



RAPORTTI

VTT-S-06675-17



Sisäilman laadun hallinta rakennushankkeen eri vaiheissa

Kirjoittajat:

Helena Järnström, Risto Koivusaari & Mikko Saari

Tilaaaja:

Rakennusteollisuus RT ry

Raportin nimi Sisäilman laadun hallinta rakennushankkeen eri vaiheissa	
Asiakkaan nimi, yhteystiedot Johtaja Jukka Pekkanen Rakennusteollisuus RT ry PL 381 (Unioninkatu 14) 00131 Helsinki	Asiakkaan viite
Projektin nimi Sisäilman laadun hallinta rakennushankkeen eri vaiheissa	Projektin numero/lyhytnimi
Raportin laatija(t) Helena Järnström, Risto Koivusaari & Mikko Saari	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 43/8
Avainsanat Sisäilma, laatu, puhtaus, rakenteet, kosteus, materiaalit, emissiot, ilmanvaihto, toimivuus, rakentaminen	Raportin numero VTT-S-06675-17
Tiivistelmä Tässä selvityksessä esitetään käytännön kokemuksia sisäilman laatuun heikentävästi vaikuttavista asioista, toimintatavoista ja virheistä rakentamisen eri vaiheissa. Pääpaino on uudisrakentamisessa, mutta asioita voidaan soveltaa myös korjausrakentamisessa. Entisajan rakenteiden ja teknisten ratkaisujen ongelmia ei käsitellä. Lähtökohtana on ongelmiin johtavien ratkaisujen, valintojen, tapahtumien ja toimenpiteiden esille tuominen. Usein ongelmien taustalla on useita samanaikaisesti esiintyviä tai tapahtuvia asioita. Tämä voi vaikeuttaa syy- ja seuraussuhteiden hahmottamista. Lisäksi ongelmat esiintyvät usein eri suunnittelijoiden ja urakoiden rajapinnoilla, joista vastaaminen ja huolehtiminen eivät kuulu kenellekään. Tavoitteena on ongelmien välttäminen tulevaisuudessa. Rakennushankkeen eri osapuolet ja rakennuksen käyttäjät voivat omalla toiminnallaan edesauttaa laadukkaan sisäilman toteutumisessa. Asiat on jaettu raportissa kolmeen osaan: Kosteus rakenteissa, kemialliset epäpuhtaudet ja ilmanvaihdon toimimattomuus.	
Luottamuksellisuus	Julkinen
Espoo 19.12.2017	
Hyväksyjä	Laatijat
Helena Järnström, Tuotepäällikkö	Mikko Saari, Erityisasiantuntija
	Risto Koivusaari Asiantuntija
VTT Expert Services Oy:n yhteystiedot PL 1001, 02044 VTT (käyntiosoite Kemistintie 3, Espoo)	
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Tilaaja VTT Expert Services Oy, arkisto	
VTT Expert Services Oy:n tai VTT:n nimen käyttäminen mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT Expert Services Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.	

Alkusanat

Rakennusten sisäilmaongelmat ovat edelleen valitettavan yleisiä ja usein ongelmien taustalla on useita samanaikaisesti esiintyviä tai tapahtuvia asioita. Sisäilmaongelmia voi aiheutua tilaamis- ja suunnitteluvaiheessa, toteutusvaiheessa tai käyttö- ja ylläpitovaiheessa tapahtuvien väärin ratkaisujen tai toimintatapojen seurauksena.

Tämä selvitys keskittyy käytännön kokemuksiin uudehkojen rakennusten sisäilmaongelmista ja niiden syihin sekä mahdollisuuksiin ennalta ehkäistä sisäilmaongelmien syntymistä muun muassa välttämällä riskialttiita ratkaisuja. Selvityksessä tuodaan esille tyypillisiä ongelmiin johtavia ratkaisuja, valintoja, tapahtumia sekä toimenpiteitä. Selvityksen tilaajan Rakennusteollisuus RT ry:n tavoitteena on edesauttaa rakentamisen laadun parantumista ja sisäilman laadun hallinta on oleellinen osa sitä kokonaisuutta.

Rakennusteollisuus RT ry:ssä hanketta valvoivat johtaja Jukka Pekkanen ja asiamies Jani Kemppainen.

Loppuraportin ovat laatineet VTT Expert Services Oy:stä Helena Järnström (Kemialliset epäpuhtaudet ja hajut), Risto Koivusaari (Rakenteet ja kosteuden hallinta) ja Mikko Saari (Ilmanvaihto ja muu talotekniikka).

Espoo 19.12.2017

Tekijät

Sisällysluettelo

Alkusanat	2
Sisällysluettelo.....	3
1. Yhteenveto.....	5
1.1 Tyypillisimpiä virheitä ja ongelmatilanteita.....	5
1.2 Rakenteet ja sisäilman laatu	8
1.3 Kemialliset epäpuhtaudet ja hajut	9
1.4 Ilmanvaihto ja muu talotekniikka	9
2. Johdanto.....	11
3. Rakenteet ja sisäilman laatu	13
3.1 Alapohjarakenteet ja maanvastaiset rakenteet.....	13
3.1.1 Rakenteen toiminta	13
3.1.2 Ongelmien syntymisen edellytykset	13
3.1.3 Käytännön kokemuksia.....	13
3.1.4 Vaikutusmahdollisuudet rakennushankkeen eri vaiheissa.....	14
3.2 Ulkoseinärakenteet.....	15
3.2.1 Rakenteen toiminta.....	15
3.2.2 Ongelman syntymisen edellytykset.....	15
3.2.3 Käytännön kokemuksia.....	16
3.2.4 Vaikutusmahdollisuudet rakennushankkeen eri vaiheissa.....	17
3.3 Yläpohjarakenteet ja vesikatto	17
3.3.1 Rakenteen toiminta.....	17
3.3.2 Ongelman syntymisen edellytykset.....	17
3.3.3 Käytännön kokemuksia.....	18
3.3.4 Vaikutusmahdollisuudet rakennushankkeen eri vaiheissa.....	19
4. Kemialliset epäpuhtaudet ja hajut	20
4.1 Ongelman kuvaus.....	20
4.2 Ongelman syntymisen edellytykset.....	23
4.2.1 Yleistä.....	23
4.2.2 Kosteuden vaikutus.....	24
4.2.3 Tuotteiden yhteensopivuus	24
4.2.4 Työvirheet.....	24
4.2.5 Tuotannon laatuvirheet	24
4.3 Vaikutusmahdollisuudet rakennushankkeen eri vaiheissa.....	25
4.3.1 Yleistä.....	25
4.3.2 Tilaus- ja suunnitteluvaihe.....	25
4.3.3 Toteutusvaihe	25
4.3.4 Käyttö- ja ylläpitovaihe	26
5. Ilmanvaihto ja muu talotekniikka	27
5.1 Ilmanvaihtojärjestelmä ja sisäilman laatu	27
5.2 Tuloilman epäpuhtaudet ja hajut.....	29
5.2.1 Ongelman kuvaus	29
5.2.2 Ongelman syntymisen edellytykset.....	29

5.2.3	Käytännön kokemuksia ulkoilman sisäänotosta ja kanavoinnista	29
5.2.4	Käytännön kokemuksia ilmanvaihtojärjestelmän viemäroinnistä	31
5.2.5	Käytännön kokemuksia epäpuhtauksien palautumisesta lämmöntalteenotossa	32
5.2.6	Vaikutusmahdollisuudet rakennushankkeen eri vaiheissa	33
5.3	Puutteellinen ja tehoton ilmanvaihto	34
5.3.1	Ongelman kuvaus	34
5.3.2	Ongelman syntyminen edellytykset	34
5.3.3	Käytännön kokemuksia suunnittelun ja toteutuksen puutteista	35
5.3.4	Käytännön kokemuksia ilmanvaihdon tehokkuudessa	36
5.3.5	Käytännön kokemuksia ilmanvaihdon käytöstä ja ylläpidosta	37
5.3.6	Vaikutusmahdollisuudet rakennushankkeen eri vaiheissa	38
5.4	Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamat paine-erot	39
5.4.1	Ongelman kuvaus	39
5.4.2	Ongelman syntyminen edellytykset	39
5.4.3	Käytännön kokemuksia paine-eroista	39
5.4.4	Vaikutusmahdollisuudet rakennushankkeen eri vaiheissa	41
6.	Toimivuuden varmistaminen (ToVa)	42
	Lähdekirjallisuutta	43

Liite 1. Sisäilman laadun hallinta rakentamisen eri vaiheissa. Esitysaineisto
Talonrakennusteollisuuden hallituksen kokouksesta 12.12.2017.

1. Yhteenveto

1.1 Tyypillisimpiä virheitä ja ongelmatilanteita

Seuraavassa esitetään kokemusten perusteella tyypillisimpiä sisäilmaongelmiin johtavia virheitä ja ongelmatilanteita. Rakennushankkeen eri osapuolet ja rakennuksen käyttäjät voivat omalla toiminnallaan pilata laadukkaan sisäilman toteutumisen rakennushankkeen eri vaiheissa. Eri vaiheissa syntyvät virheet ja ongelmat esitetään seuraavissa taulukoissa 1 - 3. Tyypilliset päävastuutahot ja -vaiheet on esitetty punaisella. Tilausvaiheessa päävastuu hyvästä sisäilman toteuttamisesta on rakennuttajalla. Suunnittelijan vastuu sisäilman laadun huonontamisesta jatkuu suunnittelusta käyttövaiheeseen saakka. Materiaalivalmistajien ja -toimittajien vastuulla on suunnitellun ja tilatun materiaalin toimittaminen kunnossa työmaalle. Rakentamisessa vastuu on kaikilla urakoitsijoilla ja laadunhallinnasta vastaavilla. Käyttö- ja ylläpitovaiheessa päävastuu on käyttäjillä ja rakennuksen omistajalla.

<i>Taulukko 1.</i>					
Rakenteet ja sisäilman laatu	Tilaaminen	Suunnittelu	Materiaalit	Rakentaminen	Käyttö ja ylläpito
Alapohjarakenteet ja maanvastaiset rakenteet					
Maanvastaisten rakenteiden liitoskohtien ja läpivientien ilmatiivyyden suunnittelu ja toteutus on tehty huonosti, jolloin sisäilmaan kulkeutuu haitallisessa määrin epäpuhtauksia.					
Tavanomaisen tuulettuvan ryömintätilan materiaalit ja rakenneratkaisut on suunniteltu ja toteutettu ryömintätilan vaativia olosuhteita huomioon ottamatta. Rakenteet eivät ole ilmatiiviitä.					
Betonirakenteiden rakentamisaikaiset kuivumisolosuhteet ovat puutteelliset ja kuivumisaika liian lyhyt. Rakennekosteuden mittauksissa on virheitä. Paksumpien valujen kohdilta ei ole mittaustuloksia.					
Ulkoseinärakenteet					
Elementit kasvavat kuljetuksen, välivarastoinnin tai asennuksen aikana puutteellisen kosteudenhallinnan ja sääsuojauksen takia.					
Julkisivujen sateenpitävyyttä ja seinärakenteen kuivumiskykyä ei ole varmistettu yksityiskohtaisilla suunnitelmilla ja huolellisella toteutuksella. Liitoskohtien ja saumojen kunnan tarkastus ja tarvittavat korjaustyöt jätetään tekemättä ylläpidossa.					
Yläpohja ja vesikatto					
Rakennuksessa olevat rakennusmateriaalit sekä esivalmistetut tilaelementit kasvavat ennen lopullisen vesikattorakenteen valmistumista kosteudenhallinnan ja sääsuojauksen puutteiden takia. Haitallisesti kostuneita tuotteita käytetään rakentamisessa.					
Vesikaton liitoskohtien ja läpivientien yksityiskohtainen suunnittelu ja toteutus on puutteellista, jolloin rakenteisiin kulkeutuu vettä. Yläpohjarakenteiden liitoskohtien ja läpivientien ilmatiivyyden suunnittelu ja toteutus tehdään huolimattomasti. Vesikaton ja pellitysten liitoskohtien ja saumojen kunnan tarkastus ja tarvittavat korjaustyöt jätetään tekemättä ylläpidossa.					

Taulukko 2. Kemialliset epäpuhtaudet ja hajut	Tilaaminen	Suunnittelu	Materiaalit	Rakentaminen	Käyttö ja ylläpito
Materiaalien emissiot aiheuttavat sisäilmaongelmia					
Käytetään testaamattomia ja luokittelemattomia materiaaleja ja kalusteita.	■	■	■	■	■
Käytetään eri valmistajien yhteensopimattomia materiaaliyhdistelmiä.		■		■	
Rakenteen sisällä tai osana olevat materiaali päästöt kulkeutuvat sisäilmaan.		■	■	■	
Käytössä ja ylläpidossa ei noudateta käyttö- ja huolto-ohjeita.					■
Rakennusaikainen kosteus aiheuttaa materiaali vaurioita ja emissioita					
Pinnoitteet vaurioituvat, koska betonirakenteiden ja pinnoitteiden edellyttämät kuivumisolosuhteet ovat puutteelliset ja kuivumisaika liian lyhyt.	■			■	
Rakenteen sisällä olevat villaeristeet kastuvat kuljetuksen tai rakentamisen aikana. Kastuneiden villaeristeiden päästöt kulkeutuvat sisäilmaan.			■	■	
Rakennuksen käytön alkuvaiheessa sisäilman kemiallisten epäpuhtauksien ja hajujen pitoisuudet ovat korkeita					
Jatkuvatoimista ja tehostettua ilmanvaihtoa ei käytetä vähintään puolen vuoden ajan siitä, kun kohde on valmistunut, jolloin materiaalien emissioita ja hajuja ei saada poistettua.					■

Taulukko 3. Ilmanvaihtojärjestelmän virheet ja ongelmatilanteet	Tilaaminen	Suunnittelu	Materiaalit	Rakentaminen	Käyttö ja ylläpito
Tuloilma sisältää haitallisia epäpuhtauksia ja hajuja					
Ilmanvaihtojärjestelmä likaantuu kuljetuksen ja rakentamisen aikana, koska kosteuden- ja puhtaudenhallintasuunnitelmia ei noudateta ja työmaakoulutus ja valvonta ovat puutteellisia.			■	■	
Ulkoilman sisäänottoratkaisut on suunniteltu ja toteutettu puutteellisesti. Huolto on laiminlyöty.		■		■	■
Viemärointi on suunniteltu ja toteutettu puutteellisesti. Huolto on laiminlyöty.		■		■	■
Pyörivä lämmöntalteenotto on suunniteltu virheellisesti. Huolto on laiminlyöty.		■	■		■
Ilmanvaihtokanaviston eristykset ja reititykset on suunniteltu ja toteutettu puutteellisesti.		■		■	
Ilmanvaihto on puutteellista ja tehotonta					
Ilmanvaihtojärjestelmä on mitoitettu virheellisesti.		■			
Ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltu virheellisesti.		■			
Toteutuneet ilmavirrat ovat suunniteltua pienempiä suunnittelu-, toteutus- tai käyttövirheiden vuoksi.		■		■	■
Ilmanjako on tehotonta suunnittelu-, tuote- ja käyttövirheiden vuoksi.		■			■
Rakennuksen käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto on riittämätöntä suunnittelu- ja käyttövirheiden vuoksi.		■			■
Ilmanvaihdon toimivuutta ei seurata rakennusautomaatiojärjestelmällä, jolloin toimintavirheistä johtuvia sisäilmaongelmia ei havaita ajoissa.	■	■			■
Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamat paine-erot aiheuttavat epäpuhtauksien haitallista kulkeutumista					
Ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltu puutteellisesti. Sitä käytetään väärin.		■			■
Käyttöönottovaiheen mittaukset ja tarkastukset on tehty puutteellisesti ja huolimattomasti.				■	
Ilmanvaihdon tasapainoa ei seurata rakennusautomaatiojärjestelmällä, jolloin haitallisia tilanteita ei havaita ajoissa.	■	■			■

1.2 Rakenteet ja sisäilman laatu

Rakenteet tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että sisäisistä ja ulkoisista kosteuslähteistä peräisin oleva vesihöyry ja veden haitallinen tunkeutuminen rakenteisiin estetään. Rakenteiden tulisi olla kuivumiskykyisiä ja rakennekosteuden tulee päästä poistumaan rakenteesta haittaa aiheuttamatta. Rakenteet pitäisi suunnitella ja toteuttaa mahdollisimman ilmatiiviiksi etenkin ala- ja yläpohjarakenteissa. Ilmatiiviyden varmistamiseksi olennaista on erityisesti rakenteen liitoskohtien ja läpivientien suunnitteleminen ja toteuttaminen ilmatiiviiksi. Rakenteiden kuivana pysyminen rakentamisen ja käytön aikana sekä rakenteiden ilmatiivius luovat edellytykset omalta osaltaan hyvän sisäilman laadun varmistamisessa.

▪ Alapohjarakenteet ja maanvastaiset rakenteet

- Maaperässä ja maa-aineksissa on aina epäpuhtauksia, esimerkiksi mikrobeja. Maanvastaisten rakenteiden liitoskohtien ja läpivientien ilmatiiviyden suunnittelu ja toteutus pitäisi tehdä niin, että rakenne on luotettavasti ilmatiivis, jolloin sisäilmaan ei kulkeudu haitallisessa määrin epäpuhtauksia.
- Tavanomaisen tuulettuvan ryömintätilan olosuhteet voivat olla homeen kasvulle otolliset osan aikaa vuotta. Tämä on otettava huomioon materiaaleja ja rakenneratkaisuja suunniteltaessa ja toteutettaessa. Rakenteen on oltava ilmatiivis.
- Betonirakenteisten alapohjarakenteiden rakennekosteus on liian korkea valitulle pinnoitteelle. Joidenkin rakennetyyppien ja etenkin liitosvalujen edellyttämiä kuivumisolosuhteita ei saavuteta riittävän aikaisin eikä riittävää kuivumisaikaa oteta huomioon rakennusajassa. Tämä koskee myös muita lattiarakenteita.

▪ Ulkoseinärakenteet

- Ulkoseinärakenteet tai esivalmistetut elementit voivat kastua kuljetuksen, välivarastoinnin tai asennuksen aikana ennen lopullisen rakenteen valmistumista. Sisäilman laadun kannalta haitallisen kastumisen arviointi rakennusaikana haastavaa, jonka takia rakentamisaikainen kosteudenhallinta ja tarpeenmukainen sääsuojaus tulisi olla kunnossa riskien välttämiseksi.
- Sadevesi kulkeutuu ulkoseinärakenteen sisälle julkisivupinnan puutteellisten liitoskohtien ja saumojen kautta. Julkisivupinnan sateenpitävyys ja ulkoseinärakenteen kuivumiskyky tulisi varmistaa yksityiskohtaisilla suunnitelmillä ja huolellisella toteutuksella. Liitoskohtien ja saumojen kunnon tarkastus ja tarvittavat korjaustyöt tulee tehdä riittävän usein.

▪ Yläpohja ja vesikatto

- Rakennuksessa tai holvilla olevat rakennusmateriaalit sekä esivalmistetut tilaelementit voivat kastua ennen lopullisen vesikattorakenteen valmistumista. Sisäilman laadun kannalta haitallisen kastumisen arviointi rakennusaikana haastavaa, jonka takia rakentamisaikainen kosteudenhallinta ja tarpeenmukainen sääsuojaus tulisi olla kunnossa riskien välttämiseksi.
- Sadevesi kulkeutuu yläpohjarakenteen sisälle vesikaton puutteellisten liitoskohtien ja läpivientien kautta. Vesikaton sateenpitävyys tulee varmistaa yksityiskohtaisilla varmistaa yksityiskohtaisilla suunnitelmillä ja huolellisella toteutuksella. Liitoskohtien ja saumojen kunnon tarkastus ja tarvittavat korjaustyöt tulee tehdä riittävän usein. Yläpohjarakenteiden liitoskohtien ja

läpivientien ilmatiivyyden suunnittelu ja toteutus tulee tehdä niin, että rakenne on luotettavasti ilma- ja höyrytiivis.

1.3 Kemialliset epäpuhtaudet ja hajut

Rakennusmateriaalit sisältävät erilaisia kemiallisia yhdisteitä, jotka voivat haihtua ja emittoitua sisäilmaan. Altistumisen vähentäminen on lähtökohta ongelmien ehkäisemiseksi. Emissioluokitus (M1) on vähentänyt materiaalipäästöjä yleisellä tasolla. Yksittäisen tuotteen päästöt eivät kuitenkaan kuvaa tilannetta oikeassa rakennuksessa. Tyypillisesti emissiot lisääntyvät ja voivat myös muuttua kosteuden ja lämpötilan vaikutuksesta. Emissio-ongelmat liittyvät useimmiten kosteuden aiheuttamiin hajoamisreaktioihin, esimerkkinä muovimattopinnoitteinen lattiarakenne.

Tutkimuksissa on todettu, että hyvä sisäilman laatu kemiallisten päästöjen ja hajujen osalta saavutetaan kun käytetään M1-luokiteltuja materiaaleja. Vähäpäästöiset materiaalit eivät kuitenkaan yksinään riitä vaan lisäksi rakennusaikaisen kosteuden hallinta pitää olla kunnossa ja ilmanvaihdon tulee olla riittävän tehokas erityisesti ensimmäisien käyttökuukausien aikana.

Uuden rakennuksen sisäilman laatutason varmentamiseksi tärkeät kohdat ovat:

- **Materiaaliemissioiden hallinta**
 - Valitaan vähäpäästöiset (luokitellut) materiaalit ja kalusteet
 - Valitaan toimivat materiaaliyhdistelmät ja -järjestelmät
 - Käytössä ja ylläpidossa noudatetaan erillistä käyttö- ja huolto-ohjetta
- **Varmistetaan rakennusaikainen kosteudenhallinta**
 - Betonilattiarakenteiden ja pinnoitteiden edellyttämiä kuivumisolosuhteita ei aina saavuteta riittävän aikaisin eikä riittävää kuivumisaikaa oteta huomioon rakennusajassa.
- **Varmistetaan toimiva ilmanvaihto**
 - Jatkuva toimiva ja tehostettu ilmanvaihto vähintään puolen vuoden ajan siitä, kun kohde on valmistunut, jotta materiaalien emissiot saadaan poistettua.

1.4 Ilmanvaihto ja muu talotekniikka

Ilmanvaihto on tärkeä sisäilman laadun ylläpitäjä, koska se poistaa ilmasta ylimääräisen kosteuden, hajut ja haitalliset kemialliset epäpuhtaudet riippumatta mistä ne ovat peräisin. Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelu-, toteutus- ja käyttövaiheissa voidaan tehdä virheitä tai vastoin parempaa tietoa tehdä sellaisia päätöksiä tai riskiratkaisuja, jotka heikentävät ilmanvaihdon toimintaedellytyksiä laadukkaasti sisäilman varmistamisessa.

Virheellisesti toimiva ilmanvaihtojärjestelmä voi myös aiheuttaa sisäilmaongelmia. Kokemuksen mukaan tyypillisiä tällaisia ilmanvaihtojärjestelmään liittyviä asioita ovat:

- **Tuloilman epäpuhtaudet ja hajut**
 - Ilmanvaihtojärjestelmän likaantuminen rakentamisen aikana estetään käyttämällä kosteuden- ja puhtaudenhallintasuunnitelmien mukaisia toimintatapoja. Tämä edellyttää työmaakoulutusta ja ainakin vielä nykyisin tiukkaa valvontaa.

- Ilmanvaihtojärjestelmän ulkoilman sisäänottoratkaisujen puutteellisen suunnittelun, toteutuksen ja ylläpidon takia sisäänpuhallettava ilma saattaa sisältää merkittävästi epäpuhtauksia ja aiheuttaa ongelmia.
- Ilmanvaihtojärjestelmän ja konehuoneiden viemärointi on toteutettu niin, että viemärikaasuja pääsee tai voi päästä vikatilanteessa tuloilmaan ja sitä kautta rakennuksen tiloihin.
- Pyörivässä lämmöntalteenotossa epäpuhtaudet voivat siirtyä kondenssiveden ja ilmavuotojen välityksellä poistoilmasta tuloilmaan ja ne voivat aiheuttaa ongelmia tai lisätä sisäilmaongelmaisten rakennusten ongelmia entisestään. Asuinrakennuksissa pyörivä lämmöntalteenotto yhdessä liian pienen ilmanvaihdon kanssa saattaa heikentää kosteuden poistoa merkittävästi. Ilmanvaihtokanaviston eristykset ovat usein puutteellisia ja reititykset ovat riskialttiita. Tästä voi seurata energiatehokkuuden heikkenemisen lisäksi viihtyisyyshaittoja ja kosteuden tiivistymistä rakenteisiin.
- **Puutteellinen ja tehoton ilmanvaihto**
 - Ilmanvaihtojärjestelmä mitoitetaan ahtaaksi, jolloin painehäviöt kasvavat. Tällöin ilmanvaihdon perussäätö vaikeutuu ja ilmavirtojen hallinta heikkenee. Osassa tiloja ilmavirrat jäävät suunniteltua pienemmiksi ja ilmanjako voi olla tehotonta.
 - Ilmanjako tulee suunnitella ilmanvaihdon tehokkuuden ja toimivuuden ehdoilla. Suunnittelijan tulee varmistaa nykyistä paremmin, että tarpeenmukaisesti ohjatuissa ilmanvaihtojärjestelmissä ilmanjaon tehokkuus ei heikkene ilmavirtoja pienennettäessä.
 - Rakennuksen käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto on suunniteltava, toteutettava ja ylläpidettävä niin, että ilma vaihtuu kaikissa tiloissa.
 - Rakennusautomaatiojärjestelmän hyödyntämistä ilmanvaihdon toimivuuden ja sisäilmaston seuraamiseen ja ennakoivaan raportointiin tulee lisätä, jotta huoltohenkilöstöllä voi olla mahdollisuudet hyvän sisäilmaston seurantaan.
- **Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamat paine-erot**
 - Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamat suunnittele mattomat paine-erot rakenteiden yli voivat olla merkittävä tekijä epäpuhtauksien kulkeutumisessa. Suurimmat paine-erot syntyvät erillispoistoista ja käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon vaikutuksesta. Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamat hallitsemattomat paine-erot voidaan välttää yksityiskohtaisemmalla ilmavirtojen tasapainon suunnittelulla ja paremmalla ylläpidolla erilaisissa käyttötilanteissa. Erillispoistoja tulee välttää, mikäli näille ei ole vastaavaa koneellista tuloa.
 - Käyttöönottovaiheen mittaukset ja tarkastukset tulee tehdä huolellisesti.
 - Otetaan käyttöön jatkuva ilmavirtojen mittaus ja seuranta, jolloin ilmavirrat pysyvät tasapainossa ja haitalliset paine-erot voidaan välttää.

2. Johdanto

Rakennusten sisäilmaongelmat ovat edelleen valittavan yleisiä. Eduskunnan 2012 teettämän selvityksen mukaan rakennustyyppistä riippuen 3 - 26 % olemassa olevista rakennuksista on kosteus- ja mikrobivaurioituneita. Kokemuksien mukaan ongelmia esiintyy sekä uudiskohteissa että vanhemmassa rakennuskannassa, mutta myös juuri peruskorjatussa rakennuksissa. Tässä selvityksessä keskitytään käytännön kokemuksiin uudehkojen rakennusten sisäilmaongelmista ja niiden syihin sekä mahdollisuuksiin ennalta ehkäistä sisäilmaongelmien syntymistä muun muassa välttämällä riskialttiita ratkaisuja. Rakennushankkeen eri osapuolet ja rakennuksen käyttäjät voivat omalla toiminnallaan edesauttaa laadukkaan sisäilman toteutumisessa.

Sisäilman laatuun liittyvät tekijät voidaan rakennuksissa eritellä yleisellä tasolla seuraaviin kohtiin:

- Rakenteiden epäpuhtaudet, kosteusvauriot rakenteissa ja niiden aiheuttamat mikrobikasvustot sekä rakenteiden puutteet ilmatiivyyden osalta
- Materiaalipäästöt, ml. rakennekosteuden aiheuttamat vauriot esim. muovipinnoitteisessa lattiarakenteessa
- Kuitupäästöt ja muut epäpuhtauslähteet (tuloilma, tilan toiminta, kalusteet jne)
- Ilmanvaihdon toimivuuden ongelmat

Edellä esitetyistä rakenteen kosteusvauriot ja niiden aiheuttama mikrobikasvusto on yksi yleisimmistä sisäilmaoireita ja -valituksia aiheuttavista tekijöistä (kuva 1). Ilmanvaihdon toimivuus on toinen tärkeä tekijä missä havaitaan puutteita. Vikoja löytyy sekä suunnitelmassa, toteutuksessa että käytön aikaisessa toiminnassa ja ylläpidossa. Kemialliset epäpuhtaudet ovat kohtuullisen pieni sisäilmaongelmien aiheuttaja, koska vähäpäästöisiä materiaaleja on ollut markkinoilla jo yli 20 vuotta. Kemikaalilyherkille kemialliset epäpuhtaudet voivat kuitenkin olla merkittävä haitta. Uusien materiaalien ja niissä käytettyjen uusien kemikaalien takia uusia ongelmia voi tulla tulevaisuudessa. Valvonnan siirtyessä yhä enemmän markkina- ja valvonnaksi rakentajien vastuu materiaalivalinnoissa korostuu.

Sisäilman laadun varmistamiseksi on panostettu paljon viimeisen yli 20 vuoden aikana. Seuraavassa on esitetty lyhyesti hankkeista:

Sisäilmastoluokitus. Sisäilmayhdistyksen ensimmäisen kerran vuonna 1995 julkaisema vapaaehtoinen ohje suunnitteluun. Määrittelee sisäilmastoluokat S1-S3. Sisältää myös päästövaatimukset rakennusmateriaaleille. Ei sisällä selviä ohjeita käytäntöön tai toteutuneen hankkeen seurantaan.

Tekesin Terve talo -teknologiaohjelma (1998 - 2002).

Betonirakenteiden päällystämisen ohjeistus (TEKES-hanke), jonka päätteeksi betoniteollisuus ja lattianpäällystysala julkaisivat betonirakenteiden päällystysohjeen ja oppikirjan lattiarakenteiden kosteudenhallinnalle.

RIL:in vuoden 2011 julkaisu ”Kosteudenhallinta ja homevaurion estäminen” on ensimmäinen koko rakentamisprosessin kosteudenhallintaan pureutuva yleisteos ja sen opeilla on vihdoin siirrytty sanoista tekoihin. Julkaisu mm. esitti selvän mallin kosteudenhallinnan työn- ja vastuunjaoksi: Hankkeeseen ryhtyvä luo perustan kosteudenhallinnan onnistumiselle ja vastaa siitä. Suunnittelijan tulee huomioida valmiin rakenteen kosteusteknisen toimivuuden lisäksi rakentamisvaiheen kosteushaasteet ja laatia ohjenuorat riskien hallintaan. Urakoitsija laatii hankkeelle rakentamisen edetessä tarkentuvan kosteudenhallintasuunnitelman ja

sitouttaa aliurakoitsijansakin suunnitelman mukaiseen tarkoin dokumentoitavaan toteutukseen

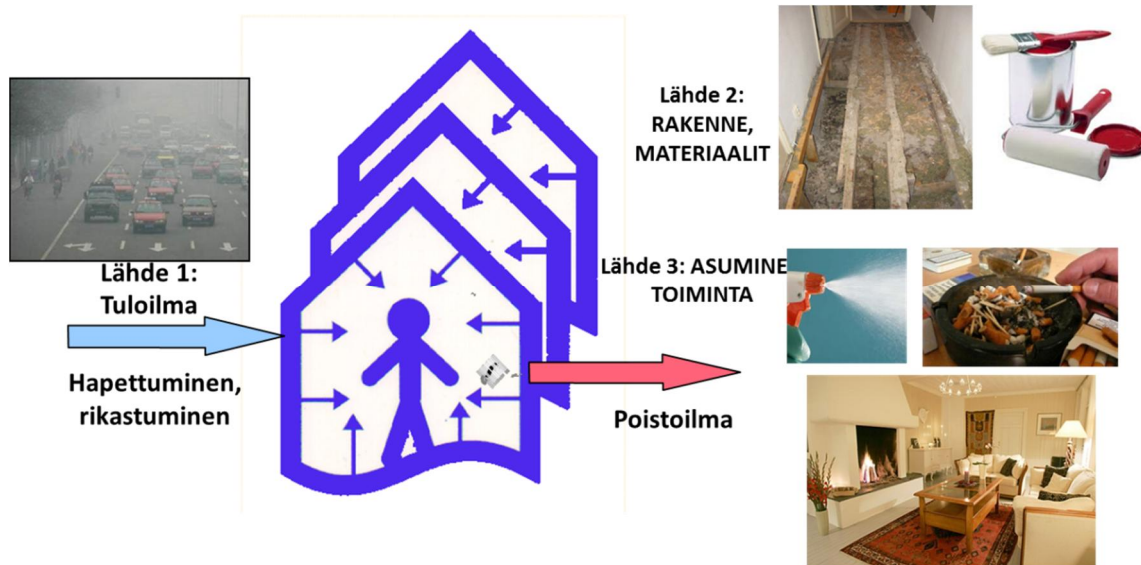
Ympäristöministeriön Hometalkoot selvitti tavanomaisempia kosteusvaurioita ja työryhmien tuloksilla maankäyttö- ja rakennuslaki tarkentui 2013 – 2014 ja asetuksiin sisällytettiin suunnittelun ja toteutuksen vaativuusluokat vuonna 2015. www.hometalkoot.fi.

Rakentamisen kosteudenhallinnassa on tehty paljon kehityshankkeita ja käytännön tekemisessä on tapahtunut merkittävää kehitystä. Esimerkiksi Kuivaketju 10 -toimintamallissa, Oulun rakennusvalvonnan ja Ympäristöministeriön yhteistyöprojekti 2014 - 2016 Hankkeessa kehitetty lista keskeisimmistä kosteudenhallinnan riskeistä ja toimintamalli kosteudenhallinnalle rakennusprosessiin.

Sivusto kosteudenhallinta.fi: infosivusto kosteudenhallinnasta laatijana Ympäristöministeriö, RT teollisuus, Tampereen teknillinen yliopisto, mittaviiva Oy.

Kuivana rakentamisen opas. Talonrakennusteollisuus ry:n 2016 julkaisema opas.

Lattiarakenteen kokonaistoimivuus emissioiden kannalta -hanke (Tampereen teknillisen yliopiston ja rakennusteollisuuden yhteishanke (aloitettu 2016).



SISÄILMASTO = SISÄILMAN FYSIKAALISET TEKIJÄT + SISÄILMAN LAATU
SISÄILMAN LAATU = LÄHTEET + ILMANVAIHTO + SORPTIO

Kuva 1. Hyvän sisäilmaston tekemiseen vaikuttavat kaikki rakennushankkeessa mukana olevat ja rakennuksen käyttäjät. Sisäilmaston lopulliseen laatuun vaikuttavat myös lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteet, rakennusmateriaalit sekä rakennuksen käyttö- ja kunnossapito.

3. Rakenteet ja sisäilman laatu

3.1 Alapohjarakenteet ja maanvastaiset rakenteet

3.1.1 Rakenteen toiminta

Alapohjarakenteet ja maanvastaiset seinärakenteet erottavat rakennuksen sisätilat nimensä mukaisesti maasta. Rakenteita ympäröivä maa aiheuttaa näille rakenteille merkittävimmän kosteusrasituksen. Rakenteiden kosteustekninen toiminta varmistetaan estämällä sade-, sulamis- ja muiden vapaiden vesien kulkeutuminen haitallisessa määrin rakenteisiin. Lisäksi huolehditaan muun muassa lämmöneristyksellä, että kosteus ei tunkeudu vesihöyrynä haitallisessa määrin rakenteisiin. Toimivasta vedenohjauksesta huolimatta rakennuksen maanvastaisia rakenteita ympäröivien maa-ainekerrosten (esim. sepeli) ja maan sisällä olevan ilman (huokosilman) suhteellinen kosteus voi tavanomaisesti olla korkea (100 RH-%).

Maassa on kaasua- ja hiukkasmaisia epäpuhtauksia, kuten mikrobeja ja radonia, joiden kulkeutuminen sisäilmaan pitäisi pyrkiä estämään suunnittelemalla ja toteuttamalla rakenteet ilmatiiviiksi. Rakenteen ilmatiiviyden varmistamiseksi olennaista on erityisesti rakenteen liitoskohtien ja läpivientien suunnitteleminen ja toteuttaminen ilmatiiviiksi.

Maanvastaisten rakenteiden rakennekosteus voi aiheuttaa merkittävää kosteusrasitusta rakenteiden pinnoitteille ja niihin kosketuksissa oleville vähemmän kosteutta kestäville materiaaleille. Rakenne tulee suunnitella ja toteuttaa niin, että rakennekosteus pääsee poistumaan rakenteesta haittaa aiheuttamatta.

3.1.2 Ongelmien syntymisen edellytykset

Rakenteiden ilmatiiviyden merkittävyys on tiedossa, asiasta on julkaistu monia oppaita ja asia on esitetty määräyksissä lähtökohtana se, että epäpuhtauksia maasta ei kulkeudu haitallisessa määrin sisäilmaan. Toisaalta rakennuksen ilmavuotoluku (q_{50}), joka kuvaa rakenteiden ilmanpitävyyttä, on usein uusissa rakennuksissa suunnitteluvaiheessa voinut olla $< 4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Myös uusissa tai raskaasti korjatuissa rakennuksissa on havaittu, että rakenteen ilmatiiviyttä ei suunnitella yksityiskohtaisesti ja toteuteta huolellisesti maanvastaisten rakenteiden osalta, jolloin suuri osa tilaan tulevasta vuotoilmasta voi olla maaperästä lähtöisin. Vuotoilman mukana sisäilmaan voi päästä haitallisessa määrin epäpuhtauksia. Alapohjasta tulevien epäpuhtauksien haitallisen määrän arvioiminen käytännön tapauksissa voi usein nousta kynnyskysymykseksi, kun tilassa on käyttäjiä, jotka kokevat sisäilman laadun jostain syystä puutteelliseksi.

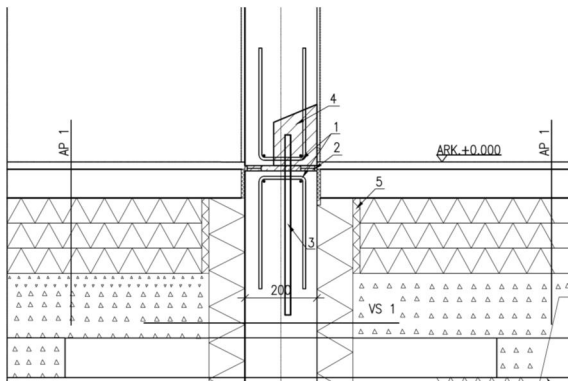
Betonirakenteiden edellyttämä kuivumisaika riippuu rakenteesta, pinnoitteesta, betonin koostumuksesta ja kuivumisolosuhteista. Joidenkin rakennetyyppien ja etenkin liitosvalujen edellyttämiä kuivumisolosuhteita ei saavuteta riittävän aikaisin eikä pinnoitteiden vaatimaa kuivumisaikaa oteta huomioon. Tavoitteellisten kuivumisolosuhteiden luominen saattaa etenkin alapohjarakenteille olla haastavaa.

3.1.3 Käytännön kokemuksia

Maanvarainen betonilaatta valetaan perusmuuria tai kantavia seinärakenteita vasten ilman erikseen suunniteltua tiivistämistä (esim. bitumikermiä). Rakenteiden rajapintaan syntyy irrotuskaistan ja kuivumiskutistuman seurauksena sauma, jonka kautta maaperästä on ilmayhteys sisäilmaan. Lattiapinnoitteen asentamisella ei paranneta rajapinnan tiiveyttä, ja maaperän epäpuhtauksia voi kulkeutua sisäilmaan. Radon kaasun määrän mittaaminen sisäilmasta on yksiselitteistä, mutta hiukkasmaisten epäpuhtauksien määrän ja haitallisuuden arviointi on vaikeaa. Kun sisäilman laatua epäillään, on tämä yksi poissuljettavista asioista. (kuvat 2 - 4)

Maanvastaisten betonirakenteiden ja pinnoitteiden edellyttämää kuivumisolosuhteita ja -aikaa ei saavuteta eikä riittävään kuivumiseen osata varata tarvittavaa aikaa. Rakenteen kuivumista seurataan mittauksin, mutta niitä ei aina osata kohdistaa rakenteen kriittisiin kohtiin. Tämä koskee myös muita lattiarakenteita.

Maanvastaisten rakenteiden kosteustekniikkaan liittyvät ominaispiirteet ovat yleisesti melko hyvin tiedossa. Kuitenkin ryömintätilan olosuhteista on havaittu toisinaan käytännön kohteissa näkemyksiä, joista osan mukaan mm. ryömintätilan ilman suhteellinen kosteus tulisi olla aina tietyn rajan alla riippumatta rakennetyypeistä ja käytetyistä rakennusmateriaaleista. Ongelmatapauksien selvityksissä suuret näkökulmaerot hämmentävät etenkin asiaan perehtymättömiä rakennuksen käyttäjiä.



Kuva 2. Maanvaraisen betonilaatan liitoksien ilmatiiviyttä ei suunnitella yksityiskohtaisesti.

Kuva 3. Maanvarainen betonilaatta valetaan perusmuuria tai kantavia seinärakenteita vasten ilman erikseen suunniteltua tiivistämistä (esim. bitumikermiä)



Kuva 4. Maanvarainen betonilaatta valetaan perusmuuria tai kantavia seinärakenteita vasten ilman erikseen suunniteltua tiivistämistä (esim. bitumikermiä)

3.1.4 Vaikutusmahdollisuudet rakennushankkeen eri vaiheissa

Laaditaan yksityiskohtaiset suunnitelmat rakenteiden liittymien ja läpivientien tiivistämisestä ja varataan toteutuksen vaatima tila työskentelylle. Työt toteutetaan huolellisesti (vrt. palokatkojen tekeminen ja merkintä) ja lopputulos varmistetaan laadunvarmistustoimenpitein,

joita voivat olla esimerkiksi yksityiskohtaiset tarkastuslistat suunnittelu- ja toteutusvaiheessa ja ilmatiiviiden testaaminen merkkiaineita käyttäen.

Betonirakenteiden edellyttämien kuivumisaikojen realistiset arviot tehdään jo hankesuunnitteluvaiheessa, jolloin voidaan vielä vaikuttaa aikatauluun, pinnoitteisiin ja kosteudenhallinnan toimenpiteisiin. Kosteudenhallintaan liittyy oleellisesti muun muassa riittävien kuivumisolosuhteiden luominen. Kuivumisen seuraamiseksi ja varmistamiseksi tehdään riittävästi kosteusmittauksia myös rakenteen kriittisistä kohdista esimerkiksi liitosvaluista. Tämä koskee myös muita lattiarakenteita.

3.2 Ulkoseinärakenteet

3.2.1 Rakenteen toiminta

Kosteusteknisesti toimiva ulkoseinärakenne estää ulkoa ja sisältä tulevan kosteuden (mm. vesihöyry) haitallisen tunkeutumisen rakenteeseen ja on hyvin lämpöä eristävä. Merkittäviä määriä kosteutta voi kosteusteknisesti heikosti toimivaan seinärakenteeseen kulkeutua etenkin vesi- ja lumisateena. Ulkoseinärakenne tulisi suunnitella ja toteuttaa siten, että seinän ulko-osa (julkisivupinta, tuuletusväli ja tuulensuoja) liittymineen on myrskysateenpitävä ja seinärakenteen tulee olla kuivumiskykyinen. Ulkoseinärakenteet, joiden kosteustekninen toimivuus saderasitusta vastaan perustuu liitoskohdissa merkittävästi saumamassoihin, ovat herkkiä rakenteessa tapahtuville muodonmuutoksille tai tuotantovaiheessa tapahtuville työvirheille. Rakenteen kosteusrasitus lisääntyy, mikäli ulkonäkösysteistä ei julkisivun pintaa voida muotoilla niin, että vähennetään viistosateen aiheuttamaa veden määrää rakenteen pinnalla.

Merkittäviä määriä kosteusrasitusta ulkoseinärakenteelle kohdistuu rakennusvaiheessa, joka pitää hallita huolellisella rakennusaikaisella kosteudenhallinnalla. Rakentamisen aikainen kosteudenhallinta ulkoseinärakenteissa on otettava jo aikaisessa vaiheessa huomioon, jotta voidaan tehdä päätöksiä sääsuojauksen tarpeenmukaisuudesta ja toteutustavoista sekä vaikuttaa kosteudelle herkempien materiaalien asennusaikaan sekä tarvittaessa korvata runkovaiheessa nämä materiaalit sellaisilla, joihin kosteudesta ei aiheudu haittaa.

3.2.2 Ongelman syntyminen edellytykset

Ulkoseinärakenteen kosteusteknisen toiminta perustuu merkittävästi julkisivupinnan sateenpitävyyteen. Sateenpitävyys on toteutettu heikosti, jos vedenpitävyys on pääosin puutteellisesti suunniteltujen ja toteutettujen elastisten saumamassojen ja pellitysten varassa eikä ensisijaisesti rakenteellisin keinoin. Rakenteessa tapahtuvat muodonmuutokset voivat lyhyelläkin aikavälillä heikentää ulkoseinän sateenpitävyyttä ja tuotantovaiheelta edellytetään erityistä huolellisuutta. Vedentunkeutumista syvemmälle rakenteeseen ei ole riittävästi estetty ja rakenteen kuivumiskyky on samalla heikko, jolloin pienetkin raot julkisivupinnan tiivistyksissä näkyä vesivuotoina rakenteen sisäpuolella. Vuotavissa sauma- ja liitoskohdissa voi olla usein myös ulkovaipan ilmatiiviin kerroksen sauma- ja liitoskohtia, jolloin niiden ilmatiiviydellä on vaikutusta sisäilman laadun kannalta. Rakennesuunnittelija ei välttämättä suunnitteluvaiheessa saa kommentteja esitettyihin ratkaisuihin, mutta rakennus- tai käyttövaiheessa on toteutettuja ratkaisuja helpompi kommentoida, mikäli ongelmia on ilmaantunut.

Rakennusaikaista kosteudenhallintaa liittyen ulkoseiniin ei oteta huomioon riittävän tarkasti jo hankkeen alkuvaiheessa, jolloin tieto sääsuojauksen tarpeenmukaisuudesta ja toteutustavoista ja sen vaikutuksista tuotantotekniikkaan voivat tulla liian myöhään eikä niitä pystytä tekemään tehokkaasti ja luotettavasti. Tällöin käytännön tekemisessä voi olla epäselvää, milloin materiaali on haitallisesti kastunut ja minkälainen suojaustapa on riittävän luotettava. Lisäksi toimintamalleista huolimatta voi olla epäselvää miten haitallisesti kastunut materiaali määritetään hektisessä rakentamisvaiheessa, ellei niistä ole etukäteen tehty alustavia toimenpidesuunnitelmia. Miten ja mistä kosteus määritetään tai mitataan, mitkä

ovat toimenpiteet ja kriteerit toimenpiteille. Rakennusmateriaalien puhtaudesta ei huolehdita kuljetuksen, varastoinnin ja asennuksen aikana.

3.2.3 Käytännön kokemuksia

Lasirakenteisessa ulkoseinärakenteessa on välipohjien kohdalla vettä kerääviä julkisivun ulkonäköön vaikuttavia vaakarakenteita. Ulkoseinärakenteen vesitiiviys on merkittävästi ohuiden elastisten saumamassojen varassa myös vaakarakenteiden kohdalla. Julkisivussa olevan rakenteen muodonmuutokset lämpötilasta johtuen aiheuttavat sen, että elastisella massalla tiivistettyyn saumaan tulee rakoja hyvin lyhyen käyttöiän aikana. Ulkoseinärakenne ei julkisivurakenteen takana ole kuivumiskykyinen, jolloin rakenteeseen päässyt vesi ei pääse hallitusti ulos ja kuivumaan riittävän nopeasti. (kuva 5)

Betonirakenteisen ulkoseinärakenteen ikkunanauhan yläreunan liitoksen ja muiden ikkunaliitosten sateenpitävyys on merkittävästi saumamassan varassa. Julkisivussa olevan rakenteen muodonmuutokset lämpötilasta johtuen aiheuttavat sen, että elastisella massalla tiivistettyyn saumaan tulee rakoja lyhyen käyttöiän aikana. Sadevesi tunkeutuu syvemmälle ulkoseinärakenteeseen (mineraalivillaan ja betoniseen sisäkuoreen) ja tulee ilmi rakenteen sisäpinnalla pinnoiteauriona.

Betonirakenteisen ulkoseinärakenne lattiapinnan tasolta lähtevät ikkunoiden kohdassa ohjaa julkisivupintaa valuvan sadeveden ulkoseinä- ja perusmuurin liitosrakenteeseen. Sadevesi ohjataan ulos rakenteesta vesipellin ja sen asennuksessa käytettyjen elastisten saumamassojen avulla. Ikkunoiden kohdalla ulkoseinärakenteen toiminta on merkittävästi vesipellin ja sen liitosten varassa ja rakenteella on heikko kuivumiskyky, jolloin pienetkin vuodot vesipelleissä voivat aiheuttaa rakenteen merkittävää vikaantumista. (kuva 6)

Ulkoseinärakenteet tai esivalmistetut elementit voivat kastua kuljetuksen, välivarastoinnin tai asennuksen aikana ennen lopullisen rakenteen valmistumista. Rakennusvaiheessa pääosin betonirakenteisen rakennuksen puurakenteiset ulkoseinät ja esivalmistetut elementit kastuvat holville kerääntyvän ja ulkoseinälle ohjautuvan sadeveden vuoksi. Haitallisten kastumisen määrittäminen rakennusvaiheessa voi olla haastavaa ja kuivaamisen ja muiden toimenpiteiden suunnittelu ja toteuttaminen työlästä.



Kuva 5. Ulkoseinärakenteen vesitiiviys on merkittävästi ohuiden elastisten saumamassojen varassa ja rakenteen kuivumiskyky on heikko.

Kuva 6. Ulkoseinärakenteen toiminta on merkittävästi vesipellin ja sen liitosten varassa ja rakenteella on heikko kuivumiskyky, jolloin pienetkin vuodot vesipelleissä voivat aiheuttaa rakenteen merkittävää vikaantumista. Vesipeltiä ei ole kuvassa vielä asennettu.

3.2.4 Vaikutusmahdollisuudet rakennushankkeen eri vaiheissa

Julkisivupinnan sateenpitävyys ja ulkoseinärakenteen kuivumiskyky tulee varmistaa yksityiskohtaisilla suunnitelmilla ja huolellisella toteutuksella. Kosteusteknisten riskien vähentämiseksi on suositeltavaa pyrkiä tekemään julkisivupinnan yksityiskohtien muotoilu niin, että vesi ohjautuu ulospäin rakenteesta. Yksityiskohtaisia suunnitelmia voidaan arvioida erilaisten kosteusteknisten riskiarvioiden avulla ja niiden toteutettavuutta työn toteuttajien kanssa. Kosteusteknisen toimivuuden kannalta riskialttiita työvaiheita voidaan arvioida esimerkiksi yhden mallityön avulla ja työn suoritusta voidaan seurata esimerkiksi riskiarviossa laaditun tarkistuslistan mukaisesti. Liitoskohtien ja saumojen kunnon tarkastus ohjeistetaan tuleville käyttäjille ja huoltohenkilökunnalle, joka huolehtii, että tarvittavat korjaustyöt tehdään riittävän usein.

Rakentamisaikainen kosteudenhallinta ja tarpeenmukainen sääsuojaus suunnitellaan riittävän ajoissa ja arvioidaan rakennusajan riittävyttä rakennekosteuden poistumisen ja muun kosteudenhallinnan näkökulmasta rakennushankkeen eri osapuolien kesken. Tällöin voidaan myös betonisten ulkoseinärakenteiden riittävän kuivumisen kannalta tehdä riittävän ajoissa valintoja pinnoitemateriaaleissa sekä määrittää tavoitteiden mukaisia kuivumisolosuhteita sekä ulkoseinärakenteiden sääsuojausta.

3.3 Yläpohjarakenteet ja vesikatto

3.3.1 Rakenteen toiminta

Kosteusteknisesti toimivan yläpohjarakenteen ja vesikaton tehtävänä on yksinkertaistetusti estää sadeveden pääsy rakenteisiin ja johtaa se hallitusti ulos rakennuksesta, estää myös muun kosteuden haitallisen tunkeutuminen sisä- ja ulkopuolelta rakenteeseen. Kosteusteknisesti toimiva tuulettuva yläpohjarakenne tuulettuu oikein ja on hyvin lämpöä eristävä ja estää ilmavirtaukset yläpohjarakenteen läpi. Uudisrakennuksessa toimiva yläpohjarakenne ja vesikatto eroavat heikommin toimivista erityisesti rakenteiden liitoskohdissa ja läpivienneissä.

Rakentamisen aikana vesikaton ja yläpohjan tehtävää on hoidettava rakentamisen aikaisella kosteudenhallinnalla, jossa etenkin vesi- ja lumisateena tuleva kosteusrasitus on otettava huomioon. Rakentamisen aikainen kosteudenhallinta on otettava jo aikaisessa vaiheessa huomioon, jotta voidaan tehdä päätöksiä sääsuojauksen tarpeenmukaisuudesta ja toteutustavoista sekä vaikuttaa kosteudelle herkempien materiaalien asennusaikaan ja varastointiin sekä tarvittaessa korvata runkovaiheessa nämä materiaalit sellaisilla, joihin kosteudesta ei aiheudu haittaa.

3.3.2 Ongelman syntyminen edellytykset

Etenkin loivien kattojen (ns. tasakattojen) kosteustekninen toimivuus tulee esiin rakenteiden liitoskohdissa ja läpivienneissä. Vesikattoa on haastava saada huolellisesti ja laadukkaasti tehtyä, mikäli vesikatteen läpiviennit ovat liian lähellä toisiaan. Vesikaton läpivientien ja muiden liitoskohtien (mm. kattotasolta alkavien seinärakenteiden liitokset) vesitiiviys on edellytys sille, että vesi ei pääse kulkeutumaan syvemmälle yläpohjarakenteeseen. Yläpohjarakenteen sisäpuolisen höyry- ja ilmatiiviuden varmistaminen samojen läpivientien ja muiden liitoskohtien kohdissa on edellytys sille, että kosteutta ei pääse kertymään yläpohjarakenteeseen. Tällöin haitallisia ilmavirtauksia ei pääse kulkeutumaan yläpohjarakenteen läpi eikä yläpohjarakenteen höyry- ja ilmatiiviin kerroksen ulkopuolella olevien materiaalien emissiot ja muut epäpuhtaudet pääse sisäilmaan. Yläpohjasta tulevien epäpuhtauksien haitallisen määrän arvioiminen käytännön tapauksissa voi usein nousta kynnyskysymykseksi, kun tilassa on käyttäjiä, jotka kokevat sisäilman laadun jostain syystä puutteelliseksi.

Rakennusaikaista kosteudenhallintaa ei aina oteta esivalmistetuissa tilaelementeissä ja muissa kosteudensietokyvyltään erilaisissa materiaaleissa huomioon riittävän tarkasti jo hankkeen alkuvaiheessa. Tällöin tieto tarpeenmukaisen sääsuojauksen toteutustavoista ja sen vaikutuksista tuotantotekniikkaan voivat tulla liian myöhään eikä niitä pystytä tekemään tehokkaasti ja luotettavasti. Esimerkiksi esivalmistetuissa tilaelementeissä voi olla rakennusmateriaaleja, joiden kosteudensietokyky on heikko. Runkovaiheessa kerroksiin nostetut materiaalit voivat olla hyvin herkkiä haitalliselle kastumiselle, mikäli sääsuojaus ei toteudu luotettavasti. Luotettava sääsuojaus tilaelementeissä usein edellyttää sen huomioimista jo elementin suunnitteluvaiheessa. Rakennusmateriaalien puhtaudesta ei huolehdita kuljetuksen, varastoinnin ja asennuksen aikana.

3.3.3 Käytännön kokemuksia

Loivan katon liitoskohtien, kuten kattotasolta alkavien seinärakenteiden liitosten ylösnostojen saumat ovat puutteellisia tai kiinnitykset pettävät joko rakennusaikana tai pian rakennuksen valmistumisen jälkeen, jolloin vesi pääsee kulkeutumaan syvemmälle yläpohjarakenteeseen.

Loivan katon pienikokoisten läpivientien muoto on haastava (suorakaide, kuva 7), jolloin vedeneristystyö edellyttää erityisiä läpivientikappaleita sekä kiristimiä. Läpiviennin muoto vaikeuttaa vedeneristystyötä ja luotettava vedenpitävyyden saavuttaminen vaatii erityisen huolellista työtä eikä läpiviennin vedenpitävyys ole välttämättä pitkäikäinen nurkissa. Pyöreissä läpivienneissä läpivientikappaleen tiiviys onnistuu helpommin vakiolaippoja käyttäen.

Loivan katon TT-laatoilla toteutettu ilmatiiviys on puutteellinen saumakohtissa ja läpivienneissä, jolloin yläpohjarakenteen höyry- ja ilmatiiviin kerroksen ulkopuolella olevien materiaalien emissiot ja muut epäpuhtaudet pääsevät sisäilmaan ja aiheuttavat haju- ja muita haittoja. Lisäksi ilmatiiviyspuute voi aiheuttaa pidemmällä aikavälillä kosteuden kertymisen yläpohjatilaan, mikäli tuuletuksen kosteudensiirtokyky ylittyy.

Esivalmistetut tilaelementit voivat kastua kuljetuksen, välivarastoinnin tai asennuksen aikana ennen lopullisen rakenteen valmistumista. Rakennusvaiheessa pääosin betonirakenteisessa rakennuksessa olevien esivalmistettujen muovilla suojattujen kylpyhuone-elementtien päälle ohjautuu holveilta vettä. Tilaelementtejä tai niiden alapuolella olevia kololaattoja ei ole suunniteltu ja toteutettu niin, että vesi ohjautuu pois elementtien päältä ja alta eikä sääsuojausta pystytä erillisillä peitteillä aina tekemään luotettavasti, mikäli tilaelementti asennetaan kantaviin seinärakenteisiin kiinni. Tilaelementeissä olevien heikon kosteudensietokyvyn omaavien materiaalien kastuminen ja likaantuminen voivat aiheuttavaa vaurioitumisriskin.



Kuva 7. Loivan katon pienikokoisten läpivientien muoto on haastava (suorakaide), jolloin vedeneristystyö edellyttää erityisiä läpivientikappaleita sekä kiristimiä.

3.3.4 Vaikutusmahdollisuudet rakennushankkeen eri vaiheissa

Vesikatteen läpivientien ja ylösnostojen vesitiiviys tulee varmistaa yksityiskohtaisilla suunnitelmilla ja huolellisella toteutuksella sekä laadunvarmistustoimenpiteillä. Yksityiskohtaisia suunnitelmia voidaan arvioida erilaisten kosteusteknisten riskiarvioiden avulla ja niiden toteutettavuutta työn toteuttajien kanssa. Kosteusteknisen toimivuuden kannalta riskialttiita työvaiheita voidaan arvioida esimerkiksi mallityön avulla ja työn suoritusta voidaan seurata esimerkiksi riskiarviossa laaditun tarkistuslistan mukaisesti. Liitoskohtien ja saumojen kunnon tarkastus ohjeistetaan tuleville käyttäjille ja huoltohenkilökunnalle, joka huolehtii, että tarvittavat huolto- ja korjaustyöt tehdään riittävän usein. Kosteusteknisten riskien vähentämiseksi on suositeltavaa pyrkiä tekemään esimerkiksi läpivientien muotoilu niin, että vesikatteen liitokset voidaan tehdä helpommin vedenpitäviksi ja vähemmän huoltoa vaativiksi.

Rakentamisaikainen kosteudenhallinta ja tarpeenmukainen sääsuojaus suunnitellaan riittävän ajoissa ja arvioidaan rakennusajan riittävyttä rakennekosteuden poistumisen ja muun kosteudenhallinnan näkökulmasta rakennushankkeen eri osapuolien kesken. Tällöin voidaan myös betonirakenteisten vaakarakenteiden riittävän kuivumisen kannalta tehdä riittävän ajoissa valintoja pinnoitemateriaaleissa sekä määrittää tavoitteiden mukaisia kuivumisolosuhteita sekä sääsuojauksia holveilla sekä esivalmistetuille tilaelementeille.

4. Kemialliset epäpuhtaudet ja hajut

4.1 Ongelman kuvaus

Rakennusmateriaalit sisältävät kemiallisia yhdisteitä, jotka voivat haihtua/ emittoitua sisäilmaan. Ainostaan lasia, tiiltä ja terästä voidaan pitää emissiovapaina. Orgaaniset haihtuvat yhdisteet (VOC) koostuu kemiallisesti eri yhdisteryhmistä ja tyypillisesti emissiot lisääntyvät kosteuden ja lämpötilan vaikutuksesta. Esimerkkinä nykyisin syöpävaaralliseksi luokiteltu formaldehydi, jota muodostui lastulevyjen ureaformaldehydiliiman hajotessa kosteuden vaikutuksesta. Myös ammoniakkia on pidetty kosteuden aiheuttaman hajoamisen indikaattoriyhdisteenä, mm. 80-luvulla tasoitteissa käytetty kaseiini hajosi kosteuden vaikutuksesta muodostaen ammoniakkia ja hajuhaittaa aiheuttavia rikkiyhdisteitä. Tyypillisiä emissio-ongelmia ovat mm.

- Muovimattopinnoitteisen lattiarakenteen hajoaminen liiallisen kosteuden vaikutuksesta (kuva 8)
- Mineraalivillojen kosteusvauriot - villojen sideaineet (hartsit) hajoavat
- Vanhat materiaalit korjauskohteissa – kemiallisesti poikkeavia nykyisiin materiaaleihin verrattuna - esimerkiksi lämmöneristeet, kosteudeneristeet
- Valmistusprosessiin virheet/ virhearviointit-
- Tasoitteen kaseiinin hajoaminen kosteuden vaikutuksesta
- Otsonoinnin (hajunpoisto vesivahingon yhteydessä) aiheuttamat emissiovauriot
- Huonekalut, kalusteet, usein tuotu EU:n ulkopuolelta
- Muut kuluttajatuotteet esim. patjat



Kuva 8. Rakennusmateriaalien päästöjä alettiin tutkia 70-luvulla jolloin lastulevyjen liima-aine ureaformaldehydihartsit hajosi kosteuden vaikutuksesta. Nykyisin emissio-ongelmat on liitetty pääasiassa muovimattopinnoitteiseen lattiarakenteeseen.

Tuotekehityksessä on emissio-ominaisuuksiin kiinnitetty enenevässä määrin huomiota materiaalin asennuksen kannalta merkittävien tekijöiden rinnalla. Emissiomittausmenetelmät on standardisoitu ja päästöjen vähentämiseksi on laadittu luokitusjärjestelmiä. Suomalainen, vapaaehtoinen M1- järjestelmä (kuva 9) käsittää nykyisin kaikki rakennustuoteryhmät ja kalusteet sekä pehmustetut, tekstiilipintaiset työtuolit. Emissiovaatimukset (VOC, formaldehydi) ovat tulossa osaksi rakennustuotteiden CE-merkintää (kuva 10). Testistandardi EN16516 on julkaistu mutta suoritustason ilmoitustasoista (päästöluokat) ja AVCP luokista ei vielä ole päätetty jäsenvaltioiden kesken. Luokitusmittaus tehdään 4 viikkoa vakio-olosuhteissa (LT, RH, IVK) vanhennetulle, yksittäiselle tuotteelle. Luokitusmittaus ei kuvaa päästöjä oikeassa rakenteessa vaan on osoitus yksittäisen tuotteen alhaisesta emissiotasosta. Luokitusmittauksessa yksittäiset VOC- yhdisteet arvioidaan nk. LCI-arvon kautta, joka on Euroopan tasolla sovittu ”kiinnostava alin pitoisuus terveysvaikutusten kannalta” (eng. Lowest Concentration of Interest). M1-mittaus ei yksinään takaa sitä että Asumisterveysasetuksessa annetut raja-arvot yksittäisille VOC-yhdisteille (2-etyyliheksanoli, TXIB ja styreeni) alittuvat. Oikeassa rakenteessa voi yksittäinen materiaali olla osa rakennetta (esim. askeläänieriste, liima) joka ei M1-mittauksen tapaan tuuletu 4 viikkoa ennen asennusta. Tällöin rakenteesta mitattu, M1-luokitellun tuotteen emissio voi olla luokitusraja-arvoa korkeampi. Jos tällainen rakenne ei ole ilmatiivis, niin yhdisteitä voi kulkeutua sisäilmaan.

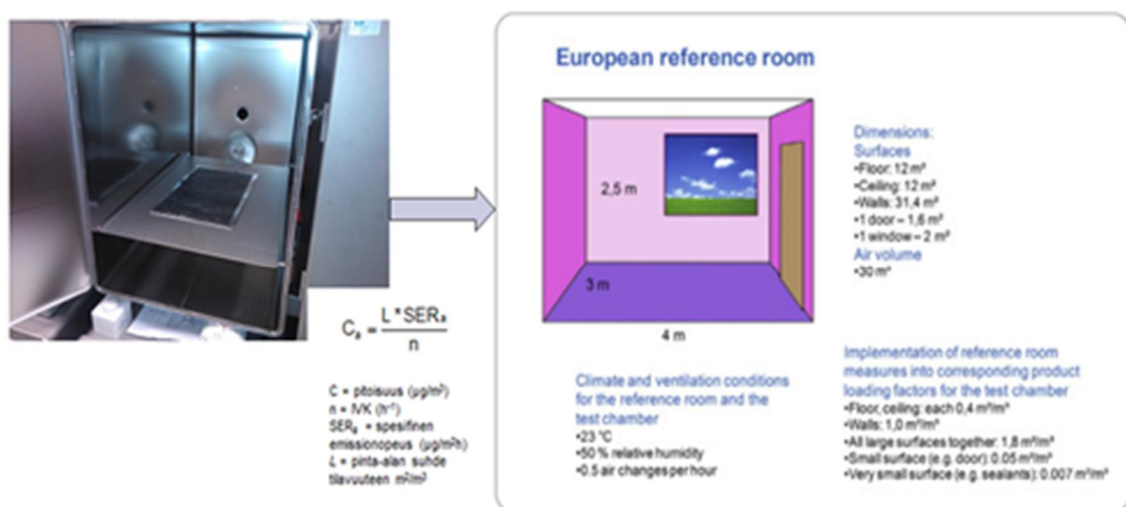
Sisäilmastoluokitus 2008: Rakennusmateriaalien päästöluokitus



Luokkaan M1 kuuluvat emissiotestatut materiaalit, joiden epäpuhtauspäästöt täyttävät seuraavat vaatimukset korkeintaan 4 viikon vanhennuksen jälkeen:

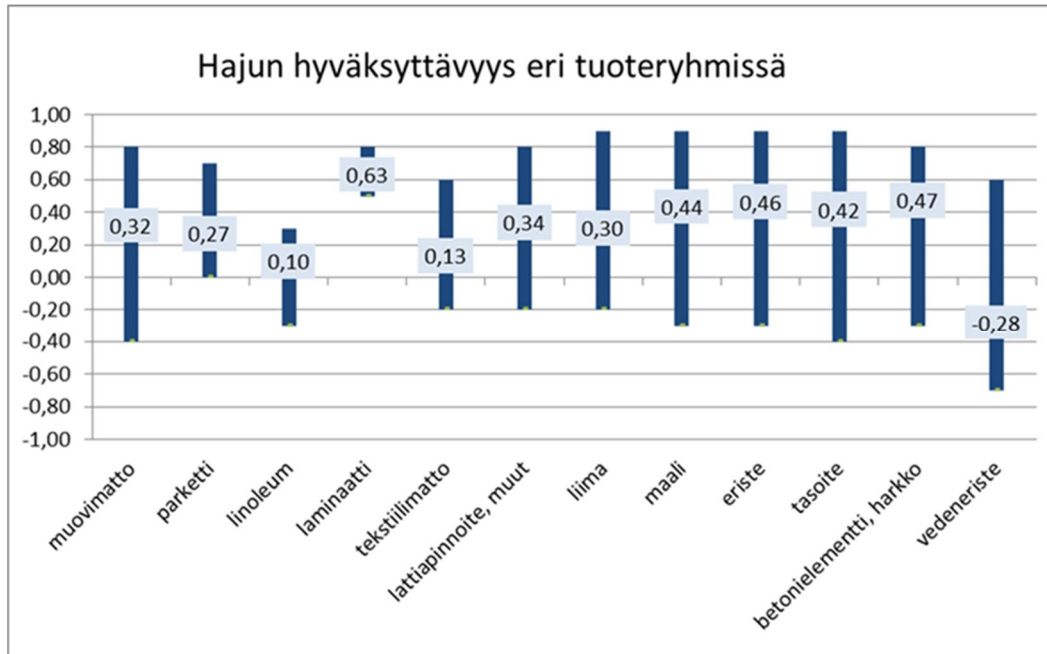
- Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden TVOC kokonaisemissio < 200 µg/m²h
- Formaldehydin emissio < 50 µg/m²h
- Ammoniakin emissio < 30 µg/m²h
- IARC:n luokittelun mukaisten luokkaan 1 kuuluvien karsinogeenisten aineiden emissio < 5 µg/m²h
- Haju ei haise

Kuva 9. M1-luokiteltujen tuotteiden kriteerit.



Kuva 10. Tulevaisuudessa emissiot tulevat osaksi rakennusmateriaalien CE-merkintää. Tulokset ilmoitetaan nk. mallihuonepitoisuutena.

VOC- analyysin osalta on hyvä huomioida, että se on rajattu erityisesti hajujen analyysin osalta. Rakennusmateriaalien päästömittauksessa on tämän vuoksi käytössä erillinen aistinvarainen arviointi kemiallisten mittausten lisäksi. VTT:n kokemuksen mukaan tuoteryhmien välillä on hajontaa hajun hyväksyttävyyden osalta. Erityisen suuri hajonta on todettu eri lattiapinnoitteiden välillä (kuva 11).



Kuva 11. Hajun hyväksyttävyys vaihtelee eri tuoteryhmissä (<0 haju ei ole hyväksytty sisäilman laadun kannalta).

Edellä esitetyn perusteella kemiallisia yhdisteitä on aina rakennuksissa lähtökohtaisesti, jolloin olennaista on hallita niiden vaikutusta sisäilmaan. Rakentamisen ja käytön aikana voi kosteuden vaikutuksesta syntyä vauriotilanteessa uusia yhdisteitä, hajoamistuotteita, jotka usein johtavat oireillun (kuva 12).

Emissiovauriot uusissa asuinrakennuksissa liittyvät pääasiassa rakennekosteuteen ja erityisesti lattiarakenteeseen. Liian korkea rakennekosteus pinnoitusvaiheessa voi johtaa muovimattojen pehmittimien mm. ftalaattien ja/tai liiman hajoamiseen. Pinnoitteen vesihöyrynläpäisevyys on yksi tärkeä tekijä mikä vaikuttaa kosteusolosuhteeseen. Toisin sanoen ”tiivin” pinnoitteen alla muodostuva kosteus voi joissakin tapauksissa johtaa materiaalin hajoamiseen. Nykyinen ohjeistus ei sisällä kriteerejä vesihöyrynläpäisevyyksille.

Myös linoleumipinnoitteet voivat hajota kosteudelle altistuksesta, jolloin muodostuu orgaanisia happoja. Viime vuosina on kehitetty nk. ftalaattivapaita pinnoitteita, joiden kemialliset päästöt ovat alhaiset. Yleisesti on tärkeää huomioida, että lattiarakenne on kokonaisuus, jossa sen eri komponentit ja niiden ominaisuudet sekä kosteus vaikuttavat kokonaispäästöön. Lattiapinnoitteen lisäksi emissiovaurio ja yleensä myös selvä hajuhaitta voi ilmetä jos eri rakenneosissa esiintyvän mineraalivillan sideaine hajoaa kosteuden vaikutuksesta.

Muovimattoihin liittyvät ongelmat voidaan tarkemmin jaotella seuraaviin tekijöihin: tartuntaongelmat, värjäytymiset ja kemialliset emissiot sisäilmaan.

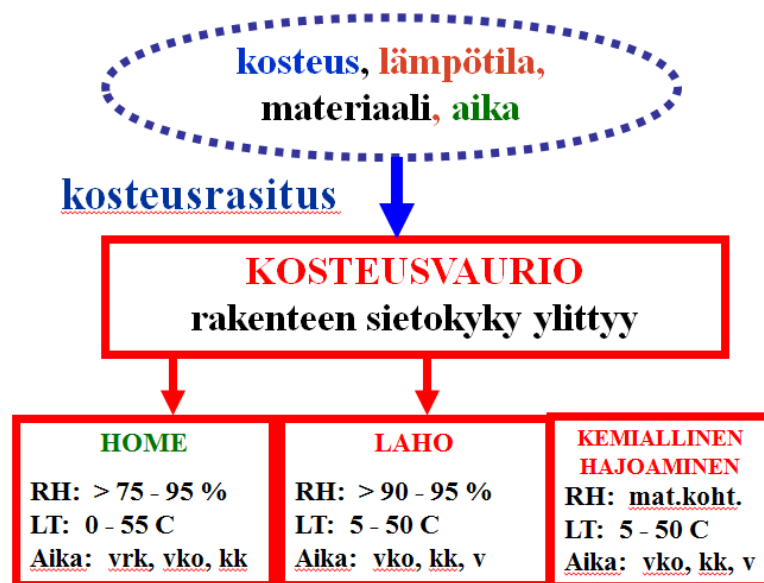
Tartuntaongelmat ilmenevät siten että pinnoite irtoaa alustastaan tavanomaisen käytön aikana. Tyypillisesti kovan kulutuksen alueella (esim. rullaavien työtuolien alla) ongelma ilmenee ensin. Matossa voi myös ilmetä paikoitellen/ laajalti kupruja.

Pinnoitteen värjäytyminen on yleensä helposti havaittavissa eritoten jos sävyeroja esiintyy samalla alueella.

Muovimaton pehmittimen (dietyyliheksyyliftalaatti, DEHP) ja liiman on todettu hajoavan alkalisen kosteuden vaikutuksesta, jolloin syntyy mm. 2-etyyliheksanolipäästöjä sisäilmaan. Yhdisteen on todettu korreloivan sisäilmaoireiden/valitusten kanssa. Myös muiden pehmittiminä käytettyjen ftalaattien on todettu hajoavan kosteuden vaikutuksesta muodostaen nk. C9-alkoholeja. Näiden yhdisteiden yhteydestä oireisiin / terveysvaikutuksista ei ole kattavaa tutkimustietoa.

Linoleumipinnoitteet ovat pellavaöljypohjaisia ja niiden on todettu hajoavan liiallisen kosteuden vaikutuksesta. Tällöin muodostuu orgaanisia happoja, jotka voivat aiheuttaa ärsytysoireita. Muovimatosta poiketen linoleumipinnoite ei siedä vesipesua. Linoleumipinnoitteella on suhteellisen vahva ominaisuus, joka voi aiheuttaa viihtyvyyshaittaa ja hajuvalituksia erityisesti sellaisessa tilanteessa kun ilmanvaihto on vähäinen.

Edellä esitetyt muovimaton ongelmat voivat esiintyä samaan aikaan mutta ne voivat myös esiintyä erillisinä ongelmina.



Kuva 12. Rakenteiden materiaalien sietokyky kosteudelle vaihtelee. Vaurioitilanteessa syntyy biologisia ja/tai kemiallisia epäpuhtauksia, jotka voivat kulkeutua sisäilmaan.

4.2 Ongelman syntymisen edellytykset

4.2.1 Yleistä

Muovimatto-ongelmat (ml. linoleumi) sekä muut emissioauriot liittyvät rakennusaikaiseen kosteuteen, tuotteiden yhteensopivuuteen, työvirheeseen tai tuotannon laatuvirheisiin. Lisäksi puutteellinen ilmanvaihto voi johtaa valituksiin (oireita, hajuja). Seuraavassa on esitetty tarkempi erittely emissio-ongelmien synnystä.

4.2.2 Kosteuden vaikutus

Rakenteiden sietokyky kosteudelle vaihtelee ja emissioaurion mahdollisuus kasvaa kun kosteuspitoisuus nousee. Käytännön kokemuksen mukaan selvästi eniten ongelmia esiintyy muovimattopinnoitteisessa lattiarakenteessa.

Lattiarakenteen osalta voidaan todeta seuraavat tekijät:

Hyvin korkea alustan kosteus vaikuttaa yleensä ensisijassa lattiapinnoitteen tartuntaan, ts. pinnoite ja liima eivät pysty muodostamaan adheesiota alustaan.

Pinnoitejärjestelmän kemiallinen hajoamisprosessi vaatii tietyt lähtötekijät: alkalinen kosteus ja kemialliset lähtöyhdisteet muovimatossa/ linoleumissa/ liimassa. Ongelmaan vaikuttavat tekijät rakennekosteuden lisäksi ovat mm.

- Pinnoitteen vesihöyryn ja kaasumaisten yhdisteiden läpäisevyydessä on eroja jolloin
 - kosteusolosuhde pinnoitteen alla vaihtelee
 - VOC- yhdisteiden kulkeutuminen sisäilmaan pinnoitteen läpi vaihtelee
- Tuotteiden (liima, muovimatto) sietokyky kosteudelle
- Tasoitteen tyyppi ja määrä ml. kuivumisaika. Matala-alkalisten tasoitteiden vaikutuksesta ei ole kattavaa tutkimustietoa.

Hajoamisprosessi voi aiheuttaa näkyvän vaurion kuten kupruilua/ värjäytymistä mutta ei kaikissa tapauksissa.

4.2.3 Tuotteiden yhteensopivuus

Tuotteiden huono yhteensopivuus voi johtaa lattiapinnoitteen tartunta- tai emissio-ongelmaan. Jos esimerkiksi lattijärjestelmässä ei ole määritetty tai käytetty pinnoitevalmistajan hyväksymiä tuotteita pinnoitteen alla niin voi esiintyä ongelmia.

4.2.4 Työvirheet

Alustan pölyisyys ennen tasoitteen asentamista lattiarakenteessa johtaa tartuntaongelmiin. Liiman levitystavat, määrät ja liiman ohentaminen vedellä vaikuttavat tartuntaan ja emissioihin. Lattiapinnoitteen asennustekniset tekijät, kuten jyrääminen ja saumaustyö vaikuttavat myös tartuntaan.

4.2.5 Tuotannon laatuvirheet

Tuotannossa voi esiintyä eroja lähtöaineiden osalta, mitkä vaikuttavat esimerkiksi tuotteen väriominaisuuksiin rakenteessa. Yksittäisissä tapauksissa muovimaton pinnoitekerros on puuttunut, jolloin muovimaton alkuemissiot ovat olleet korkeat. Tuotteissa voidaan myös käyttää lisäaineita, joiden päästöjä ei osata ennakoida ennen kuin tuote on osa rakennetta. Esimerkkinä 2010-luvulla yhdessä pohjamaalituotteesta todettiin TXIB-yhdistettä, jonka emissiotaso yhdistettynä pintamaalin asennukseen tuotteen päälle ja toimimattomaan ilmanvaihtoon aiheutti Asumisterveysasetuksen ylittäviä sisäilman pitoisuustasoja.

4.3 Vaikutusmahdollisuudet rakennushankkeen eri vaiheissa

4.3.1 Yleistä

Tutkimuksissa on todettu, että hyvä sisäilman laatu kemiallisten päästöjen ja hajujen osalta saavutetaan kun käytetään M1-luokiteltuja materiaaleja. Vähäpäästöiset materiaalit eivät kuitenkaan yksinään riitä vaan lisäksi rakennusaikaisen kosteuden hallinta pitää olla kunnossa ja ilmanvaihdon tulee olla riittävän tehokas erityisesti ensimmäisien käyttökuukausien aikana. Uuden rakennuksen sisäilman laatutason varmentamiseksi tärkeät kohdat ovat:

- Valitaan vähäpäästöiset (luokitellut) materiaalit ja yhdistelmät/ järjestelmät
- Varmistetaan rakennusaikainen kosteudenhallinta
- Varmistetaan toimiva ilmanvaihto, joka on jatkuvatoiminen ja tehostettu vähintään puolen vuoden ajan kun kohde on valmistunut

Yleisellä tasolla emissioauriot (rakenteen tekninen vaurio) vältetään hallitsemalla rakennusaikaista kosteutta. Lattiavaurion ehkäisyyn kannalta voidaan eritellä seuraavat kohdat:

- Tuotteet (pinnoite, liima, tasoite) valitaan niin että ne toimivat yhdessä vallitsevissa kosteusolosuhteessa.
- Varmistetaan asennuksen riittävän tarkka ohjeistus ml. ladunvarmistussuunnitelma

4.3.2 Tilaus- ja suunnitteluvaihe

Tilaaajan tulisi asettaa laatuvaatimus kosteudenhallinnalle ja erityisesti rakenteen ja pinnoitteen asennukselle.

Valitaan toimiva rakenne- ja lattiapinnoite rakennetyypin ja prosessin sekä kiinteistön käyttötavan mukaan. Lattiapinnoitejärjestelmän asennuksen laadunvarmistukselle laaditaan erillinen vaatimus.

Ilmanvaihdon merkitys epäpuhtauksien hallintaan uusissa rakennuksissa on merkittävä. Käytönäkainen ilmanvaihdon vähentäminen/ sulkeminen on riski sisäilman laadun kannalta ja voi koitua tilaaajan tai kiinteistön omistajan ja urakoitsijan vastuulle ellei sitä suunnitella ja sopia etukäteen. Samoin kalustaminen ja siitä aiheutuvat päästöt tai hajut on hyvä tiedostaa jo tilausvaiheessa.

Suunnittelu määrittää rakenteen (esim. lattiapinnoitejärjestelmän), jonka tulisi olla toimiva käyttötarkoitukseen (oikea tuote oikeaan rakenteeseen). Tarvittaessa konsultoidaan alan erityisasiantuntijaa.

4.3.3 Toteutusvaihe

Rakennustyön valvoja (tilaajaa edustava) tiedostaa emissioriskit, valvoo kosteudenhallinnan toteutumista ja vaatii tarvittaessa lisätestit. Lattiapinnoitejärjestelmän osalta eri tuotevalmistajat kehittävät yhteistyössä mittauksin toimiviksi todennetut järjestelmät. Tuotevalmistajan tulee tuntea tuotteensa päästöt eri olosuhteissa.

Toteutukselle laaditaan tuotteen tai pinnoitejärjestelmän asennuksen ohjeistus sisältäen laadunvarmistussuunnitelman, jota urakoitsijaa sitoutuu noudattamaan. Tekniset tilat esim. sähkötekniset tilat tulee myös huomioida pinnoitejärjestelmän osalta.

Lattiarakenteen toimivuus todennetaan mittauksin mallihuoneessa, joka edustaa rakennekosteuden kannalta vaativinta tilannetta. Lattiarakenteesta tehdään standardin mukaiset emissiotestit, kosteusmittaukset ja tartuntalujuus aikaisintaan neljän viikon kuluttua pinnoitteen asennuksesta. Dokumentointi tehdään riittävällä tarkkuudella: tuotenimet (lattiajärjestelmä erityisesti: pinnoite, liima, tasoite, pohja- ja pintamaali jne), eri vaiheiden valmistusajankohdat ja kosteusmittaukset. Valokuvat ovat osa dokumentointia (tuotepakkaukset kuvataan).

Lisäksi tehdään tarkistusmittauksia rakentamisen aikana riittävällä laajuudella.

4.3.4 Käyttö- ja ylläpitovaihe

Käyttöä ja ylläpitoa varten laaditaan erillinen käyttö- ja huolto-ohje, sisältäen myös ilmanvaihdon käytön ohjeistuksen ja kalustuksen huomioiminen.

Erillinen käyttö- sekä huolto- ja puhdistusohje laaditaan lattiajärjestelmälle ja tarvittaessa muille rakenteille. Ilmanvaihdon toiminnasta laaditaan erillinen ohje. Käyttäjälle laaditaan ohje alkuvaiheen tuuletuksen tärkeydestä. Tuuletustarvetta aiheuttavat rakenteista peräisin olevien emissioiden lisäksi käyttäjän tuomat kalusteet ja tekstiilit.

5. Ilmanvaihto ja muu talotekniikka

5.1 Ilmanvaihtojärjestelmä ja sisäilman laatu

Ilmanvaihto on tärkeä sisäilman laadun ylläpitäjä, koska se poistaa ilmasta ylimääräisen kosteuden, hajut ja haitalliset kemialliset epäpuhtaudet riippumatta mistä ne ovat peräisin. Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelu-, toteutus- ja käyttövaiheissa voidaan tehdä virheitä tai vastoin parempaa tietoa tehdä sellaisia päätöksiä tai riskiratkaisuja, jotka heikentävät ilmanvaihdon toimintaedellytyksiä laadukkaan sisäilman varmistamisessa. Virheellisesti toimiva ilmanvaihtojärjestelmä voi myös aiheuttaa sisäilmaongelmia. Kokemuksen mukaan tyyppillisiä tällaisia ilmanvaihtojärjestelmään liittyviä asioita ovat:

- rakennuksen tiloihin tuotu ilma sisältää ulkoa tai järjestelmästä peräisin olevia haitallisia epäpuhtauksia
- ilmanvaihdon virheellinen suunnittelu, mitoitus ja perussäätö eivät mahdollista tilojen käytön vaatimaa riittävää ilmanvaihtoa tai ilmanvaihtoa ei pidetä riittävällä teholla tai lainkaan päällä rakennuksen käyttöaikana ja käyttöajan ulkopuolella tai ilma ei vaihdu tiloissa tehokkaasti
- ilmanvaihto aiheuttaa paine-eroja, joiden vaikutuksesta rakennukseen tulee haitallisia epäpuhtauksia tai epäpuhtaudet leviävät rakennuksen sisällä

Legionella bakteerien leviäminen ilmanvaihtojärjestelmän kautta on Suomessa harvinaista. Sen sijaan lämpimän käyttöveden järjestelmien kautta se saattaa levitä tulevaisuudessa. Lämpöpumppu-, aurinkolämpö- ja viemäriveden lämmöntalteenottojärjestelmät voivat väärin suunniteltuina ja käytettyinä tuottaa lämpötilaltaan bakteerien lisääntymiselle otollista käyttövedettä (alle 50 °C), joka sisäilmaan levitessään aiheuttaa sairastumista. Etenkin lämpöpumppujärjestelmissä tulee pitää huolta lämpimän käyttöveden riittävästä lämpötilatasosta, vaikka energiatehokkuus sen takia romahtaisikin.

Tuloilman epäpuhtaudet ja hajut

Ilmanvaihtojärjestelmän ja etenkin ulkoilman sisäänottoratkaisujen puutteellisen suunnittelun ja toteutuksen takia sisäänpuhallettava ilma saattaa sisältää merkittävästi epäpuhtauksia ja aiheuttaa ongelmia.

Syyt: eri suunnittelijoiden rajapintojen epäselvyys, eri urakoiden rajoilla tapahtuvat virheet sekä rakentamisen aikaisen puhtauden hallinnan ja käytön aikaisen huollon puutteet.

Ongelmien syntymisen estäminen: tavoitteet selviksi eri suunnittelijoille (IV, KVV, RAK, ARK) ja urakoitsijoille, huollon suunnittelu ja toteutuksen valvonta.

Ilmanvaihtojärjestelmän ja konehuoneiden viemärointi on toteutettu niin, että viemärikaasuja pääsee tai voi päästä vikatilanteessa tuloilmaan ja sitä kautta rakennuksen tiloihin.

Syyt: ilmanvaihto- ja viemärisuunnittelijoiden virheet, puutteet ja rajapinnan epäselvyys, ilmanvaihto-, viemäri- ja rakennusurakoiden rajoilla tapahtuvat virheet sekä huollon puutteet.

Ongelmien syntymisen estäminen: tavoitteet ja riskien hallinta selviksi eri suunnittelijoille (LVI, RAK, ARK) ja urakoitsijoille, huollon suunnittelu ja toteutuksen valvonta.

Pyörivässä lämmöntalteenotossa epäpuhtaudet voivat siirtyä kondenssiveden ja ilmavuotojen välityksellä poistoilmasta tuloilmaan ja ne voivat aiheuttaa ongelmia ja lisätä

sisäilmaongelmaisten rakennusten ongelmia entisestään. Asuinrakennuksissa pyörivä lämmöntalteenotto yhdessä liian pienen ilmanvaihdon kanssa saattaa heikentää kosteuden poistoa merkittävästi.

Syyt: ilmanvaihtosuunnittelija ei ole tietoinen lämmöntalteenoton riskeistä tai ei välitä niistä, ilmavirrat suunnitellaan liian pieniksi tai ilmanvaihtoa käytetään liian pienellä teholla.

Ongelmien syntymisen estäminen: ilmanvaihtosuunnittelija ei ota tarpeettomia riskejä ilmanvaihtojärjestelmän, lämmöntalteenoton ja riittävän ilmanvaihdon kanssa. Riittävän ilmanvaihdon käyttö varmistetaan teknisesti ja käytön ohjeistuksella.

Ilmanvaihtokanaviston eristykset ovat usein puutteellisia ja reititykset ovat riskialttiita. Tästä voi seurata energiatehokkuuden heikkenemisen lisäksi viihtyisyyshaittoja ja kosteuden tiivistymistä rakenteisiin.

Syyt: ilmanvaihtosuunnittelija ei ole tietoinen riskeistä tai välitä niistä, eristykset ja reititykset suunnitellaan huonosti, myös muiden osapuolisen painostus esimerkiksi tilan tarpeen kasvamisen takia voi vaikuttaa huonoon lopputulokseen päätyemisessä.

Ongelmien syntymisen estäminen: ilmanvaihtosuunnittelija suunnittelee suositusten mukaiset eristykset ja valvoo niiden toteutusta, ei välitä muiden osapuolten painostuksesta ja siitä, miten on aina ennen tehty.

Puutteellinen ja tehoton ilmanvaihto

Usein ilmanvaihtojärjestelmä mitoitetaan ahtaaksi, jolloin painehäviöt kasvavat. Tällöin ilmanvaihdon perussäätö vaikeutuu ja ilmavirtojen hallinta heikkenee. Osassa tiloja ilmavirrat jäävät suunniteltua pienemmiksi ja ilmanjako voi olla tehotonta.

Syyt: ilmanvaihtosuunnittelija ei suunnittele ilmanvaihtoa toimivuuden ehdoilla.

Ongelmien syntymisen estäminen: ilmanvaihtosuunnittelija perustelee hyvät ratkaisut ilmanvaihdon toimivuuteen vedoten, ilmanvaihtosuunnittelija myös valvoo toteutusta ja vaihtoehtoisten tuotteiden kelpoisuutta tavoitteiden kannalta. Ilmanvaihdon tehokkuus varmistetaan etenkin tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ratkaisuissa ja käyttöajan ulkopuolella.

Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamat paine-erot

Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamat suunnittele mattomat paine-erot rakenteiden yli voivat olla merkittävä tekijä epäpuhtauksien kulkeutumisessa. Suurimmat paine-erot syntyvät erillispoistoista ja käyttöajan ulkopuolisen ilmanvaihdon vaikutuksesta.

Syyt: ilmanvaihtosuunnittelija ei suunnittele koko rakennuksen ilmanvaihdon toimivuutta, ilmanvaihtosuunnittelija ei määritä ilmanvaihdon tasapainoa ja sen perusteella syntyvää paine-eroa, käyttöönotto vaiheen tarkastusten puutteet, käyttöaikaisen seurannan puuttuminen.

Ongelmien syntymisen estäminen: ilmanvaihtosuunnittelija suunnittelee rakennuksen ilmanvaihdon toimivaksi kokonaisuudeksi, suunnitelmat myös toteutetaan, lopputulos varmennetaan, käyttöä seurataan ja puututaan poikkeamiin. Ilmanvaihdon tasapainoa seurataan rakennusautomaatiojärjestelmällä.

Ilmanvaihtojärjestelmän käyttöönotto ja käyttö

Ilmanvaihdon käyttöönotto, opastus, käyttö ja ylläpito vaativat nykyistä enemmän ohjeistusta, jotta ilmanvaihtojärjestelmän turvallinen käyttö voidaan varmistaa.

Syyt: järjestelmien monimutkaistuminen ja puutteet eri osapuolten laatimassa aineistossa rakentamisen loppuvaiheessa ja käyttöönotossa.

Ongelmien syntymisen estäminen: käyttövaihe ja ylläpito ja huolto suunnitellaan ja dokumentoidaan kunnolla.

5.2 Tuloilman epäpuhtaudet ja hajut

5.2.1 Ongelman kuvaus

Jos tuloilma sisältää runsaasti epäpuhtauksia ja hajuja, voi ilmanvaihtojärjestelmä aiheuttaa sisäilmaongelmia, vaikka sen pitäisi parantaa sisäilman laatua. Ulkoilman sisäänotto tulee sijoittaa niin, että ilma on mahdollisimman puhdasta. Ilma tulee ottaa riittävän kaukaa epäpuhtauslähteistä ja on suodatettava riittävän tehokkaasti. Ulkoilmasäleiköt ja -kammiot tulee olla toimivia ja puhtaita sekä täyttää näille asetetut vaatimukset. Ilmaa ei saa ottaa ilman laatua heikentävän rakennusosan kautta. Myöskään ilmanvaihtojärjestelmässä ilman laatu ei saa heikentyä. Ilmanvaihtojärjestelmän tulee olla puhdas eikä siitä saa lähteä epäpuhtauksia. Rakentamisen aikana ilmanvaihtojärjestelmä voi likaantua ja kastua osia varastoitaessa, asennettaessa ja jälkityövaiheessa.

5.2.2 Ongelman syntymisen edellytykset

Sisäänotettavan ulkoilman laatu heikkenee yleensä suunnittelu- tai toteutusvirheen takia tai viimeistään luokattoman huollon ja ylläpidon takia. Suunnittelussa ja toteutuksessa tapahtuneissa virheissä pääsyyinä on osaamattomuus tai tietämättömyys sekä rajapinnoilla tapahtuvat tieto- ja vaatimuskatkokset. Joissain tapauksissa tila- ja julkisivusuunnittelun reunaehdot ovat niin tiukkoja, että ilmanvaihdon puhtaus kärsii. Tyypillisiä vaikeasti hallittavia rajapintoja ovat ilmanvaihto- ja rakennesuunnittelu sekä vastaavat urakat. Myös ilmanvaihto- ja viemärisuunnittelun rajapinnassa on syntynyt ongelmia. Myös tuotevaatimusten ja valittavien tuotteiden suoritusarvojen välille voi syntyä kuilu. Rakentamisvaiheessa järjestelmään kulkeutuu epäpuhtauksia puutteellisen puhtaudenhallinnan (varastointi, suojaus ja osastointi) takia. Huollon puutteiden syytä ei tiede ole pystynyt selittämään. Perussyynä lienee kaikkien osapuolten piittaamattomuus käytönaikaisen huollon ja ylläpidon toteutumisesta ja tasosta.

5.2.3 Käytännön kokemuksia ulkoilman sisäänotosta ja kanavoinnista

Ongelmakohteiden sisäilmaselvityksissä on havaittu, että **ulkoilmasäleikön ja kanavan liitos** ulkoseinällä voi olla toteutettu niin, että ulkoilmaa imetään ulkoverhouksen tuuletusraoista tai seinärakenteesta (kuva 13). Säleikköä ei ole liitetty asianmukaisesti ilmanvaihtokanavaan vaan esimerkiksi tiiliverhoukseen. Koska paine-ero ulkoilmasäleikön yli voi olla useita kymmeniä Pascaleita, epäpuhtaudet voivat kulkeutua ulkoilmavirran mukana rakennuksen sisälle. Tämä voi joissain tapauksissa osaltaan lisätä sisäilmaongelmia, eikä ilmanvaihdon lisääminen välttämättä paranna tilannetta. Myös sadeveden valuminen järjestelmään seinää pitkin on mahdollinen riski rakenteille ja terveydelle. Tyypillistä on, että säleikön takaosa rajoittuu ulkoseinään.

Usein ulkoilmasäleiköt mitoitetaan liian suurelle virtausnopeudelle, jolloin painehäviö ja äänitaso kasvavat ja säleikön jo alun perinkin heikko vedenerotuskyky huononee edelleen. **Vedenerotuskyvylle** tulisi rakentamismääräyksissä antaa nykyistä tarkempia ohjeita. Määräyksissä annettu suurin otsapintanopeus 2 m/s on usein tulkittu suunnittelun tavoitearvoksi. Nopeuden tavoitearvon tulisi kuitenkin olla yleensä 0,5 - 1,0 m/s, ellei käytetä

suuremmalla nopeudella toimivaa tehokasta vedenerotussäleikköä. Joissain tapauksissa säleikön erottaman **veden poisjohtamista** ei ole suunniteltu. Seurauksena voi olla esimerkiksi leväkasvustoa. Sadeveden hallitsematon kulkeutuminen rakenteisiin on mahdollinen riski myös rakenteille. Vedenerotussäleikön päällä mahdollisesti olevat arkkitehtoniset koristesäleiköt vaikeuttavat toimivuuden varmistamista.

Varsinkin suurten ilmanvaihtokoneiden ulkoilman sisäänotto on usein järjestetty **ulkoilmakammion** kautta. Rakenteeltaan, tiiviydeltään, puhtaudeltaan ja puhdistettavuudeltaan ulkoilmakammiot eivät useinkaan täytä ilmanvaihtojärjestelmälle asetettuja vaatimuksia. Mineraalivillapintoja on ollut kammioissa näkyvissä, jolloin kuituja voi kulkeutua sisäilmaa. Etenkään rakenneaineiset kammiot eivät vastaa vaatimuksia. Seurauksena voi olla sisään otettavan ilman laadun heikkenemistä. Tilannetta pahentaa puutteellinen ylläpito. Ulkoilmakammiot tulee varustaa riittävän suurella ja helposti avattavalla **huolto-ovella**, josta voidaan helposti kulkea kammion sisään ja ulos. Joissain tapauksissa ulkoilmakammioiden huolto on estetty liian pienillä ja vaikeasti avattavilla huoltoluukuilla.

Eri ilmanvaihtokoneiden **yhteiset kammiot** ovat riski ilmanvaihdon toimivuudelle ja epäpuhtauksien leviämislle. Kahta tai useampaa ilmanvaihtokonetta ei tule yhdistää samaan kanavaan tai kammioon. Riski epäpuhtauksien leviämiseen ja toimintahäiriöille on erityisen suuri silloin, kun ilmanvaihtokoneiden ilmavirtaa säädetään tarpeen mukaan toisistaan riippumatta tai käyntiajat poikkeavat toisistaan.

Sisäänotettavaa ulkoilmaa on eri aikakausina **esilämmitetty** katto- ja seinärakenteisiin yhdistetyillä aurinkolämpöratkaisuilla. Vastavia ratkaisuja on odotettavissa myös tulevaisuudessa energiatehokkuusinnovaatioiden laukatessa. Tyypillistä näille ratkaisuille on ollut, että ne eivät vastaa hygieenisyydeltään, tiiviydeltään ja puhdistettavuudeltaan ilmanvaihtojärjestelmälle asetettuja vaatimuksia. Myös niin sanottujen maaputkiesilämmitysten tulee täyttää vastaavat vaatimukset. Kesäaikaan maaputkea voidaan käyttää viilennykseen, mutta ilmankosteuden tiivistymisen takia sen hygieenisyyden varmistaminen on käytännössä vaikeaa.

Ilmakanavien eristys on usein puutteellista. Ainoastaan paloeristyksistä on selkeät määräykset ja ohjeet ja niitä yleensä noudatetaan. Lämpimissä tiloissa kulkevat ulko- ja jäteilmakanavat tulisi pyrkiä suunnittelemaan mahdollisimman lyhyiksi ja eristettävä tehokkaasti. Vielä nykyisinkin ilmanvaihtosuunnittelijat piirtävät kuviin 10 - 20 mm ohuita ns. hikoilueristeitä, jotka eivät vastaa toimivuustavoitteita. Etenkin asuinrakennuksissa on esiintynyt puutteellisesta eristämisestä johtuvia viihtyisyyshaittoja ja kosteuden tiivistymistä rakenteisiin. Myöskään luvatut LTO:n hyötysuhteet eivät todellisuudessa toteudu.

Tuloilman jäähdytys tai siihen varautuminen edellyttää tuloilmakanavien eristämistä. Jos tuloilman jäähdytys asennetaan jälkikäteen sellaiseen rakennukseen, jossa tuloilmakanavia ei ole eristetty, voi syntyä rakenteiden kosteusvaurioita ja sisäilmaongelmia. Suunnittelijan tulisi ohjeistaa riittävän yksityiskohtaisesti höyrytiivin pinnan tarve lämmöneristyksen päällä ja kylmäsiltojen välttäminen muun muassa läpivienneissä ja kannakoinneissa.

On hyvin yleistä, että **höyrynsulun ulkopuolista** yläpohjan kevytsoraeristekerrosta tai ullakon puhallusvillakerrosta käytetään lämpimien tulo- ja poistoilmakanavien reititystilana. Lämpimiä ilmanvaihtokanavia ei tulisi asentaa höyrynsulun ulkopuolelle kylmiin tiloihin, ullakoille tai yläpohjan eristeen sisään. Höyrynsulun tarpeeton lävistäminen lisää yläpohjan ilmanvuotoriskiä ja saattaa aiheuttaa kosteuden kulkeutumista yläpohjarakenteisiin. Koska yläpohjaa vasten vallitsee talvella lämpötilaeron vaikutuksesta ajoittain ylipaine, yläpohjan ilmatiiviuden varmistaminen on erityisen tärkeää.



Kuva 13. Ulkoilmakammiot eivät useinkaan vastaa materiaaleistaan, puhtaudeltaan, puhdistettavuudeltaan tai tiiviydeltään ilmanvaihtojärjestelmälle asetettuja vaatimuksia.

5.2.4 Käytännön kokemuksia ilmanvaihtojärjestelmän viemäroinnistä

Ulkoilmakammiossa on oltava varmatoiminen viemärointi. Viemäri ei saa tuulettua missään olosuhteissa ulkoilmakammioon. Käytännössä on havaittu, että viemäriin hajua voi levitä ulkoilmakammion kautta tuloilmaan. Viemäroinnin suunnittelun ja toteutuksen rajat ja vastuut voivat olla epäselvät, koska asia koskettaa useita eri alojen suunnittelijoita ja urakoitsijoita. Ulkoilmakammioiden viemäroinnissä on havaittu puutteita ongelmakohteissa (kuva 14). Pahimmassa tapauksessa viemäri tuulettuu alipaineiseen kammioon ja viemärihaju leviää tiloihin. Ajoittainen (viikonloppujen jälkeen ja aamuisin) viemäriin haju on melko tyypillinen ilmiö toimistorakennuksissa. Kammioiden ja myös **ilmanvaihtokoneiden** viemäroinnissä ja vesilukoissa voi olla muitakin toimivuuteen vaikuttavia virheitä, joita ei ilman yksityiskohtaisia tutkimuksia pystytä selvittämään. Vaikka vesilukkojen valmistajilla on erilliset mallistot teknisiin tarkoituksiin, niin toteutusratkaisuihin on silti suuria eroja. Osa vesilukoista asennetaan alipaineisiin ja osa ylipaineisiin ilmanvaihtokoneen osiin. Tässä saattaa tulla virheellisiä ratkaisuja. Myös viemärointien yhdistämisestä voi tulla ongelmia. Suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden tulee varmistaa, että vesi johdetaan viemäriin niin, etteivät viemäriin hajut leviä. Etenkin tuloilmakammion väärin toteutettu vedenpoistoreitti voi toimia hajulähteenä. Vesilukkoja tulee myös huoltaa säännöllisesti, jotta ne voivat toimia suunnitellusti eikä ongelmia synny. **Teknisten tilojen** vesilukkojen kuivumisen lisäksi myös esimerkiksi siivouskomeroiden lattiakaivot voivat kuivua käytön puuttuessa. **Siivouskäytäntöjen** muuttuessa kärrypohjaisiksi esimerkiksi rakennuksen eri kerroksissa olevia siivouskomeroita ei enää käytetä.



Kuva 14. Ulkoilmakammion viemäröinnin suunnitteluvirheiden ja huollon laiminlyönnin takia viemärikaasuja pääsee kulkeutumaan ilmanvaihdon mukana rakennukseen.

5.2.5 Käytännön kokemuksia epäpuhtauksien palautumisesta lämmöntalteenotossa

Rakennusten ilmanvaihtojärjestelmissä yleisesti käytettävät lämmöntalteenottotavat ovat pattereilla toteutettu epäsuora lämmöntalteenotto, levylämmönsiirrin (rekuperatiivinen) ja pyörivä lämmönsiirrin (regeneratiivinen). **Regeneratiivisessa lämmöntalteenotossa** puhdas tuloilma ja likainen poistoilma kulkevat samoja reittejä vuorotellen ja epäpuhtauksien kulkeutuminen likaisesta ilmasta puhtaaseen ilmaan on mahdollista.

Regeneratiivista lämmöntalteenottoa käytetään yleisesti toimisto-, liike- ja koulurakennusten yleisilmanvaihdossa luokan 1 poistoilmasta. Sitä käytetään myös huoneistokohtaisissa ilmanvaihtokoneissa. Pyörivän lämmönsiirtimen tiivistäminen ympäröiviin rakenteisiin on haasteellista. Lisäksi lämmönsiirtimen sisällä voi **kulkeutua** (carry over) likaista ilmaa puhtaalle puolelle, mikäli laitteessa ei ole niin sanottua puhtaaksipuhallussektoria tai se on asennettu väärin.

Regeneratiivisessa lämmöntalteenotossa epäpuhtaudet voivat siirtyä **kondenssiveden**, pintojen ja **ilmavuotojen** välityksellä poistoilmasta tuloilmaan. Ilmavuodot syntyvät suurten **paine-erojen** ja vuotavien tiivisteiden takia (kuva 15). Etenkin suurissa ilmanvaihtokoneissa suuret paine-erot voivat syntyä ilmanvaihtosuunnittelijan koneen suunnittelussa tekemistä ratkaisuista (puhaltimien ja painehäviöiden epäedullinen sijainti). Mikäli ilmanvaihtokoneen painehäviöt suunnitellaan oikein, ei pyörivän lämmönsiirtimen yli synny suuria paine-eroja. **Harjatiivisteiden** huoltoväli on 2 – 5 vuotta. Usein huolto jätetään tekemättä ja kuluneet tiivisteet voivat vuotaa merkittävästi.

Hyvin suunnitellussa ilmanvaihtokoneessa on viimeisenä ennen tuloilmakanavaa tehokas **hienosuodatin**. Tämä poistaa ilmanvaihtokoneessa syntyvät ja LTO-lämmönsiirtimen kautta mahdollisesti tulevat epäpuhtaudet tuloilmasta. Valitettavasti sekä asuntokohtaisissa ja suurissa ilmanvaihtokoneissa hienosuodatin on usein vain ulkoilmavirrassa ennen lämmöntalteenottoa.

Mikäli rakennuksessa on merkittävää kosteuden tuottoa (esimerkiksi asunnot), voi suunniteltu ilmanvaihto olla riittämätöntä **kosteuden poistoon**, jos käytössä on regeneratiivinen LTO. Myös ei-hygroskoopinen regeneratiivinen lämmönsiirrin palauttaa merkittävän osan kosteudesta takaisin. Tätä on perinteisesti pidetty hyvänä asiana talvella, jolloin huoneilma voi olla hyvin kuivaa. Kosteuden mukana voi kuitenkin palautua haitallisia vesiliukoisia yhdisteitä, kuten ammoniakkia. Jos ilmanvaihtoa käytetään pitkään hyvin pienellä teholla, saattaa huoneilman kosteus nousta. Ilmanvaihto voi myös olla mitoitettu pienemmälle kuormalle kuin todellisuudessa on. Korkea kosteus voi lisätä

epäpuhtauspitoisuuksia ja aiheuttaa sisäilmaongelmia. Ilmanvaihto voi myös olla mitoitettu pienemmälle kuormalle kuin todellisuudessa on. Myös veden käyttötottumukset vaihtelevat.



Kuva 15. Käytännön kokemuksia toimistorakennuksen pyörivän lämmöntalteenottosiirtimeen tiiviyydestä.

5.2.6 Vaikutusmahdollisuudet rakennushankkeen eri vaiheissa

Ilmanvaihtojärjestelmän likaantuminen rakentamisen aikana estetään käyttämällä kosteuden- ja puhtaudenhallintasuunnitelmien mukaisia toimintatapoja varastoinnissa, suojauksessa ja osastoinnissa sekä pölyävien työvaiheiden suorittamisessa. Kosteuden- ja puhtaudenhallintasuunnitelmien noudattaminen käytännössä edellyttää työmaakoulutusta ja ainakin vielä nykyisin tiukkaa valvontaa.

Ilmanvaihtojärjestelmän ulkoilman sisäänottoratkaisujen puutteellisen suunnittelun ja toteutuksen takia sisäänpuhallettava ilma saattaa sisältää merkittävästi epäpuhtauksia ja aiheuttaa ongelmia. Ongelmien syntymisen voidaan estää, jos tavoitteet ja toimintamallit ovat selviä eri suunnittelijoille (IV, KVV, RAK, ARK) ja urakoitsijoille ja että huolto on suunnittelu ja huollon toteutusta valvotaan. Tyypillisiä ongelmia aiheuttavia osia ovat toimimattomat ulkoilmasäleiköt ja -kammiot. Usein kammioiden huoltoluukut ovat niin pieniä tai hankalasti avattavia, että käytännössä huolto ja puhdistus jää tekemättä. Ulkona olevien tupakointipaikkojen ja ulkoilman sisäänottoa paikkojen riittävä etäisyys tulee varmistaa suunnittelussa ja myös rakennuksen käytön aikana eri osapuolten yhteistyöllä. Energiatoteutusvaatimusten tiukentuessa innovatiiviset ulkoilmaesilämmitysratkaisut tulevat yleistymään. Nämä ratkaisut liittyvät eri suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden rajapinnoille ja erityisvarmistusta vaatii ratkaisujen puhtauden, puhdistettavuuden ja tiiviiden varmistaminen kaikissa vaiheissa.

Ilmanvaihtokanavien eristykset ovat usein puutteellisia ja reititykset riskialttiita. Tästä voi seurata energiatehokkuuden heikkenemisen lisäksi viihtyisyyshaittoja ja kosteuden tiivistymistä kanavistoon ja rakenteisiin. Ilmanvaihtosuunnittelija suunnittelee riittävät lämmön- ja kosteudeneristykset kanaviin ja saa niille käyttöön riittävät tilavaraukset vaaka- ja pystyreitityksille. Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan jatkossa kanavaeristysten viemä tila ei vie rakennusoikeutta. Reitityskulttuurin muutos tarvitaan siinä, että lämpimiä kanavia ei tulevaisuudessa sijoiteta höyrynsulun ulkopuolelle lämmöneristykseen tai sen ulkopuolelle. Muutos vaatii yhteistyötä ja -ymmärrystä siitä, että riskiratkaisujen välttäminen on rakentamisen laadunparantamisen ydinkohta. Koska reititysten riskiratkaisut ovat usein syntyneet pitkän ajan kuluessa ja useiden eri osapuolten vaikutuksesta, ei ilmanvaihtosuunnittelija voi yksin niitä ratkaista.

Ilmanvaihtojärjestelmän ja konehuoneiden viemäroinnin virheet ja puutteet ovat usein seurausta suunnittelun ja toteutuksen rajapinnoilla syntyvistä katkoksisista. Laadun parantaminen tulee lähteä suunnittelun tason ja yksityiskohtaisuuden nostosta. Hyviä malliratkaisuja on olemassa. Hyväkään tekninen järjestelmä ei toimi ikuisesti, mikäli huoltoa ei ole suunniteltu ja huollon toteutusta ei valvota.

Hyvin yleisesti liike- ja toimistorakennusten yleisilmanvaihdossa käytetyssä pyörivässä regeneratiivisessä lämmöntalteenotossa epäpuhtaudet ja hajut voivat siirtyä ilmapuotojen ja kondenssiveden välityksellä poistoilmasta tuloilmaan. Asuinrakennuksissa pyörivä lämmöntalteenotto yhdessä liian pienen ilmanvaihdon kanssa saattaa heikentää kosteuden poistoa merkittävästi. Ilmanvaihtosuunnittelijan tulee ottaa huomioon lämmöntalteenoton riskit ja vähentää tai välttää ne hyvillä suunnitteluratkaisuilla ja laitevalinnoilla. Ilmanvaihtojärjestelmän kautta leviävät epäpuhtaudet ja hajut voivat levittää yksittäisen tilan epäpuhtauksia koko ilmanvaihtokoneen palvelualueelle ja lisätä sisäilmaongelmaisten rakennusten ongelmia entisestään ja vaikeuttaa sisäilmatutkimuksia ja syiden löytymistä.

5.3 Puutteellinen ja tehoton ilmanvaihto

5.3.1 Ongelman kuvaus

Tuloilma voi olla puhdasta, mutta ilmanvaihto on riittämätön varmistamaan omalta osaltaan terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilmaston. Riittämätön ilmanvaihto voi olla seurausta ilmanvaihdon liian pienestä mitoituksesta, ilmanjaon tehottomuudesta tai siitä, että ilmanvaihtoa ei käytetä suunnitellusti tai kuormitusta vastaavasti.

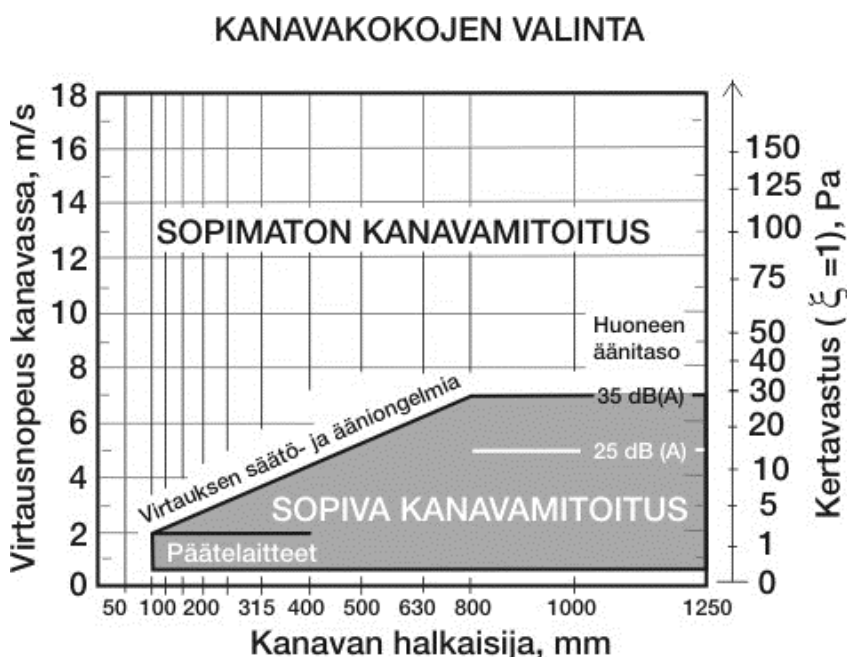
5.3.2 Ongelman syntyminen edellytykset

Ilmanvaihtojärjestelmä on suurin ja eniten tilaa vievä talotekniikka järjestelmä. Tämän vuoksi ilmanvaihtojärjestelmä mitoitetaan usein liian ahtaaksi, jolloin painehäviöt kasvavat. Ahtaassa järjestelmässä ilmanvaihdon perussäätö vaikeutuu ja ilmavirtojen hallinta heikkenee. Osassa tiloja ilmavirrat jäävät suunniteltua pienemmiksi ja tällöin myös ilmanjako voi olla tehotonta. Huonosti suunniteltu ilmanvaihto voi aiheuttaa vetoa. Vedon voimakkuuteen vaikuttaa ilman lämpötila ja virtausnopeus. Kun käytetään tuloilmalaitteita, joilla pystytään jakamaan suuriakin ilmavirtoja vedottomasti, voi ilman virtausnopeus oleskeluvyöhykkeellä jäädä hyvin pieneksi. Tällöin myös ilmanvaihdon tehokkuus jää yleensä pieneksi. Vetoisuutta voidaan yrittää vähentää tuloilman lämpötilaa nostamalla. Tällöin kuitenkin ilma voi jäädä katonrajaan ja ilmanvaihdon tehokkuus heikkenee. Tarpeenmukainen ilmanvaihto voi myös heikentää ilmanvaihdon tehokkuutta, kun ilmavirtaa pienennetään siten, että tuloilman heittopituus lyhenee merkittävästi. Ilmanvaihtojärjestelmä voi olla täysin kunnossa, mutta ilmanvaihtoa käytetään liian pienellä teholla. Tähän voi olla syynä energiansäästö sisäilmastosta tinkimällä, vetovalitukset tai tietämättömyys.

5.3.3 Käytännön kokemuksia suunnittelun ja toteutuksen puutteista

Suunniteltua **pienemmät tilakohtaiset ilmavirrat** voivat johtua puutteellisesta ilmanvirtojen perussäädöstä. Kun ilmanvaihtokone valitaan liian pieneksi ja kanavisto mitoitetaan liian ahtaaksi, järjestelmää voi olla mahdotonta saada asiallisesti säädettyä. Pykälää suurempi konekoko ja väljäksi mitoitettu kanavisto mahdollistaisivat helposti säädettävissä olevan ja toimivan järjestelmän, joka toimisi jopa ilman perinteistä perussäätöä. Väljyys parantaa tilojen muuntelumahdollisuutta ja mahdollistaa tilojen käytön tehostamisen tarvittaessa ilman kanavistomuutoksia (kuva 16).

Ilmanvaihtokonehuoneiden ja muiden teknisten tilojen ilman laatu voi olla huono. Näistä tiloista epäpuhtaudet ja hajut voivat levitä puhtaisiin tiloihin kuilujen ja läpivientien vuotokohtien kautta. **Teknisiin tiloihin tulee järjestää ilmanvaihto**, joka on päällä myös rakennuksen käyttöajan ulkopuolella.



Kuva 16. Ilmanvaihdon kanavat ja päätelaitteet voidaan mitoittaa ääni- ja virtausteknisesti toimiviksi esimerkiksi VTT mitoitusohjeen mukaan (Lähde: LVI 30-40008).

Hallitulla **siirtoilman** käytöllä pystytään korvaamaan ulkoilman käyttöä ja pienentämään turvallisesti rakennuksen kokonaisilmanvaihtoa. Puhtaiden tilojen huoneilmaa voidaan käyttää poistoilmanvaihdolla varustettujen likaisempien tilojen korvausilmana. Järjestely vähentää myös epäpuhtauksien leviämistä likaisista tiloista puhtaisiin tiloihin, mutta edellyttää toimivat siirtoilmareitit tai laitteet. Hyvin usein siirtoilmareitit puuttuvat tai ovat virtausteknisesti liian pieniä (kuva 17). Esimerkiksi riittävät oviraot voidaan varmistaa ainoastaan ilmanvaihtosuunnittelun ja rakennussuunnittelun yhteistyöllä. Tieto oviraosta ja sen koosta tulisi välittyä myös väliovien toimittajille. Saadun tiedon mukaan näin ei ole. Puutteet siirtoilmareiteissä voivat heikentää ilmanvaihdon toimivuutta ja tehokkuutta merkittävästi.



Kuva 17. WC:n siirtoilmareittinä toimiva ovirako oli peitetty kynnyksellä.

5.3.4 Käytännön kokemuksia ilmanvaihdon tehokkuudessa

Tuloilmalaitteet ja niiden ominaisuudet ovat eräs tärkein asia toimivan ja tehokkaan ilmanvaihdon suunnittelussa ja toteutuksessa. Kuitenkin suunnittelussa ei useinkaan ole käytettävissä riittäviä tietoja tuloilmalaitteen ominaisuuksista etenkin sen aiheuttamasta virtauskentästä huonetilassa. Tuloilmalaitteiden päätehtävä on tuoda tilaan tuloilmaa meluttomasti ja vedottomasti ja niin, että ilma leviää tasaisesti kaikkialle tilaan. Vedottomuuden tavoittelu voi johtaa tehottomaan ilmanjakoon.

Tuloilmalaitteen toiminnan kannalta tärkein asia on, että laitteessa voidaan käyttää riittävää **paine-eroa** ilman ääniongelmia. Paine-ero määrittelee ilmavirran, ulospuhallusnopeuden, ilman sekoittumisen ja hyvin pitkälle myös vedottomuuden. Paine-eron suunnittelu on harvinaista. Samoin ilmavirtojen mittauksen yhteydessä säädetään vain ilmavirtaa, jolloin paine-ero voi jäädä liian pieneksi tai nousta liian suureksi. Erilaiset ilmanvaihtojärjestelmässä mahdollisesti olevat painesäädöt tai vyöhykepellit voivat helpottaa tai vaikeuttaa säätöä. Jos paine-ero on liian pieni, tuloilma ei sekoitu huoneilmaan suunnitellulla tavalla ja ilmanvaihdon tehokkuus voi jäädä heikoksi. Energiätehokkuusvaatimusten kiristyessä tarpeenmukaisen ilmanvaihdon käyttö yleistyy, koska sillä saadaan pienennettyä energiankulutusta, mutta toisaalta myös heikennettyä sisäilman laatua ja ilmanvaihdon tehokkuutta osaamattomissa käsissä. Käytännössä tehotonta ilmanjakoa on havaittu yleisesti käytössä olevilla päätelaitteilla. Näillä laitteilla pystytään jakamaan suuria ilmavirtoja vedottomasti. Koska ilman liike aiheuttaa vetoa, vedottomuus tarkoittaa usein sitä, että ilma ei liiku. Kun ilma ei liiku, niin ilmanvaihdon tehokkuus on huono. Vaikka tilan ilmavirta olisikin suunnitellun mukainen, niin ilmanjaon tehottomuus voi aiheuttaa merkittävää ilmanlaadun paikallista heikentymistä. Jos ilmanvaihdon tehokkuus on hyvä, voidaan parempi sisäilman laatu tuottaa jopa pienemmillä ilmavirroilla.

Tarpeettoman korkea **tuloilman sisäänpuhalluslämpötila** heikentää ilmanjaon tehokkuutta. Tehokkaasti ilmaa sekoittavilla päätelaitteilla ei tapahdu huoneilman lämpötilan haitallista kerrostumista. Tällaisen sekoittavan päätelaitteen puhallussuihkun pituus (heittopituus) on yleensä lyhyt ja huonevirtausnopeudet ovat pieniä.

Päätelaitteiden sijoittelulla on tärkeä merkitys ilmanjaolle. Tuloilma pitää tuoda puhtaimpiin tiloihin tai tilan osiin. Tuloilma jaetaan sekoittavissa järjestelmissä yleensä ylhäältä seinältä tai katosta. Tuloilma tulee puhaltaa niin, että ilma pääsee mahdollisimman vapaasti leviämään huoneeseen. Etenkin törmäämistä vastakkaiseen seinään on varottava. Myös erilaiset kattopalkit, muut rakenteet, valaisimet tai katossa olevat jäähdytyslaitteet saattavat häiritä virtausta ja heikentää ilmanvaihdon tehokkuutta ja aiheuttaa vetoa. Näitä asioita ei

aina oteta suunnittelussa huomioon. On havaittu, että toimistorakennuksissa yleistyneet kattolämmityspaneelit voivat heikentää ilmanjakoa merkittävästi ja tuloilma jää katon rajaan sen sijaan, että se kulkeutuisi oleskeluvyöhykkeelle. Järjestelmästä saadaan vedoton, mutta samalla ilmanjaosta tehoton. Poistoilman päätelaitteilla ja sijoittelulla ei ole yhtä suurta merkitystä ilmanvaihdon tehokkuudessa, mutta suoraa oikosulkuvirtausta tuloilmalaitteesta poistoilmalaitteeseen tulee kuitenkin edelleen välttää.

5.3.5 Käytännön kokemuksia ilmanvaihdon käytöstä ja ylläpidosta

Ilmanvaihdon käyttötavat voivat myös olla syynä suunniteltua ja tarvetta pienempään ilmanvaihtoon. Käyttötavat tulee selvittää ennen laajempiin sisäilma- tai ilmanvaihtokorjauksiin ryhtymistä. Eräissä sisäilmasto-ongelmaisissa kohteissa käyttäjien vetovalitukset olivat saaneet huoltomiehen pienentämään koko rakennuksen ilmanvaihdon puoleen suunnitellusta. Käyttäjien valitukset puutteellisesta ilmanvaihdosta olivat käynnistäneet laajat ilmanvaihtokanaviston korjaukset, mutta perussy syy jäi korjaamatta. Ilmanvaihdon aiheuttama veto tulee poistaa tilakohtaisilla ilmavirta- ja päätelaitemuutoksilla sekä lämpöolojen hallinnalla. Myöskään suunnittelussa ja toteutuksessa ei ole onnistuttu, jos ilmaa ei pystytä jakamaan tiloihin vedottomasti ja meluttomasti. Huoltomiesten osaaminen on vaihtelevaa, mutta sisäilmastoon liittyvät korjaukset eivät tulisi kuulua huoltomiehen tehtäviin.

Rakennuksen ilmanvaihdon ilmavirtaa seurataan **rakennusautomaatiojärjestelmässä** melko harvoin, vaikka tähän olisi nykyään hyvät mahdollisuudet. Ilmavirtojen mittaus tulisi aina liittää automaatiojärjestelmään, jotta riittävästä ilmanvaihdosta voidaan käytön aikana varmistua. Tämä ei ole oikea paikka "säästää". Rakennusautomaation hyödyntämistä tulee lisätä ja tehostaa ilmanvaihdon toimivuuden ja sisäilmaston seuraamiseen ja ennakoivaan raportointiin. Toisaalta ilmanvaihtojärjestelmää ohjaavassa automaatiojärjestelmässä ohjelmointivirheet, toimimattomuus ja toimintahäiriöt on yksi hankalimmin paikannettavista ilmanvaihtojärjestelmän vioista. Etenkin sähköiset sisäilman laatua mittaavat anturit ovat vielä melko epäluotettavia. Tätä täydentävät tilojen käyttäjät, jotka eivät useinkaan ymmärrä käyttöliittymien eli seinällä olevia kytkimien ja säätimien toimintaa. Ilmanvaihtosuunnittelijan ja automaatio-suunnittelijan ja urakoinnin yhteistyö pitää olla saumatonta ja vastuut selviä. Koska automaatiojärjestelmien elinkaari (usein alle 10 vuotta) on huomattavasti lyhyempi kuin ilmanvaihtojärjestelmän muiden osien, tulee kaikki ilmanvaihtosuunnittelijan vaatimukset välittyä toimintaselostuksessa automaation uusijalle. Ilmanvaihdon automaattisesta ohjauksesta huolimatta on varmistettava, että minimi-ulkoilmavirta on riittävä. Energiaa ei saa säästää tai käyttää joustavasti niin, että riittävästä ilmanvaihdosta tingitään.

Tilakohtaiset ilmavirrat voivat olla suunnitelmien mukaiset, mutta suuri osa tuloilmaa on **palautusilmaa** (esimerkiksi liiketilojen poistoilmaa). Palautusilman käyttö tai osuus tuloilmavirrasta ei aina ole edes käyttöhenkilöstön tiedossa. Sisäilmaongelmaisissa rakennuksissa palautusilmaa ei tulisi käyttää, koska se voi levittää ongelmaa laajalle alueelle ja vaikeuttaa selvitystyötä. Ilmanvaihdon automaattisesta ohjauksesta huolimatta on varmistettava, että minimi-ulkoilmavirta on riittävä. Käytännön kokemuksia on saatu muun muassa energiatehokkaasta liikerakennuksesta, jonka ulkoilmavirtaa ohjataan hiilidioksidipitoisuuden perusteella. Hiilidioksidipitoisuuden mukaan ilmanvaihto on riittävä, mutta tilojen käyttäjät valittavat, että sisäilman laatu on huono.

Lauenneet palopellit voivat olla syytä puutteelliseen ilmanvaihtoon (kuva 18). Palopeltien toimivuutta tulisi valvoa automaattisesti ja tarkastus tulee olla osana ylläpito- ja huolto-ohjelmaa. Aina palopeltien kiinnioloa ei havaita edes tilakohtaisilla ilmavirtamittauksilla kanavassa virtaavan siirtoilman takia.



Kuva 18. Lauenneen palopellin takia puutteellista ilmanvaihtoa oli yritetty lisätä rikkomalla tuloilmalaitteen ilmavirran säätöosa.

Rakennuksen **käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto** on usein puutteellista. Hygieniatilojen koneellisen poistoilmanvaihdon jatkuva päällä olo ei toimiva ratkaisu. Se saattaa jopa huonontaa sisäilman laatua ja lisätä haitallisten epäpuhtauksien kulkeutumista rakennukseen ja leviämistä rakennuksessa. Myös materiaaleista peräisin olevien epäpuhtauksien pitoisuuden voivat olla korkeita käyttöajan ulkopuolella. Puhtausluokitellut rakennusmateriaalit eivät sellaisenaan takaa puhdasta sisäilmaa. Luokiteltujen materiaalien epäpuhtauksien tuotto on mitattu ja hajun hyväksyttävyyden on arvioitu tilanteessa, jossa ilmanvaihtokerroin on 0,5 1/h. Luokitusmittaus tehdään yksittäiselle tuotteelle kun taas oikea rakenne koostuu monesta materiaalista ja päästöihin vaikuttaa rakenteen kosteus ja lämpötila.

Tutkimusten perusteella erityisesti uusissa rakennuksissa vaaditaan hyvä ilmanvaihto usean kuukauden ajan, vaikka olisi käytetty vähäpäästöisiä materiaaleja (M1). Lisäksi poissaoloilmanvaihto on kytkettävä normaalille teholle vähintään kaksi tunti ennen käyttäjien saapumista. Huonoja esimerkkejä on esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuden perusteella ohjattavissa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon järjestelmistä. Näissä huoneilman epäpuhtauspitoisuudet ovat korkeita vielä rakennuksen käytön alkaessa, koska hiilidioksidipitoisuudet eivät ole ehtineet vielä nousta riittävästi ilmanvaihdon palauttamiseksi normaalille teholle.

5.3.6 Vaikutusmahdollisuudet rakennushankkeen eri vaiheissa

Usein ilmanvaihtojärjestelmä mitoitetaan ahtaaksi tilan puutteen ja painostuksen vuoksi. Ilmanvaihtosuunnittelijan tulee suunnitella ilmanvaihto toimivuuden ehdoilla ja perustella hyvät ratkaisut ilmanvaihdon toimivuuteen vedoten (esimerkiksi riittävä ilmanvaihto ja kanavistopaine). Myös toissijaisten tilojen ilmanvaihto tulee suunnitella laadukkaaksi, jotta niistä ei muodostu epäpuhtauslähteitä. Ilmanvaihtosuunnittelija myös valvoo toteutusta ja vaihtoehtoisten tuotteiden kelpoisuutta tavoitteiden kannalta.

Myös ilmanjako tulee suunnitella ilmanvaihdon tehokkuuden ja toimivuuden ehdoilla. Vedon välttäminen ei voi olla peruste huonon ilmanvaihdon tehokkuuden suunnitteluun. Tuloilman lämpötilan asetusarvon liiallinen nostaminen käytön aikana tulee estää suunnittelulla ja teknisellä toteutuksella. Suunnittelijan tulee varmistaa, että tarpeenmukaisesti ohjatuissa ilmanvaihtojärjestelmissä ilmanjaon tehokkuus ei heikkene ilmavirtoja pienennettäessä.

Ilmanvaihtosuunnittelijan tulee suunnitella ilmanvaihtojärjestelmä niin, että palopelteilä tulee mahdollisimman vähän ja niissä on sähköinen valvonta ja hälytykset laukeamisesta.

Palopeltien määrää voidaan vähentää hajauttamalla ilmanvaihtojärjestelmä toiminnallisesti ja paloalueittain. Hajautus edellyttää eri suunnittelijoiden yhteistyötä.

Rakennuksen käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto on suunniteltava ja toteutettava niin, että ilma vaihtuu kaikissa tiloissa. Hygieniatilojen koneellisen poistoilmanvaihto ei ole toimiva ratkaisu, vaan voi jopa pahentaa tilannetta. Tämä edellyttää uusia suunnitteluratkaisuja.

Rakennusautomaatiojärjestelmän hyödyntämistä ilmanvaihdon toimivuuden ja sisäilmaston seuraamiseen ja ennakoivaan raportointiin tulee lisätä. Päävastuu ennakoivan seurannan suunnittelussa on LVI-suunnittelijoilla. Rakennusautomaatiosuunnittelijalle ei voi siirtää vastuuta LVI-prosessien suunnitelmien mukaisesta toiminnasta ja hallinnasta. Rakennusautomaation nykyistä tehokkaampi hyödyntämien rakennuksen käytön aikana pitää suunnitella ja lisätä rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeeseen. Tällöin huoltohenkilöstöllä on edes periaatteessa mahdollisuudet ennakoivaan seurantaan pelkkien vikahälytysten kuittaamisen sijaan.

5.4 Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamat paine-erot

5.4.1 Ongelman kuvaus

Rakennuksen vaipan yli vallitsevaa paine-eroa ei yleensä suunnitella osana ilmanvaihdon tasapainotusta. Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamat suunnittelemattomat paine-erot voivat olla merkittävä tekijä epäpuhtauksien kulkeutumisessa. Suurimmat alipaineet syntyvät erillispoistoista ja käyttöajan ulkopuolisen poistoilmanvaihdon vaikutuksesta. Mikäli rakennus on ylipaineinen, kulkeutuu sisäilman kosteutta rakenteiden sisälle ja se voi aiheuttaa pitkään jatkuessaan haittaa rakenteiden kunnolle. Ylipaineen voi aiheuttaa virheellisesti suunniteltu tai muusta syystä epätasapainossa oleva ilmanvaihtojärjestelmä.

5.4.2 Ongelman syntyminen edellytykset

Ilmanvaihtosuunnittelija ei yleensä suunnittele rakennuksen ilmanvaihdon kokonaistoimivuutta eikä määritä **ilmanvaihdon tasapainoa** ja sen perusteella syntyvää paine-eroa. Myös rakennuksen käyttöönottovaiheen tarkastusten puutteet ja käytönaikaisen seurannan puuttuminen luovat hyvät edellytykset ongelmien syntyemiselle.

Uudisrakennusten **vaipan ilmanpitävyys** on parantunut merkittävästi 2000-luvulla. Rakennuksen vaipan hyvä ilmanpitävyys on tärkeitä kaikkien ilmanvaihtojärjestelmien toimivuuden ja hyvän sisäilmaston varmistamisessa. Tiiviissä rakennuksessa syntyy suurempia paine-eroja kuin aikaisemmin rakennetuissa hatarissa rakennuksissa. Jos ilmanvaihtojärjestelmän **ulkoilma- ja jäteilmavirtojen ero** suunnitellaan yhtä suureksi kuin aikaisemmin, niin tästä aiheutuu rakennuksen ulkovaipan yli aikaisempaa suurempi paine-ero. Paine-eron suuruus riippuu vaipan ilmanpitävyydestä sekä ulkoilma- ja jäteilmavirtojen erosta. Nykyaikaisen tiiviin rakennuksen tulee olla hieman alipaineinen ulkoilmaan verrattuna (yleensä 1 - 3 Pa). Rakentamismääräysten mukaan alipaine ei yleensä saa olla suurempi kuin 30 Pa. Tämä arvo on tarpeettoman suuri, jos ilmanvaihto on järjestetty hallitusti.

5.4.3 Käytännön kokemuksia paine-eroista

Rakennuksen ilmanpitävyyden parantuessa rakennukseen jää edelleen **vuotokohtia**, joihin vuodot keskittyvät. Tyypillisimmät ja yleensä suhteellisen vaarattomat vuotokohtat keskittyvät ikkunoihin ja ulko-oviin. Sen sijaan alapohjan ja yläpohjan sekä niiden läpivientien vuodoista voi aiheutua merkittävää haittaa rakennukselle ja sen käyttäjille. Myös puutteet siirtoilmareittien suunnittelussa ja toteutuksessa voivat aiheuttaa haitallisia paine-eroja rakennuksen sisälle.

Suurissa toimistorakennuksissa ja vastaavissa ei-asuinrakennuksissa suuria paine-eroja voi esiintyä puhaltimien eriaikaisen käynnistyksen yhteydessä. Myös sulkupeltien avautumisessa

voi olla viiveitä, jotka aiheuttavat suuria hetkellisiä paine-eroja. Palopeltien laukeaminen tai testikäyttö voi myös aiheuttaa poikkeuksellisia paine-eroja vaipan yli ja rakennuksen eri osien välillä.

Aikaisemmin rakennuksen käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto toteutettiin yleisesti pitämällä hygieniatilojen koneellista poistoilmanvaihtoa päällä jatkuvasti. Poistoilmanvaihto aiheuttaa rakennukseen alipaineen, joka lisää haitallisten epäpuhtauksien kulkeutumista rakennukseen ja leviämistä rakennuksessa.

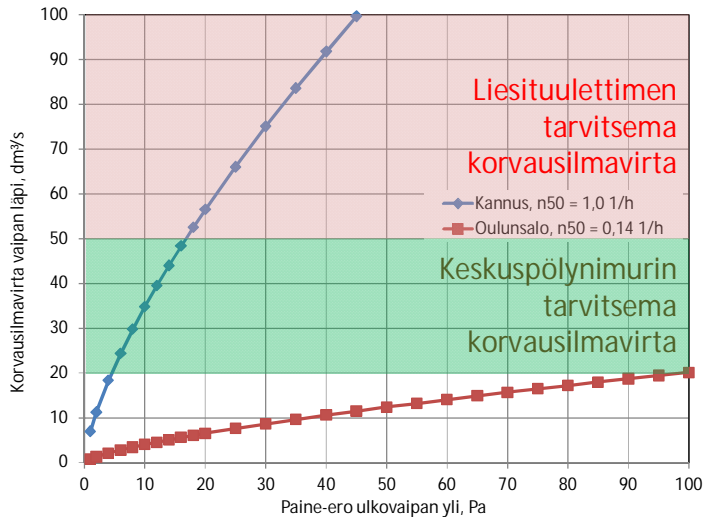
Erillispoistoja suunnitellaan ja toteutetaan vielä nykyisinkin ilman vastaavaa ja hallittua korvaavaa ulkoilmavirtaa, vaikka pääasiallinen ilmanvaihtojärjestelmä on tasapainossa. Tällaisia erillispoistoja ovat laitoskeittiöiden rasvapoistot, porraskäytävien erillispoistot, WC- ja pesutilojen erillispoistot ja hyvin likaisten tilojen tehostettavat poistoja.

Asuinkerrostaloissa huoneistojen ilmanvaihto on nykyisin tasapainossa, mutta yleisten tilojen ei välttämättä ole. Koska rakennuksissa on runsaasti sisäisiä vuotoja, voi myös huoneistojen alipaineisuus olla suunniteltua suurempi. Ilmanvaihtokanavien yhdistämisen rajoituksista on rakentamismääräyksissä yksityiskohtaiset ohjeet ilman puhtauden ja paloteknisten asioiden perusteella. Rajoituksia on tulkittu niin, että erillispoistoja käyttämällä ei synny ongelmia. Erillispoistoja on asuinkerrostaloissa tyyppillisesti porraskäytävissä, hissikuiluissa, teknisissä tiloissa, väestönsuojassa/häkkivarastossa, talosaunassa ja talopesulassa.

Pientaloissa on hyvin yleistä, että keittiön liedellä on liesituuletin tai liesikupu, joka on yhdistetty katolla olevaan huippumuriin. Ulkoilmavirran saantia ei yleensä ole suunniteltu tai toteutettu lainkaan. Erittäin tiiviissä pientalossa alipaine saattaa liesituuletinta käytettäessä olla jopa yli 100 Pa (kuva 19). Suuri ilmavirta korvaa liesikupujen heikkoa kärynsieppauskykyä, joka on erityisen huono niin sanotuilla design-kuvuilla. Myös keskuspölynimuri aiheuttaa suuren alipaineen sisälle, kun vastaavaa ulkoilmavirtaa ei ole suunniteltu. Pientalossa suuri alipaine voi heikentää **tulisijan** vetoa ja aiheuttaa vaaraa. Paloilman saanti tulisi järjestää niin, että se toimii ilmanvaihdon käytöstä riippumatta.

Perinteisesti pientalojen ilmanvaihdon **lämmöntalteenoton jäätymissuojauksessa** on käytetty tuloilmapuhaltimen ajoittaista pysäytystä estämään jäätymistä. Tämä aiheuttaa tiiviissä pientalossa suuren paine-eron ulkovaipan yli, jonka vaikutuksesta ulkoilmaa saattaa edelleen virrata sisään tuloilmapuhaltimen seisoessakin. Jäätymissuojaus ei tällöin välttämättä toimi. Ilmanvaihtokoneen ulko- ja jäteilmavirran suhde tulee säilyä myös jäätymissuojauksen ja sulatuksen aikana, jotta suuria paine-eroja ei syntyisi. Näin tapahtuukin uusimmissa ilmanvaihtokoneissa.

Erillispoistoilla voi olla suuri vaikutus paine-eroihin ja epäpuhtauksien leviämiseen. Etenkin tarpeen mukaan tehotettavien erillispoistojen aiheuttamia paine-eroja on vaikea hallita. Ilmanvaihdon aiheuttamien paine-erojen hallitsemiseksi ilmavirtojen tasapainotus tulee varmistaa ilmanvaihtokoneiden ja rakennuksen tasolla. Nykyaikaisissa ilmanvaihtokoneissa on tähän riittävän tarkat ja luotettavat ilmavirran mittausmahdollisuudet, joita ei riittävästi hyödynnetä. Huonekohtaisten ilmavirtojen **mittausepävarmuus** ($\pm 20\%$) ei ole välttämättä riittävän luotettavaa ilmavirtojen tasapainotukseen ja paine-erojen hallintaan. Ilman lämpötila ja suodattimien likaantuminen voi vaikuttaa myös ilmanvaihtokoneiden ilmavirtoihin ja voi muuttaa ilmanvaihdon tasapainoa. Ilmanvaihtokoneiden puhaltimet tulisi sijoittaa niin, ettei jäteilmän massavirta pienene ulkoilman massavirtaa pienemmäksi talvella.



Kuva 19. Tiiviissä pientalossa liesituuletin ja keskuspölynimuri voivat aiheuttaa erittäin suuren alipaineen. Kuvassa esitetään kahden pientalon laskennallinen paine-ero ulkovaipan yli, jos erillispoistojen korvausilman saannista ei ole huolehdittu (Lähde: Energiatehokkaan pientalon ilmanvaihto-opas).

5.4.4 Vaikutusmahdollisuudet rakennushankkeen eri vaiheissa

Rakennuksissa esiintyy ajoittain ylipainetta ilmanpitävyydestä ja suunnitellusta alipaineisuudesta huolimatta (ovien ja ikkunoiden avaus, tuuli, lämpötilaero ym.). Ajoittaisesta ylipaineesta on mahdollisimman vähän haittaa, kun rakennuksen yläosat ovat mahdollisimman tiiviit. Etenkin korkeissa rakennuksissa terminen paine-ero voi aiheuttaa talvella ylipainetta rakennuksen yläosiin. Tätä ylipainetta ei yleensä voida poistaa pelkästään ilmanvaihdon ilmavirtojen tasapainoa muuttamalla ilman, että ilmanvaihto heikkenee merkittävästi. Myös rakennuksen sisäistä tiiviyttä pitää parantaa esimerkiksi tiiviillä läpivienneillä ja tilojen (porraskäytävä, hissi, ym.) osastoinnilla. Rakennuksen sisäinen tiiviys on tärkeää myös epäpuhtauksien ja hajujen kulkeutumisen takia. Läpivientien tiivistykset ja palokatkojen huolellinen toteutus ovat oleellisia tekijöitä.

Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamat hallitsemattomat paine-erot voidaan välttää yksityiskohtaisemmalla ilmavirtojen tasapainon suunnittelulla erilaisissa käyttötilanteissa. Erillispoistoja tulee välttää ja suunnitella esimerkiksi rasvapoistoille vastaava koneellinen ulkoilmavirta.

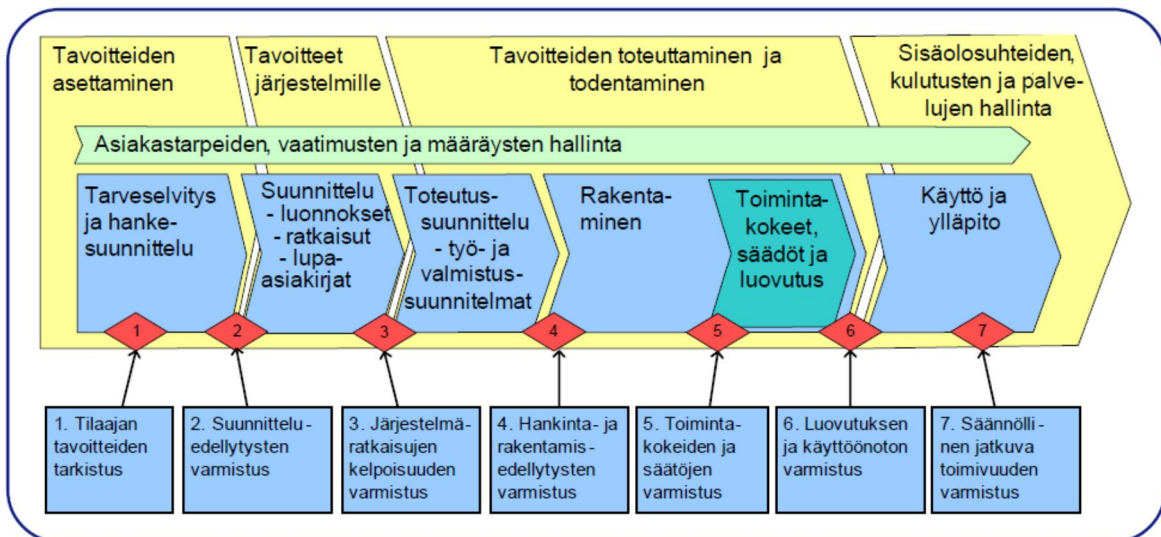
Lisäksi käyttöönottovaiheen mittaukset ja tarkastukset tulee tehdä huolellisesti, jotta suunniteltu lopputulos saadaan aikaan. Ilmavirtojen käytönaikaisen seuranta tulee ottaa käyttöön kaikissa rakennuksissa. Vain jatkuvalla ilmavirtojen mittauksella ja ilmavirtojen tasapainossa pitämisellä voidaan haitalliset paine-erot välttää.

6. Toimivuuden varmistaminen (ToVa)

Toimivuuden varmistaminen on suunnittelutavoitteiden asettamisesta alkaen koko rakennuksen elinkaaren kattavaa systemaattista toimintaa, jolla varmistetaan se, että rakennukselle ja sen järjestelmille asetettavat tavoitteet on määritelty selkeästi ja niiden toteutumista seurataan ja ohjataan säännöllisesti rakennushankkeen eri vaiheissa (kuva 20).

Rakennuksen toimivuuden varmistaminen sisältää suunnittelu-, toteutus-, käyttöönotto- ja käyttövaiheet. Ilmanvaihtojärjestelmän osalta suunnittelu- ja käyttöönottovaiheet ovat kokemuksen mukaan erityisen tärkeitä vaiheita.

Toimivuuden varmistaminen tulisi olla normaali toimintatapa, jota sovelletaan tarkoituksenmukaisessa laajuudessa. Minimissään kyseeseen tulee määräystenmukaisuuden varmistaminen suunnittelussa, toteutuksessa, käyttöönotossa ja käytössä. Nykyisin eri vaiheet käsitellään usein erillisinä muista riippumatta.



Kuva 20. Prosessikuvaus rakennuksen toimivuuden varmistamisesta energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta. Kuvan alalaidassa esitetään toimivuuden varmistamisen keskeiset alueet. Tavoitteiden ja tiedon siirtyminen vaiheesta toiseen on varmistettava. (lähde: ToVa-käsikirja, VTT Tiedotteita 2413)

Lähdekirjallisuutta

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. Ajantasaistettu säännös, www.finlex.fi

Suomen rakentamismääräyskokoelma löytyy kokonaisuudessaan ympäristöministeriön sivuilta www.ym.fi osoitteesta: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Annettu Helsingissä 30 päivänä maaliskuuta 2011. 34 s. Asetus tuli voimaan 1.7.2012.

Järnström H. (2008). Reference values for building material emissions and indoor air quality in residential buildings, Helsinki (VTT Publications 672)

Pietiläinen, J., Kauppinen, T., Kovanen, K., Nykänen, V., Nyman, M., Paiho, S., Peltonen, J., Pihala, H., Kalema, T. ja Keränen, H. (2007) ToVa-käsikirja. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta. VTT, Espoo. 173 s. + liitt. 56 s. (VTT Tiedotteita 2413)

www.m1.rts.fi

RIL 250-2011, Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen

RIL 107-2012, Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet

RIL 255-1-2014, Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysiikallinen suunnittelu ja tutkimukset

Ratu-S-1232, Rakennustyömaan sääsuojaus

Leivo V. ja Rantala J., Maanvastaisten rakenteiden mikrobiologinen toimivuus, TTY. 2006

Aho H. ja Korpi M., Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa, TTY. 2009

EN16516

Niemi S. ja Järnström H. Miksi lattiapinnoiteongelmat ovat edelleen ajankohtaisia vaikka työmaiden kosteudenhallinta on parantunut ja materiaaliemissiot ovat pienentyneet. Sisäilmastoseminaari 2017. SIY Raportti 35, Juva.

K. Villberg ym (2004). Sisäilman laadun hallinta. VTT Publications 540. Espoo. www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2004/P540.pdf

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista (2015). Helsinki. 12 s.

LVI 30-40008. 1991. Muuttuvilmavirtaiset ilmastointijärjestelmät. Rakennustietosäätiö, Helsinki. 10 s.

Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien ja -laitteiden kuntotutkimusmenettely (IV-kuntotutkimus). Ohjeet ja raportointimallit (versiot 1/2016). Suomen LVI-liitto ry.

Pientalon ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluperusteet (1989) Kauppa- ja teollisuusministeriö, Helsinki. 73 s. (KTM sarja D:175).

Saari, M., Nyman, M., Rautiainen, K. ja Porkola, P. (2015) Energiatehokkaan pientalon ilmanvaihto-opas. Sisäilmastoseminaari 2015, SIY raportti 33. s. 289-294.

Enbom, S. (1986) Regeneratiivisen lämmöntalteenottolaitteen epäpuhtauksien siirto. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo. 53 s. + liitt. 13 s (VTT Tiedotteita 639)

Saari, M., Nyman, M., Päckilä, T. ja Järnström H. (2016) Havainnot ilmanvaihtojärjestelmistä sisäilmaongelmaisissa kohteissa. Sisäilmastoseminaari 2016, SIY raportti 34. s. 85-90.



Sisäilman laadun hallinta rakentamisen eri vaiheissa

Talonrakennusteollisuuden hallituksen
kokous 12.12.2017

Unioninkatu 14, Helsinki

Mikko Saari, Risto Koivusaari ja Helena
Järnström

Käytännön kokemuksia sisäilman laadun heikentymisestä rakentamisen eri vaiheissa



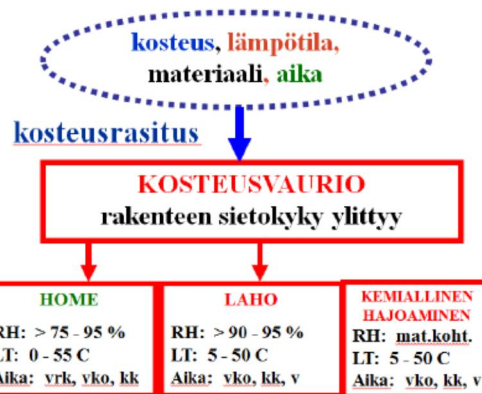
- Pääpaino on uudisrakentamisessa, mutta asioita voidaan soveltaa myös korjausrakentamisessa
- Lähtökohtana on ongelmiin johtavien ratkaisujen, valintojen, tapahtumien ja toimenpiteiden esille tuominen
 - usein ongelmien taustalla on useita samanaikaisesti esiintyviä tai tapahtuvia asioita
 - vaikeuttaa syy- ja seuraussuhteiden hahmottamista
 - ongelmat esiintyvät usein eri suunnittelijoiden ja urakoiden rajapinnoilla
 - vastuut epäselviä
- Tavoitteena on ongelmien välttäminen tulevaisuudessa
- Asiat on jaettu kolmeen osaan: Kosteus rakenteissa, kemialliset epäpuhtaudet ja ilmanvaihdon toimimattomuus
- Vaurioista tai virhetoiminnoista aiheutuvia terveysvaikutuksia ei käsitellä

Rakenteiden / materiaalien sietokyky kosteudelle vaihtelee

- Vauriutilanteessa rakenteessa syntyy tavanomaisesta poikkeavia määriä biologisia tai kemiallisia epäpuhtauksia, jotka voivat kulkeutua sisäilmaan
- Epäpuhtauksien hallinta on olennaista sisäilman laadun kannalta



12.12.2017



3

Työmaan kosteuden- ja puhtaudenhallinta vaikuttaa merkittävästi tulevan sisäilman laatuun

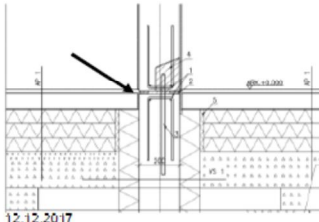
- Kosteudenhallinta
 - sääsuojaus ja sääolosuhteiden vaikutus asennukseen
 - tuotteiden varastointi
 - elementtien asennusaikainen suojaus
- Puhtaudenhallinta
 - yleinen siisteys ja työmaasiivous
 - sahaus- ja sekoituspaikat
 - kemikaali- ja öljyvahingot
- Osastointi ja merkinnät
- Perehdytys, valvonta ja seuranta

12.12.2017

4

Rakenteet ja sisäilman laatu 1/3 – alapohja- ja lattiarakenteet

- Alapohjarakenteiden ilmatiiviys on merkittävässä roolissa sisäilman epäpuhtauksien hallinnassa
- Ryömintätilan olosuhteista ja tuuletuksen tasosta on monia mielipiteitä
- Rakennekosteus betonirakenteissa
 - joidenkin rakennetyyppien (esim. liitosvalut) ja pinnoitteiden edellyttämiä kuivumisolosuhteita ja -aikaa ei saavuteta eikä oteta huomioon
- Rakennuspohjan kuivatus ja salaojituksen toimivuus
 - talotekniikan reitityksen kaivannot maassa, jotka toimivat salaojina ja tuovat huleveden perustusrakenteisiin



5

Rakenteet ja sisäilman laatu 2/3 – ulkoseinärakenne

- Ulkoseinärakenteiden tai esivalmistettujen elementtien sääsuojaus
 - varastointi, kuljetus, purku, asennus, rakennusaika
 - haitallisen kastumisen = materiaalien kelpoisuuden arviointi haastavaa
- Sateenpitävyys ja kuivumiskyky
 - julkisivupinnan saumojen, liitosten, pellitysten jne. vesivuodot, jotka aiheuttavat rakenteen kastumista
 - julkisivupinnan sateenpitävyys merkittävästi suunnittemattomien ja/tai heikosti suunniteltujen/toteutettujen pellitysten/elastisten saumausten varassa ja rakenteen kuivumiskyky heikko.
 - julkisivujen sateenpitävänä osana toimivien saumojen käyttöikä lyhyt ja niiden huolto työlästä



12.12.2017

6

Rakenteet ja sisäilman laatu 3/3 – vesikatto ja holvi

- Vesikatto rakentamisaikana: holvin ja esivalmistettujen tilaelementtien sääsuojaus tai kosteudenhallinta ei ole riittävän tarkasti suunniteltua ja systemaattista
 - varastointi, kuljetus, purku, asennus, rakennusaika
 - haitallisen kastumisen = materiaalien kelpoisuuden arviointi haastavaa
- Loivien vesikattojen vesieristeen liittymien vuodot
 - bitumikermin ylösnoston kiinnitys puutteellinen tai epäluotettava
 - vesikatteen lävistävän rakenteen vesitiiviys ja liikuntasaumakohtien sateenpitävyys



12.12.2017

7

Kemialliset epäpuhtaudet ja hajut

- Emissioluokitus (M1) on vähentänyt materiaalipäästöjä yleisellä tasolla
 - Yksittäisen tuotteen päästöt eivät kuitenkaan kuvaa tilannetta oikeassa rakennuksessa tai rakenteessa.
- Emissio-ongelmat liittyvät useimmiten kosteuden aiheuttamiin hajoamisreaktioihin, tavallisimpana muovimattopinnoitteinen lattiarakenne. Toisaalta tuotteiden sietokyky kosteudelle on parantunut ja kohteissa on esiintynyt ylitulkintaa vaurion kannalta.



12.12.2017

8

Lattiarakenteen emissioaurion muodostuminen

- Pinnoitteen tiivyydessä ja vesihöyrynläpäisevyydessä on eroja
 - kosteusolosuhde pinnoitteen alla vaihtelee
 - VOC- yhdisteiden kulkeutuminen sisäilmaan pinnoitteen läpi vaihtelee
 - vesihöyrynläpäisevyydelle ei ole annettu kriteerejä
- Emissioaurion syntymisen kannalta vaikuttavia tekijöitä
 - tuotteiden sietokyky kosteudelle
 - tuotteiden yhteensopivuus
 - liimatyyppi
 - tasoitteen määrä
 - tasoitteen alkalisuoja?
- Työvirheet sekoittavat vaurion arviointia
 - alustan pölyisyys (tartuntaongelmat)
 - liiman levitys, laimentaminen vedellä, jyrääminen



12.12.2017

9

Emissioiden (ml. hajujen) hallinta rakennuksissa

- Uuden rakennuksen sisäilman laatutason varmentamiseksi tärkeät kohdat ovat:
 1. Valitaan vähäpäästöiset (luokitellut) materiaalit ja toimivat yhdistelmät/järjestelmät
 - Lattiapinnoitejärjestelmän osalta eri tuotevalmistajat kehittävät yhteistyössä mittauksin toimiviksi todennetut järjestelmät
 2. Varmistetaan rakennusaikainen kosteudenhallinta
 3. Varmistetaan toimiva ilmanvaihto, joka on jatkuvatoiminen ja tehostettu vähintään puolen vuoden ajan siitä kun kohde on valmistunut
 4. Käyttöä ja ylläpitoa varten laaditaan erillinen käyttö- ja huolto-ohje, sisältäen myös ilmanvaihdon käytön ohjeistuksen ja kalustuksen huomioiminen

12.12.2017

10

Ilmanvaihtojärjestelmä ja sisäilman laatu

- Ilmanvaihto on tärkeä sisäilman laadun ylläpitäjä
 - poistaa ilmasta ylimääräisen kosteuden, hajut ja haitalliset kemialliset epäpuhtaudet riippumatta siitä, mistä ne ovat peräisin
- Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelu-, toteutus- ja käyttövaiheen virheet
 - virheitä tai sellaisia päätöksiä tai riskiratkaisuja, jotka heikentävät ilmanvaihdon toimintaedellytyksiä laadukkaan sisäilman varmistamisessa
 - virheellisesti toimiva ilmanvaihtojärjestelmä voi myös aiheuttaa sisäilmaongelmia
- Merkittävimmät sisäilman laatua heikentävät asiat
 1. Tuloilman epäpuhtaudet ja hajut
 2. Puutteellinen ja tehoton ilmanvaihto
 3. Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamat paine-erot

Tuloilman epäpuhtaudet ja hajut

- Ilmanvaihtojärjestelmän likaantuminen rakentamisen aikana
 - kosteuden- ja puhtaudenhallintasuunnitelmat
 - työmaakoulutus ja valvonta
- Ilmanvaihtojärjestelmän ulkoilman sisäänotto
 - puutteellisen suunnittelu ja toteutus
- Ilmanvaihtojärjestelmän ja konehuoneiden viemäröinti
 - viemärikaasuja kulkeutuu tuloilmaan ja sen mukana rakennuksen tiloihin
- Pyörivän lämmöntalteenoton epäpuhtaudet
 - kondenssiveden ja ilmapuotojen välityksellä poistoilmasta tuloilmaan
 - lisää sisäilmaongelmaisten rakennusten ongelmia entisestään
 - asuinrakennuksissa puutteellinen kosteuden poisto
- Ilmanvaihtokanaviston eristykset ja reititykset ovat riskialttiita
 - energiatehokkuuden heikkeneminen, viihtyisyyshaittoja ja kosteuden tiivistymistä rakenteisiin

Puutteellinen ja tehoton ilmanvaihto

- Ilmanvaihtojärjestelmä mitoitetaan ahtaaksi
 - painehäviöt kasvavat, perussäätö vaikeutuu ja ilmavirtojen hallinta heikkenee
 - ilmavirrat suunniteltua pienempiä ($\pm 20\%$)
 - ilmanjako tehotonta
- Ilmanjako tulee suunnitella ilmanvaihdon tehokkuuden ja toimivuuden ehdoilla
 - tarpeenmukaisesti ohjatut ilmanvaihtojärjestelmät
- Rakennuksen käyttäjän ulkopuolinen ilmanvaihto
 - ilma tulee vaihtua kaikissa tiloissa
- Rakennusautomaatiojärjestelmän tehokkaampi hyödyntäminen
 - ilmanvaihdon toimivuuden ja sisäilmaston seuraaminen
 - ennakoiva raportointi
 - huoltohenkilöstöllä mahdollisuudet toimivuuden seurantaan

Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamat paine-erot

- Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamat suunnittelemattomat paine-erot rakenteiden yli
 - merkittävä tekijä epäpuhtauksien kulkeutumisessa
- Suurimmat paine-erot syntyvät
 - erillispoistoista (näitä tulee välttää)
 - käyttäjän ulkopuolisen ilmanvaihdon vaikutuksesta
- Paine-erot voidaan välttää yksityiskohtaisemmalla ilmavirtojen tasapainon suunnittelulla erilaisissa käyttötilanteissa
- Käyttöönottovaiheen mittaukset ja tarkastukset tulee tehdä huolellisesti
- Ilmavirtojen jatkuva mittaus ja seuranta
 - ilmavirrat pysyvät tasapainossa ja haitalliset paine-erot ja epäpuhtauksien kulkeutuminen voidaan välttää

