

Työpaperi 20/2020

Ulla Haverinen-Shaughnessy, Hanna Leppänen, Anniina Salmela, Anne Hyvärinen

Altistuminen sisäympäristössä – yleisyys Suomessa ja Pohjoismaissa

Tässä katsauksessa keskitytään sellaisiin sisäympäristön altisteisiin, joiden tiedetään voivan aiheuttaa terveyshaittoja väestötasolla. Vuonna 2020 julkaistun arvion mukaan elinympäristön altisteista eniten terveyshaittaa Suomessa aiheuttivat ulkoilman pienhiukkaset, sisäilman radon, sisäilman hiukkaset, ympäristömelu, auringon UV-säteily ja altistuminen tupakansavulle (Hänninen ym. 2020). Näistä altistumista sisäilmassa aiheuttavat radon ja sisäilman hiukkaset sekä epäsuorasti ulkoilman pienhiukkaset (sisäilman välityksellä). Esimerkkeinä muista sisäilmaan liittyvistä, väestön tautitaakan osalta riskiltään vähäisemmistä sisäympäristöaltisteista oli arvioissa mukana kotien kosteusvauriot. Suomen tilanteen lisäksi, tässä katsauksessa käydään läpi myös muiden Pohjoismaiden tilannetta kirjallisuuden ja asiantuntijahaastattelujen pohjalta.

Pienhiukkaspitoisuudet ovat Suomessa samaa tasoa kuin muissa Pohjoismaissa ja eurooppalaista tasoa pienemmät, kun taas radonpitoisuudet ovat Euroopan suurimpia. Riittämätön ilmanvaihto asunnoissa ja kouluissa on yhtä yleistä tai yleisempää kuin muissa Pohjoismaissa. Suomessa ja muissa Pohjoismaissa vaikuttaisi olevan vähemmän kosteusvaurioita kuin muualla Euroopassa. Terveydelle merkityksellisten altisteiden yleisyyden eroista maiden välillä tarvitaan kuitenkin lisää vertailukelpoista tietoa.

Tämä katsaus on tehty osana Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen Kansallinen sisäilma ja terveys -ohjelman valmistelua. Katsaus tukee osaltaan myös vuosina 2018 ja 2019 toteutettua valtioneuvoston kanslian hanketta Sisäilma ja terveys: kehitys, nykytilanne, seuranta ja vertailu eri maiden sekä julkisen ja yksityisen sektorin välillä (VNK 777/48/2018).

Lukijalle

Puhdas ja raikas sisäilma edistää terveyttä ja hyvinvointia. Sisäilmassa voi esiintyä monenlaisia epäpuhtauksia, jotka voivat aiheuttaa oireita ja heikentää viihtyvyyttä. Yksittäiset altisteet voivat lisätä myös pysyvän sairastumisen riskiä. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan mukaan pelkästään kosteusvaurioihin liittyvien terveysvaikutusten vuosittaiset kustannukset voivat olla lähes miljardi euroa. Myös rakennusten korjaamiseen liittyy erittäin suuria kustannuksia: esimerkiksi vuonna 2018 korjausrakentamisen kokonaisarvo oli Suomessa lähes 13 miljardia.

Suomessa on puututtu sisäilmaan liittyviin ongelma-kohtiin jo kauan, ja olemmekin edelläkävijöitä niin tutkimuksessa kuin ohjeistuksessa. Pääperiaate kaikessa toiminnassa, kuten säädösten ja ohjeistuksen kehitystyössä, on ennaltaehkäistä ja vähentää sisäilman epäpuhtauksiin liittyviä terveysriskejä poistamalla rakennuksissa havaitut epäpuhtauslähteet ja korjaamalla niitä aiheuttavat vauriot. Suomessa altistuminen rakennusten kosteusvaurioille sekä useimmille merkittävälle sisäilman epäpuhtauksille onkin vähäisempää kuin Euroopassa keskimäärin ja samalla tasolla Pohjoismaihin verrattuna. Tästä huolimatta sisäilman epäpuhtauksien vähentämiseen ja ennaltaehkäisyyn tulee edelleen kiinnittää huomiota.

Tiivistelmä

Ulla Haverinen-Shaughnessy, Hanna Leppänen, Anniina Salmela, Anne Hyvärinen.
Altistuminen sisäympäristössä – yleisyys Suomessa ja Pohjoismaissa.
Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL). Työpaperi 20/2020. 35 sivua. Helsinki 2020.
ISBN 978-952-343-402-8 (verkkojulkaisu)

Tässä katsauksessa keskitytään sellaisiin sisäympäristön altisteisiin, joiden tiedetään voivan aiheuttaa terveyshaittoja väestötasolla. Eri väestöryhmien altistumisen eroja on otettu huomioon jakamalla kerätty tieto rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan (asunnot, toimistot, koulut, päiväkodit ja hoitolaitokset). Lisäksi tarkastelussa on pyritty huomioimaan myös tiedonkeruumenetelmä (mittaukset, aistinvaraiset arvioinnit ja koettu sisäilman laatu). Koska satunnaisotantaan perustuvaa, väestötasolla yleistettävää tietoa on vain vähän, on tarkasteluun sisällytetty tuloksia myös kohdennetuista tutkimuksista, joiden tuloksia tulee kuitenkin käsitellä varauksellisesti ja muistaa käytettyjen menetelmien ja määritelmien erot.

Pienhiukkaspitoisuudet ovat Suomessa samaa tasoa kuin muissa Pohjoismaissa ja eurooppalaista tasoa pienemmät, kun taas radonpitoisuudet ovat Euroopan suurimpia. Riittämätön ilmanvaihto asunnoissa ja kouluissa on yhtä yleistä tai yleisempää kuin muissa Pohjoismaissa. Suomessa ja Pohjoismaissa vaikuttaisi olevan vähemmän kosteusvaurioita kuin muualla Euroopassa. Terveydelle merkityksellisten altisteiden yleisyyden eroista maiden välillä tarvitaan kuitenkin lisää vertailukelpoista tietoa.

Katsaus on tehty osana Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen Kansallisen sisäilma ja terveys -ohjelman valmistelua. Se tukee osaltaan myös vuosina 2018 ja 2019 toteutettua valtioneuvoston kanslian hanketta Sisäilma ja terveys: kehitys, nykytilanne, seuranta ja vertailu eri maiden sekä julkisen ja yksityisen sektorin välillä (VNK 777/48/2018).

Avainsanat: altistuminen, asuinrakennukset, hoitolaitokset, kosteusvauriot, koulut, pienhiukkaset, päiväkodit, radon, rakennusterveys, sisäilma, toimistorakennukset

Sisällys

Lukijalle/Esipuhe	2
Tiivistelmä.....	3
Sisällys	4
Johdanto	5
Sisäympäristön altisteet Suomessa	6
Pienhiukkaset	6
Sisäilman radon	6
Kosteus- ja homevauriot.....	7
Muut altisteet.....	9
Kyselytutkimusten tuloksia	10
Ilmanvaihdon ja rakenteiden tiivyyden vaikutus sisäilman epäpuhtauspitoisuuksiin	11
Sisäympäristökysymykset mediassa.....	12
Sisäympäristön altisteet Pohjoismaissa	13
Pienhiukkaset	13
Radon	14
Kosteusvauriot.....	14
Muut altisteet.....	15
Ilmanvaihto	16
Pohjoismaiden sisäilma-asiantuntijoiden haastattelut	18
Ympäristö- ja monikemikaaliyliherkkyys	19
Sisäympäristökysymykset mediassa.....	19
Toiminta sisäympäristön laadun parantamiseksi.....	19
Ohjeistus.....	21
Suomen lainsäädäntö ja ohjeistus.....	21
Pohjoismaiden lainsäädäntö ja ohjeistus	23
Arvio sisäympäristön laatuongelmien yleisyyteen liittyvästä jatkotutkimustarpeesta	27
Lähteet.....	28
Liitteet	33
Liite 1.....	33
Liite 2	34
Liite 3.....	35

Johdanto

Sisäilman epäpuhtauksia ovat mm. hiukkaset, radon, mikrobit, orgaaniset kaasut, formaldehydi, ammoniakki, styreeni ja hiilimonoksidi eli häkä. Muita sisäympäristöhaittoja aiheuttavia tekijöitä ovat melu, veto, alhainen, korkea tai vaihteleva huonelämpötila, kylmä lattia, kuiva ilma, kosteuden tiivistyminen pinnoille, tunkkaisuus ja epämiellyttävä haju. Hajujen lähteinä voivat olla mm. viemäri, kosteus- tai homevaurio rakenteissa, huonolaatuiset rakennus- tai sisustusmateriaalit tai materiaalin hajoaminen. Lisäksi rakennuksen sisäympäristön laatuun vaikuttavat ilmanvaihtoratkaisut, valaistus, rakennuksen sijainti, rakennustapa, rakennusmateriaalit, käyttö ja sääolot.

Sisäilmaan liittyvään haittaan voi olla useita syitä, esimerkiksi toimimaton ilmanvaihto, liian kuiva ilma tai korjaamaton kosteusvaurio. Osa sisäilman epäpuhtauksista on peräisin ulkoilmasta (esim. pääosa pienhiukkasista), maaperästä (esim. radon) tai rakennuksen käytöstä (esim. puunpoltto). Altistumista näille epäpuhtauksille voidaan vähentää rakennus- ja ilmanvaihtotekniikalla sekä huolehtimalla rakennuksen kunnosta ja ylläpidosta. Myös rakennusten painesuhteet ja ilmatiiviys vaikuttavat sisäilman epäpuhtauksiin, koska alipaineisessa, epätiivisessä rakennuksessa osa korvausilmasta voi tulla sisään rakenteiden kautta tuoden mukanaan epäpuhtauksia.

Väestötasolla pitkäkestoinen altistuminen sisäilman epäpuhtauksille lisää oireilun lisäksi sairastuvuutta (esim. kosteusvauriot lisäävät astmaa ja radon keuhkosityöpää) ja jopa kuolleisuutta (pienhiukkaset, radon). Lisäksi sairastamista voi lisätä lyhytkestoinen altistuminen korkeille pitoisuuksille tai ääriolosuhteille (esim. pitkä hellejakso tai lämmönjakelun häiriöstä johtunut sisälämpötilan jäähtyminen), mikä kuitenkin rajataan tämän katsauksen ulkopuolelle.

Tässä katsauksessa keskitytään sellaisiin sisäympäristön altisteisiin, joiden tiedetään voivan aiheuttaa terveyshaittoja väestötasolla. Arvioiden mukaan sisäympäristön altisteista eniten terveyshaittaa Suomessa aiheuttavat pienhiukkaset, radon ja kotien kosteusvauriot (Hänninen ym. 2020, 2010). Lisäksi terveyshaittaa aiheuttaa altistuminen tupakansavulle, joka on rajattu katsauksen ulkopuolelle.

Katsauksessa kerättiin tietoa käymällä läpi aiheeseen liittyvät aikaisemmat selvitykset. Lisäksi käytiin läpi seitsemänä edeltävänä vuonna (2012–2019) julkaistut sisäilmastoseminaarin ja rakennusfysiikkaseminaarin raportit. Kirjallisuushakuja tehtiin käyttämällä Web of Science- ja Google Scholar -hakukoneita keskittyen Pohjoismaista julkaistuihin tutkimuksiin 1990-luvulta alkaen. Lisäksi haastateltiin Pohjoismaisia sisäilma-asiantuntijoita Ruotsista, Norjasta, Islannista ja Tanskasta.

Sisäympäristön altisteet Suomessa

Pienhiukkaset

Pienhiukkasten pitoisuudet (PM_{2,5}) ovat suomalaisissa asunnoissa keskimäärin 7µg/m³ (Hänninen ym. 2004; Du ym. 2016). Asuntojen pienhiukkaspitoisuuksien osalta asumisterveysasetuksen (545/2015) mukaiset toimenpiderajat (24h mittaus enintään 25 µg/m³) ylittyvätkin vain harvoissa yksittäistapauksissa. Siitä huolimatta arvioidaan, että yli 60 % sisäympäristön aiheuttamasta tautitaakasta johtuu Suomessa sisäilmaan kulkeutuneista ulkoilman saasteista (Hänninen ym. 2013a).

Helsinkiläisissä asuinrakennuksissa tehtyjen tutkimusten mukaan ulkoilman pienhiukkasista suodattuu karkeasti noin 50 % (Hänninen ym. 2013b). Suodattumista voidaan tehostaa parantamalla rakennusten vaipan ilmatiiviyttä ja korvausilman suodatusta. Tutkimusten perusteella havaittiin myös ajallinen trendi: suodattuminen oli tehokkaampaa uudemmissa rakennuksissa. Tämän arveltiin johtuvan rakennusmääräysten tiukentamisen tuomista muutoksista rakennuskantaan, rakennusten parantuneesta ilmatiiviydestä ja koneellisen ilmanvaihdon yleistymisestä.

Hänninen ja muut (2017) arvioivat meta-analyysissään ulkoilman pienhiukkasten (PM_{2,5}) suodattumista sisäilmaan Euroopan eri ilmastoalueilla, ja tulosten perusteella pohjoismainen rakennuskanta on tiiviimpää kuin Keski- ja Etelä-Euroopassa. Tiiviyden arvioitiin johtuvan tiukemmista lämmöneristemääräyksistä ja johtavan 10–15 % tehokkaampaan suodattumiseen. Hyvä suodattuminen heijastuu terveysvaikutuksiin, jotka liittyvät ulkoilman pienhiukkasaltistukseen sisäilman välityksellä. Toisen meta-analyysin perusteella PM_{2,5}-pitoisuudet ovat alhaisempia talvella, jolloin ikkunoita pidetään kiinni (Hänninen ym. 2011). Rakennusten ja vuorokausien välinen vaihtelu on suurempaa kuin vuodenaikaisvaihtelu.

INSULate (Improving energy efficiency of multifamily buildings, indoor environmental quality and occupant health) -projektissa (Du ym. 2016, Turunen ym. 2016) kerrostaloasunnoissa mitatut pienhiukkaspitoisuudet (PM_{2,5}) olivat samaa suuruusluokkaa kuin aikaisemmin EXPOLIS (Air Pollution Exposure in European Cities: the EXPOLIS Study) -tutkimuksessa mitatut pitoisuudet (Hänninen ym. 2004) sekä ennen energiaparannuksia että niiden jälkeen, alittaen pääsääntöisesti kansalliset toimenpiderajat.

Sisäilman radon

Asunnoissa vuonna 2006 tehdyn otantatutkimuksen perusteella keskimääräinen radonpitoisuus oli 96 Bq/m³. Toimenpidearvo 400 Bq/m³ (asunnoissa, jotka on rakennettu ennen 30.10.1992) ylittyi 3 %:ssa asuntoja (Mäkeläinen ym. 2009). Säteilyturvakeskuksen (STUK) mukaan vuoteen 2014 mennessä oli mitattu kaikkiaan 117 000 pientalon radonpitoisuus ja niistä 16 860 (14 %) ylitti 400 Bq/m³:n rajan (Valmari ym. 2014). Radonpitoisuutta on mitattu 2000-luvulla aiempaa enemmän, erityisesti uusissa asunnoissa, mutta edelleen radonpitoisuus mitataan vain 6 %:ssa pientaloista viiden vuoden kuluessa talon valmistumisesta. Radonputkisto asennetaan nykyään jo yli puoleen pientaloista, joissa on maanvarainen alapohja, ja se alentaa radonpitoisuutta yhdessä tiivistämisen kanssa 50 %. Lisäksi radonin poistoa voidaan tarvittaessa tehostaa poistopuhaltimen avulla.

STUKin tekemässä uusien talojen otantatutkimuksessa (Kojo ym. 2018a, Holmgren ym. 2017) sisäilman radonpitoisuudet mitattiin 1 332:ssa satunnaisesti valitussa pientalossa, jotka olivat saaneet rakennusluvan 11/2012–10/2013. Asuntojen radonpitoisuuden keskiarvo oli 71 Bq/m³. Uudisrakentamisessa toimenpidearvo 200 Bq/m³ ylittyi 6 %:ssa mittauksista. Pitoisuudet olivat pienemmät kuin edellisessä otannassa, joka keskittyi vuosina 2006–2008 rakennettuihin uudisrakennuksiin (keskiarvo 95 Bq/m³). Radonin torjunnan yleistymisen ja tehostumisen on todennäköinen syy radonpitoisuuksien pienenemiseen. Tutkimuksessa todettiin myös, että mikäli radontorjunta laiminlyödään, voi rakennusten merkittävästi parantunut ilmatiiviyys johtaa radonpitoisuuden kasvuun useilla kymmenillä prosenteilla.

INSULate-projektissa vuosina 2011–2015 mitattiin peruskorjausikäisten suomalaisten kerrostaloasuntojen (n = 241) radonpitoisuuksia muiden sisäympäristön laatua kuvaavien parametrien ohella (Du ym. 2016, Turunen ym. 2016). Tulosten perusteella korkein radonpitoisuus ensimmäisellä mittauksella (en-

nen energiaparannusta) oli 350 Bq/m^3 , ja kuuden rakennuksen 12 asunnossa radonpitoisuus ylitti 200 Bq/m^3 . Toisella mittauskerralla (energiaparannusten jälkeen) radonpitoisuus ylitti 200 Bq/m^3 yhden rakennuksen kolmessa asunnossa. Korjaustoimia suositellaan harkittavaksi, mikäli radonpitoisuus ylittää 200 Bq/m^3 . Nämä em. rakennukset oli rakennettu ennen vuotta 1992, joten niissä havaitut radonpitoisuudet eivät ylittäneet asetettua kansallista toimenpidearvoa vanhemmille rakennuksille (400 Bq/m^3).

THL:n asumisterveyskyselyjen mukaan suurella osalla vastaajista on ollut puutteellista tietoa asuntonsa radonpitoisuuksista (Anttila ym. 2013). STUKin vuonna 2015 tekemään radonriskitietoisuuskyselyn vastaajista suurin osa oli kuullut aikaisemmin sisäilman radonista. Huolimatta siitä, että sisäilman radon ymmärrettiin terveysriskiksi, vain viidesosa oli tehnyt radonmittauksen kodissaan. Noin neljäsosa vastaajista ei ollut halukas tekemään asunnossaan radonkorjausta tai ei osannut sanoa, kuinka toimisi, mikäli mittaus osoittaisi sisäilman radonpitoisuuden olevan korkea (Kojo ja Kurtio 2016).

Päiväkodeissa tehdyssä tutkimuksessa vuonna 2006 keskimääräinen radonpitoisuus oli 52 Bq/m^3 . Näistä päiväkodeista 2 %:ssa ylittyi toimenpidearvo 200 Bq/m^3 ja alle 1 %:ssa toimenpidearvo 400 Bq/m^3 (STUK 2009). Toisessa tutkimuksessa, jossa tarkasteltiin 66 suomalaisen kunnan 400 päiväkotia, toimenpidearvo ylittyi 13 %:ssa rakennuksista (STUK 2009). Radonpitoisuuden mittaamiseen kutsutuista 945 päiväkodista yhteensä 482 mittasi sisäilman radonpitoisuuden mittauskaudella 2014–2015 (Kojo ym. 2016). Keskimääräinen pitoisuus oli 81 Bq/m^3 . Toimenpidearvo 400 Bq/m^3 ylittyi 2 %:ssa rakennuksista (17 päiväkodissa).

Vuonna 2016–2017 STUKin tekemässä koulujen radonkartoituksessa 852 koulussa mitattiin sisäilman radonpitoisuuksia. Keskimääräinen sisäilman radonpitoisuus niissä oli 87 Bq/m^3 , ja 400 Bq/m^3 ylittyi 11 %:ssa kouluja (Kojo ym. 2018b). Noin 850 työpaikassa vuonna 2016 tehdyistä radonmittauksista 400 Bq/m^3 ylittyi 7 %:ssa (Pastila 2017).

Euroopan unionin säteilysuojeludirektiivin (2013/59/EURATOM) vuoksi säteilylainsäädäntöä uudistettiin vuonna 2018. Uudistuksessa muun muassa työpaikkojen, asuntojen ja muiden oleskelutilojen kuten koulujen ja päiväkotien sisäilman radonin toimenpidearvo 400 Bq/m^3 korvattiin viitearvolla 300 Bq/m^3 (Turtiainen ym. 2019). Uusi asunto tulee edelleen suunnitella ja rakentaa niin, ettei 200 Bq/m^3 ylitä.

Kosteus- ja homevauriot

Jonkinasteiset kosteusvauriot ovat yleisiä kaikentyyppisissä rakennuksissa, ja vauriot vaihtelevat hyvin pienestä vakavaan. Tutkimusten perusteella on kosteus- ja homevaurioiden yleisyydestä rakennustyyppittäin esitetty seuraavaa:

- Pientaloista 82 %:ssa esiintyi tai oli jo korjattu kosteusvaurio (ml. pienet ja rajalliset). Korjauksen tai tarkastamisen tarpeessa oli 55 % kiinteistöistä (Partanen 1996, Halla-Aho 2005). 38 %:ssa pientaloista havaittiin näkyviä kosteusjälkiä tai kosteusvaurioituneita materiaaleja (Chehelgo ym. 2001).
- Kerrostaloasunnoista 42–43 % oli korjauksen tai tarkastuksen tarpeessa ja 60 %:ssa asunnoista todettiin kosteusvaurio (Koivisto ym. 1996, Halla-Aho 2005). Kerrostaloasunnoista 26 %:ssa oli havaittavissa näkyviä kosteusjälkiä tai kosteusvaurioituneita materiaaleja (Chehelgo ym. 2001).
- Koulurakennuksista 25 %:ssa esiintyy kosteus- ja homevaurioita (Haverinen-Shaughnessy ym. 2012b). Aikaisemmin tehdyn rehtorikyselyn mukaan jopa 60 %:ssa rakennuksista esiintyi kosteusvaurioita (Kurnitski ym. 1996).
- Päiväkotirakennusten kosteusvaurioiden yleisyys on 10–50 % (Yli-Pirilä ym. 2010, Jaakkola ym. 1994).
- Sairaala- ja kiinteistöjen pohjapinta-alasta noin 15 % on välittömän korjauksen tarpeessa (Reijula 2005).
- Kosteus- ja homevauriokorjauksia on tehty joka neljanteen julkiseen sektorin (hoito- ja opetusalan) rakennukseen vuosina 2000–2005 (Ruokojoki 2005).

Eduskunta käynnisti vuonna 2011 kosteus- ja homeongelmia koskevan tutkimuksen, jonka yhtenä tavoitteena oli arvioida merkittävien kosteus- ja homevaurioiden yleisyys asunnoissa ja työpaikoilla Suomessa, mukaan lukien koulut, päiväkodit ja muut sosiaali- ja terveydenhuollon toimitilat. Tutkimuksessa kosteus- ja homevaurion määrittäminen merkittäväksi ei perustunut pelkästään vaurion havaitsemiseen, kuten yllä luetelluissa arvioissa, vaan niistä on arvioitu myös altistumisen todennäköisyys, jotta terveydellisen merkityksen arviointi on mahdollista. Tarkastusvaliokunnan raportissa (Reijula ym., 2012) esitetyn arvion mu-

kaan merkittäviä kosteusvaurioita esiintyi kerrosalasta 7–10 %:ssa pien- ja rivitaloista, 6–9 %:ssa kerrostaloista, 12–18 %:ssa kouluista ja päiväkodeista, 20–26 %:ssa hoitolaitoksista ja 2,5–5 %:ssa toimistoista. Määritelmän mukaisesti merkittävästi vaurioituneissa pien- ja rivitaloissa asuu 221 000–443 000 ja kerrostaloissa 103 000–154 000 ihmistä. Tällaisissa kouluissa ja päiväkodeissa on 172 000–259 200, hoitolaitoksissa 36 000–46 800 ja toimistoissa 27 500–55 000 henkeä.

SisäNyt-selvityksen (Salmela ym. 2019) perusteella merkittäviä sisäilmaongelmia esiintyi kuntien omistamissa peruskouluissa ja lukioissa 17,9 %; päiväkodeissa 11,0 %; sosiaali- ja terveystoimen rakennuksissa 13,0 %; toimistorakennuksissa 13,7 %; liikuntatiloissa, urheiluhalleissa, uimahalleissa jne. 5,2 % ja muissa kunnan palvelutiloissa (kirjastot, teatterit, museot jne.) 8,3 % rakennustyyppien kokonaisneliömäärästä.

Kosteus- ja homevauriot on arvioitu toiseksi merkittävämmäksi syyksi kunnissa sisäilmaongelmien taustalla (Pekkola 2011). Kuntakyselyn (Ung-Lanki ym. 2017) mukaan kunnista joka kymmenennessä arvioitiin, että kunnan kiinteistöissä ei ole ”vähäistä (alle 5 % pinta-alasta) merkittävämpiä” sisäilmaongelmia lainkaan ja noin puolessa kunnista ”vähäistä merkittävämpiä” ongelmia arvioitiin olevan 1–10 %:ssa kiinteistöjä. Valtaosassa kunnista koulujen sisäilmatilanne arvioitiin hyväksi ja ongelmien ajateltiin olevan hyvin hallinnassa. Toisaalta noin 10–30 %:ssa kuntia tilanne koettiin haastavammaksi tai jopa vaikeaksi. Tilanne oli parantunut vuoden 2011 kuntakyselystä (Pekkola ym. 2011).

Tutkimustietoa kosteus- ja homevauriokorjausten vaikutuksista sisäilman laatuun on rajallisesti. Tämä johtunee siitä, että korjauksia ei usein voida suunnitella ja toteuttaa tutkimusaikataulun sekä muiden tutkimusta rajoittavien tekijöiden mukaisesti. Kotien home- ja kosteusvauriokorjausten on todettu kuitenkin vähentävän aikuisten astman oireita ja hengitystieinfektioita (Sauni ym. 2015).

Suomessa on tehty koulurakennusten interventiotutkimuksia, joissa on seurattu sisäilman mikrobipitoisuuksien muutosta kosteusvauriokorjausten myötä. Tutkimusten mukaan perusteelliset kosteusvauriokorjaukset voivat vähentää elinkykyisten mikrobien pitoisuuksia sisäilmassa. Myös sisäilman mikrobisto muuttuu korjausten myötä (Lignell ym. 2007; Meklin ym. 2005; Roponen ym. 2013). Lisäksi myös muuntyyppiset korjaukset voivat vaikuttaa mikrobien pitoisuuksiin ja lajistoon. Esimerkiksi HOTES (Homeloukku ja terveys) -tutkimuksessa huonepölyn mikrobiston todettiin muuttuvan asuntojen kosteusvauriokorjauksien myötä (Jayaprakash ym. 2017). INSULAt-projektin tulosten perusteella kerrostaloasuntoihin laskeutuneen pölyn home- ja bakteeripitoisuudet alenivat energiaparannusten jälkeen (Du ym. 2016). Mikrobipitoisuuksien alenemisen arvioitiin voivan liittyä uusiin rakennusmateriaaleihin, siivoukseen tai muutoksiin ilmanvaihdossa tai rakenteiden toiminnassa.

Tampereen teknillinen yliopisto analysoi 47 koulurakennuksessa tekemiensä kosteusteknisten kuntotutkimusten tuloksia. Kirjatuista 969 vauriohavainnosta 438 luokiteltiin akuuteiksi vaurioiksi, joista noin 65 % oli vaakarakenteissa, yleisimmin maanvastaisessa alapohjassa (43 % vaurioista). Monessa tapauksessa merkittävät vauriot voitiin havaita jo aistinvaraisesti, mikä viittaa siihen, että niiden korjaamiseen herätään liian myöhäisessä vaiheessa. Korjausten onnistumisen arviointia pidettiin haasteellisena, koska usein korjaus onnistuu yhden, mutta epäonnistuu toisen mittarin mukaan (Annala ym. 2014).

Annilan ja muiden (2015) tutkimuksessa oli aineistona 25 rakennusta, jotka olivat käyttäjien kokemusten mukaan sisäilmaongelmaisina. Niistä kouluja oli 17, päiväkoteja 4, hoitoalan rakennuksia 2 ja muita rakennuksia 2. Vaurioita arvioitaessa niiden tuli täyttää vähintään yksi seuraavista kriteereistä:

1. Selvä aistien havaittava mikrobivaurio.
2. Korjaamaton akuutti vesivuoto, joka on haitallinen rakenteelle tai sen materiaaleille.
3. Rakennusmateriaali on pintakosteusmittauksen perusteella kostea, erittäin kostea tai märkä.
4. Porareikämittauksessa rakenteen suhteellinen kosteus on yli 80 %.
5. Rakenteesta otetussa materiaalinäytteessä esiintyy mikrobikasvua.

Tutkittujen rakennusten tiloista keskimäärin 33 %:ssa oli kriteerien mukaisia kosteus- ja mikrobivaurioita. Huonealasta (alapohjien ja välipohjien yhteenlasketusta pinta-alasta) oli vaurioitunut keskimäärin 11 %. Rakenteitten vaurioita esiintyi eniten maanvastaisissa seinissä (15 % seinämetreistä), alapohjissa (12 % pinta-alasta) ja yläpohjissa (9 % pinta-alasta). Pääosassa rakennuksista vauriot koskevat alle 5 %:n osuutta rakenteiden kokonaismäärästä.

Vuonna 2012 julkaistun Eduskunnan tarkastusvaliokunnan raportin ja vuoden 2019 SisäNyt-selvitysten lisäksi ei lähivuosina ole julkaistu kosteusvaurioiden ja sisäilmaongelmien yleisyyden osalta merkittävää uutta tietoa. Joitakin viitteitä on yleisesti sisäilmatilanteen paranemisesta. Esimerkiksi vuonna 2016 julkaistun kyselytutkimuksen mukaan koulujen sisäilmatilanne raportoitiin ylipäätään paremmaksi yli 75 %:ssa kyselyyn vastanneista kunnista (Ung-Lanki ym. 2017). Aikaisemman, vuonna 2011 tehdyn kyselyn mukaan ainoastaan 35 % vastanneista kunnista koki, että sisäilmaongelmat olivat heillä hallinnassa ja tilanne olisi paranemassa (Pekkola ym. 2011). Vuosina 2007 ja 2011 toteutettujen asumisterveyskyselyjen mukaan noin 10 % vastaajista raportoi tyytymättömyyttä sisäilman laatuun ja kosteus- tai homevaurioita sisäpinoilla / asunnon sisällä raportoi 5 - 7 % vastaajista (Anttila ym. 2013).

Muut altisteet

Sisäympäristön laatuongelmia on tutkittu Suomessa asunnoissa, toimistorakennuksissa, päiväkodeissa ja kouluissa. Tutkimuksissa on pääasiassa tehty erilaisia sisäilmamittauksia ja selvitetty kyselyin asukkaiden tai työntekijöiden terveydentilaa.

Asunnoissa sisäilma-ongelmien on arvioitu liittyvän usein lämpöoloihin ja ilmanlaatuun. Uusimpien tutkimusten mukaan usean asunnon lämpötila on talven lämmityskauden aikana pitkiäkin aikoja yli ”hyvän” lämpötilan ($> 21\text{ °C}$) ja vastaavasti suhteellinen kosteus on matala ($< 20\%$), kun taas kesällä suhteellinen kosteus sisäilmassa voi ajoittain nousta korkeaksi ($> 70\%$) (Järnström ym. 2006, Asumisterveysasetus 2015, Haverinen-Shaughnessy ym. 2016).

Yhdeksässä asuinrakennuksessa (7 kerrostaloa ja 2 pientaloa, rakennettu vuosina 1999–2003) mitattiin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC), formaldehydin ja ammoniakkin pitoisuudet heti rakennusten valmistumisen jälkeen sekä 6 ja 12 kuukauden jälkeen (Järnström ym. 2006). Kaikissa mitatuissa rakennuksissa oli käytetty M1-luokiteltuja materiaaleja eli vähäpäästöisiä materiaaleja. TVOC-pitoisuudet olivat suurimmillaan uusissa asunnoissa ($780\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$) ylittäen tämän hetkisen asumisterveysasetuksen (2015) toimenpiderajan ($400\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Liite 1). Pitoisuudet puolittuivat nopeasti, alle 6:ssa kuukaudessa. Vanhoissa asunnoissa TVOC- ja formaldehydipitoisuuksien toimenpiderajat ylittyivät vain harvoissa yksittäistapauksissa (Järnström ym. 2006, Du ym. 2016). Noetzelin ja Järnströmin (2019) mukaan noin kymmenen vuotta vanhoissa asunnoissa ei enää ole merkittäviä pitoisuuksia rakennusaikaisia VOC-yhdisteitä, mutta niissä voi olla mahdollisesti asumisesta peräisin olevia VOC-yhdisteitä kuten siloksaaneja ja terpeenejä.

INSULAt-projektissa mitattiin vuosina 2011–2015 peruskorjausikäisten suomalaisten kerrostaloasuntojen ($N = 241$) sisäympäristön laatua kuvaavia parametreja (Du ym. 2016, Turunen ym. 2016). Asuntojen sisäilman epäpuhtauspitoisuudet olivat pääsääntöisesti asumisterveysasetuksen (2015) toimenpiderajojen sisällä; rajat ylittyivät vain joissakin yksittäistapauksissa (Liite 2). Yhtenä INSULAt-projektin keskeisenä tuloksena havaittiin, että ainakin lyhyellä tähtäimellä rakennuksen energiatehokkuutta parannettaessa paranee myös sisäilman laatu, jos korjauksen yhteydessä huolehditaan ilmanvaihdon toiminnasta. Tulosten perusteella asunnoissa esiintyi tosin yllättävän korkeita sisälämpötiloja: lämmityskauden aikaiset sisälämpötilat ylittivät 23 °C keskimäärin 40 % ajasta. Säättämällä huonelämpötila noin 20 asteeseen voisi säästää tuntuvasti lämmityskustannuksissa ja samalla lisätä ilman suhteellista kosteutta, joka oli mitatuissa asunnoissa lämmityskauden aikana yleisesti ottaen varsin matala.

Hartikainen ja muut (2014) selvittivät puolihaihtuvien (SVOC) ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC) esiintymistä kahdeksan matalaenergiatalon ja kuuden tavanomaisen talon sisäilmasta. Näiden kahden ryhmän välillä ei havaittu juurikaan eroja SVOC-pitoisuuksissa, ja TVOC-pitoisuudet olivat normaalilla tasolla sekä matalaenergiataloissa ($44\text{--}560\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$) että verrokkitaloissa ($60\text{--}380\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Järnström ja muut (2019) tutkivat neljässä eri 2010-luvulla rakennetussa asuntokohteessa TVOC- ja TXIB- (2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidioli-di-isobutyraatti) pitoisuuksia. Osassa kohteita todettiin asumisterveysasetuksen toimenpidearvon, $10\text{ g}/\text{m}^3$, ylittävä TXIB-pitoisuus vielä yli kaksi vuotta kohteen valmistumisen jälkeen. Tutkimuksessa todettiin ilmanvaihtojärjestelmän tyypin voivan olla osasyynä korkeisiin TXIB-pitoisuuksiin. Järnströmin ja muiden (2019) mukaan vastaavia tuloksia ilmanvaihtojärjestelmän vaikutuksesta on havaittu myös toimisto- ja julkisissa rakennuksissa.

Leppänen ja muut (2016) selvittivät ilmanvaihdon yöaikaisen pysäyttämisen vaikutuksia TVOC-pitoisuuksiin kahdeksassa espoolaisessa koulurakennuksessa. Kouluissa ei ollut tutkimushetkellä merkittäviä sisäilmaongelmia. Yhdessä kouluista ilmanvaihto pidettiin päällä myös yöllä. Tulosten perusteella TVOC-pitoisuus oli päivällä 15–348 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ eli suurimmillaankin alle asumisterveysasetuksen (2015) toimenpiderajan (400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Yöllä pitoisuus oli seitsemässä koulussa 30–127 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja yhdessä koulussa 311–644 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Koulussa, jossa TVOC-pitoisuus oli suuri, havaittiin yksittäisistä yhdisteistä erityisesti terpeeniä ja happoja.

Vornanen-Winqvistin ja muiden (2015) tutkimuksessa pyrittiin selvittämään Helsingin ja Vantaan kaupunkien alle kymmenen vuotta vanhojen julkisten rakennusten sisäilmaongelmien syitä ja seurauksia. Tutkimus perustui sisäilmaselvitysraportteihin sekä tilakeskusten asiantuntijoiden haastatteluihin. Valtaosa kohteista oli kouluja ja päiväkoteja, joissa sisäilmaselvityksiä oli tehty käyttäjien valitusten vuoksi. Useissa kohteissa valitukset koskivat yksittäistä tilaa, esimerkiksi koululuokkaa, ja joissakin laajempaa osaa rakennuksesta. Tulosten perusteella havaitut ongelmat koskivat usein ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa (85 %:ssa kohteista), rakennusteknisiä puutteita tai kosteusvaurioita (85 %:ssa) ja kemiallisten yhdisteiden kohonneita pitoisuuksia tai häiritsevää hajua (69 %:ssa). Linoleumin hajua havaittiin 31 %:ssa kohteista.

Kyselytutkimusten tuloksia

Useissa kyselytutkimuksissa on selvitetty mm. rakennusten kuntoa, lämpöolosuhteita, ilmanvaihtoa sekä rakennusten käyttäjien raportoimia sisäympäristöhaittoja.

THL:n tekemien asumisterveyskyselyjen (Anttila ym. 2013) tulosten perusteella asukkaiden itsensä raportoimista ongelmista tyytymättömyyttä lämpötiloihin esiintyi erityisesti kesällä (vuonna 2007 tyytymättömiä oli 27 % ja vuonna 2011 55 %). Lisäksi vetoisuutta tai kylmiä lattiapintoja talvella oli 8–19 %:lla vastaajista. Eri kyselykerroilla sisäilman laatuun tyytymättömiä tai melko tyytymättömiä oli 8–11 % vastaajista ja kosteus- tai homevaurioita asunnon sisäpinoilla tai sisällä oli kyselyhetkellä 5–7 %:lla vastaajista. Yleisimpiä hajuhaittoja aiheuttivat ruoan haju (9 %), tunkkaisuus (6–9 %) sekä tupakan (5–7 %) ja viemärin (5–6 %) hajut. Homeen hajua raportoi vain noin 1 % vastaajista.

Rehtorikyselyn perusteella ilmanvaihto oli riittämätön 38 %:ssa kouluista, mikä viittaa siihen, että ilmanvaihdon riittämättömyyttä ei aina tiedosteta (Toyimbo ym. 2016a). Luokahuoneiden lämpöolosuhteet olivat epätyytyttäviä 11 %:ssa kouluista lämmityskaudella ja 18 %:ssa lämmityskauden ulkopuolella. Mitä tausten perusteella painovoimainen ilmanvaihto tai pelkkä koneellinen poistoilmanvaihto ei riittänyt turvaamaan asumisterveysasetuksen (2015) mukaista, riittävää ilmanvaihtoa kouluissa (Toyimbo ym. 2016b). Lisäksi ilmanvaihto oli riittämätön 48 %:ssa koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon kouluista. Oppilaat raportoivat sisäympäristöongelmia keskimäärin vähemmän kuin rehtorit. Wissin ja muiden (2014) selvityksen mukaan vuonna 2013 tehdyissä tarkastuksissa sisäympäristötekijöihin liittyviä puutteita havaittiin 36 %:ssa kouluista.

Opetusalan ammattijärjestön vuonna 2014 julkaisemien tulosten perusteella 55 % kyselytutkimukseen vastanneista 529 henkilöstä (155 kunnasta) raportoi rakennuksissa olevan kosteusvaurioita tai vesivahinkoja (Länsikallio ja Ilves 2014). Länsikallion ja Ilveksen (2014) selvityksen perusteella sisäilmaongelmia oli opetusalan henkilöstön tai vanhempien mukaan ollut kahden edellisen vuoden aikana kahdessa kolmasosassa päiväkoteja, peruskouluja ja lukioita. Ongelmista yleisimpiä olivat riittämätön ilmanvaihto (82 %) ja ilmanvaihtojärjestelmän toimintahäiriöt (62 %).

Vuonna 2017 lähetettiin oirekysely satunnaisotantana 20 000 opetusalan henkilölle, ja siihen vastasi 4 920 henkilöä (OAJ ja Turun yliopisto 2017). Kyselytulosten mukaan päivittäin tai viikoittain raportoiduista sisäilmaongelmista yleisimpiä olivat melu (58 %), riittämätön ilmanvaihto (52 %), tunkkainen (huono) ilma (54 %), havaittava pöly tai lika (41 %) sekä vaihteleva lämpötila tai veto (24 %). Noin 6 % vastaajista oli havainnut omissa työskentelytiloissaan kosteusvaurioita. Valtion työntekijöillä vastaava luku oli alle 3 %. Muissa kuin omissa työskentelytiloissa kosteusvaurion merkkejä raportoi alle 30 % opetushenkilöstöstä, kun valtiolla vastaava luku oli 14 %. Valtion työtiloissa tällaisia havaintoja oli ollut tutkimuksen mukaan aikaisemmin enemmän (21 %), mutta ne on ilmeisesti jo korjattu. Näidenkin tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että tilanne olisi jossain määrin parantunut.

Myös sairaaloissa ja hoitolaitoksissa esiintyy sisäympäristön laatuongelmia. Ilmanvaihdon taso voi vaihdella huomattavasti jopa saman rakennuksen sisällä. Sosiaali- ja terveysministeriö käynnisti vuonna 2003 selvitystyön sairaalarakennusten ja ilmanvaihtolaitteistojen kunnosta (Reijula 2005). Selvityksessä tutkittiin kymmenen keskussairaala tarkemmin: henkilöstölle jaettiin sisäilmastokysely ja sairaalarakennusten kunto ja ilmanvaihdon toimivuus arvioitiin. Kyselyyn vastasi 3 811 työntekijää (vastausprosentti 76 %). Eniten jatkuvaa sisäympäristöhaittaa koettiin kuivasta ilmasta (46 % vastanneista), tunkkaisesta ilmasta (40 %), melusta (30 %), vedosta (27 %) ja hajuista (26 %). Välitöntä korjaustarvetta arvioitiin olevan 15 %:ssa kaikista sairaaloiden tiloista, yleisimmin vuodeosastoilla (24 %). Lisäselvitystarvetta oli 22 %:ssa tiloista, yleisimmin toimenpide- ja vuodeosastoilla (23–28 %). Välittömään korjaustarpeeseen johtaneita syitä oli erityisesti kosteissa tiloissa. Kun selvityksen rakennus- ja IV-tekniikkien töiden kustannuksia yleistettiin koko maan keskussairaaloiden kokonaispinta-alaan, korjausvelkaa oli arviolta 373 miljoonaa euroa.

Hellgren ja muut (2011) tutkivat ilmanvaihtojärjestelmän kunnan ja toimivuuden vaikutuksia työntekijöiden oirekyselyssä raportointiin oireisiin ja sisäilman laatuun 30 sairaalarakennuksessa. Kymmenestä sairaalarakennuksesta tutkittiin ilmanvaihdon toimintaa tarkemmin. Tutkimusten mukaan ilmanvaihtojärjestelmät olivat kunnossa, toimivia ja ajan tasalla 40 %:ssa tutkituista kymmenestä sairaalarakennuksesta. Näissä sairaaloissa esiintyi vähemmän koettuja sisäilmaongelmia ja oireita kuin niissä neljässä sairaalassa, joissa tilanne oli päinvastainen. Kahden sairaalan tilanne arvioitiin kohtalaiseksi ilmanvaihdon osalta.

Tehyn vuonna 2016 kaikille jäsenilleen lähettämässä kyselytutkimuksessa joka viides vastaajista ilmoitti näkyviä merkkejä kosteusvauriosta omissa työtiloissaan (Putus ja Vilén 2017). Vajaalla 30 %:lla vastaajista oli vastaavia havaintoja muualta, ja 11 %:lla oli ollut kosteusvauriohavaintoja työpaikallaan aikaisemmin. Yli puolet vastaajista koki vähintään viikoittaista haittaa kuivasta sisäilmasta, tunkkaisuudesta ja riittämättömästä ilmanvaihdosta; vedosta, vaihtelevasta lämpötilasta sekä epämiellyttävästä hajusta koki haittaa noin kolmannes ja homeen ja viemärin hajusta neljännes vastaajista. Kyselyyn vastasi yhteensä 13 560 työntekijää (vastausprosentti 8,5 %) sairaaloista, terveyskeskuksista ja muista hoitolaitoksista.

Ilmanvaihdon ja rakenteiden tiiviyden vaikutus sisäilman epäpuhtauspitoisuuksiin

HealthVent (Health-Based Ventilation Guidelines for Europe) -projektissa arvioitiin mahdollisuuksia alentaa sisäilman aiheuttamaa tautitaakkaa. Tarkastelussa olivat mukana asunnoissa altistuminen pienhiukkasil- le (PM_{2,5}), ulkoilman bioaerosolit, VOC, hiilimonoksidi, radon ja kosteusvauriot. Asikainen ja muut (2016) esittivät HealthVent-projektin osana 26 EU-maan mallinnetut ilmanvaihtokertoimet (ACR), huomioiden maiden väliset ilmastolliset ja ekonomiset eroavaisuudet. Arvion perusteella Suomessa keskimääräinen ACR oli 0,7 h⁻¹ (mediaani 0,5 h⁻¹ ja geometrinen keskijajonta 0,3–1,0 h⁻¹). Henkilöä kohti vastaava luku oli 17 l/s (14 ja 7,5–26,3 l/s). Näiden arvioiden perusteella ilmanvaihto olisi vähintään riittävä.

Terveysvaikutuksista arvioitiin tautitaakkaa eli menetettyjä elinvuosia väestössä. Tautitaakaan sisältyivät astma, sydän- ja verisuonisairaudet, akuutti toksisuus, hengitystieinfektiot, keuhkosityöpä ja krooninen keuhkohtauma. Arvion mukaan Suomessa tautitaakasta noin puolet johtuisi sisälähteistä peräisin olevista altisteista. Prosentuaalisesti suurimman tautitaakan aiheuttivat ulkoilman pienhiukkaset (50 %), ja sitä seurasivat sisäilman pienhiukkaset ja radon (16 %), bioaerosolit (siitepöly) (6 %) sekä kosteusvauriot (3 %). Kosteusvaurioiden pienehköä osuutta voi osaltaan selittää käytetty yleisyysarvio, joka perustui kyselytutkimukseen (Eurostat).

HealthVent-projektissa tehdyn arvion perusteella tehokkain keino parantaa terveysvaikutuksia on epäpuhtauslähteiden poisto sisätiloista; ulkoilman suodatus on toiseksi tehokkain ja ilmanvaihdon parantaminen kolmanneksi tehokkain keino. Huomattavaa on, että ilmanvaihdon tehostamisen vaikutus perustui projektissa nykyistä matalampaan ilmanvaihtoon (optimaalinen taso arvion mukaan 4,4 l/s henkilöä kohti). Suurempi ilmanvaihtokerroin (ilman suodatusta) lisää tautitaakkaa, sillä silloin ulkoilman pienhiukkassaltistus usein kasvaa. Paras lopputulos saavutetaan menetelmien yhdistämisellä: jos sisälähteitä ei saada poistettua tai päästöjä ei saada rajoitettua hyväksyttävälle tasolle, on ilmanvaihtoa tehostettava. Myös ulkoilman suodatus voi olla tarpeen. Altistukseen vaikuttavia tekijöitä ovat ulkoilman lähteet, ulkoilman epäpuhtauk-

sien suodattuminen sisäilmaan, sisälähteet ja ilmanvaihto. Kaikkien näiden tekijöiden tehokas hallinta on ainoa keino varmistaa terveellinen sisäilma kaikissa tilanteissa (Hänninen ym. 2013a).

Asuinrakennusten ilmatiiviyteen on alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota kiristyneiden energiatehokkuusvaatimusten myötä. Tämä johtuu siitä, että kasvaneiden eristepaksuuksien vuoksi rakenteiden ulkososat ovat kylmempiä kuin aiemmin, joten sisältä ulospäin kulkevat ilmavuodot aiheuttavat entistä helpommin kosteuden tiivistymistä rakenteisiin. Toisaalta hyvä ilmatiiviyys pienentää rakenteiden läpi ulkoa sisäänpäin tulevien epäpuhtauksien, kuten pienhiukkasten ja radonin määrää. Sisälähteistä peräisin olevien epäpuhtauksien osalta tilanne voi kuitenkin olla päinvastainen, mikäli riittävästä ilmanvaihdosta ei huolehdita hallitusti.

Tutkimusten mukaan uusien asuinrakennusten ilmatiiviyys onkin parantunut huomattavasti (Jokinen ja Jussila 2015, Heikari 2013). Esimerkiksi vuosina 2012–2015 Suomessa mitattujen pientalojen rakennusvaipan ilmanvuotoluku (q_{50}) oli keskimäärin $1,3 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$. Tiiveimpiä olivat rivitalot, joiden keskiarvo oli $1,1 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$: epätiivimpien 1,5-kerroksisten pientalojen ilmanvuotoluku oli keskimäärin $2 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$. Aikaisemmin julkaistun raportin mukaan (Vinha ym. 2005) noin sadan uuden pientalon otoksessa (keskikä alle 5 vuotta) rakennuksen ilmavuotoluku (n_{50}) oli keskimäärin $3,9 \text{ l/h}$ (vaihteluväli $0,5\text{--}8,9 \text{ l/h}$). Vanhojen rakennusten lämmöneristävyyttä ja ilmatiiviyttä parannettaessa esimerkiksi energiaparannusten yhteydessä on erityistä huomiota kiinnitettävä rakenteiden kosteustekniseen toimintaan sekä ilmanvaihdon toimivuuteen uusien vaurioiden ja epäpuhtauspitoisuuksien kasvun välttämiseksi (Vinha ym. 2013, Turunen ym. 2016).

Sisäympäristökysymykset mediassa

Kosteus- ja homevaurioiden määrällistä ja laadullista uutisointia mediassa on käsitelty pro gradu -tutkielmassa (Kalsi 2017). Kokonaisuutena havaittiin, että kosteus- ja homevauriot ovat olleet esillä mediassa koko kahdenkymmenen vuoden tarkastelujakson ajan. Vuosien 2006 ja 2016 kirjoitusten teemat olivat pysyneet merkittävässä määrin samanlaisina. Sisällöllisesti vuonna 2016 kirjoitukset olivat laajempia ja tarkastelivat asiaa useammalta eri näkökannalta kuin vuosikymmen aikaisemmin. Lisäksi mielipidekirjoittelu oli merkittävästi aktiivisempaa. Kirjoitusten sävy oli omakohtaisempaa ja kriittisempää. Julkinen sektori sai osakseen runsaasti arvostelua kosteus- ja homevaurioiden korjauksista. Eniten uutisointia oli yksittäisistä rakennusten todetuista kosteus- ja homevaurioista. Syyllisyys ja vastuuasiat esiintyivät yleisesti vaurioutusten yhteydessä.

Vuonna 2016 uutisoinnin pääpaino oli erityisesti terveysvaikutuksissa. Tilaa oli annettu myös yksittäisten henkilöiden oirekuvauksille. Kirjoituksissa oli esillä kosteus- ja homevaurioiden terveysvaikutukset, mutta samalla asiantuntijat toivat esille lisätutkimuksen tarpeet. Kirjoitukset painoutuivat etenkin ylähengitystieoireisiin, ja astmariskin kohoaminen nostettiin esiin. Yksittäisten henkilöiden oirekuvauksissa oireiden kirjo oli tyypillisesti laajempi. Osassa terveysvaikutuksia käsittelevistä kirjoituksista sävy oli draamatisempi. Toisaalta mielipidekirjoituksissa tuotiin esille näkökulmia, joiden mukaan kosteus- ja homevaurio-ongelmia korostetaan Suomessa ehkä liiallisesti.

Opastus- ja neuvontatyypiset kirjoitukset erottuivat omana ryhmänään. Tieteellisen tiedon lisääntyminen näkyi selvästi kirjoituksien laajuudessa ja sisällössä. Vuonna 2016 opastus- ja neuvontatyypiset kirjoitukset paneutuivat laajemmin aihealueeseen ja olivat myös sisällöltään laajempia kuin vuosikymmen aiemmin. Asiantuntijoiden lisäksi oli kuultu altistuneiden ja oireilevien näkökantoja. Haastateltavien ammattiryhmistä edustettuina olivat etenkin arkkitehdit ja professorit. Myös maantieteellisiä eroja oli havaittavissa.

Sisäympäristön altisteet Pohjoismaissa

Pienhiukkaset

WHO:n raportin (2005) mukaan ulkoilman hengitettävien hiukkasten PM₁₀-pitoisuuksien vuosikeskiarvot Euroopassa ovat 20–70 µg/m³. Ennen vuosituhannen alkua pitoisuudet pienenevät, mutta niiden on arvioitu lähteneen uudelleen nousuun, mihin voi osaltaan vaikuttaa muuttuvat sääolosuhteet. Vuosituhannen alussa pohjoismaisista kaupungeista mitattujen PM₁₀-pitoisuuksien vuosikeskiarvojen perusteella pitoisuudet olivat 15–50 µg/m³. Viitearvot PM₁₀-pitoisuuksille on 25 µg/m³ (vuosi) tai 50 µg/m³ (24h) ja vastaavasti PM_{2,5}-pitoisuuksille 10 µg/m³ (vuosi) ja 25 µg/m³ (24h) (WHO 2005). Vuonna 2004 ulkoilman pienhiukkasten PM_{2,5}-pitoisuudet vaihtelivat Pohjoismaissa 11 µg/m³ ja 21 µg/m³ välillä taustapitoisuuksien ollessa 11–13 µg/m³ maaseudulla, 15–20 µg/m³ kaupungissa ja 20–30 µg/m³ vilkasliikenteisillä alueilla (World Bank 2007).

Uusimman tiedon mukaan (WHO 2018) PM₁₀-pitoisuuksien vuosikeskiarvot ovat Suomessa ja Islannissa alle 20 µg/m³, Ruotsissa ja Norjassa pääasiassa alle 20 (<30) µg/m³ ja Tanskassa 20–<30 µg/m³. Vastaavasti PM_{2,5}-vuosikeskiarvot ovat Suomessa, Norjassa ja Ruotsissa alle 10 µg/m³, Islannissa, Tanskassa ja eteläisessä Ruotsissa 10–<15 µg/m³. PM_{2,5}-pitoisuudet ovat olleet pienempiä ja tasaisemmin jakautuneita kuin PM₁₀-pitoisuudet. EXPOLIS-tutkimuksessa mitattiin asuntojen sisäilman pienhiukkasten PM_{2,5}-pitoisuuksia Helsingin lisäksi kolmessa muussa eurooppalaisessa suurkaupungissa vuosien 1996–2000 aikana. Tutkimus osoitti, että sisäilman pienhiukkasten PM_{2,5}-pitoisuudet vaihtelivat suuresti eri kaupunkien välillä ollen Suomessa pienimmät (Hänninen ym. 2004). Sisätiloissa tapahtuvassa pienhiukkassaltistuksessa voi kuitenkin olla paikallisia eroja, jotka johtuvat erilaisesta rakennus- ja ilmanvaihtotekniikasta. Näihin eroihin liittyviä vertailukelpoisia tietoja on hyvin rajallisesti. Verrattaessa Suomen tilannetta Pohjoismaihin, on Pohjoismaissa pienhiukkasten aiheuttama tautitaakka arviolta samaa suuruusluokkaa ja maa-ilmanlaajuudesta kaiken kaikkiaan matalimmalla tasolla (WHO 2016).

Joissakin Pohjoismaisissa tutkimuksissa on tarkasteltu tiettyyn rakennustyyppiin liittyviä pienhiukkaspitoisuuksia. Esimerkiksi toimistorakennuksissa tehdyssä monikansallisessa tutkimuksessa kerättiin tietoa 1990-luvun alkupuolella 56 toimistorakennuksesta yhdeksästä Euroopan maasta (Bluyssen ym. 1996), myös Suomesta, Tanskasta ja Norjasta. Mittausten perusteella hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) pitoisuus toimistoissa oli Norjassa 20 µg/m³, Suomessa 51 µg/m³ ja Tanskassa 61 µg/m³ ja muissa maissa se vaihteli 20:n ja 181 µg/m³:n välillä. Viitearvona käytettiin silloista 120 µg/m³ (WHO 1987). Cacho ym. (2013) mukaan PM₁₀-pitoisuudet vaihtelevat Eurooppalaisissa toimistoissa 7:n ja 180 µg/m³:n ja PM_{2,5}-pitoisuudet 5:n ja 60 µg/m³:n välillä. Vastaavasti Mandin ym. (2017) raportoivat PM_{2,5}-pitoisuuden vaihtelevan toimistoissa 2,7:n ja 32 µg/m³:n välillä riippuen vuodenajasta.

Islantilaisessa tutkimuksessa mitattiin koulujen PM₁₀-pitoisuuksia (Helsing 2009). Tulosten perusteella keskiarvopitoisuus tutkituissa luokissa oli 40 µg/m³ (6–162 µg/m³). Lähes kaikkien tutkimuksessa mukana olleiden koulujen pitoisuudet ylittivät 20 µg/m³.

Tanskalaisessa tutkimuksessa mitattiin ultrapienien hiukkasten (10–300 nm) lukumääräpitoisuutta 56 asunnossa (Bekö ym. 2013). Suurimmat pitoisuudet mitattiin asukkaiden ollessa kotona ja hereillä (geometrinen k-a $22,3 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$), ja pitoisuudet olivat pienimmillään, kun asukkaat olivat poissa (geometrinen k-a $6,1 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$) tai nukkuivat (geometrinen k-a $5,1 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$). Ajankäytön seurantapäiväkirjojen perusteella asukkaiden toiminnot nostivat pitoisuutta, ja se jatkui useita tunteja toimintojen jälkeen. Integroitu päivittäinen altistus oli $37 \times 10^3 - 6,0 \times 10^6$ hiukkasta per $\text{cm}^3 \cdot \text{h}$, ja noin 90 % kokonaisaltistuksesta tapahtui kello 6–24. Merkittävimmät altistusta lisäävät toimenpiteet liittyivät kynttilöiden polttoon, ruuanlaittoon ja leivän paahattamiseen, jotka selittävät keskimäärin 51 % altistuksesta.

Radon

Pohjoismaisten asuntojen, koulujen ja päiväkotien sekä toimistojen radonpitoisuuksia on mitattu useissa eri tutkimuksissa.

Tutkimusten mukaan asuntojen radonpitoisuudet ovat Suomessa (100 Bq/m^3) keskimäärin samalla tasolla kuin Ruotsissa ja Norjassa (90 Bq/m^3 ja 110 Bq/m^3) (JRC 2018). Tanskassa radonpitoisuudet (50 Bq/m^3) ovat selkeästi pienempiä ja Islannissa pitoisuudet ovat vulkaanisen kallioperän takia pieniä ja siksi myös radonmittausten määrä on vähäinen.

Arvion mukaan toimenpiderajan 200 Bq/m^3 ylittäviä asuntoja vuonna 2009 (JRC 2009) oli noin 200 000 Suomessa, 450 000 Ruotsissa, 170 000 Norjassa ja 65 000 Tanskassa. Suomessa 60 000 asuntoa ja Tanskassa 5 000 asuntoa ylitti toimenpiderajan 400 Bq/m^3 . Ruotsissa tehdyn tuoreemman arvion mukaan radonpitoisuus ylittää kansallisen toimenpidearvon noin 400 000 asunnossa, mikä vastaa noin 10 %:a väestöstä (Folkhälsomyndigheten 2017). Vuonna 2010 Tanska laski kansallisen toimenpiderajan uusissa asunnoissa radonin osalta 100 Bq/m^3 . Bäuner ym. (2013) tulosten mukaan 7 % tutkituista tanskalaisista asunnoista ylitti uuden kansallisen toimenpidearvon 100 Bq/m^3 pitoisuuksien ollessa muuten matalat (mediaani $36,8 \text{ Bq/m}^3$). Aiemmassa Tanskalaisessa tutkimuksessa (Andersen ym. 1997) pientalojen radonpitoisuudet vaihtelivat välillä $12\text{--}620 \text{ Bq/m}^3$.

Koulujen ja päiväkotien osalta Ruotsissa kansallinen toimenpidearvo ylittyi arviolta 16 %:ssa koulu- ja päiväkotirakennuksista ja Norjassa vuosina 1996–1998 noin 9 % päiväkodeista ylitti radonpitoisuuden 200 Bq/m^3 ja 3 % ylitti 400 Bq/m^3 radonpitoisuuden keskiarvon ollessa 88 Bq/m^3 (STUK ym. 2009). Suomessa vuosien 2014–2015 seurannassa 2 % päiväkodeista ylitti kansallisen toimenpidearvon 400 Bq/m^3 . Vastavasti toimenpidearvo ylittyi 11 %:ssa mitatuista kouluista Suomessa.

Kosteusvauriot

Uusimman arvion mukaan (Eurostat 2019) kosteusvaurioisten rakennusten osuus kaikista kotitalouksista Euroopassa vaihteli vuonna 2018 Suomen alle 5 %:sta Portugalin noin 31 %:iin. Kosteusvaurioita esiintyi Pohjoismaista vähiten Suomessa (alle 5 %), eniten Tanskassa ja Islannissa (yli 15 %). Ruotsissa ja Norjassa kosteusvaurioita oli alle 10 %:ssa rakennuksista. Muiden tutkimusten mukaan Euroopan maissa kosteusvaurioita on 2–85 %:ssa asunnoista; erot johtuvat mm. ilmastosta sekä käytetyistä aineistoista, menetelmistä ja määrittelmistä. Erojen vuoksi eri maiden tilanteiden vertaaminen on vaikeaa. Euroopan alueen asuntojen kosteusvaurioiden yleisyydeksi havaittiin keskimäärin 17 %, kun 31 maan tiedot koottiin yhteen ja aineistojen koko otettiin huomioon. (Haverinen-Shaughnessy 2012a). Erityyppisistä vaurioista vesivahinkoja oli 10 %, homevaurioita 10 % ja muuntyyppisiä kosteusvaurioita (ml. korkeaan ilmankosteuteen liittyvät vauriot) keskimäärin 12 %. Lisäksi erityisesti homevaurion yleisyysarvioihin vaikutti merkittävästi tarkastelun aikajänne (tarkastelussa mukana sekä tutkimushetkellä havaitut vauriot että edellisten 12 kuukauden aikana esiintyneet vauriot) sekä käytetty tutkimusmenetelmä (kyselytutkimus vs. tutkijan tekemät havainnot). Ilmastollisesti tarkasteltuna vaurioita esiintyi merkittävästi vähemmän kylmemmillä alueilla. Myös koulurakennusten tutkimukset ovat johtaneet samantyyppisiin johtopäätöksiin HITEA (Health Effects of Indoor Pollutants: Integrating microbial, toxicological and epidemiological approaches) -tutkimuksessa: ilmasto vaikuttaa sekä vaurioiden yleisyyteen että siihen, minkä tyyppisiä vaurioita rakennuksissa esiintyy (Haverinen-Shaughnessy ym. 2012b).

Myös aikaisemmissa kyselytutkimuksissa asukkaat raportoivat kosteusvaurioita Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa ja Islannissa enemmän kuin Suomessa. Monikansallisessa ECRHS II -seurannassa oli mukana 48 keskusta 23 maasta, ja joukossa olivat myös Ruotsi (Göteborg, Uppsala ja Uumaja) sekä Islanti (Reykjavik). Keskuksissa kerättiin tietoa asukkaiden raportoimista (400–500 asuntoa/keskus) ja tutkijan havaitsemista (148–170 asuntoa/keskus) kosteus- ja homevaurioista vuosien 1998–2002 aikana (Norbäck ym. 2017). Tutkimuksen mukaan kosteus- ja homevauriot olivat yleisempiä Keski- ja Etelä-Euroopassa kuin esimerkiksi Pohjoismaita edustavassa Ruotsissa. Asukkaista noin 7–11 % raportoivat kosteusjälkiä Ruotsissa ja 21 % Islannissa, kun taas tutkijat havaitsivat kosteusjälkiä 2–15 %:ssa asunnoista Ruotsissa ja 26 %:ssa Islannissa. Näkyvää hometta raportoitiin 4–10 %:ssa asunnoista Ruotsissa ja 6 %:ssa Islannissa, tutkijan havaitsemina 2–6 % Ruotsissa ja 4 % Islannissa. Vesivahinkoja tutkimusta edeltävän 12 kuukau-

den aikana raportoitiin 5–7 % Ruotsissa ja 12 % Islannissa. Alueelliset erot olivat yhteydessä ilmastoon sekä rakennusten ikään: kylmemmillä alueilla vaurioita esiintyi vähemmän kuin lämpimillä ja runsassateisilla alueilla. Myös rakennuksen korkea ikä oli vaurioiden riskitekijä.

Ruotsissa vuosituhaten alussa tehdyn laajan DBH-tutkimuksen mukaan näkyvää hometta tai kosteusvaurioita oli noin 1 %:ssa pientalo- ja 2 %:ssa kerrostaloasunnoista, lattioiden kosteusongelmia esiintyi vastaavasti 7 %:ssa ja 14 %:ssa ja kosteuden tiivistymistä ikkunoihin 13 %:ssa ja 17 %:ssa pien- ja kerrostaloasunnoista. Homeen hajua esiintyi 4 %:ssa ja 6 %:ssa asunnoista (Bornehag ym. 2004). Tutkijat tekivät kosteusvauriotarkastukset jatkotutkimuksiin valituissa kodeissa. Tulosten perusteella tutkijoiden havainnot poikkesivat huomattavasti asukkaiden kuvaamista ongelmista.

Ruotsin asuntoviraston (Boverket 2009) arvion mukaan 66 %:ssa kaikista maan asuinrakennuksista on jonkinasteinen rakennustekninen tai kosteusvaurio. Pientaloista noin 70 % kärsii vaurioista, kun taas kerrostaloissa vastaava määrä on noin 40 %. Tyypillisesti vauriot johtuvat muun muassa pintavaurioista, vesivuodoista, puutteellisesta salaojituksesta, rakennuksen painumisesta johtuvista vaurioista, korroosiosta sekä halkeamista ja muista mekaanisista vaurioista. Näistä vaurioista suurinta osaa ei kuitenkaan luokitella vakavaksi. Kyseisistä vaurioista noin 45 % on kosteusvaurioita.

Ruotsin BETSI (Bebyggelsens energianvändning, tekniska status och innemiljö) -kyselytutkimuksessa (2007–2008) selvisi, että kosteus- ja vesivaurioita on tapahtunut 9 %:ssa kerrostaloasunnoista ja 15 %:ssa pientaloista. Vastaavasti uusissa pientaloissa kosteus- ja vesivaurioita on havaittu 7 %:ssa rakennuksista. Kyseisen tutkimuksen perusteella yhteensä 29 ± 5 %:ssa rakennuksista oli hometta, homeen hajua tai kohonneita kosteuspitoisuuksia (Boverket 2009).

Vuonna 2013 julkaistun raportin mukaan 11 % ruotsalaisista perheistä asui asunnossa, jossa oli havaittu kosteusvaurioita, näkyvää hometta tai homeen hajua (IMM ja Karolinska Institutet 2013). Uudemman raportin mukaan vuonna 2017 kosteusvaurioita, näkyvää hometta tai homeen hajua esiintyy 19 %:ssa asunnoista (Folkhälsomyndigheten ja Karolinska Institutet 2017). Ruotsin asuntoviraston (Boverket) ja energiviraston (Energimyndigheten) (2007) mukaan noin 40 %:ssa kouluista esiintyy kosteusvaurioita tai niissä on riittämätön ilmanvaihto.

Norjassa tehdyissä tutkimuksissa kosteusvaurioita on esiintynyt 27–50 %:ssa tutkituista asunnoista (Becher ym. 2017, Gunnbjørnsdottir ym. 2006, Holme ym. 2008).

Tanskassa tehtiin vuonna 2000 tutkimus (Miljøfaktorer i danskernes hverdag), jonka osana lähetettiin kysely noin 5 800 asukkaalle. Tulosten mukaan itse havaittuja kosteusjälkiä tai näkyvää hometta raportoitiin olevan noin 18 %:ssa asunnoista. Vastaajista noin 18 %:lla oli ollut kodissa kosteusvaurio, joista korjaamatta oli vielä 36 %. Toisessa tutkimuksessa asukkaiden mukaan homevaurioita esiintyi 22 %:ssa rakennuksista, kuntoarvion perusteella havaittuja vaurioita oli 13 %:ssa (Gunnarsen 2001). Vastaavasti itse raportoituja kosteusvaurioita havaittiin 18 %:ssa rakennuksista (Keiding 2003).

Kosteusvaurioita esiintyi Pohjoismaista vähiten Suomessa, eniten Tanskassa ja Islannissa (Eurostat 2019). Kyselytutkimusten perusteella asukkaat raportoivat kosteusvaurioita Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa ja Islannissa enemmän kuin Suomessa. Tutkijan havaitsemia vaurioita on vuosituhaten alussa tehdyissä tutkimuksissa esiintynyt Ruotsissa ja Tanskassa alle 15 %:ssa ja Islannissa reilussa 25 %:ssa asunnoista. Ruotsissa vuosina 2007–2008 tehdyn BETSI-tutkimuksen kosteusvauriokuntoarvioiden mukaan 30 % omakotitaloista ja 10 % kerrostaloasunnoista kärsii kosteus- ja homevaurioista (Boverket 2009). Vaikka em. arviot ovat korkeampia kuin viimeaikaiset arviot merkittävistä asuntojen kosteusvaurioista Suomessa, eivät luvut välttämättä ole vertailukelpoisia käytettyjen määritelmien eroista johtuen.

Muut altisteet

Tutkimusten mukaan rivi- ja kerrostaloasunnoissa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC) vaihtelee Suomessa $139\text{--}356 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Ruotsissa $143\text{--}310 \mu\text{g}/\text{m}^3$ välillä (Boverket 2009, Langer ym. 2013, Du ym. 2016). Mitatut formaldehydipitoisuudet olivat Ruotsissa noin neljäsosa WHO:n raja-arvosta $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Boverket 2009) typpidioksidipitoisuuksien vaihdella $6\text{--}10 \mu\text{m}/\text{m}^3$ välillä ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3 / 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, WHO 2005). INSULAt-projektin (Du ym. 2016) perusteella formaldehydipitoisuuksien medi-

aanit suomalaisissa kerrostaloasunnoissa olivat $18,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ennen energiaparannuksia ja $16,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ niiden jälkeen eli samaa suuruusluokkaa kuin ruotsalaisissa asunnoissa, kun taas NO_2 -pitoisuudet olivat suomalaisissa asunnoissa hieman pienempiä (n. $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ruotsissa epäpuhtauksien pitoisuudet olivat passiivi- ja tavanomaisissa taloissa seuraavanlaiset: NO_2 -pitoisuus oli 10 ja $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, formaldehydi 11 ja $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sekä TVOC-pitoisuus 270 ja $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Langer ym., 2015). Tulosten perusteella passiivitalojen formaldehydipitoisuudet olivat pienemmät, mutta TVOC-pitoisuudet suuremmat kuin tavanomaisissa taloissa. Hartikaisen ja muiden (2014) mukaan Suomessa TVOC-pitoisuudet vaihtelivat matalaenergiataloissa $44\text{--}560 \mu\text{g}/\text{m}^3$ välillä ja verrokkitaloissa $60\text{--}380 \mu\text{g}/\text{m}^3$ välillä.

Järnströmin ja muiden (2006) mittausten perusteella formaldehydipitoisuudet olivat suomalaisissa uudiskohteissa suuremmat (keskiarvot $19\text{--}26 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kuin ruotsalaisissa kohteissa. TVOC-pitoisuudet olivat suomalaisissa koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon kohteissa samaa suuruusluokkaa kuin ruotsalaisissa tavanomaisissa taloissa ja pelkän koneellisen poiston kohteissa huomattavasti suuremmat ($> 350 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Kouluja ja päiväkoteja sekä toimistoja on tutkittu Pohjoismaissa jonkin verran muun muassa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden osalta. TVOC-pitoisuudet kuudessa ruotsalaisessa peruskoulussa (36 luokkahuoneessa) olivat $100\text{--}230 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Norback ym. 1995). Kun TVOC-pitoisuutta tutkittiin 10 koulussa, joissa ei ollut raportoitu sisäilmaongelmia, mediaanipitoisuus oli $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Niissä 11 koulussa, joissa oli raportoitu SBS- (Sick Building Syndrome-) oireita, mediaanipitoisuus oli $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eli alhaisempi. Ulkoilman pitoisuus oli keskimäärin $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Päiväkodeissa TVOC-pitoisuuksien keskiarvo oli $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Willers ym. 1996). Suomalaisissa kouluissa Leppäsen ja muiden (2016) mukaan TVOC-pitoisuudet vaihtelivat $15\text{--}644 \mu\text{g}/\text{m}^3$ välillä.

Salonen (2009) raportoi suomalaisissa toimistorakennuksissa sisäilman TVOC-pitoisuuden vaihtelevan vuodenajan mukaan 80 ja $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ välillä. 1990-luvun alkupuolella tehdyssä toimistorakennuksia koskevassa tutkimuksessa (Bluyssen ym. 1996) TVOC-pitoisuuden keskiarvo oli Suomessa $118 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Norjassa $528 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja Tanskassa $146 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pohjoismaissa sisäilman laatuun tyytymättömien vastaajien osuus oli suurin Norjassa (noin 40 %); Suomessa ja Tanskassa tyytymättömiä oli kyselyhetkellä alle 20 %. Asiantuntijapaneelin arvioima sisäilman laatu oli Suomessa ja Norjassa hieman keskimääräistä parempi ja Tanskassa hieman keskimääräistä huonompi. Mitatuista sisäilmatekijöistä hiilidioksidipitoisuudet olivat kauttaaltaan pienet, ja keskimääräiseksi ilmanvaihdon määräksi arvioitiin noin 25 l/s henkilöä kohti, mikä ylittää selvästi suositukset. Sisäilman lämpötila oli Suomessa keskimääräisellä tasolla (noin 22°C), kun taas suhteellinen kosteus oli Norjan ohella muita maita alhaisempi ($\text{RH} < 20\%$). Melun osalta Suomi oli kaikista maista alhaisimmalla tasolla (39 dB).

Ilmanvaihto

DBH-tutkimuksen mukaan tunkkaisuutta on ruotsalaisista pientaloasunnoista 22 %:ssa ja kerrostaloasunnoista 43 %:ssa; kuivaa sisäilmaa on vastaavasti 17 %:ssa ja 34 %:ssa (Bornehag ym. 2004). Sisäilmaongelmia raportoitiin yleisimmin asunnoissa, joissa oli painovoimainen ilmanvaihto (Hägerhed ym. 2002). Jatkotutkimusten perusteella asuntojen ilmanvaihto alitti kansallisen vaatimustason ($0,5 \text{ l/h}$) noin 60 %:ssa kerrostalo- ja 80 %:ssa pientaloasuntoja. Vuonna 2007 kerätyn aineiston perusteella ilmanvaihtokertoimen mediaani oli alhaisempi pientaloissa ($0,33 \text{ h}^{-1}$) kuin kerrostaloissa ($0,47 \text{ h}^{-1}$), ja edelleen noin 80 % pientaloista alitti $0,5 \text{ h}^{-1}$:n vaatimuksen (Langer ym. 2013). Toisessa tutkimuksessa (Langer ym. 2015) mitattiin sisäilman laatua uudisrakennuksissa, joista 20 oli passiivitaloja ja 21 tavanomaisesti rakennettuja taloja. Ilmanvaihtokertoimen mediaani oli hieman korkeampi passiivitaloissa ($0,68 \text{ h}^{-1}$ vs. $0,60 \text{ h}^{-1}$).

Vuonna 1998 julkaistun norjalaisen tutkimuksen mukaan Oslossa 344 asunnon kokonaisilmanvaihtokertoimista 36 % alitti $0,5 \text{ h}^{-1}$ (Øie ym. 1998). Lisäksi uudemmissa asunnoissa havaittiin laskeva trendi, jonka arveltiin johtuvan energiatehokkuutta suosivista uusista rakennusmääräyksistä ja -tavoista. Mittaukset tehtiin passiivisella merkkiainemenetelmällä.

Tanskalaisen radontutkimuksen yhteydessä mitattiin 117 yksikerroksisen pientalon ilmanvaihtokertoimet passiivisella merkkiainemenetelmällä (Andersen ym. 1997). Kaikissa taloissa oli painovoimainen ilmanvaihto. Mittausten perusteella vaihteluväli oli $0,16\text{--}0,96 \text{ h}^{-1}$ ja geometrinen keskiarvo $0,34 \text{ h}^{-1}$. Tuo-

reemmassa IECH-tutkimuksessa (Bekö ym. 2010) mitattiin yöaikaisen ilmanvaihdon riittävyttä 500:ssa lasten makuuhuoneessa (CO₂ merkkiaineena): geometrinen keskiarvo oli 0,46 h⁻¹ ja noin 57 %:ssa kohteista ilmanvaihtokerroin alitti 0,5 h⁻¹:n vaatimuksen.

Suomessa INSULATE-projektin osana mitattiin peruskorjausikäisten kerrostaloasuntojen ilmanvaihtokertoimien mediaaniksi noin 0,4 h⁻¹ sekä ennen peruskorjausta että peruskorjausten jälkeen, mikä viittaa siihen, että yli 50 %:ssa asunnoista ilmanvaihtokerroin on alle 0,5 h⁻¹.

Yhteenvedona asunnoista voidaan todeta, että ilmanvaihdon riittämättömyys vanhemmissa kerrostaloasunnoissa vaikuttaa olevan Suomessa (Du ym. 2016) yleisempää kuin Norjassa ja suunnilleen yhtä yleistä kuin Ruotsissa ja Tanskassa. Suomalaisissa uudiskohteissa ilmanvaihto on parantunut (Järnström ym. 2006).

Suomessa noin joka toisen koulurakennuksen ilmanvaihtoa on pidetty riittämättömänä (Toyinbo ym. 2016a). Ruotsissa Smedje ja muut (1996, 1997) mittasivat hiilidioksidipitoisuutta 38 koulurakennuksessa (96 luokkahuoneessa). Hiilidioksidipitoisuuksien perusteella ilmanvaihto oli riittämätön 41 %:ssa tiloista. Teli ja muut (2016) raportoivat hiilidioksidipitoisuuden vaikutuksesta oppilaiden kokemaan sisäilmanlaatuun pilottitutkimuksessa. Alle 20 % oppilaista arvioi ilmanlaadun huonoksi vaikka pitoisuus ilmassa nousi yli raja-arvon 1 000 ppm. Aineiston rajallisuuden vuoksi merkittäviä johtopäätöksiä ei voitu kuitenkaan tehdä.

Islannissa tehdyssä väitöskirjatutkimuksessa (Hellsing 2009) mitattiin sisäilman laatua yhteensä 15 yläkoulussa (74 luokkahuoneessa), jotka sijaitsivat Reykjavikin kaupunkialueella. Hiilidioksidipitoisuudet (CO₂) ylittivät kansallisen raja-arvon 1 000 ppm noin 87 %:ssa kouluista. Tuloilmavirtaus luokissa oli keskimäärin 4,7 (1,5–39,7) l/s henkilöä kohti, mikä vastaa suomalaisista kouluista mitattua tulosta (Toyinbo ym. 2016b). Myös aikaisemman Islannissa tehdyn tutkimuksen mukaan CO₂-pitoisuudet ylittivät kansallisen raja-arvon suurimmassa osassa tutkituista kouluista ja päiväkodeista (Heilbrigðiseftirlit Kjöarsvæðis, 2002).

Tiedot eri maiden muista sisäilmaongelmista ovat hyvin hajanaisia sekä ajallisesti että käytettyjen menetelmien kannalta katsottuna.

Pohjoismaiden sisäilma-asiantuntijoiden haastattelut

Osana katsausta haastateltiin sisäilma-asiantuntijoita Ruotsista, Norjasta, Tanskasta ja Islannista vuonna 2017. Haastatteluissa käytettiin etukäteen laadittuja kysymyksiä kuitenkin niin, että keskustelu pyrittiin pitämään sujuvana. Haastateltavat henkilöt eivät olleet tutustuneet kysymyksiin etukäteen. Haastatteluista suurin osa pidettiin videoneuvotteluin, ainoastaan Tanskan haastattelut tehtiin kasvotusten asiantuntijoiden kanssa.

Haastattelujen perusteella tilanne vaihteli eri Pohjoismaissa. Eniten keskustelua herättäväksi sisäilma- ja ympäristöterveyskysymykseksi nousivat kosteus- ja homevauriot. Ruotsissa puhuttiin myös ilma- ja kosteudesta, melusta ja helteestä. Norjassa suurin keskustelua herättävä aihe oli kosteus- ja homevauriot mutta puhuttaessa tautitaakasta ulkoilman pienhiukkaspäästöt olivat suurimmassa roolissa. Näin oli myös Tanskassa: kosteus- ja homevaurioista puhuttiin enemmän, mutta tautitaakan kannalta tärkeimpänä pidettiin pienhiukkaspitoisuuksia ja radonia. Islannissa puhuttiin paljon myös pienhiukkaspäästöistä, ja valtio onkin tehnyt ulkoilman pitoisuuksille raja-arvon, jonka ylittyessä kansalaisten tulee pysyä sisätiloissa. Pienhiukkaspäästöt ovat lisääntyneet auto- ja laivaliikenteen sekä teollisuuden lisääntymisen myötä. Alla on koottu yhteen haastatteluissa käsitellyt asiat.

- Ruotsissa sisäympäristön laatuongelmiin on kiinnitetty paljon huomiota 1990-luvulta saakka. Asiantuntijoiden mielestä Ruotsi ei saavuta tavoitteitaan sisäilman laadun osalta. Ongelmia koettiin olevan runsaasti varsinkin sairaalarakennuksissa ja kouluissa. Nykyisin kosteusvauriot korjataan tehokkaammin tietämyksen lisääntyttyä, joten niitä oletetaan olevan vähemmän. Varsinkin kaupungeissa julkisten rakennusten korjaukseen oli tarjolla rahoitusta. Itse raportoitujen kosteusvaurioiden määrä oli vähentynyt viime vuosina selvästi myös yksityisissä asunnoissa.
- Norjassa sisäympäristön laatuongelmia koettiin olevan runsaasti. Tilanne ei ollut muuttunut viimeisten 5–10 vuoden aikana. Asiantuntijoiden mielestä heidän maassaan ei ole tarpeeksi tietoa siitä, kuinka paljon kodeissa ja julkisissa rakennuksissa on sisäilmaongelmia. Asiantuntijoiden mukaan kosteusvaurioita esiintyy noin 30 %:ssa asunnoista, joista 4 %:ssa on vakavia kosteusvaurioita. Kouluissa ja päiväkodeissa tehdyissä tutkimuksissa alle puolet rakennuksista täytti määräysten mukaisen sisäilman laadun.
- Tanskassa tietoisuus on lisääntynyt selvästi viime vuosien aikana. Asiantuntijoiden mukaan ongelmia on edelleen, vaikka paljon työtä on tehty sisäilma-asioiden hyväksi. Kosteus- ja homevaurioita esiintyy vähemmän kouluissa ja päiväkodeissa kuin yksityisissä asunnoissa. Ilmanvaihdon riittämättömyys koettiin ongelmaksi 70 %:ssa omakotitaloista, 20 %:ssa kerrostaloasunnoista ja 70–80 %:ssa kouluista. Päiväkodeissa on siirrytty pääosin koneelliseen ilmanvaihtoon, mikä on parantanut tyytyväisyyttä sisäilman laatuun.
- Islannissa sisäympäristön laatuongelmia esiintyy paljon. Tietoisuus sisäilma-asioista on noussut suuresti viiden viime vuoden aikana. Asiantuntijoiden mukaan oli hankalaa arvioida, johtuuko ongelmien suuri määrä tietoisuuden lisääntymisestä vai onko ongelmia todellisuudessa enemmän kuin aikaisemmin. Islannissa ei ole tiettävästi tehty tutkimusta, jossa olisi tarkasteltu ongelmien yleisyyttä rakennuskannassa. Asiantuntijoiden arvion mukaan jonkinasteisia kosteus- ja homevaurioita on lähes kaikissa rakennuksissa, mikä johtuu mm. väärästä ja liian nopeasta rakennustavasta.

Ympäristö- ja monikemikaaliyliherkkyys

Keskustelu ympäristö- ja monikemikaaliyliherkkyudesta oli haastattelujen perusteella yllättävän vähäistä. Tilastollista tietoa yliherkkyyksien yleisyydestä ei ollut yhdessäkään Pohjoismaassa. Ruotsalaisten asiantuntijoiden mukaan yliherkkyysongelmat olivat lisääntyneet hieman, mutta niitä ei juurikaan diagnosoida. Asiasta puhuttiin mediassa vain vähän. Norjassa asiasta keskusteltiin, mutta tietoa aiheesta on todella niukasti. Myös tanskalaiset asiantuntijat sanoivat, että asiasta ei juuri keskustella. Tanskassa arvioitiin monikemikaaliyliherkkyudesta kärsiviä olevan 17 000 henkilöä 5,7 miljoonasta asukkaasta. Tanskassa keskusteltiin tuolloin metyyli-isotiatsolinonista, jota käytetään maaleissa, sillä maalareilla on todettu paljon allergisia reaktioita. Tätä kemikaalia käytetään myös shampoissa ja kosmetiikassa. Islannissa yliherkkyysaiheesta on alettu keskustella, mutta suurin osa lääkäreistä ei suhtaudu asiaan vakavasti. Media ei ole nostanut esille yliherkkyystapauksia.

Sisäympäristökysymykset mediassa

Ruotsalaisten asiantuntijoiden mukaan media pyrkii ymmärtämään sisäympäristön laatuongelmia. Aiemmin ongelmiin ei suhtauduttu vakavasti, mutta nykyisin tiedotetaan paljon terveysvaikutuksista, kuten astmasta ja oireista varsinkin lapsilla. Myös koulujen kosteus- ja homevaurioista sekä huonosta ilmanvaihdosta uutisoitiin paljon mediassa. Keskusteluissa nousivat edelleen esille myös SBS (Sick Building Syndrome), BRI (Building Related Illness), BRS (Building Related Symptoms) ja psykosomaattiset oireet.

Norjassa sisäympäristön laatuksymykset eivät ole kovin usein esillä. Eri tekijöistä eniten puhuttiin homevaurioista. Tiedottaminen oli yleensä sensaatiohakuista.

Tanskassa sisäympäristön laatuongelmat ja kosteus- ja homevauriot olivat esillä mediassa lähes päivittäin. Tiedottaminen vaihteli pienistä artikkeleista sensaatiohakuiseen kirjoitteluun.

Islannissa sisäympäristön laatuksymykset olivat paljon esillä mediassa. Asiantuntijoiden arvion mukaan valtaosa toimittajista puhui homeesta puhuttaessa sisäilmaongelmista. Tiedottaminen oli aikaisemmin sensaatiohakuista. Nykyisin tiedottaminen on asiallista, muutos on tapahtunut tiedon jakamisen myötä.

Toiminta sisäympäristön laadun parantamiseksi

Haastattelujen perusteella myös sisäympäristön laatuongelmien ehkäisemiseksi ja parantamiseksi tehdyt toimenpiteet vaihtelivat suuresti eri Pohjoismaiden kesken.

Ruotsin valtio oli myöntänyt mittavan avustuksen sisäympäristön laadun edistämiseen ja rakennusten vaurioiden vähentämiseen vuoteen 2021 mennessä (Regeringskansliet 2017). Vuotuinen budjettiehdotus vuodelle 2018 oli 16 miljoonaa kruunua ja vuosia 2019–2021 varten 28 miljoonaa kruunua. Vuosina 2014–2015 ruotsalaisissa kouluissa toteutettiin projekti, jossa tarkasteltiin varsinkin ilmanvaihtoon ja siivoukseen liittyviä sisäympäristökysymyksiä. Projektiin osallistui 207 ympäristökeskusta, jotka valvovat noin puolta maan kouluista. Näiden kuntien kouluista noin 60 % osallistui projektiin, yhteensä 2 728 koulua. Projekti paransi monen koulun mahdollisuutta täyttää ympäristökaaren mukainen siivous ja ilmanvaihto, kun puutteet havaittiin projektin tarkastuskäyntien yhteydessä. Tämä osaltaan edisti parempaa sisäympäristön laatua Ruotsin kouluissa. Asiantuntijat keskittyvät nykyisin mikrobiologisten tutkimusten sijasta kosteusvaurioihin ja suosittelevat rakennusten korjaamista rakennusteknisten selvitysten perusteella.

Norjassa kansalaisia opastavat yhdistys, julkinen hallinto ja yksityinen sektori. Hyväntekeväisyysjärjestö The Norwegian Asthma and Allergy Association (NAAF) ylläpitää internet-sivustoa ja antaa puhelinneuvontaa sisäilma-asioissa. Kansalaiset voivat ottaa yhteyttä myös aiheeseen erikoistuneisiin yrityksiin ja SINTEF-tutkimuslaitokseen. Lisäksi Norwegian Institute of Public Health antoi neuvontaa kansalaisille sekä myös heitä hoitaville lääkäreille. Ministeriön alainen The Norwegian Directorate of Health oli järjestänyt tiedotuskampanjoita kouluissa ja päiväkodeissa. Yritysvetoista koulutusta oli tarjolla lähinnä yrityksille, jotka tekevät rakennusten kuntotarkastuksia.

Tanskan valtio oli antanut rahoitusta internet-sivuston (Skimmel.dk) perustamiseen. Sivustolla kerrotaan keinoista kosteus- ja homevaurioiden välttämiseksi ja ongelmien selvittämiseksi. Sivustolla kävi kes-

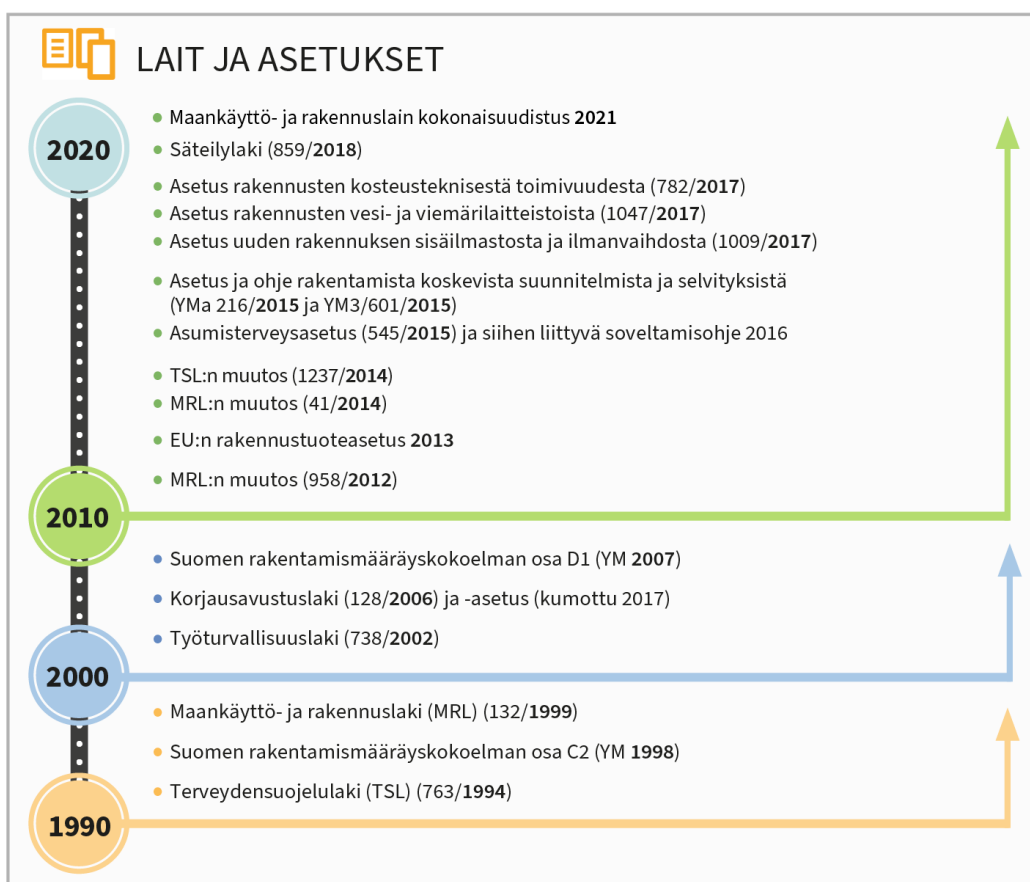
kimäärin 400–600 henkilöä päivässä, enimmillään jopa 5 000 henkilöä päivässä. Lisäksi sivustolla on mahdollisuus ottaa yhteyttä asiantuntijaan, joka vastaa siellä esitettyihin kysymyksiin. Siellä on myös auttava puhelin, johon kansalaiset voivat soittaa kahtena päivänä viikossa. Myös astma- ja allergiajärjestö neuvoo kansalaisia. Vuosina 2010–2016 luotiin laaja tutkimusohjelma ja verkosto käsittelemään rakennusten sisäilmakysymyksiä (www.cisbo.dk). Tähän saatiin rahoitusta (noin 1milj. €/vuosi) Realdania-yhdistykseltä. Ohjelmaan kuului myös useita sidosryhmien tapaamisia, mikä auttoi viranomaisia ja teknisiä asiantuntijoita käsittelemään hankalat ongelmatapaukset ja rauhoittamaan huolta. Aikaisemmin 1990-luvulla työterveyslääkäreitä alettiin valistaa kosteus- ja homevaurioiden vaikutuksesta terveyteen.

Islannissa tietoisuus sisäympäristön laatuongelmista on ollut erittäin vähäistä eikä hallitus vuonna 2017 ollut käynnistänyt ohjelmaa ongelmien ratkaisemiseksi. Tietoisuus oli kuitenkin lisääntynyt viiden viime vuoden aikana. Islannissa oli perustettu ryhmä, jossa on mukana insinöörejä yrityksistä ja julkisista rakennuslaitoksista sekä tutkijoita asiantuntijalaitoksista. Ryhmä kokoontui kerran kuukaudessa miettimään turvallisia tapoja rakentaa ja ehkäistä sisäilmaongelmia.

Ohjeistus

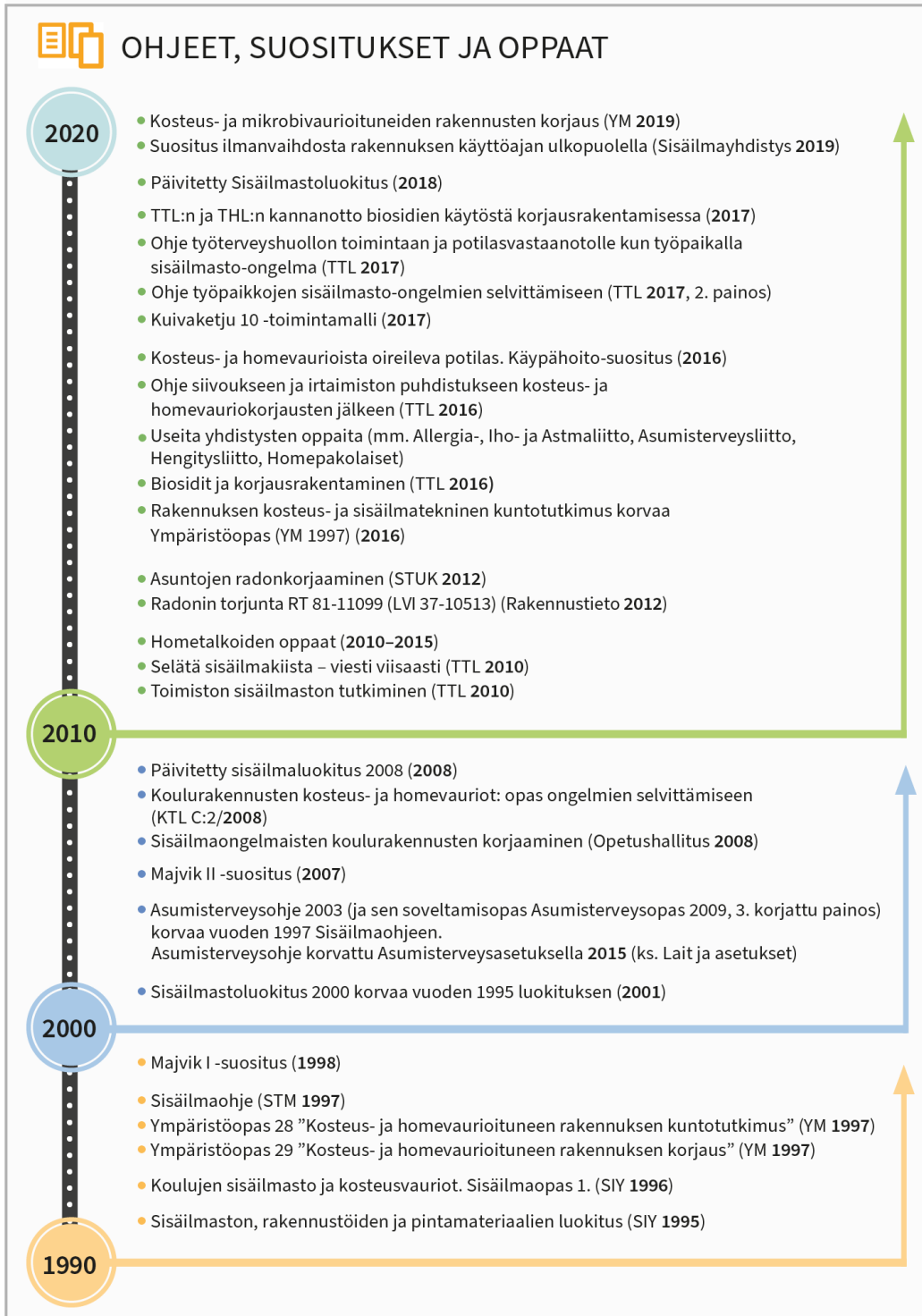
Suomen lainsäädäntö ja ohjeistus

Suomessa on tehty viimeisten 28 vuoden aikana paljon työtä sisäympäristön altistuksen pienentämiseksi. Lainsäädäntöä on kehitetty turvaamaan terveellinen ja turvallinen sisäympäristö kansalaisille. Lisäksi on panostettu ohjeistukseen, jota on suunnattu sekä ennaltaehkäisevään työhön että rakennusten korjaukseen. Vuosien mittaan on myös järjestetty useita kampanjoita, joissa on pyritty vähentämään terveyshaittoja ja kansantaloudellisia menetyksiä. Kuvissa 1, 2 ja 3 on esitetty lainsäädäntö, ohjeistus ja muut toimenpiteet, joilla on pyritty ennaltaehkäisemään ja pienentämään suomalaisten altistumista sisäilman epäpuhtauksille.



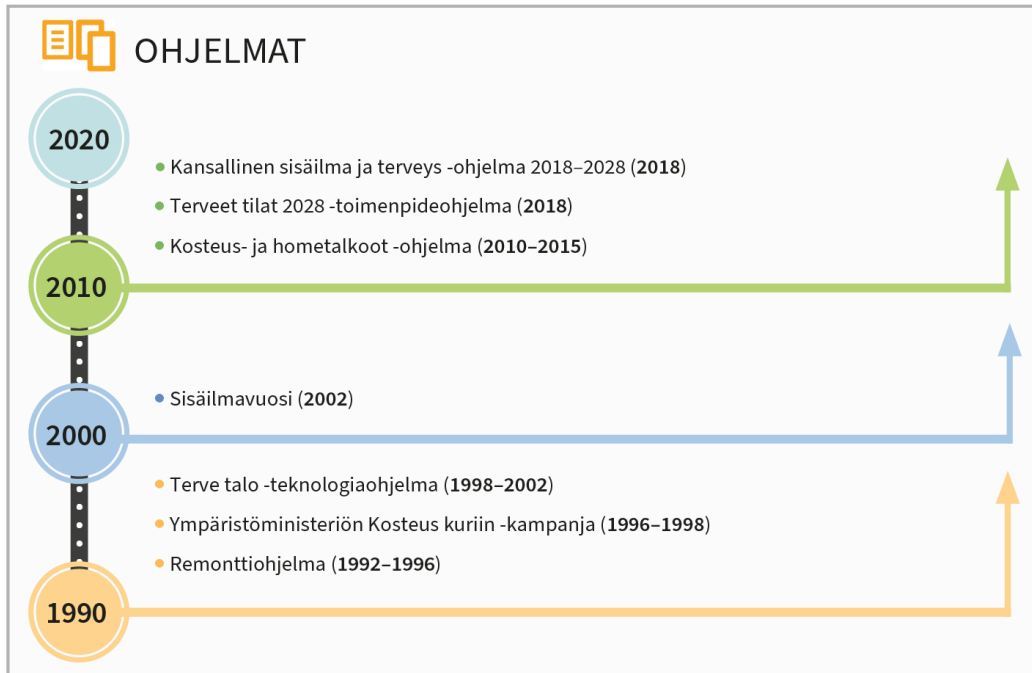
Lähde: THL 2020

Kuva 1. Lainsäädäntö, jolla pyritään mm. ennaltaehkäisemään ja vähentämään suomalaisten altistumista sisäilman epäpuhtauksille ja siihen liittyvää sairastavuutta.



Lähde: THL 2020

Kuva 2. Listaus Suomessa olevista ohjeista, oppaista ja suosituksista.



Lähde: THL 2020

Kuva 3. Ohjelmat, joilla on pyritty mm. ennaltaehkäisemään ja pienentämään suomalaisten altistumista sisäilman epäpuhtauksille ja siihen liittyvää sairastavuutta.

Pohjoismaiden lainsäädäntö ja ohjeistus

Sisäympäristön altistusta koskevan lainsäädännön ja ohjeistuksen määrä vaihtelee suuresti eri Pohjoismaiden kesken. Osassa Pohjoismaita tietämys sisäympäristön terveellisyyteen liittyvistä tekijöistä on voimistunut 1990-luvulta lähtien, jolloin myös ohjeistusta on ehtinyt kertyä enemmän. Islannissa asiaan on puolestaan herätty vasta viime vuosikymmenen aikana; lainsäädäntö ja ohjeistus sisäilmaongelmista ovat vasta kehittymässä. Yhteistä kaikille Pohjoismaille on kuitenkin rakennuksen omistajan vastuu siitä, että rakennus täyttää viranomaisvaatimukset. Seuraavaksi esitellään sisäympäristön altistusta koskeva nykyinen lainsäädäntö ja ohjeistus Pohjoismaissa. Kansalliset raja-arvot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Pohjoismaiden kansalliset ohjearvot sisäympäristön altisteille

Suure	Yksikkö	Suomi	Ruotsi	Norja	Tanska	Islanti
PM _{2.5}	µg/m ³	25 (24h)		15 (24 h), 8 (12 kk)		
Asbesti		0,01 kuitua/cm ³		0,001 kuitua/ml		
Radon	Bq/m ³	300 (säteilylainsäädännön uudistus 12/2018), 400 (rak. ennen 1992), 200 (rak. 1992 jälkeen)	200	200	100 ^c	
Kosteus- ja homevauriot (näkyvä)		Korjaamaton kosteus- tai lahovaurio, aistinvaraisesti todettu mikrobikasvu rakennuksen sisäpinnalla		ei näkyvää hometta	0 cm ² (asuintilat), < 400 cm ² (märkätilat), < 2 500 cm ² (yläkatot ja kellarit) ^d	
Lämpötila, T	°C	18–26 (lämmityskausi), 18–32 (kesä), suunnitteluarvo 21 (lämmityskausi), 23 (kesä)	20–23	19–26 (kevyt työ), 16–26 (keskiraskas työ), 10 ^b –26 (raskas työ)	toimistot 23–26 (kesä), 20–24 (talvi) ^d	
Ilmanvaihtokerroin		0,35 l/s/m ²	0,35 l/s/m ²	1,2 m ³ /h·m ²	0,35 l/s/m ² (kodit), 0,35 l/s/m ² (koulut) ^{c,d}	
Hiilidioksidi, CO ₂	Ppm	1 150 > ulkoilma, < 1 200 ppm	1 000	1 000	1 000 ^c (koulut ja päiväkodit), 1 000 (toimistot) ^d	
Hiilimonoksidi eli häkä, CO	µg/m ³ tai ppm	7 mg/m ³ , 8 mg/m ³		80 ppm (15 min), 25 ppm (1 h), 10 ppm (8 h)		
Formaldehydi	µg/m ³	100 (30 min), 50 (12kk)	100 ^a	100	100 ^d	
Melu	dB	asunnot: 35 (päiväaika), 30 (yöaika), muut tilat: 40		45	jälkikaiunta-aika 0,6 s (koulut, toimistot), 0,4 s (päiväkodit) ^d	

^a Vanhoissa rakennuksissa 700 µg/m³; ^b Sormet ei saa kylmettyä; ^c Ministry of Transport, Building and Housing 2018; ^d standardi DS3033

Taulukon 3 altisteiden lisäksi Suomessa on toimenpiderajat seuraaville altisteille, joille ei muista Pohjoismaista löytynyt raja-arvoja: PM₁₀, mikrobikasvu rakennusmateriaalinäytteessä (laimennossarjaviiljely), mikrobikasvu rakennusmateriaalinäytteessä (suoraviiljely; semi-kvantitatiivinen menetelmä), mikrobikasvu pintanäytteessä (laimennossarjaviiljely), sisäilman homepitoisuus, sisäilman bakteerien kokonaispitoisuus,

O₂, TVOC, naftaleeni, styreeni, 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaalidioli di-isobutyraatti (TXIB) sekä 2-etyylheksanoli (2-EH).

Ruotsissa on ohjeistus radonille, ilmanvaihdolle, sisäilman hiilidioksidipitoisuudelle ja formaldehydille. Ruotsin toimenpidearvo radonille asuin- ja julkisissa tiloissa on 200 Bq/m³ (Folkhälsomyndigheten 2014b). Folkhälsomyndigheten (2014a) on antanut ohjeiston ilmanvaihdon tehokkuudelle kodeissa ja kouluissa. Kodeissa ilmanvaihdon tulisi olla 0,35 l/s/m² ja kouluissa 0,35 l/s/m² ja 7 l/s henkilöä kohti. Ohjeen mukaan sisäilman hiilidioksidipitoisuuden ei tulisi ylittää arvoa 1 000 ppm eikä formaldehydipitoisuuden arvoa 100 µg/m³. Vanhoissakin rakennuksissa pitoisuuden tulisi olla alle 700 µg/m³. Sisälämpötilan suositellaan olevan vähintään 20 °C (Folkhälsomyndigheten 2014c). Ruotsissa on otettu käyttöön myös Bygga-F –standardi, jolla pyritään parantamaan kosteusturvallisuutta rakentamisprosessissa (Fuktcentrum 2013).

Norjassa ohjeistusta on annettu mm. pienhiukkasille, sisäilman radonpitoisuuksille sekä kosteusrasitukseksi, näkyvälle homeelle ja homeen hajulle. Lisäksi ohjeistusta on kuitu-, hiilidioksidi-, häkä-, typpidioksidi-, formaldehydi- ja nikotiinipitoisuuksille. The National Institute of Public Health (NIPH) on julkaissut kaksi suositusta sisäilman laadulle (Becher ym. 1998, Becher ym. 2015). Vuoden 2015 suosituksessa pienhiukkasten (PM_{2,5}) vuorokauden aikaisen altistumisen raja-arvo on 15 µg/m³ (Becher ym. 2015). Uusissa rakennuksissa radonin toimenpidearvo on 200 Bq/m³. Sisätiloissa ei saa esiintyä liiallista tai pitkittynyttä kosteusrasitusta. Rakennuksissa ei myöskään tulisi esiintyä näkyvää homeetta tai homeen hajua. Suosituksessa on annettu pölypunkeille raja-arvo 1 µg Der I allergenia/g pölyä. Bakteeripitoisuuksille ei suositusten mukaan pystytä asettamaan raja-arvoa normaaleissa sisäympäristöissä.

Norjan suositusten mukaan vapaita asbestikuituja ei saa esiintyä sisäympäristöissä. Näiden kuitujen pitoisuus sisäilmassa ei saa olla yli 0,001 kuitua/ml ilmaa. Synteettisten kuitujen pitoisuus sisäilmassa ei puolestaan saa ylittää raja-arvoa 0,01 kuitua/ml ilmaa. Sisäilman hiilidioksidipitoisuuden ei tulisi ylittää arvoa 1 000 ppm. Häkäpitoisuudelle on annettu raja-arvot altistumisen keston mukaan: 80 mg/m³ (15 min), 25 mg/m³ (1 h) ja 10 mg/m³ (8 h). Typpidioksidipitoisuudelle (NO₂) raja-arvot ovat vastaavasti 300 µg/m³ (15 min), 100 µg/m³ (1 h) ja 40 µg/m³ (12 kk). Altistuminen formaldehydille ei saisi ylittää arvoa 100 µg/m³ (30 min raja-arvo). Tupakoimattomilla alueilla sisätiloissa ilman nikotiinipitoisuus ei saisi olla yli 1,0 µg/m³. Vastaavasti ravintoloiden savuttomissa osissa ilman nikotiinipitoisuus ei saa olla yli 10 µg/m³. Tarpeetonta altistumista haihtuville orgaanisille yhdisteille tulisi välttää, mutta suositukset eivät anna raja-arvoa pitoisuudelle. Erittäin ärsyttävillä ja reaktiivisilla yhdisteillä altistuminen tulee arvioida aina erikseen.

Norjan Arbeidstilsynet (2016) on julkaissut ohjeistuksen työpaikkojen ilmalle ja ilmanlaadulle ”Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen”. Ohjeistuksessa on käsitelty muun muassa ilmanvaihtoa, energiatehokkuutta, lämpöolosuhteita sekä vaikutuksia terveyteen ja viihtyvyyteen. Tämän ohjeistuksen mukaan sisäilman lämpötilan tulisi olla fyysisesti kevyessä työssä 19–26 °C, keskiraskaassa työssä 16–26 °C ja raskaassa työssä 10–26 °C, jolloin on varmistettava, että alhaisimmissa lämpötiloissa sormet eivät kylmety.

Norjassa on julkaistu myös säädös rakentamisen teknisille vaatimuksille ”Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggeteknisk forskrift – TEK 17)”. Säädöksen yhtenä osa-alueena on sisäilmasto ja terveys. Aihe on jaettu seuraaviin osa-alueisiin: ilmanvaihto, lämpötila, säteily, melu, valaistus, kosteus ja märkätilat sekä rakennussivous. Säädöksessä on annettu muutama yksittäinen raja-arvo. Rakennuksen ilmanvaihdolle on annettu vähimmäisarvoksi 1,2 m³/h/m² raitista ilmaa, kun kyseessä on asuttu asunto. Melulle puolestaan on annettu suositus 45 dB (Norwegian building authority, 2017).

Sisäympäristön laatuongelmien ja kosteus- ja homevauriotilanteiden ratkaisun tueksi Norjassa käytetään edellä mainitun ohjeistuksen lisäksi julkaisuja Hus og Helse (Hus og Helse 1/2009) ja Gode råd om å forebygge og utbedre fuktskader i boligen (Norsk forum for bedre innemiljø for barn & Helsedirektoratet).

Tanskan rakennusmääräyksissä on asetettu raja-arvot radonille (100 Bq/m³), hiilidioksidille (1000 ppm) ja ilmanvaihdolle (0,35 l/s/m²) (Ministry of Transport, Building and Housing 2018). Tanskassa oli vuoden 2019 alkuun asti käytössä standardi kotien, koulujen, päiväkotien ja toimistojen sisäilman laadulle (Dansk standard 2011). Standardissa oli luokitusarvojen (viisi luokkaa: luokat A++, A+, A, B, C) lisäksi ohjeistusta siitä, miten mitataan ja arvioidaan sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä (radon, kosteus- ja homevauriot, lämpötila, ilmanvaihto, hiilidioksidipitoisuus, formaldehydi ja päivänvalokerroin) (Liite 3). Tanskassa ollaan tällä hetkellä työstämässä uutta vapaaehtoista luokitusta, joka sisältää osia standardista. Standardia on

käytetty soveltuvin osin myös pohjana EU-tasolla, jossa on työstetty ”Building sustainability performance - Level(s)” -työkalua (<http://ec.europa.eu/environment/eussd/buildings.htm>).

Tanskassa on myös laadittu ohjeistus sisäilmasta oireilevien henkilöiden hoitoa varten (ARMONI 2017). Ohjeistuksessa käydään läpi altistumisen todennäköisyyden arviointi. Siinä myös korostetaan, että altistumisen todennäköisyys tulee arvioida, jotta henkilön oireilu voidaan yhdistää sisäilmaan. Ohjeistuksessa todetaan, että sisäilmasta johtuvia oireita on tyypillisesti tiettyssä sisätilassa ja ne katoavat toiseen tilaan siirryttäessä. Tyypillisiksi sisäilmasta johtuviksi oireiksi luetellaan erilaiset limakalvo-oireet, iho-oireet sekä yleisoireet kuten väsymys, päänsärky ja keskittymisvaikeudet. Harvinaisiksi oireiksi mainitaan allergiset reaktiot, astma ja allerginen nuha. Pysyviksi oireiksi mainitaan ylempien ja alempien hengitysteiden häiriöt. Allergisen alveoliitin tutkimiseen ARMONI on antanut erillisen ohjeistuksen. Ohjeistuksessa käydään läpi yksittäisen henkilön terveydentilan tutkiminen sekä myös työpaikkaselvitysten teko muun muassa kyselytutkimuksin. Ohjeistuksessa on esitetty myös koodit diagnooseille.

Tanskan Sundhedsstyrelsen on kirjoittanut oppaan, jossa kerrotaan kosteus- ja homevaurioista sekä niihin liittyvistä oireista. Opas on suunnattu terveydenhuollon ammattilaisille. Oppaassa esitetään neuvoja potilaan tutkimiseen ja diagnosointiin (Sundhedsstyrelsen 2006). Vuonna 2009 Sundhedsstyrelsen julkaisi toisen oppaan terveydenhuollon ammattilaisille sekä kuntotarkastajille ja viranomaisille, jotka ovat tekemisissä rakennusten kosteus- ja homevaurioiden kanssa (Sundhedsstyrelsen 2009). Oppaassa käydään läpi tämänhetkinen tieto kosteus- ja homevaurioiden vaikutuksista terveyteen sekä niiden ennaltaehkäisystä. Kosteus- ja homevaurioiden osalta korostetaan rakennuksen kuntotarkastuksen tekemistä, vaurion laajuuden arvioimista sekä vaurioiden korjaamista. Oppaassa korostetaan myös, että terveydenhuollon suositusten tulee aina perustua rakennuksen tekniseen tutkimiseen. Oppaassa on esitetty terveydenhuollon suositukset kosteus- ja homevaurioiden laajuuden mukaan sekä kodeissa että julkisissa rakennuksissa. Lopuksi selkeytetään terveydenhuollon, kuntotarkastajien ja viranomaisten rooleja, vastuita ja yhteistyötä.

Islannissa ei tällä hetkellä ole lainsäädäntöä tai ohjeistusta sisäympäristön altistuksesta.

Yhteenvedona voidaan todeta, että sisäympäristön altistusta koskeva lainsäädäntö ja ohjeistuksen määrä vaihtelevat suuresti eri Pohjoismaissa. Suomessa lainsäädäntö ja ohjeistus vaikuttavat olevan runsaampaa kuin muissa Pohjoismaissa. Suomessa sisäilman laadun kysymyksiin on herätty jo 1990-luvulla, ja näin ollen lainsäädäntöä ja ohjeistusta on kehitetty laajasti. Ohjeistuksessa on keskitytty myös ennaltaehkäisevään työhön ja rakennusten korjaukseen. Islannissa ei ole lainkaan lainsäädäntöä tai ohjeistusta sisäilmaongelmien ratkaisemiseksi. Ruotsissa ohjeistus on melko vähäistä, eikä esimerkiksi kosteus- ja homevaurioille ole olemassa ohjearvoja. Sen sijaan Norjassa ja Tanskassa ohjeistusta löytyy useista epäpuhtauksista, ja ohjeistuksia kehitetään edelleen. Yhteistä kaikille Pohjoismaille on rakennuksen omistajan vastuu siitä, että rakennus täyttää viranomaisvaatimukset.

Arvio sisäympäristön laatuongelmien yleisyyteen liittyvästä jatkotutkimustarpeesta

Luotettava tieto kansanterveyden kannalta merkittävien sisäympäristön laatuongelmien yleisyydestä, erityisesti siitä, ollaanko menossa parempaan vai huonompaan suuntaan, auttaa kohdentamaan toimenpiteitä ja tutkimusrahoitusta siten, että niistä saatava hyöty olisi mahdollisimman suuri. Tällä hetkellä tieto on hajanaista, eikä Suomessa ole tehty väestötasolla yleistettävään satunnaisotantaan perustuvia ja objektiivisin menetelmin tehtyjä tutkimuksia, lukuun ottamatta vuosina 1990–1991 ja 2006–2007 tehtyjä otantatutkimuksia asuntojen radonpitoisuudesta. Lisäksi pien- ja kerrostalojen kosteusvaurioiden yleisyydestä on tehty tutkimus 1990-luvulla, jolloin käsitteet ja määritelmät olivat vielä epäselviä. Jatkotutkimustarvetta on erityisesti seuraavilla alueilla:

- 1) Satunnaisotantaan perustuva, objektiivinen tieto altistumisesta sisäilman pienhiukkasille, radonille ja kosteusvaurioille. Tutkimusmenetelmiä ja laatuongelmien luokittelukriteereitä valittaessa tulisi huomioida altistumisen todennäköisyys sekä ongelmien korjaamisesta aiheutuvat kustannukset. Erityisesti 1990-luvun tutkimus kosteusvaurioiden yleisyydestä olisi hyvä toistaa.
- 2) Rakennus- ja LVI-tekniiset keinot pienentää altistumista pienhiukkasille, radonille ja kosteusvaurioille, huomioiden altistumisen mahdollinen relevanssi terveydelle.
- 3) Lainsäädännön vaikutus altistumiseen, ml. rakennuskannan energiatehokkuuden parantamisen vaikutukset sisäilman radon- ja pienhiukkaspitoisuuksiin sekä rakenteiden kosteustekniseen toimintaan pitkällä aikavälillä.

Lähteet

- Andersen CE, Bergsøe NC, Majborn B, Ulbak K. Radon and Natural Ventilation in Newer Danish Single-Family Houses. *Indoor Air* 7/1997: 278–286. DOI: <https://doi:10.1111/j.1600-0668.1997.00007.x>.
- Annala P, Suonketo J, Pentti M. Kosteus ja mikrobivauriot koulurakennuksissa TTY:n suorittamien kosteusteknisten kuntotutkimusten perusteella. *SIY Raportti* 32, 301, 2014.
- Annala P, Hellemaa M, Suonketo J, Pentti M. Kosteus- ja mikrobivaurioiden laajuus kuntien rakennuksissa. *SIY Raportti* 33, 95, 2015.
- Anttila M, Pekkonen M, Haverinen-Shaughnessy U. Asuinympäristön laatu, terveys ja turvallisuus Suomessa 2007–2011. *Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Työpäperi* 29/2013.
- Arbeidstilsynet bestillings nr 444: Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen. 2016.
- ARMONI. Bygningsrelaterede symptomer. 2017. http://www.armoni.dk/sites/default/files/Armoni_Fildeling/files/Public/Sygdomme_i_Aandedraetsorganerne/armoni_indeklimatevejledning.pdf.
- Asikainen A, Carrer P, Kephelopoulos S, de Oliveira Fernandes E, Wargocki P, Hänninen O. Reducing burden of disease from residential indoor air exposures in Europe (HEALTHVENT project). Special Issue on “Challenges and Opportunities for Urban Environmental Health and Sustainability”. *Environmental Health* 15(Suppl 1), 2016:61–72. DOI <https://doi:10.1186/s12940-016-0101-8>.
- Asumisterveysasetus 525/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista.
- Becher R, Hongslo JK, Bakke JV, Kvendbø JF, Sanner T, Schwarze PE, Dybing E. Recommended Norms for Indoor Air Climate. Report from the National Institute of Public Health, Oslo, Norway (in Norwegian) November 1998, ISBN 82-7364133.
- Becher R. Anbefalte faglige normer for innelima. *Folkehelseinstituttet. Rapport* 2015:1.
- Becher R, Øvrevik J, Høie A H, Bakke J V, Holøs S. Fukt og fukt-skader i norske boliger. 2016. <https://www.fhi.no/contentassets/1b5dec5e29ce4bfb8fc51e89076e60b3/fukt-og-fuktskader-i-norske-boliger.pdf>.
- Becher R, Høie AH, Bakke JV, Holøs SB, Øvrevik J. Dampness and Moisture Problems in Norwegian Homes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017.
- Bekö G, Lund T, Nors F, Toftum J, Clausen G. Ventilation rates in the bedrooms of 500 Danish children. *Building and Environment*, 45(10): 2289–2295, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.04.014>.
- Bekö G, Weschler CJ, Wierzbicka A, Karottki DG, Toftum J, Loft S, Clausen G. *Environmental Science & Technology* 47 (18), 10240–10248, 2013. DOI: <https://doi:10.1021/es402429h>.
- Bluyssen PM, De Oliveira Fernandes E, Groes L, Clausen G, Fanger PO, Valbjørn O, Bernhard CA, Roulet CA. European Indoor Air Quality Audit Project in 56 Office Buildings. *Indoor Air*, 6: 221–238, 1996. DOI: <https://doi:10.1111/j.1600-0668.1996.00002>.
- Bornehag C-G, Sundell J, Sigsgaard T. Dampness in buildings and health (DBH): Report from an ongoing epidemiological investigation on the association between indoor environmental factors and health effects among children in Sweden. *Indoor Air*, 14: 59–66, 2004. DOI: <https://doi:10.1111/j.1600-0668.2004.00274.x>.
- Boverket. Så mår våra hus. Redovisning av regeringsuppdrag beträffande byggnaders tekniska utföring m.m. 2009. https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2009/sa_mar_vara_hus.pdf.
- Bräuner EV, Rasmussen TV, Gunnarsen L. Variation in residential radon levels in new Danish homes. *Indoor Air*, 23: 311–317, 2013. DOI:10.1111/ina.12021.
- Cacho C, Ventura Silva G, Martins AO, Fernandes EO, Saraga DE, Dimitroulopoulou C, Bartzis JG, Rembes D, Barrero-Moreno J, Kotzias D. Air pollutants in office environments and emissions from electronic equipment: A review. *Fresenius Environmental Bulletin* PSP 22(9), 2488–2497, 2013.
- Chehelgo J, Haverinen U, Vahteristo M, Koivisto J, Husman T, Nevalainen A, Jääskeläinen E. 2001. Analysis of Moisture Findings in the Interior Spaces of Finnish Housing Stock 2001. <https://doi.org/10.1080/10473289.2001.10464245>
- Dansk standard DS 3033. Voluntary classification of the indoor climate quality in dwellings, schools, childcare institutions and offices. 2011-05-23.
- Du L, Leivo V, Martuzevicius D, Prasauskas T, Turunen M, Haverinen-Shaughnessy U. INSULAtE-project results. Improving energy efficiency of multifamily buildings, indoor environmental quality and occupant health. Report: 2016_017.
- Eurostat 2019. Share of total population living in a dwelling with a leaking roof, damp walls, floors or foundation, or rot in window frames of floor - EU-SILC survey. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=EU_statistics_on_income_and_living_conditions_\(EU-SILC\)_methodology_-_housing_deprivation](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=EU_statistics_on_income_and_living_conditions_(EU-SILC)_methodology_-_housing_deprivation).
- Folkhälsomyndigheten. Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation. *FoHMFS* 2014:18, 2014a.
- Folkhälsomyndigheten. Folkhälsomyndighetens allmänna råd om radon inomhus. *FoHMFS* 2014:16, 2014b.
- Folkhälsomyndigheten. Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus. *FoHMFS* 2014:17, 2014c.

- Folkhälsomyndigheten, Karolinska Institutet. Miljöhälsorapport 2017. <https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/c44fcc5df7454b64bf2565454bbdf0e3/miljohalsorapport-2017-02096-2016-webb.pdf>
- Fruktcentrum (kosteuskeskus). Lundin yliopisto. Bygga-F. 2013. http://www.fuktcentrum.lth.se/fileadmin/fuktcentrum/PDF-filer/ByggaF_Branschstandard/I_ByggaF_branschstandard_-_oerversaetning_av_version_130508_ENG.pdf
- Gunnarsen. Fugt, ventilation, skimmelsvampe og husstøvmider - En tværnsnitsundersøgelse i lejligheder, By og Byg Resultater 009. Statens Byggeforskningsinstitut. 2001.
- Gunnbjörnsdóttir MI, Franklin KA, Norbäck D, Björnsson E, Gislason D, Lindberg E, Svanes C, Omenaas E, Norrmann E, Jogi R et al. Prevalence and incidence of respiratory symptoms in relation to indoor dampness: The RHINE study. *Thorax*, 61, 221–225, 2006.
- Halla-Aho J. Asuntojen kosteusvauriokuntoarviot itäsuomalaisten lasten kodeissa 1996–2000. Kuopion yliopisto koulutus- ja kehittämiskeskus. Tutkimuksia ja selvityksiä 10/2005.
- Hartikainen S, Leppänen M, Salmi K, Tarhanen J, Hyttinen M, Kähkönen E, Holopainen R, Pasanen P. SVOC- ja VOC-yhdisteiden esiintyminen matalaenergiatalojen ja tavanomaisesti rakennettujen pien- ja kerrostalojen sisäilmassa. *SIY Raportti* 32, 137, 2014.
- Haverinen-Shaughnessy U, Finell E, Wiss K. Koulujen sisäilmatutkimukset ja tarkastusten kehittäminen. Tutkimuksesta tiiviisti: 2016_017. 2016.
- Haverinen-Shaughnessy U. Prevalence of dampness and mold in European housing stock. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 1, 22(5): 461, 2012a.
- Haverinen-Shaughnessy U, Borrás-Santos A, Turunen M, Zock JP, Jacobs J, Krop EJ, Casas L, Shaughnessy R, Täubel M, Heederik D, Hyvärinen A. Occurrence of moisture problems in schools in three countries from different climatic regions of Europe based on questionnaires and building inspections—the HITEA study. *Indoor Air* 22(6): 457–66, 2012b.
- Heikari J. Asuntokohtainen ilmatiiyviys uusissa kerrostaloissa. Rakennusfysiikkaseminaari 2013, 359.
- Hellgren UM, Hyvärinen M, Holopainen R, Reijula K. Perceived indoor air quality, air-related symptoms and ventilation in Finnish hospitals. *IJOMEH* 24: 48, 2011. <https://doi.org/10.2478/s13382-011-0011-5>.
- Helsing V. Indoor air quality in junior high schools in Reykjavik. M.Sc thesis. University of Iceland, 2009.
- Holme J, Geving S, Jenssen J. Moisture and Mold Damage in Norwegian Houses. In Proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries. Copenhagen, Denmark, 16–18 June 2008, Rode C, Ed. Report R-189; Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark: Lungby, Denmark. 2008, 1213–1220.
- Holmgren O, Kojo K, Kurtio P. Uusien talojen radontutkimus 2016. *SIY Raportti* 35, 389, 2017.
- Hus og Helse 1/2009. ISBN 978-82-536-1046-7.
- Hägerhed L, Bornehag CG, Sundell J, the DBH Study Group. Dampness in Buildings and Health (DBH): Buildings characteristics as predictors of ‘dampness’ in Swedish dwellings. In Proceedings of 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate 2002, Monterey, California, USA, Vol. V, 7–12, 2002.
- Hänninen O, Lebre E, Ilacqua V, Katsouyanni K, Künzli N, Srám RJ, Jantunen MJ. Infiltration of ambient PM_{2.5} and levels of indoor generated non-ETS PM_{2.5} in residences of four European cities. *Atmospheric Environment* 38 (37), 6411–6423, 2004.
- Hänninen O, Leino O, Kuusisto E, Komulainen H, Meriläinen P, Haverinen-Shaughnessy U, Miettinen I, Pekkanen J. Elinympäristön altisteiden terveysvaikutukset Suomessa. *Ympäristö ja terveystieteiden tutkimus*, 41, 11–25, 2010.
- Hänninen O, Hoek G, Mallone S, Chellini E, Katsouyanni K, Kuenzli N, Gariazzo C, Cattani G, Marconi A, Molnár P, Bellander T, Jantunen M. Seasonal patterns of outdoor PM infiltration into indoor environments: review and meta-analysis of available studies from different climatological zones in Europe. *Air Qual Atmos Health* 4(3–4), 221–233, 2011.
- Hänninen O, Asikainen A (eds.). Efficient reduction of indoor exposures: Health benefits from optimizing ventilation, filtration and indoor source controls. National Institute for Health and Welfare (THL). Report 2/2013a. <http://um.fi/URN:ISBN:978-952-245-822-3>.
- Hänninen O, Sorjamaa R, Lipponen P, Cyrys J, Lanki T, Pekkanen J. Aerosol-based modelling of infiltration of ambient PM_{2.5} and evaluation against population-based measurements in homes in Helsinki, Finland. *Journal of Aerosol Science* 66, 111–122, 2013b.
- Hänninen O, Rumrich I, Asikainen A. Challenges in estimating health effects of indoor exposures to outdoor particles: Considerations for regional differences. *Sci Tot Env* 589, 130–135, 2017.
- Hänninen O, Lehtomäki H, Korhonen A. Ympäristöaltisteiden kansanterveysvaikutukset. *Ympäristö ja terveystieteiden tutkimus*, 01/2020. Institute of Environmental Medicine (IMM), Karolinska Institutet. Miljöhälsorapport 2013. <http://www.imm.ki.se/MHR2013.pdf>.
- Jaakkola J, Jaakkola N, Loukiala P. ym. Päivähoitoympäristö ja terveystieteiden tutkimus. Kansanterveystieteen laitos ja Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio Espoo. Loppuraportti B37, 1994.
- Jayaprakash, B., Adams, R., Kirjavainen, P., Karvonen, A., Vepsäläinen, A., Valkonen, M., Järvi, K., Sulyok, M., Pekkanen, J., Hyvärinen, A., Täubel, M. (2017) Indoor microbiota in severely moisture damaged homes and the impact of interventions. *Microbiome* 5:138. <https://doi.org/10.1186/s40168-017-0356-5>
- JRC <https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Atlas-of-Natural-Radiation/Indoor-radon-AM/Indoor-radon-concentration>. 2018.

- Jokinen T, Jussila H. Ilmatilveys ja vuotokohdat uusissa pientaloissa. Rakennusfysiikkaseminaari 2015, 313.
- Järnström H, Saarela K, Kalliokoski P, Pasanen A-L. Reference values for indoor air pollutant concentrations in new, residential buildings in Finland. In Atmospheric Environment, Volume 40, Issue 37, 2006, 7178–7191. ISSN 1352-2310.
- Järnström H, Koivusaari R, Saari M, Kukkonen P. TXIB-yhdisteen esiintyminen sisäilmassa 2010-luvulla ja ilmanvaihtojärjestelmän merkitys pitoisuuden hallinnassa. SIY Raportti 37, 389, 2019.
- Kalsi NT. Kosteus- ja homevaurioiden uutisointi mediassa. Pro gradu -tutkielma. Itä-Suomen yliopisto, ympäristö- ja biotieteiden laitos. Ympäristötiede 2017.
- Keiding L, Gunnarsen L, Rosdal N, Machon M, Møller R, Valbjørn O. Environmental factors of everyday life in Denmark – with special focus on housing environment. Edited by Lis Keiding. (In Danish with summary in English.) National Institute of Public Health. Copenhagen 2003.
- Koivisto J, Jääskeläinen E, Nevalainen A, Husman T, Meklin T, Vahteristo M, Heiskala M, Forss P, Turpeinen J, Röning-Jokinen I. Asuinkerrostalojen kosteusvauriot – yleisyyden ja korjauskustannusten selvittäminen. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B9/1996.
- Kojo K, Perälä M, Tarsa T, Kurttio P. Päiväkotien sisäilman radonkartoitus. SIY Raportti 34, 403, 2016.
- Kojo K, Holmgren O, Pyysing A, Kurttio P. Radon uudisrakentamisessa: Otantatutkimus 2016. <http://www.julkari.fi/handle/10024/131619> 2018a.
- Kojo K, Rantala A, Kurttio P, Perälä M. Työpaikan sisäilman radonkartoitus Suomen kouluissa: Ympäristön säteilyvalvonnan toimintaohjelma. (Koulujen radonkartoituksen raportti.) 2018b.
- Kojo K, Kurttio P. Sisäilman radoniin liittyvät riskikäsitykset. Ympäristön säteilyvalvonnan toimintaohjelma. Säteilyturvakeskus. Ympäristön säteilyvalvonta, joulukuu 2016: 1–19.
- Kurnitski J, Palonen J, Engberg S, Ruotsalainen R. Koulujen sisäilmasto – rehtorikysely ja sisäilmastomittaukset. Teknillinen korkeakoulu B34, 1996.
- Langer S, Bekö G. Indoor air quality in the Swedish housing stock and its dependence on building characteristics, Building and Environment 69: 44–54, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.07.013>.
- Langer S, Bekö G, Bloom E, Widheden A, Ekberg L. Indoor air quality in passive and conventional new houses in Sweden. Building and Environment 93(1): 92–100, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.004>.
- Leppänen M, Hyttinen M, Holopainen R, Salmi K, Pasanen P: Daytime and night time VOC concentrations in Finnish schools. Indoor Air 2016. The 14th International Conference of Indoor Air Quality and Climate. July 3-8, 2016, Ghent, Belgium. Conference Proceedings. ISBN-13: 978-0-9846855-5-4. Paper id 809, 6 s.
- Lignell, U., Meklin, T., Putus, T., Rintala, H., Vepsäläinen, A., Kalliokoski, P, Nevalainen, A. Effects of moisture damage and renovation on microbial conditions and pupils' health in two schools - a longitudinal analysis of five years. Journal of Environmental Monitoring, 9, 225–233, 2007.
- Länsikallio, R., Ilves V. OAJ:n sisäilmatutkimus, 2012. OAJ:n julkaisusarja 1/2014.
- Mandin C, Trantallidi M, Cattaneo A, Canha N, Mihucz VG, Sziget T, Mabilia R, Perreca E, Spinazze A, Fossati S, De Kluizenaar Y, Cornelissen E, Sakellaris I, Saraga D, Hänninen O, Fernandes EDO, Ventura G, Wolkoff P, Carrer P, Bartzis J. Assessment of indoor air quality in office buildings across Europe - The OFFICAIR study. Science of The Total Environment 579: 169-178, 2017.
- Meklin T, Putus T, Pekkanen J, Hyvärinen A, Hirvonen M, Nevalainen A. Effects of moisture-damage repairs on microbial exposure and symptoms in schoolchildren. Indoor Air, 15, 40–47, 2005.
- Ministry of Transport, Building and Housing (Tanska). New building regulation (BR18). 2018.
- Mäkeläinen I, Kinnunen T, Reisbacka H, Valmari T, Arvela H. Radon suomalaisissa asunnoissa. Otantatutkimus 2006 STUK-A242 / JOULUKUU 2009, <http://julkari.fi/bitstream/handle/10024/123584/stuk-a242.pdf?sequence=1>.
- Noetzel H, Järnström H. Sisäilman VOC-yhdisteiden pitoisuudet 10 vuoden ikäisessä asuinrakennuksessa. SIY Raportti 37, 413, 2019.
- Norbäck D. Subjective indoor air quality in schools - the influence of high room temperature, carpeting, fleecy wall materials and volatile organic compounds. Indoor Air, 5, 237–246, 1995.
- Norbäck D, Zock J-P, Plana E et al. Building dampness and mold in European homes in relation to climate, building characteristics and socio-economic status: The European Community Respiratory Health Survey ECRHS II. Indoor Air. 2017; 27: 921–932. DOI: <https://doi.org/10.1111/ina.12375>.
- Norwegian building authority. Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift – TEK 17). 2017.
- Norsk forum for bedre innemiljø for barn & Helsedirektoratet. Gode råd om å forebygge og utbedre fuktskader i boligen.
- OAJ ja Turun yliopisto. Koulutus-, tutkimus- ja opetusalan sisäilmatutkimus. Opetusalan ammattijärjestö, 2017.
- Øie L, Stymne H, Boman CA, Hellstrand V. The Ventilation Rate of 344 Oslo Residences. Indoor Air, 8/1998: 190–196. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1998.t01-1-00006.x>.
- Partanen P, Jääskeläinen E, Nevalainen A, Husman T, Hyvärinen A, Korhonen L, Meklin T, Miller K, Forss P, Saajo J, Röning-Jokinen I, Nousiainen M, Tolvanen R, Henttinen I. Pientalojen kosteusvauriot – yleisyyden ja korjauskustannusten selvittäminen. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B6/1995.

- Pastila, Riikka. Säteilyn käyttö ja muu säteilylle altistava toiminta. Vuosiraportti 2016. 2017.
- Pekkola V, Metiäinen P, Mussalo-Rauhamaa H, Lönnblad P, Kivi R, Metsäranta E, Ruokojoki J, Lappalainen S, Kujanpää R. Kehitysehdotuksia kuntien julkisten rakennusten sisäilmaongelmien vähentämiseksi ja ennaltaehkäisemiseksi. Loppuraportti. Kosteus- ja homealkoot. Ympäristöministeriö 2011.
- Putus T, Vilén L. Sisäilman laatu, oireet ja sairaudet. Oirekysely Tehy ry:n jäsenille sisäilmamikrobien terveyshaitoista sairaaloissa, terveyskeskuksissa ja muissa hoitolaitoksissa. Tehyn Julkaisusarja A, tutkimusraportteja 1/2017, 60 s.
- Regeringskansliet. Regeringen satsar på sundare byggnader. Internetjulkaisu, 2017. <http://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2017/09/regeringen-satsar-pa-sundare-byggnader/>.
- Reijula K. Sairaaloiden kunto ja ilmanvaihto, selvityshenkilön raportti. Sosiaali- ja terveysministeriön työryhmämuistioita 3, 2005.
- Reijula K, Ahonen G, Alenius H, Holopainen R, Lappalainen S, Palomäki E, Reiman M. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu 1/2012.
- Roponen M, Meklin T, Rintala H, Hyvaerinen A, Hirvonen M-R. Effect of moisture-damage intervention on the immunotoxic potential and microbial content of airborne particles and on occupants' upper airway inflammatory responses. *Indoor Air*, 23, 295–302, 2013.
- Ruokojoki J. Kosteus- ja homeongelmien määrä ja syyt kuntien rakennuksissa 2005. Kuntaliitto 2006.
- Salonen H. Indoor air contaminants in office buildings. *People and Work, Research Reports 87*. Työterveyslaitos. 2009.
- Salmela A, Tähtinen K, Hartikainen T, Pekkanen J, Lampi J, Jalkanen K, Niemi J, Lappalainen S, Lahtinen M, Sainio M, Manninen T, Wallenius K, Salmi K, Reijula K, Lindqvist H, Hyvärinen A. Sisäilma ja terveys: kehitys, nykytilanne, seuranta ja vertailu eri maiden sekä julkisen ja yksityisen sektorin välillä. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:X. Julkaistaan 10/2019.
- Smedje G, Norback D, Wessen B, Edling C. Asthma among school employees in relation to the school environment. In *Proceedings of Indoor Air '96: The 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Nagoya, Japan, July, 1996, Vol. 1, 611–616.
- Smedje G, Norback D, Edling C. Subjective indoor air quality in schools in relation to exposure. *Indoor Air*, 7, 143–150, 1997.
- STUK - Radiation and Nuclear Safety Authority, Sundhedsstyrelsen - Statens Institut for Strålebeskyttelse, Strål säkerhets myndigheten - Swedish Radiation Safety Authority, Statens strålevern - Norwegian Radiation Protection Authority, Geislavarnir Ríkisins - Icelandic Radiation Safety Authority. Recommendations for radon in dwellings in the Nordic countries: Background. 15.9.2009. <https://www.sst.dk/da/udgivelser/2009/-/media/036D3017460949C2B11DDFCDA2ABD42C.ashx>.
- Sundhedsstyrelsen, Helbredsproblemer ved fugt og skimmelsvampe i bygnider – om udredning og diagnostik hos alment praktiserende læger. 2006.
- Sundhedsstyrelsen. Personers ophold i bygninger med fugt og skimmelsvamp – Anbefalinger for sundhedsfaglig rådgivning. 2009.
- Ruotsin asuntovirasto ja energiavirasto. Energianvändning & inomhusmiljö i skolor och förskolor – Förbättrad statistik i lokaler, STIL2. 2007:11. <https://astmaoallergiforbundet.se/wp-content/uploads/2016/06/Rapport-STIL-22e-skolor-och-forskolor.pdf>.
- Teli, D., Dalenbäck, J. O., & Ekberg, L. Winter thermal comfort and indoor air quality in Swedish grade school classrooms, as assessed by the children. 14th International Conference of Indoor Air Quality and Climate, At Ghent, Belgium. 2016.
- Toyibo O, Shaughnessy R, Turunen M, Putus T, Haverinen-Shaughnessy U. Modeling associations between principals' reported indoor environmental quality and students' self-reported respiratory health outcomes using GLMM and ZIP models. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 13(4), 385, 2016a. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph13040385>.
- Toyibo O, Matilainen M, Turunen M, Putus T, Metsämuuronen J, Kurnitski J, Shaughnessy R, Haverinen-Shaughnessy U. Building characteristics, indoor environmental quality, and mathematics achievement in Finnish elementary schools, *Building and Environment*, 104, 114–121, 2016b.
- Turtiainen T, Holmgren O, Kojo K, Kurtio P. Sisäilman radon osana säteilylainsäädännön uudistusta. *SIY Raportti 37*, 75, 2019.
- Turunen M, Leivo V, Martuzevicius D, Prasauskas T, Kiviste M, Aaltonen A, Du L, Haverinen-Shaughnessy U. Asuinkerrostalojen energiatehokkuuden parantaminen ja sen vaikutukset sisäympäristön laatuun ja terveellisuuteen. Tutkimuksesta tiiviisti 14/2016. Terveystieteiden tutkimuskeskus, Helsinki.
- Ung-Lanki S, Turunen M, Hyvärinen A. Kuntien toimintatavat koulujen sisäilmaongelmien hallinnassa ja toimenpiteiden kii-reellisuuden arvioinnissa. *THL-Työpäpaperi 11/2017*.
- Valmari T, Holmgren O, Arvela H. Radonmittausten ja -korjausten yleisyys Suomessa. *SIY Raportti 32*, 213, 2014.
- Vinha J, Korpi M, Kalamees T, Eskola L, Palonen J, Kurnitsi J, Valovirta I, Mikkilä A, Jokisalo J. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpötilaolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys. *Tutkimusraportti 131*, Tampereen teknillinen yliopisto, 2005.
- Vornanen-Winqvist C, Mattila M, Lignell U, Hildén S, Tuomi T, Salonen H. Sisäilmaongelmat julkisissa uudisrakennuksissa. *Rakennusfysiikkaseminaari 2015*, 383.
- WHO. Air quality guidelines for Europe. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe (European Series No.23), 1987.

- WHO Air quality guidelines: Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, 2005.
- WHO. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease, 2016.
- WHO. Ambient (outdoor) air quality database. Summary results, update 2018.
- Willers S, Andersson S, Andersson R, Jorgen G, Sverdrup C, Rosell L. Sick Building Syndrome Symptoms among the Staff in Schools and kindergartens: are the Levels of Volatile Organic Compounds and Carbon Dioxide Responsible? *Indoor and Built Environment*, 5, 232–235, 1996.
- Wiss K, Saaristo V, Ståhl T, Peltonen H & Laitinen K. Terveiden ja hyvinvoinnin edistäminen peruskouluissa 2013. Tutkimuksesta tiiviisti 12, THL, 2014.
- World Bank. World Development Indicators; WDI07 section 3: 174–175, 2007.
- Yli-Pirilä T, Hyvärinen A, Nevalainen A. Yhteenveto päiväkotien sisäilmatilanteesta Suomessa. Raportti STM:lle. THL:n raportteja, 2010.

Liitteet

Liite 1.

Taulukko: Tuloksia uusien asuntojen TVOC-, formaldehydi- ja ammoniakkipitoisuuksista, lämpöolosuhteista ja ilmanvaihdosta 0–12 kuukautta valmistumisen jälkeen (Järnström et al. 2006)

	Pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 0 kk			Pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 6 kk			Pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 12 kk		
	k-a	+2SD*	W-arvo	k-a	+2SD	W-arvo	k-a	+2SD	W-arvo
TVOC, kaikki	780	1103	0,857	329	473	0,814	247	336	0,880
TVOC, koneellinen poisto	1 098	1543	0,790	459	666	0,903	356	473	0,910
TVOC, koneellinen tulo- ja poisto	397	509	0,724	155	218	0,739	139	188	0,735
Formaldehydi	19	26	0,835	21	28	0,900	26	37	0,790
Ammoniakki	42	51	0,918	42	51	0,931	43	57	0,867
	k-a	Max	Min	k-a	Max	Min	k-a	Max	Min
Lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)	24	30	18	23	28	22	24	28	21
Suhteellinen kosteus (%)	45	63	26	29	66	15	35	74	23
ACH (h^{-1})	0,95	1,61	0,82	0,98	1,45	0,79	0,91	1,39	0,73

*Keskiarvo (k-a) + 2 standardipoikkeamaa (SD) edustaa arvoa, jonka alle jää 95 % havainnoista, mikäli aineisto on normaalisti jakautunut. W-arvo kuvaa jakauman normaalisuutta (Järnström ym. 2006).

Liite 2

Taulukko: Suomalaisen kerrostaloasuntojen sisäympäristön laatua kuvaavien mittausten tuloksia energiaparannuskohteessa (N = 39) ja korjaamattomissa vertailukohteissa (N = 7) vuosilta 2011–2015

	Verrokkikohte (N = 7)		Tutkimuskohte (N = 39) ⁷	
	1. mittaus	2. mittaus	1. mittaus	2. mittaus
	k-a, Md (SD)	k-a, Md (SD)	k-a, Md (SD)	k-a, Md (SD)
T _{out} [°C]	-6,3; -4,9 (4,3)	-0,8; -0,6 (4,2)	2,2; 2,0 (5,3)	3,1; 2,0 (5,0)
RH _{out} [%]	80,0; 87,2 (9,8)	81,6; 89,1 (9,2)	76,3; 74,3 (8,5)	80,0; 79,3 (7,7)
T _{in} [°C]	22,6; 22,6 (0,9)	22,4; 22,4 (1,0)	22,8; 22,8 (1,2)	22,7; 22,7 (1,2)
RH _{in} [%]	19,8; 18,1 (5,4)	23,9; 24,0 (5,5)	28,8; 28,6 (7,1)	30,1; 30,2 (6,8)
TF ¹ [%]	89,6; 89,7 (5,2)	89,6; 90,4 (5,9)	87,9; 89,6 (6,4)	88,0; 88,3 (8,1)
ACR [h ⁻¹]	0,6; 0,6 (0,2)	0,5; 0,4 (0,2)	0,4; 0,4 (0,2)	0,5; 0,4 (0,2)
Max CO ₂ [ppm]	754; 740 (150)	817; 709 (496)	961; 851 (384)	912; 808 (402)
Paine-ero ΔP _{porrask} [Pa]	-3,8; -3,6 (3,5)	-4,9; -5,5 (5,3)	-7,9; -5,6 (9,0)	-7,9; -6,1 (7,1)
Paine-ero ΔP _{ulkoilma} [Pa]	-12,9; -11,5 (5,0)	-14,0; -11,6 (9,5)	-18,1; -13,7 (17,1)	-19,2; -17,5 (15,1)
NO ₂ [µg/m ³]	3,9; 3,9 (1,6)	5,7; 4,9 (2,9)	7,1; 6,1 (3,9)	6,8; 6,0 (4,6)
Radon [Bq/m ³]	43,3; 40,0 (25,5)	50,8; 40,0 (29,7)	71,2; 50,0 (70,5)	66,7; 50,0 (56,3)
Formaldehydi [µg/m ³]	16,4; 15,9 (5,1)	13,4; 13,5 (3,5)	21,6; 18,4 (13,0)	19,4; 16,7 (8,8)
BTEX ² , [µg/m ³]	7,7; 5,4 (6,3)	8,9; 7,0 (4,5)	9,8; 6,7 (12,1)	10,8; 9,1 (7,0)
Ig10 (home) ³ [solua/m ³]	2,3; 2,2 (0,6)	2,3; 2,1 (0,6)	2,7; 2,7 (0,6)	2,1; 2,0 (0,7)
Ig10(gram+) ⁴ [solua/m ³]	4,0; 3,8 (0,5)	3,6; 3,2 (0,9)	3,8; 3,8 (0,7)	3,2; 3,1 (1,1)
Ig10 (gram-) ⁵ [solua/m ³]	3,5; 3,6 (0,6)	3,3; 3,2 (0,8)	3,9; 3,9 (0,7)	3,0; 3,1 (1,0)
PM _{2,5} [µg/m ³]	6,0; 4,4 (5,9)	5,2; 2,3 (5,8)	8,3; 5,3 (14,7)	8,5; 4,3 (19,1)
PM ₁₀ [µg/m ³]	17,0; 11,9 (14,9)	16,9; 9,6 (23,2)	22,0; 14,6 (27,3)	17,8; 12,4 (21,3)
PM _{2,5} I/O ⁶	1,5; 0,8 (1,3)	2,0; 1,1 (2,0)	1,7; 0,9 (3,4)	2,7; 0,9 (6,5)
PM ₁₀ I/O ⁶	2,0; 1,3 (2,0)	1,6; 0,8 (1,4)	2,1; 1,0 (3,8)	2,5; 1,3 (3,6)

¹Pintalämpötilaa kuvaava kerroin, ²bentseeni, tolueni, etyylibentseeni ja ksyleeni, ³⁻⁵laskeutuneen pölyn näytteestä määritetyt: ³homesienet, ⁴gram-positiiviset bakteerit ja ⁵gram-negatiiviset bakteerit, ⁶sisä/ulkosuhte, ⁷1. mittaus ennen energiaparannuksia; 2. mittaus energiaparannusten jälkeen; k-a (keskiarvo); Md (mediaani); SD (standardipoikkeama)

Liite 3.

Taulukko: Lakkautetun Dansk standard -julkaisun (2011) mukaiset luokitusarvot esimerkki-luokille A++ ja C

	Yksikkö	Luokka A++	Luokka C
Sisäympäristön radonpitoisuus	Bq/m ³	100	> 200
Asuintilojen, luokkahuoneiden ja työhuoneiden kosteus- ja homevaurio	cm ²	ei näkyvää kosteus- ja homevauriota	
Toimistojen lämpötilasuositus	°C	kesä 24,5 ± 1 talvi 22,0 ± 1,5	kesä 24,5 ± 2,5 talvi 22,0 ± 2,5
Ilmanvaihto	l/s/m ²		
- kodeissa		0,3	< 0,2
- kouluissa		2,5 (+ tarpeen mukainen)	< 1,9
- päiväkodeissa		2,0 (+ tarpeen mukainen)	< 1,4
- toimistoissa		0,8 (+ tarpeen mukainen)	< 0,5
Hiididioksidipitoisuus kouluissa, päiväkodeissa ja toimistoissa	ppm	800	> 1 500
Sisäympäristön formaldehydipitoisuus	mg/m ³	0,1	> 0,2
Päivänvalokerroin kouluissa, päiväkodeissa ja toimistoissa		> 5	<1