

TUTKIMUSRAPORTTI

Terveen rakennuksen evoluutio

Anne Aikivuori

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka



VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSKESKUS
ESPOO 2001

Keywords rakennusmateriaalit, emissiot, sisäilman laatu, haihtuvat orgaaniset yhdisteet, koerakentaminen

Tiivistelmä

Tutkimuksessa tarkastellaan rakennusmateriaaliemissioiden syntymistä ja mahdollisuuksia vaikuttaa niiden pitoisuuteen sisäilmassa materiaalivalintojen kautta.

Käyttäjän kannalta nopeasti (noin kahdessa viikossa) hiipuvat alkuemissiot eivät ole ratkaiseva tekijä, merkittäväksi muodostuu materiaalisysteemin pitkäaikaislähteiden vaikutus sisäilmaan. Edes tehostettu ilmanvaihto ei korvaa hyvää materiaalisysteemivalintaa, eikä ilmanvaihtoa tulisi joutua suunnittelemaan tai säätämään materiaalitekniisten tekijöiden perusteella. Normaalissa rakennuksessa noin puolet sisäilman epäpuhtauspitoisuudesta on peräisin rakenteista haihtuvista aineista.

Hankkeen tavoitteena oli saattaa käytännössä toteutettaviksi ratkaisuksi Brite Euram -hankkeessa 7569 tuotetut emissioiden laskennalliset hallintamenetelmät. Tutkimushankkeen koekohteissa pyrittiin puolittamaan materiaaliemissioista aiheutuva sisäilman kemiallisten aineiden pitoisuustaso.

Koekohteissa valittiin Brite Euram -hankkeessa 7569 kehitetyllä menetelmällä sellaiset materiaaliyhdistelmät, joiden aiheuttama sisäilman emissiokuorma on alhainen ja tarkistettiin emissiotason pysyminen alhaisena analysoimalla rakenteiden pitkäaikaistoimivuuden turvatekijöitä. Koerakennuksina toteutettiin kaksi asuinkerrostaloa, toimistorakennus ja palvelutalo. Asuinkerrostaloista toinen toteutettiin normaalirakentamisena ja toisessa käytettiin matalaemissioisia materiaaleja. Seurantamittausten perusteella todettiin, että sisäilman alhainen epäpuhtauspitoisuus on saavutettavissa, mutta toisaalta se on herkkä yhdellekin riskivalinnalle.

Keywords building materials, emissions, indoor air quality, volatile organic compounds, experimental construction

Abstract

The aim of the study is to examine the origin of emissions from building materials and the potential to influence the concentrations of indoor air pollutants by means of adjusting the materials' systems.

Considering the occupancy of the building the initial phase of fast decline of the emissions is not the main concern. The most important consideration is the long term impact of building materials to the quality of indoor air. Even an enhanced air exchange is not able to counter the too high emission rates, nor should air change be designed for the purpose. In a normal building about half of the indoor pollutant concentrations originate from materials.

The project goal was to cut the emissions from building materials into half from normal by using numerical simulation. The calculus models were developed earlier in a Brite EuRam project 7569. This project utilized the models to combine such materials into the structures, that the emission load would be even initially low and remain low during the long term occupancy of the buildings. Experimental sites included two new housing block of flats (total volume 10 181 m³), one new office building (total volume 11 033 m³) and a senior citizens' housing block refurbishment (total volume 3 400 m³). The follow-up measurements confirmed that the set goals for indoor air concentrations can be achieved, but are subject to risks.

Alkusanat

Terveen rakennuksen evoluutio -projektin tavoitteena oli puolittaa materiaaliemissioista aiheutuva sisäilman kemiallisten aineiden pitoisuustaso normaalirakentamisessa. Hanke on osa Tekesin Terve Talo -teknologiaohjelmaa.

Hankkeen tutkimusosapuoli oli VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Yritysosapuolina olivat koerakentamishankkeiden toteuttajatahona Skanska Pohjois-Suomi Oy sekä materiaaliteollisuuden edustajina Gyproc Oy, Isover Oy, Parma Betonila Oy, Pukkila Oy, Rajaville Oy, Tarkett Sommer Oy ja Tikkurila Paints Oy, jotka ovat arvokkaalla tavalla myötävaikuttaneet hankkeeseen sekä taloudellisesti että sisällöllisesti.

Tutkimuksen johtoryhmän muodostivat puheenjohtajana Raimo Hätälä (Skanska Pohjois-Suomi Oy), Ilmari Absetz (Tekes), Markku Rantama (Terve talo-teknologiaohjelma, Suomen Kiinteistöliitto), Kai Renholm (Gyproc Oy), Max Tollander (Isover Oy), Jouni Punkki (Parma Betonila Oy), Niilo Korkala (Pukkila Oy), Ilkka Kangas (Rajavilla Oy), Toste Karlsson (Tarkett Sommer Oy), Mia Tallsten-Lindh (Tikkurila Oy) ja Kauko Tulla (VTT).

Tutkimushankkeen vastuullisena johtajana toimii ryhmäpäällikkö Kauko Tulla ja projektipäällikkönä erikoistutkija Anne Aikivuori. Lisäksi hankkeeseen osallistui johtava tutkija Jouko Rantamäki, erikoistutkija Martti Hekkanen sekä tutkija Jukka Saarenpää. Työhön liittyi arkkitehtiopiskelijoiden Mia Salonen ja Katri Durchmanin tekemä erikoistyö.

Tekijät haluavat lausua erityisen kiitoksensa Skanska Pohjois-Suomi Oy:n koekohteiden vastaaville mestareille Pekka Heikkiselle, Jari Uusi-Ilkikaiselle ja Reino Kukkohoville ystävällisestä yhteistyöstä, jota ilman hankkeen läpivienti olisi ollut mahdotonta.

Oulussa elokuussa 2001

Tekijät

Sisällysluettelo

1 .. Matalaemissioratkaisut. Rakentajan materiaalioppi.....	7
1.1 Alhaisten alkuemissioiden rakenneratkaisut.....	7
1.1.1 Taustateoria	7
1.1.2 Emissio ja siihen liittyvät ilmiöt	9
1.1.3 Ongelmat rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa.....	11
1.1.4 Rakennusmateriaalien sisäilmavaikutukset.....	14
1.1.5 Materiaalivalintojen ohjausperiaatteet	23
1.2 Emissioiden alhaisuuden pysyvyys	25
1.2.1 Puhtaat rakenteet.....	25
1.2.2 Puhtaat sisätilat.....	26
1.2.3 Keskeiset parametrit	27
1.2.4 Päästölähteet.....	32
2 .. Evoluutiotekijöiden määrittely	36
2.1 Materiaalien toimivuus ja riskialttius	36
2.1.1 Rakenteelliset riskitekijät.....	36
2.1.2 Kosteusvaurioiden synty rakennusosissa.....	36
2.2 Vastustuskyky mikrobitoiminnalle	40
2.3 Ilmanvaihdon riittävyys	41
3 .. Riskitekijöiden analysointi.....	43
3.1 Rakenteelliset riskitekijät. Eräiden rakenteiden herkkyys ja vaurioiden vakavuus.....	43
3.1.1 Analyysiaineiston otoksen rajaus.....	44
3.1.2 Analyysin tulokset.....	45
3.1.3 Riskitekijöiden välttäminen. Määräysten ja ohjeiden riittävyys ja toteaminen.....	47
3.1.4 Vertailu vanhojen ja nykyisten määräysten välillä	48
3.1.5 Otosaineiston vertailu määräykseen	51
3.1.6 Yhteenveto otosaineiston tarkastelusta.....	56
4 .. Vastustuskykyinen rakennus	57
4.1 Kestävyyttä edistävät suunnitteluratkaisut	58
4.2 Rakenteiden sisäänrakennetut turvatekijät.....	62
4.2.1 Turvatekijöiden toiminta.....	62

4.2.2 Turvatekijät erityyppisissä vaipparakenteissa	65
4.3Loppuyhteenveto.....	67
5 .. Esimerkkirakentaminen	68
5.1Asuinkerrostalo	69
5.2Toimistorakennus	75
5.3Vanhusten palvelutalo.....	78
5.4Yhteenveto koekohteista	81
6 .. Yhteenveto	83

LIITTEET

Liite A: ASUINKERROSTALOT

Liite B: TOIMISTORAKENNUS

Liite C: PALVELUTALO

1. Matalaemissioratkaisut. Rakentajan materiaalioppi

1.1 Alhaisten alkuemissioiden rakenneratkaisut

Sisäilman laatuun vaikuttavat ensisijaisesti biologiset ja kemialliset epäpuhtaudet. Biologisia epäpuhtauksia on käsitelty viime vuosina runsaasti erilaatuisissa julkaisuissa ja julkisessa sanassa n.s. hometalojen aiheuttaman yleisen säikähdyksen seurauksena. Sen sijaan muut sisäilman epäpuhtaudet ovat viime vuosina jääneet suhteellisen vähälle huomiolle.

Kemialliset epäpuhtaudet voidaan karkeasti jakaa koostumuksensa perusteella orgaanisiin ja epäorgaanisiin epäpuhtauksiin, ja nämä edelleen kaasumaisiin ja hiukkasmaisiin olomuotonsa perusteella.

SISÄILMAN EPÄPUHTAUDET			
KEMIALLISET EPÄPUHTAUDET			
Orgaaniset		Epäorgaaniset	
kaasumaiset	hiukkasmaiset	kaasumaiset	hiukkasmaiset

Kuva 1. Sisäilman epäpuhtaudet.

Esimerkiksi: orgaanisia kaasumaisia ovat mm. liuottimet, orgaanisia hiukkasmaisia monet pölyt, epäorgaanisia kaasumaisia ovat useat oksidit ja otsoni, epäorgaanisia hiukkasmaisia mm. mineraalikuidut kuten asbestipölyt.

1.1.1 Taustateoria

Teknologisen kehityksen myötä rakenteiden olemus on muuttunut erityisesti rakennusmateriaalien osalta. Aiemmin, vain muutamia vuosikymmeniä sitten, perinteiset rakennukset oli valmistettu vain niukasti (lähinnä mekaanisesti) käsitellyistä materiaaleista. Nykyisin valtaosa rakenteista on monikerroksisia ja koostuu keinotekoisista, kemiallisesti monimutkaisista aineksista. Erityisesti pintarakenteet ovat lähes poikkeuksetta kemianteollisuuden valmistaman pinnoitteen peitossa (luonnonmateriaalitkin lakataan ja maalataan). Lisäksi ilmanvaihtotekniikka ja rakennusten lämmitysjärjestelmät ovat muuttuneet oleellisesti. Näiden muutosten vaikutus sisäilman laatuun on ollut valtava. Lisäksi ihmisten elämäntapa on muuttunut niin, että on aivan normaalia olla 90 % (jopa enemmän) ajasta sisälle suljettuna. Siten sekä altistava ympäristö että altistus aika ovat muuttuneet parin sukupolven aikana oleellisella tavalla.

Rakentamisen primäärinen tarkoitus on luoda suojaa olemiselle ja toiminnalle. Tätä tarkoitusta palvelee rakennuksen fyysinen puite. Rakennusmateriaalien on kuitenkin todettu olevan muutakin kuin suojaava tekijä; ne voivat olla myös suoranaisten riskien rakennuksen käyttäjien terveydelle.

Rakennusmateriaalien terveysriski välittyy rakennuksen käyttäjille sisäilman kautta. Ilman epäpuhtaudet aiheuttavat momentansoisia terveysvaikutuksia, joita on luokiteltu mm. seuraavalla tavalla (Samet 1993):

- 1) Kliinisesti todetut sairaudet: sairaudet, joille tavanomaisilla kliinisillä menetelmillä voidaan osoittaa kausaalinen yhteys sisäilman epäpuhtauksiin.
- 2) Lisääntynyt sairastuvuusriski: sairauksia, joille epidemiologiset tutkimukset osoittavat lisääntynyttä sairastuvuusriskiä altistuneille yksilöille.
- 3) Fyysinen heikkeneminen: ohimeneviä tai viipyviä vaikutuksia fysiologisissa toiminnoissa, jotka eivät kuitenkaan aiheuta kliinistä sairastumista.
- 4) Oireilu: subjektiivista oireilua, joka voidaan yhdistää tai kohdistaa sisäilman epäpuhtauksiin.
- 5) Ilman laadun kokeminen kelvottomaksi: Sisäilman laadun kokeminen niin epämiellyttäväksi, että se on kelvoton.
- 6) Kokemus altistumisesta sisäilman epäpuhtauksille: tietoisuus altistumisesta sisäilman epäpuhtauksille huolestuttavassa määrin.

Oireet voivat tavallisissa oloissa olla varsin lieviä. Usein sisäilman epäpuhtaudet (esimerkiksi yleiset liuottimista haihtuvat orgaaniset yhdisteet) aiheuttavat hengityselimien ja silmien ärsytystä, jonkin tyyppisiä hermostollisia oireita, jonkinasteista pahoinvointia tai levottomuutta, unihäiriöitä tai muuta häiriötä, jonka suoraa yhteyttä sisäilman epäpuhtauksiin on vaikea todentaa. Toisaalta epäpuhtauksien terveyshaitat voivat olla myös erittäin vakavia, kuten leukemiaa, muita verisairauksia ja syöpää (joita aiheuttaa esimerkiksi suhteellisen yleisesti liuottimissa käytettävä herkästi haihtuva bentseeni). Vaikeus osoittaa yhteyttä ilman epäpuhtauksien ja oireilun välillä johtuu osin siitä, että epäpuhtauspitoisuudet voivat olla hyvinkin pieniä, jopa mittauksin vaikeasti todennettavia, mutta pitkäaikaisina ja erityisesti yhteisvaikutuksina esiintyessään silti haitallisia. Haitan vakavuuden arviointi on vaikeaa, koska siihen vaikuttavat objektiivisten tekijöiden lisäksi psyykkiset ja muut henkilökohtaiset tekijät.

Epämääräistä lievää oireilua on totuttu kutsuma nimellä sick building syndrome (SBS), vakavampaa sairastuvuutta kutsutaan nimellä building related illness (BRI).

1.1.2 Emissio ja siihen liittyvät ilmiöt

Emissio tarkoittaa yksinkertaisesti haihtumista: materiaalista vapautuu kaasumaisessa olomuodossa olevia yhdisteitä ympäröivää ilmaan. Haihtumisnopeus (E) on suuruudeltaan yhdisteen höyrynpaine materiaalin pinnalla (VP_{pinta}) vähennettynä ympäröivässä ilmassa olevalla yhdisteen höyrynpaineella (VP_{ilma}), massansiirtokertoimella (K) kerrottuna, eli $E = k(VP_{\text{pinta}} - VP_{\text{ilma}})$. Koska höyrynpaine on suoraan verrannollinen aineen pitoisuuteen (konsentraatioon), on haihtuminen suorassa suhteessa aineen pitoisuuden eroon materiaalin pinnalla ja ympäröivässä ilmassa.

Emissio sinänsä on siis varsin selväpiirteinen ilmiö. Materiaalien käyttäytyminen sisäilman laadun määrittäjänä on kuitenkin oleellisesti mutkikkaampaa, nimittäin emissioon liittyy aina kysymys siitä, mitä emittoituneille aineille tapahtuu.

Osa emittoituneista aineista jää ilmatilaan, ja ilmanvaihto laimentaa niiden pitoisuutta. Osa emissiotuotteista palaa ympäröivien materiaalien pinnoille. Kohdatessaan pinnan emittoitunut aine voi adsorboitua pinnalle tai se voi absorboitua pintamateriaalin sisään. Adsorboituminen tapahtuu pintakosketuksena. Absorboituminen tapahtuu esimerkiksi liukenemisen kautta; emittoitunut molekyyli voi esimerkiksi liueta märän seinäpinnan kosteuteen. Adsorptio ja absorptio voivat olla joko pysyviä (n.k. permanent sink tai irreversible sink) tai emittoituneet aineet voivat uudelleen siirtyä desorptiona huoneilmaan (reversible sink), mahdollisesti reagoineessa uudessa kemiallisessa muodossa.

Paitsi ilmatilan kautta, voivat materiaalista haihtuvat aineet adsorboitua tai absorboitua suoraan toiseen, pintakosketuksessa olevaan materiaaliin. Esimerkiksi maalipinnan liuottimista osa haihtuu ilmaan, osa alustaan. Materiaalisysteemissä tällaisten adsorptio- ja absorptiosiiirtymien tapahtuminen luonnollisestikin ketjuuntuu, ja mahdollisine reaktioineen ja reaktiotuotteiden käyttäytymisineen tilanne muuttuu erittäin kompleksiseksi.

Emittoituneen aineen siirtyminen tapahtuu diffuusio- ja konvektioilmiöiden kautta. Diffuusio tapahtuu molekyylin siirtyessä rajapinnan yli joko ilmatilaan tai toiseen materiaaliin, lisäksi diffuusiolla on merkitystä materiaalin sisäiselle emittoituvan aineen liikkeelle kohti haihduttavaa pintaa. Konvektio puolestaan siirtää emittoitunutta ainetta n.k. konvektiovirtauksen mukana sisäilmassa. Konvektion seurauksena emittoituneet aineet leviävät sisäilman mukana eri tiloihin ja laimentuvat mahdollisesti korvausilmaan sekä kohtaavat pintoja, joiden kanssa adsorptio- ja absorptioilmiöt ovat mahdollisia.

Kaikkiin em. ilmiöihin vaikuttavat mm. lämpötila, kosteus, ilmanvaihtokerroin, ilman nopeus ja turbulenssi.

Emissioon vaikuttavat luonnollisesti ennen muuta materiaaliominaisuudet, kuten massa ja pinta-ala sekä ominaispinta-ala, sekä luonnollisesti materiaalin kemiallinen koostumus, erityisesti herkästi haihtuvien komponenttien (tyypillisesti liuottimet ja pehmittimet) osuus.

Tuotteiden emittoivuus

Rakennusmateriaaleista aiheutuvaa kokonaiskuormitusta ilman epäpuhtauksiin voidaan arvioida materiaalin sisältämien haihtuvien aineiden mittauksien avulla. Tyypillisesti emissioita tutkitaan pienimittakaavaisilla koekammioilla, johon lastataan tietty pinta-ala tutkittavaa materiaalia. Tällöin

$$EF = C(N/L)$$

missä EF on emissio ($\text{mg}/\text{m}^2\text{hr}$), C on tasapainokonsentraatio, N on ilmanvaihtokerroin ja L on kammion kuormitusta (näytemäärä suhteessa ilmatilavuuteen) kuvaava arvo (m^2/m^3).

Emissioiden merkitys

Emissioiden haitallisuutta on mahdollista arvioida lähtien usealta eri perusteelta. Ns. puhdastiloissa mikä tahansa pitoisuus, vaikka kuinka pieni, on haitta. Toinen erittäin ankara vaatimustaso on pitää haittana mitä tahansa ulkoilman pitoisuudet ylittävää tasoa. Toisaalta haitta voidaan määritellä myös jonkun tietyn aineen (kuten hiilidioksidin) pitoisuuden perusteella (esimerkiksi eräät automatisoidut ilmanvaihdon säätölaitteet käyttävät jotain yksittäistä pitoisuutta tehonsäädön perustana). Yleisesti mielekäs ja normaalisti ilmanvaihdon tavoitteeksi asetettava tapa on kuitenkin määritellä haitta siten, että pitoisuusrajana pidetään terveydelle haitallisuuden rajaa. Tämäkään määritelmä ei ole näennäisestä selväpiirteisyydestään huolimatta yksiselitteinen koska, kuten jo aikaisemmin on esitetty, terveyshaitta ei ole yksiselitteinen käsite. Lisäksi joudutaan arvioimaan riskiä tilastollisena ilmiönä, ja erityisesti arvostelemaan, mikä on hyväksyttävissä oleva riskitaso. Riskin suuruus liittyy myös altistusajaksi; määritellyt haitalliseksi tunnetut pitoisuudet ovat erilaiset vartitunnin tai työpäivän kestäville altistusajoille.

Emissioiden hiipuminen

Emissiot vähenevät emittoituvan aineen pitoisuuden vähentyessä emittoivassa materiaalissa. Aluksi, pitoisuuden ollessa suurimmillaan myös emissiot ovat korkeimmillaan. Alkuvaiheessa tapahtuu yleensä erittäin nopea emissiotason aleneminen. Kun materiaalin pinnan pitoisuus on alentunut, ja emittoituva aine joutuu kulkeutumaan (diffuusiomekanismeilla) kohti pintaa ennen emittoitumistaan, emissiotaso alenee oleellisesti, varsinkin jos materiaalin pinnalle muodostuu diffuusiota vastustava tiivis kalvo. Erityisesti asennusvaiheessaan nestemäisillä rakennusmateriaaleilla kuten maaleilla ja lakoilla tämä tapahtuu suhteellisen nopeasti, pahin vaihe on ohitettu jo parissa päivässä. Vuorovaikutus tilan muiden materiaalien kanssa alkaa muodostua sisäilman laadulle merkittäväksi emissioiden käyttäytymisen kannalta, kun sink-ilmio tulee esiin.

Jos emissiolähde ajatellaan vakioiseksi, sink-ilmion läsnäolo hieman alentaa sisäilmaan emittoituvan aineen pitoisuutta.

Jos emissiolähde on hiipuva, sink-ilmion vuoksi systeemiin varastoituva aine aiheuttaa pitoisuuden keston viipymää. Ilman sink-ilmiota emission vaikutukset päättyvät emittoivasta materiaalista riippuen kohtuullisen nopeasti, mutta sink-ilmio viivästyttää emittoituneen aineen poistumista.

1.1.3 Ongelmat rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa

Ympäristövaikutuksia aiheutuu rakennusmateriaalin koko elinkaaren aikana. Jos elinkaari nähdään laajimmassa merkityksessään jaksona raaka-aineen ottamisesta maasta sen palauttamiseen maahan, tulee kokonaistarkasteluun sisällyttää materiaalihankinnan ja kuljetusten, jalostusprosessien ja jakelun ympäristövaikutukset, jotka kuuluvat tuotteen ympäristötaseeseen. Pitkällä tähtäyksellä jopa näillä näkökulmilla on terveysvaikutuksia. Sisäilman kannalta oleellisia ovat kuitenkin vain vaiheet rakentamisen ja rakennuksen purkamisen välillä. Tarkastellaan seuraavassa rakennusvaihetta, kuivumisaikaa, käyttövaihetta, ylläpitoa, korjaushankkeita ja purkua.

Rakennusvaihe

Rakennusvaihe altistaa rakennustyövoiman työmaan ilman epäpuhtauksille. Rakennusvaiheessa ongelmia aiheutuu erityisesti mekaanisesta työstöstä, joka tuottaa runsaasti pölyä, sekä orgaanisia että epäorgaanisia hiukkasia. Hiukkaskoot ovat usein sellaiset, että hiukkasjakaumaan kuuluu hengitettäviä partikkeleita jotka pääsevät tunkeutumaan keuhkoihin saakka. Osa hiukkasista jää ylempiin hengityselimiin aiheuttaen ärsytystä ja vakavampiakin terveysongelmia.

Rakennusvaiheessa myös tuoreiden materiaalien aiheuttamat päästöt ovat suurimmillaan.

Potentiaalisten terveyshaittojen objektiivista arviointia varten on määritelty haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien käsite. Lisäksi varsinkin Potentiaalisten terveyshaittojen objektiivista arviointia varten on määritelty haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien käsite. Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet ovat pienimpiä ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, joiden on arvioitu voivan vahingoittaa työntekijää työturvallisuuslain (299/58) 16 pykälässä tarkoitetulla tavalla. Näistä pitoisuuksista käytetään nimitystä HTP-arvot (haitalliseksi tunnetut pitoisuudet).

HTP-arvoihin liittyvä mielenkiintoinen kysymys on, miten määritellään terveydelle haitallinen vaikutus. Edellä esitetty haitallisten terveysvaikutusten luokitus katsoo jopa kielteiset kokemukset terveyshaitaksi. Toisaalta lieviä haitallisia vaikutuksia ja vakaviakin vaikutuksia silloin, kun vaikutuksen ilmaantumisen todennäköisyys on pieni, ei aina katsota HTP-arvon alentamisen perusteeksi (Työministeriö, 1993). Vaikutuksia, jotka altistuminen voi aiheuttaa herkissä (atoopikot, nuoret, erilaisia sairauksia potevat ym.), ei yleensä ole voitu ottaa huomioon.

Sisäilman epäpuhtauksien aiheuttamien haitallisten vaikutusten ilmaantuminen riippuu pitoisuuksien lisäksi altistusajasta. Työministeriö vahvistaa HTP-arvoja aineen tai aineryhmän ominaisuuksien mukaan ilman epäpuhtauksien 8 tunnin, 15 minuutin tai hetkellisille keskipitoisuuksille.

Kuivumisaika

Kuivumisaika on altistusten kannalta merkittävä, koska siihen liittyy sinänsä merkittävin (vaurioitumattoman materiaalin) päästöjakso, ja toisaalta siksi, että kuivumiseen liittyvät päästöt (liuottimet mukaan lukien vesi, sekä sitoutumisreaktiotuotteet kuten etikkahappo, formaldehydi, tolueni) voivat aiheuttaa viivästyneitä jatkopäästöjä. Tarkastellaan myöhemmin näitä viivästyneitä sisäilmaan vapautuvia epäpuhtauksia.

Kuivumisaika alkaa välittömästi asennuksen jälkeen, ja usein rakennustyöt ovat vielä täydessä käynnissä, jolloin paikalla on altistuvaa henkilökuntaa. Altistuksen terveysvaikutusten arviointiin soveltuu edelleen HTP-arvojen käyttäminen.

Rakennuksen käyttöönottoa ei tulisi aloittaa ennen kuin kuivumisaika on kulunut. Rakennuksen valmistumisen jälkeen tulisi varata parin viikon jakso, jonka kuluessa rakennusta pidetään normaalissa käyttölämpötilassaan ja tehostetussa ilmanvaihdossa. Tämän varoajan kuluessa rakentamisprosessien aiheuttamat sisäilmaan vapautuvien aineiden pitoisuudet ehtivät merkittävästi alentua, käytetyistä ratkaisuista riippuen jopa lähes lakata. Vapautuvien kemiallisten aineiden kannalta pisimmän kuivumisaajan vaativat paksut märät kerrokset, joiden ei ole todettu merkittävästi nostavan rakennusaikaisia sisäilman epäpuhtauspitoisuuksia ohuisiin kerroksiin verrattuna, mutta aiheuttavan huomattavaa viivettä päästöjen hiipumiselle. Esimerkiksi paksujen maalikerrosten aiheuttama alkutilanne ei ole sen vaikeampi kuin ohuiden kerrosten, mutta emissiotilanteen hiipuminen vie moninkertaisen ajan.

Käyttö

Usein ajatellaan materiaaliemissioiden olevan erityisesti uusien rakennusten ongelma, ja osittain asia onkin näin. Uusien materiaalien emissiot kuitenkin yleensä vähenevät hyvinkin nopeasti, jo muutaman viikon aikajänne muuttaa tilannetta oleellisesti. Tilanteen arviointia jonkin verran mutkistaa ns. sink-ilmio, jossa rakennusmateriaalisysteemissä jonkin materiaalin emittoima absorptio voi adsorboitua saman systeemin toiseen materiaaliin ikään kuin väliavarastoon, josta se hitaasti vapautuu mahdollisesti kemiallisesti muuntuneessa (reagoineessa) muodossa.

Uusia materiaaleja vaikeamman ongelman muodostavat vanhat, luonnollisen vanhenemisprosessinsa tai vaurion (usein kostumisen) seurauksena aineensisäiseltä rakenteeltaan hajoavat materiaalit. Niiden aiheuttamien emissioiden arviointi on tällä hetkellä vasta aluillaan, tarvittavia lähtötietoja on vain harvojen hajoamisprosessien epäpuhtauspäästöistä, eikä prosessien etenemisnopeudesta ole kerätty systemaattista kokemuseräistä tietoa. Nämä, kuten emissiot yleensäkin, ovat riippuvaisia ympäröivän ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. Tunnetuin esimerkki tällaisista tapauksista lienee lastulevyjen liima-aineesta kosteuden vaikutuksesta vapautuva formaldehydi (joka aiheuttaa hengitystieärsytystä sekä astmaa ja on ilmeinen karsinogeeni). Myös kosteissa tiloissa olevien PVC-muovimattojen hajoamistuotteena syntyy voimakkaita pistävänhajuisia emissioita, jotka ovat monille tuttuja. On arvioitu (Rothweiler et al 1993), että nimenomaan rakennusmateriaalien hajoamistuotteiden emissiot ovat erittäin pitkäaikaisia, mikä osaltaan johtuu em. sink-ilmioista.

Vanhojen materiaalien kosteusongelmiin liittyy toinenkin, hajuongelmia vaikeampi terveyshaitta, nimittäin biologiset sisäilman epäpuhtaudet. Biologista alkuperää olevat epäpuhtaudet aiheuttavat suuren osan sisäilmaston myötävaikutuksella puhjenneista allergia- ja astmatapauksista. Lukumääräisesti tällaistenkin tapausten dokumentointi on vaikeaa, koska sairastuneiden yksilöiden kohdalla on vaikeaa kliinisesti osoittaa kausaalista yhteyttä sisäilmaston laadun ja sairastumisen välillä.

Kosteusvauriot sinällään ovat hyvin yleisiä. Valtakunnallisen korjausrakentamisen kehittämissuunnitelman (Remontti) osana tutkitussa pientaloaineistossa oli tapahtunut kosteusvaurio 82 %:ssa kohteista, ja havaituista vaurioista oli noin kaksi kolmasosaa korjaamatta (Partanen et al 1995). Kosteusvauriot johtavat yleisesti sisäilmaston biologisiin epäpuhtauksiin, ellei kostuneita materiaaleja nopeasti kuivateta tai vaihdeta.

Rakennuksen käyttöönoton jälkeen HTP-arvojen soveltaminen esimerkiksi asumiseen, jossa altistusajaksi voi olla lähes jatkuva, on kyseenalaista, koska elimistölle ei jää riittävästi puhdistautumisaikaa ja pientenkin pitoisuuksien vaikutus alkaa kumuloitua. Asunnoissa on yleensä kyse yksittäistapauksista, jolloin selvän yhteyden muodostuminen ilman laadun ja yksilön oireilun välille voi helposti jäädä toteamatta.

Käyttövaihetta varten Suomessa on annettu sisäilman laatuluokitus, joka antaa sekä eräiden yksittäisten aineiden että kokonaispäästöjen epäpuhtauspitoisuuksille enimmäispitoisuuksia kolmeen eri laatuluokkaan.

Laatuluokitus on alunperin valmistunut vuonna 1995, ja sen uusittu versio on julkaistu vuonna 2001.

Ylläpito

Varsinaisten kosteusvaurioiden ohella rakennusten normaaliin käyttöön ja ylläpitoon liittyvä toiminta, erityisesti siivous, vaikuttavat sisäilman laatuun. Vaikutukset ovat kahden suuntaisia. Siivous ja ilmanvaihto sekä lämmityksen aiheuttama sisäilman suhteellisen kosteuden aleneminen toisaalta edistävät ilman pysymistä puhtaampana, mutta toisaalta erityisesti siivoukseen käytetyt puhdistusaineet aiheuttavat jo sinänsä oman kuormituksensa, lisäksi puhdistus kostealla pesuainepitoisella menetelmällä lisää esimerkiksi linoleumlattian emissioita tuntuvasti.

Ylläpidon aiheuttamat muutokset sisäilman laatuun ovat merkittävät. Niiden ero materiaaliemissioihin on selvästi siinä, että materiaaliemissioiden vaikutukset ovat oleellisesti pitkäkestoisempia ja vaikeammin hallittavissa. Ylläpidon vaikutuksia voidaan yleensä muunnella hyvinkin nopeasti kun ongelmia ilmenee.

Korjaushankkeet

Korjaushankkeiden vaikutukset sisäilman kannalta ovat samantapaiset kuin rakentamisen, mukaan lukien kuivumisvaihe. Erona on se, että korjattavan rakennuksen käyttöä ei aina olla halukkaita katkaisemaan hankkeen ajaksi, jolloin myös käyttäjät altistuvat. Lisäksi vanhat materiaalit aiheuttavat ongelmia. Varsin usein rakennuksissa on ollut kosteusongelmia, jopa vesivahinkoja, joiden seurauksena biologiset organismit ovat saattaneet kasvaa rakenteiden sisällä. Kun vaurioituneita rakenteita puretaan, vapautuu niistä huomattavia pitoisuuksia (suuruusluokaltaan satakertaisia pitoisuuksia verrattuna tilanteeseen ennen purkutöitä) biologista alkuperää olevia epäpuhtauksia, jotka leviävät varsinaisen korjausalueen ulkopuolellekin (noin kymmenkertaisina pitoisuuksina verrattuna tilanteeseen ennen purkutöitä) (Rautiala 1996). Lisäksi korjaustyömailla on uusista materiaaleista emittoituvia kemiallisia aineita ja niiden työstämisen pölyä.

Korjaustyövoiman altistusta voidaan arvioida vertailuilla HTP-arvoihin, mutta niiden käyttö ei sovellu rakennuksen käyttäjiin.

Purku

Purkutöistä rakennuksen hävittämisen yhteydessä aiheutuu lähinnä ongelmajätteeksi luokiteltavan materiaalin käsittelijöille riskiä. Nämä henkilöt on suojattava henkilökohtaisilla suojaimilla, ja menetelmät (esimerkiksi asbestipurku) edellyttävät erikoisammattitaitoa. Muilta osin purkutöitä suoritetaan yleensä koneellisesti ulkoapäin, eivätkä sisäilmaongelmat ole keskeisiä.

1.1.4 Rakennusmateriaalien sisäilmavaikutukset

Rakennusmateriaaleista sisäilmaan vapautuvat kemialliset aineet

Rakennuksien sisäilma-analyseissa on löydetty tuhansia eri kemiallisia aineita yleensä erittäin pieninä pitoisuuksina. Useiden tutkimusten vahvistamien tulosten mukaan noin puolet näistä sisäilman epäpuhtauksista on peräisin rakennusmateriaaleista. Näistä epäpuhtauksista osa on terveydelle erittäin haitallisia, osa ärsyttäviä ja osa sinänsä harmittomia mutta rikastuessaan kenties hajuhaittoja tai viihtyisyyden alenemista aiheuttavia. Asiaan liittyy se vaikeus, ettei useinkaan osata kyllin varhaisessa vaiheessa tunnistaa niitä aineita, jotka ajan mittaan osoittautuvat vaarallisiksi. Haitallisiksi tunnettujen aineiden sisäilmassa sallitut pitoisuudet on yleensä määritelty työterveyden kannalta, jolloin altistusajan on ajateltu olevan joko hyvin lyhytkestoinen tai vain työpäivän pituinen - yleensä ei tiedetä, mitä lähes jatkuva altistus aiheuttaa. Niinpä esimerkiksi käsite "haitalliseksi tunnettu pitoisuus" (HTP) on määritelty työsuojelun kannalta: haitalliseksi tunnetut pitoisuudet ovat pienimpiä ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia, joiden on arvioitu voivan vahingoittaa työntekijää työturvallisuuslaissa tarkoitetulla tavalla. Vastaavasti esimerkiksi maailmanlaajuisesti käytetyt Threshold Limit Values (TLV) arvot ovat työhygienisiä arvoja. Epäpuhtauksien aiheuttamien haitallisten ilmiöiden käynnistyminen riippuu altistuspitoisuuden lisäksi myös altistusajasta, niinpä työsuojelullisia raja-arvoja ei voida suoraviivaisesti siirtää jatkuvan altistuksen tilanteisiin, esimerkiksi asumiseen. Jatkuvan altistuksen tilanteissa sovelletaan usein kymmenesosaa työsuojelussa käytettävästä raja-arvosta. Lisäksi on huomattava, että ihmisten herkkyys saada oireita vaihtelee suurestikin, esimerkiksi lapset tai terveydeltään heikossa kunnossa olevat ovat herkempiä kuin n.s. terve aikuisväestö. Raja-arvot eivät ole luonteeltaan takuu jokaisen yksittäisen henkilön kohdalla pätevistä turvallisuusrajasta, vaan suuntaa-antavia ja suuruusluokkaa kuvaavia.

Vapautuvien aineiden suuresta joukosta tarkasteltaviksi valikoituvat ne, joiden terveysvaikutukset ja pitoisuudet tyypillisissä sovellutuksissaan antavat aihetta riskin tarkasteluun. Seuraavassa paneudutaan eräiden tyypillisesti merkittävien sisäilman laatuun vaikuttavien yleisten rakennusmateriaalien keskeisiin kemiallisiin emissioihin ja vastaaviin terveysriskeihin.

Rakennusmateriaalien olemus

Rakennusmateriaalien luokitteluperusteita on eri tarkoituksiin useita. Sisäilmasovellutusten kannalta mielekäs luokitteluperuste on materiaalityypin taipumus vapauttaa päästöjä ilmaan. Tässä suhteessa materiaalityyppejä on kolmenlaisia: (1) n.s. turvalliset luonnonmateriaalit, (2) haihtuvia aineita vapauttavat materiaalit ja (3) vaurioituneina epäpuhtauslähteiksi muuttuvat materiaalit.

Turvallisiksi luonnonmateriaaleiksi "*Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokitus*" vuodelta 1995 nimeää seuraavat materiaalit: tiili, luonnonkivi, keraaminen laatta, lasi, metallipinnat, lauta ja hirsi. Näille materiaaleille on yhteistä tietynlainen passiivisuus. Ne asennetaan kuivina, joten alkuemissioita ei synny kuivumisilmiöistä johtuen, eikä niissä esiinny sellaisia vanhenemisilmiöitä, jotka aiheuttaisivat haihtuvien komponenttien vapautumista sisäilmaan.

Haihtuvia aineita vapauttavia ovat sellaiset materiaalit, joiden valmistusprosessit ja/tai asennettavuus edellyttävät liuotin-, liima- ja/tai pehmitinaineiden käyttöä. Uusina näiden materiaalien pinnasta saattaa vapautua lähinnä liuotinaineita, ensin haihtumalla ja alkuemissioiden suhteellisen nopean hiipumisen jälkeen diffuusiomekanismilla hitaammin mutta pitkäkestoisesti. Käyttötilanteessa tehdyistä tapaus selvityksistä on tunnistettu (Gustafsson & Jonsson 1993) neljä sisäilmapäästöjen lähdettä:

- polymeerimateriaalit (kuten vinyylilattiapinnoitteet)
- (kuivuneet) maalipinnat (sekä vesipohjaiset että liuotinpohjaiset)
- pellavaöljypohjaiset tuotteet kuten alkydimaalit ja linoleumit
- kostumisen seurauksena hajoavat materiaalit.

Sisäilman laadun kannalta sekä hajuhaittojen että terveyshaittojen osalta on todettu kriittisiksi tekijöiksi korkeita aldehydejä vapauttavat maalit, formaldehydipäästöjä vapauttavat liimat ja pehmittimet kuten DPHP, joista vapautuu korkeita alkoholeja.

Emissiot sisäilmaan ovat seurausta emittoivan materiaalin pinta-alasta ja materiaalmäärästä (massasta), toisiinsa suoraan tai väliaineen (esimerkiksi ilman) välityksellä yhteydessä olevien materiaalien muodostamasta systeemistä, sekä materiaalisysteemin aiheuttamista vuorovaikutuksista kuten nieluilmiö (sink) ja mahdollisten kemiallisten reaktioiden tuloksista. Lisäksi ympäristötekijät kuten ilmatilan lämpötila, kosteus ja ilman virtaukset vaikuttavat lopputulokseen. Käyttövaiheessa tilanteeseen tuovat oman lisänsä vanhenevien ja mahdollisesti vaurioituneiden materiaalien aiheuttamat lähinnä hajoamis- ja reaktiotuotteista koostuvat usein vaarallisetkin (esimerkiksi formaldehydi ja ammoniakki) päästöt.

Varsinaisen rakennusmateriaalisysteemin lisäksi käyttövaiheessa vaikuttavat sisäilmapäästöihin myös ylläpitotoimet kuten pintojen pesut ja käytettävät puhdistus- ja hoitoaineet. Ne ovat usein välittömästi käsittelyjen jälkeen hallitsevia sisäilmapäästöjen lähteitä, ja vaikuttavat (esimerkiksi vahaus) toisinaan pitkäänkin hallitsevasti systeemin käyttäytymiseen. Sisäilman epäpuhtaus-tilanteen kannalta myös ilmanvaihto on avainasemassa toisaalta laimennuksen ja epäpuhtauksien poiston, toisaalta korvausilman mukana sisätiloihin ulkoilmasta ja ilmanvaihtolaitteistosta kulkeutuvien aineiden ja hiukkasten vuoksi.

Saumausaineet

Saumausaineet ja kitit muistuttavat liimoja sikäli, että niiden on kiinnityttävä alustaansa. Niiden ensisijaisena tehtävänä on eristää pölyä, likaa, kosteutta ja kemikaaleja pääsemästä saumoihin, rakoihin tai koloihin. Niitä käytetään lukuisissa kohteissa rakennuksissa ja ne esiintyvät yhdessä erityyppisten materiaalien kanssa, esimerkiksi kosketuksessa lasiin, betoniin, tiliin, puuhun, muoveihin ja metalleihin.

Saumausaineet voidaan jakaa hartsityyppinsä perusteella joko luonnonaineisiin tai synteettisiin. Hartsit ovat joko kiinteitä tai nestemäisiä aineita. Asennettavuuden vuoksi sekä nestemäisiin että kiinteisiin hartseihin lisätään liuottimia. Kiinteisiin hartseihin lisätään suurimmat liuotinpitoisuudet. Kiinteitä polymeerejä ja kiinteitä kumeja sisältävien saumausaineiden emissiopotentiaali on kaikkein suurin, koska ne kovettuvat luovuttamalla viskositeettinsa säätämiseen käytetyn liuotinaineen. Myös emulsiot kovettuvat luovuttamalla liuotimensa, mutta niissä käytetty liuotinaine on vesi. Nestemäiseen polymeeriin pohjautuvat saumausaineet vaativat vähäisempiä liuotinmääriä sopivan viskositeetin saavuttamiseksi, eikä niiden kovettuminen perustu liuotimen haihtumiseen vaan reaktioihin (esimerkiksi ilman kosteuden kanssa tai tarkoitusta varten lisätyn koveteaineen kanssa). Liuotinaineiden ohella saumausainemassoihin lisätään notkistimia ja muita lisäaineita sopivan koostumuksen saavuttamiseksi. Esimerkiksi silikonikitissä käytetään silikoniöljyä ja silikoinestettä notkistimina. Tämänkaltaisia koostumustietoja on mahdollista käyttää arvioitaessa eri saumausaineiden emissiopotentiaalia.

Silikonikittiä käytetään sekä märkiin että kuiviin kohteisiin. Silikonikitti vapauttaa sisäilmaan runsaasti etikkahappoa ja pieniä pitoisuuksia eräitä muita kemikaaleja asennuksensa jälkeen. Etikkahappo on hengitettynä kohtalaisen myrkyllistä ja ihoa sekä kudoksia voimakkaasti ärsyttävä aine. Sen TLV-arvo on 25 mg/m^3 (10 ppm) ilmassa. Etikkahapon emissiomäärä on $2000 - 13\,000 \text{ } \mu\text{g/m}^2\text{h}$. Muita tunnistettuja emissioita ovat 2-butoksyheksanoli, bentseeni, butanoli, butyylipropionaatti, metyyli-etyyli-ketoni ja tolueeni. Keskimääräinen TVOC emissiomäärä on $26 \text{ } \mu\text{g/m}^2\text{h}$.

Polyuretaanikitti

Polyuretaanikitti ja yksikomponenttinen polyuretaanivahto kovettuvat ympäröivän ilman kosteuden vaikutuksesta. Yksikomponenttinen polyuretaanikitti - kuten polyuretaanieristekin - koostuu polyolista ja isosyanaatista sekä vaahtoa muodostavasta triklorofluorometaanista. Kovettumisreaktiossa kitin vapaa isosyanaatti reagoi kosteuden kanssa muuttuen toisiksi yhdisteiksi, eikä kovettunut polyuretaani enää emittoi isosyanaattia. Isosyanaatit ovat allergeeneja ja voivat aiheuttaa astmaa, herkistyneillä henkilöillä ilmenee oireita jo hyvin pienillä pitoisuuksilla. Isosyanaatin TLV-arvo on $0,035 \text{ mg/m}^3$. Lisäksi näissä kiteissä voi olla haihtuvia alifaattisia ja aromaattisia hiilivetyjä liuottimina. Tunnistettuja päästöjä ovat mm. tolueeni, tolueeni di-isosyanaatti (TDI) ja ksyleeni. Kovettuneen kitin emissiopäästöt ovat vähäiset.

Linoleum

Lattiaan liimattu linoleum on eräs sisäilmaston kannalta hankalasti hallittavista materiaaleista. Se on eräs vanhimpia synteettisiä lattiapinnoitteita. Sen perusraaka-aine on pellavaöljy tai muu vastaava öljytuote, ja jo raaka-aineet ovat ongelmallisia sisältämiensä epäpuhtauksien ja voimakkaan hapettumistaipumuksensa vuoksi. Vanhetessaan hajoava linoleum vapauttaa rasvahappoihin pohjautuvia dissosiaatiotuotteita, erityisesti aldehydejä ja ketoneja. Lisäksi linoleumissa on liuottimia kuten tolueenia ja butanolia, sekä alifaattisia aldehydejä (erityisesti heksanaalia). Käyttöolosuhteissa linoleumiin kehittyy usein vahva haju voimakkaiden pesuaineiden ja vahojen käytön seurauksena. Pinnan vahingoiduttua kosteutta pääsee materiaalin sisään. Linoleumlattioissa saattaa esiintyä pitkäaikaisia voimakkaita orgaanisia emissioita suuruusluokassa 20 mg/m²/h.

PVC-lattiapinnoitteet

PVC-tuotteet ovat tyypillisiä rakennusten hajun lähteitä. Niistä vapautuvat aineet ovat yleisesti erilaisia liuottimia (sekä alifaattisia että aromaattisia). PVC-lattiapinnoitteita valmistetaan pehmitetystä muovista, johon yleensä on lisätty plastisointi-, stabilointi-, väripigmenti-, lisä-, ja täyteaineita kuten kalkkikivi- tai kvartsi jauhetta ja mineraalikuuituja. Mattotyyppisten PVC-pinnoitteiden pintakerros voi olla pohjakerroksesta poikkeava, esimerkiksi polyuretaania. PVC on palamatonta suuren klooripitoisuuden (56 paino-%) vuoksi. PVC-pinnoitteet kiinnitetään lattiaan yleensä dispersiotyyppisellä liimalla; kontaktiilimoja käytetään vain erikoistapauksissa.

Mattomaisten PVC-lattiapinnoitteiden pääasiallinen emittoituva aine on vielä 1990-luvulla ollut 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentasioldiisobutyraatti (TXIB) sen käyttö lattiapinnoitteissa on lähes lopetettu vuoden 1995 jälkeen valmistetuissa PVC-muovimatoissa. Se ei ole erityisen haihtuva, mikä johtaa pitkäkestoisiin emissioihin. Emission määrä ja kesto riippuvat myös tuotteen paksuudesta ja koostumuksesta, uuden tuotteen TXIB-päästö on tyypillisesti suuruusluokaltaan muutamia satoja µg/m²/h. Huolimatta siitä, että TXIB on teollisuudessa yleisesti käytetty aine, jolle ei ole asetettu turvallisuusrajaa, sen käyttöä on rakennusmateriaalisovelluksissa vähennetty johtuen sen esiintymisestä useissa ongelmakohteissa tehdyissä sisäilmamittauksissa.

Kovissa PVC-laatoissa on pienempi plastisointiaineen (pehmittimen) pitoisuus verrattuna mattomaisiin tuotteisiin, mikä mahdollisesti vähentää niiden emissioita. PVC-laatoissa on suurempi täyteainepitoisuus (50 - 80 paino-%) ja ne ovat rakenteeltaan homogeenisia. Kuitenkin erityisesti lisäaineet aiheuttavat niissäkin päästöjä, joiden hiipuma kestää noin 100 - 200 päivää.

Ammoniakki ja emäksinen kosteus (kosteuspitoisuus yli 90%) hajoittavat DOP (dioktylphtalate) pehmittimiä ja aiheuttavat makeahkon hajuisen 2-etyyli-1-heksanolipäästön. Märällä betonipinnalla tapahtuu siten sisäilman laadun kannalta haitallisia prosesseja, ja liimoissa aiheutuvat lisäreaktiot vielä pahentavat tilannetta aiheuttaen voimakkaita pitkäkestoisia ongelmia.

PVC-pitoiset tapetit

Tapettiin voi kuulua neljä kerrosta: pinnoite, keskikerros, tausta ja liima. Kukin kerros voi koostua erilaisista materiaaleista kuten muoveista, paperista, kuiduista tms. Sisäilmavaikutusten kannalta materiaalin määrä ja laatu ovat ratkaisevia. Läpikotaisin PVC-muovista valmistetun seinäpäällysteen VOC-emissiomäärä on 0,10 mg/m²h Vinyylistä ja paperista valmistetun tapetin VOC-päästöt ovat noin 0,04 mg/m²h Lasikuituja sisältävän vinyylitapetin emissiomäärä on noin 0,30 mg/m²h.

PVC-tapetit vaikuttavat sisäilman laatuun paitsi päästölähteenä myös toimimalla diffuusiosulkuna alusrakenteilleen. Niiden on todettu pienentävän alustansa (vaneri, lastulevy) formaldehydi-kuormaa sisäilmaan jopa 85 - 90 % (Leineger et al. 1993).

Lastulevy

Lastulevyn emissioista on tunnistettu mm. formaldehydi, benzaldehydi, bentseeni, styreeni, ksyleeni, tolueni, diklorobentseeni, akroleini, metyyli etyyli ketoni, butanoli, etanoli, asetoni, heksanaali, propanoli, fenoli, alfa-pineeni ja limoneeni. Päästöt ovat osittain peräisin lastulevyn liimamassasta, osittain puumassasta. Lastulevyn VOC-emissiomäärä on noin 200 - 2000 mg/m²h (Levin 1992).

1970-luvulla lastulevyn formaldehydipäästöt olivat ylivoimaisesti tunnetuimmat materiaali-emissiot. Ongelmien paljastumisen jälkeen ryhdyttiin tutkimus- ja kehitystyöhön, jonka seurauksena päästömäärät saatiin hallintaan. Lastulevyn formaldehydipäästöt ovat peräisin lastulevymassan liimasta (urea- tai ureamelamiiniformaldehydiliimat). Liimatyypit ja lastulevyn kosteusolosuhteet vaikuttavat merkittävästi formaldehydipäästöjen määrään ja kestoan.

Formaldehydi on herkästi haihtuva aine (VVOC). Sen emissionopeus on voimakkaasti riippuvainen ympäröivästä lämpötiloista ja kosteudesta. Suhteellisen kosteuden kaksinkertaistuminen 34 %:sta 70 %:iin nostaa emissionopeutta kertoimella 2,5. Tavanomaisissa rakennuksissa normaali pitoisuustaso on välillä 0,05 - 0,1 mg/m³ ja ylittää harvoin 0,2 mg/m³ (World Health Organization 1987). Kohonneita formaldehydipitoisuuksia on todettu myöhäiskesällä ja alkusyksystä runsaasti lastulevyä sisältävissä kohteissa. Kosteusvauriot moninkertaistavat formaldehydipitoisuudet, ja kosteusvaurion kuivumisen jälkeenkin formaldehydipitoisuus säilyy korkeana jopa useita vuosia.

Formaldehydi on voimakkaasti ärsyttävä aine. Jo pieninä pitoisuuksina se ärsyttää ihoa, silmiä, limakalvoja ja hengityselimiä. Ärsytyskynnyksenä pidetään pitoisuutta 0,06 mg/m³ ja hajukynnyksenä 0,05 mg/m³. Formaldehydi on mahdollisesti karsinogeeninen aine. Sen HTP-arvo on 1,3 mg/m³ (keskiarvotusaika 15 min). Sisäilmastoluokituksen mukainen tavoitearvo formaldehydipitoisuudelle on S1 puhtausluokassa 0,03 mg/m³, S2 luokassa 0,05 mg/m³ ja S3 luokassa 0,15 mg/m³.

Kipsilevy

Kipsilevystä aiheutuu normaalitilanteissa varsin pieni epäpuhtauspäästö. Kostuneen kipsilevyn emissiotaso kuitenkin nousee. Emittoituvia aineita ovat mm. 1-butanoli, dekaani, 2-etyyli-1-heksanoli ja 2-fenoksetanoli.

Liimat

Liimat pohjautuvat joko luonnonhartsisiin tai synteettiseen hartsisiin. Hartsin tyyppi määrää liiman koostumuksen. Osa hartseista on vesiliukoisia, osa tarvitsee orgaanisen liuottimen. Myös liimojen polymeerimuoto vaihtelee ollen kiinteä, nestemäinen tai emulsio.

Keinohartsipohjaiset liimat sisältävät 10 - 15 % orgaanisia liuottimia, ja ne kuuluvat työhygienisesti turvallisina pidettyihin tuotteisiin, joiden käyttö ei edellytä tehostettua ilmanvaihtoa tai henkilökohtaisten suojausvälineiden käyttöä, mutta siitä huolimatta ne voivat olla käyttöolosuhteissa sisäilmaongelmien lähde. Keinohartsiliimojen käyttö on vähentynyt, ja korvaavaksi liimatyyppiksi on yleistynyt dispersioliimojen ryhmä.

Emulsioliimoista haihtuu pääosin vettä. Näissäkin liimoissa on kuitenkin mukana pieniä määriä haihtuvia notkistimia ja orgaanisia liuottimia.

Kontaktiliimoja käytetään yleensä vain erikoistarkoituksiin kuten muovikehysten kiinnitykseen, märkätilojen lattiakaivojen osien liimaamiseen ja hankaliin taivutettuihin kohteisiin. Kontaktiliimojen sideaine on yleensä keinotekoinen kumi, ja niissä on jopa 75 % orgaanisia liuottimia kuten tolueenia, asetonia, ja heksaanityyppistä liuotinbenssiä.

Kemiallisen reaktion avulla kovettuvien liimojen emissiopotentiaalin arvioiminen on hieman hankalampaa kuin veden tai liuottimen haihtumisen seurauksena kovettuvien liimojen päästöjen arviointi. Kovettumisreaktioissa voi muodostua lukuisia haihtuvia sivutuotteita. Esimerkiksi eräitä fenoleita kovetetaan heksametyleenitetramiinilla (HMTA), joka lämpimissä ja kosteissa oloissa hajoaa formaldehydiksi ja ammoniakiksi. Tällainen reaktiotuotteiden vapautuminen sisäilmaan voi tapahtua vuosienkin viiveellä ja olla pitkäkestoista. Lisäksi liiman polymeerin hajoaminen on mahdollista, esimerkiksi auringon ultravioletti säteily voi hajottaa polymeerejä pitkän altistusajan kuluessa (Leiniger et al. 1993).

Lattialiimat

Vesipohjaiset lattialiimat emittoivat vähäisiä liuotinmääriä. Työnaikaisten liuotinpitoisuuksien on todettu olevan noin 12 % sallituista pitoisuuksista (Riala & Riihimäki 1989). Sensijaan keinohartsipohjaisten liimojen työnaikaiset päästöt ovat noin kolminkertaiset sallittuihin pitoisuuksiin verrattuna (Riala & Riihimäki 1989). Lattialiimauksissa käytettyjen kontaktiliimojen emissiot ovat ylittäneet sallitut pitoisuudet noin 1,5-kertaisesti (Riala & Riihimäki 1989). Nämä alkuemissiot hiipuvat kuitenkin melko nopeasti. Sen sijaan käytön aikaiset liimojen hajoamisesta aiheutuvat emissiot voivat olla pitkäaikaisia. Esimerkiksi liimojen polymeerikomponenttien ja lisäaineiden hydrolyysi kosteissa ja alkalisissa olosuhteissa

(esimerkiksi määrän betonin ja lattiapäällysteen välisissä) vapauttaa sisäilmaan alkoholeja kuten 2-etyyli-1-heksanolia (Gustafsson 1990).

Parkettiliimat koostuvat tyypillisesti peruspolymeerin lisäksi joukosta liiman ominaisuuksia säättäviä lisäaineita kuten adheesiota lisäävät aineet, notkistimet, öljyt, liuottimet, täyteaineet, stabilointiaineet, vaahtoamista estävät aineet ja sakeuttajat. Sisäilman kannalta merkittävimpiä edellä mainituista ovat orgaaniset liuottimet ja notkistimet, jotka molemmat tyypillisesti koostuvat haituvista aineista. Adheesiota lisäävät aineet ja sakeutusaineet ovat tyypillisesti peruspolymeeristä poikkeavaa hartsia, ja täyteaineet ovat yleensä kiviainespohjaisia, eivätkä nämä aineet ole haihtuvia. Stabilointiaineiden, vaahtoamisen estoaineiden ja kovetteiden koostumus vaihtelee, joten niitä on tarkasteltava erikseen. Stabilointiaineiden käyttö on eduksi sisäilman laadun kannalta, koska stabilointiaineet estävät polymeerien hajoamisreaktioita, joista syntyy sisäilmapäästöjä (haituvia reaktiotuotteita sisältäviä pitkäaikaisia emissioita). Kiinteiden polymeerien ja kumiin liuotinaisena käytetään suuria pitoisuuksia orgaanisia liuottimia. Tyypillisesti liuotinaisena ovat ketoneja, alkoholeja, estereitä, hiilivetyjä ja kloorattuja yhdisteitä. Liuottimet ovat polymeerikohtaisia, esimerkiksi butyylikumi liukenee hiilivetyihin ja kloorattuihin liuottimiin, mutta ei tavallisiin alkoholeihin, ketoneihin tai estereihin. Liimassa käytettyjen lisäaineiden on oltava liukoisia tai dispergoituvia polymeerin orgaaniseen liuottimeen. Liiman sisäilmaemissioiden määrää arvioitaessa voidaan lähtökohdaksi pitää oletusta, että koko liiman sisältämä liuotinaismäärä haihtuu, koska liiman kuivuminen edellyttää sitä (Leininger et al. 1993).

Kiinteitä polymeerejä ja kiinteää kumia sisältävät liimat emittoivat alkoholeja, alkoholi-dioleja, aldehydejä, alifaattisia ja aromaattisia hiilivetyjä, sykloheksaaneja, estereitä, halogenoituja hiilivetyjä, ketoneja, metyyli-syklopentaaneja, kyllästettyjä syklohiilivetyjä, styreeniä ja tolueniä.

Kiviaineisiin pohjautuvien rakennusmateriaalien (kuten kaakelit ja klinkkerit) liimauksessa voidaan käyttää myös epoksihartsipohjaisia liimoja, jotka emittoivat mm. 2-butanonia, 2-metoksietanolia, 2-propanonia, 4-metyyli-2-pentanonia, asetaldehydiä, ammoniakkaa, bentseeniä, butaania, ketoneja, kyllästettyjä alifaattisia hiilivetyjä, metanolia, metyylibentseeniä, nitrometaania, propaania, trikloroetaania ja ksyleeniä.

Seinänpäällysteliimat

Seinäliimoja ovat mm. lateksiakryylit, dekstriinit, ja tärkkelyspohjaiset (liisteri-) liimat. Muissakin käyttökohteissa yleisten liimojen lisäksi seinänpäällysteliimoille ominaisia aineosia ovat tärkkelys, selluloosa ja urea. Emulsiotyypiset liimat emittoivat mm. 2-metyylinonaania, alkoholi-dioleita, aldehydejä, alifaattisia ja aromaattisia hiilivetyjä, alkaaneja, sykloheksaaneja, dekaania, dimetylioktaania, dimetylibentseeniä, estereitä, halogenoituja hiilivetyjä, ketoneita, metyyli-sykloheksaaneja ja sykliisiä hiilivetyjä. Tärkkelystä sisältävät liimat emittoivat lisäksi mm. ammoniumrisiiniöljyhaidunnaisia ja formaldehydiä. Seinänpäällysteliimojen tyypillinen keskimääräinen päästönopeus on noin $100 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \text{ h}$ (Leininger et al 1993).

Kivivillat ja lasivillat

Mineraalivillojen eli kivi- ja lasivillojen kuidut koostuvat useista kemiallisesti inerteistä materiaaleista kuten hiekka, savi, kalkkikivi, dolomiitti, basaltti ja kierrätyslasi. Sisäilmänäkökulmasta nämä mineraalivillojen raaka-aineet eivät aiheuta huolia. Sen sijaan sideaineet ovat potentiaalinen sisäilmäpäästöjen lähde. Mineraalivillojen sideaine pohjautuu suurelta osin fenoliformaldehydihartseihin. Tämän sideaineen osuus lasivillan painosta on noin 4 - 5 % keveissä rakennuseristeissä ja 5 - 12 % tuulensuoja- ja tasakattoeristeissä. Kivivillassa sideaineen määrä on samaa suuruusluokkaa kuin lasivillassa, mutta painoprosenttina ilmaistu pitoisuus on pienempi johtuen kivivillan suuremmasta ominaispainosta. Edellisten lisäksi villoissa on pieniä pitoisuuksia eri tarkoituksia varten lisättyjä lisäaineita (kuten pölynsidonta-aineita).

Mineraali- ja lasivillojen emissiot ovat samankaltaiset johtuen yhtäläisyyksistä materiaalikoostumuksessa ja valmistusprosessissa. Emissioiden pääkomponentti on tolueni (Tirkkonen et al., 1993). Mineraalivillan toluenipäästö määrä on $57 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja lasivillan vastaavasti $85 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ (lämpötilassa $23 \text{ }^\circ\text{C}$, RH 45 %). Inertit kuitumateriaalit eivät emittoi, mutta epäedullisissa olosuhteissa sideaineista saattaa vapautua merkittävästi kohonneita epäpuhtausmääriä. Normaaliolosuhteissa (n. $21\text{-}22 \text{ }^\circ\text{C}$, RH 45 %) kuivien villojen VOC-emissiomäärä on noin $0,01 \text{ mg}/\text{m}^2\text{h}$. Kun lämpötila kohoaa $50 \text{ }^\circ\text{C}$:een ja villat ovat kosteita, niiden emittoimat epäpuhtausmäärät noin satakertaistuvat verrattuna kuiviin villoihin samassa ($50 \text{ }^\circ\text{C}$) lämpötilassa. Kuivat villat emittoivat alifaattisia aldehydejä. Kosteat mineraali- ja lasivillat emittoivat mm. alifaattisia aldehydejä ja aromaattisia aldehydejä kuten bentsaldehydiä ja ketoneja.

Kaasumaisten epäpuhtauksien lisäksi mineraali- ja lasivillojen sisäilmatarkasteluissa on arvioitava kuitujen irtoamisen vaikutuksia.

Selluvilla

Selluvilla koostuu irtonaisesta selluloosakuidusta. Sisäilman kannalta ongelmallisia voivat olla erityisesti kierrätyskuidussa esiintyvät jäämät. Tyypillisiä epäpuhtauksia ovat boorihappo, booraksipöly, liuottimet, ftalaatit, kuidut, VOC-emissiot, tetradekaali, heptaani ja heksaani. Booraksi on terveydelle haitallista, sen TLV on $5 \text{ mg}/\text{m}^3$. Haihtuvat liuotinaaineet ovat ärsyttäviä silmille sekä nenän ja kurkun limakalvoille, ja ne aiheuttavat pahoinvointia ja päänsärkyä. Pitkäaikaiset runsaat altistukset voivat aiheuttaa keskushermosto-oireita kuten väsymystä, hermostuneisuutta ja unihäiriöitä.

Maalit ja lakat

Maali on nestemäinen tuote, joka pinnalle siveltynä muodostaa alustaan tarttuvan peittävän kalvon; lakka muodostaa vastaavasti läpinäkyvän kalvon. Maalit ja lakat koostuvat neljästä komponentista, jotka ovat sideaineet, pigmentit ja täyteaineet, liuotteet ja apuaineet. Maalit luokitellaan yleensä sideainetyypinsä perusteella esimerkiksi lateksi-, alkydi- ja epoksimaaleihin. Sisäilmatarkastelujen kannalta erityisen mielenkiintoinen on luokittelu ohenteen perusteella erityisesti vesiohenteisiin ja liuotinohenteisiin, tai kuivumistavan mukaan (fysikaalisesti kuivuvat, hapettumalla kuivuvat ja reaktiomaalit).

Sideaineet ovat kiinteitä tai nestemäisiä polymeerejä. Kiinteät ja korkeaviskoosiset sideaineet on liuotettava sopivaan juoksevuuuteen ennen maalin valmistusta. Sideainetyyppiä käytetään yleensä maalin luokitusperusteena. Esimerkiksi alkydihartsisideaineisia maaleja ja lakkoja kutsutaan alkydimaaleiksi ja -lakoiksi. Sideaine voi olla myös pieninä hiukkasina vedessä, jolloin sideainetyyppiä kutsutaan dispersioksi, ja lopputuotteen nimessä yleensä esiintyy usein sana "lateksi". Alkydituotteet kuivuvat ilman hapen vaikutuksesta hapettumalla. Lateksit kuivuvat veden haihtuessa, jolloin sideainehiukkaset tarttuvat toisiinsa. Epoksimaalien sideaine on epoksihartsi, joka tarvitsee erillisen kovetteen kovettuakseen. Kaliumvesilasi on kemiallisesti kuivuva yksi- ja kaksikomponenttisten silikaattimaalien sideaine, joka soveltuu betoni- ja rappauslaastipinnoille.

Pigmentit ja täyteaineet antavat maaleille peittokyvyn ja värin. Peittävänä valkoisena pigmenttinä käytetään yleensä titaanioksidia, värilliset pigmentit ovat erilaisia kemiallisia yhdisteitä. Täyteaineita ovat mm. liitu, talkki ja kaoliini. Näiden aiheuttamat emissiovaikutukset ovat olemattomia verrattuina maalien muihin ainesosiin.

Liute liuottaa maalin sideainetta ja säättää viskositeettia; ohenne (joka ei oikeastaan ole maalin raaka-aine vaan maalaustarvike) vain säättää viskositeettia. Liuotteella säädetään maalin levitysominaisuuksia, tasoittumista ja kuivumista. Liuotinaineiden liuotuskyky vaihtelee, esimerkiksi ksyleeni ja tolueeni ovat voimakkaampia kuin lakkabensiini. Tällä on vaikutusta tarvittavaan liuotinainepitoisuuteen ja siten haihtuvan komponentin kokonaismäärään. Haihtumisnopeutta puolestaan kuvaa haihtumisluku, joka esimerkiksi asetonilla on 7,7, liuotinsiniinillä 0,2 ja etyleeniglykolilla 0,01; näistä asetonin haihtuu nopeimmin ja etyleeniglykoli hitaimmin. Vesiohenteisissa dispersiomaaleissa käytetään pieniä määriä hitaasti haihtuvia liuotteita, jotka hidastavat maalin kuivumista ja parantavat kalvonmuodostusta.

Apuaineita käytetään hyvin pieninä pitoisuuksina antamaan erityisominaisuuksia kuten säilyvyyttä, levittyvyyttä, kuivumista tai kestävyyttä käyttökohteessa. Osa apuaineista palvelee valmistusprosessia.

Ohenteet eivät varsinaisesti ole liuottimia eivätkä apuaineitakaan, vaan yksinomaan tuotteen ohentamiseen tarkoitettuja täysin haihtuvia nesteitä. Vesiohenteiset maalit ohennetaan vedellä, liuteohenteiset maalit orgaanisella liuotteella tai liuteseoksella.

Lateksimaalit

Dispersiomaalien liuoteainepitoisuus on yleisesti alhainen, vain noin 0,5 - 2 % ja kiiltävämmillä erikoislatekseillakin vain noin 2 - 5 %. Markkinoilla on myös täysin liuotinaineettomia dispersiomaaleja. Haihdunta on hidasta ja pitkäkestoista, mutta haihtuvien aineiden pitoisuudet ovat alhaiset. Haihtuvat komponentit voivat olla esimerkiksi seuraavia: tolueeni, ksyleenit, bentseenit, alkaanit, glykolit ja asetaatit. Maalausalustalla on keskeinen vaikutus sekä maalatun pinnan alkuemissioihin että emissiomäärän hiipumaan. Tiivis inertti alusta aikaansaa suurimmat alkuemissiot ja nopeimman hiipuman. Huokoinen alusta pienentää alkutilanteen emissiohuippua, mutta emissiomäärä pienenee varsin hitaasti. Ensimmäisten päivien aikana haihtuvien aineiden kokonaismäärä on suuruusluokaltaan muutamia kymmeniä mikrogrammoja neliömetriltä tunnissa. Akrylaatteja sisältävien maalien emissiomäärät ovat hieman korkeammat.

Tasoiitteet

Tasoiitteet jakautuvat ominaisuuksiltaan kahteen tyyppiin karkeasti sen mukaan, onko ne tarkoitettu käytettäväksi kuivassa vai kosteassa tilassa. Kuivan tilan tasoiitteet voivat olla varsin huokoisia, pienen diffuusiovastuksen omaavia tuotteita, kun taas kostean tilan tasoiitteet ovat usein varsin tiiviin kerroksen muodostavia. Kostean tilan tasoiitteet soveltuvat usein myös kuivissa tiloissa käytettäväksi, mutta kuivan tilan tasoiitteita ei tule altistaa kosteusrasituksille.

Kiviainespohjaisten tasoiitteiden runkoaineena on yleensä valkoinen kalkkikivi (dolomiitti), jonka tartuntaa ja työstettävyyssominaisuuksia on parannettu lisäaineilla. Nimenomaan näiden lisäaineiden ominaisuudet ovat sisäilman laadun kannalta merkittäviä. Tasoiitteen ainemenekki on usein yli 1 kg/m^2 , toisinaan jopa useita kiloja neliömetrille, joten tasoiitekerroksen merkitys sisäilman laadulle voi olla huomattava. Ongelmia aiheutuu erityisesti kahdessa eri tapauksessa: käytetään kemiallisesti sitoutuvia pikatasoiitteita paksuina kerroksina, jolloin kemialliset reaktiotuotteet vapautuvat sisäilmaan (pintamateriaalista riippuen vapautumisaika vaihtelee, mutta korkeat sisäilmapitoisuudet voivat kestää kuukausimääriä), tai käytetään kuivan tilan tasoiitetta kosteudelle alttiissa paikoissa, jolloin niissä saattaa käynnistyä sisäinen hajoamisprosessi jonka reaktiotuotteet (kuten erityisesti ammoniakki tai joskus formaldehydi) vapautuvat sisäilmaan. Sisäilmavaikutusten laatu ja kesto ovat e.m. tapauksissa toisentyypiset. Pikatasoiitteiden aiheuttamat päästöt ovat tyypillisesti pitkän alkuhiipuman omaavia mutta ajan myötä (noin puolessa vuodessa) lähes nollaantuvia, kun taas hajoamistuotteiden vapautuminen alkaa nousevilla pitoisuuksilla ja jatkuu jopa useita vuosia.

Tasoiitteiden lisäaineista aiheutuvia tyypillisiä päästöjä ovat erikoisliuotinaineet kuten bis(2-hydroksietyyli)amiini, 3-metoksi-1,2-propaanidioli ja tavanomaisemmat liuotinaineet kuten tolueeni, propanoli, isopropanoli sekä formaldehydi.

1.1.5 Materiaalivalintojen ohjausperiaatteet

Materiaalivalintojen ohjausperiaatteet on mahdollista esittää materiaalin yhteensopivuutta ja yhteisvaikutuksia tarkastelemalla, jolloin päädytään yksityiskohtaiseen vuorovaikutusten erittelyyn, tai lyhyesti perusperiaatteina. Seuraavassa esitetään luettelonomaisesti keskeiset sisäilman puhtauteen tähtäävät materiaalivalintojen periaatteet.

Materiaalivalintojen yleisperiaatteet

1. Sisäilman laadun kannalta turvallisimmat materiaalit sisältävät mahdollisimman harvoja päästölähteitä, eikä päästöissä tule olla karsinogeenisiä aineita tai muuta vakavaa haittaa aiheuttavia päästöjä.

Päästölähteiden harvalukuisuus on sinänsä merkittävä tekijä, koska erilaisten epäpuhtauksien lukumäärä lisää sairas rakennus -oireyhtymän riskiä erilaisten epäpuhtausyhdistelmien lukumäärän kasvun myötä. Erityisesti haitallisiksi tunnettuja päästölähteitä tulee välttää. Kaikessa yksinkertaisuudessaan tämä on selkein tapa pyrkiä edistämään sisäilman laadun kannalta hyviä materiaalivalintoja.

2. Päästötasojen (päästön määrä/aika) tulisi olla käyttöolosuhteissa alhaiset. Korkea nopeasti hiipuva alkupäästötaso on hyväksyttävissä, mikäli tuote on mahdollista saattaa alhaisen päästötason tasapainotilaansa ennen kohteen käyttöönottoa.

Käyttöolosuhteissaan alhaisten päästöjen materiaalit tuottavat niin hitaasti epäpuhtauskuormaa sisäilmaan, että normaali ilmanvaihto riittää varmistamaan sisäilmapitoisuuksien alhaisuuden. Ilmanvaihtoa ei tulisi joutua käyttämään kompensaatona liiallisista epäpuhtauspäästöistä. Ainoa poikkeus kiihdytetyn ilmanvaihdon käytön perusteeksi on tilapäinen vaihe nopeasti hiipuvan päästölähteen asennuksen jälkeen. Tällöin on kyseessä lyhyt jakso, jonka kuluessa materiaali muuttuu käyttövaiheessa alhaiselle normaalitasolleen päästölähteenä. Pitoisuuksien alhaisena pitäminen lisäilmanvaihdolla laimentamalla ei kuitenkaan ole yleisesti hyväksyttävissä: pääsääntöisesti ilman epäpuhtaudet tulee hallita päästölähteiden rajoittamisen keinoin.

3. Emissioiden kesto on lyhyt, ts. päästölähteen hiipuma on nopea.

Emissioiden kesto on suoraan verrannollinen käyttäjien altistusaikaan, ja altistusaika puolestaan on suoraan verrannollinen haitallisten vaikutusten riskiin. Asennuksen ja päästöjen hiipuman välisen ajan tulisi olla mahdollisimman lyhyt.

4. Materiaali on pysyvä (inertti) alkuhiipuman jälkeen, ts. materiaalissa ei käynnisty sekundaarilähteitä.

Inertti materiaali ei aiheuta lisäpäästöjä käyttövaiheen aikana. Inertit materiaalit ovat turvallisimpia myös yhdistelmissä erilaisten muiden rakennusmateriaalien kanssa. Tämä turvavaikutus jatkuu rakennuksen elinkaareissa myös seuraavien ylläpito- ja korjausvaiheiden aikana, koska inertit materiaalit eivät synnytä päästölähteitä myöskään uusissa rakennusyhdistelmissä.

5. Haihtuvien yhdisteiden kokonaismassa materiaalissa on alhainen.

Haihtuvat yhdisteet vapautuvat joko hitaasti tai suurella alkuintensiteetillä, mutta joka tapauksessa ne nostavat sisäilman epäpuhtauspitoisuuksia, ja lisäksi ne ovat laajemminkin ympäristöongelma päättyessään viimein ilmakehään. Jos haihtumisnopeus on pieni, suuri haihtuva massa merkitsee pitkäkestoista emissiota ja siten myös pitää altistusaikaa. Mikäli taas haihtumisnopeus on suuri, alkutilanteen sisäilmapitoisuudet nousevat huomattavan korkeiksi, ja terveysvaikutusten riskirajat tyypillisesti ylittyvät.

6. Terveydelle haitallisiksi tunnettuja epäpuhtauspitoisuuksia aiheuttavia materiaaleja ei tule hyväksyä.

Käyttäjien altistaminen epäpuhtauslähteille on epäeettistä. Mikäli haitallisiksi tunnetut pitoisuudet ylittyvät suurten alkupitoisuuksien vuoksi, kohteen käyttöönotto viivästyy tai ilmanvaihdolla on nopeutettava epäpuhtauksien poistamista ja siten laimennettava sisäilmapitoisuuksia.

7. Voimakkaita päästölähteitä tulee esiintyä mahdollisimman vähäisissä määrin, ja huonetilaan aukeava pinta-ala tulee minimoida.

Suuri pinta-ala voimakasta päästölähdettä aiheuttaa korkeat sisäilmapitoisuudet. Pinta-alan vähentäminen paitsi alentaa sisäilmapitoisuuksien huippua myös parantaa kokonaistilannetta ja nopeuttaa hiipumaa.

8. Reaktioherkkiä epäpuhtauspäästöjä vapauttavia materiaaleja tulee välttää, tai niiden käytön yhteydessä tulee tehdä kokonaistilanteesta erillinen tarkastelu.

Reaktioherkkiä epäpuhtauspäästöjä tulee välttää kahdesta syystä. Ensinnäkin reaktioherkät aineet ovat sinänsä riskialttiita ja niillä on suuri taipumus synergiaan muiden ilmassa esiintyvien yhdisteiden kanssa. Toisaalta reaktioherkät epäpuhtaudet voivat aikaansaada myös liittyvien rakenteiden (esimerkiksi alustansa) kanssa epäedullisia yhteisvaikutuksia.

9. Runsaasti vapaata (haihtuvaa) vettä sisältäviä tuotteita tulee välttää.

Vesi on liuotin. Se myös kuljettaa eri faaseissaan liuottamiaan aineita. Liuenneessa muodossa useat reaktiot voivat käynnistyä ja edetä. Kosteus yleisesti lisää emissioita ja se voi myös käynnistää sellaisia epäpuhtauspäästöjä, joita ei kuivissa olosuhteissa tapahtuisi. Korkeaan kosteuteen liittyy aina myös biologisten ongelmien (erityisesti mikrobikasvun) riski. Kosteus voi myös aiheuttaa (myös liittyvissä rakenteissa) sellaisia hajoamisprosesseja, jotka käynnistävät uuden (usein pitkäkestoisen) epäpuhtauslähteen (esimerkiksi formaldehydiä tai ammoniakkia).

10. Päästölähteiden kokonaismäärän tulee olla alhainen.

Materiaalien pieni kokonaismäärä pienentää riskejä. Kuten useampia materiaaleja käytetään, sitä suurempi on myös haitallisten yhteisvaikutusten todennäköisyys. Mitä suurempi materiaalmäärä ilmatilaa kohti on rakenteissa, sitä suurempi on myös haihtuvien aineiden määrä. Mahdollisimman alhainen kerrosten lukumäärä helpottaa sekä epäpuhtauksien määrän että laadun hallintaa.

1.2 Emissioiden alhaisuuden pysyvyys

1.2.1 Puhtaat rakenteet

Pyrkimystä puhtaisiin rakenteisiin voidaan lähestyä periaatteessa kahdella tavalla. Ensinnäkin on mahdollista valita haitallisista päästöistä vapaita materiaaleja. Tämä edellyttäisi käytettävien materiaalien olevan hyvin tutkittuja ja tunnettuja myös pitkäaikaisten käyttöominaisuuksiensa suhteen, jolloin myös erilaiset käyttöyhdistelmät ja -olosuhteet tulisi hallita. Esimerkiksi ei riitä, että tunnetaan kosteuseristeen emissiot sinänsä, ne täytyy tuntea myös esimerkiksi pitkäaikaisessa emäksisessä kosteusrasituksessa märkää betonilaattaa vasten.

Toiseksi voi olla mahdollista muokata materiaaleja joko "luonnonmukaisesti" tai keinotekoisesti. "Luonnonmukaiset" menettelyt eivät käytä mitään kemikaaleja tai fysikaalisia käsittelyjä (kuten bake out -kuumennusta) vaan aika hoitaa asian emissioiden hiipuman kautta. Normaali hiipuma voi hidastua tai kiihtyä rakenteen sisäisen nieluilmaston (sink-ilmaston) kautta, ja mikäli nielujen käyttäytyminen (erityisesti onko nielu reversiibeli vai irreversiibeli, ja riittääkö nielun kapasiteetti

vastaanottamaan päästölähteestä vapautuvan emission) tunnetaan hyvin, niitä voidaan käyttää myötävaikuttamaan rakenteiden puhtaana säilymiseen. Keinotekoisia käsittelyjä voidaan käyttää käynnistämään tai nopeuttamaan prosesseja, jotka eivät muutoin käynnistyisi tai olisivat tehottoman hitaita ilman ulkopuolista kiihdytystä. Tyypillisesti lämpökäsittelyt kuuluvat tähän ryhmään.

1.2.2 Puhtaat sisätilat

Pohjimmiltaan pyrkimystä puhtaisiin huonetiloihin ja rakennuksiin voidaan kuvata pyrkimyksenä alentaa sisäilmassa esiintyvien haitallisten aineiden pitoisuuksia. Sisäilman pitoisuudet riippuvat paitsi rakenteiden päästölähteistä myös ilmatilassa tapahtuvasta laimennuksesta tai rikastumisesta (siis pitkälti ilmanvaihdon toimivuudesta) eli pitoisuuden muutoksesta ajan funktiona. Ehkä kaikkein tunnetuin ja käytetyin pitoisuuden suuruusluokkaa kuvaava malli (Tichenor et al. 1993) on

$$R = R_0 e^{-kt}$$

missä R on haihtuvien aineiden (VOC) haihtumisnopeus (emission rate, $\text{mg}/\text{m}^2\text{-h}$) hetkellä t , R_0 on haihtuvien aineiden haihtumisnopeus alkuhetkellä, k on emissioiden hiipumista kuvaava vakio (h^{-1}) ja t on aika (h). Tichenorin mukaan tällaiset kokeellisesti laaditut mallit kylläkin usein kuvaavat emissionopeuksia riittävällä tarkkuudella, mutta niistä puuttuu silti emissioprosessin fysikaalinen kuvaus, eivätkä ne erittele ympäristöä kuvaavia parametreja. Lisäksi tällaiset mallit ovat usein riittämättömiä tarkasteltaessa nopeiden päästölähteiden alkuhiipuman jälkeistä tilannetta. Näiden syiden vuoksi Tichenorin ryhmä kehitti (1993) ja validoi mallin, joka kuvaa sisäilmalähteitä massansiirtoprosesseina. Malli käyttää lähtöoletuksena, että kaikki massansiirto tapahtuu molekyylidiffusiona laminaarisen rajakerroksen läpi lähteen ja ilmatilan rajapinnalta. Massansiirtonopeus lähteen pinnalta ilmatilaan saadaan karkeasti (Fick's First Law, Fickin ensimmäinen massansiirtolaki) laskentakaavalla

$$R = -(D_f/h)(C-C_s)$$

missä D_f on molekyylidiffusiviteetti (m^2/h), h on rajakerroksen paksuus (m), C on (VOC) pitoisuus (mg/m^3) ilmamassassa ja C_s on höyrynpaine pinnalla (mg/m^3). Suhde D_f/h esittää massansiirtokerrointa k_m . Lisäksi taustaoletuksia ovat:

1) Kunkin määrän tuotteen jokaisella uudella kerroksella on sama VOC-höyrynpaine C_v (mg/m^3) (pitoisuutena ilmaistuna), joka on kyseiselle tuotteelle ominainen vakio. Toisin sanoen C_v on riippumaton lisäystä määrästä. Tätä otaksun on testattu kammiokokeilla erilaisilla kerrospaksuuksilla, jolloin on todettu (Tichenor et al 1993, Clausen 1993) että muuttuva suure on hiipumisnopeus: mitä paksumpi kerros, sitä hitaampi hiipuma.

2) Pinnan vanhetessa jäljellä oleva VOC-höyrynpaine alenee hiljalleen. Jos tuoreessa pinnassa on VOC-höyrynpaine C_v ja jos M_0 (mg/m^2) on alkuperäinen VOC-massa, niin vanhenemisprosessin edetessä höyrynpaine C_s on verrannollinen jäljellä olevaan VOC-massaan M (mg/m^2) seuraavasti:

$$C_s = C_v(M/M_0)$$

Siten emissio nopeus R ajanhetkellä t voidaan ilmaista seuraavasti:

$$R = -(D/h)[C - C_v(M/M_0)] = k_m[C - C_v(M/M_0)]$$

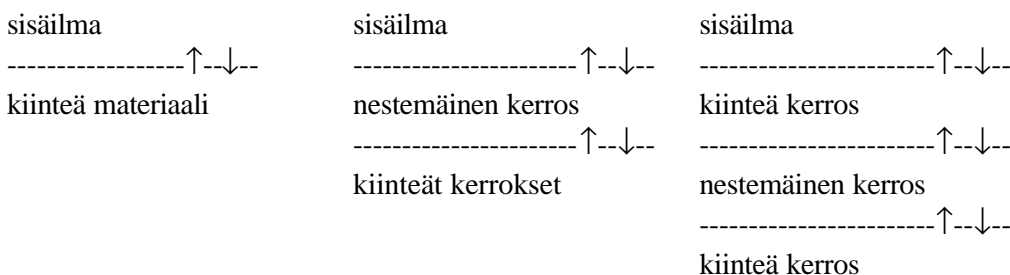
Rakennuksessa jo olevien materiaalien haitallisten päästöjen välttämiseksi on käytettävissä eräitä mahdollisuuksia, erityisesti uusien materiaalien lisäyksen yhteydessä. Ensinnäkin, kuivuus yleisesti pienentää emissioita, minkä vuoksi rakenteiden kuivatus on sisäilman puhtauteen myötävaikuttava tekijä koko elinkaaren varrella. Ylimääräinen kosteus tulisi kuivattaa ennen uusien pintakerrosten asentamista.

Uusien kerrosten lisääminen olemassa oleviin rakenteisiin voi periaatteessa muodostaa haitallisia yhteisvaikutuksia, joiden välttämiseksi on esitetty mm. mahdollisuutta käyttää eristävää suojakerrosta uusien ja vanhojen osien välissä. Lisäksi ympäröivien rakenteiden nieluominaisuudet tulee arvioida ennen uusien kerrosten asentamista. Esimerkiksi vanhat tekstiilipinnat toimivat reversiibelinä nieluna uusista maalipinnoista haihtuville aineille.

Mikäli vanhat rakenteet ovat saastuneet, ne tulee huolellisesti puhdistaa päästölähteistään. Ellei puhdistus ole mahdollinen, epäpuhtaat rakenteet on joko eristettävä tiiviisti tai purettava pois.

1.2.3 Keskeiset parametrit

Rakennusmateriaalit voivat liittyä toisiinsa uusilla tavoilla rakenteiden sisällä:



Epäpuhtaudet kulkeutuvat erilaisilla mekanismeilla eri olomuodossa olevissa materiaaleissa ja niiden rajapinnoilla sekä välitiloissa. Epäpuhtauksien hallinnan kannalta on mielenkiintoista tarkastella mahdollisuuksia vaikuttaa epäpuhtauksien kulkeutumiseen rakenteen sisältä pinnalle ja pinnalta sisäilmaan. Tämä on myös sisäilmamallien kannalta mielenkiintoinen avainkysymys.

Yleisesti tähän systeemiin kuuluu neljä perusosaa: lähteet, kaasufaasi, nielut ja poistuminen. Epäpuhtauksien liikkuminen ja varastoituminen näiden perusosien välillä tapahtuu myös neljällä päätavalla:

1. diffuusio,
2. haihtuminen,
3. sorptio ja
4. konvektio.

Epäpuhtauksien liikkuvuus on kuvattavissa yleisillä massansiirtomekanismeilla. Rakenteen sisällä diffuusio on hallitsevin mekanismi. Rakenteen pinnalla olevasta nestemäisestä pinnasta haihtuminen (eli haituvan aineen siirtyminen haihtumattomasta liuoksesta) voi olla hallitseva sisäilman epäpuhtauslähde; diffuusiolla on kuitenkin oleellinen merkitys rajapinnassa. Kiinteän aineen pinnalta diffuusio on vallitseva epäpuhtauspitoisuuksiin vaikuttava mekanismi.

Kaasujen diffusiviteetti on alhaisilla tiheyksillä lähes riippumaton koostumuksesta, mutta kasvaa lämpötilan kohotessa ja vaihtelee käänteisesti paineen muutoksen kanssa. Nesteissä ja kiinteissä aineissa diffusiviteetit ovat voimakkaasti riippuvia pitoisuudesta ja yleisesti kohoavat lämpötilan kohoamisen myötä. Diffuusiokerroin on suurempi pienikokoisilla molekyyileillä kuin suurikokoisilla molekyyleillä.

Rakenteissa esiintyy seuraavia massansiirtotilanteita:

1. massansiirto kiinteästä aineesta (rakennusmateriaalista) kaasuun (sisäilmaan),
2. massansiirto nestemäisestä aineesta kaasuun,
3. massansiirto kiinteästä aineesta nesteeseen,
4. massansiirto nesteestä kiinteään aineeseen ja
5. massansiirto kiinteästä aineesta kiinteään aineeseen

sekä samat ilmiöt toiseen suuntaan (esim. kaasusta kiinteään aineeseen).

Massansiirto tapahtuu pitoisuuseron vaikutuksesta. Diffuusioon vaikuttaa viisi päätekijää, jotka ovat alkutilanteen pitoisuus, pitoisuus pinnalla, diffusiviteetti, aika ja lämpötila.

Diffuusio kaasuisissa

Alhaisessa tiheydessä esiintyville kaasuille antaa tarkkoja tuloksia Chapman-Enskog'in kineettinen teoria, jonka avulla voidaan laskea massalle diffusiviteetti (D_{AB}). Sen mukaan kaasufaasissa alhaisessa tiheydessä laskentakaava termille cD_{AB} on

$$c D_{AB} = 2.2646 * 10^{-5} \frac{\sqrt{T \left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right)}}{s_{AB}^2 \Omega_{D,AB}}$$

Kun c approksimoidaan ideaalikaasulain mukaisesti (jolloin $c = p/RT$) saadaan

$$D_{AB} = 0.0018583 \frac{\sqrt{T \left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right)}}{p s_{AB}^2 \Omega_{D,AB}}$$

missä D_{AB} on massan diffusiviteetti (mass diffusivity) (cm^2/s), c on molaarinen tiheys (molar density) ($\text{g}\cdot\text{moles}/\text{cm}^3$), T on lämpötila (temperature) (K), p on paine (pressure) (atm), s_{AB} on paksuus (thickness) (Ångström), ja $O_{D,AB}$ on lämpötilan sekä yhden aineen A ja yhden aineen B molekyylin välisen potentiaalitentän dimensioton funktio.

Kirjallisuudessa on lakentoesimerkkejä, joiden mukaan D kasvaa noin lämpötilan potenssiin 2,0 alhaisissa lämpötiloissa ja potenssiin 1,65 korkeissa lämpötiloissa.

Diffuusio nesteissä

Diffuusio nesteissä voidaan laskea oikeassa suuruusluokassa hydrodynaamisen teorian ja Eyringin teorian avulla

Tavalliselle diffuusiolle nesteissä hydrodynaaminen teoria ottaa lähtökohdaksi Nernst-Einsteinin yhtälön, jonka mukaan yksittäisen hiukkasen tai liuenneen molekyylin A diffusiviteetti sen kulkeutuessa stationaarisen väliaineen B kautta on

$$D_{AB} = K T u_A / F_A$$

missä u_A / F_A on hiukkasen A liikkuvuus (eli yksikkövoiman alaisen hiukkasen nopeus jatkuvassa tilassa) ja K on Boltzmannin vakio.

Stokes-Einsteinin yhtälö suurten pallomaisten hiukkasten tai pallomaisten molekyylien diffuusiolle, jolloin liuotin esiintyy diffuusiokappaleille jatkumona, on

$$D_{AB} = K T / (6 p R_A \mu_B)$$

missä μ_B on puhtaan liuottimen viskositeetti ja R_A on diffuusiosta liikkuvan hiukkasen säde.

Eyringin teoria pyrkii selittämään massansiirtoilmiöt yksinkertaisen nestefaasimallin avulla, jolloin vapaaseen siirtymiseen pätee

$$D_{AA} = K T / (2 R_A \mu_A)$$

Höyryn diffuusio nestepinnalta kaasuun

Massansiirtonopeudelle (W) haihtumisessa Coulson ja Richardson (1978) esittävät seuraavan yhtälön:

$$W = K_G A (P_s - P_w)$$

missä K_G esittää diffuusion aineensiirtokerrointa (diffusional transfer coefficient).

Koska massansiirron nopeus riippuu ilmavirran nopeudesta u potenssissa 0,8, saadaan yhtälö

$$W = K A (P_s - P_w) u^{0.8}$$

missä

A on pinta-ala

P_s on nesteen höyrynpaine

P_w on nesteen osapaine ilmapirrassa ja

W on massansiirtonopeus haihdunnassa.

Kuivumisnopeudeksi (sovellettavissa mm. veden kuivumiseen) saadaan vakiotilaan

$$\frac{dw}{dt} = \frac{hA}{K_G} \Delta T = K_G A (P_s - P_w)$$

dt ?

missä

dw/dt on kuivumisnopeus

h on lämmönsiirtokerroin ilman ja märän pinnan välillä

ΔT on lämpötilaero ilman ja märän pinna välillä

ΔT on haihtumislämpö

K_G on diffuusion massansiirtokerroin märältä pinnalta kaasukerroksen läpi

A on massansiirron ja lämmönsiirron pinta-ala

$(P_s - P_w)$ on haihtuvan veden höyrynpaine-ero pinnalla verrattuna höyryn osapaineeseen ilmassa

Diffuusio kiinteissä aineissa

Massan diffusiviteetti kahden aineen systeemissä $D_{AB} = D_{BA}$ voidaan kirjoittaa molaarisen diffuusion J_A vuona:

$$J_A = -c D_{AB} \nabla X_A$$

jolloin todetaan että A diffundoituu (liikkuu suhteessa seokseen) siihen suuntaan, jossa A:n mooliosuus alenee. Tässä c on liuoksen molaarinen tiheys ja X_A on A:n mooliosuus.

N_A , nopeus, jolla aine A diffundoituu kiinteän aineen poikkileikkauksen pinta-alayksikön läpi, on suhteessa diffuusion suunnassa vallitsevaan pitoisuusgradienttiin, $-dc_A/dz$ (Treybal 1980):

$$N_A = -D_A * dc_A/dz$$

missä D_A on A:n diffusiviteetti kiinteässä aineessa. Jos D_A on vakio, diffuusio tasapaksun laatan läpi on (laatan paksuuden ollessa z):

$$N_A = D_A (C_{A1} - C_{A2})/z$$

Diffuusio huokoisessa kiinteässä aineessa

Mikäli kyseessä on adsorbenttien, kuivattavien kiinteiden aineiden ja sen kaltaisten tilanne, kiinteä aine on tavallisesti täysin yhtenäisen nesteen ympäröimä, ja liuenneen aineen liike kiinteän aineen huokosissa tapahtuu yksinomaan diffuusiolla. Diffuusioliikettä voi tapahtua

huokoset täyttävässä nesteessä tai siihen voi liittyä myös pinnalta tapahtuvaa adsorboituneen liuonnan aineen diffuusiota (Treybal, 1980).

Ajatellaan kaikkien kiinteän aineen huokosten olevan yhtä pitkiä ja halkaisijaltaan samanlaisia, ja täynnä kahdesta aineesta muodostuvaa liuosta vakioaineessa siten, että komponenttien välillä vallitsee pitoisuusero huokosten pituussuunnassa. Tällöin huokoset täyttävässä liuoksessa pätee seuraava yhtälö nesteille:

$$N_A = (N_A/(N_A + N_B)) * \frac{D_{AB}}{Z} \left(\frac{?}{M} \right) \ln \frac{N_A/(N_A + N_B) - X_{A2}}{N_A/(N_A + N_B) - X_{A1}}$$

missä ? ja M ovat liuoksen tiheys ja molekyyliainepaino.

Diffusiviteetit

Alhaisessa paineessa olevien kaasujen diffusiviteetit ovat lähes riippumattomia koostumuksesta, kasvavat lämpötilan kohotessa ja muuttuvat käänteisesti paineen muutoksiin. Nesteiden ja kiinteiden aineiden diffusiviteetit ovat voimakkaasti riippuvaisia pitoisuuksista ja yleisesti kasvavat lämpötilan kohoamisen myötä.

Laimelle liuoksille muulloin kuin elektrolyyttien tapauksessa suositellaan (Treybal 1980) Wilken ja Changin kokeellista korrelaatiota:

$$D_{AB}^0 = (117.3 * 10^{-18}) (_M_B)^{0.5} T / \mu v_A^{0.6}$$

missä D_{AB}^0 on A:n diffusiviteetti laimeana liuoksena liuottimessa B, m^2/s

M_B on liuottimen molekyyliainepaino, kg/kmol

T on lämpötila, K

μ on liuoksen viskositeetti, kg/ms

v on liuoksen moolitilavuus normaalissa kiehumispisteessä, $m^3/kmol$ (= 0.0756 kun vesi on liuoksena)

$_$ on paikka liuottimen riippuvuuskertoimelle:

= 2.26 kun liuottimena on vesi

= 1.9 kun liuottimena on metanoli

= 1.5 kun liuottimena on etanoli

= 1.0 kun liuottimena on muuntyyppinen aine, esim. bentseeni tai etyylietteri

Haihtuminen

Haihtuminen on vallitseva massansiirtomekanismi nestefaasissa olevilta pinnoilta, joilla haihtuvien aineiden määrällinen osuus on suuri. Haihtuminen on suoraan verrannollinen

materiaalissa olevaan haihtuvan aineen höyrynpaineeseen verrattuna sen höyrynpaineeseen ympäröivässä ilmatilassa. Niinpä haihdunta onkin merkittävin massansiirtomekanismi nestemäisiltä pinnoilta, kun taas diffuusio korostuu kuivien materiaalien emissiossa. Haihtumalla tapahtuvaan massansiirtoa sisäilmaan jollekin tietylle haituvalle orgaaniselle aineelle voidaankin kuvata yksinkertaisella kaavalla

$$E = k_m(V_{ps} - V_{pa})$$

missä E on haihtumisnopeus (mg/h); k_m on massansiirtokerroin (mg/mmHg-h); V_{ps} on yhdisteen höyrynpaine materiaalin pinnalla (mmHg); ja V_{pa} on yhdisteen höyrynpaine ilmassa pinnan yläpuolella (mmHg) (Tichenor 1992).

Rakennusmateriaalin sisällä diffuusio kuljettaa epäpuhtauksia pintaa kohden, ja pinnalta pääsee tapahtumaan diffuusio ympäröivään ilmatilaan.

Kun molekyyli vapautuu lähteestä (tai reversiibelistä nielusta) haihdunnalla tai desorptiolla, tapahtuu diffuusio rajapinnan kautta, ja diffuusionopeutta hallitsee diffuusiokerroin, turbulenssin määrä, ja rajakerroksen paksuus. Lisäksi materiaalin sisäinen diffuusio lähdemateriaalissa (tai nielussa) voi olla merkittävä, koska molekyylin on siirryttävä diffuusiolla pintaa kohti.

Sorptio

Sorptioilmiöt ovat nieluihin liittyen kaikkein merkittävimpiä massansiirtokysymyksiä. Massansiirto nieluihin ja pois niistä on pääosin kuvattu adsorptioprosessilla ja desorptioprosessilla. Myös absorptiolla voi olla mielenkiintoa esimerkiksi vesiliukoisten yhdisteiden päätyessä kostealle pinnalle, mutta tämän prosessin merkittävyyttä nieluilmiölle ei ole vielä määritetty. Sorptioilmiöitä käsitellään tarkemmin päästölähteiden yhteydessä.

1.2.4 Päästölähteet

Kun epäpuhtaus vapautuu epäpuhtauslähteenä toimivan rakennusmateriaalin pinnalta, se kulkeutuu konvektion mukana ja sekoittuu sisäilmaan. Lähteen merkittävyyttä arvioitaessa otaksutaan, että vapautunut epäpuhtaus sekoittuu täysin ympäröivään ilmatilaan eikä poistu muuta kautta kuin ilmanvaihdon aiheuttaman laimennuksen seurauksena. Siten tähän otaksumaan perustuvissa lähdemalleissa ei tarkastella nielujen vaikutusta tilanteeseen. Näiden mallien mukaan (esim. Hodgson et al 1991) lähteen voimakkuudelle saadaan laskentakaava

$$S = VN(C - C_o)$$

missä V on kyseinen tuuletettava ilmatila (m^3), N on ilmanvaihdon nopeus eli ilmanvaihtokerroin (1/h), C on sisäilman pitoisuus ja C_o ulkoilman pitoisuus.

Näistä ilmiöistä siis puhutaan materiaalin epäpuhtauslähteenä sisäilmaan, kun tarkastellaan nimenomaan epäpuhtauden vapautumista materiaalin pinnalta tiettyyn tilaan. Kun vapautunut epäpuhtaus kulkeutuu myös toiseen materiaaliin, puhutaan nieluilmiöstä. Nielu on irreversiibeli, kun lähdemateriaalista vapautunut ja nielumateriaaliin kulkeutunut epäpuhtaus ei enää nieluun absorboituttuaan tai adsorboituttuaan uudelleen vapaudu desorptiolla. Reversiibeli nielu vapauttaa adsorboimansa tai absorboimansa epäpuhtauden desorptiolla, mikä yleensä alkaa

tapahtua, kun alkuperäisen epäpuhtauslähteen päästön hiipuman seurauksena kyseisen epäpuhtauden sisäilmapitoisuus on kääntynyt laskuun (eli kyseisen epäpuhtauden osapaine sisäilmassa alkaa laskea). Reversiibelin nielun muuttuminen päästölähteeksi on havaittavissa epäpuhtauspitoisuuden hiipuman viiveenä; usein pitoisuus jo alkaa alentua alkuperäisen lähteen alettua hiipua, mutta hiipuma taittuu ja pitoisuustason alenema hidastuu tai viivästyy reversiibelin nielun kääntymistä lähteeksi. Siten reversiibelit nielut viivyttävät epäpuhtauksien kohonneita pitoisuuksia sisäilmassa.

Lähteen ja nielun tasapainotilanteelle on löydetty (Tichenor et al. 1991) tasapainovakio k_e :

$$k_e = k_a / k_d = M_e / C_e$$

missä k_a on adsorptiovakio, k_d on desorptiovakio, M_e on tasapainomassa nielun pinta-alayksikköä kohti ja C_e on kyseisen epäpuhtauden (siis adsorboituvan aineen) tasapainopitoisuus kaasufaasissa.

Nielun vakion k_a suuruutta rajoittaa se nopeus, jolla epäpuhtausmolekyylit saapuvat nielun pintaan. Jos epäpuhtauksien kulkeutumisen nielun pinnalle oletetaan tapahtuvan diffuusion seurauksena (mikä on järkevä virtausotaksuma sisätiloissa, joissa yleisesti suuret pyörteet sekoittavat epäpuhtaudet tehokkaasti ilmassaan, mutta eivät vaikuta ilmassaan ja materiaalin rajapintaan), k_a on se nopeus, jolla nielu taltioi pintaansa osuvia epäpuhtausmolekyylejä (Sparks, 1992). On osoitettu (Fuchs 1964), että k_a :n arvo voidaan laskea kaasujen kineettisen teorian avulla.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden tyypilliset diffusiviteetin D arvot esiintyvät välillä 0,02 - 0,10 m²/h, minkä seurauksena tyypilliset nielun adsorptiovakion k_a arvot ovat välillä 0,08 ja 0,20 m/h. Vaikka k_a :n arvo on mahdollista arvioida epäpuhtauden ominaisuuksien perusteella, desorptiovakio k_d täytyy määrittää kokeellisesti.

Irreversiibelit nielut ovat tilojen käyttäjien kannalta turvatekijä. Toistaiseksi nieluilmio tunnetaan kuitenkin liian heikosti, jotta nielumateriaaleja voitaisiin aktiivisesti käyttää estämään toisista materiaaleista vapautuvien epäpuhtauksien haitallisia vaikutuksia. Nielu voi vaikuttaa irreversiibeliltä silloin, kun epäpuhtauspitoisuus sisäilmassa on hyvin korkea, mutta se voi muuttua reversiibeliksi pitoisuuden alenemisen myötä (Sparks 1992). Tällä hetkellä nieluilmio ei ole käyttökelpoinen suojakeino sisäilman epäpuhtauksia vastaan, mutta on mahdollista, että tiedon karttuessa sen käyttökelpoisuus epäpuhtauksien pitoisuuksien hallinnassa lisääntyy jopa aktiivisesti hyväksikäytettävälle tasolle.

Kammiokoetulosten soveltaminen sisäilmatilanteisiin

Parempien tarkoitusta varten kehitettyjen mallien puuttuessa suositeltiin (Nielsen et al., 1993) käytettäväksi massatasapainoyhtälöä sovellettaessa kammiokokeissa saavutettuja emissiotuloksia huonetilojen epäpuhtauspitoisuuksien laskentamalleihin. Yksinkertaisimmillaan massatasapainoyhtälö on kirjoitettavissa muotoon

$$C_m = \frac{EF * A}{N * V}$$

missä C_m on laskennallinen tasapainopitoisuus sisäilmassa (mg/m^3), N on ilmanvaihtokerroin ($1/\text{h}$), kyseisen huonetilan tilavuus (m^3), EF on kullekin aineelle ominainen erityinen emissionopeus ($\text{g}/\text{m}^2\text{h}$) ja A on emissiolähteen pinta-ala kyseisessä huonetilassa (m^2). Kun todellista rakennusta arvioidaan, matemaattiseen malliin sijoitetaan tilanteenmukaiset arvot.

Epäpuhtauspitoisuuden muuttuminen ajan myötä

Epäpuhtauspitoisuuden käyttäytyminen ajan myötä on ehkä kaikkein mielenkiintoisin epäpuhtauksiin liittyvä käytännön kysymys: harvoin pelkkä alkutilanne on merkittävä, rakennuksen käytön kannalta asioiden tarkastelun aikajänne on pitkä, esimerkiksi epäpuhtausaltistuksen määrää ja merkittävyyttä arvioitaessa.

Aika tuodaan pitoisuutta kuvaaviin yhtälöihin yleensä ensimmäisen kertaluvun eksponenttina, jolloin malli saa muodon (Tichenor et al 1993) :

$$EF = EF_0^{-kt}$$

missä EF on kullekin aineelle ominainen erityinen emissionopeus ajanhetkellä t ($\text{g}/\text{m}^2\text{h}$), EF_0 on kullekin aineelle ominainen erityinen emissionopeus ($\text{g}/\text{m}^2\text{h}$) ajanhetkellä 0 , k on ensimmäisen kertaluvun hiipumisvakio emissiolle (h^{-1}) ja t on aika (h).

Tichenorin (et al 1993) mukaan kokeelliset mallit yleensä tuottavat kelvollisen tuloksen kuvatessaan emissionopeuksia, mutta jättävät kuvaamatta ja selittämättä emissioon liittyvän fysikaalisen prosessin eivätkä erittele ympäristöä kuvaavia parametrejä. Lisäksi ensimmäisen kertaluvun emissiomallit ovat usein heikkoja kuvaamaan emissiohiipuman loppuvaiheita (jotka itse asiassa ovat rakentamissovellutusten kannalta mielenkiintoisia) varsinkin nopeiden lähteiden kohdalla. Mainituista syistä Tichenor et al (1993) kehittivät ja validoivat sisäilmälähteille massansiirtoteorioihin perustuvan mallin. Mallissa otaksutaan kaiken massansiirron tapahtuvan molekyylien diffuusiona laminaarisen lähde-ilma-rajakerroksen läpi. Fickin ensimmäisen lain mukaan massansiirron nopeus lähteen pinnalta sisäilmaan on noin

$$EF = -(D_f/v)(C - C_s)$$

missä D_f on molekyylin diffusiviteetti (m^2/h), v on rajakerroksen paksuus (m), C on VOC-pitoisuus ilmassa (mg/m^3) ja C_s on höyrynpaine pinnalla (mg/m^3). Suhde D_f/v edustaa massansiirtokerrointa k_m . Lisäotaksimia ovat:

1) Jollakin määrällä tuotteella kaikki tuoreet vastalisätyt kerrokset omaavat saman VOC-höyrynpaineen (pitoisuutena C_v ilmaistuna), joka on kyseiselle tuotteelle ominainen. Toisin sanoen, C on riippumaton lisätyistä ainemäärästä. Tätä otaksunaa on tutkittu kokeellisesti, jolloin ei havaittu alkuemissiossa muutoksia, mutta todettiin sen sijaan hiipuman muuttuvan kerrosmäärien muuttuessa; mitä enemmän materiaaleja lisättiin, sitä hitaampaa oli hiipuma. Myös Clausenin (1993) havainnot ovat samansuuntaiset ja tukevat tätä otaksunaa.

2) Pinnoitteen vanhetessa jäljellä olevan VOC:n höyrynpaine alenee hitaasti. Jos tuoreen pinnan VOC-höyrynpaine on C_v ja M_0 on alkuperäinen massa pinta-alayksikköä kohti jolle VOC on

levitetty, niin vanhenemisprosessin aikana höyrynpaine C_s on suhteessa jäljellä olevaan VOC-massaan M (mg/m^2):

$$C_s = C_v (M / M_0)$$

Emissionopeus EF ajan kuluessa voidaan siten ilmaista

$$EF = -(D/v)[C - C_v (M / M_0)] = k_m [C - C_v (M / M_0)]$$

Joten, jos sovelletaan tasapainotilanteessa jatkuvan emissionopeuden EF laskentakaavaa ilman nieluilmion vaikutusta, saadaan

$$EF = N C / L$$

missä N on ilmanvaihtokerroin ja L on tarkasteltava pinta-ala tilavuutta kohti (m^2/m^3).

Toisaalta, märkien lähteiden likiarvo saadaan muulloin kuin tasapainotilanteessa hiipuman huomioon ottavalla kaavalla:

$$EF = EF_0 e^{-kt}$$

missä k on nopeutta kuvaava vakio ($1/\text{h}$).

Tuuletetussa kammiossa pitoisuus on

$$C = L EF_0 (e^{-kt} - e^{-Nt}) / (N-k) \quad (2)$$

Pitkällä aikavälillä tämä antaa kuitenkin liian pienen pitoisuuden nieluilmion vuoksi. Kun nieluilmio otetaan laskentayhtälöön mukaan, se muuttuu (Tichenor et al 1991):

$$C(t) = C_e [(N-r_2)e^{-r_1t} - (N-r_1)e^{-r_2t}] / (r_1 - r_2)$$

missä $r_{1,2} = \frac{1}{2} \{ (N + k_a L + k_d) \pm [(N + k_a L + k_d)^2 - 4N k_d]^{1/2} \}$

k_a ja k_d saadaan Langmuirin yhtälöstä:

$$k_a C_e (1-\theta) = k_d \theta,$$

missä θ on käytettävissä olevista adsorptiokohdista täytettyjen osuus.

Edellä esitetyt laskentakaavat on kaikki johdettu kokeellisesti, toisin sanoen on tehty havaintosarjoja, joista mittaustulosten perusteella on kehitetty yleisiä teorioita. Laskentakaavojen sovellusvaiheessa siirrytään takaisinpäin yleisestä erityistapauksiin, jolloin hyvin toimivat mallit antavat kohtuullisen luotettavia ennusteita melko laajalla alueella, herkätkä mallit vain kapealla alueella tarkkoja lähtötietoja käytettäessä.

2. Evoluutiotekijöiden määrittely

2.1 Materiaalien toimivuus ja riskialttius

Sisäilman laadun kannalta merkittävin riski on kosteusvaurion syntyminen. Kosteusvaurio tyypillisesti aiheuttaa rakennusmateriaalissa aineensisäistä hajoamista, ja hajoamistuotteet usein vapautuvat sisäilmaan epäpuhtauspäästöinä, joka voivat olla hyvinkin pitkäkestoisia (jopa useiden vuosien ajan jatkuvia). Usein lisäksi hajoamisprosessit kerran käynnistyttyään eivät enää ole korjattavissa jälkikäteen tehdyllä kuivatuksella, vaan ainoa keino päästä eroon ongelmasta on poistaa lähde eli uusia vaurioitunut materiaali.

2.1.1 Rakenteelliset riskitekijät

Rakennus altistuu väistämättä kosteusrasituksille. Kosteusongelma voi olla joko rakenteiden sisä- tai ulkopuolisista tekijöistä johtuva. Se ei ole paikasta tai rakennustavasta riippuvainen, vaan kosteusrasitukset toistuvat lähestulkoon samanlaisina kaikkialla. Kysymys on siitä, kuinka rakennus ottaa kosteusrasitukset vastaan.

Tutkimusten mukaan joka toisen kosteusvaurion syy aiheutetaan jo rakennusvaiheessa joko puutteellisella suunnittelulla tai virheellisellä tai huolimattomalla toteutuksella. Tämän vuoksi rakennusfysikaalisten ominaisuuksien tunteminen myös kosteuskäyttäytymisen osalta on välttämätöntä, jotta rakenteiden pitkäaikaistoimivuutta pystyttäisiin arvioimaan. Rakenteet ja LVI-järjestelmät tulisi tehdä siten, ettei sisäisistä eikä ulkoisista kosteuslähteistä peräisin oleva vesihöyry, vesi tai lumi pääse haitallisissa määrin tunkeutumaan rakenteisiin ja rakennuksen sisätiloihin. Tarvittaessa rakenteen tulisi kyetä kuivumaan haittaa aiheuttamatta.

2.1.2 Kosteusvaurioiden synty rakennusosissa

Alapohjat ja perustukset

Rakennusmateriaalien kosteudenkestävyys on suurimmalla rasituksella alapohjassa ja perustuksissa. Vaurioiden syyt ja vaurioalttius vaihtelevat suuresti eri perustustavoissa. Yleensä ylimääräisen kosteuden syynä on joko maasta vetenä siirtynyt tai puutteellisesta tuuletuksesta johtuva kosteus, sekä sisätiloissa kosteudelle alttiiden tilojen, kuten kylpyhuoneen tai keittiön, puutteellisen kosteudeneristyksen läpi vuotanut kosteus. Yleisin syy alapohjan kosteusvaurioiden syntyyn on rakennuspaikan puutteellinen kuivatus. Maasta rakenteisiin kosteus pääsee siirtymään myös tapauksissa, joissa salaojat eivät toimi tai puuttuvat jopa kokonaan ja maanvastaisten rakenteiden kosteuseristykset ovat riittämättömiä. Ryömintätilaisen alapohjan mitättömät tuuletusaukot johtavat puutteelliseen tuuletukseen ja usein ryömintätilaan jääneet rakennusjätteet vain pahentavat tilannetta ja voivat toimia kosteusvaurion alkamiseen myötävaikuttavana tekijänä.

Pintavedet, lumen sulamisvedet, katolta valuvat vedet sekä maaperän kosteus voivat tunkeutua rakennusten alapohjarakenteisiin tai niiden alapuolella olevaan ilmatilaan tai maaperään. Nämä kosteuslähteet ovat aiheuttaneet suuren joukon vaurioita, jotka olisi voitu välttää, mikäli

rakennuksen ulkopuoliset alueet olisivat olleet asianmukaisesti muotoiltuja vesien poisjohtamiseksi sekä salaojitukset toimisivat moitteettomasti. Ympäröivän maaston kallistuminen rakennukseen päin on olennainen kosteusvaurioita aiheuttava tekijä. Hyvinkin suunniteltu pintavesien poisto voi myöhemmin tehtyjen istutusten, maan painumisen tai asfaltoinnin takia huonontua. Istutuksia tehtäessä tai maata uusiessa on huomioitava maanpinnan korkeussuhde seinän alajuoksuun nähden.

Rakennuksen alla olevan pohjaveden pinnan korkeus vaikuttaa rakenteisiin imeytyvään kosteuteen kapillaari-ilmiön kautta. Pohjaveden tason tulee siten olla vedennousun katkaisevien täyttö- tai rakennekerrosten kapillaarisen nousukorkeuden määrittämän tason alapuolella. Jos pohjavesi nousee tätä tasoa korkeammalle, seuraa siitä kosteuden kapillaarinen kulkeutuminen rakennusosiin. Karkeasti arvioiden tiivistä, karkeaa hiekkaa käytettäessä kapillaarinousun katkaisevan kerroksen tulee olla vähintään 30 cm.

Ulkoseinäarakenteet

Seinäarakenteisiin kohdistuu kosteusrasitusta sekä ulkoa että sisältä päin. Rakennuksen seinäpinnat kostuvat merkittävästi tuulisella sadeilmalla. Viistosateen määrä on suurin avoimilla paikoilla ja sadeaikoina vallitsevien tuulten mukaan lounaaseen suuntautuvilla sivuilla. Ulkoverhoukseen, jonka pääasiallinen tarkoitus on suojata runko- ja eristysrakenteita seinässä, kohdistuu rasitus juuri lähinnä viistosateesta. Puuverhouksen, joka on kosteusvaurioille herkin ulkoverhousmateriaali, yleisimmät vauriokohdat ovat lautojen epäjatkuvuuskohdat, naulanreiät, syöksytorvien alapuoliset puuosat, ikkunapenkkiä alapuolet, vaakalistat, erilaiset kiinnityskohdat, kuten parvekkeet, portaat ja seinän vieressä olevan kasvillisuuden taustat. Tiiliverhotuissa sekä elementtirakenteisissa ratkaisuissa vesi tunkeutuu rakenteisiin lähinnä saumauksista. Riittämättömät räystäät ovat myös yksi yleinen seinien kosteusrasitusta lisäävä tekijä, pitkät räystäät vähentävät seinään kohdistuvan viistosateen määrää, mutteivät poista sen vaikutusta kokonaan. Ulkoverhouksen takana sijaitsevan tuuletusvälin tai sen ylä- ja alarajojen riittämättömyys tai puuttuminen sekä väärin asennettu tai rikkoutunut kosteussulku voivat aiheuttaa seinän sisäisten rakenteiden kosteusvaurion. Myös ikkunoiden ja ovien puitteiden karmit ja räystäät ovat erityisen alttiita kosteusvaurioille, epätiivit tai virheelliset ikkunapellitykset, auringon lohkeiluttamat maalipinnat ja painumat suurentavat kosteusvaurion riskiä sekä näissä rakenteissa että ympäröivissä seinäarakenteissa.

Julkisivuverhouksen taustan kunnollinen tuuletus on ensisijaisen tärkeää. Mikäli julkisivuverhouksen taakse pääsevä kosteus pääsee myös seinäarakenteeseen eikä tuuletu pois, se voi aiheuttaa seinän kosteusvaurioitumista ja mikrobikasvustoa.

Yläpohjat ja vesikatot

Kattovuodot aiheuttavat vaurioita sekä yläpohjaan että sisätiloihin samoin kuin ulko- ja väliseiniin ja jopa alapohjiin. Yläpohjan ja kattorakenteiden kosteusvaurioiden yleisimmät syyt ovat vesikatteen vuoto, lumen tunkeutuminen yläpohjaan tai vesihöyryn kondensoituminen yläpohjarakenteisiin sisäilmasta.

Vesikatteen yleisimpiä vuotopaikkoja ovat kattovarusteiden kiinnityskohdat, läpivientien, kuten savupiipun liitokset, painumat, pellityksien tai pinnoitteiden saumakohdat, sekä riittämättömät nostot ja kallistukset. Aikaisemmin kattojen vesivuodot olivat yleisimpiä tasakatoissa, ensisijaisesti rikkoutuneen katteen vuoksi. Tasakattojen vähennyttyä ja katetarvikkeiden ominaisuuksien parannuttua riskirakenteiksi ovat nousseet tiili- ja muotolevykatot, joissa vedenpitävän kerroksen muodostaa kevyt, kattotuoleihin kiinnitetty aluskate, joka ei kestä katteen päälle mahdollisesti muodostuvan jään aiheuttamia muutoksia.

Vesihöyryn tiivistyminen kattorakenteisiin johtuu joko yläpohjan riittämättömästä tuuletuksesta tai tiivistymisestä kylmiin lämmöneristämättömiin tai kylmäsilloista johtuen viilennisiin pintoihin, joista tyyppiesimerkkejä ovat ullakkojen eristämättömät peltikatteet tai putkistojen läpivientien kylmäsilat.

Useat katemateriaalit menettävät lujuuttaan vanhetessaan, mikä johtaa katteen rikkoutumiseen ja vesivuotoihin. Puutteet ja vauriot ovat yleisimpiä kevyissä aluskatemateriaaleissa, minkä vuoksi erityisesti niitä on pidettävä riskirakenteina.

Kosteat ja märät tilat

Sisäilman kosteus on peräisin ihmisistä ja sisätiloissa tapahtuvista toiminnoista, kuten asuinrakennuksissa saunomisesta, peseytymisestä, pyykin- ja astioiden pesusta sekä ruuanlaitosta. Mikäli sisäilmaa pääsee tunkeutumaan ilmansulun epätiiviyyskohdista ulkovaipan rakenteisiin, voi siitä aiheutua vakaviakin kosteusvaurioita, kun ilmassa oleva kosteus tiivistyy rakenteisiin tai niiden pinnoille.

Yleisin sisätilojen kosteusvauriokohde on pesutilat. Kosteissa ja märissä tiloissa esiintyvät kosteusvauriot johtuvat useimmiten eri materiaalien välisten saumojen kautta niiden takana sijaitseviin rakenteisiin pääsevistä kosteudesta. Laatoituksen saumalaastina on yleisesti vanhoissa taloissa käytetty vedeneristämätöntä laastia, jonka kautta kosteus on päässyt laatoituksen taakse. Kun laatoituksen takaa on usein vielä puuttunut kosteussulku, on tämä mahdollistanut kosteusvaurion syntymisen. Lisäksi lattian riittämättömät kallistukset aiheuttavat vesilammikoita pinnoilla. Lattioista vesi voi siirtyä edelleen lattiarakenteeseen kosketuksessa oleviin seiniin sekä vesihöyrynä että kapillaariseesti.

Ajoittain kosteudelle alttiissa tiloissa kuten keittiössä on usein suunnittelussa ja materiaalivalinnoissa jätetty kosteusrasitus kokonaan huomioimatta ja esimerkiksi sijoitettu kaapistot ulkoseinää vasten tai asennettu tilaan parkettilattia. Nämä ovat vaurioalttiita ratkaisuja kyseisissä tiloissa ja lisäävät näin kosteusvaurion riskiä.

Kuva 2 esittää yhteenvedonomaaisesti 1970- ja 1980-luvun rakennusten riskitekijöitä.

Tasakatot	Alapohjarakenteiden tuulettumattomat alustat	Ylläpidon puutteet
Heikko lämmöneristys		Mikrobi-boomi
Puutteelliset kosteuseristykset	Puutteelliset sadevesijärjestelmät	Rakennuskosteus (kuivatustarve/nopea rakentaminen)
Kevytrakenteiset pesutilat		
Valesokkeliratkaisut	Kellaritilat	Elementtitalojen ongelmat/ylläpito
Matalat perustukset	Peruskorjaus	Puutteellinen ilmanvaihto
Lämmöneristämättömät maanvaraislattiat	Lisäeristäminen	
		Putkivuodot
	Salaojituksen puutteet	
Asbesti	Pesutilojen vedeneristykset	
	Formaldehydi (lastulevyt)	Uudet materiaalit - uudet emissiot
1970	1980	1990

Kuva 2. Riskitekijöitä 1970 - 1980 -luvun rakennuksissa.

2.2 Vastustuskyky mikrobitoiminnalle

Eräs pitkällä aikavälillä merkittävimpiä sisäilman laadun tekijöitä on rakennuksen kyky säilyä ilman mikrobiologisia ongelmia. Viimevuosina optimismi rakenteiden vastustuskyvylle mikrobitoiminnan suhteen on karissut. On jouduttu toteamaan, että kaikki materiaalit ovat alttiita vaurioille, jos kosteuspitoisuus nousee. Mikrobitoiminnan käynnistymisen ainoa edellytys on riittävä kosteus, jopa lasilevy tai teräspinta homehtuvat korkeassa kosteudessa, jos niiden pinnalla on esimerkiksi pölyä.

Mikrobiologisten ongelmien syntymistä tarkasteltiin tutkimushankkeessa "Rakennusten ja rakenteiden kosteus- ja sieni/homevaurioiden esiintyminen ja korjaus" (Rantamäki et al. 2000). Tutkimuksessa ongelmaa lähestyttiin käytäntöä muistuttavilla kokeilla ja kenttäselvityksillä tavoitteena saada realistinen kuva rakennusten homevaurioista ja niiden synnystä sekä korjausmahdollisuuksista.

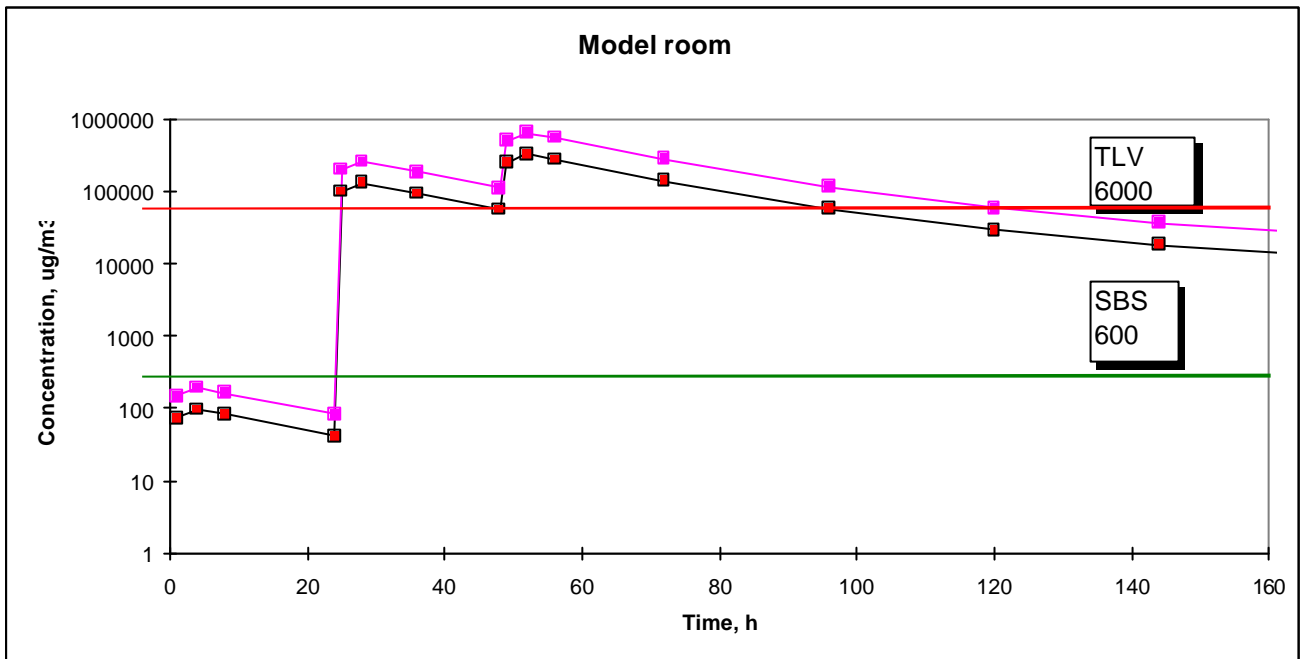
Rakennusteknisesti tärkeimpiä havaintoja tässä tutkimuksessa olivat materiaalien nopea mikrobikasvu vesivaurioon verrattavissa olosuhteissa, hitaan kuivatuksen aiheuttama elinkykyisten mikrobien säilyvyys ja eräiden homeiden kasvun kiihtyminen kuivatusvaiheessa. Tämä merkitsee sitä, että helposti uusittavia rakenteita, joissa on selvä mikrobikasvu, ei tule kuivata, vaan ne tulee uusida. Asuminen tai jatkuva työskentely kuivattavissa tiloissa ei ole suotavaa mikrobiologisen altistumisen vuoksi, sillä varsinkaan maanvaraisten lattioiden tarkkaa mikrobiologista tilaa ei aina voida näytteiden otollakaan täysin selvittää ennen kuivatusta. Rajatuissa selvissä vesivauriotapauksissa, joissa mikrobikasvustoa ei ole ehtinyt muodostua, kuivatus ei edellytä evakuointia.

Käytännön korjaustöissä selvästi kastuneiden ja silmämääräisesti mikrobikasvua sisältävien materiaalien poisto on selkein korjaustapa. Mikrobiologisia määrityksiä tarvitaan vain rajatapauksissa. Jos mikrobimääritys on kalliimpaa kuin epäilyttävän rakenteenosan vaihto, ei määrityksiä kannata tehdä. Kantavia puurakenteita voidaan puhdistaa höyläämällä tai hiomalla, koska homekasvusto on vain puurakenteiden pinnalla. Usein ongelmana on kuitenkin se, ettei kaikkia pintoja voi puhdistaa tai käsitellä rakennetta purkamatta. Homekorjaus tulee tehdä siten, ettei rakenteisiin jää merkittäviä määriä mikrobeja, koska muuten joudutaan helposti pitkälliseen korjauskierteeseen, jolloin ei enää lopuksi tiedetä, mitä tulisi tehdä (Rantamäki et al. 2000).

2.3 Ilmanvaihdon riittävyys

Välittömästi rakennusmateriaalien asentamisen jälkeen ns. alkuemissio on erittäin voimakas. Sisäilman emissiotasoon voidaan tässä vaiheessa vaikuttaa ilmanvaihdolla varsin vähän. Seuraavassa on tarkasteltu asiaa lähemmin.

Ilmanvaihdon riittävyttä voidaan tarkastella esimerkkilaskelmien avulla. Laskelmissa ilmanvaihto on $0,5 \text{ h}^{-1}$ ja toisessa laskelmassa kaksinkertainen eli 1 h^{-1} .



Kuva 3. Saavutettava sisäilman epäpuhtauspitoisuuden aleneminen on kuitenkin varsin vähäinen, koska alkutilanteessa (ennen hiipumaa) epäpuhtaus-lähde voimistuu epäpuhtauden pyrkiessä laimentumaan ilmassa. Sen sijaan hiipuma nopeutuu jonkin verran, ja työturvallisuusraja (TLV, threshold limit value) samoin kuin käyttöaikaisia oireita aiheuttava pitoisuusraja (SBS "sick building syndrome" raja-arvo) saavutetaan aikaisemmin.

Laskelmien tuloksista nähdään selvästi, että välittömästi rakennuksen valmistumisen jälkeen selkeästi vaikuttavin keino on materiaalien emissiotasojen hallinta, eikä pitoisuuden laimentaminen ilmanvaihdolla. Tämä johtuu tasapainotilan muuttumisesta: ilmanvaihdon lisääntyessä haihtuvan epäpuhtauden pitoisuusero materiaalin ja ilmatilan välillä mahdollistaa lähteen nopeuden kasvun. Tämän ilmiön vuoksi tehostettu ilmanvaihto kuitenkin voi olla merkittävä apuneuvo pyrittäessä haihtumisen nopeuttamiseen ja sitä kautta pienempään jälkiemissioon.

Sitä vastoin muiden kuin rakennusmateriaaleista peräisin olevien pitoisuuksien (alkuemissioiden) alentamisella ilmanvaihdon määrällä on luonnollisesti oleellinen merkitys (mm. hiilidioksidi). Rakennuksen käyttövaiheessa myös emissiotasojen kannalta ilmanvaihdolla on luonnollisesti ratkaiseva merkitys.

Alkuhiipuman tapahduttua ilmanvaihdon merkitys sisäilman laadun ylläpitämisessä kuitenkin korostuu: vakiotilassa olevan lähteen aiheuttamat pitoisuudet laimenevat suorassa suhteessa ilmanvaihdon tehokkuuteen. Siten esimerkiksi rakennuksenkäytön aikaiset hiilidioksidi- ym. vastaavat epäpuhtauspäästöt on tehokkaasti hallittavissa ilmanvaihdon keinoin, samoin kuin hiipuman jälkeen tasapainotilan saavuttaneiden materiaalilähteiden päästöt. Jos materiaaleissa kuitenkin käynnistyy esimerkiksi kosteuden aiheuttamien hajoamisreaktioiden seurauksena uusia voimakkaita epäpuhtauslähteitä, niiden vaikutuksia ilmanvaihto ei yleensä kykene poistamaan.

3. Riskitekijöiden analysointi

3.1 Rakenteelliset riskitekijät. Eräiden rakenteiden herkkyyden ja vaurioiden vakavuus

Suomen rakennuskanta on epähomogeeninen. Eri aikakausilla on omat suosikkiratkaisunsa ja -materiaalinsa. Lisäksi alueelliset rakentamistavat vaihtelevat. Ajallisen ja alueellisen vaihtelun lisäksi eri rakennuksissa on omat tyyppiratkaisunsa.

Rakenteellisten riskitekijöiden kartoittaminen suoritettiin laajasta perusjoukosta Oulun yliopiston arkkitehtuurin osastolla tehdyssä opinnäytetyössä. Tästä alueesta on rajattu otos, joka palvelee lähinnä suunnittelulähtöistä näkökulmaa. Otosaineisto koostuu VTT Rakennustekniikan tekemistä kuntotutkimuksista, joissa kosteusperusteisia ongelmia on tutkittu ja kartoitettu useilla menetelmillä. Aineisto koostuu 1970- ja 1980-lukujen rivitalo- ja kerrostalorakennusten kuntotutkimuksista. Yleisimpänä tutkimustapana on ollut pintoja rikkomatta tehty kosteusvauriokartoitus ja rakenteiden sisäiset mittaukset. Pintoja rikkomaton kosteusvaurion kartoitus on tehty aistinvaraisesti näkö- ja hajuhavainnoin sekä asukkaiden haastatteluin, käyttäen apuna pintakosteusmittauksia. Huomioitavaa on että kuntotutkimukset on tehty taloyhtiöiden tilauksesta, joten näitä tuloksia ei voida yleistää koko rakennuskannan tasolle.

Rakennustekniikka otti suuren harppauksen eteenpäin siirtyessään 70-luvulta 80-luvulle. Monissa asioissa tapahtui selvää ja radikaaliakin kehitystä, vaikkei se näy kehityksenä vaurioutilastoissa.

Vielä 70-luvun lopunkin rakennuskannassa vaikuttavat normit, jotka luotiin ennen öljykriisiä. Talojen eristävyys oli heikko verrattuna nykyisiin säädöksiin, ja monissa kohteissa jouduttiin harkitsemaan lisäeristystä seuraavien suurten remonttien yhteydessä. Tilanne oli kuitenkin jo aivan toinen seuraavan vuosikymmenen alussa. Lisäeristys toi uusia haasteita myös rakennustekniikkaan, sillä paksumpi eristekerros muutti olennaisesti lämmön kulkua seinän sisällä.

Huomattavaa kehitystä tapahtui myös betonin valmistuksessa. Tasakatoista pystyttiin tekemään rakenteeltaan jäykempiä alustoja katemateriaaleille, jotta katteen repeilyltä vältyttäisiin lämpölaajenemisen yhteydessä. Elementtitalojen kylmäsilat esimerkiksi välipohjien ja ulkoseinien välisissä liitoksissa opittiin ratkaisemaan energiataloudellisemmin.

Muotitrendit vaihtuivat, ja valesokkelista luovuttiin melkein kokonaan, sillä ei ollut enää esteettisesti niin tärkeää saada sisätilan lattiaa samaan tasoon ulkopuolisen maan kanssa. Tämän jälkeen sokkelikorkeutta on nostettu hiljalleen suositeltavalle tasolle.

Viime vuosien puheenaiheena kosteusvaurioiden ohella on ollut asbesti, jota myös hyvin usein löytyy vielä 70-luvulla rakennetuista kohteista.

Talojen yhteiset kosteat tilat, kuten sauna ja pesuhuone ovat olleet rakennusten ongelmakohtia. Ne joutuvat paljon suuremmalle rasitukselle kuin asuntokohtaiset kylpyhuoneet, mutta rakenteellisesti toteutukset ovat useinkin kehoja. Osasyynä voidaan pitää kosteuseristysten

puutteellisuutta. Vielä 80-luvulla esiintyy esimerkiksi yhteisiä pyykinpesutiloja, joiden rakenneratkaisuissa on hyvin vähän huomioitu kosteusrasitusten hallintaa ja esimerkiksi pyykinpesukoneiden poistovedet johdettiin pois avoviemäröinnillä. Samalla pesutiloissa siirryttiin toiseen ääripäähän, kun huoneistokohtaiset kylpyammeet poistettiin ja tilalle asennettiin suihkut. Kosteusvauriot eivät näin ainakaan vähentyneet, kuten aika on näyttänyt. Juuri 80-luvun tapauksissa ei vielä voida vedota materiaalien vanhenemiseen, vaan syytä pitää etsiä muualta.

Hyvä rakennusmateriaali kykenee palauttamaan käyttöominaisuutensa, vaikka se olisikin kärsinyt lievää kosteusrasitusta. Joissakin tapauksissa materiaalia ympäröivä rakenne estää materiaalia kuivumasta ja palauttamasta käyttöominaisuuksiaan takaisin toimintakuntoiseksi, toiset materiaalit eivät kykene lainkaan toimimaan vaatimusten mukaisesti kärsittyään kosteudesta vaan vaativat tällöin uusimista.

3.1.1 Analyysiaineiston otoksen rajaus

Otoksessa rajaavina tekijöinä olivat rakennustyyppi sekä ajanjakso. Kerros- ja rivitalokohteet sijoittuvat 1970-luvun loppuosaan sekä koko 1980-lukuun. Syinä valintaan olivat ajanjakson muuttuneet rakenneratkaisut, suunnittelu sekä julkisivuverhousmateriaalit. Tasakattoisten yläpohjarakenteiden nopea yleistyminen sekä sandwich-elementtien tuleminen kerrostalo-rakentamiseen olivat 1970-luvun suosituinta trendiä.

1980-luvun tutkiminen innosti erityisesti suunnittelijoiden luomien uusien ajanhenkisten rakennustaiteellisten linjojen sekä niistä seuranneiden riskitekijöiden vuoksi. Tuotekehitys toi markkinoille yhä enemmän materiaaleja, mutta ajan tuoma kokemus niiden käyttö- ja kestoikästä puuttui kokonaan. Aikakauden tuotoksissa näkyy merkittävänä osatekijänä myöskin äärimmilleen kiihtynyt rakennustoiminta sekä tuottavuuden ylikorostaminen työn laadun kustannuksella.

Vaurioita tarkasteltaessa materiaalit luokiteltiin kolmiportaisen asteikon mukaan; ei vaurioita, lievä vaurio, paha vaurio. Tutkimuksessa ei ollut mahdollista käyttää minkäänlaista numeerista perustetta vaurioiden luokitteluun. Johtoajatuksena toimi kuitenkin joko pienivikaisuus ja materiaalien käyttöominaisuuksien palautuminen, toisaalla taas täydellinen käyttökelvottomuus ja samalla rakenteen uusiminen, tai lievä kosteuspitoisuuden nousu ja äärimmäisyytenä muodostunut mikrobikanta, joka on jo tuhonnut materiaalin.

3.1.2 Analyysin tulokset

1970-luku

Yleisin ja sangen vaurioton perustustyyppi oli paikalla valettu betoniseinärakenne. Tällöin Suomen kesä-talviolosuhteiden suuretkin vaihtelut eivät pääse vahingoittamaan rakenteita. Kerrostaloissa oli yleisesti jätetty rakennuksen alle rakentamatonta kellaritilaa. Näiden matalien kellaritilojen tuuletus oli poikkeuksetta puutteellinen, lämpöeristeet irronneita tai puuttuivat kokonaan ja tilassa oli usein homeisia ja osin maatuneitakin jäänteitä esim. muottilaudoituksista. Tämänkaltaisen laiminlyönti voi olla oleellinen tekijä kosteusvaurion synnyssä. Maanvaraisissa lattioissa esiintyi yleisesti halkeilua ja osissa myös kosteuden nousua. Salaojitusten toimintaongelmat nousivat myöskin esille yli puolessa tapauksista. Yleisimpänä syynä oli ylläpidon ja puhdistuksen laiminlyönti.

Perustusrakenteissa ilmenneet halkeama- sekä korroosiovauriot ovat korjattavissa olevia. Mikäli korrosio on vahingoittanut myöskin betoniraudotteita, on teräsosat piikattava esiin ja puhdistettava huolellisesti ruosteesta ennen paikkauslaastin levitystä. Halkeamavauriot tulee paikata mahdollisimman nopeasti, ennen kuin vesi pääsee rakenteen sisään. Pakkasvaurioita opittiin ehkäisemään kasvattamalla betonin lujuutta sekä huokoistamalla betonia.

Väliseiniä yleisin verhousteraali oli lastulevy- tai kipsilevyverhoukset, jotka ovat erittäin kosteusarkoja materiaaleja. Altistuessaan kosteudelle lastulevyt turpoavat eivätkä palaudu ennalleen. Siten lastulevy- ja kipsilevyverhoukset eivät ole elpyviä pintamateriaaleja.

Ulkoseinärakenteissa käytetyin materiaali oli elementtivalmisteinen sandwich-rakenne ja näissä käytetyimpänä sekä kestävimpänä julkiverhoukspintana pesubetonipinta, jota oli käytetty 3/4:ssä betonikohteista. Muita käytössä olleita pinnoitteita olivat asbestikuitumaali sekä kvartsiittikivipinta. Kvartsiittipinnan kestävyys oli moitteeton. Sandwich-rakenteen heikkoudet löytyivät saumauksista, peräti 3/4:ssä tutkituista tapauksista saumaukset olivat lohkeilleet ja irtoilleet avaten näin vedelle ja kosteudelle mahdollisuuden tunkeutua rakenteen sisään. Pahoilta vaurioilta oli kuitenkin kohdetapauksissa säästyty. Tutkimusten perusteella sandwich-elementtiratkaisu kesti paremmin ylimääräisen kosteuskuorman ja korroosion tuomat rasitteet kuin esimerkiksi vertailukohteena ollut tiiliverhoilu, josta yli puolet oli kärsinyt vaurioista. Tiiliverhoiluun liittyvänä vauriotyyppinä todettiin myöskin kylmäsillat, joita ilmeni useimmissa tiiliverhoilluista kerrostaloista. Kylmäsillan aiheuttajana toimii esimerkiksi teräsbetonirakenteinen välipohjarakenne, joka on yhteydessä suoraan ulkoilmaan.

Ulkoseinärakenteissa saumausvauriot olivat erittäin yleiset. Normaalisti nämä vauriot ovat korjattavissa olevia. Tosin ensin tulisi varmistua, ettei rikkoutuneesta saumasta rakenteeseen mahdollisesti päässyt vesi ole tehnyt suuria kosteushaittoja eristekerrokseen. Myöskin vanhat, vaurioitumattomat saumaukset voidaan uusida. Suositeltavaa olisi käyttää erityisesti elastista saumamassaa, joka kestää paremmin elementtien liikkumisen. Seinän rakenne tulisi suunnitella niin, ettei ulkoverhouksen sisäpintaa pitkin valuva vesi pääse seinärakenteisiin, vaan se johdetaan turvallisesti pois verhoilusta.

Kerrostaloissa suosittiin tasakattoa. Yleisimmin nämä ovat bitumikermikatteisia, joiden suojana toimii sorakerros. Sadevesien johtaminen hoidettiin yleisesti kattokaivojen avulla sisäisesti. Kattovuotoja oli ilmennyt peräti 42 %:ssa tapauksista, joista 17 %:ssa oli aiheutunut korjaustoimenpiteitä vaativia vahinkoja.

Tasakattojen materiaalit sinänsä olivat toimivia, mutta viat ilmenivät lähinnä suunnittelu- ja ylläpitovirheinä. Kallistusten puutteellisuus sekä kattokaivojen toimimattomuus aiheuttivat veden seisomista katolla. Talvella vesi jäättyi ja sulii vuorotellen aiheuttaen rasisia bitumikermille. Ajan kuluessa kermi haurastuu ja vaurioituu päästään saumoistaan vettä yläpohjan rakenteisiin. Oikein toteutettuna bitumikermikate on toimiva materiaali loivillakin katoilla.

Otoksen kohteiden kylpyhuoneiden lattiapäällysteenä, yhtä lukuun ottamatta, oli muovimatto. Yhdessä tapauksessa asuntoon oli tehty remontti itse, jonka yhteydessä oli asennettu kaakelilattia, tässä tapauksessa oli esiintynyt puutteita vedeneristyksessä. Muovimattojen yleisin vaurio olivat vaurioituneet tai puhkikuluneet saumaukset, normaali muovipinnan kuluminen ja melko harvoin maton halkeilu. Samoin muovitapettien yleisin ja lähes ainoa kestävyysongelma oli saumojen vaurioituminen.

Asuntokohtaisten kylpyhuoneiden vauriot olivat korjattavissa olevia, mikäli korjaus tehdään ajoissa. Saumausten ja halkeamien ilmetessä ne tulisi viipymättä paikata elastisella saumamassalla. Mikäli rakenteessa ei ole asianmukaisia kosteudeneristeitä voi olla mahdollista että pienetkin vauriot pintaverhousmateriaaleissa laukaisevat pahan kosteus/home/lahovaurion näissä yleisesti puurakenteisissa kosteissa tiloissa.

1970-luvun kerrostaloasunnoissa ei ollut asuntokohtaisia saunoja. Saunaosaston ongelmat keskittyivät lähinnä pesutilojen lattia- ja seinäpintoihin. Yleisin niissä käytetty verhoilumateriaali oli kaakeli. Syynä vaurioihin lienee tilojen sisäilman puutteellinen tuuletus. Lattioiden yleisin vaurio löytyi saumauksien murenemisestä ja laattojen halkeilusta. Lisäksi yhteistilojen lattiakaivojen tiivistyksissä ilmeni puutteita 22 %:ssa tapauksista. Jokaisessa kohteessa, jonka pesutilojen lattialla oli muovimatto, ilmeni vaurioita saumauksessa. Seinissä sama ongelma saumojen suhteen toistuu, lisäksi laatat olivat usein irtoilleet alustastaan. Kattoverhousmateriaalina oli paneeliverhous yleisin. Niissä esiintyvät vauriot olivat hyvin vähäisiä, lähinnä normaalista kulumisesta johtuvia.

Kerrostalojen kellarikerrosten yhteispyykkitupien sisäseinien verhoiluna käytettiin tyypillisesti maalipintaa. Maalipinnat olivat yleisesti rapistuneita usein virheellisesti kosteassa tilassa käytetyn lateksimaalin vuoksi, joka muodostaa seinäpintaan höyrytiivin pinnan. Tällöin kellaritilaan ulkoseinän läpi tuleva kosteus tiivistyy maalipinnan alla ja irrottaa maalia. Myös lastu- ja kipsilevy- sekä vaahtomuovitaipettipinnat kestävät huonosti kosteutta. Tilan kosteuspitoisuutta lisää merkittävästi 1970-luvun kerrostalojen pesutuvissa yleisesti käytössä ollut menetelmä siirtää poistovedet viemäriin avokourujen avulla.

1980-luku

Esimerkkikohteiden perustuksissa ja alapohjarakenteissa nousi ongelmana esiin valesokkeli-rakenne. Joissain tapauksissa puu oli säilynyt kohtalaisen kuivana epäedullisesta sijainnistaan

huolimatta. Kostuneet kivimateriaalit sokkeleissa pystytään kuivattamaan toimintakuntoisiksi. Edelliseen liittyy sadevesien johtaminen pois rakennuksen vierustoilta asianmukaisilla varusteilla ja etenkin maaperän kallistuksilla. Tämä oli laiminlyöty huomattavan monessa kohteessa.

Ilmansulun vuotokohdat, kuten reiät ja vuotavat jatkosaumat, altistavat rakenteen herkästi kosteusvaurioille. Myös sandwich-rungon pinnoitteena käytetyn tiililaattaverhouksen saumakohtien epätiiviydet altistavat villatilan kosteudelle, joka pääsee rakenteisiin esimerkiksi viistosateiden muodossa. Ulkoseinän detaljoinnissa etenkin puiset rakenteet tulisi suunnitella huolellisesti. Ulokkeiden päälle syntyy helposti vesihyllyjä, jotka pilaavat materiaalin.

Tämän vuosikymmenen harjakatoissa esiintyi erilaisia vikoja Selvästä huolimattomuudesta kertoo se, että lähes kaikissa kohteissa katolle ulottuvien läpivientien tiivistyksessä tai ympäröivässä eristyksessä olisi ollut parantamisen varaa tai ullakkotilassa kulkevan putken osan eristys oli jollain tapaa vajavainen. Usein poistohormien päältä puuttui hattu, jolloin lumi sekä sadevedet pääsivät valumaan alempiin kerroksiin. Vesikatteen vauriot olivat usein yhteydessä asennusvirheisiin. Joko katteet oli kiinnitetty vääristä kohdin tai limityksen sijasta oli huopakatteessa käytetty puskusaumoja. Aluskatteen vedenpitävyyteen pitäisi erityisesti kiinnittää huomiota, sillä sen tehtävänä on pysäyttää mahdollinen vesikatteen läpäissyt vesi. Selvänä suunnitteluvirheenä voi pitää erään kohteen huomattavan ohutta yläpohjan lämmöneristystä. Lisäksi tuuli on päässyt ohentamaan edelleen kerrospaksuuksia, koska räystäiden alle ei ole asennettu tuuliohjureita. Yläpohjan eristeiden päälle oli usein unohdettu rakennusaikaisia jätteitä, katemateriaalia ym. mikä tulisi ehdottomasti poistaa. Katemateriaalit eivät ole yleisesti vaurioituneita, mutta alapuoliset rakenteet, joissa materiaalina on suurelta osalta puu, altistuvat kosteudelle. Useissa ullakkotiloissa hieman kostuneet puurakenteet pystytään kuivattamaan, mutta orgaanista ainetta olevan eristeen käyttöominaisuuksien palauttaminen on hankalaa. Kerrostalossa tasakaton huolimaton ja epätasainen eristys ja siitä johtuva kosteuden tiivistyminen on hankala ongelma, sillä betonikerrosten takia eristystä ei päästä korjaamaan.

Kuntotutkimusaineiston perusteella esiin nousi kerros- ja rivitalojen yhteisissä tiloissa talopesuloiden kehittymättömyys. Vanhanaikaiset käyttöratkaisut lisäsivät materiaalien kosteuskuormitusta huomattavasti vielä 80-luvun kohteissa. Betonipinnan maalihalkeilut voi paikata helposti, mutta muuten puiset levyrakenteet menevät helposti uusittavaan kuntoon. Riskitekijöiden välttäminen - määräysten ja ohjeiden riittävyys ja toteaminen

3.1.3 Riskitekijöiden välttäminen. Määräysten ja ohjeiden riittävyys ja toteaminen

Tässä luvussa verrattiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan *C2, Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998* säännöksiä kolmen vaurioalttiiksi todetun rakennusosan kohdalta. Tarkoitus oli selvittää, ovatko kyseiset suunnittelu- tai rakennusvirheet edelleen mahdollisia, vaikka määräyksiä noudatettaisiin.

Valitut rakennusosat olivat:

- märkätila; etenkin seinän alaosa,
- kattorakenteet; etenkin 80-luvun harjakatot ja
- alapohja.

Tutkimuksessa koettiin myös tarpeelliseksi kartoittaa käsiteltyjen velvoittavien määräysten historiaa ja selvittää, mitkä olivat määräykset rakentamishetkellä ja onko niissä tapahtunut kehitystä. Nykyistä C2:ta edeltävät määräykset ovat tulleet voimaan 1976. Silloiset määräykset olivat hyvin suppeat (vain kaksi sivua) ja tarkemmat ohjeet olivat Suomen Rakennusinsinöörien Liiton (RIL) julkaisemissa kirjoissa. Vertailu perustuu aikaisempaan C2-osaan sekä sitä selventävään RIL 107-1981 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet –kirjaan. Jälkimmäinen teos on julkaistu vasta 1981, mutta se antaa selkeän vertailukohteen siitä, miten silloiset määräykset eroavat nykyisistä ja mitä rakennuskohteilta on vaadittu kyseisenä ajankohtana. Tarkoituksena tässä työssä on ollut käyttää vain lain velvoittamia määräyksiä, ja siksi analyysivaiheesta ilmenneitä vauriokohteita on verrattu voimassaolevista kokoelmista vain C2-osaan. Käytetyt vanhat määräykset ovat liitteinä julkaisun lopussa. Nykyiset C2-määräykset on esitetty tässä luvussa.

3.1.4 Vertailu vanhojen ja nykyisten määräysten välillä

Jos tarkastellaan yleisesti vuonna 1976 julkaistuja C2-määräyksiä, voidaan todeta, että ainoat konkreettiset määräykset koskien materiaaleja ja rakenteita ovat kohdassa 2.3 *Katto*. Tässä on tapahtunut oleellista kehitystä, sillä nykyisissä määräyksissä annetaan selkeitä ohjeita siitä, miten tulee rakentaa. Esimerkiksi C2 1998, 3.2.3: *Ryömintätilassa ei saa olla rakennusjätettä eikä lahoavaa orgaanista ainetta*. Lisäksi määräysten oheen on tullut asiaan liittyviä selventäviä ohjeita.

Märkätilat

Mikä on märkätila? Aikojen kuluessa määritelmät ovat vaihdelleet. Nykyisessä C2:ssa asia määritellään tarkemmin.

Vanhoissa C2-määräyksissä on vain kaksi kohtaa, joissa suoranaisesti tai välillisesti viitataan märkätiloihin.

C2-1976, 2.2.3

Kylpyhuoneen, pesutuvan ja vastaavan tilan vedenpoisto ja rakenteet on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei vettä pääse tunkeutumaan ympäröiviin huonetiloihin ja rakenteisiin haitallisissa määrin.

C2-1976, 2.2.4

Ulkoseinän on oltava sellainen, ettei seinään tunkeutuvalla sade- ja sulamisvedellä, maaperän kosteudella tai sisätilasta tunkeutuvalla vesihöyryllä ole haitallisia vaikutuksia seinään ja siihen liittyviin rakenteisiin.

Nykyisten määräysten osa 7.1 *Suunnitteluperiaatteet* kiteyttää edellä mainitut kohdat. Sen sijaan suurin kehitys näiltä osin on 7.2 *Lattia- ja seinäpinnoitteet*, sillä se edellyttää, että sekä lattiassa että seinässä on vedeneristys. RIL 107-1981 ei edellyttänyt vedeneristystä seiniin eikä maanvastaiseen lattiaan. Lauseiden sisältämät ilmaisut ”tarvittaessa” ja ”jos vesi saattaa aiheuttaa

vaurioita” antoivat paljon tulkintavaihtoehtoja. Edelleen seinä- ja kattopintoja koskevat lauseet ”Märissä tiloissa tehdään pintarakenteiden tausta tarvittaessa tuulettuvaksi (esim. paneelipinta)” ja ”seinä- ja kattorakenteissa käytetään tarvittaessa höyrynsulkua” antavat rakentajalle monenlaisia tulkintamahdollisuuksia. RIL 107-2000 esittää samat kohdat huomattavasti selkeämmin.

Kosteussulku levyrakenteen päälle vaadittiin ensimmäisen kerran vasta vuonna 1983 RT-ohjeessa Asunnon pesu- ja wc-tilat. Kivirakenteiselle seinälle vaatimus tuli vasta 1994.

Nykyisten määräysten kohta 7.3 *Lattian kaltevuus ja läpiviennit* –kohdan sisältö ei merkittävästi eroa RIL 107-1981 kohdan 2.3 Märkien huonetilojen rakenteet sisällöstä, mikä on merkittävää, sillä juuri läpiviennit olivat suuri ongelmien aiheuttaja monessa kohteessa. Vuoden 1976 määräyksissä läpivienneistä ei ole mainintaa.

Kattorakenteet

Vuoden 1976 C2:ssa katto oli erotettu omaksi kokonaisuudekseen. Se on sinänsä huomion-arvoista, sillä ala- ja välipohjia sekä seiniä mukaanlukien märkätilat koskivat samat määräykset. Niitä täydentävissä RIL 107-1981 ohjeissa on myös sivumäärällisesti runsaasti ohjeita erityyppisistä kattoratkaisuista.

C2-1976, 2.3 Katto

2.3.1

Katon on estettävä sadeveden ja lumen sulamisveden tunkeutuminen sisätiloihin ja haitallisesti kattorakenteisiin. Kosteuden kerääntyminen kattorakenteisiin sisätiloista haitallisessa määrin on estettävä höyrynsulun tai riittävän tuuletuksen avulla.

2.3.2

Ullakon vastaisen yläpohjan on oltava riittävän höyrytiivis tai rakenteen toiminta on varmistettava muulla sopivalla tavalla. Ullakkotilaan on järjestettävä tarkoituksenmukainen tuuletus.

2.3.3

Tarvittaessa kate on suojattava erityisellä suojakerroksella ilmaston ja muiden tekijöiden aiheuttamilta haitallisilta vaikutuksilta.

Nykyinen C2 on katon osalta jakautunut vesikattoon ja yläpohjaan. 6.1 *Vesikaton rakenteet* puhutaan uutena asiana veden poistumisesta katolta, mutta kattokaivot, räystäskourut ja syöksytorvet mainitaan vain ohjeissa. Vanhan määräyksen 2.3.3 asiasisältö on kokonaan poissa tai ainakin sen vaatimukset on muutettu niin, että vesikatteen on kestävä ilmastorasitukset, lumen ja jään aiheuttamat rasitukset sekä huoltotoimenpiteiden vaatima liikkuminen katolla. Myös maininta riittävästä kaltevuudesta on siirretty RIL-1981 ohjeista nykyisiin C2 määräyksiin.

Nykyisissäkään määräyksissä ei ole mitään mainintaa, kuten ei aikaisemmissakaan, vesikatteen läpivientien tiivistämisestä. Tämä ilmeni toistuvana vikaisuutena analysoitavissa kohteissa. Uudempi RIL:n opas noudattaa vedeneristyksen läpivientien osalta lähes sanasta sanaan samoja ohjeita kuin edeltäjänsäkin.

Alapohjat

Alapohjia koskevia määräyksiä tutkiessa tarkastellaan maanvastaista alapohjaa, ryömintätilaista alapohjaa, seinien liittymistä maanvastaiseen alapohjaan, sekä maanvastaisten seinärakenteiden osilta tehtyjä määräyksiä.

Vuoden 1976 RakMK C2 määräyksiä seuraavat kohdat koskevat edellä mainittuja kohtia:

C2-1976, 2.1.4

Ulkoisen vedenpaineen alaisten rakenteiden on kestävä riittävällä varmuudella vedenpaineen vaikutus. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erityinen vedenpaine-eristys tai ulkoisen vedenpaineen vaikutus on estettävä luotettavalla tavalla.

C2-1976, 2.2.1

Rakenteiden on estettävä maaperän kosteuden ja maahan valuvien pintavesien haitallinen tunkeutuminen rakenteisiin ja sisätiloihin.

C2-1976, 2.2.2

Alapohjan alapuolinen ilmatila (esimerkiksi ryömimistila) on tuuletettava siten, ettei ilmatilaan tunkeutuvasta kosteudesta ole haittaa rakenteiden toiminnalle ja kestävyydelle. Ilmatilan alapuolinen maapohja on tarvittaessa salaojitettava siten, ettei alapohjan alapuolelle muodostu vapaata vedenpintaa tai vettä runsaasti haihduttavaa maakerrosta.

C2-1976, 2.2.4

Ulkoseinän on oltava sellainen, ettei seinään tunkeutuvalla sade- ja sulamisvedellä, maaperän kosteudella tai sisätilasta tunkeutuvalla vesihöyryllä ole haitallisia vaikutuksia seinään ja siihen liittyviin rakenteisiin.

Uuden C2:n kohta *3.1 Maanvastainen alapohja* määrittelee maanvastaisen lattian yläpinnan vähintään 0,3 m maanpinnan yläpuolelle. RIL 107-2000 ohjeen mukaan, mikäli lattian yläpinta on erityisyydestä alle 0,3 m maanpinnan yläpuolella, tulee pintavesien poisjohtaminen hoitaa erityisellä huolellisuudella, ettei sade- ja sulamisvesiä tunkeudu lattia- ja seinärakenteisiin.

Ryömintätilaisen alapohjan osalta sekä vanhat että uudet määräykset ovat lähtökohdiltaan yhdenmukaiset. RIL 107-2000 poikkeaa vanhasta ohjeistosta antamalla ohjearvot tuuletukselle. Lisäyksenä uusissa määräyksissä ovat: *3.2 Ryömintätilaisen alapohjan* kohdat 3.2.2 jossa

määritellään tarkastusmahdollisuus kaikkialle ryömintätilaan sekä kohta 3.2.3 koskien ryömintätilaan jätettyjä rakennusjätteitä sekä muuta lahoavaa orgaanista ainesta.

C2-1998 määräyskokoelman määräys 5 *Seinärakenteet maata vasten ja seinien liittyminen maanvastaiseen rakenteeseen* ei ole erikseen määritelty C2 1976 kokoelmassa. C2 1976 2.2 *Alaja välipohja sekä seinä* kohdat 2.2.1 sekä 2.2.4 huomioivat kosteuden, joka vaikuttaa rakenteisiin haitallisissa määrin. RIL 107-1981 ohjeessa tarkennetaan että rakennuksen jalustan tulee olla riittävän korkea, etteivät roiske- ja sulamisvedet vahingoita sitä.

C2 1998 määräykset kieltävät kosteuden haitallisen siirtymisen rakenteisiin, ja lisäksi seinien alareunojen tulee tarvittaessa pystyä kuivumaan. Lisäksi määräyksen 5.1 *Seinien liittyminen maanvastaiseen alapohjaan* kohdan 5.1.2 nojalla kosteuden haitallinen siirtyminen maanvaraisen betonilaatan yläpuolisiin seinärakenteisiin täytyy kyetä estämään kosteuden siirtymisen katkaisevalla kerroksella.

Nykmääritykset edellyttävät maanvastaisten seinärakenteiden sisäpuolelle vedeneristyksen tai vedenpaineeneristyksen määräyksen 5.2 *Maanvastaisten seinärakenteiden* kohdan 5.2.1 nojalla. Vanhat määräykset esittävät C2 1976 määräystä 2.1. *Rakenteet yleensä* kohtaa 2.1.4 mukaillen, että rakenteiden on kestettävä riittävällä varmuudella vedenpaineen vaikutus ja tarvittaessa on rakenteisiin tehtävä erityinen vedenpaineeneristys tai ulkoisen vedenpaineen vaikutus on estettävä luotettavalla tavalla.

3.1.5 Otosaineiston vertailu määräyksiin

Märkätilat

Kuntoarvioiden yhteenvetojen ja vaurioiden lukumäärien perusteella huomio kiinnittyy kosteisiin tiloihin ja näissä erityisesti pesuhuoneiden seinän alaosaan sekä lattiaan. Näiden vauriot ovat miltei säännöllisesti yhteydessä toisiinsa; siis jos vaurioita esiintyi toisessa niin suurella todennäköisyydellä myös toisessa. Vuosikymmeneen katsomatta vaurioita esiintyi läpi koko aineiston.

C2-1998, 7.1 Suunnitteluperiaatteet

7.1.1

Märkätilan vedenpoisto ja rakenteet on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei vettä pääse valumaan tai siirtymään kapillaarivirtauksena ympäröiviin rakenteisiin ja huonetiloihin.

C2-1998, 7.2 Lattia- ja seinäpinnoitteet

7.2.1

Märkätilan lattiapäällysteen ja seinäpinnoitteen on toimittava vedeneristyksenä tai lattiaan päällysteen alle ja seinään pinnoitteen taakse on tehtävä erillinen vedeneristys.

7.2.2

Vedeneristyksen tulee olla riittävän sitkeä, jotta se saumoineen kestää rakennustyön aikaiset rasitukset ja käytön aikaiset alustan liikkeet.

7.2.3

Märkätilojen vedeneristyksenä toimiva lattianpäällysteen alla oleva vedeneristys on ulotettava riittävän korkealle seinälle sekä liitettävä vedenpitävästi seinän vedeneristykseen estämään veden pääsy seinä- ja lattiarakenteiden sisään.

Otoksessa esiintyneiden tilojen pintamateriaalivalinnat olivat sinänsä asianmukaiset. Kuitenkin joko rakennustyön rasituksista, käytöstä tai alustan liikkeistä johtuva kuluminen aiheutti pinnan, joka useissa kohteissa toimi vedeneristeenä, vaurioitumisen monin paikoin. Se puolestaan altisti alemmat rakenteet kosteudelle. Tässä kohdassa voidaan kysyä, onko materiaali riittävän sitkeä.

Kohtaa 7.2.3 ei ilmeisestikään ole noudatettu, koska seinälle vedeneristettä ei vaadittu. Kuntoarvioissa ei aina löytynyt mainintaa vedeneristeiden olemassaolosta. Vedeneristyksen tai muovimatton seinälleenostojen hitsisaumat ym. seinän ja lattian nurkka-alueen elastiset saumat ovat todellisia riskialueita vaurioineen. Tähän kuuluu myös nurkan yläpuolisen osan turmeltuneisuus kuten auenneet saumat, halkeilleet kaakelit ja puutteelliset tiivistykset.

Määräysten yhteydessä ohjeessa 7.2.1.3 mainitaan puuverhouksen taakse tehtävästä tuuletusvälistä. Tätä ei ole noudatettu kaikissa saunatiloissa. Vanhat RIL 107 1981 -ohjeet ovat tältä kohden moniselitteiset.

C2-1998, 7.3 Lattian kaltevuus ja läpiviennit

7.3.1

Lattian kaltevuuden on oltava sellainen, että vesi valuu esteettä lattiakaivoon. Vedeneristyksen ja lattiakaivon liitoksen on oltava niin tiivis, että vesi ei pääse vedeneristyksen alapuolisiin rakenteisiin, vaikka vedenpinta kaivossa nousisi liitoksen yläpuolelle.

Kuten monissa alan oppaissa on jo todettu, läpiviennit, etenkin lattiakaivo, on riskialtis kohta. Otosaineisto tukee selvästi tätä väittämää, mutta myöskin wc-istuinten ja lavaaarien kiinnityksessä oli epätiiviyttä. Joko kiinnitys oli puutteellinen tai reunat vaativat saumausta.

Saunan ja pesuhuoneen välinen seinä, joka on alaosaltaan avoin yhteisviemäroinnin takia on riskirakenne. Rautaiset pystyrakenteet, joiden varassa seinä lepää, lävistävät lattiarakenteen. Vedeneristyksen kannalta liitoksista on mahdoton saada tiiviitä ja kestäviä. Vesi ei pääse valumaan saunan puolelta esteettä lattiakaivoon. Yllä olevat määräykset eivät ensisijaisesti kiellä tätä rakennetta, mutta kuitenkin ohjeessa 7.3.1.3 sanotaan, että märkätilan lattiaan saa tehdä vain läpivientejä, jotka ovat tarpeen viemäroinnin järjestämiseksi. Aikaisemmat RIL:n ohjeet eivät kiellä tätä rakennetta.

Kattorakenteet

Vesikatto ja yläpohja

Vaikka 70-luvun tasakatot ovat vielä tänäkin päivänä huonossa maineessa, niin 80-luvun aineistosta löytyi huomattavaa vikaisuutta myös harjallisista katoista. Kuntoarviot kielivät suoranaisesti piittaamattomuudesta ja huolimattomuudesta jälkimmäisellä aikakaudella. Ikä tuskin luetaan tässä vaiheessa vielä raskauttavaksi tekijäksi kattomateriaalien kohdalla.

C2-1998, 6.1 Vesikaton rakenteet

6.1.1

Vesikaton on estettävä, sadeveden, lumen ja sulamisveden tunkeutuminen kattorakenteisiin, seiniin ja sisätiloihin.

6.1.2

Katto on suunniteltava ja rakennettava siten, että vesi poistuu katolta suunnitellulla tavalla rakennusta vahingoittamatta.

6.1.3

Vesikatolla on oltava katteelle riittävä kaltevuus ja tiiviys veden poisjohtamiseksi. Katteen on kestävä ilmastorasitukset, lumen ja jään aiheuttamat rasitukset sekä huoltotoimenpiteiden vaatima liikkuminen katolla

80-luvulla useassa kohteessa vesikate ei täysin pidä vettä. Syynä on joko tiilikatteen epätiivis aluskate tai kattuhuopa, joka on revennyt tai auennut saumoistaan. Otokseen kuului kaksi tiilikatteista rakennusta, joista kummassakin ilmeni kosteusvaurioita. Toisessa aluskate oli repeillyt jo luultavimmin asennusvaiheessa ja toisessa epätiiviydet olivat läpivientien kohdalla.

Vesikate on voitu myös kiinnittää tavalla, joka ei kestä katolla liikkuvia lumi- ja jäämassoja. Eikä ainoastaan vesikate ollut riskialtis, vaan toistuvasti kattovesien poisjohtamisessa seinien vierustoilta oli yhtäläillä puutteita. Vanhat C2-määräykset keskittyvät sisältä ulospäin siirtyvän kosteuden ehkäisevien haittojen poistamiseen, mutta suurimmat riskit on aiheuttanut ulkopuolisen kosteuden pääseminen vesikatteen alapuolelle.

Kuten märkätiloissakin, poistohormien läpivientien tiivistyksissä esiintyi laajasti eriasteisia puutteita. Joitakin vaurioita oli jo yritetty paikkailla, joskus jopa sopimattomilla materiaaleilla. Näiden oikeaoppisesta toteuttamisesta oli ohjeita ja RIL 107-1981 –oppaassa, ja ne on otettu melkein sanasta sanaan uuteen C2:een.

C2-1998, 6.2 Yläpohjan rakenteet

6.2.1

Yläpohjan eri kerrokset ja katon tuuletus on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei kattoon kerry vesihöyryn diffuusion tai ilmavirtausten vuoksi haitallisessa määrin kosteutta ja että rakenteisiin mahdollisesti pääsevä kosteus voi kuivua.

Kohteiden höyrynsulkumuovitukset olivat monesti reunoiltaan epätiivittä, niissä oli reikiä eikä muovi yltänyt tarpeeksi pitkälle. Jatkosten teippaukset puuttuivat usein.

Liian ohuet lämmöneristykset johtivat lumen sulamiseen katolla ja sitä kautta vesivuotoihin. Poistohormien eristykset päätyivät jo aluskatteen alapuolelle, mistä aiheutui kondensoitumista putkiin.

Alapohjat

Alapohjalla käsitetään perustuksen osa anturasta alapohjaan. Perusmuureissa esiintyi ongelmia lähinnä ulkopintojen, ja -käsittelyjen halkeiluissa, ulkopuolen kosteuden- tai vedeneristyksessä, tuuletetun alapohjan tuuletusaukoissa sekä liittymien ja läpivientien tiivistyksissä. Suurin osa ongelmista johtui rakennustöiden huolimattomuudesta tai kunnossapidon laiminlyönnistä. Näistä aiheutuneet vauriot olivat sängen vähäisiä laajuudeltaan ja korjattavissa suhteellisen pienellä vaivalla. Jatkossa asiallisen huolto- ja kunnossapito-ohjelman puitteissa kyseiset vauriot voidaan todennäköisesti välttää. Seuraavassa vuoden 1998 RakMK C2 antamat määräykset kyseisen rakennusosan kohdalta.

C2-1998, 3.1 Maanvastainen alapohja

3.1.1

Kellarin lattiaa lukuun ottamatta on maanvastaisen lattian yläpinnan oltava vähintään 0,3 m rakennuksen ulkopuolella olevan maanpinnan yläpuolella. Tästä voidaan poiketa erityisestä syystä vähäisessä määrin. Tällöin on perustusten kuivatuksen ohella huolehdittava perusmuurin suojaamisesta ulkopuoliselta kosteudelta.

C2-1998, 3.2 Ryömintätilainen alapohja

3.2.1

Alapohjan alapuolinen ryömintätila on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei ryömintätilaan kerääny vettä ja että ryömintätila tuulettuu riittävästi, eikä ilmatilan kosteudesta ole haittaa rakenteiden toiminnalle ja kestävyydelle.

3.2.2

Ryömintätilaan on järjestettävä tarkastusmahdollisuus ja pääsy kaikkialle tilaan.

3.2.3

Ryömintätilassa ei saa olla rakennusjätettä eikä lahoavaa orgaanista ainesta.

C2-1998, 5.1 Seinien liittyminen maanvastaiseen alapohjaan

5.1.1

Ulkoilmaan rajoittuvat seinärakenteet on liitettävä sokkeliin ja maanvastaiseen lattia rakenteeseen siten, että kosteuden haitallinen siirtyminen ja kertyminen seinärakenteeseen sokkelin tai viereisen lattiarakenteen kautta on estetty ja seinän alareunan kuivuminen on tarvittaessa mahdollista.

5.1.2

Kosteuden haitallinen siirtyminen maanvastaisen lattian betonilaatasta yläpuolisiin seinärakenteisiin tulee estää kosteuden siirtymisen katkaisevalla kerroksella.

C2-1998, 5.2 Maanvastaaiset seinärakenteet

5.2.1

Kellarin maanvastaisen ulkoseinän ulkopinnassa tai ulkopuolisen, maata vasten olevan lämmöneristyksen sisäpuolella on käytettävä vedeneristystä tai vedenpaineeneristystä, joka estää ympäröivän maan kosteuden ja pinta- sekä sulamisveden haitallisen tunkeutumisen rakenteeseen. Vedenpaineelle alttiit rakenteet varustetaan vedenpaineeneristyksellä, joka estää ulkopuolisen veden haitallisen tunkeutumisen seinärakenteeseen.

Maanvarainen alapohja toimi tutkituissa kohteissa varsin hyvin. Muutamissa tapauksissa ei oltu noudatettu määräyksen 3.1.1 kohtaa lattian yläpinnan sijoittamisesta vähintään 0,3 m maanpinnan yläpuolelle. Näissä kohteissa ilmeni pahoja kosteusvaurioita alapohjassa ja jopa sisäseinien alaosissa. Ilmeisimmin kyseisissä kohteissa on laiminlyöty myös määräystä 5.1.2, sillä kosteus oli tunkeutunut maanvaraisen lattian betonilaatan yläpuolisiin rakenteisiin.

Määräyksen 5.2.1. laiminlyönnin seurauksena perusmuurit olivat kärsineet halkeamavaurioita sekä kellaritiloihin tunkeutui kosteutta. Myös alapohjan eristeissä oli useissa tapauksissa merkkejä kosteusvaurioista. Mikäli määräyksiä noudatettaisiin, pystyttäisiin perusmuuriin kohdistuvaa kosteuskuormaa pienentämään huomattavasti.

Suurimmassa osassa kerrostalokohteista kosteuskuormaa pahensi alapohjan alapuolisen tilan puutteellinen ja usein täysin puuttuva tuuletus. Tuuletusaukkoja oli miltei jokaisessa esimerkissä liian vähän ja niitä oli osin jopa tukittu. Kohteissa todettiin ryömintätilan tunkkainen ja kostea ilma. Kyseisissä tapauksissa alapohjan eristeet olivat miltei poikkeuksetta lievästi tai pahoin kosteusvaurioituneet. Mikäli määräyksiä olisi noudatettu vaatimusten mukaisesti, ongelma olisi mitä todennäköisimmin vältetty.

Vastoin määräystä 3.2.3 useassa kerrostalokohteessa oli muottilaudoituksia jätetty paikoilleen ryömimistöihin, nämä lahoamaan jätetyt puuosat levittivät hajuhaittoja kerrostalojen rappukäytäviin ja lisäsivät osaltaan alapohjan ja perustusten kosteuskuormaa.

3.1.6 Yhteenveto otosaineiston tarkastelusta

Tutkimuksen kumpikin otosalue käsittää hyvin suppean osan koko aikakausien asuntotuotannosta. Kohteiden kunto oli osin erittäin heikko ja melkein kaikista rakennusosista löytyi ainakin riski kosteusvaurioon. Voisi ajatella, että tutkimuksessa käsiteltiin nk. jäävuoren huippua, jonka alapuolelle jää suuri kartoittamaton osa asuntotuotantoa. Tästä kertoo jo se, että tutkimuskohteisiin oli tilattu VTT:ltä kuntoselvitys. Siksi ei ole asianmukaista yleistää esitettyjä numeerisia arvoja koko rakennuskannan kuntoon, mutta ne ovat kuitenkin suuntaa antavia ja osoittavat aikakausilla vallinneen yleisen rakennustavan.

Suurimmat vauriopesäkkeet löytyivät märkätiloista, alapohjista ja kattorakenteista. Vertailu uuteen C2:een osoitti, että määräyksiä noudattamalla vaurioita olisi vähemmän.

Märkätilojen läpiviennit, etenkin lattiakaivo oli monessa kohteessa riskialtis, ja vuotoja oli jo tapahtunutkin, kuten saattoi olettaa. Yksityiskohdat kuten kalusteasennusten saumat ja tiivistykset ja ylösnostojen hitsaukset olivat rakenteen heikkoja kohtia. Suuria muutoksia näihin liittyvissä määräyksissä ei kuitenkaan ole tapahtunut. Vedeneristyksestä annettuja uusia ohjeita noudattamalla suurin osa vaurioista olisi vältetty.

Vesikaton läpiviennit ongelmineen olivat hyvin samankaltaisia kuin märkätilojen vastaavat. Uusissa kosteusmääräyksissä ei suoranaisesti anneta ohjeita läpivienneistä. Läpivienneistä on kuitenkin maininta ohjeessa 6.1.3.1. RIL:n ohjeiden sisältö läpivientien osalta ei ole juuri muuttunut vuosien kuluessa. Höyrynsulkumuovien asennukset oli toteutettu huolimattomasti tai materiaali oli vaurioitunut. Samoin riittämättömät eristysten paksuudet yläpohjassa tai poistohormeissa aiheuttivat vesihöyryn kondensoitumista. Noudattamalla uusia määräyksiä ja ohjeita olisi lähes kaikki vauriot voitu välttää.

Alapohjien ongelmat muodostuivat pitkälti suunnittelua huolimattomuudesta. Perusmuurien viereen kerääntyvät sadevedet kertovat puutteellisista maanpinnan kallistuksista. Kerrostalojen alapohjien alapuoliset ryömintätilat esiintyvät myös selkeinä ongelmapaikkoina, joissa kosteuspitoisuudet olivat korkeita puutteellisen tuuletuksen seurauksena. Mikäli määräyksiä olisi näiltä osin noudatettu, olisivat kyseiset ongelmat olleet vältettävissä.

Kuten edellä on jo selvinnyt, tutkitut kohteet eivät täyttäneet uusia kosteusvaatimuksia (C2-1998). Yleisesti puhutaan nk. hyvästä rakennustavasta, jolloin noudatetaan sekä määräyksiä että ohjeita. Monista viallisista rakenteista käy ilmi selkeä huolimattomuus tai osaamattomuus niin suunnittelu- kuin rakentamisvaiheessa eikä ylläpitokaan ole moitteetonta.

Tutkimuksen tavoitteeksi asetettu riskirakenteiden kartoittaminen saavutettiin informatiivisella tasolla. Tämän tiedon hyödyntäminen rakennustuotannossa edistäisi toimivien rakenteiden ja varsinkin niiden yksityiskohtien toteuttamista. Terveen ja pitkäikäisen rakennuksen tekeminen on täysin mahdollista. Suurin osa keinoista on ollut tiedossa jo vuosikymmenien ajan, kysymys on toimivien rakennusratkaisujen ja materiaalien oikeasta käytöstä oikeissa paikoissa. Myöskin nykyiset kosteusmääräykset ja ohjeet antavat vahvan tuen virheettömään rakennustuotantoon.

4. Vastustuskykyinen rakennus

Luvussa 3 on käsitelty märkätiloja, kattorakenteita ja alapohjia. Märkätilojen kohdalla on viime vuosina laadittu lukuisia ohjeita ja otettu käyttöön mm. märkätila-asentajien erityis-koulutus ja sertifiointikäytäntöjä, joten tämä luku keskittyy rakennuksen vaipan toimivuuteen ja erityisesti sen rakennusfysikaalisiin tekijöihin. Tarkasteltavia vastustuskykyisyyttä edistäviä seikkoja ovat mm.:

- harveneminen ulospäin
- kuivattava diffuusiovirta
- kylmäsiltojen puuttuminen sekä
- hallittu ilmanvaihto.

Turvatekijöiden tausta

Rakennuksen vaipan tehtävänä on suojata sisätiloja ulkopuolisen veden ja kosteuden haitallisilta vaikutuksilta ja tehdä halutun sisäilmaston ylläpitäminen mahdolliseksi. Vaipan tulee olla eristävyydeltään ja tiiviydeltään sellainen, että tilassa voidaan saavuttaa käyttötarkoituksen mukaiset lämpöolosuhteet hyvän energiatalouden mukaisesti. Rakenteen läpi ei saa esiintyä haitallista kosteuden tunkeutumista eikä kosteus saa haitallisessa määrin kertyä rakenteeseen. Sekä rakennekosteuden että myöhemmin rakenteeseen joutuneen kosteuden on päästävä kuivumaan vauriota aiheuttamatta. Kosteudesta ei saa olla haittaa rakenteen toimivuudelle tai kestävyydelle.

Kosteusteknisessä tarkastelussa merkittäviä tekijöitä ovat mm. eri kosteuslähteet, veden ja vesihöyryn eri siirtymismuodot ja sitoutuminen, sadeveden käyttäytyminen, mahdollisten kosteuskertymien haitallisuuden arviointi ja rakenteen kuivumisen varmistaminen. Kosteusrasitus voidaan jakaa ajallisesti rakennusvaiheeseen sekä käyttö- ja kunnossapitovaiheeseen. Yleisimpiä kosteuslähteitä ovat viistosade, rakennuskosteus ja sisäilman kosteus. Muita kosteuslähteitä ovat mm. maaperän kosteus, pintavedet, käyttövedet sekä mahdolliset vuoto- ja roiskevedet. Kosteuslähteiden lisäksi ulkoseinän kosteustekniseen toimintaan vaikuttavia olosuhdetekijöitä ovat tuuli, lämpötilat rakenteen eri puolilla, auringon säteily, paine-ero rakenteen yli sekä painovoima.

Seinäarakenteen läpi tapahtuva diffuusio aiheutuu rakenteen eri puolilla vallitsevien vesihöyryn osapaineiden eroista. Diffuusio suuntautuu suuremmasta kosteustilasta pienempään eli Suomessa lähes jatkuvasti sisältä ulospäin. Sisäilman kosteuden lisääntyessä paine-ero ja siten myös diffuusion kuljettama kosteusmäärä lisääntyvät.

Kun pyritään hyvään sisäilman laatuun ja hallittuun ilmanvaihtoon, on välttämätöntä hallita rakennuksen läpi tapahtuvat ilmavirtaukset. Rakennuksia on käytännössä vaikeaa tehdä täysin tiiviiksi, eikä toisaalta ilmavuoto ulkovaipan kautta ole yleisesti hallittavissa. Ilmanpitävyys-tavoitteet onkin asetettava realistisesti siten, että ilmavuotojen mahdolliset haittavaikutukset minimoidaan. Sisäilman laadun kannalta on keskeistä, että paine-eroista ei aiheudu kosteusrasituksia rakenteille eikä tiiviysongelmista aiheudu rakenteiden vaurioitumista tai vetoisuutta.

Samalla tavalla kuin lämpö virtaa aina lämpimämmästä tilasta kohti kylmempää, myös paine-erojen vaikutuksesta tapahtuvat ilmavirtaukset tapahtuvat suuremman paineen tilasta pienempään paineeseen. Rakennuksissa paine-eroja synnyttävät ja ylläpitävät tuuli, lämpötilaerot ja koneellinen ilmanvaihto. Suuruusluokiltaan nämä paine-erot ovat sellaiset, että lämpötilaeron aiheuttama ns. savupiippuvaikutus on noin 1 Pa kutakin korkeuseron metriä kohti sisälämpötilan ollessa 20 °C ja ulkolämpötilan ollessa 0 °C. Rakennukseen kohdistuvan keskimääräisen tuulen (3-4 m/s) aikaansaama paine-ero on noin 10 Pa tuulen ja suojan puolten välillä. Koneellisen ilmanvaihdon synnyttämä paine-ero pyritään säätämään suuruusluokaltaan muutamiin kymmeneen Pa.

Tiiviissä rakennuksessa painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän toimivuus ei ole paras mahdollinen, kun sitä tarkastellaan koko vuoden tasolla. Koneellisella poistolla varustetuissa taloissa ilmanvaihdon toimivuus edellyttää hallittuja tuloilmareittejä. Täysin koneellisen ilmanvaihdon taloissa on saavutettavissa hallittu ilmanvaihto (rakennuksen sisällä tulee olla lievä alipaine ulkoilmaan verrattuna).

Hatarassa rakennuksessa painovoimainen ilmanvaihto toimii kohtuullisesti, mutta se ei ole hallittua. Tapahtuu läpivirtausta jo vähäisen tuulenpaineen vaikutuksesta koska ulkovaipan virtausvastus on pieni. Koneellisessa poistossa on sisällä tiivistä rakennusta huomattavasti pienempi alipaine ja esiintyy runsaasti hallitsematonta ilmavuotoa, jonka vuoksi vetoisuus lisääntyy viihtyisyyttä häiritsevästi. Täysin koneellisen ilmanvaihdon rakennuksissa ei tässä tapauksessa saada aikaan hallittua ja haluttua ilmanvaihtuvuutta.

Sisäpuolinen ylipaine aiheuttaa hatarassa rakennuksessa sisäilman tunkeutumista rakenteisiin (etenkin yläpohjissa ja rakennuksen ylimmissä osissa), mikä voi aiheuttaa kosteusongelmia.

Sisäpuolinen alipaine ja sisäänpäin tapahtuvat ilmavuodot merkitsevät sitä, että rakenteista mahdollisesti vapautuvat haitalliset aineet (mukaan lukien mikrobien tuottamat päästöt) kulkeutuvat kohti sisäilmaa. Toisaalta sisäänpäin tuleva kylmempi ja kuivempi ulkoilma sitoo rakenteen läpi virratessaan ja lämmitessään kosteutta, mikä on rakenteen vaurioriskiä pienentävä turvatekijä, joskin sisäänpäin virtaava kylmä ilma voi jäähdyttää rakenteita kondenssivaaran toteutumiseen asti.

4.1 Kestävyyttä edistävät suunnitteluratkaisut

Kosteuden kuivuminen

Tuulettumattomissa ulkoseinärakenteissa kosteus poistuu rakenteesta diffuusiolla ulkokuoren ja sen mahdollisen pinnoitteen läpi. Tuulettuvissa rakenteissa kosteus poistuu diffuusion lisäksi ilmavirtausten mukana tuuletusraon tai ilman virtauskanavien ja tuuletusaukkojen kautta nopeuttaen rakenteen kuivumista. Kosteuden kulkeutumiseen ulkokuoren läpi vaikuttavat mm. ulkokuoren pintakerroksen (tiili tai betoni) ominaisuudet, rakenteen kosteus ja lämpötila sekä julkisivupinnoite.

Sandwich-ulkoseinän kuivumisen kannalta merkittäväksi muodostuu rakennuskosteuden poistuminen. Tuuletuksen järjestämiseksi lämmöneristekerroksessa käytetään uritusta ulkokuoren sisäpintaa vasten. Ulkokuoren ja tuuletusurien välissä käytetään urasuojaa. Urasuojamateriaalin kosteudenläpäisevyyden tulee olla mahdollisimman suuri verrattuna betoniulkokuoren kosteudenläpäisevyyteen. Urituksen toimivuuden edellytyksenä on se, että ilma pääsee esteettä kulkemaan koko urajärjestelmässä.

Rakenteen sisään tuleva lämpenevä ulkoilma sitoo itseensä kosteutta, jonka poistuessa ulos lämmöneristetilasta rakenteen kosteus pienenee. Tuuletuksella poistuva kosteusmäärä riippuu ilmavirran suuruudesta sekä ilman sitomasta kosteudesta. Tuuletusilma pystyy sitomaan sitä enemmän kosteutta, mitä enemmän se lämmöneristetilassa lämpenee. Lämpeneminen riippuu virtausnopeudesta sekä virtauskohtaa ympäröivistä lämpötiloista. Tuuletuksen tehokkuuteen vaikuttavat kosteuden siirtyminen tuuletusilmaan, tulo- ja poistoilma-aukkojen sekä tuuletuskanaviston mitoitus ja sijoitus. Tuuletusilmavirtaukset aiheutuvat tuulen ja savupiippuvaikutuksen aiheuttamista ilmanpaine-eroista.

Tutkimustulosten perusteella tuuletus tehostaa kiistatta sandwich-ulkoseinien kuivumista. Harvaan sijoitetut 10 mm tuuletusputket kuristavat liikaa tuuletuskanaviston ilmavirtauksia. Laskentatulosten mukaan yhtenäisellä 5 mm tuuletusaukolla on tuuletusraon ilmanvaihtuvuus 15-20 -kertainen verrattuna eri tuuletusputkiratkaisuihin 5 Pa ilmanpaine-erolla.

Tuuletus on tehokkainta yhtenäisellä tuuletusraolla. Uritetussa rakenteessa uratiheyden kasvu vaikuttaa lähes lineaarisesti kosteudenpoistokykyyn urien sijaitessa ulkokuorta vasten. Sijoittamalla tuuletusurat lämmöneristeen sisään voidaan tuuletuksen tehokkuutta edelleen parantaa. Urien 10 mm:n sisäänvedolla saavutetaan jo 25 %:n ilmanvaihtuvuudella vastaava kosteudenpoisto kuin tuuletusuran sijaitessa ulkokuorta vasten. Laboratoriomittausten mukaan voi tuuletusurien hydraulisen halkaisijan pienentyminen valupurseiden tai mineraalivillahahtuvien johdosta olla yli 50 %. Tästä aiheutuu tilavuusvirtojen pienentymistä ja siten julkisivuelementtien epätasaista tuulettumista.

Tuulettuvalla taustatilalla varustetuissa kuorijulkisivurakenteissa tuuletusrako katkaisee viistosateen kapillaarisen kulkeutumisen rakenteeseen. Kun tuuletusrako on yhteydessä ulkoilmaan, vallitsee julkisivuverhouksen molemmilla puolilla lisäksi likimain sama ilmanpaine, jolloin paine-erosta johtuva viistosateen tunkeutuminen saumojen läpi on vähäistä. Tuuletusraon tehtävänä on lisäksi johtaa julkisivuverhouksen taakse joutunut sadevesi ulos rakenteesta. Tuuletusraon kautta johdetaan myös vesihöyrynä rakennuksen sisäosista kulkeutuva kosteus ulos sekä kuivatetaan viistosateen kostuttamien kuorirakenteiden sisäpinta.

Kun elementtien saumat ovat umpinaisia, tapahtuu tuuletus pelkästään julkisivun ylä- ja alareunassa olevien tulo- ja poistoilma-aukkojen kautta, jolloin näiden aukkojen mitoituksella on ratkaiseva merkitys rakenteen toiminnan kannalta. Yhtenäisen julkisivupinnan tulo- ja poistoilma-aukkojen leveyden pitää olla vähintään 10 mm. Kun julkisivuverhouksessa ei ole avosauvoja, suositeltava minimileveys sekä tuuletusraolle että tulo- ja poistoilma-aukolle on 20 mm.

Korkeassa rakennuksessa tuuletusrakoon voi kerääntyä ja sen kautta poistua runsaasti vettä. Yhtenäinen tuuletusrako voidaan jakaa useammiksi lyhyemmiksi ilmaraoiksi, joista jokaisesta on

oma vedenpoisto. Näin lyhennetään kosteuden ulospääsyreittiä ja samalla voidaan rajoittaa savupiippuvaikutuksen voimakkuutta ja siitä aiheutuvia konvektioita lämmöneristekerroksessa. Tuuletusraon katkaiseminen on tärkeää myös siksi, että tuuletusraossa virtaavan ilman suhteellinen kosteus tulee sitä suuremmaksi, mitä pidemmän matkan se joutuu tuuletusraossa kulkemaan.

Rakennuskosteus ja sen kuivuminen

Rakennuskosteus on sitä vettä, joka rakenteesta poistuu ennen kuin rakenne on kosteustasapainossa ympäristönsä kanssa. Rakentamisvaiheessa rakenteessa olevat vesimäärät vaihtelevat suuresti riippuen mm. rakennusaineesta, varastoinnista ja rakennusvaiheen suojauksista. Esimerkiksi tiili on rakennusaine, joka on valmistuessaan tehtaalla lähes täysin kuiva, kun taas betonissa on paljon vettä. Tiilimuurissa on valmistumisvaiheessa noin 70 kg/m^3 rakennuskosteutta, paikalla valetussa betonissa noin $70\text{...}90 \text{ kg/m}^3$. Betonista elementin valun jälkeen poistuva kosteusmäärä on noin 80 kg/m^3 . Puusta poistuva rakennuskosteus on noin $20 - 40 \text{ kg/m}^3$. Mikäli rakenteeseen kulkeutuu vettä rakentamisen aikana, kuivumisaika tulee huomattavasti pidemmäksi kuin pelkästään elementin valmistuksessa betonikuoriin kemiallisesti sitoutumattoman veden kuivumiseen kuluva aika. Kuivumisaikaa pidentää lisäksi sisäkuoren aikainen tiivis pinnoittaminen, jolloin kuivuminen sisäänpäin hidastuu.

Rakennuskosteuden kuivumisnopeuteen vaikuttavat rakenteen sisäisinä tekijöinä mm. rakenteen lämpötila, seinän muotoilu, pinnan karheus, rakenteen kosteustila sekä rakenteen tuuletustapa ja rakennekerrosten materiaaliominaisuudet. Rakennuskosteuden kuivumisnopeuteen vaikuttavia ulkoisia tekijöitä ovat mm. sisä- ja ulkoilman kosteus ja kyllästysvajaus, ilman nopeus, lämpötila sekä lämpötilaero rakenteen pintaan ja auringon säteily. Seinärakenteen rakennuskosteuden kuivumista voidaan nopeuttaa mm. lisäämällä tuuletusta sekä lämmittämällä ja kuivattamalla rakennusta. Seinärakenteelle tulee varata riittävä kuivumisaika ennen mahdollista ulkokuoren saumausta tai pinnoitusta. Lisäkosteuden kulkeutumista rakenteeseen rakennustyön aikana on aina syytä vähentää huolellisella sääsuojauksella.

Karkeana nyrkkisääntönä voidaan pitää, että puolet rakennuskosteudesta poistuu (betonin tiiveydestä riippuen) 3- 12 kuukauden kuluessa, kun kyseessä on 100 mm:n vahvuinen betonirakenne, joka saa kuivua molemmin puolin. Tarkempi arvio kuivumisesta on laskettavissa eri betonilaaduille. Kuivumisaika kasvaa noin nelinkertaiseksi, jos rakenteen paksuus tulee kaksinkertaiseksi. Samoin kuivumisaika kasvaa noin nelinkertaiseksi, jos laatta saa kuivua vain yhteen suuntaan molempiin suuntiin kuivumisen sijaan. Tiilimuurauksen kuivuminen riippuu sateisuudesta, koska tiiliverhous imee pintaansa lankeavan veden.

Tuulettuva ulkoseinärakenne kuivuu ympäri vuoden eikä siihen yleensä tiivisty diffuusiokosteutta. Tuulettuvan rakenteen tuuletusrako kuivattaa tehokkaasti rakennusaikana ja käytössä rakenteeseen joutuvaa kosteutta. Kokeellisissa tarkasteluissa kaksoiskuorisoin ulkokuori kuivui koko kokeen ajan tasaisesti, eikä kosteuden tiivistymistä tapahtunut, kun sitä vastoin perinteinen sandwich-elementin ulkokuori ei kuivunut talvijaksolla yhtään ja kesäjaksoillakin vain vähän. Kaksoiskuorisoinnassa ulkokuori kuivuu sekä sisä- että ulkopintansa kautta, jolloin kuivuminen on nopeampaa ja tasaisempaa.

Teknillisen korkeakoulun (TKK) tutkimuksessa (1997) esitetyissä kenttämittauksissa seurattiin kuusikerroksisen betonirakenteisen asuinkerrostalon ulkoseinän lämpö- ja kosteusteknistä käyttäytymistä rakennusaikana ja käyttöönoton jälkeen noin yhden vuoden ajan. Kenttämittauskohteessa käytettiin kahdessa seinälinjassa uritettua eristettä ja yhdessä urittamatonta eristettä. Kenttämittauskohteessa tuuletusputkien todettiin olevan mittauslinjoilla suurimmalta osin tukossa. Rakennuskosteuden kuivuminen oli tällöin nopeinta ikkunallisissa elementeissä, joissa oli vähiten yhtenäistä seinäpinta-alaa ja eniten avonaisia tuuletusaukkoja. Täten ikkunattomissa elementeissä, joissa on enemmän kuivuvaa rakennekosteutta ja pisimmät tuuletusilman virtausmatkat, toimivan tuuletusjärjestelmän tarve korostuu. Ulkoseinien asennus ajoittui loppusyksyyn, jolloin sadevettä kulkeutui rakenteisiin lisäten niiden rakennuskosteutta. Vuoden mittausjakson aikana rakennekosteus ei ehtinyt täysin kuivua.

Sadeveden käyttäytyminen seinäpinnalla ja rakenteessa

Ulkopinnan muotoilu, pintamateriaalin vedenimukyky ja saumarakenteet vaikuttavat viistosateen aikaansaaman vesikalvon syntyyn ja veden tunkeutumiseen seinärakenteeseen. Saderasituksen voimakkuuteen voidaan vaikuttaa rakennuksen muodolla (korkeisiin rakennuksiin kohdistuu suurempi rasitus kuin mataliin) ja yksityiskohdilla kuten räystäillä ja katoksilla. Jos seinän ulkopinta on tiivis (kuten klinkkeri, luonnonkivi tai lasi) siihen muodostuu heti sateen alkuvaiheessa alaspäin valuva vesikalvo. Mitä karheampi pinta on sitä tasaisemmin sadevesi jakaantuu pinnan alueelle. Jos seinän ulkopinta on huokoinen (kuten tiili) viistosade imeytyy kapillaarisesti ja vesikalvon muodostuminen viivästyy. Betoniin vesi imeytyy kapillaarisesti verraten hitaasti (varsinkin tiiviiseen alhaisen vesisementtisuhteen julkisivubetoniin). Betonijulkisivun pintakäsittely vettä hylkivällä aineella vaikeuttaa sadeveden imeytymistä betoniin, mutta toisaalta myös hidastaa rakenteen kuivumista ulospäin. Vesikalvo muodostuu maalaamattomilla betoniseinillä melko hitaasti, eikä se harjatuilla, tiililaatta- ja pesubetonipinnoilla yleensä valu alas asti vaan imeytyy seinään.

Tuulen aiheuttama paine kuljettaa seinäpinnan vesikalvoa myös sivuille ja ylöspäin esimerkiksi saumoihin, rakoihin ja halkeamiin, joista paine-ero kuljettaa vettä rakenteiden sisään. Sadevesi pääsee ulkokuoren taakse mm. elementtien saumoista ja liitosrakenteiden kautta. Mikäli käytetään avosaumaratkaisuja, on suositeltavaa käyttää lämmöneristeen ulkopinnassa vettä hylkivää tuulensuojapintaa. Koska kosteuden pääsyä rakenteisiin ei voida estää, on tärkeää varmistaa sen ulospääsy. Sokkeli- ja aukkodetaljien toteutuksessa on otettava huomioon painovoimaisesti tuuletusraossa valuvan veden ohjautuminen häirtää aiheuttamatta ulos rakenteesta. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota räystäs-, sauma- ja sokkelidetaljeihin sekä ikkuna- ja julkisivupellityksiin. Pellitys on kallistettava vähintään 1:3 ulospäin.

Koska lasi ei ime kosteutta, ikkunoiden alareunan kautta valuu suurempia vesimääriä kuin julkisivun muilla osilla. Ikkuna on suositeltavaa sijoittaa muuta julkisivupintaa syvemmälle, mikä pienentää myös sisäpuolisen pintakondenssin riskiä. Ikkunan ja seinärakenteen väli on syytä tiivistää käyttäen kaksivaiheittaisuutta; sauman ilma- ja höyrytiivein kerros on lähellä sisäpintaa ja sauman ulkopintaan asennetaan sadesuoja (esimerkiksi lista). Lisäksi on ratkaistava turvallisella tavalla vuotovesien poistaminen seinän tuuletusraosta ikkunan päältä. Ikkunaliitos on suunniteltava siten, että seinärakenteen tuuletus toimii myös ikkunan ympärillä.

Kylmäsillat

Kylmäsillan kautta virtaa enemmän lämpöä ulos kuin sen ympärillä olevan rakennusosan kautta. Kylmäsilloja aiheuttavat pääasiassa julkisivuverhousten ja ulkokuoren kiinnitysjärjestelmät sekä rakenteiden liitoskohdat ja nurkat. Kylmäsillat lisäävät vaippaan kertyvää kosteutta, sillä kastepisteen esiintyminen esimerkiksi eristekerroksen läpi menevän kiinnikkeen pinnalla on tavallinen ilmiö. Mitä vähemmän ja mitä pienempiä lämmöneristekerroksen läpi menevät kiinnitysosat ovat, sitä parempi rakenne lämpötekniisesti on. Kylmäsiltavaikutusta voidaan pienentää esimerkiksi käyttämällä ristikkäistä puu- tai metallikoolausta tai rei'itettyjä rankoja.

4.2 Rakenteiden sisäänrakennetut turvatekijät

4.2.1 Turvatekijöiden toiminta

Saumat

Suljetut saumat perustuvat siihen, että yhdellä tiiviillä saumakerroksella hoidetaan sekä ilma- että vesitiivistys. Tavallisesti tämä toteutetaan elastisella kitillä tai saumanauhoilla. Saumojen kestävyys voidaan merkittävästi vaikuttaa suunnittelemalla saumojen keskinäiset etäisyydet ja saumojen leveydet siten, että muodonmuutokset ovat mahdollisimman pieniä ja käyttämällä muodonmuutoskykyisiä massoja. Saumanauhan pisyvyys saumassa edellyttää, että nauha on vähintään pienessä ja korkeintaan nauhan kestävyysrajoissa olevassa puristuksessa, sillä liian suuri puristuma aiheuttaa pysyvän muodonmuutoksen, jonka seurauksena nauha putoaa pois saumasta. Saumanauhojen pitkäaikaistoimivuuden kannalta oleellisia ominaisuuksia ovat jäännöspuristuma (pysyvä muodonmuutos puristuksessa), emäksenkestävyys betonisaumoissa sekä ominaisuuksien muutosnopeus lämmön ja ultraviolettiäteilyn vaikutuksesta. Myös pakkasen vaikutus saumanauhojen kokoonpuristuvuuteen ja puristusvoimaan on sauman toimivuuden kannalta tärkeä ominaisuus.

Vedenpoistourilla varustetut saumat ovat tavallisesti kaksivaihetiivistettyjä saumoja, jossa ulommainen tiiviste estää veden pääsyn rakenteeseen, mutta ei ole ilmatiivis, jolloin sadesulun yli vallitsevat paine-erot pääsevät tasaantumaan.

Jos tuuletusrako on kyllin leveä ja julkisivun taustarakenne sekä lämmöneristekerrokset mahdollisine tuulensuojauksineen toteutetut siten, etteivät avosaumasta rakenteeseen pääsevät vähäiset vesimäärät vahingoita rakenteen toimivuutta, voidaan rakenteessa käyttää jopa avosaumaa. Kuivumismahdollisuus on kuitenkin avosaumallisen rakenteen pitkäaikais-toimivuuden välttämätön edellytys. Kosteuden kertymistä ei tapahdu silloin, kun saumoista kulkeutuva vesi valuu elementtien taustaa pitkin alaspäin eikä roiskumalla kastele lämmöneristeitä pintaa syvemmältä. Vedellä tulee olla poistumistie julkisivujen alareunassa. Tuuletusraon leveys on vähintään 30 mm. Alimman vaakasauman tulee olla niin ylhäällä, ettei lumi tuki sitä talvella. Avosaumojen keskinäisen etäisyyden tulee olla melko pieni, jolloin paineero on mahdollisimman pieni ja tuulenpaineen vaikutus saumoista kulkeutuvaan veden määrään on pieni.

Lämmöneristäminen

Eristeen toimintakyky on avainasemassa pitkäaikaisen sisäilman laadun kannalta. Sen ilmeisen vaikutuksen lämpötilaan ja vedottomuuteen lisäksi merkittävää on myös rakenteen kunnan säilyminen. Eristyksen epäonnistuminen johtaa kasvaneeseen lämpövirtaan rakenteen läpi. Epäonnistumiset eristämässä voivat pahimmillaan aiheuttaa vaurioita, jotka voivat turmella koko rakenteen toiminnan ja aiheuttaa pitkäaikaisen epäpuhtauslähteen (erityisesti mikrobikasvusto ja märässä tilassa olevan materiaalin emissiot).

Kaikkien rakennusaineiden lämmönjohtavuus kasvaa (eli lämmöneristyskyky heikkenee) kosteuden lisääntymisen myötä. Siten eristekerroksen kostuminen on paitsi kestävyysominaisuuksien haitta, myös toiminnallinen haitta eristävyiden heikkenemisen myötä.

Solumuovit ja mineraalivillat katkaisevat kapillaarisuuden. Sen sijaan niiden käyttäytyminen vesihöyryn suhteen on täysin erilaista: solumuovit ovat mineraalivilloihin verrattuna lähes täysin tiiviitä, kun taas mineraalivillat samoin kuin selluvillat läpäisevät vesihöyryä lähes vapaasti. Solurakenteiset eristeet eivät ole yhtä herkkiä kosteuden vaikutuksille kuin mineraali- ja selluvillat. Vesihöyryn (ja tietysti sadeveden) tunkeutuminen rakenteeseen tulee aina estää.

Tietyissä lämpötilassa, kastepisteessä, ilma voi sisältää enintään tietyn määrän vesihöyryä. Tätä vesihöyry- eli kosteusmäärää kutsutaan kyllästymiskosteudeksi, joka riippuu ilman lämpötilasta siten että korkeammassa lämpötilassa myös kyllästymiskosteus on suurempi. Täsmällistä matemaattista yhteyttä näiden välillä ei ole, mutta erilaisia likiarvokaavoja on esitetty eri lämpötila-alueille. Sen sijaan suhteelliselle kosteudelle (RH), jolla tarkoitetaan ilmassa olevan kosteusmäärän suhdetta kyllästymiskosteuteen, on yksinkertainen laskukaava $RH = v/v_k$ missä ilmassa oleva kosteusmäärä (v) ja kyllästymiskosteus (v_k) ilmaistaan kiloina ilmakeuudessa (kg/m^3). Sama voidaan laskea myös vesihöyrynpaineen p ja kyllästymispaineen p_k suhteena, jolloin $RH = p/p_k$. Suhteellinen kosteus esitetään yleensä prosentteina.

Sisäilman kosteuspitoisuuteen vaikuttavat pääasiassa ulkoilman kosteus, sisällä kehitetyn kosteuden määrä ja ilmanvaihdon suuruus. Pitkällä aikavälillä suhteellinen kosteus on

$$v_s = v_u + G/(nV)$$

missä v_s on sisäilman vesihöyrypitoisuus ja v_u on ulkoilman vesihöyrypitoisuus (kg/m^3) ja G on kosteuden tuotto sisällä (kg/h), n on ilmanvaihtokerroin ($1/h$) ja V on sisätilan tilavuus (m^3).

Rakennusmateriaalin ja sen ympäristön välillä vallitsee koko ajan joko absorptio (jolloin materiaali ottaa kosteutta ympäristöstä), desorptio (jolloin materiaali luovuttaa kosteutta) tai tasapaino (jolloin kosteuspitoisuus ei muutu). Siirtyviin vesimääriin ja nopeuksiin vaikuttaa materiaalin lisäksi sen välitön ympäristö, joka voi olla (kosteaa) ilma, vesi tai toinen materiaali. Jos materiaalin rajapinnalla on vastassa kosteaa ilmaa, materiaalin hygroskooppisuus on määräävä tekijä kosteuden siirtymisessä. Materiaalin koskettaessa vettä on kapillaarisuus määräävä tekijä. Kahden materiaalin kosketuspinnalla sekä hygroskooppiset että kapillaariset ominaisuudet määräävät kosteuden liikkeet.

Kosteus liikkuu rakenteessa joko vesihöyryinä tai nesteinä. Vesihöyry liikkuu diffuusiolla (höyrynpaine-eron vaikutuksesta) tai konvektiolla (ilmavirtauksen mukana). Neste liikkuu joko vedenpaineen, tuulenpaineen tai kapillaari-imun vaikutuksesta. Jos kostea ilma joutuu kosketuksiin sellaisen pinnan tai huokosseinämän kanssa, jonka lämpötila alittaa ilman kastepistelämpötilan, tiivistyy pinnalle tai huokosseinämään kosteutta. Sisäpinnoille tapahtuvaa tiivistymistä voidaan estää lisäämällä ilmanvaihtoa ja/tai vähentämällä kiertoilman osuutta sekä kohottamalla pintalämpötiloja tiivistymisalueilla (esimerkiksi paikallisella lämmityksellä). Jos rakenteessa halutaan estää diffuusion aiheuttama vesihöyryn tiivistyminen, tulee rakenteen sisäpinnassa olla riittävä höyrynvastus.

Höyrynsulku sijoitetaan aina lämmöneristeen lämpimälle puolelle. Jos rakenteen toiminta edellyttää täysin pitävää höyrynsulkua, sen ehyenä säilymien on varmistettava. Tätä varten joskus suositellaan, että höyrynsulkua ei sijoitettaisi aivan lämmöneristekerroksen pintaan vaan ohuen eristyskerroksen suojaan. Tällöin on kuitenkin varmistettava myös se, että lämmöneristeen ulkopinta on suojattu ilmanpitäväksi, ettei ns. rakennevirtaus jäähtyä muovikalvoa kastepisteeseen asti. (Rakennevirtauksessa ulkoilmaa tunkeutuu rakenteen sisään ja palaa sieltä takaisin ulkoilmaan.) Toisin sanoen, jos halutaan suojella höyrynsulkua sijoittamalla se lämmöneristekerroksen sisälle, lämmöneristekerroksen ulkopinnassa täytyy olla pitävä tuulensuojakerros. Tuulensuojana käytetään materiaaleja, jotka läpäisevät hyvin vesihöyryä, mutta estävät suorat ilmavirtaukset eristekerrokseen. Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi huokoiset levyt kuten tuulensuojakipsilevyt ja erityiset tuulensuojalämmöneristeet. Tuulensuojakerroksen ja lämmöneristeen välissä ei saa olla ilmarakoa.

Lämmöneristekerroksen epäjatkuvuuskohtat ovat riskialttiita, koska niihin muodostuu kylmäsiltoja, joissa mahdollisia kondenssivauriota tapahtuu erityisesti jos rakenteessa tapahtuu ilman virtausta lämpimästä kylmään. Rakenteen sisäpinnan vesihöyryntiiviys on jälleen turvatekijä, samoin kuin lämmöneristeen mahdollisimman tiivis asennus.

Kosteuden siirto konvektiolla (ilmavuodon mukana) tapahtuu ensisijaisesti raoissa ja rei'issä. Ilmavuodoille herkkiä kohtia ovat lisäksi elementtien väliset saumat sekä rakennusosien liittymäkohdat. Konvektion syntymiseen tarvitaan rakenteen yli vaikuttava ilmanpaine-ero, jonka saa aikaan esimerkiksi tuuli, lämpötilaero tai ilmanvaihtojärjestelmä. Kondenssin syntymisen ehtona on, että tiivistymiskohdan lämpötila on alhaisempi kuin ohivirtaavan ilman kastepistelämpötila, siten normaalirakenteissa kondenssia voi tapahtua vain sisältä ulospäin kulkevan virtauksen yhteydessä. Kondenssin määrä on vaikeasti arvioitavissa, esimerkiksi reiän läpi virtaavasta kosteudesta ehkä vain osa tiivistyy ja loppu kulkee lävitse. Rakenteen hyvä tiiviys sisäpinnan läheisyydessä vähentää konvektiota ja minimoi siten riskiä. Sisällä vallitseva alipaine estää sisäilman tunkeutumista rakenteisiin ja varmistaa oikean suuntaisen ilmavirtauksen.

Vaikka diffuusion ja konvektion seiniä kastuttava vaikutus on viistosateeseen verrattuna pieni, ne voivat aiheuttaa erityisesti sisäilmaston kannalta haitallisia seuraamuksia. Diffuusio- ja kondenssikertymät sijaitsevat rakenteen sisällä, ja niiden kuivuminen voi olla olematonta. Pitkäaikainen kosteus johtaa materiaalien hajoamiseen ja mikrobikasvuun.

Tuuletusraot

Tuuletusraon tarkoitus on poistaa kosteutta rakenteesta. Tämä voi tapahtua ainoastaan sellaisessa ilmaraossa, joka toimii yhteydessä ulkoympäristöön. Jotta tuuletusraossa liikkuva ilma pystyisi sitomaan itseensä kosteutta rakenteista, vesihöyrypitoisuuden tulee materiaalin pinnassa olla suurempi kuin tuuletusraon ilman vesihöyrypitoisuus. Tuuletusraon lämpötilan ja sisään virtaavan ilman lämpötilan suhteella on ratkaiseva vaikutus tuuletusraon toiminnalle: jos tuuletusrako on lämpimämpi kuin sisään virtaava ilma, rako toimii kuivattavasti. Jos sisään virtaava ilma on lämpimämpää kuin tuuletusrako, voi seurauksena pahimmillaan olla kosteuden tiivistyminen tuuletusraon pinnoille. Tiivistymistä tapahtuu, mikäli ilman suhteellinen kosteus nousee lämpötilan alenemisen vuoksi.

Rakennekerrosten läpi tapahtuva diffuusio kuljettaa tuuletusrakoon harvoin jos koskaan siinä määrin kosteutta, että tuuletusraon kosteuspitoisuus nousisi merkittävästi. Sen sijaan konvektiovirtaus (ilmavuoto) voi olla niin merkittävä kosteuslähde, että tuuletusrakoon tiivistyy merkittäviä määriä kosteutta.

4.2.2 Turvatekijät erityyppisissä vaipparakenteissa

Kiviainespohjaiset julkisivurakenteet

Betoni

Betonivaipparatkaisut voidaan luokitella esimerkiksi seuraavasti toimintaperiaatteensa mukaan:

1. sandwich-julkisivu, jossa sisä- ja ulkokuoren välillä on kiinteä yhteistoiminta
2. eriytetty kuorijulkisivu, jossa julkisivuverhous kiinnitetään erikseen sisäkuoren ja lämmöneristeen asentamisen jälkeen tuuletusraon etäisyydelle muusta julkisivurakenteesta
3. kaksoiskuorirakenne, jossa on yhtenäinen tuuletusväli julkisivupinnan alla
4. yhdistelmäjulkisivu, jossa betonirakenteeseen julkisivuun liitetään erilaisia pintarakenteita kuten metallikasetti tai tiilimuuraus.

Sisäpuolisen betonin rakennuskosteus on rakenteen varsinainen kosteuden lähde, se on suuruudeltaan moninkertainen käytönaikaisiin kosteusrasituksiin verrattuna. Rakennuskosteuden kuivuminen riippuu siitä, onko lämmöneriste vesihöyryä läpäisevää. Mineraalivillaeristeisissä seinissä rakennuskosteus siirtyy ulospäin. Sandwich-rakenteessa se tiivistyy ulomman betonin sisäpintaan ja pyrkii betonin kautta ulos. Kuorirakenteessa se osittain tiivistyy julkisivuverhouksen taakse, osittain tuulettuu ulos. Seinän sisäpinta voidaan tehdä tiiviiksi (esimerkiksi tiiviillä pintakäsittelyllä) jo ennen rakennuskosteuden täydellistä poistumista. Sen sijaan jos lämmöneristekerros on tiivis, joutuu rakennuskosteus kuivumaan sisäänpäin ja tämän pitkäköön kuivumisajan kuluessa sisäpintaa ei tule tiivistää vesihöyryä vastustavalla kerroksella. Kuorielementtiseinän toteutuksessa on lisäksi tärkeää, että varsinainen seinärakenne on ilmatiivis. Seinärakenteen ongelmakohtia ovat yleensä saumat.

Betonin vesihöyryn läpäisevyys riippuu huokosrakenteen lisäksi betonin kosteuspitoisuudesta ja lämpötilasta. Kosteuden kulku betonirakenteen läpi on diffuusion ja kapillaarisen liikkeen

yhdistelmä, jossa massavirta tapahtuu veden vuorotellen höyrystyessä ja tiivistyessä. Rakennustyön aikana ulkoseinärakenteeseen kulkeutuu sateella vettä suojaamattoman elementin yläpäähän ja avoimien saumojen kautta. Jos vesimäärät ovat suuria ne valuvat eristekerroksessa alaspäin. Rakennuksen lämmityksen alettua sisäkuoreen sitoutunut kosteus sekä lämmöneristeessä oleva kosteus alkavat kulkeutua seinärakenteen ulko-osia kohti. Lämpötilaeroista johtuvien ilmavirtausten mukana vesihöyryä kulkeutuu lisäksi ylöspäin lämmöneristekerroksessa. Rakennuksen käytön aikana kosteutta kulkeutuu seinärakenteeseen vesihöyryn diffuusiolla yhtenäisen materiaalikerroksen läpi, konvektiolla rakenteiden epätiiviyyskohdista sisäpuolisen ylipaineen tapauksessa sekä saumojen epätiiviyyskohdista varsinkin viistosateella. Vesihöyryn diffuusiolla kulkeutuvat kosteusmäärät ovat pieniä verrattuna mahdollisiin kosteuskonvektioihin sekä kuoren vesivuotoihin.

Betonirakenteisissa ulkoseinissä, kuten esimerkiksi betonisandwich-seinissä, diffuusion kuljettama vesihöyry tiivistyy talvikautena ulkokuoren sisäpintaan ja muodostaa tähän vesi- ja jääkerroksen. Tiivistyneestä kosteudesta osa imeytyy kapillaarisesti ulkokuoren huokosverkostoon ja osa kulkeutuu sisäpintaa pitkin alaspäin. Ulkokuoreen kertynyt kosteus kulkeutuu sekä diffuusion muodossa ulkokuoren läpi että haihtuu tuuletusrakoon tai tuuletusuriin. Ulkokuoren kuivumista vaikeuttaa ulkopinnan pinnoitus huonosti vesihöyryä läpäisevällä materiaalilla.

Painovoiman kuljettama vesi kerääntyy seinien alaosiin ja sokkeleihin sekä ikkunoiden yläpuolelle, joista veden poistaminen on varmistettava.

Kosteutta voi kulkeutua seinärakenteisiin myös ilmavirtausten mukana. Betoniulkoseinillä betonikuoren ilmanläpäisevyys on pieni, mutta epäjatkuvuuskohdat, kuten saumat, liittymät muihin rakenteisiin, läpiviennit sekä halkeamat saattavat aiheuttaa huomattavia kosteuskertymiä rakenteeseen.

Puu

Puuvaipan sisäpinnassa on aina käytettävä ilmansulkua ja lämmöneristeen ulkopinnassa tuulensuojaa. Ilmansulku voidaan asentaa suojaan myös hieman lämmöneristekerroksen sisään. Puuosat muodostavat kylmäsilan, jonka vaikutusta voidaan minimoida ristiinkoolauksin.

Puurakenteinen ulkoseinä tarvitsee tuuletusraon toimivuutensa varmistamiseksi. Julkisivupintana oleva puuverhous on läpi vuoden tilassa, jonka suhteellinen kosteus on korkea. Jos puurakenteinen vaippa on tiiliverhoiltu, verhomuurauksen takana olevan ilmaraon (vähintään 30 mm) on oltava tehokkaasti tuuletettava sekä ala- että yläosastaan kosteusvaurioiden välttämiseksi.

Puurakenteisissa seinissä ilmansulkuna käytetään muovikalvoa (joka toimii myös höyrynsulkuna), tiivistä pahvia tai sopivasti pinnoitettua sisäverhousmateriaalia. Oleellista on, että seinän läpi ei tapahdu hallitsematonta ilmavuotoa.

4.3 Loppuyhteenveto

Turvallisen vaipan voi suunnitella periaatteessa kahdella tavalla. Joko rakennus on hatara, jolloin sen vaipan läpi virtaa sekä kosteutta että lämpöä niin esteettömästi, että ne molemmat lopulta päätyvät ulko- tai sisäilmaan. Tai rakennus on tiivis, jolloin se on sekä kosteuden- että ilmanpitävä. Täysin tiivis rakenne edellyttää täysin toimivan kosteuden- ja ilmanpitävyyden varmistamisen. Käytännön rakentamisessa on elinkaarikustannusten vuoksi mahdotonta valita hataraa rakentamistapaa, koska se perustuu energiantuhlaukseen. Ainoaksi vaihtoehdoksi jää vaipan toteuttaminen siten, että se on sisäpintojensa kohdalla ilmatiivis (ilmatiivis/vesihöyrytiivis kerros on sijoitettava lämmöneristekerroksen sisäpuolelle) ja lämmöneristekerroksen ulkopinnan on oltava tuulitiivis. Diffuusiovastuksen tulee pienentyä ulospäin siirryttäessä (vähintään 1/5:aan). Julkisivuverhouksen tulee estää sadeveden pääsy rakenteeseen. Julkisivuverhouksen ja lämmöneristekerroksen välissä toimiva tuuletusrako lisää rakenteen turvallisuutta.

Se että tiiviin rakenteen sisäpinnan välittömässä läheisyydessä on ilmansulku merkitsee myös diffuusion kannalta rajapintaa. Niinpä tiivis ehyt sulku minimoi ulkopuolelta epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan. Se että diffuusiovastus pienenee ulospäin merkitsee samalla sitä, että epäpuhtauksien on helpompi diffuusiomekanismilla kulkeutua ulos- kuin sisäänpäin. Jos tuulensuoja ja ilmansulku ovat ilmatiiviit, ilmavirtaukset rakenteen lävitse ovat vähäisiä sisätilassa vallitsevasta alipaineesta huolimatta.

Rakenteiden kestävyttä ylläpitävä sisäänrakennettujen turvatekijöiden toimivuus on varmistettava huoltotoimin. Kuivatusjärjestelmien toimivuus on avainasemassa samoin kuin muodonmuutoksista (esim. painumista) aiheutuvien halkeamien ja rakojen vaikutusten arviointi ja eliminointi. Haitalliset kosteusvirrat ovat suurimmillaan joko suoranaisen vesivuodon tai ilmavuodon mahdollistavissa raoissa.

Koska tiivis rakentaminen edellyttää hallittua ilmanvaihtoa, on myös sen jatkuva toimivuus osa tilojen ja rakenteiden pitkäaikaisominaisuuksien turvajärjestelmää. Ilmanvaihdon käyttökatkokset muuttavat rakenteiden painesuhteita ja virtaustilaa, joten vaikka ilmanvaihdon tehoa esimerkiksi pakkaskaudella tai vuorokauden eri aikoina muutettaisiin, sitä ei ole tarkoitettu kokonaan suljettavaksi. Lisäksi ilmanvaihdon eräs tehtävä on pienentää sisätilassa vallitsevaa kosteuspitoisuutta, joten liian pieni ilmanvaihto lisää myös kosteuskuormaa.

Vesikaton vuodot aiheuttavat paitsi yläpohjan turmeltumisen usein myös ulkoseinärakenteiden kastumisen. Koska vain välitön (muutamana vuorokauden kuluessa käynnistettävä) kuivatus estää mikrobitoiminnan kostuneissa materiaaleissa, on käytännössä parempi ennakoida vuotoriskit ja kunnostaa riskialttiit vedensiirto- ja kosteussuojaosat etukäteen. Tämänkin vuoksi kuivatusjärjestelmät tulee tarkastaa ja puhdistaa vuosittain. Sama pätee saumoihin, jotka ovat monien rakenneosien pitkäaikaistoimivuuden edellytys.

5. Esimerkkirakentaminen



ASO Kangaskontiontie, talot C (vasen, koekohde) ja B (oikea, vertailukohde) 15.11.2000

Suunnittelun tavoitteena oli alentaa sisäilman rakenteista emittoituvia epäpuhtauspitoisuuksia. Keinona käytettiin EU:n tutkimushankkeessa VTT:llä kehitettyä laskentamallia, jonka avulla on mahdollista ennakoida tulevia sisäilmapitoisuuksia analysoimalla rakenteiden materiaalikerrokset. Laskentaohjelmalla voidaan laskea tilakohtaiset pitoisuudet kaikkien tilaan rajautuvien rakenteiden yhteisvaikutuksena.

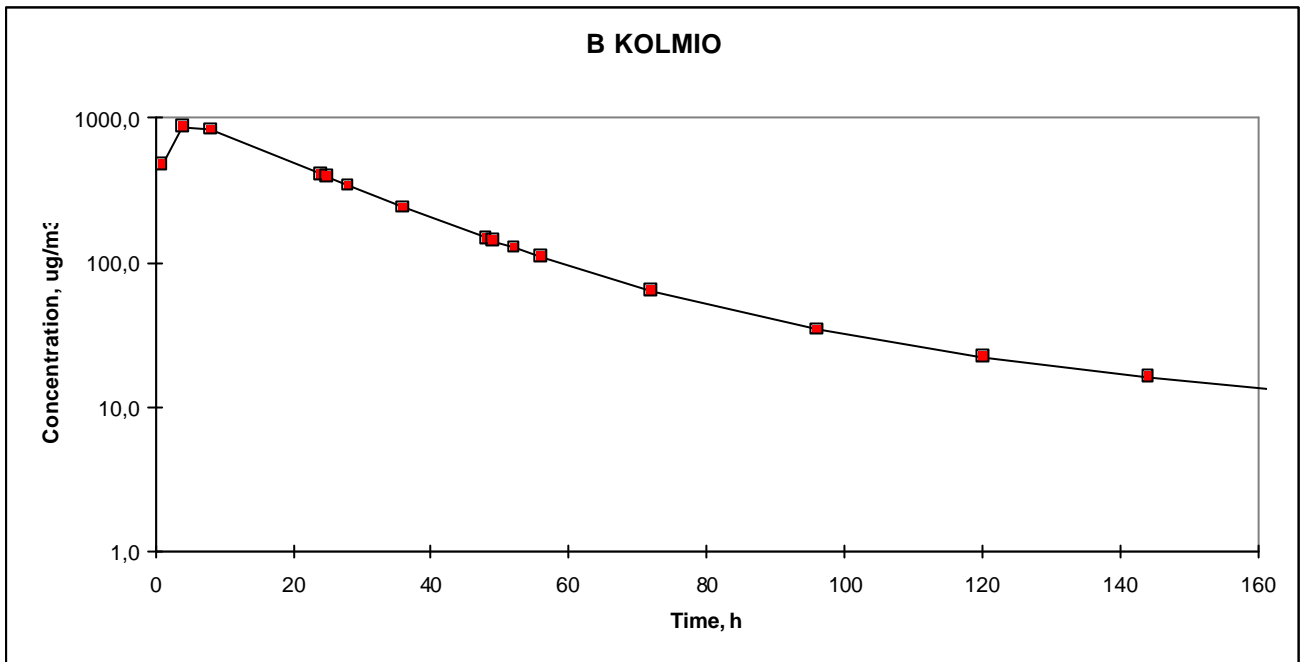
Esimerkkirakentamisen tavoitteena oli osittaa merkittävä sisäilman epäpuhtauspitoisuuksien alentaminen käytännössä mahdolliseksi. Lähtökohtana on ollut sekä laadunhallinnan laskennallisten menetelmien että materiaaliteollisuuden kehitystoimien ansiosta kasvavan vähäpäästöisten tuotteiden saatavuuden mahdollistama parannus. Hankkeen alkuvaiheessa asetettiin konkreettiseksi tavoitteeksi saada käyttövaiheen pitoisuustaso puoleen normaalitasona pidettävästä (noin $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Normaalitasoksi voidaan ajatella esimerkiksi Sisäilmaluokituksen (2000) mukaista ilman laadun "keskinkertaista" luokkaa S2, jonka puhtaustaso (haihtuvien

orgaanisten yhdisteiden enimmäispitoisuus $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$) on puolet tiukempi kuin S3-luokka (haihtuvien orgaanisten yhdisteiden enimmäispitoisuus $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$), joka lähinnä vastaa viranomaisvaatimusten tasoa.

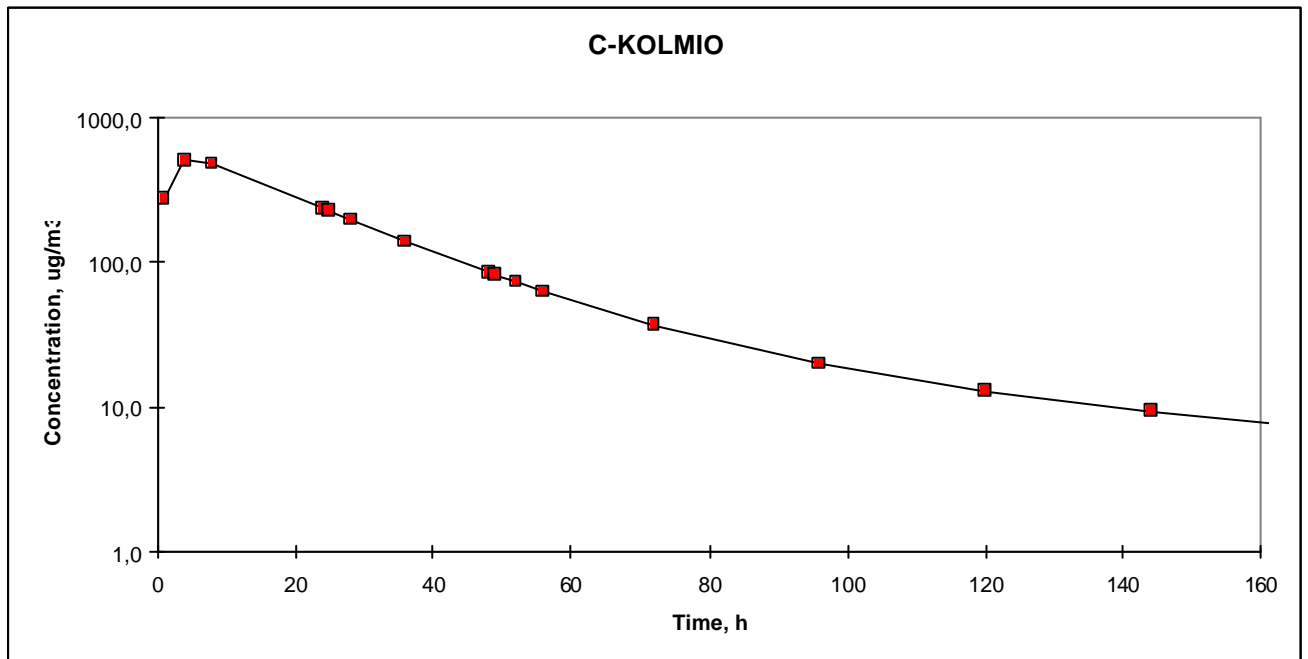
5.1 Asuinkerrostalo

Asuinkerrostalokoehteessa oli pohjaratkaisultaan kahdenlaisia asuntoja, nimittäin 2 huonetta ja avokeittiö + sauna (52 m^2) sekä 3 huonetta ja avokeittiö, pesuhuone/sauna ja erillinen WC (75 m^2).

Kuvissa 4 ja 5 on laskentatulokset emissiotasoista verrokkirakennuksessa ja koehteessa.



Kuva 4. Vertailukohteen laskennallinen emissiotaso.



Kuva 5. Koekohteen laskennallinen emissiotaso.

Menettely koekohteessa

Koekohteen toteuttamisessa pidettiin lähtökohtana rakentamisajankohdan normaalia hyvää rakennustapaa ja normaalia ilmanvaihtoa. Sisäilmaston laadun parantamisen ainoana keinona oli materiaali-
valintojen ohjaaminen.

Koekohde on Oulussa sijaitseva asunto-osakeyhtiö, joka koostuu kolmesta rakennuksesta (talot A, B ja C). Talo A on täysin tutkimuksen ulkopuolella. Talo B on ns. vertailukohde, jonka materiaalivalintoja ei ohjattu. Talo C on koerakentamiskohde, jossa rakennusmateriaaleista aiheutuvat emissiot sisäilmaan pyrittiin minimoimaan. Päästöjen pienentämisen keinoina käytettiin rakennusteknisten perusedellytysten tarkistamista suunnitteluasiakirjoista hankkeen varhaisvaiheessa, arkkitehtuuritoimiston tuottamien toteuttamisasiakirjojen läpikäyminen ja materiaalivalintojen säätäminen siten, että saadaan tilaisuus kokeilla matalaemissiorakentamisen käytännön toteutumista materiaalivalintoja ohjaamalla.

Koekohteen suunnittelu käynnistyi ja ensimmäiset luonnoskuvat valmistuivat helmikuussa 2000. Rakennusselitys sekä maalausselitys ja huoneselosteet valmistuivat maaliskuussa. Suunnitelma-asiakirjoista tarkastettiin pitkäaikaistoimivuutta ja todettiin perusedellytysten olevan kunnossa. Turvatekijöinä pidettiin mm. riittävää sokkelikorkeutta, harjakattoa, räystäitä, runsasta kivi-materiaalien käyttöä ja välipohjina olevien ontelolaattojen esivalmistusta. Myös rakennusaikataulu oli suotuisa, runkovaihe läpivientiin kevään ja kesän kuluessa, runko sulkeutui varhaisessa rakennusvaiheessa ja materiaalit saatiin ennen syksyä sisätiloihin.

Sisäilman laadun kannalta päädyttiin seuraaviin muutoksiin. Vertailutalon kaikki lattiapinnat on toteutettu muovimateriaaleilla. Koekohteessa kaksioiden asuinhuoneissa on lautaparketti ja märkätiloissa (sauna + pesuhuone) muovilattiat ja koekohteen kolmioiden asuinhuoneissa on lautaparkettilattiat ja märkätiloissa laatoitettu lattia. Seinäverhoukset asuintiloissa ovat pääosin kipsilevyä, mutta (avo)keittiössä seinäpinnat ovat valtaosin kaapistojen peitossa, samoin makuuhuoneissa yksi seinä on valtaosin kaapistojen peitossa. Pinnat ovat maalatut ja maalivalinnassa haettiin matalaemissioratkaisu. Kattopinnat ovat valtaosin tasoitettuja kipsilevyjä, sauna- ja pesuhuonetiloihin paneelia. Maalipintoihin valittiin matalaemissiotuotteet. Tarkempi erittely materiaaleista on liitteessä A.

Taulukko 1. Pintamateriaalit kohteissa ja niiden erottavuudet.

	Vertailukohde	Koekohde
Lattiat	Muovimatto	Lautaparketti
Seinät	Maali	Matalaemissiomaali
Katto	Tasoite + maalaus Paneli (sauna)	Tasoite + maalaus Paneli (sauna)
Pesutilat	Muovimatto	Muovimatto Keraaminen laatta

Kohteen rakentamisprosessiin ei sinänsä puututtu. Runkovaiheen aikana toukokuussa 2000 hankkeen tutkija piti työmaan mestareille puolen päivän infotilaisuuden, jolloin kerrottiin yleensä sisäilmaston rakentamisesta, materiaalien vaikutuksesta sisäilmaan ja keskusteltiin vilkkaasti työmaan

vaikutuksista lopputuloksena ilmenevään sisäilmastoon. Työmaahenkilöstö toi esiin mm. sen mielenkiintoisen seikan, että työmaan käyttämien apuaineiden (esimerkiksi muottiöljyt) määrät voivat olla suuriakin ja usein ko. aineet ovat varsin voimakkaita tuotteita, mutta niitä ei esimerkiksi luokitella sisäilmastovaikutuksiltaan, eivätkä ne tule edes esiin materiaalivirtoja tarkasteltaessa, koska niitä ei pidetä lopputuotteen osana.

Työmaa eteni suunnitellun aikataulunsa mukaisesti, tehdyt materiaalihjaukset eivät vaikuttaneet hidastavasti. B-talon ennakkotarkastusvaihe oli viikolla 46, koekohteena olleen talon C ennakkotarkastusajankohta oli viikko 47 ja vastaanottotarkastuksen ajankohta 11.12.2000. Asukkaiden muuttopäivän ollessa 15.12., sisäilmamittaukset toteutettiin 13.12. Mittauksien kohteiksi valittiin keskimmissä kerroksissa sijaitsevat kaksio ja kolmio B ja C taloista. Mittaustulokset on esitetty liitteellä A.

Koekohteen tulokset

Koerakentamisen tavoitteena oli puolittaa rakennusmateriaaleista aiheutuvat sisäilman epäpuhtauspäästöt, ja mittaustulosten mukaan tässä onnistuttiin. Kolme huonetta ja keittiö -asunnoissa ennen alkuhiipumaa (välittömästi valmistumisvaiheessa loppusiivousten jälkeen ja vielä keskeneräisten viimeistelykorjausten aikana) koekohteen TVOC -pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) oli 430 ja verrokkikolmion 884. Kaksioissa vastaavat lukuarvot olivat 353 koetalossa ja 553 verrokkitalossa. Kaksioiden materiaalivalintojen ohjausta jouduttiin koekohteessakin toteuttamaan kustannussyistä osittain rajoitetusti (märkätilojen lattioiden osalta), mikä osaltaan selittää suhteessa korkeamman sisäilmapitoisuuden kuin kolmioiden osalla.

Taulukossa 2 on esitetty kohteiden mittaustulokset.

Taulukko 2. Kohteiden haihtuvien yhdisteiden (TVOC) pitoisuudet ja pääkomponentit.

Koekohde, kolmio	Verrokkitalo, kolmio	Koetalo, kaksio	Verrokkitalo, kaksio
TVOC 430 mg/m ³	TVOC 884 mg/m ³	TVOC 353 mg/m ³	TVOC 553 mg/m ³
α-pineeni 99 µg/m ³	1-butanoli 152 µg/m ³	α-pineeni 92 µg/m ³	α-pineeni 125µg/m ³
1-butanoli 98 µg/m ³	α-pineeni 151 µg/m ³	1-butanoli 92 µg/m ³	1-butanoli 83µg/m ³
ksyleeni 52 µg/m ³	ksyleeni 91 µg/m ³	heksanaali 23 µg/m ³	asettaatti 66µg/m ³
tolueeni 31 µg/m ³	tolueeni 77 µg/m ³	ksyleeni 22 µg/m ³	ksyleeni 43 µg/m ³
3-kareeni 26µg/m ³	asettaatti 50 µg/m ³	3-kareeni 18 µg/m ³	3-kareeni 33 µg/m ³
met.heksaani 16 µg/m ³	3-kareeni 40 µg/m ³	tolueeni 17 µg/m ³	tolueeni 28 µg/m ³
heptaani 16 µg/m ³	met.syklopent. 32 µg/m ³	pentanaali 10 µg/m ³	heksanaali 28 µg/m ³
heksanaali 12 µg/m ³	met.sykloheks. 32µg/m ³	tetradekaani 8 µg/m ³	2-butoks.etan. 15 µg/m ³
et.bentseeni 9 µg/m ³	metyyliheks. 27 µg/m ³	β-pineeni 7 µg/m ³	pentanaali 13 µg/m ³
β-pineeni 6 µg/m ³	heptaani 20 µg/m ³	heptaani 5 µg/m ³	etikkah.but.est. 12µg/m ³

Sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mittaustuloksissa kaikissa asunnoissa (sekä vertailukohteessa että koerakennuksessa) pääkomponentteina olivat α-pineeni ja 1-butanoli. α-pineeni on tyypillisesti puutuotteiden vapauttama yhdiste (samoin kuin pienempinä pitoisuuksina esiintyvät 3-kareeni, β-pineeni ja limoneeni, jotka kaikki kuuluvat terpeeneihin), jonka päälähte on saunojen paneelit ja lauderakenteet. 1-butanoli on yleinen pinnoitteiden liuotinaine, jota esiintyy mm. pesuaineissa, hartseissa (myös luonnonhartseissa kuten pihkassa) ja pinnoitteissa (erityisesti niiden pehmittimissä ja väriaineissa). 1-butanolin päälähte tässä tapauksessa lienee loppusiivouksen pesuaineissa ja viimeistelykorjausten liuotinaineissa.

Ksyleeni ja tolueeni ovat yleisiä aromaattisia (eli bentseenirenkaan sisältäviä) liuotinaineita, joita esiintyy mm. pinnoitteiden ja eräiden liimojen liuotin- ja ohenneaineissa. Ne ovat erittäin haihtuvia, ja korkeahkot alkupitoisuudet hiipuvat yleensä varsin nopeasti.

Karbonyylit (kuten aldehydrit heksanaali ja pentanaali) ovat kemianteollisuuden liuottimia ja raaka-aineita esim. polymeerien tuotannossa. Samoin alkaanit ovat lukuisien yhdisteiden raaka-aineita.

Asetaatti eli 2-butoksietoksietanoli lienee peräisin loppupestyistä muovilattiapinnoista.

Rakenteiden vastustuskykyisyys

Alapohja on maavarainen 70 mm teräsbetonilaatta, joka on lämpöeristetty sitkeän suojapaperin alla olevalla solupolystyreenillä. Välipohjat ovat 265 mm ontelolaattoja, joiden päälle on valettu 60 mm pintabetoni. Yläpohjat ovat ontelolaattarakenteiset, ontelolaatan päällä on muovikalvo saumat 200 mm limittäin, mineraalivilla 125 + 125 mm saumat limittäin ja reuna-alueilla lisäksi tuulensuojamineraalivilla 50 mm; tuuletetun tilan yläpuolella on laudoituksen päällä konesaumattu peltikate, ja vesikaterakenne on varmistettu rimoituksen alle kiinnitetyllä aluskatteella. Räystäät on varustettu tuulenohjaimilla.

Ulkoseinissä on kahta rakennetyyppiä. Päädyissä on 150 mm teräsbetoniseinät, joita vasten on 100 mm mineraalivillaa ja 50 mm tuulensuojalevyt, tuuletusväli 30 mm ja 130 mm julkisivumuuraus. Muilta osin ulkoseinärakenne on puurunkoinen: sisäpuolisen kipsilevyn alla on höyrynsulkumuovi (saumat 200 mm limittäin ja teippaus), pystyrunko 50 mm * 125 mm k 600 + mineraalivilla 125 mm, jonka ulkopuolella on 50 mm tuulensuojavilla, 30 mm tuuletusrako ja 130 mm julkisivumuuraus.

Ulkoseinien turvatekijöitä ovat turvallinen vesikattorakenne (mukaanlukien räystäät), tuuletusväli tiilimuuriverhouksen alla ja höyrynsulku lämmöneristeen sisäpinnalla. Lisäksi rakenteen kuivumiskyky on erittäin hyvä johtuen tuuletusvälistä ja hyvin haihduttavasta pintarakenteesta. Julkisivumuuraus kestää huokosrakenteensa vuoksi viistosateella, mutta riittävän tuuletusvälin vuoksi se myös kuivuu rasittamatta seinärakennetta. Ulkoseinärakenne mahdollistaisi jopa rakenteen läpi ilmapuotojen mukana sisätiloista siirtyvän kosteuden kuivumista ulospäin.

Parvekkeiden kohdalla ulkoseinän pintamateriaali on puuverhous, ja tuuletusväli on hieman niukempi kuin tiilimuurauksen kohdalla, samoin lämmöneristävyys on hieman alhaisempi. Kuitenkin parvekkeiden kohdalla seinäosuus on niin hyvässä kosteussuojassa, ettei sen vaurioriski ole suurempi kuin tiilimuuratunkaan julkisivuosuuden.

5.2 Toimistorakennus



Toimistorakennus, VTT laajennusosa

Kohde on kolmikerroksinen betonielementtirakennus, jonka kerrosala on 2652 m² (bruttoala 2917 m²) ja tilavuus 11033 m³. Rakennuksessa on koneellinen, jäähdytyksellä varustettu ilmanvaihto.

Rakenteet

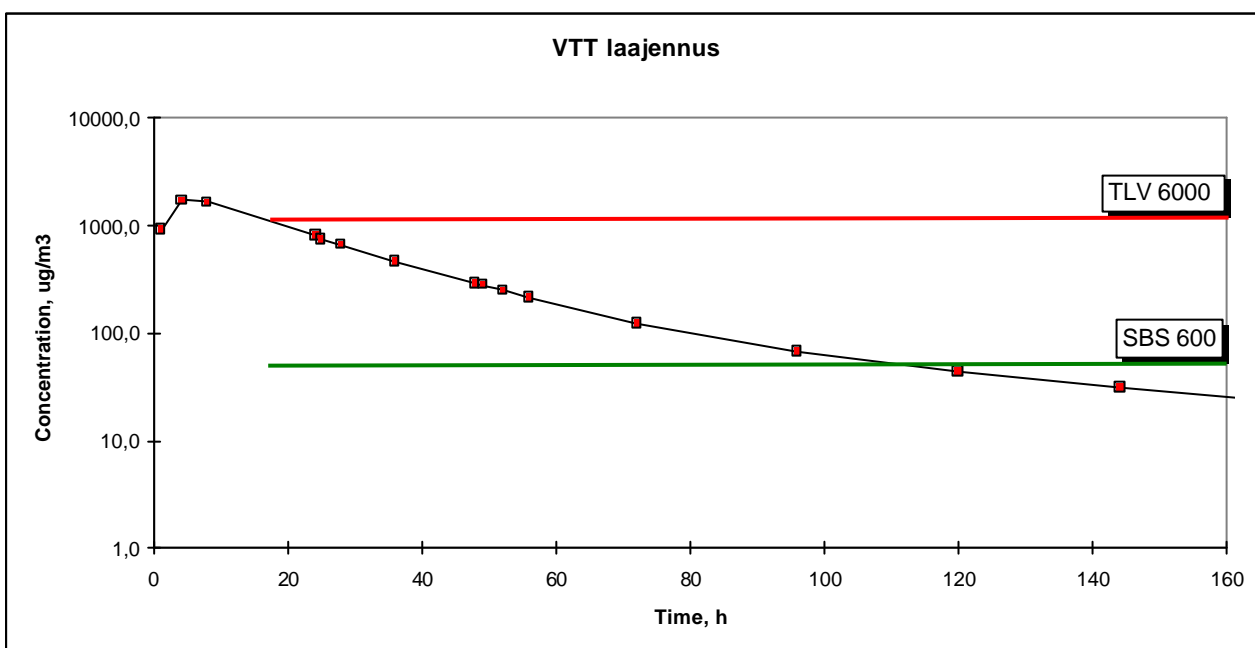
Ulkoseinät ovat teräsbetonirakenteisia valkobetoni-pintaisia kuorielementtejä, joiden näkyvät pinnat on sileävalettuja. Teräsbetonisen julkisivukuorielementin takana on 40 mm tuuletusväli, joka rajoittuu mineraalivillaiseen tuulensuojalevyyn (50 mm) ja mineraalivillaan (100 mm), jonka sisäpuolella on teräsbetoninen sisäkuorielementti. Kyseessä on eriytetty julkisivu, jossa sisäkuori rakennettiin ensin, seuraavassa vaiheessa toteutettiin lämmöneritys ja lopuksi ulkokuorien asennus. Rakenteen sisä- ja ulkokuori eivät toimi yhdessä liittorakenteen tavoin. Vaakasaumat ovat avosaumat ja puskusaumat on tiivistetty.

Välipohjat ovat esijännitetyjä ontelolaattoja, joihin on valettu pintabetonilaatta.

Väliseinät ovat teräsrankaiset (95 mm), (tolppaväleissä mineraalivilla äänieristystä edellyttävissä seinissä) ja seinäpintoina maalatut EK-kipsilevyt (13 mm).

Yläpohja on loivalla harjalla varustetun kermieristeisen vesikaton suojaama ja esijännitetyillä ontelolaatoilla toteutettu. Vesikattorakenteen kallistus on $\geq 1:60$, ja sen alla on tuuletettu ilmatila. Ontelolaattojen saumojen kohdalle lämmöneristeen alle on höyrysuloksi liimattu 200 mm leveät bitumihuopakaistat. Lämmöneriste koostuu kahdesta 150 mm mineraalivillakerroksesta, joiden saumat on limitetty. 1000 mm leveällä reuna-alueella rakennuksen ympäri kiertää 30 mm tuulensuojamineraalivilla. Räystäät on varustettu tuuliohjaimilla.

Kuvassa 6 on laskentatulokset toimistohuoneesta, jonka pinta-ala on 14,5 m². Tilan ilmanvaihtokerroin N on 0,5 1/h.



Kuva 6. Toimistohuoneen TVOC-pitoisuuden laskennallinen tulos.

Koekohteen tulokset

Sisäilmanäytteet otettiin 11.5.2001.

Taulukko 3. Kohteen haihtuvien yhdisteiden (TVOC) pitoisuudet ja pääkomponentit.

Aine	Pitoisuus µg/m ³
alifaattiset hiilivedyt	18
terpeenit	9
ksyleenit	8
heksanaali	5
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet, kokonaispitoisuus	88

Ilman laatu oli jo valmistumisvaiheessa erittäin hyvä, sisäilmaluokituksen S1-luokan mukainen. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC) oli 0,088 mg/m³, ja pääkomponentit olivat alifaattiset hiilivedyt, terpeenit, ksyleenit ja heksanaali.

Rakenteiden vastustuskyky

Rakenteen vastustuskykyä edistää sen homogeeninen rakenne ja selkeä ulospäin tapahtuvaan tuulettumiseen perustuva toiminta. Rakenteessa ei ole erillistä höyrynsulkua, sisäkuoren sisäpinnassa on tasoite ja maali. Tuuletusväli on 40 mm, mikä riittää hyvin, kunhan rakennuksen elinkaaren varrella varmistetaan tuuletusvälin säilyminen reuna-alueella avoimena ulkoilmaan: avosauman rakenteen pitkäaikaistoimivuuden edellytyksenä on, että sateiden tai lumisateiden aikana saumarakojen kautta ulkokuorielementtien taakse kulkeutuva vesi tai lumi ei aiheuta kosteuden kertymistä rakenteeseen. Kosteuden kertymistä ei tapahdu silloin kun saumoista tunkeutuva vesi valuu elementtiä pitkin alaspäin eikä roiskumalla kastele lämmöneristeitä pintaa syvemmillä. Tämä edellyttää vedelle järjestettyä poistumistietä julkisivujen alareunasta. Myös lumen osalta on varmistettava, että saumoihin kulkeutuva lumi ei täytä elementin ja eristeen välistä ilmarakoa umpeen.

5.3 Vanhusten palvelutalo



Palvelutalo on vanhusten kerrostalo, joka on alunperin rakennettu 1970-luvun alussa ja jossa v. 2001 suoritettiin täydellinen sisäpuolinen peruskorjaus ja rakennettiin uudet parvekkeet ja ikkunat uusittiin. Kokonaisala on 1176 brm² ja tilavuus 3400 m³ ja rakennuksessa on kaksi kerrosta.

Rakenteet

Rakennus on tiilirakenteinen (ulkoseinät tiili-lämmöneriste-tiili, myös väliseinät ovat tiilimuurausta) ja välipohja on uiva betonilaatta. Ulkomuurauksen ja lämmöneristeen välissä ei ole tuuletusväliä eikä alareunassa tuuletusrakoa. Julkisivut ovat hyväkuntoiset ja ne on jätetty entiselleen lukuun ottamatta lisärakentamista parvekkeiden osalta ja ikkunoiden uusimista. Sisäpuolelta rakennuksesta purettiin kaikki järjestelmät ja pintarakenteet. Huonejakoa muutettiin siten, että jokaiseen asuntoon (yhteensä 19 asuntoa joiden koot vaihtelevat 27 m² yksiöstä 49,5 m² tupakeittiö+makuuhuone+kylpyhuone-asuntoon) saatiin väljempi kylpyhuone (noin 5,4 m²). Kohteeseen toteutettiin koneellinen ilmanvaihto (tulo ja poisto).

Huonetilojen lattiarakenteissa vanha pintarakenne poistettiin ja uuden tasoituksen päälle tuli muovimatto. Märkätilojen lattioihin tehtiin kallistukset nopeastikovettuvalla betonilla.

Lattiat päällystettiin muovimatolla. Yhdessä asunnossa maton asennus toteutettiin ilman liimausta. Seinäpinnat ovat maalattua ässätex-tapettia. Katot ovat tasoitepintaiset ja maalatut. Kylpyhuoneiden lattiat ovat kitkamuovimattoa ja seinät kaakeloitua.

Erityispiirteet

Rakennusteknisesti rakennus oli korjauksiin ryhdyttäessä melko hyvässä kunnossa. Rakennuksen toisessa päädyssä oli alunperin sattunut jonkinlainen mittavirhe, minkä vuoksi osa lämmöneristyksestä oli jäänyt toteuttamatta, lisäksi samalla alueella oli lievä vesivaurio, joka oli aiheuttanut valumajälkiä mutta ei havaittavaa mikrobikasvustoa eikä puurungon lahoamista, sillä tiilijulkisivu oli mahdollistanut nopeahkon kuivumisen. Koska julkisivuja ei uusittu, kyseisen kohdan lisälämmöneristys jouduttiin toteuttamaan sisäpuolisena. Siten kahden asunnon kohdalla (asunnot 16 ja 19, jotka eivät ole koekohde tai verrokki) julkisivurakenne on erityyppinen kuin muualla.

Alkuperäisessä vesikatossa ei ollut räystäitä, minkä vuoksi tiiliseinän yläosa (alue katon reunasta ylimpien ikkunoiden yläreunan tasalle) oli sammaloitumassa. Sammalkasvusto poistettiin painepesulla ja rakennukseen lisättiin räystäät.

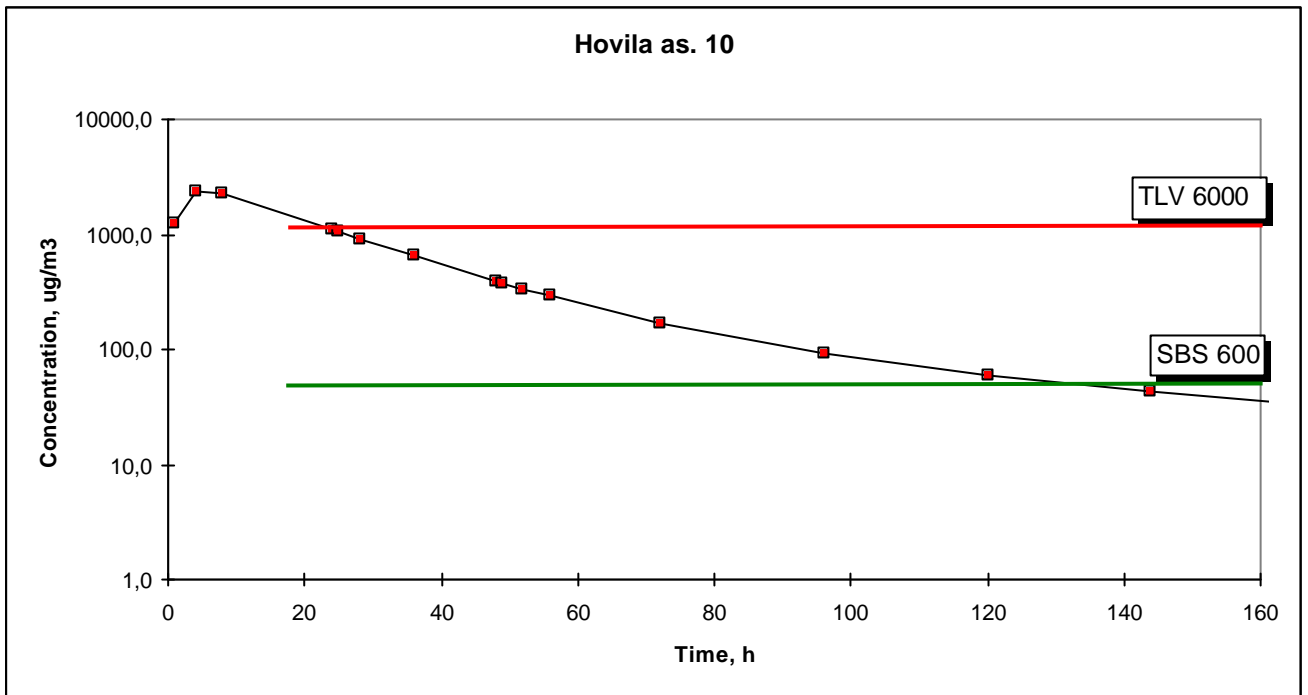
Huonetilajako muutettiin suurelta osin, minkä vuoksi vanhan uivan lattian päälle tehtiin pintavaluja, joiden saumakohtien täydellinen tasaaminen oli vaativa tehtävä.

Rakennus on perustettu hiekkakankaalle, minkä vuoksi perustukset olivat hyvässä kunnossa. Sokkelit suojattiin kuitenkin patolevyillä ja routasuojaukset lisättiin. Samalla pintamaan kallistukset viimeisteltiin rakennuksesta pois päin viettäviksi.

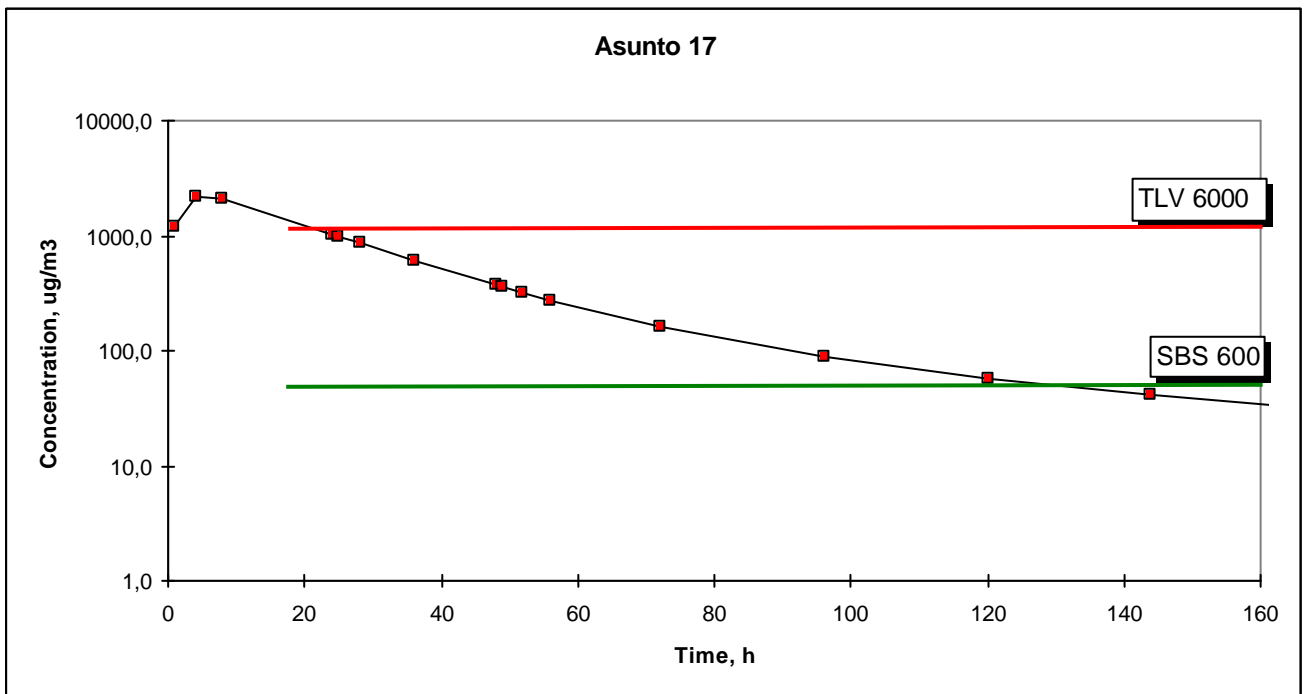
Menettely koekohteessa

Koska rakennuksen asukkaat ovat ikäihmisiä, jotka tyypillisesti viettävät hyvin suuren osan ajastaan sisällä, kaikki pinnat ovat M1 -luokan vähäpäästöisiä materiaaleja epäpuhtausaltistuksen minimoimiseksi. Koehuoneistoksi valittuun 33 m² asuntoon asennettiin ulkoasultaan muiden asuntojen muovimattojen kanssa samankaltainen irtoasennettava muovimatto. Muovimatot eroavat rakenteeltaan hieman toisistaan; molemmissa mattotyypeissä on liukastumista estävä kitkapinta, mutta liimattavan muovimaton pohjarakenne on solumuovia ja irtoasennettavan maton pohja on kuiturakenteinen.

Kuvissa 7 ja 8 on esitetty laskennalliset emissiotasot.



Kuva 7. Vertailukohteen laskennallinen emissiotaso.



Kuva 8. Koekohteen laskennallinen emissiotaso.

Kohteen tulokset

Rakennuksen loppusiivoukset tehtiin kesäkuun kahden ensimmäisen viikon aikana. Sisäilmanäytteet otettiin 18.6.2001. Rakennus luovutettiin käyttöön 21.6.2001.

Taulukko 4. Kohteen haihtuvien yhdisteiden (TVOC) pitoisuudet ja pääkomponentit.

	Huone 10	Huone 17
Aine	Pitoisuus µg/m³	Pitoisuus µg/m³
3-metoksi-1,2-propaanidioli	450	500
aromaattiset hiilivedyt	250	290
heksanaali	92	120
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet, kokonaispitoisuus	2500	2700

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus huoneessa 10 oli 2 500 mg/m³ ja huoneessa 17 vastaavasti 2 700 mg/m³. Pääkomponentit olivat molemmissa heksanaali, aromaattiset hiilivedyt ja 3-metoksi-1,2-propaanidioli.

3-metoksi-1,2-propaanidioli on erikoisliuotin, joka on peräisin oikaisuvaluihin käytetystä pikabetonista, samoin kuin suuri osuus tavanomaisemmista liuotinaineista peräisin olevista aromaattisista hiilivedyistä. Heksanaali on erittäin tyypillinen rakennusmateriaalipäästö, joka on peräisin useista eri lähteistä.

Liimaamalla kiinnitetty muovipinnoite muodostaa suuremman diffuusiiovastuksen ja siten hidastaa 3-metoksi-1,2-propaanidiolin ja aromaattisten hiilivetyjen vapautumista sisäilmaan, minkä vuoksi pitoisuus on alkuvaiheessa hieman pienempi, mutta vastaavasti emission hiipumisvaihe on pidempi.

Pikabetonivalun hallitseva vaikutus saavutettavan sisäilman laadulle oli odotettavissa, mutta rakentamisaikataulun ja käytettävissä olevien työtekniikoiden vuoksi sitä ei voitu välttää, vaikka asiasta keskusteltiin työmaan vastaavan mestarin kanssa. Asiaan liittyy kuitenkin se myönteinen puoli, että lähde on hiipuva ja nollaantuu noin puolen vuoden kuluessa e.m. liuotinpäästöjen poistuessa.

Rakenteiden vastustuskyky

5.4 Yhteenveto koekohteista

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden (TVOC) alentaminen on mahdollista normaalia hyvää rakennustapaa noudattamalla, kunhan materiaalivalintoja tietoisesti ohjataan vähäpäästöiseen suuntaan. Pintamateriaalien osalta tarjontaa on jo runsaasti, mutta kun siirrytään pinnan ja sen välittömän alustan taakse rakenteen sisään, ollaan huomattavasti hankalammassa

tilanteessa. Esimerkiksi tasoitteet (erityisesti lattioiden oikaisuun käytettävät "pika"-tuotteet) ovat riski sisäilman kannalta, ellei niitä ole erikseen tarkastettu. Toisaalta kokemukset muiden vastaavien koerakentamiskohteiden seurantamittauksista ovat osoittaneet, että noin puoli vuotta parantaa tilannetta oleellisesti alkuhiipuman tapahduttua. Esimerkiksi Kuopiossa 1997 valmistuneessa Puijonkartanossa TVOC-pitoisuus aleni viiden kuukauden seurantajakson aikana alkutilanteesta ($900 \mu\text{g}/\text{m}^3$) noin viidesosaan ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Tuomainen et al 1998), ja vuoden ikäisessä kohteessa pitoisuus oli edelleen noin puolittunut viiden kuukauden tuloksiin verrattuna (Tuomainen et al 1999). Lisäksi myös mitatun ja koetun sisäilman laadun on todettu koekohteiden seurannassa vastaavan toisiaan (Tuomainen et al 1999), joten hyvä alkutilanne ennustaa käyttäjien kokemaa tyytyväisyyttä, sillä vaikka heikkolaatuisempikin kohde paranee alkuhiipuman jälkeen, se ei saavuta puhtaamman kohteen tasoa. Pitkällä aikavälillä sisäilman laadun kannalta merkittäväksi tulee kuitenkin ennen muuta rakenteiden oikea kosteustekninen toimivuus, joka on välttämätön muuta ei yksin riittävä ehto puhtaan sisäilman saavuttamiselle.

6. Yhteenveto tutkimuksen tuloksista

Tutkimuksen keskeinen anti perustuu teoreettisen tiedon sekä teorian ja empiiristen kokeiden perusteella laaditun laskentamallin soveltamiseen käytännön esimerkkirakentamisessa. Erityyppisten rakenteiden toiminta on osoittautunut muuten selväpiirteiseksi, mutta irtoasennetun pinnoitteen alla oleva ilmarako voi muuttaa tulosta diffuusio- ja haihtumisilmiöiden dominanssin siirtyessä nopeamman haihtumisen vuoksi lähteen suurempaan voimakkuuteen ja siten nopeampaan hiipumaan (toisin sanoen alkuemissio voi olla irtoasennettujen rakenteiden kohdalla voimakkaampi, mutta toisaalta emissiotaso myös alenee nopeammin). Toinen merkittävä tulos on yhdenkin (jopa pintarakenteen alla sijaitsevan) hallitsemattoman päästölähteen vaikutus koko toteutuvan sisäilman laadun kannalta: voimakas pinnanalainen lähde voi muuttaa saavutettavaa sisäilman laatutasoa kuukausien ajaksi.

Sisäilman laadun hyvä taso on saavutettavissa hallitulla materiaalivalinnalla. Rakentamisprosessin hyvä toteutus on kuitenkin välttämätön edellytys pitkäaikaisen ominaisuuksien hallinnan kannalta, sillä laiminlyönnit toteutuksen huolellisuudessa kostautuvat rasitusten (erityisesti kosteuden) vaikuttaessa rakenteisiin.

Terveen rakennuksen evoluutio tapahtuu ihmisen tekemien teknologisten valintojen kautta, kun laadultaan heikoiksi osoittautuvia vaihtoehtoja karsitaan ja aktiivisesti etsitään parannusta heikkoihin kohtiin. Rakennus on luonteeltaan pitkäikäinen hyödyke, ja usein niin heikot kuin vahvatkin kohdat paljastuvat vasta vuosien saatossa pitkäaikaisina käyttöominaisuuksina ja rakenteiden vastustuskykynä rasituksia kohtaan. Paljastuvien virheiden kautta oppiminen on hidasta, eikä edes kokemusperäinen oppi aina vaikuta käytäntöjä parempaan suuntaan ohjaavasti.

Eräs runsaimpien valitusten kohde kaikentyypisen rakennusten käyttäjäkyselyissä on sisäilman laatu. Käyttäjien kokema tyytymättömyys onkin toiminut sysäyksenä tutkia valitusten taustalla vaikuttavia teknisiä ongelmia, joita viime vuosikymmeninä on opittu tunnistamaan ja näin on saatu todellinen mahdollisuus aitoon kehitykseen. Ongelmien tunnistaminen on mahdollistanut niiden syiden karsintaa, jossa onkin saavutettu merkittäviä tuloksia. 1970-luvun lastulevyjen formaldehydipäästöjen alentaminen oli ehkä merkittävin alkusysäys kehitykselle, joka johti 1990-luvulla rakennusmateriaalien päästöluokituksen käyttöönottamiseen. Kehitys on ollut merkillepantavasti teollisuusvetoista, materiaaliteollisuus on omaehtoisella tuotekehityksellä aktiivisesti karsinut ongelmia. Parannettujen materiaalivaihtoehtojen tarjonta on mahdollistanut rakennusteollisuuden ottaa myös sisäilman laatu osaksi rakentamisen laadunhallintaa. Jos rakennusten käyttäjät edellyttävät rakennuttajan nostavan vaatimustasoa entisestään sisäilman laadun osalta, teknisiä valmiuksia parannusten saavuttamiseen on selkeästi olemassa.

Sisäilman laadun saavuttamisen kannalta ratkaisevia asioita on kaksi:

- (1) sisäilman laadun hallinta on otettava aktiivisen tavoitteenasetannan kohteeksi sekä tilaajan että rakentajan taholla ja
- (2) rakennushankkeen toteutuksen on oltava motivoitunut ja kykenevä asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi.

Jos sisäilman korkeaa laatua aktiivisesti tavoitellaan, se on saavutettavissa suunnitteluvaiheen ratkaisuilla ja pätevällä työmaatoiminnalla.

Pitkällä aikavälillä ongelmallisia ovat kosteat ja märät tilat, joita varten on viimevuosina kehitetty erityyppisiä hallintaratkaisuja alkaen veden- ja kosteudeneristyksen hallinnasta ja päätyen märkätila-asentajien henkilökohtaiseen pätevöittämiseen.

Sisäilman laadun hallintamahdollisuuksien paraneminen näkyy ensimmäiseksi laatu-orientoituneiden rakentajien toiminnassa, koko rakennusala ei ainakaan vielä hyödynnä parhaita saatavilla olevia mahdollisuuksia. Rakennusten käyttäjät eivät ole täysin selvillä saavutettavissa olevasta laatutasosta, eivätkä osaa edellyttää sitä, minkä vuoksi alkuvaiheessa parannetun laadun kysyntä on heikkoa. Kuitenkin, pidemmällä aikavälillä teknisten valmiuksien paraneminen johtaa kohti kysynnän siirtymistä parannettuun laatuun, kunhan loppukäyttäjien tietoisuus parempien vaihtoehtojen saatavuudesta lisääntyy.

Lähdeluettelo

1. Gustafsson, Hans & Jonsson, Bengt. 1993. Trade standards for testing chemical emissions from building materials Part 1: Measurements of flooring materials.
2. Julkisivu 2000. Osaraportti C 1a. Betonisandwich-ulkoseinien kosteustekninen käyttäytyminen. RTT Rakennustuoteteollisuus. Teknillinen korkeakoulu. Talonrakennus-tekniikan laboratorio. 1997. 65 s.
3. Leininger, A.E., Scott, K. A., Sarsony, E.C., Huff, L.C. & Blackley, C. R.: Catalog of Materials as Potential Sources of Indoor Air Emissions. Volume 1. Insulation, Wallcoverings, Resilient Floor Coverings, Carpet, Adhesives, Sealants and Caulks, and Pesticides. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park; NC. Air and Energy Engineering Research Lab. 1993.
4. Nielsen, P. A. Et al. 1993. Technical and health-related evaluation of building products based on climate chamber test. Indoor Air'93 Proceedings, vol 2. Pp 519-524.
5. Rakennustuoteteollisuus RTT ry, Suomen Betonitieto Oy. Uudet betonijulkisivuorakenteet. Julkisivu 2000. Gummerus kirjapaino Oy, Jyväskylä 1998. 171 s.
6. Rantamäki, Jouko et al. Rakennusten ja rakennusmateriaalien homeet. VTT Tiedotteita 2030. Espoo 2000. 40 s. + liitt. 6 s.
7. Riala, R. Riihimäki, H. Liuotainaineet ja formaldehydi matto- ja parkettitöissä. Työ ja ihminen 3 (1989):1, 24-28.
8. Rothweiler, H. Et al. 1993. Emissions of degradation products of building materials in the indoor environment - case studies. Proceedings of Indoor Air'93, vol 2, pp 465-470.
9. Samet, J. M. 1993. Indoor air pollution, a public health perspective. Proceedings of Indoor Air'93, vol 1, pp 3-12.
10. Sisäilmaluokitus 2000. Sisäilmayhdistys julkaisu 5. Kirjapaino Verbi, Espoo, 2001. 32 s.
11. Sparks, I. E. 1992. Modelling of Indoor Concentrations and Exposures. Annals of New York Academy of Sciences, vol 641. The New York Academy of Sciences, New York.
12. Tichenor, B. A. 1992. Characterizing Material Sources and Sinks. Annals of New York Academy of Sciences, vol 641. The New York Academy of Sciences, New York.
13. Tichenor, B. A. Et al. 1991. The Interaction of Vapour Phase organic Compounds with Indoor Sinks. Indoor Air, 1, 23-35 (1991).
14. Tichenor, B. A. Et al. 1993. Fundamental mass transfer models for indoor air pollution sources. Indoor Air'93 Proceedings, vol 2. Pp 377-382.

15. Tirkkonen, Tiina; Mattinen, Maija-Liisa; Saarela, Kristina. 1993. Volatile organic compound (VOC) emission from some building and furnishing materials. Saarela, Kristina; Kalliokoski, Pentti; Seppänen, Olli. Indoor Air '93, Chemicals in Indoor Air, Material Emissions, Vol 2. Helsinki. Indoor Air '93. Pp. 477-482.
16. Treybal R. E. 1980. Mass Transfer Operations. New York. McGraw-Hill Book Company. 784 s.
17. Tuomainen, Marja et al. Mitattu ja koettu sisäilman laatu kahdessa vuoden ikäisessä talossa. Sisäilmastoseminaari 1999. Sisäilmayhdistys ry. SIY Raportti 13. s.73 - 76.
18. Tuomainen, Marja et al. Uusien kerrostalojen sisäilmasto-olosuhteet. Sisäilmastoseminaari 1998. Sisäilmayhdistys ry. SIY Raportti 11. s.177 - 182.
19. Työministeriö. 1993. HTP-ARVOT 1993. Turvallisuustiedote 25. Työministeriö, Tampere 1993
20. Kangas, Hanna. Kosteus- ja homevauriot rakennuksissa. Kuopio. Kansanterveyslaitos ympäristöterveys, Kuopio. 1995. ISBN 951-740-002-0

