistuksesta. Formaldehydin hajukynnys vaihtelee välillä 0,05—1,0 ppm. Astmaatikoit voivat saada astma-kohtauksen jo 0,25—5,0 ppm ja pienemmälläkin pitoisuuksilla. Muut formaldehydin oireet ovat päänsärky, uneliaisuus, pahoinvointi, väsymys, unihäiriöt, kutiaminen, iho-oireet, jano, ripuli, suolistooireet ym. Eläinkokeissa formaldehydi on todettu syöpää aiheuttavaksi. Yksilölliset erot formaldehydi-herkkyydelle ovat kuitenkin suuret. Formaldehydin pitoisuusnormi asuintiloissa on 0,12mg/m³ (0,10 ppm).

	Tavallisuus	Terveyshaitta			
		suuri	...	mahdollinen	Vuhtisyyshaitta
Tupakka	+	+			+
Radon	?	+			0
Formaldehydi	+	+	+		+
Typidioksiidi	—	+	+		
Kotieläinallergeenit	+	+			+
Bioaerosolit	?(—)	+	+	+	(+)
Polymeerikuidut	?(+)		+	+	
Org. hiilivedyt	+		+		+
Hajut	+			+	+
Melu	+		+		+
Ionit	?			+(?)	+(?)

Taulukko 1. Eri sisäilmaepäpuhtauksien todennäköiset yleisyydet, terveys-, viihtyvyshaitat koko väestössä. Selitykset: + = esiintyminen yleistä ja haitta todettu, — = esiintyy harvoin, 0 = ei ole todettavissa aistein.

Kirjallisuus

Sisäilman terveysvaikutusten koko alueen kattavia suomenkielisiä kirjallisuus selvityksiä ei ole. Duodecim-lehden numerossa 22/83 on yleiskatsaus ympäristöongelmiin, mm. seuraavissa artikkeleissa:

- /1/ Vainio, Hietanen: Tupakka ympäristömyrkkynä.
- /2/ Rytömaa: Vaarantavatko radioaktiiviset aineet terveytemme?

/3/ Nordman, Hemminki: Formaldehydi ympäristömyrkkynä.

/4/ Jantunen: Asuinympäristön terveellisyys.

Sisäilmaongelmien uusin ja perusteellisin katsaus on konferenssijulkaisu Indoor Air, vol 1—5 — proceedings of the 3rd International Conference on Indoor Air Quality and Climate; toim. Berglund, Lindvall, Sundell; Swedish council for Building Research, Ruotsi 1984.