



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

SISÄILMAN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Santeri Hast

Ohjaaja: H. Liedes

KONETEKNIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö 2020

TIIVISTELMÄ

Sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät

Santeri Hast

Oulun yliopisto, Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2020, 26 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Hannu Liedes

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on esitellä sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä. Näihin tavoitteisiin päästiin tutustumalla aihealueen keskeisiin tutkimuksiin. Työn tavoitteena oli luoda selkeä ja helposti ymmärrettävä kokonaisuus erilaisista sisäilmatekijöistä. Työ on rajattu sisäilman laatuun vaikuttaviin tekijöihin ja ne on pyritty avaamaan mahdollisimman tarkasti. Sisäilman laatuun vaikuttavat todella monet eri tekijät yhdessä ja erikseen. Sisäilmaongelmia epäiltäessä onkin haastavaa yksilöidä sen lähteitä. Selkeitä ohjeita ja raja-arvoja ei ole vielä saavutettu saatavilla ongelmien osoittamiseksi. Hyvän sisäilman takaamiseksi on tärkeää huolehtia talotekniikan ja rakenteiden kunnosta sekä siisteydestä. Ennakointi onkin avainasemassa sisäilmaongelmien ja niistä aiheutuvien terveyshaittojen ehkäisemisessä.

Asiasanat: sisäilma, sisäilmasto, sisäilmatekijät, sisäilmaongelmat

ABSTRACT

Factors That Influence Indoor Air Quality

Santeri Hast

University of Oulu, Degree Programme of Mechanical Engineering

Bachelor's thesis 2020, 26 pp.

Supervisor at the university: Hannu Liedes

The aim of this bachelor's thesis is to get acquainted with the factors influencing indoor air quality. These objectives were achieved by reviewing key studies in the field. The aim of the thesis was to create a clear and easily understandable set of different indoor air factors. The work is limited to the factors affecting indoor air quality, and efforts have been made to open these as closely as possible. There are many different factors that influence the quality of indoor air together and separately. It is therefore challenging to identify the sources of indoor air quality problems. Clear guidelines and thresholds are still not available to address the problems. In order to ensure good indoor air, it is important to maintain the integrity and cleanliness of the building technology and structures. Foresight is therefore a key element in preventing indoor air problems and the resulting health damage.

Keywords: indoor air, microclimate, factors of indoor air, indoor air problems

ALKUSANAT

Kandidaatintyön päätarkoituksena oli syventää omaa näkemystäni sisäilmaongelmista ja niihin vaikuttavista tekijöistä. Lähipiirissäni useat henkilöt ovat kärsineet sisäilmaongelmista, ja osa jopa joutunut vaihtamaan työpaikkaa pahan oireilun vuoksi. Tästä syystä olen jo useamman vuoden ajan ollut kiinnostunut sisäilmaan liittyvistä asioista.

Haluan kiittää kandiohjaajaani Hannu Liedestä aiheen valinnassa saamastani avusta ja ohjauksesta.

Oulu, 16.4.2020

Santeri Hast
Santeri Hast

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	6
2 Sisäilma ja sisäilmasto	7
3 Sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät.....	9
3.1 Ilmanvaihto	10
3.2 Fysikaaliset tekijät.....	11
3.3 Kaasumaiset epäpuhtaudet	13
3.3.1 Orgaaniset yhdisteet	14
3.3.2 Epäorgaaniset yhdisteet	16
3.4 Hiukkasmaiset epäpuhtaudet.....	17
4. Sisäilmaoireet	22
5 Yhteenveto.....	24
LÄHDELUETTELO.....	25

1 JOHDANTO

Aihe on ajankohtainen ja tärkeä sillä huono sisäilma on uhka sekä terveydelle että taloudelle (Puhakka 1996, s. 15). Sisäilman merkitys korostuu yhä enemmän, sillä suomalaiset viettävät nykyään sisätiloissa jopa 90 % ajastaan (Seuri ja Palomäki 2000, s. 15). 1970-luvulla tehdyistä energiansäästöratkaisuista, uusista rakennusmateriaaleista ja ilmanvaihtojärjestelmien huoltamattomuudesta seurasi ongelmia, jotka näkyvät tänäkin päivänä. Tilanteeseen havahduttiin 1980-luvulla. Käsitteet formaldehydi, radon, asbesti ja home tulivat laajemmin ihmisten tietoisuuteen (Kärkkäinen 1996, s. 10).

Tässä kandidaatintyössä selvitetään sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä ja niistä aiheutuvia haittoja. Keskeisenä tavoitteena onkin koota nämä asiat lukijalle tiiviiseen ja helposti ymmärrettävään muotoon. Aihetta lähestytään lähinnä ihmisten kokemusten ja terveyden näkökulmasta (Seuri & Palomäki 2000, s. 17). Sisäilmaongelmia tutkittaessa keskeistä onkin ottaa huomioon käyttäjien kokemukset ja Seuri ja Palomäki (2000, s. 16) määrittelevätkin hyvän sisäilman olevan sellaista, jossa käyttäjät kokevat sen hyväksi. Toisaalta hyvän sisäilman voidaan ajatella sosiaalisen näkökulman lisäksi olevan myös taloudellinen sijoitus, sillä se vaikuttaa esimerkiksi työskentelytehoon, viihtyvyyteen ja motivaatioon (Seuri & Palomäki 2000, s. 17).

Tässä kandidaatintyössä käsitellään ensin sisäilman ja sisäilmaston käsitteet ja sen jälkeen syvennyttään sisäilman laatuun vaikuttaviin tekijöihin asia kerrallaan. Näiden käsittely aloitetaan käymällä ensin läpi ilmanvaihto ja fysikaaliset tekijät. Näiden jälkeen esitellään kaasumaiset ja hiukkasmaiset epäpuhtaudet. Lopuksi tarkastellaan millaisia oireita huono sisäilma voi aiheuttaa.

2 SISÄILMA JA SISÄILMASTO

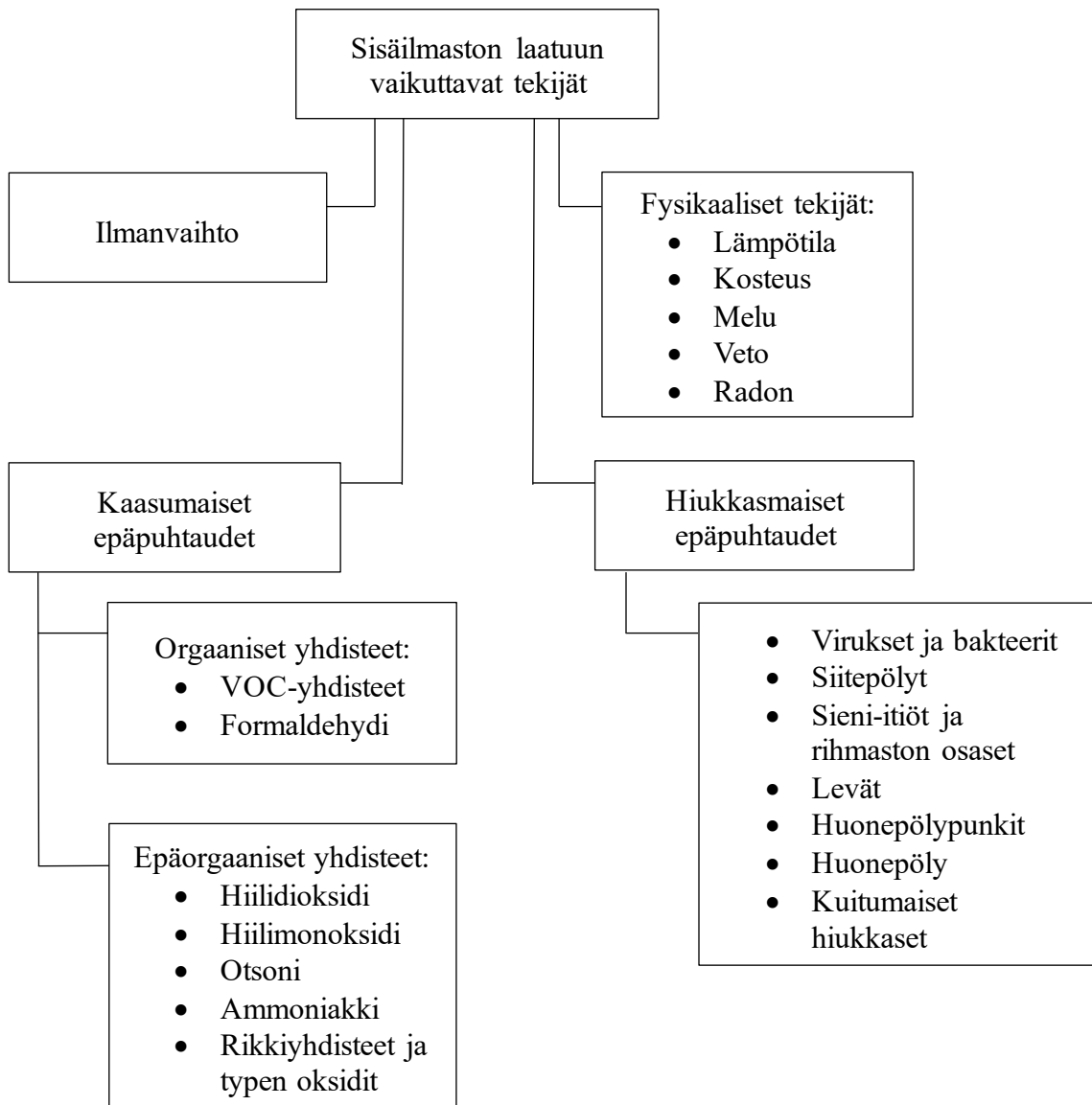
Sisäilma on osa sisäilmastoa ja niiden käsitteet sekoitetaan usein toisiinsa. Rakennusten sisällä oleva ilma, jota hengitämme, on sisäilmaa (Seuri ja palomäki 2000, s. 16; Puhakka 1996, s. 15). Sisäilmasto koostuu ihmisen terveyteen ja viihtyvyyteen vaikuttavista rakennuksen ympäristötekijöistä (Säteri 1994, s. 2). Asikaisen ja Peltolan (2008, s. 11) mukaan rakennuksen sisäilmasto on monimutkainen kokonaisuus, johon sisältyvät ilman laatu ja lämpöolosuhteet. Seppänen (1996, s. 3) puolestaan kuvailee sisäilmaston olevan sisätilojen fysikaalisten ja kemiallisten tekijöiden muodostama kokonaisuus. Sisäilmasto sisältää sisäilman lisäksi muitakin sisätilan fysikaalisia tekijöitä. Tällaisia ovat esimerkiksi ilman liike, valaistus, ääni ja lämpötila (Seuri ja Palomäki 2000, s. 16; Puhakka 1996, s. 15; Säteri 1994, s. 2). Puhakka (1996, s. 15) lisää listaan myös ilman suhteellisen kosteuden, kun taas Seuri ja Palomäki (2000, s. 16) mainitsevat edellisten lisäksi säteilyn, värit ja muut viihtyvyyteen vaikuttavat asiat. Sisäilmastoon vaikuttavia tekijöitä ovat Säterin (1994, s. 2) mukaan lisäksi pintojen lämpötilat, ilman suhteellinen kosteus, kaasumaiset ja hiukkasmaiset epäpuhtaudet, allergeenit, sähkömagneettiset ominaisuudet ja radioaktiivisuus. Sisäilmaston voidaan katsoa olevan riittävän hyvää silloin, kun rakennuksen käyttäjillä ei ole sisäilmastoon liittyviä oireita. Sisäilmaston laatua voidaankin selvittää käyttäjille suunnatuilla kyselyillä (Sisäilmayhdistys ry 2019).

Sisäilma voidaan määritellä kahdella eri tavalla. Yleisesti sisäilman ajatellaan koostuvan rakenteiden rajaamasta ilmasta tiloissa, joissa ei ole tuotannosta tai muusta poikkeavasta toiminnasta johtuvia päästöjä. Toisen määritelmän mukaan sisäilma koostuu kaikesta rakenteiden rajaamasta ilmasta. Tämä johtaa siihen, että myös esimerkiksi teollisuushalleissa tai karjasuojissa olisi sisäilmaa. Ensimmäistä määritelmää pidetään parempana, sillä näin mahdollistetaan yhteneväisten luokittelu- ja toimenpiderajojen käyttö. Tuotantotiloissa ja asunnoissa ei voida pitää samanlaisia laatuvaatimuksia, joten siksi tuotantotilat on hyvä rajata sisäilman ulkopuolelle. Sisäilman laatu puhuttaa paljon työpaikoilla. Ongelmallista on kuitenkin se, ettei tarkkaan tiedetä, milloin sisäilma on riittävän hyvää ja miten se määritellään. Kaasumaisia ja hiukkasmaisia aineita voi olla sisäilmassa satoja, eikä niiden kaikkien terveysvaikutuksia tunneta. Siksi hyvän sisäilman ja kaikkien aineiden raja-arvojen määrittäminen on lähes mahdotonta. Lisäksi kaikkien aineiden pitoisuuksien mittaaminenkin on erittäin haastavaa, joten hyvän sisäilman

määrittäminen mittausten avulla on haasteellista. Tämä turhauttaa monia teknisen koulutuksen saaneita ja rakennusalan ammattilaisia, sillä heillä ei ole konkreettisia työvälineitä sisäilmahaitan toteamiseen tai poissulkemiseen (Seuri ja Palomäki 2000, s. 15–16). Sisäilmassa oleville biologisille pölyille ei ole määritetty enimmäispitoisuuksia tai terveysperusteisia ohjearvoja. Suomessa on kuitenkin pyritty tilastollisten menetelmien avulla muodostamaan ehdotuksia normaaliarvoista. Näiden arvojen alapuolelle jäävistä pitoisuuksista voi kuitenkin seurata terveydellisiä ongelmia (Husman ym. 2002, s. 27). Sisäilmayhdistyksen (2019) mukaan sisäilma on hyvää silloin, kun sisäilman laatuun ovat tyytyväisiä suurin osa rakennuksen käyttäjistä eivätkä haittatekijät aiheuta terveydellistä vaaraa. Haahtela ja Reijula (2016) ovat havainneet, että sisäilmaoireista kärsiviä on paljon, mutta kosteus- ja homevauriot eivät ole vastoin yleistä käsitystä niiden pääasiallisia aiheuttajia. He tuovat esiin, että astma on ainoa selkeästi havaittavissa oleva sairaus, joka kosteusvaurioihin yhdistetään. Niin kodeissa kuin työpaikoillakin yleisin sisäilmaa heikentävä asia on huono ilmanvaihto. Kodeissa 82 % ja työpaikoilla 60 % ongelmista johtuu tästä. Kosteusvaurioisia koteja on Haahtelan ja Reijulan (2016) tutkimuksen mukaan 62 % mutta vain 12 % oli sellaisia, että niihin saattoi liittyä terveysriski. Työpaikoilla sen sijaan toiseksi suurin sisäilmaa heikentävä asia oli huono siivous ja pöly, joita esiintyi 54 % kohteista ja kosteusvaurioita esiintyi 35 % tutkituista työpaikoista. Niissä työpaikoissa, joissa epäiltiin olevan sisäilmaongelmia 10 % oli kosteusvaurio (Haahtela & Reijula 2016).

3 SISÄILMAN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Sisäilmaan kulkeutuu epäpuhtauksia esimerkiksi rakennus- ja sisustusmateriaaleista, ulkoilmasta ja rakennuksessa tapahtuvasta toiminnasta (Seppänen 1996, s.31–32). Sisäilman laatua ei tulisi määritellä mittaamalla vaan sitä pitäisi arvioida tilan käyttäjäkokemusten perusteella (Seuri & Palomäki 2000, s. 18). Sisäilmaston laatuun vaikuttavia tekijöitä on listattu kuvassa 1.



Kuva 1. Sisäilmaston laatuun vaikuttavia tekijöitä (mukaillen Seuri & Palomäki 2000; Seppänen 1996; Puhakka ym. 1996)

3.1 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon tehtävänä on ylläpitää hyvää sisäilman laatua rakennuksessa (Puhakka ym. 1996, s. 119). Seppäsen (1996, s. 48) mukaan ilmanvaihto perustuu ilman vaihtamiseen ja epäpuhtauksien poistamiseen. Ilmanvaihto perustuu paine-eroon, jossa ilma virtaa suuremmasta paineesta pienempään. Paine-ero voidaan synnyttää joko koneellisesti tai painovoimaisesti (Puhakka ym. 1996, s. 119). Ilmastointi sisältää kosteuden ja ilman lämpöolosuhteiden hallinnan. Ilmastointi johtaa yleensä suurempiin ilmavirtoihin kuin ilmanvaihto. Vain ilmanvaihdon tarvetta vastaava ilmamäärä otetaan ulkoa ja osa ilmasta kierrätetään takaisin huonetilaan. Näin tehdään siksi, että se luo merkittävän säästön ilmanvaihdon lämmöntarpeeseen. Jäähdytys, lämmitys, kostutus ja kuivatus ovat tekijöitä, jotka mitoittavat ilmastoinnin ilmavirtoja (Seppänen 1996, s. 48).

Erilaiset laatuksiteerit vaikuttavat ilmanvaihdon tarpeeseen. Hengitettävän sisäilman tulee olla turvallista, terveellistä ja hajutonta, eikä se saa sisältää haitallisia määriä epäpuhtauksia. Ilmanvaihtoa tulee käyttää niin suurella teholla, että laatuksiteerit täyttyvät. Tila ja sen kuormitus vaikuttavat kriteereihin. Ilmanvaihdon yleisimpiä kriteerejä ovat happipitoisuus, hiilidioksidipitoisuus, ihmisperäiset hajut, tupakointi ja muut epäpuhtaudet (Seppänen 1996, s. 49). Ilmanvaihdon tulee olla aina päällä, sillä rakennuksissa syntyy jatkuvasti epäpuhtauksia. Jos näin ei toimita, epäpuhtauspitoisuudet nousevat korkeiksi ja varastoituvat pintamateriaaleihin. Ilmanvaihdon käynnistyessä nämä epäpuhtaudet nousevat taas huoneilmaan, jolloin pitoisuudet voivat nousta haitalliselle tasolle. Kaikista energiatehokkain hyvää sisäilmaa edistävä vaihtoehto onkin pitää ilmanvaihto koko ajan päällä mitoittaen sen suuruus epäpuhtauskuormien mukaiseksi. Joissakin tapauksissa esimerkiksi toimistorakennuksissa ilmanvaihto kytketään energiansäästösyistä yöksi pois, jolloin se tulee kytkeä takaisin päälle 2–3 tuntia ennen ensimmäisen henkilön saapumista rakennukseen. Työaikana ilmanvaihtoa on hyvä tehostaa, jotta ihmisperäiset epäpuhtaudet saadaan poistettua. Asuinrakennuksissa ilmanvaihto tulee suunnitella siten, että se voidaan pitää läpi vuorokauden päällä. Kiinteille epäpuhtauslähteille, kuten liedelle tai märkätiloille tulisi järjestää oma poisto. Tuloilma kannattaa johtaa puhtaisiin tiloihin, kuten makuuhuoneisiin, jolloin se kulkee siirtoilmana keittiöön ja märkätiloihin (Lämpöinsinööriyhdistys ry 1994, s. 22).

Vaikka ilmanvaihdolla voidaankin laimentaa epäpuhtauspitoisuuksia, sen lisääminen ei suoraan poista ongelmaa. Sisäilmasta tulee tehokkaasti eristää tai poistaa epäpuhtauslähteet. Ilmanvaihdolla on suuri merkitys myös rakennuksen epäpuhtauksien siirtymiseen tilojen välillä. Esimerkiksi alipaineinen rakennus imee korvausilmaa rakenteiden läpi ja voi kuljettaa mukanaan epäpuhtauksia. Tällaiset virtaukset voidaan estää ylipaineistuksella, joka sekään ei kuitenkaan ole ongelmatonta. Tämä voi synnyttää kosteusvaurion, sillä ylipaine voi aiheuttaa sisäilman kosteuden tiivistymistä rakenteisiin (Asikainen 2008, s. 11).

3.2 Fysikaaliset tekijät

Lämpötila, veto, kosteus, melu ja radon ovat sisäilman laatuun vaikuttavia fysikaalisia tekijöitä (Seuri & Palomäki 2000, s. 35–36). Ilman ja pintojen lämpötilat, lämpötilaerot ja -vaihtelut, ilman liike ja sen kosteus ovat lämpöoloihin vaikuttavia tekijöitä (Ruotsalainen & Puhakka 1996, s. 114). Sisälämpötila on lähinnä viihtyvyyteen ja sitä kautta toimintakykyyn vaikuttava tekijä. Suomessa sisälämpötilan vaihtelut ovat sellaisissa rajoissa, etteivät ne yleensä aiheuta sairauksia tai oireita, kuten hikoilua tai palelua (Seuri & Palomäki 2000, s. 35–36). Lämpöviihtyvyys on mielentila, joka kuvastaa tyytyväisyyttä lämpöoloihin (Ruotsalainen & Puhakka 1996, s. 114). Pintojen vaihtelevat lämpötilat vaikuttavat erityisesti talvella vedon tunteeseen ja lämpöviihtyvyyteen (Haahtela & Reijula 1997, s. 18). Lämpöviihtyvyyttä arvioitaessa tulee mittauksia ottaa useista pisteistä ja useamman kerran, jotta saadaan luotettava tulos. Suuri päivittäinen lämpötilanvaihtelu työskentelytilassa koetaan haitallisena (Seuri & Palomäki 2000, s. 35–36). Lämpötilaeroihin reagoidaan varsin yksilöllisesti ja usein vedon tunne koetaan epämiellyttävänä (Haahtela & Reijula 1997, s. 18). Lämpöviihtyvyys on yksilöllistä, mutta lämpötilan ollessa 21–22 °C on tyytyväisten osuus suurin (Ruotsalainen & Puhakka 1996, s. 114). Huoneilman lämpötilan on havaittu vaikuttavan oireiden määrään. Liian lämmin, yli 22 °C huoneilma lisää oireita selvästi (Haahtela & Reijula 1997, s. 18). Lisäksi lämmin huoneilma lisää energiankulutusta ja ilma tuntuu kuivemmalta ja tunkkaisemmalta (Ruotsalainen & Puhakka 1996, s. 114).

Veto on yksi monista sisäilman fysikaalisista tekijöistä. Vedon tunne syntyy, kun lämpö siirtyy iholta ilman liikkeen, lämpösäteilyn tai vähäisen vaatetuksen seurauksena. Vedon tunne on yksilöllistä ja sen aiheuttaman haitan suuruuteen vaikuttavat ilman nopeus ja sen lämpötila. Veto itsessään ei aiheuta sairauksia ainakaan sellaisessa muodossa, jollaisena

se Suomessa esiintyy. Alhainen lämpötila ja veto yhdessä voivat aiheuttaa palelemista ja toimintakyvyn alenemista. Toisaalta vedosta voi olla myös hyötyä korkeissa lämpötiloissa, sillä se parantaa lämmönsietoa edesauttamalla ihon viilenemistä. Siksi ilman nopeuden tavoitearvot vaihtelevat lämpötilan mukaan. Ilmanvaihto voi olla yksi vetoa aiheuttavista asioista. Ahtaat ja matalat tilat asettavat teknisiä haasteita ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluun. Tuloilmavirtauksen suuntaa tulisi voida muuttaa tarvittaessa. Vetoa voidaan aistia myös isoista ja kylmistä pinnoista (Seuri & Palomäki 2000, s. 36). Yleisesti hyväksyttynä ilmannopeutena pidetään alle 0,15 m/s (Ruotsalainen & Puhakka 1996, s. 115).

Ilman kosteus on tärkeä fysikaalinen tekijä, sillä vääränlainen sisäilman kosteus aiheuttaa valituksia ja oireita (Haahtela & Reijula 1997, s. 18). Liian kostea sisäilma lisää esimerkiksi homesienten elinmahdollisuuksia (Ruotsalainen & Puhakka 1996, s. 115) ja voi lisätä punkkien esiintymistä ja aiheuttaa mikrobikasvua rakenteissa (Seuri & Palomäki 2000, s. 37). Toisaalta liian kuiva huoneilma aiheuttaa pienissäkin pitoisuuksissa ärsytysoireiden esiintymistä (Ruotsalainen & Puhakka 1996, s. 115). Liian kuivassa huoneilmassa yleisiä oireita ovat hengitysteiden limakalvojen, silmien sidekalvojen ja ihon kuivuminen (Seuri & Palomäki 2000, s. 37). Talviaikaan sisäilman suhteellinen kosteus voi pudota lämmityksen seurauksena jopa alle 10 %. Lisäksi voimakas koneellinen ilmanvaihto voi poistaa huoneilman kosteutta liaksi. Koneellisia kostutusjärjestelmiä ei kuitenkaan suositella niiden energiankulutuksen ja jatkuvan tarkkailun ja huollontarpeen vuoksi, vaan huoneilman kostutukseen voidaan käyttää tarvittaessa höyrystäviä kostuttimia (Haahtela & Reijula 1997, s. 18–19). Sisäilman suhteellisen kosteuden tulisi olla lämmityskaudella 30–40 % (Ruotsalainen & Puhakka 1996, s. 115).

Melu on häiritsevää ääntä, jota aistimme kuuloaistimme avulla. Se voi haitata keskittymistä ja heikentää kuuloa. Ääniteho, taajuus, kesto, impulssimaisuus ja huoneen ominaisuudet vaikuttavat melutasoon ja sen häiritsevyyteen. Melun lähteitä sisätiloissa voivat olla liikenne tai muut rakennuksen tai huoneiston ulkopuoliset toiminnot tai rakennuksen omat laitteet, kuten hissi tai ilmanvaihtolaitteisto (Ruotsalainen & Puhakka 1996, s. 116). Lisäksi ihmistoiminta voi aiheuttaa häiritsevää melua. Puhuttaessa melusta ja sisäilmasta voidaan olla kiinnostuneita myös melun muista kuin kuulohaitoista. Melu voi olla myös biologinen stressitekijä, joka vaikuttaa sydämen sykkeeseen, verenpaineeseen ja yleiseen vireystilaan. Melun on havaittu aiheuttavan unihäiriöitä,

sepelvaltimotautia ja huonoa koulumenestystä lapsilla. Asuntojen äänieristysvaatimukset eivät välttämättä vastaa nykypäivän vaatimuksiin. Melussa joudutaan myös käyttämään kovempaa puheääntä, jolloin puhujan äänihuulet rasittuvat. Tämä voi johtaa toistuviin äänenmenetyksiin. Vähäinenkin häiritsevä ääni voi vaikuttaa keskittymis- tai suorituskykyyn heikentävästi. Lisäksi unihäiriöillä on negatiivinen vaikutus työkykyyn. Suomessa onkin kiinnitetty ympäristömelun terveyshaittoihin liian vähän huomiota (Seuri & Palomäki 2000, s. 38–39).

Radon on sisäilman epäpuhtauksista salakavalin, sillä vuosien altistumisen seurauksena sen hajoamistuotteiden aiheuttama säteily aiheuttaa keuhkosityöpää. Erityisen haasteellista tässä on se, että altistumista ei voida mitenkään aistia, eikä se aiheuta mitään tuntemuksia. Radon onkin hajuton, mauton ja näkymätön kaasu, joka on peräisin maaperästä. Maaperän kaasut saattavat päästä sisäilmaan rakennuksissa olevia vuotoreittejä pitkin. Alipaine sekä huonetilan ja alapohjan huono tuuletus lisäävät radonin haitallisuutta. Mittaaminen on ainoa keino selvittää radonpitoisuutta, sillä sitä ei voida aistia. Radonpitoisuus vaihtelee eri osissa maata ja jotkin kunnat ovat säätäneet radonmittaukset pakollisiksi työpaikoilla (Seuri & Palomäki 2000, s. 39). Huoneilman radon aiheuttaa noin puolet suomalaisten säteilyannoksesta (Haahtela & Reijula 1997, s. 22; Vuotilainen & Arvela 1996, s. 97). Huoneilman sisältämän radonin määrä ilmaistaan becquerelienä kuutiometrissä ilmaa (Bq/m^3). Asuntojen ja muiden oleskelutilojen radonin viitearvona pidetään $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$, mutta uudisrakentamisessa raja-arvona pidetään $200 \text{ Bq}/\text{m}^3$ (Säteilyturvakeskus 2019). Suomessa viitearvon ylittäviä asuntoja ja työpaikkoja on eniten Pirkanmaan ja Etelä-Suomen alueella. Suurimmat radonpitoisuudet löytyvät sora- ja hiekkaharjuilta, joissa ilma läpäisee helposti maaperän (Säteilyturvakeskus 2020).

3.3 Kaasumaiset epäpuhtaudet

Sisäilman kaasumaisia epäpuhtauksia voi syntyä rakennus- ja sisustusmateriaaleista, kosteusvauroisista rakenteista, ulkoilmasta tai huoneistossa tapahtuvasta toiminnasta. Kaasumaiset aineet lukeutuvat kemiallisiin epäpuhtauksiin ja ne jaetaan orgaanisiin ja epäorgaanisiin yhdisteisiin. Huoneilmassa ne esiintyvät jatkuvasti vaihdellen sään, ilman lämpötilan, kosteuden, ilmanvaihdon tai ihmisen toiminnan mukaan. Kaasumaiset epäpuhtaudet saattavat aiheuttaa huoneistossa oleskeleville hengitystiesairauksien pahenemista tai ärsytysoireita ja hajuhaittoja (Haahtela & Reijula 1997, s. 23). Kuvassa kaksi näkyy rakennuksen alapohjaan kasvanutta mikrobikasvustoa, joka voi aiheuttaa

sisäilmaongelmia.



Kuva 2. Mikrobikasvusto rakennuksen alapohjassa

3.3.1 Orgaaniset yhdisteet

Orgaanisia kaasumaisia yhdisteitä on sisäilmassa satoja ja ne voidaan luokitella neljään eri ryhmään niiden kiehumispisteen perusteella (Seuri & Palomäki 2000, s. 43). Aineen haihtuvuuden ja kiehumispisteen välillä on havaittu olevan yhteys. Yhdisteet ovat sitä haihtuvampia ja nopeammin kaasuuntuvia, mitä alhaisempi niiden kiehumispiste on. VVOC (very volatile organic compounds) luokitellaan erittäin haihtuvaksi ja sen kiehumispiste on $< 0\text{ °C} - 50\text{--}100\text{ °C}$. VOC (volatile organic compounds) luokitellaan haihtuvaksi kiehumispisteen ollessa $50\text{--}100\text{ °C} - 240\text{--}260\text{ °C}$. SVOC (semi volatile organic compounds) on puolihaihtuva ja sen kiehumispiste on $240\text{--}260\text{ °C} - 380\text{--}400\text{ °C}$. POM (particulate organic matter) on hiukkasiin sitoutuva ja sen kiehumispiste on $> 380\text{--}400\text{ °C}$ (Puhakka & Bäck 1996, s. 32).

Myös mikrobien aineenvaihdunta synnyttää haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (mVOC), joita ovat esimerkiksi home- ja sädesienien tuottamat 2-metyyli-isoborneoli ja geosmiini.

Muita haihtuvia yhdisteitä ovat 3-metyylifuraani, 1-okteeni-3-oli, 3-metyyli-1-butanoli, dimetyylidisulfidi ja 3-metoksianisoli (Sunesson ym. 1995, s. 2911).

Haihtuvien yhdisteiden kokonaispitoisuus tunnetaan nimellä TVOC (total volatile organic compounds) (Mølhav ym. 1997, s. 225). Johnsen ym. (1991, s. 377–388) ovat antaneet haihtuvien yhdisteiden kokonaispitoisuuksia koskevat rajat oireilun näkökulmasta. TVOC-arvon ollessa alle 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ei oireilua yleensä esiinny, mutta arvon kasvaessa 200...3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oireilua saattaa esiintyä. Yli 3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TVOC-arvo aiheuttaa epämiellyttävää oloa ja arvon ollessa yli 25000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ alkaa esiintyä myrkytysoireita. Erityisen haastavaa TVOC-arvojen tulkinnassa on se, että niiden pitkäaikaisvaikutuksista on hyvin vähän tietoa (Johnsen ym. 1991). TVOC-arvoa mitattaessa tulee tehdä tarkempi kemiallinen analyysi, jotta yhdisteiden lähteet ja alkuperä voidaan selvittää (Husman ym. 2002, s. 22–23).

Myös formaldehydi kuuluu orgaanisiin kaasumaisiin yhdisteisiin, mutta koska sitä ei voida määrittää samalla tavalla kuin muut, se käsitellään usein erikseen (Seuri & Palomäki 2000, s. 40–45). Formaldehydi (HCOH) on huoneenlämmössä väritön ja pistävän hajuisen kaasu. Sen katsotaan kuuluvan erittäin haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin (VVOOC). Lisäksi se voi liuta veteen, jolloin siitä tulee formaliinia. Sisäilmaan formaldehydiä voi tulla monesta lähteestä, joista lastulevy on Suomessa ollut merkittävien. Muita lähteitä ovat rakennuksen eristämiseen ennen käytetty ureaformaldehydivaahdot, puutuotteet, happokovetteiset lakat, maalit, pinnoitteet, itsestään siliävät tai muuten käsitellyt kankaat ja kokolattiamatot. Lisäksi formaldehydin määrä voi lisääntyä huoneilmassa liikenteen pakokaasujen, tupakoinnin, kosmeettisten aineiden tai puhdistusaineiden vuoksi. Rakennuksissa yleisin materiaalilähde on ureaformaldehydihartsit, jota käytetään liima-aineena. Lämpötilan ja kosteuden vaikutuksesta se hajoaa ureaksi ja formaldehydiksi. Mitä korkeampi lämpötila ja kosteampi ilma tilassa on, sitä enemmän formaldehydiä vapautuu. Toisaalta suhteellisen kosteuden laskiessa levyihin imeytynyt vesi alkaa haihtua huoneilmaan ja sen mukana saattaa kulkeutua myös formaldehydiä. Näin voi käydä erityisesti lämmityskauden alkaessa (Puhakka & Bäck 1996, s. 41–42).

Laajaksi sisäilmaongelmaksi formaldehydi tunnistettiin 1980-luvun vaihteessa. Sen jälkeen formaldehydilähteitä on pyritty vähentämään erilaisin keinoin. Pitoisuudet laskivatkin merkittävästi 1980-luvun puoliväliin mennessä, mutta niiden havaittiin taas

nousevan sen jälkeen. Syynä tähän pidetään erityisesti rakennusten kosteusvauroita (Puhakka & Bäck 1996, s. 41–42). Formaldehydin pitkäaikaisen altistumisen seurauksia ei tunneta tarkkaan, mutta sen epäillään voivan aiheuttaa lisääntyntä tulehdusalltiutta. Lyhytaikaiset altistukset formaldehydille voivat johtaa silmien ja ylempien hengitysteiden ärsytykseen, mikä ilmenee jatkuvana yskänä, nenän tukkoisuutena, nuhana, silmien kirvelynä, pistelynä, vetistykseenä, verestyksenä ja lisääntyneenä räpyttelynä. Aiempi altistuminen formaldehydille suurissa pitoisuuksissa voi johtaa siihen, että myös pienemmät pitoisuudet aiheuttavat oireita. Suomessa formaldehydin enimmäispitoisuuden rajana pidetään 150 µg/m³, mutta aikaisemmasta altistumisesta ja siten yksilöllisistä eroista johtuen on asetettu myös parhaan mahdollisen sisäilman laadun raja, jossa formaldehydiä on alle 30 µg/m³. Tähän tähdätään esimerkiksi rakennussuunnittelun avulla (Puhakka & Bäck 1996, s. 42–44).

3.3.2 Epäorgaaniset yhdisteet

Epäorgaanisia yhdisteitä ovat hiilidioksidi, hiilimonoksidi, otsoni, rikkidioksidi ja muut rikkiyhdisteet, typen oksidit ja ammoniakki (Seuri & Palomäki 2000, s. 40–45). Sisäilman hiilidioksidi on peräisin ulkoilmasta ja ihmisen uloshengitysilma. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on noin 350 ppm. Ilmanvaihto ja ihmiskuormitus määräävät sisäilman kohonneen hiilidioksidipitoisuuden ja sen vuoksi hiilidioksidipitoisuutta käytetäänkin ilmanvaihdon riittävyyden mittarina (Seuri & Palomäki 2000, s. 40).

Häkäkin tunnettu hiilimonoksidi syntyy epätäydellisen palamisen seurauksena. Sen lähteenä voivat toimia rakennuksessa olevat tulisijat, tupakointi tai ulkoa tulevat pakokaasut. Häkä itsessään on hajuton, mauton ja väritön kaasu, mutta usein sen vaarasta varoittavat muut palokaasut. Häkämyrkytyksen oireita ovat päänsärky, pahoinvointi, huimaus ja heikkous. Sisäilmassa on yleisesti vain hyvin pieniä häkäpitoisuuksia ja sisäilmassa häkäpitoisuus ei saa ylittää 8 mg/m³ (Seuri & Palomäki 2000, s. 41).

Otsonia tulee sisäilmaan pääasiassa ulkoilmasta ja sen pitoisuus onkin sisällä usein pienempi kuin ulkona. Sisätiloissa voi kuitenkin olla paikallisia otsonilähteitä, kuten kopiokoneita tai lasertulostimia. Otsonin tunnistaa sen kirpeästä hajusta ja se hajoo nopeasti. Sen terveyshaitat perustuvat sen reaktiivisuuteen. Otsoni muodostaa vapaita radikaaleja tai myrkyllisiä välituotteita kuten vetyperoksidia tai aldehydejä reagoidessaan elimistön kemiallisten yhdisteiden kanssa. Se ei liukene juurikaan veteen, joten se vaikuttaa pääasiassa hengitysteihin tuhoten suojaavia soluja ja aiheuttaen näin

tulehdusreaktioita. Äkilliset suuret pitoisuudet johtavat ärsytysyskään, rintalastan takaiseen kipuun, hengitystoimintojen heikkenemiseen ja tulehdukseen hengitysteiden limakalvoilla. Pitkäaikaisvaikutuksia tarkasteltaessa on vaikea erottaa otsonin vaikutus muista ilmansaasteista. Epäillään, että otsoni saattaa reagoida muiden sisäilman epäpuhtauksien, kuten VOC-yhdisteiden kanssa muodostaen lyhytaikaisia, mutta hyvin reaktiivisia yhdisteitä. Nämä yhdisteet saattavat olla sisäilmassa terveyshaittoja aiheuttavia. Otsonin reaktiivisuutta voidaan kuitenkin käyttää myös hyväksi. Otsonointimenetelmä perustuu tietoiseen otsonin tuottamiseen ja sen avulla voidaan tuhota mikrobeja, haisevia yhdisteitä ja kaasuja (Seuri & Palomäki 2000, s. 41–42).

Rikkiyhdisteet tulevat sisäilmaan yleensä ulkoa, johon ne päätyvät fossiilisten polttoaineiden palamisen seurauksena energiantuotannosta ja teollisuudesta. Suomessa tieliikenteestä tulevien rikkiyhdistepäästöjen osuus on pieni. Paperintuotanto sulfiittimenetelmällä voi paikallisesti aiheuttaa hajurikkiyhdisteiden aiheuttamaa haittaa, jotka voivat kulkeutua myös sisäilmaan. Typen oksidit sen sijaan tulevat pääasiassa liikenteestä, ja liikenteen määrä vaikuttaakin typen oksidien pitoisuuksiin ulkoilmassa ja siten välillisesti myös sisäilmassa. Sisäilmassa typen oksideja voi vapautua kaasuliesistä tai tupakoinnista. Sisäilman typpi- ja rikkiyhdisteet eivät kuitenkaan Suomessa yleensä ole ongelma (Seuri & Palomäki 2000, s. 42–43).

Ammoniakki ei varsinaisesti aiheuta terveysongelmia niissä pitoisuuksissa, missä sitä Suomessa yleensä sisäilmassa havaitaan, vaan ammoniakkimittauksen avulla voidaan osoittaa rakennusmateriaaleissa tapahtuvaa hajoamista. Ammoniakki liitetäänkin yleisesti orgaanista materiaalia sisältävän lattiatasoitteen kosteuden seurauksena tapahtuvaan hajoamiseen. Tästä syntyvät terveyshaitat liittyvät ilmeisesti muihin muodostuviin yhdisteisiin, joita ei kuitenkaan tunneta (Seuri & Palomäki 2000, s. 43).

3.4 Hiukkasmaiset epäpuhtaudet

Hiukkasmaiset sisäilmassa leijuvat epäpuhtaudet voidaan luokitella alkuperänsä, kokonsa tai terveysvaikutuksiansa perusteella. Nykytiedon mukaan terveyden kannalta tärkeimpiä sisäilmaan vaikuttavia tekijöitä ovat biologista alkuperää olevat hiukkaset. Niihin kuuluu erilaisia mikrobeja, kuten virukset, sienet ja bakteerit sekä allergeenejä (Seuri & Palomäki 2000, s. 46). Erityisesti bakteereihin kuuluvat sädesienet ja sieniin kuuluvat homeet tunnetaan terveyshaittojen aiheuttajina (Husman ym. 2002, s. 15). Hiukkasten koolla on

suuri merkitys terveysvaikutusten laatuun. Suurimman hiukkaset ($>10\mu\text{m}$) jäävät useimmiten nenään ja voivat aiheuttaa allergiaa, refleksinomaista yskää ja aivastelua. Alle $10\mu\text{m}$:n hiukkaset voivat aiheuttaa allergista astmaa, koska ne pääsevät keuhkoputkien alaosiin. Vain alle yhden mikrometrin kokoiset hiukkaset pääsevät keuhkorakkuloihin saakka (Seuri & Palomäki 2000, s. 46).

Suurin osa sisäilman viruksista ja bakteereista tulee tilojen käyttäjien mukana. Myös likaiset ilmanvaihtokanavat voivat toimia bakteerien ja homesienten kasvualustana leviten sieltä sisäilmaan. Sekä tulo- että poistoilmakanavista on löydetty merkittäviä määriä erilaisia mikrobeja. On huolestuttavaa, että myös tuloilmakanavat voivat olla saastuneita poistoilmakanavien lisäksi. Bakteerien ja virusten määrä voidaan pitää kohtuullisena huolehtimalla ilmanvaihtojärjestelmän toimivuudesta, huollosta ja säännöllisestä puhdistuksesta. Lisäksi tulee välttää liian suurta ihmiskuormitusta, huolehtia siisteydestä ja kosteusvaurioiden korjauksista (Haahtela & Reijula 1997, s. 42–43). Sisäilman bakteerit ja virukset aiheuttavat infektioita ja lisäksi bakteerien erittämät toksiniitit aiheuttavat usein yleisoireita ja voivat aiheuttaa myös kuumereaktioita. Sairauksia aiheuttavat virusten ja bakteerien lisäksi eräät homeet ja sädesienet (Husman ym. 2002, s. 15).

Homesienet ovat osa luonnollista elinympäristöämme ja niiden itiöitä on kaikkialla (Haahtela & Reijula 1997, s. 35–36). Homeiden, sienten ja sädesienten tehtävänä on osallistua luonnossa kuolleen elollisen materiaalin hajottamiseen. Sädesienet ovat maaperäbakteereja, jotka viihtyvät samoissa olosuhteissa homeiden kanssa. Vaikka sädesienet kuuluvat bakteereihin, ne käyttäytyvät rakennuksissa homesienten tavoin (Husman ym. 2002, s. 15–16). Jos rakennuksessa on kosteusvaurio tietyt homesienilajit, hiivat ja esimerkiksi aktinomykeettibakteerit alkavat lisääntyä voimakkaasti. Rakenteisiin ja materiaaleihin pesiytyneet mikrobit voivat levittää sisäilmaan toksineja, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (mVOC) ja itiöitä (Haahtela & Reijula 1997, s. 35–36). Seuri ja Palomäki (2000, s. 50) tuovat esiin, että homeet päästävät sisäilmaan edellisten lisäksi myös allergeenejä ja rihmaston kappaleita. Heidän mukaansa homemyrkköjä eli mykotoksiineja on olemassa satoja. Tämä aiheuttaa terveysriskin, joka on kiistaton, mutta sen voimakkuus riippuu ihmisestä, homelajista ja altistumisen voimakkuudesta. Yleisimpiä oireita ovat hengitysteiden limakalvojen, silmien ja ihon ärsytys. Jotkut homesienet aiheuttavat toksisen reaktion tai allergiaoireita (Haahtela & Reijula 1997, s. 35–36). Kuvassa kolme näkyy sienien pahoin lahottama alajuoksu ja runkotolpat.



Kuva 3. Paneloinnin alta paljastunut pahoin vaurioitunut alajuoksu

Levät ovat yksisoluisia organismeja, jotka viihtyvät vedessä. Jos levät kasvavat suurina määrinä esimerkiksi ilmankostutusjärjestelmissä, akvaarioissa tai ilmastointijärjestelmien jäähdytysvesissä, voivat ne heikentää sisäilman laatua. Jos levä pääsee leviämään elimistöön aerosoleina voi seurauksena olla kuume tai muut oireet (Husman ym. 2002, s. 21).

Siitepölyä pääsee sisätiloihin ihmisten liikkumisen ja ilmanvaihdon mukana. Siitepöly koostuu isoista hiukkasista, jotka laskeutuvat nopeasti pinnoille. Näin ollen ne poistetaan kostean pyyhkimisen avulla, eikä ilmanpuhdistimesta ole hyötyä. Siitepöly aiheuttaa allergiaa ja pienhiukkaset aiheuttavat astmaoireita (Haahtela & Reijula 1997, s. 33–34).

Huonepöly on pinnoille laskeutuneiden ja ilmassa leijuvien orgaanisten ja epäorgaanisten hiukkasten ja kuitujen kooste. Ihminen, kotieläimet, vaatteet ja tekstiilit, rakennus- ja sisustusmateriaalit sekä elintarvikkeet rakennuksessa, ulkoilma ja rakennuksen ulkoympäristö ovat huonepölyn lähteitä. Rakennuksessa tapahtuva toiminta, ilmanvaihtolaitteiston suodatusaste ja rakennuksen ilmanvaihtuvuus, rakennuksessa käytetyt materiaalit, mahdolliset kosteusvauriot sekä siivousmenetelmät ja siivoustiheys

vaikuttavat sisäilman pölypitoisuuteen (Puhakka & Bäck 1996, s. 55).

Pölypunkit kuuluvat hämähäkkieläinten heimoon. Ne ovat noin 0,1 mm:n kokoisia silmälle näkymättömiä eläimiä. Pölypunkit jaetaan varastopunkkeihin ja huonepölypunkkeihin. Huonepölypunkit ovat sisätiloissa yleisimpiä ja ne aiheuttavat suurimman osan pölyallergiasta (Husman ym. 2002, s. 19). Pölypunkin aiheuttamat allergiaoireet voivat näkyä silmän sidekalvon oireina, nuhana, astmana tai atooppisena ihottumana (Haahtela & Reijula 1997, s. 32). Kosteusvaurioituneessa tilassa on usein punkkeja sillä ne kasvavat parhaiten yli 45 % suhteellisessa kosteudessa. Lisäksi ne viihtyvät lämpimässä. Rakennuksen ikä tai siivouksen tehokkuus eivät vaikuta pölypunkkien esiintymiseen. Allergista nuhaa ja astmaa aiheuttavat erityisesti pölypunkin eritteet ja kuolleiden punkkien osat. Kaikista otollisin paikka pölypunkeille on sängyssä, sillä ihmisestä haihtuva kosteus sekä lämpö ja ihosta irtoava hilse muodostavat huonepölypunkeille sopivan elinympäristön. Myös varastopunkit aiheuttavat astmaa ja allergista nuhaa. Niitä on satoja erilaisia ja niiden tiedetään viihtyvän esimerkiksi viljavarastoissa ja muissa maatalouskiinteistöissä. Vasta hiljattain on alettu tutkia varastopunkkien esiintymistä asunnoissa ja muissa rakennuksissa. Mielenkiintoista on se, että niitä on löydetty lähes kaikista rakennuksista (Husman ym. 2002, s. 19).

Sisäilmassa voi esiintyä myös terveydelle haitallisia kuituja, joita ovat esimerkiksi asbestikuidut ja lasi- ja mineraalivilloista irtoavat kuidut. Asbestikuituja voi irrota sisäilmaan rikkoutuneista ja vanhoista asbestimateriaaleista. Rikkinäinen asbestimateriaali tulee poistaa erillisenä asbestipurkutyönä. Ehjä asbestimateriaali ei aiheuta terveyshaittoja eivätkä pienet asbestikuitupitoisuudet aiheuta oireita. Sen sijaan vuosien altistuminen pienille pitoisuuksille aiheuttaa terveyshaittoja ja asbestihaittaepäilyt sisäilmoissa tulee ottaa vakavasti. Rakennuksen ja materiaalin ikä ja ulkonäkö ovat tekijöitä, joiden perusteella asbestihaittaa voidaan epäillä (Seuri & Palomäki 2000, s. 48). Asbestin ja asbestipitoisten materiaalien käyttö, myyminen, valmistus ja maahantuonti on kielletty (Puhakka & Bäck 1996, s. 60).

Mineraalivillan vanhetessa sen sideaineena käytettävä hartsi alkaa hajota, mikä johtaa eristeen pölyämiseen ja sen päätymiseen sisäilmaan. Seinän tai muun rakenteen sisällä näistä ei yleensä ole ongelmia, mutta niitä käytetään myös alas laskettujen kattojen materiaalina, huoneiden ja ilmakanavien äänieristeenä. Näistä lähteistä sisäilmaan voi tuloilmasuihkun mukana kulkeutua ärsytyshaittoja aiheuttava määriä mineraalikuituja.

Kuidut ovat niin raskaita hiukkasia, että ne laskeutuvat nopeasti tasaisille pinnoille. Näiden kuitujen tiedetään aiheuttavan ärsytysoireita, mutta varmuutta muista haitoista ei ole (Seuri & Palomäki 2000, s. 48–49). Puhakan ja Bäckin (1996, s. 62) mukaan suurin terveydellinen haitta syntyy, kun terävä kuitu tunkeutuu ihoon, mikä aiheuttaa ihoärsytystä. Sen lisäksi kuidut voivat ärsyttää myös silmiä ja aiheuttaa hengitystieoireita.



Kuva 4. Kosteusrasituksesta vaurioitunut lasikuituvilla yläpohjassa

4. SISÄILMAOIREET

Sisäilman on todettu aiheuttavan monenlaisia terveyshaittoja. Niiden syntyyn vaikuttavat Sisäilmayhdistyksen (2020) mukaan altistumisaika sekä altisteen laatu ja pitoisuus. Puhakka (1996, s. 17) lisää terveysvaikutusten riippuvan myös muiden epäpuhtauksien läsnäolosta, ympäristön olosuhteista, kuten eri maiden ilmasto-oloista, ihmisen terveydentilasta, sukupuolesta, iästä ja perimästä. Terveysvaikutusten lisäksi sisäilman laatu vaikuttaa ihmisten viihtyvyyteen ja tuottavuuteen. Yleisimpiä sisäilman aiheuttamia terveysvaikutuksia ovat erilaiset oireilut, kuten allergiaoireet, päänsärky, pahoinvointi tai väsymys. Lisäksi silmien, nenän, kurkun ja nielun ärsytysoireet sekä nenän tukkoisuus ja nuha ovat sisäilmaoireita. Huono sisäilma voi aiheuttaa myös sairauksia, joihin lukeutuvat hengitystieinfektiot, allerginen nuha ja astma, sekä silmän sidekalvotulehdus. Myös homepölykeuhko ja muut keuhkosairaudet ja jopa keuhkosityöpä ovat sisäilman aiheuttamia sairauksia (Sisäilmayhdistys 2020). Huono sisäilma saattaa pahentaa jo olemassa olevien sairauksien oireita (Puhakka 1996, s. 19).

Syöpää sisäilmassa aiheuttavat esimerkiksi tupakointi, maaperän kautta sisäilmaan pääsevä radon, asbesti ja PAH-yhdisteet. Allergiaa sen sijaan voivat aiheuttaa sisäilmaan ulkoa kulkeutuvat siitepölyt ja sieni-itiöt, teolliset päästöt, eläinten hilse, elintarvikkeet, huonekasvit, materiaalien kemialliset yhdisteet, pöly- ja varastopunkit, pölyt, haurut ja kemikaalit ja homevaurioiden mikrobit. Kaasumaisista aineista ammoniakkaa, formaldehydi, haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja otsoni voivat aiheuttaa ärsytysoireita. Muita ärsytysvaikutuksia aiheuttavia tekijöitä ovat hiukkasmaiset huonepölyt, liikenteestä peräisin olevat hiukkasmaiset epäpuhtaudet, homeiden aineenvaihdunnassa syntyvät tuotteet ja teolliset mineraalikulut. Lisäksi fysikaaliset tekijät, kuten kuivuus, epäsuotuisa lämpötila, staattinen sähkö, valaistusongelmat tai melu voivat aiheuttaa sisäilmaoireita. Infektioherkkyyden on todettu lisääntyvän silloin, jos ihminen altistuu kosteusvaurioisessa tilassa oleville mikrobeille tai niiden aineenvaihduntatuotteille. Lisäksi puutteellinen ilmanvaihto voi lisätä infektioiden tarttuvuutta tiloissa, joissa on runsaasti ihmisiä. Psykososiaalisia haittoja voi aiheutua, mikäli tilassa oleskeleva ihminen kokee yleistä tyytymättömyyttä, huonoa johtamista tai työilmapiiriä tai tiedottamista asioista ei koeta riittäväksi (Sisäilmayhdistys 2020).

Sisäilmaoireista puhuttaessa voidaan puhua myös ”sairas rakennus” -oireyhtymästä (Sick Building Syndrome, SBS). Tämä oireyhtymä sisältää erilaisia oireita, joiden on todettu

kehittyvän vähitellen ja ne lievenevät tai katoavat kokonaan silloin, kun ei olla altistusta aiheuttavassa tilassa (Sisäilmayhdistys 2020). Oireilua esiintyy yleisimmin rakennuksissa, joissa on täysin koneellinen ilmanvaihto. Tällaisia ovat usein suuret rakennukset, toimistot, koulut ja päiväkodit (Puhakka 1996, s. 20). Sisäilman epäpuhtauksien aiheuttamat terveyshaitat ovat yksilöllisiä, eivätkä kaikki näin ollen koe oireita samanlaisina tai välttämättä ollenkaan (Sisäilmayhdistys 2020). Lasten altistuminen sisäilmaoireille on erityisen haitallista, sillä heidän puolustusjärjestelmänsä ei ole yhtä kehittynyt kuin aikuisten. Lisäksi lasten hengitystiet ovat ahtaammat ja hengitys on tiheämpää. Lasten asuin- ja oleskeluympäristöissä tuleekin ottaa huomioon nämä erityisvaatimukset. Muita riskiryhmiä lasten lisäksi ovat iäkkäät, sydän- ja keuhkosairaat, allergiset ihmiset tai autoimmuunisairauksiin sairastuneet. Näihin sairauksiin käytettävät lääkkeet heikentävät osaltaan elimistön puolustuskykyä, jolloin sisäilman epäpuhtaudet vaikuttavat heihin voimakkaammin kuin terveeseen henkilöön. Lisäksi tupakoivat henkilöt ovat alttiimpia sairauksille, sillä heillä on muuta väestöä enemmän yskää ja hengitystieinfektioita muutenkin. Lisäksi tupakoitsijan elimistö kehittää helpommin syöpää erilaisten ulkoisten aineiden vaikutuksesta, kun syöpävaarallisten aineiden vaikutus on suurempi yhdessä (Husman ym. 2002, s. 9).

Oireyhtymän oireet ovatkin usein vaikeasti määriteltäviä ja niihin voivat vaikuttaa myös työpaikan ilmapiiri ja muut psykososiaaliset tekijät. Ongelmallista on, että vaikka allergeeni saataisiin poistettua ympäristöstä, ei sisäilmaoireille herkistyminen kuitenkaan katoa edes oireilun loputtua. Sisäilma aiheuttaakin todella paljon elämänlaatua heikentävää lievää ja ajoittaista oireilua. Tämä vähentää työkykyä ja aiheuttaa poissaoloja työpaikoilta lisäten samalla lääkekuluja ja terveydenhuollon palveluiden tarvetta. Pahimmassa tapauksessa huono sisäilma aiheuttaa vaikeita sairauksia, jotka johtavat suorituskyvyn heikkenemiseen, työkyvyttömyyteen ja jopa sairaalahoidon tarpeeseen (Sisäilmayhdistys 2020). Sisäilmaoireista johtuvan altistumisen selvittäminen on tärkeää, sillä sen avulla voidaan parantaa altistuneen henkilön tilannetta ratkaisevasti (Haahtela & Reijula 1997, s. 16).

5 YHTEENVETO

Sisäilman ja sisäilmaston käsitteet sekoitetaan usein toisiinsa tai niitä käytetään puheessa ja tieteellisessä tekstissä toistensa synonyymeinä. Usein puhuttaessa sisäilmasta tai sen aiheuttamista ongelmista tarkoitetaan oikeasti sisäilmastoa ja sisäilmasto-ongelmia. Tämä hankaloittaa yleistä keskustelua ja ymmärrystä aiheesta. Sisäilmaongelmista puhuttaessa ihmisten mielikuvat liittyvät usein home- ja kosteusvauroihin, vaikka tutkimukset osoittavat, että yleisin syy huonoon sisäilmastoon ovat huono ilmanvaihto ja siivouksen puutteellisuus sekä pöly. Lisäksi monissa eri lähteissä sisäilmaan ja sisäilmastoon lasketaan kuuluvan hieman eri tekijöitä. Tässä työssä pyrittiinkin kokoamaan eri lähteissä mainitut tekijät mahdollisimman kattavasti yhteen. Työn aikana heräsikin tarve käsitteistön yhdenmukaistamiseen ja oikeanlaiseen käyttöön.

Lisäksi ongelmallista on se, että lähdemateriaali koostuu lähinnä vuosituhatien vaihteessa julkaistuihin tutkimuksista, eikä uutta tietoa tunnu löytyvän. Tämä osoittaa sen, että tämänkaltaiselle tutkimukselle on suuri tarve tänä päivänä ja tulevaisuudessa. Varsinkin, kun sisäilmaongelmat ovat yleistyneet tai niihin kiinnitetään nykyään enemmän huomiota. Erityinen tarve olisi tutkimukselle, jonka pohjalta voitaisiin luoda luotettavia ja kattavia sekä yksiselitteisiä raja-arvoja ammattilaisten työn tueksi. Tällä hetkellä vain osalle sisäilmaston laatuun vaikuttaville tekijöille on olemassa raja-arvot ja nekin voivat olla ympäröivä. Selkeät raja-arvot helpottaisivat myös vastuukysymyksiä. Tällä hetkellä oireileville ihmisille aiheutuvasta haitasta ei kukaan ota vastuuta, koska sisäilmastomittaukset ja raja-arvot ovat niin moniselitteisiä ja on vaikea osoittaa oireiden aiheutuvan tietystä rakennuksesta.

Monet lähteet tuovat esiin, että merkittävin sisäilmaston laatua mittaava tekijä tulisi olla käyttäjäkokemukset. Valitettavan usein tuntuu kuitenkin olevan niin, ettei edes useita oireilevia ihmisiä oteta riittävän vakavasti. Tämä vaikuttaa niin ihmisten terveyteen, tuottavuuteen kuin ilmapiiriinkin. Korjaustoimenpiteiden kustannukset voivatkin lopulta olla pienemmät, kuin haitallisen sisäilmaston aiheuttavat kustannukset terveydelle ja taloudelle. Tämä kaikki osoittaa sen, että aiheeseen tulisi suunnata lisää tutkimusta ja osaamista.

LÄHDELUETTELO

- Asikainen, V., 2008. Kiinteistön omistajan opas sisäilmaongelmaisten koulurakennusten kunnan tutkimiseen ja korjaushankkeisiin. Teoksessa: Asikainen V. & Peltola S. (toim.) Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Helsinki: Opetushallitus, s. 10–48. ISBN 978-952-13-3851-9
- Haahtela, T. & Reijula, K. 2016. Mikä vikana sisäilmassa? Lääkärilehti 46, s. 2925–2926. <https://www.laakarilehti.fi/ajassa/paakirjoitukset-tiede/mika-vikana-sisailmassa/> Luettu 11.12.2019
- Haahtela, T. & Reijula, K. 1997. Sisäilman terveyshaitat ja ehdotukset niiden vähentämiseksi. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki. 136 s. ISBN 952-00-0381-9
- Husman, T., Roto, P. & Seuri, M. 2002. Sisäilma ja terveys – rakentajan opas. Kansanterveyslaitos, Helsinki. 42 s. ISBN 951-740-329-1
- Johnsen, C. R., Heinig, J. H., Schmidt, K., Albrechtsen, O., Nielsen, P. A., Wolkoff, P., Nielsen, G. D. Hansen, L. F & Franck, C. 1991. A Study of Human Reactions to Emissions from Building Materials in Climate Chambers. Part I: Clinical Data, Performance and Comfort. *Indoor Air*, 1: 4, s. 377-388.
- Mølhav, L., Clausen, G., Berglund, B., Ceaurriz, J., Kettrup, A., Lindvall, T., Maroni, M., Pickering, A. C., Risse, U., Rothweiler, H., Seifert, B. & Younes, M. 1997. Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations*. *Indoor Air*, 7: 4, s. 225–240.
- Puhakka, E. & Bäck, B. 1996. Kemialliset epäpuhtaudet. Teoksessa: Puhakka, E., Bäck, B., Kalso, S., Vahänen, R., Arvela, H., Voutilainen, A., Ruotsalainen, R., Koukila-Kähkölä, P., Sarekoski, K. & Kärkkäinen, J. (toim.) Terveellinen sisäilma. Helsinki: Suomen sisäilmaston mittauspalvelu, s. 31–64. ISBN 952-90-7379-8
- Puhakka, E. 1996. Sisäilma ja terveys. Teoksessa: Puhakka, E., Bäck, B., Kalso, S., Vahänen, R., Arvela, H., Voutilainen, A., Ruotsalainen, R., Koukila-Kähkölä, P., Sarekoski, K. & Kärkkäinen, J. (toim.) Terveellinen sisäilma. Helsinki: Suomen sisäilmaston mittauspalvelu, s. 13–28. ISBN 952-90-7379-8

Ruotsalainen, R. & Puhakka E. 1996. Fysikaaliset tekijät. Teoksessa: Puhakka, E., Bäck, B., Kalso, S., Vahanan, R., Arvela, H., Voutilainen, A., Ruotsalainen, R., Koukila-Kähkölä, P., Sarekoski, K. & Kärkkäinen, J. (toim.) Terveellinen sisäilma. Helsinki: Suomen sisäilmaston mittauspalvelu, s. 113–118. ISBN

Sisäilmayhdistys ry. 2019. Perustietoa. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Perustietoa>. Luettu 11.12.2019

Seppänen, O. 1996. Ilmastointiteknikka ja sisäilmasto. 3 painos. Helsinki: Suomen LVI-yhdistysten liitto, 348 s. ISBN 951-96098-0-6

Seuri, M. & Palomäki, E. 2000. Haasteellinen sisäilma – Riskianalyysi sisäilmaongelmissa. Rakennustieto oy, Tampere. s. 138. ISBN 951-682-617-2

Sisäilmayhdistys ry. 2020. Sisäilmaoireet. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Terveysvaikutukset/Sisailmaoireet>
Luettu 29.2.2020

Sunesson, A., Vaes, W., Nilsson, C., Blomquist, G., Andersson, B. & Carlson, R. 1995. Identification of Volatile Metabolites from Five Fungal Species Cultivated on Two Media. *Applied and Environmental Microbiology*, 61: 8 s. 2911.

Säteilyturvakeskus. 2019. Asuntojen radonia koskevat viitearvot ja määräykset. <https://www.stuk.fi/aiheet/radon/asuntojen-radonia-koskevat-viitearvot-ja-maaraykset>
Luettu 12.12.2019

Säteilyturvakeskus. 2020. Radon Suomessa. <https://www.stuk.fi/aiheet/radon/radon-suomessa>
Luettu 12.9.2020

Vuottilainen, A. & Arvela H. 1996. Radon. Teoksessa: Puhakka, E., Bäck, B., Kalso, S., Vahanan, R., Arvela, H., Voutilainen, A., Ruotsalainen, R., Koukila-Kähkölä, P., Sarekoski, K. & Kärkkäinen, J. (toim.) Terveellinen sisäilma. Helsinki: Suomen sisäilmaston mittauspalvelu, s. 97–110. ISBN 952-90-7379-8