



Sisäilmaongelmaiset julkiset rakennukset ja niiden väliaikaisen korjauksen menetelmiä ilmanvaihdon näkökulmasta

Mirka Välitalo

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2019
Talotekniikan koulutusohjelma
Ylempi AMK-tutkinto 2018

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
Ylempi AMK-tutkinto

VÄLITALO MIRKA:

Sisäilmaongelmaiset julkiset rakennukset ja niiden väliaikaisen korjauksen menetelmiä ilmanvaihdon näkökulmasta

Opinnäytetyö 76 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Huhtikuu 2019

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli löytää kustannustehokkaita ilmanvaihdon ratkaisuja sisäilmaongelmaisiin julkisiin koulurakennuksiin. Oleellista oli huomioida järjestelmän väliaikaisuus. Sisäilmaongelmaisia kouluja ei ole tarkoitus peruskorjata, vaan ilmanvaihdon toimenpiteillä, yhdessä kevyiden rakenneratkaisujen (tiivistys ja kapselointi) kanssa, pyritään luomaan terveelliset ja turvalliset olosuhteet tilan käyttäjille noin viideksi vuodeksi eteenpäin. Viiden vuoden kuluttua koulurakennus peruskorjataan tai uusi koulurakennus on rakennettu korvaamaan vanha. Työn tavoitteena oli aikaansaada FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy:n Rakennusterveys- ja sisäilmatiimille tietoa ilmanvaihtotoimenpiteistä ja -ratkaisuista, joita voidaan soveltaa sisäilmaongelmaiseen rakennukseen, huomioiden ilmanvaihdon ja rakennusteknisten ratkaisujen yhteisvaikutus sisäilmaolosuhteisiin.

Sisäilmaongelmiin perehdyttiin kirjallisella tutkimuksella myös määräysten, energiansäästön ja ympäristön vaikutusten näkökulmasta. Aiheesta kerättiin mahdollisimman laajasti teoretietoa sisäilmaongelman aiheuttajista ja ilmanvaihdon ratkaisusta niihin. Sisäilmaongelmien ratkaisutapoja tutkiessa myös jalkauduttiin korjattaviin kohteisiin. Paikan päällä tehty havainnointi väliaikaisista ratkaisuista toi arvokasta kokemusperäistä tietoa ratkaisujen toimivuudesta.

Tässä työssä keskityttiin 1960-1980-lukujen rakennuksiin, joissa on suurin korjaustarve ja joiden rakennusosat ovat tulossa elinkaarensa päähän. Tuon aikakauden rakennuksissa todettiin olevan paljon riskirakenteita, kuten valesokkeleita, tasakattoja sekä alapohjia ilman lämmöneristeitä ja kapillaarikatkoja. Lisäksi ilmanvaihtoon ja sen painesuhteisiin ei tuolloin oltu kiinnitetty huomiota, vaan 60-80-luvun rakennukset on suunniteltu poistoilmanvaihtoon perustuen alipaineisiksi. Usein niiden korvausilmareitit ovat puutteellisia ja korvausilman saanti perustuu osittain vuotoilmaan.

Ilmanvaihtoratkaisuja sisäilmaolosuhteiden parantamiseen esitettiin vuotoilmojen hallinnan, ilmanvaihtuvuuden lisäämisen, yli- ja alipaineistuksen sekä sisäilman olosuhteiden seurannan ja ylläpidon näkökulmasta.

Asiasanat: sisäilmaongelma, sisäilmanlaatu, vuotoilmojen hallinta, alipaineistus, ylipaineistus, olosuhdeseuranta

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Systems
Master's Degree

VÄLITALO MIRKA:

Public Buildings with Indoor Air Problems and Their Temporary Repair Methods
from a Ventilation point of view

Master's thesis 76 pages, appendices 0 pages
April 2019

The purpose of the thesis was to search cost-effective ventilation solutions for public school buildings with indoor air problems that are not meant to be currently completely renovated. Ventilation solutions of this nature are combined with light-weight structural renovations such as sealing and encapsulation. It is essential to understand that these solutions are only temporary. Solutions are planned to create healthy and safe conditions for users of the building for approximately five years. The objective of this study was to collect information of these temporary solutions for the use of FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy's Team of Healthy Building.

Ventilation solutions were studied with a theoretical section which also considers regulations and the environmental impacts that these solutions may have. Theoretical data was collected as widely as possible about the causes of the indoor air problem and the appropriate ventilation solutions. During the study buildings with ongoing renovations were visited for observation of their temporary solutions of this nature to gain empirical experience of the functionality of the solutions.

The thesis focuses on buildings from the 1960s to 1980s. Buildings from these decades have the greatest need of repairing as they are nearing the end of their lifespan. These buildings often have several risks such as flat roofs and base floors without thermal insulation which may cause water damage to the structures. At the time no attention was paid to ventilation and its pressure ratios. Buildings were designed for underpressure ventilation and often the incoming air routes were inadequate and the supply air partly came through from the leaks of the structures.

The findings are presenting temporary solutions for indoor air problems from the point of view of leakage control, increasing ventilation, over and underpressuring the building as well as monitoring the indoor air quality and maintenance.

Key words: indoor air problem, IAQ, leak air management, underpressure, overpressure, environmental monitoring

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
1.1	Taustatiedot	7
1.2	Tavoitteet ja rajaus	9
1.3	Toteutus	11
2	HAVAITU SISÄILMAONGELMA.....	12
2.1	Yleinen selvitysprosessi sisäilmaongelmaisessa rakennuksessa	12
2.2	Todetut ongelmat ja korjaustarve	13
2.3	Korjauskustannukset eri tilanteissa	14
2.4	Muutos- ja korjaustyöt	15
2.5	Rakennuksen kunnossapitovelvoite	15
2.6	Kiinteistöhuollon merkitys.....	16
2.7	Puutteita kiinteistön tekniikan ylläpidossa	16
3	KORJAUSTARPEET MÄÄRÄYSTEN JA OHJEIDEN NÄKÖKULMASTA	18
3.1	Rakennusmääräykset Suomessa.....	18
3.2	Rakennusvalvonta.....	19
4	KIINTEISTÖT JA ENERGIANKULUTUS	20
4.1	Energiansäästö 70-luvulta tähän päivään	20
4.2	Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivi	24
5	YMPÄRISTÖN VAIKUTUS RAKENNUSTEN SISÄILMAONGELMIIN	25
5.1	Rakennusta rasittavat ulkoiset kosteuslähteet	25
5.2	Rakennusta rasittavat sisäiset kosteuslähteet	26
5.3	Vuodenajat.....	28
5.4	Tuuliolosuhteet.....	29
6	RAKENNUSTEKNISET RATKAISUT SEKÄ MUUT TOIMENPITEET	30
6.1	Kapselointi	30
6.2	Tiivistysratkaisut.....	31
6.3	Biosidit	31
6.4	Ilmanpuhdistimet.....	32
7	SISÄILMAOLOSUHTEIDEN PARANTAMINEN.....	35
7.1	Kuntien taloudellinen panostus koulujen väliaikaiseen	35
	korjaukseen.....	35
7.2	Sisäilman epäpuhtaudet.....	35
7.3	Vuotoilmojen hallinta	38
7.3.1	Rakennuksen ilmatiiviyys ja painesuhteet	38
7.3.2	Hallitsematon ilman kulku	40

7.3.3 Alipaineinen koneellinen poistoilmanvaihto tasapainoon....	42
7.3.4 Painesuhteiden stabilointi olosuhde-aktiivisäädöllä	44
7.3.5 Rakennusautomaatio painesuhteiden tarkkailun välineenä	45
7.4 Ilmanvaihdon lisääminen epäpuhtauksien laimentamiseen	47
7.5 Ylipaineistus	49
7.6 Alipaineistus	51
7.6.1 Hallittu aktiivinen alipaineistus	51
7.6.2 Ryömintätalallisen alapohjan ratkaisut.....	55
7.7 Sisäilmaolosuhteiden seuranta ja ylläpito	56
7.7.1 Sisäilmaolosuhteiden jatkuvan mittauksen menetelmä	56
7.8 Energiansäästö ja rakennusterveys	56
7.8.1 Ilmanvaihdon käyntiajat ja niiden vaikutus sisäilmaan.....	58
7.9 Saneeratun kohteen huolto ja ylläpito	62
7.10 Käyttäjämäärät ja kohteen mitoitus.....	63
7.11 Koulujen sisäilma muualla Euroopassa	63
7.11.1 Sisäilman laatu Ruotsin kouluissa.....	63
7.11.2 Sisäilman laatu Euroopan kouluissa	64
8 POHDINTA	65
9 JOHTOPÄÄTÖKSET	68
LÄHTEET.....	70

ERITYISSANASTO

RT-kortti	Rakennustietokortti
η_{LTO} / lämpötilahyötysuhde	Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton ominaisuus, joka kertoo, kuinka monta prosenttia poistoilman lämmöstä lämmöntalteenotto laite kykenee siirtämään tuloilmaan vakioituissa olosuhteissa. (Seppänen, Olli.1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto, s.286)
SFP	Specific Fan Power = ominaissähköteho eli sähköverkosta otettu teho, joka tarvitaan yhden ilmakehän kuljettamiseen rakennuksen läpi sekunnissa. Se sisältää koko rakennuksen kaikkien tulo- ja poistopuhaltimien (poisto voi olla myös huippuimuri) yhteenlasketun verkosta otetun sähkötehon jaettuna käsitellyllä ilmavirralla. Jakajana on aina suurempi ilmavirta (tulo tai poisto). Yksikkö: kW/ m ³ /s
Kapillaarisuus	Ominaisuus, jonka avulla huokoinen aine kykenee imeämään nestettä vapaan nestepinnan yläpuolelle ja pitämään sen siellä
Biosidi	kemiallinen aine, valmiste tai pieneliö, jonka tarkoituksena on tuhota, torjua tai tehdä haitattomaksi haitallisia eliöitä, estää niiden vaikutusta tai rajoittaa niiden esiintymistä.
VOC	Volatile Organic Compounds, haihtuvat orgaaniset yhdisteet
ePM1, ePM2, ePM10	Uudessa (2018) ilmansuodatinstandardissa SFS-EN ISO 16890 suodattimet mitataan ja luokitellaan hiukkaskokoluokissa ePM1, ePM2,5 ja ePM10. Suodatinluokkia sovelletaan ulkoilmaluokan [ODA(P)1...ODA(P)3] ja tuloilmaluokan (SUP1....SUP5) mukaan.
RakMK	Rakennusmääräyskokoelma
YM	Ympäristöministeriö
MRL	Maankäyttö- ja rakennuslaki

1 JOHDANTO

1.1 Taustatiedot

Suomen rakennuskannan korjausrakennusvelka on suuri, eikä sen aiheuttamia sisäilmaongelmia yleensä ole mahdollista poistaa, rakennuksia korjaamalla tai korvaamalla, riittävän nopealla aikataululla. Usein, rakennuksen käyttötarkoituksesta johtuen, toimintojen siirtäminen väliaikaisiin tiloihin nopealla aikataululla on mahdotonta. Tästä syystä sisäilmaongelmaisissa rakennuksissa joudutaan suorittamaan väliaikaisia korjaustoimenpiteitä, jotta niiden käyttöä on mahdollista jatkaa turvallisesti siihen asti, kunnes ongelmat saadaan ratkaistua lopullisesti. Arviolta laiminlyötyjen korjausten määrä on noin 30-50 miljardia euroa, mikä on noin 10% koko Suomen rakennuskannan arvosta ja pelkästään pääkaupunkiseudun kuntien kiinteistöomaisuuden korjausvelan on arvioitu olevan 1,5 miljardia euroa (Rakennusteollisuus). Korjausvelka syntyy, kun säästösyistä rakennuksen ennakkoiva kunnossapito laiminlyödään (kuvat 1 ja 2) ja tehdään vain välttämättömät kiireelliset korjaukset. Huollon ja kunnossapidon laiminlyönti ilmenee rakennuksessa mm. kosteusvaurioina ja putkirikkoina, jotka saattavat aiheuttavaa home- ja mikrobivaurioita sekä huonontaa sisäilman laatua. Epäpuhdas hengitysilma taas on syynä moniin tärkeimmistä ympäristön aiheuttamista terveyshaitoista. Suomessa työikäinen väestö viettää noin 85 % ajastaan sisätiloissa ja pienet lapset sekä vanhukset usein vielä enemmän (Ympäristöministeriön perustelumuistio). Puhdas sisäilma on terveyden kannalta keskeistä, koska altistumisjakso sisällä on ajallisesti pidempi ja kuormittavampi verrattuna ulkoilman hetkellisiin epäpuhtauspitoisuuksiin. Edellä mainituista syistä johtuen, on tarve tutkia väliaikaisia kustannustehokkaita ratkaisuja, joilla voidaan väliaikaisesti pidentää sisäilmaongelmaisten rakennusten käyttöikää käyttäjien terveyttä vaarantamatta.



Kuvat 1 ja 2: Koulurakennuksen huolto ja kunnossapito laiminlyöty. Vasemmassa kuvassa liian lyhyen syöksytorven aiheuttama märkä sokkeli ja oikeassa kuvassa korjaamaton kattovuoto lämmönjakohuoneessa (oma kuva-arkisto).

Tyypillisimpiä väliaikaisia korjaustoimenpiteitä vaativia rakennuksia ovat koulut, päiväkodit sekä muut julkiset palvelurakennukset, joiden toimintoja ei ole mahdollista väliaikaisesti lakkauttaa tai siirtää riittävän nopealla aikataululla väistötiloihin. Esimerkiksi syksyllä 2018 raportoitiin yli 48 000 oppilaan, eli 9% Suomen oppilaista, käyvän koulua väistötiloissa. Myös 2019 on arvioitu väistötiloissa opiskelevan oppilasmäärän pysyvän saman suuruisena. Sisäilmaongelmaisten koulujen käyttökielloista johtuen, oppilaita joudutaan siirtämään väistötiloihin. Väistötiloina toimivat muut julkiset rakennukset, jotka soveltuvat opetuskäyttöön tai moduulirakenteiset väliaikaiset rakennukset, joita ostetaan tai vuokrataan erityisesti väistötiloiksi. (Blomqvist ym.)

Kansainvälisen, kouluille tehdyn, HITEA-tutkimuksen mukaan Suomen kouluissa oireillaan eniten, vaikka mikrobitasot olivat pienemmät kuin vertailumaissa. Suomessa oireiden aiheuttajiksi on epäilty sisäilman kuivuutta, steriiliä asuinympäristöä sekä tiiviitä eristettyjä rakenteita. Talvella altistumisjakso Suomessa katkeaa, mutta pakkasten on epäilty vaikuttavan itse homeeseen. THL:n tutkijan Anne Hy-

värisen mukaan homeiden toksiinituotanto voi lisääntyä, kun kasvuolosuhteet talvella ovat huonommat. Homeista voi tulla samalla tavalla aggressiivisempia, kun niiden torjuntaan käytetään desinfiointiaineita. (Mölsä. 2015)

1.2 Tavoitteet ja rajaus

Hankkeen tavoitteena on aikaansaada FCG:n Rakennusterveys- ja sisäilmätii- mille tietoa ilmanvaihtotoimenpiteistä ja -ratkaisuista, joita voidaan soveltaa si- säilmaongelmaiseen rakennukseen huomioiden ilmanvaihdon ja rakennusteknis- ten ratkaisujen yhteisvaikutus sisäilmaolosuhteisiin.

Suurin peruskorjaustarve on tulossa 1960-1980-lukujen rakennuksiin, joissa ra- kennusosat ovat tulossa elinkaarensa päähän. Tuon aikakauden rakennuksissa on paljon riskirakenteita, kuten valesokkeleita, tasakattoja ja alapohjia ilman läm- möneristeitä sekä kapillaarikatkoja. Lisäksi ilmanvaihtoon ja sen painesuhteisiin ei ole kiinnitetty huomiota, vaan 60-80-luvun rakennukset on suunniteltu poistoil- manvaihtoon perustuen alipaineisiksi usein puutteellisilla korvausilmareiteillä tai pahimmissa tapauksissa ilman korvausilmareittejä ja vain vuotoilmaan perus- tuen.

Tutkimus päätettiin rajata julkisiin rakennuksiin ja erityisesti kouluihin. Näin ollen tutkimuksessa pureudutaan 70-luvulla rakennettujen koulurakennusten ongel- miin ja niiden kustannustehokkaisiin ratkaisutapoihin. Tavoitteena oli tutkia ta- poja, joilla korjaustarpeessa olevan rakennuksen käyttöikää voi pidentää kustan- nustehokkailla ilmanvaihdon ratkaisuilla noin viideksi vuodeksi eteenpäin. Aika- määreeksi valittiin viisi vuotta, koska siinä ajassa saadaan kartoitettua vanhan sisäilmaongelmaisen koulun korjaustarve ja tehtyä korjaussuunnitelmat sekä kor- jattua vanha rakennus tai vaihtoehtoisesti rakennettua uusi. Oppilaat on kuiten- kin sijoitettava saneerauksen tai uudiskohteen rakentamisen ajaksi turvallisiin ti- loihin ja niin ollen vaihtoehtoiset tilat tai sisäilmaongelmaisten tilojen olosuhteiden korjaaminen väliaikaisesti ja kustannustehokkaasti on oleellinen osa prosessia kohti uusia terveitä tiloja.

Korjaustavan valintaan vaikuttaa oleellisesti kunnan ja asuinalueen strategia. Saneerattavan rakennuksen korjausaste sekä taloudellinen tarkastelu ja elinkaarikustannukset ovat merkittäviä korjaustavan valintatekijöitä (kaavio 1). Muita vaikuttavia tekijöitä ovat korjattavan rakennuksen toiminnalliset sekä pehmeät arvot. Rakennus voi olla miljöön tai arkkitehtuurin kannalta säilyttämisen arvoinen, vaikkei taloudellisen tarkastelun näkökulmasta olisikaan kannattavin ratkaisu. Raskaisiin korjausratkaisuihin päädyttäessä on myös osoitettava käyttäjille väistötilat saneerauksen ajaksi. Väistötilojen suhteen haasteena on saatavissa olevat korvaavat tilat ja niihin mahdollisesti tarvittavat tila- ja kalustusmuutokset. Aina korvaavia, valmiita tiloja ei löydy ja korvattavat tilat vuokrataan väliaikaisena konttiratkaisuna. Väliaikaisen korjaustavan valinnassa, vaiheittain etenevän korjauksen mukaan käyttäjät pystyvät väistämään korjauksia rakennuksen sisällä.



Kaavio 1: Korjausratkaisun valintaan vaikuttavat tekijät.

1.3 Toteutus

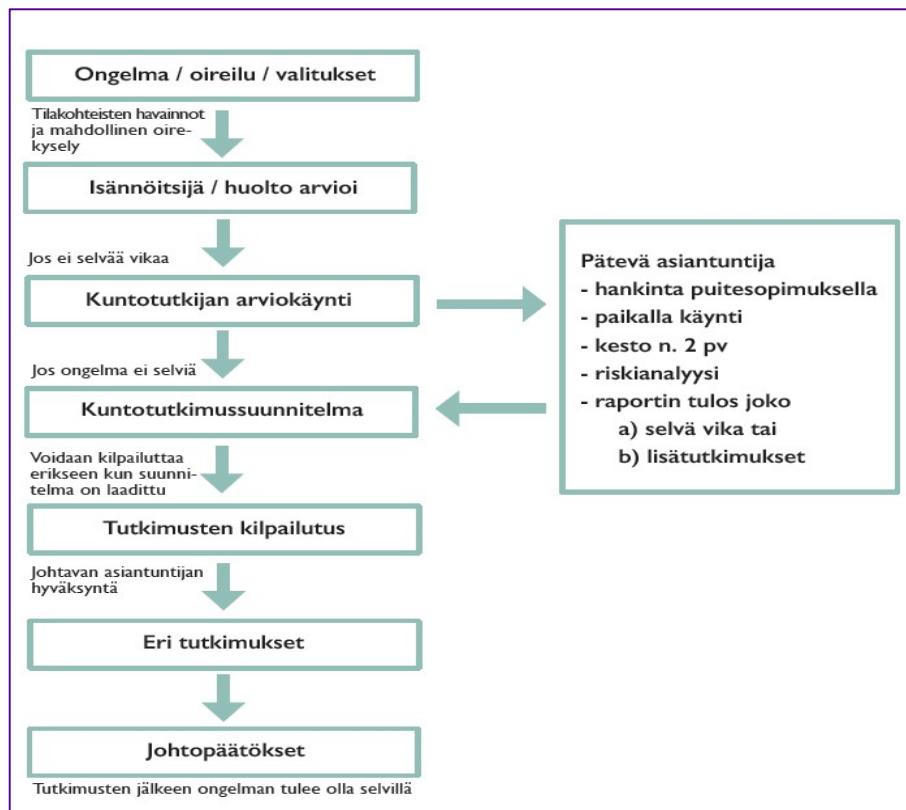
Tutkimuksessa perehdyttiin kirjallisuustutkimuksella rakennusmääräyksiin, 70-luvun ilmanvaihto- ja rakennustaparatkaisuihin sekä aikaisempiin ohjeistuksiin ja niiden toimivuuteen, tai niistä johtuviin ongelmiin. Korjausvaihtoehtoja tutkittaessa myös jalkauduttiin sisäilmaongelmaisiiin kohteisiin ja tutustuttiin korjausratkaisuihin, joihin kyseisissä kohteissa oli päädytty. Samalla arvioitiin valittujen korjausratkaisujen vaikutuksia. Opinnäytetyössä käsitellään myös käytössä olevia ja juuri markkinoille tulleita ratkaisuja, joilla sisäilmaongelmaisen rakennuksen käyttöikä voidaan tilapäisesti pidentää. Tutkittujen korjausvaihtoehtojen lähtökohdana on, että viiden vuoden kuluessa rakennus joko peruskorjataan tai puretaan.

2 HAVAITTU SISÄILMAONGELMA

2.1 Yleinen selvitysprosessi sisäilmaongelmaisessa rakennuksessa

Sisäilmaongelmaan havahdutaan yleensä tilan käyttäjien oireilulla tai havainnoilla muuttuneista olosuhteista. Tilan käyttäjien valitusten ja oireilun perusteella aluksi selvitetään, onko ongelma paikallinen vai laaja. Tietylle alueelle kohdistuva ja tietyn ryhmän oireilu voi johtua esim. talotekniikan häiriötilasta, kuten suljetusta ilmanvaihdosta tai virheellisesti lauenneesta palopellistä, joka sulkee tietyn alueen ilmanvaihdon. Oireilua saattaa aiheuttaa myös kyseiseen tilaan vaurioituneista tiloista siirretty irtaimisto, kuten huonekalut ja kirjat, tai käyttäjien mukana vaatteissa, esim. homeongelmaisesta kodista, kulkeutuvat kosteusvauriomikrobit.

Rakennuksen isännöitsijä ja kiinteistöhuolto ovat ensimmäinen taho, joka pyrkii selvittämään, kartoittamaan ja arvioimaan mahdollista ongelmaa. Kun silmin havaittavia rakenteellisia (kattovuodot, märät sokkelit yms.) ongelmia ei löydy, eikä talotekniikassa havaita häiriötiloja tai puutteita, on tutkimuksia tarkennettava ja laajennettava. Tarkempaa selvitystyötä tekee pätevä kuntotutkimukseen erikoistunut asiantuntija, joka pyrkii ensin selvittämään ongelmaa rakenteita rikkomatta. Mikäli ongelman syy ei rakenteita avaamatta selviä, kuntotutkijan arviokäynnin perusteella laaditaan kuntotutkimussuunnitelma, jossa määritellään varsinaisten lisätutkimusten tarve ja laajuus. Varsinainen kuntotutkimus tehdään aina rakenteita avaten, näytteitä ottaen sekä materiaalinäytteitä laboratoriossa tutkien. Sisäilmaongelmien tutkiminen etenee, tarkentuu ja laajenee asteittain, kunnes ongelmaan löytyy syy ja ratkaisu (kuva3).



Kuva 3. Selvitysvaiheen kulku käyttäjiltä tulleen ilmoituksen jälkeen (Sisäilmaongelmien ratkaisemisen; Ohjekortisto ammattilaisille: Pirinen J, Kero P.).

2.2 Todetut ongelmat ja korjaustarve

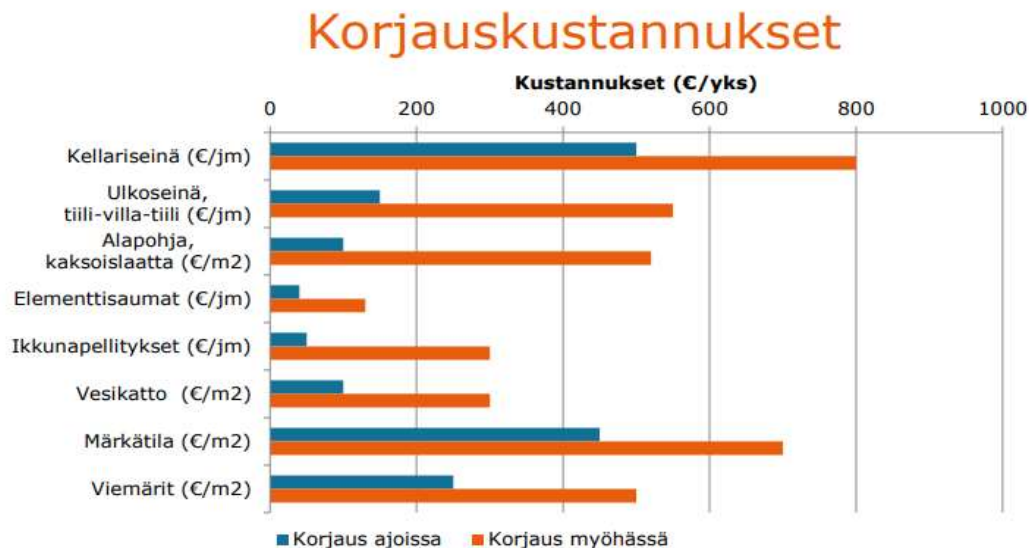
Kuntotutkimusraportin perusteella voidaan sisäilmaongelmaiseen kohteeseen tehdä korjaussuunnitelma. Onnistuneesti toteutetussa sisäilmasaneerauksessa rakennuttajalla on oltava ymmärrys ja vahva osaaminen kosteusvauriokorjauksesta. Korjaushankkeen edetessä rakennuttajan on tarvittaessa teetettävä tarkentavia tai puuttuvia kuntotutkimuksia, jotta korjaussuunnittelijoilla on käytössään riittävän kattava ja oikea tieto. Hankkeen aikataulussa on varauduttava myös mahdollisiin purkuvaiheessa ilmenneisiin lisävaurioihin ja niiden korjaussuunnitelmien tekoon. Myös riittävät rakenteiden kuivumisajat pitää huomioida. (Pirinen J, Kero P; Sisäilmaongelman ratkaiseminen, Ohjekortti ammattilaisille).

Uusissa rakennuksissa sisäilmaongelmat voivat johtua virheellisestä suunnittelusta, suunnitelman vastaisesti toteutetuista rakenteista tai työvirheistä. Valitettavan usein uusien rakennusten sisäilmaongelmat kuitenkin johtuvat liian lyhyistä

kuivumisajoista sekä puutteista työmaa-aikaisessa sääsuojauksessa. Myös uudiskohteissa ongelmat tulisi aina selvittää tutkimalla ja korjaustoimenpiteet suorittaa kuntotutkimusraportin perusteella, eikä mahdollisen takuuajakorjausvastuussa olevan urakoitsijan ehdotusten ja suositusten mukaan.

2.3 Korjauskustannukset eri tilanteissa

Sisäilmaongelma kertoo usein rakennuksen tiettyjen osien käyttöiän päättymisestä ja merkitsee tarvetta perusteelliselle saneeraukselle. Riittävän ajoissa tehdyt tarpeelliset korjaustoimenpiteet ja kunnollinen huolto pidentävät rakennuksen käyttöikä ja pitävät tulevat saneerauskustannukset maltillisina. DI Paavo Kero (Rakennusterveys ja sisäilmastopalvelut, FCG) on tehnyt kustannusvertailua ajoissa havaittujen ja välittömästi korjattujen kohteiden ja pitkään vaurioitumaan päässeiden ja sisäilmaongelmaksi kehittyneiden rakenteellisten ongelmien välillä (Taulukko 1).



Taulukko 1: Korjauskustannusten kasvu toimenpiteiden viivästyessä, Paavo Kero Taulukossa vertailtu havaitun sisäilmaongelman ja siihen välittömän reagoinnin ja viivästyneen reagoinnin (ja aiheutuneen sisäilmaongelman) korjauksen kustannusero.

Korjauskustannuksia tulee tarkastella saneerauksen tavoitteiden eli rakennuksen tulevan käyttöiän mukaan. Tehdäänkö korjaussuunnitelma 5-10 vuoden käyttöajalle vai pyritäänkö uutta vastaavaan tulokseen 30-50 vuoden käyttöiällä. Korjauskustannuksia tarkastellessa verrataan hankintahintaa käyttövuosiin sekä tarkastellaan myös elinkaarikustannuksia.

2.4 Muutos- ja korjaustyöt

Rakentamiselle asetettavia vaatimuksia koskevan maankäyttö- ja rakennuslain 117 §:n 4 momentin mukaan ”Korjaus- ja muutostyössä tulee ottaa huomioon rakennuksen ominaisuudet ja erityispiirteet sekä rakennuksen soveltuvuus aiotuun käyttöön. Muutosten johdosta rakennuksen käyttäjien turvallisuus ei saa vaarantua eivätkä heidän terveydelliset olonsa heikentyä”. (MRL 132/1999, 117§)

2.5 Rakennuksen kunnossapitovelvoite

Rakennuksen kunnossapitovelvoite on rakennuksen omistajalla. Kunnossapitokustannusten ennakointiin tulisi säästää noin 0,5–1,5 % rakennuksen hankintahinnasta vuotuisesti. Rakennusten oikea rakentaminen ei riitä, vaan suunnitelmallinen kiinteistönpito on avainasemassa, kun mietitään rakennuksen elinkaarta ja rakennuksesta aiheutuvia päästöjä. ”Rakennus ympäristöineen on pidettävä sellaisessa kunnossa, että se jatkuvasti täyttää terveellisyyden, turvallisuuden ja käyttökelpoisuuden vaatimukset, eikä aiheuta ympäristöhaittaa tai rumenna ympäristöä. Rakennus ja sen energiahuoltoon kuuluvat järjestelmät on pidettävä sellaisessa kunnossa, että ne rakennuksen rakennustapa huomioon ottaen täyttävät energiatehokkuudelle asetetut vaatimukset” (MLR 132/199, 166§). Rakennuksen toteutuksen mukaisten suunnitelmien ylläpito ajantasaisina olisi välttämätöntä rakennuksen hoidon ja käytön ja lopulta purkamisen näkökulmasta.

2.6 Kiinteistöhuollon merkitys

Kiinteistöhuolto on kiinteistön ylläpidon kannalta oleellinen tekijä, johon tulisi jo suunnitteluvaiheessa kiinnittää huomiota ja ohjata riittävästi. Kiinteistön hallinta kokonaisuutena sekä laajat talotekniset järjestelmät vaativat kiinteistöhuollon näkökulmasta laaja-alaista osaamista. Tulevaisuudessa myös rakennusten ja sen osien älyn lisääntyessä vaatimukset uuden teknologian ymmärtämiseen kasvaa. IoT (Internet of Things) ja keinoäly voi olla merkittävä osa kiinteistöhuoltoa tulevaisuudessa. Järjestelmien syvempi ymmärrys on tarpeen, koska esim. koulu-kiinteistöjen huollosta vastuussa tulisi olla korkean ammattitaidon omaava kiinteistöhuollon ammattilainen, joka pystyy analysoimaan ongelmien syntyä ja niiden seurannaisvaikutuksia sekä priorisoimaan korjaustarpeet. Vuonna 2017 tullut hankintalaki (1397/2016) vaikeuttaa tasokkaan kiinteistöhuollon hankintaa, koska julkisissa rakennuksissa tietyn euromääräisen rajan ylittävät hankinnat tulee kilpailuttaa säännöllisesti, avoimesti ja syrjimättömästi. Näin kiinteistön tunteva ja toiminnasta perillä oleva huolto vaihdetaan herkästi halvempaan toiseen toimijaan, jolla ei välttämättä ole riittävää laadullista tasoa suhteessa kiinteistön vaativuuteen.

2.7 Puutteita kiinteistön tekniikan ylläpidossa

Yleisimpiä asioita, joihin kiinteistön talotekniikan ylläpidossa ja huollossa tulee kiinnittää huomiota, on ilmanvaihtokanavien nuohous asuinrakennuksissa vähintään 10 vuoden ja muissa rakennuksissa viiden vuoden välein. Ilmanvaihtokoneiden suodattimien vaihdon yhteydessä (kaksi kertaa vuodessa) tulee aina tarkastaa kanaviston paineet. Lisäksi ilmanvaihdon päätelaitteiden säännöllinen puhdistus sekä tulo- ja poistoilmanvaihdon säätö- ja tasapainotus myös ulkovaipan yli tulee huomioida. Lämmitysjärjestelmän puutteellinen ja epätarkka säätö aiheuttaa turhaa energiankulutusta ja epätasaista lämmönjakautumista huoneistoissa, joka aistitaan vetona tai liian korkeana huonelämpötilana.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon käyntiajoissa tulee huomioida kiinteistön mahdollinen käyttö myös normaalikäytön ulkopuolella. Koneiden käyntiajat ohjelmoidaan kiinteistön automaation aikaohjelmaan ja käyttäjät ohjeistetaan erillisen tehostuskytkimen käyttöön. Tilojen kuormituksessa on myös huomioitava käyttäjämäärät, koska ilmanvaihto esimerkiksi koululuokissa ja päiväkodeissa on mitoitettu tietyille käyttäjämäärälle.

Kiinteistön ylläpidossa järjestelmien ymmärryksen ja kokonaisuuden hallinnan lisäksi myös asenne ja ohjeistus raportoida havainnoista on tärkeää. Kiinteistön ylläpidossa voidaan havaita esimerkiksi syöksytorvi, joka ei toimi suunnitellusti vaan kastelee sokkelin. Tilanne on helposti korjattavissa, mutta siihen ei välttämättä puututa ja näin rakenteet pääsevät kastumaan ja seurauksena on sisäilmaongelma.

3 KORJAUSTARPEET MÄÄRÄYSTEN JA OHJEIDEN NÄKÖKULMASTA

3.1 Rakennusmääräykset Suomessa

Suomen ensimmäinen rakennusmääräyskokoelma julkaistiin vuonna 1976 sisäasianministeriön toimesta. Ennen rakennusmääräyskokoelmaa oli käytössä Alvar Aallon ja Viljo Revelin perustaman arkkitehtiiliton julkaisema RT-kortisto. 1943 valmistunut kortisto kehitettiin palvelemaan sodan jälkeisen rauhan ajan tarpeita. Kortiston laatutavoitteena oli ajantasaisuus, helppokäyttöisyys sekä sisällön täydellinen kattavuus. Käytännössä sodanjälkeinen jälleenrakennus toteutettiin enemmänkin perimätietona isältä pojalle ja suunnitelmat laadittiin tupakkaaskin takakanteen. (Kukkonen, Sisäilmautiset. YM, Kumotut rakentamismääräykset. Rakennustieto, Historia)

1960- ja 70-luvuilla talotekniikan yleistymisen ja teknisten vaatimusten kasvu johti suunnitelmallisempaan rakentamiseen ja ensimmäisen rakentamismääräyskokoelman julkaisu oli ajankohtainen. Vuonna 1976 julkaistussa rakentamismääräyskokoelmassa oli ensimmäistä kertaa määräykset kosteuden- ja vedeneristyksestä sekä pohjarakennussuunnittelusta (RakMK: osat C2 ja B3, 1976). Määräyksissä käsiteltiin hyvin suppeasti kosteustekninen suunnittelu ja tarkemmat, yksityiskohtaisemmat määräykset julkaistiin vasta yli kolmekymmentä vuotta myöhemmin vuonna 1999 voimaan tulleessa korvaavassa C2:ssa.

Rakentamismääräyskokoelmaa on vuosien saatossa päivitetty, mutta perusrakenne on pysynyt samana eli määräyskokoelmaan on sisältynyt määräyksiä ja niitä täydentäviä ohjeita. Rakennusmääräysten ohjeet ovat käytännössä määritelleet suunnittelua ja suunnitelmien hyväksynnät ovat pitkälti perustuneet täydentäviin ohjeisiin. 1974 julkaistiin ensimmäinen Ratu-kortisto, jonka tavoitteena oli talonrakennustyön laadun ja tuottavuuden parantaminen. Ratu-kortista löytyi työmenetelmäkuvaukset, työmenekkitiedot, laadunvarmistuksen menettelyt ja rakennustöiden turvallisuusohjeet. (Ratu-hanke)

Vanhentuneen rakennuslain vuonna 2000 korvannut Maankäyttö- ja rakennuslaki kirjoitettiin vuonna 2013 uuden perustuslain vaatimaan muotoon. Perustuslain

mukaan asetuksissa ei saa olla mitään ohjeellista tekstiä vaan tarkemmat rakentamista koskevat ohjeet, säännökset ja suositukset julkaistaan erillisenä, ei velvoittavana Suomen rakennusmääräyskokoelmana. Voimassa olevan asetuksen yksityiskohtaisten ohjeiden poistuminen voi aiheuttaa tulkintaeroja kuntien rakennusvalvonnoissa. Vuoden 2018 alussa tuli voimaan ympäristöministeriön julkaisema uusi rakentamismääräyskokoelma, joka vastaa uutta maankäyttö- ja rakennuslakia. Uudessa rakentamismääräyskokoelmassa on yksityiskohtaiset rakentamista koskevat säännökset ja ohjeet. Uutena asiana Maankäyttö- ja rakennuslakiin tuli korjausrakentamista koskeva sääntely ja rakennukselle laadittava kosteudenhallintaselvitys. (YM 782/2017)

3.2 Rakennusvalvonta

Kunnan rakennusvalvontaviranomaisen tehtävänä on yleisen edun kannalta valvoa rakennustoimintaa sekä osaltaan huolehtia, että rakentamisessa noudatetaan lakia tai siihen pohjautuvia säädöksiä ja ohjeistusta. Viranomaisvalvonta on mukana aina luvanvaraisessa rakentamisessa rakennustyön aloittamisesta lopukatselmukseen. Valvontatehtävän laajuutta ja laatua harkittaessa otetaan huomioon koko rakennushankkeen vaativuus. (MRL 124 §, 132/1999)

Uuden rakennusmääräyskokoelman kosteudenhallintasuunnitelmavaatimus antaa rakennusvalvonnalle työkaluja vaatia koko rakennusvaiheen ajan, suunnittelusta vastaanottoon, rakennushankkeeseen ryhtyvää kiinnittämään huomiota kosteudenhallintaan. Ensimmäisen kerran teknisten suunnitelmien lisäksi edellytetään asiakirjoja, jotka ottavat kantaa myös itse rakennusprosessiin. Rakennushankkeeseen nimetään jo suunnitteluvaiheessa erillinen kosteudenhallintakoordinaattori. Kosteudenhallintavaatimuksen tavoite on pyrkiä ratkaisemaan uusien rakennusten kosteus ja sisäilmaongelmat.

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennustyömaalla pidetään rakennustyön tarkastusasiakirjaa, joka on ajan tasalla rakennuksen työvaiheiden kanssa. Tarkastusasiakirjasta ilmenee tarkastusta vaativat työt vastaavan henkilön kuittauksineen ja päivämäärämerkintöineen. (YM 216/2015, 15§ ja YM ohje rakennustyön suorituksesta ja valvonnasta)

4 KIINTEISTÖT JA ENERGIANKULUTUS

4.1 Energiansäästö 70-luvulta tähän päivään

Egyptin ja Syyrian sota Israelia vastaan 1973 rajoitti öljyn vientiä Lähi-idästä Israelia tukeneisiin länsimaihin ja synnytti maailmanlaajuisen energiakriisin. Öljykriisin seurauksena polttoaineiden hinnat nousivat Suomessa voimakkaasti. Suomen valtioneuvosto julkaisi joulukuussa 1973 laajan energiansäästöohjelman, joka koski sekä liikennettä nopeus- ja harrasterajoituksilla, että energian kulu- tusta asumisessa. Sähkön käyttöä rajoitettiin julkisessa valaistuksessa, asunto- jen huonelämpötiloja laskettiin 20°C:een, työhuoneiden sekä myymälöiden 18°C:een ja varastojen 16°C:een. Asuntojen lisälämmittimet kiellettiin ja ilman- vaihtoa pienennettiin. Energiantuotannossa aloitettiin voimakas panostaminen ki- vihiilen ja ydinvoimaenergian käyttöön. (Ylen Elävä arkisto; Energiakriisi vuonna 1973)

70-luvun alun energiakriisin myötä ulkoseinien lämmöneristystä lisättiin ja ikku- noita vaihdettiin tiiviimpiin ja energiatehokkaampiin. Julkisissa rakennuksissa, joissa ilmanvaihtokoneet olivat jo yleistyneet, pienennettiin ilmanvaihdon käyttä- mää energiamäärää palauttamalla osa poistoilmaa takaisin tuloilmajärjestel- mään. Nämä toimenpiteet lisäsivät sisäilma- ja kosteusongelmia. Palautusilman käytöstä luovuttiin 80-luvulla, kun lämmöntalteenottojärjestelmä kehittyi ja teki palautusilman käytön tarpeettomaksi. Painesuhteisiin ei vielä kiinnitetty oleelli- sesti huomiota eikä IV-koneiden ja kanaviston säätöä suoritettu useinkaan am- mattimaisesti, mikä osaltaan aiheutti sisäilmaongelmia. Myös kanavamitoitus oli tiukkaa ja aiheutti ääni- sekä veto-ongelmia. Ilmanvaihtokoneiden äänenvaimen- timien pinnoittamattomasta mineraalivillasta pääsi kulkeutumaan kuituja sisäil- maan. (Ilmanvaihdon parannus- ja korjausratkaisut; MIV-hanke)

Tšernobylin ydinvoimalaonnettomuus vuonna 1986 keskeytti Suomessa kolman- nen ydinvoimalan suunnitteluhankkeen ja herätti keskustelun vaihtoehtoisista energiantuotantotavoista. Lämmitystekniikkaan tuli uusia tuulia Ruotsista ilma- lämpöpumpun muodossa. 80-luvulla asuntotuotannossa siirryttiin painovoimai-

sesta ilmanvaihdosta poistoilmajärjestelmään, joka aiheutti rakennusten alipaineisuuden lisääntymisen. Lämmin poistoilma puhallettiin ulos ja korvausilma otettiin korvausilmaventtiileistä tai ikkunan karmeista. Monessa 80-luvun rakennuksessa korvausilman luotettiin tulevan vuotoilmana ikkunan karmeista tai muista rakenteista eikä sille suunniteltu erikseen reittejä. 90-luvulla siirryttiin asuntotuotannossakin lämmöntalteenotolla varustettuihin ilmanvaihtokoneisiin energian säästämiseksi.

Lämpötilahyötysuhde 90-luvun ristivirtakennoisissa ilmanvaihtokoneissa oli noin 50-55% luokkaa, kun nykyään vastavirtakennojen lämpötilahyötysuhde on 75-80%. Tosin 2018 voimaan tullut ekosuunnitteludirektiivi 2009/125/EU edellyttää jo korkeita lämpötilahyötysuhteita, esimerkiksi nestekiertoisten LTO-koneiden minimivaatimus on vähintään 68% ja muiden LTO-koneiden 73%. Nykyään 90-luvun alipaineiseksi suunnitelluista rakennuksista on myös siirrytty lähemmäs tasapainoista ilmanvaihtoa ja suositeltu alipaineisuus on korkeintaan 2-4 Pascalia (Pa). Myös Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuuteen kiinnitetään enemmän huomiota ja voimassa olevan uuden ekosuunnitteludirektiivin mukaan ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien sähkötehokkuus eli ominaissähköteho (SFP) saa olla enintään 1,8 kW/(m³/s). (YM; Ekosuunnitteludirektiivi 2009/125/EU ja EU komission asetus)

”Koko ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP on rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho kW jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän koko mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla m³/s (suurempi näistä). Ilmanvaihtojärjestelmän sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimien moottorien sähkötehon lisäksi mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden sähkötehon.” (SFP-opas).

$$SFP = \frac{P_{tuloilmapuhaltimet} + P_{poistoilmapuhaltimet}}{q_{max}}$$

SFP = ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho, kW/(m³/s)

P_{tuloilmapuhaltimet} = tuloilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW

P_{poistoilmapuhaltimet} = poistoilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW

Q_{\max} = mitoittava jäteilmavirta tai ulkoilmavirta (valitaan suurempi), m^3/s .

”Rakennuksien ja rakentamisen osuus Suomen loppuenergiankulutuksesta ja kasvihuonepäästöistä on noin 40 prosenttia. Rakennusten energiankulutuksella, energiatehokkuudella ja päästöillä on näin ratkaiseva merkitys ilmastonmuutoksen hillintää koskevien tavoitteiden saavuttamisessa sekä Suomen EU:ssa tekemien sitoumusten ja Suomen kansainvälisten sitoumusten täyttämässä.” (HE 251/2016 vp. 2016).

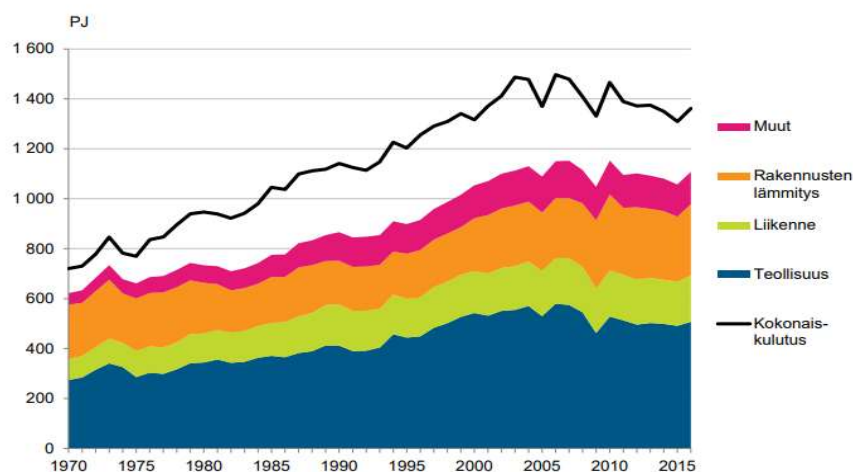
Rakennuksissa lämmitystavan valintaa pyritään nykyään ohjaamaan energiaker-toimilla ympäristön ja ilmaston kannalta mahdollisimman haitattoman järjestel-män valintaan. vuosikymmenten saatossa myös rakennusten U-arvoja ja ilman-vuotolukua sekä ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhteen ja ominaissähkötehon vaatimuksia on tiukennettu (Taulukko 2).

Rakennusosa	Rakennusluvun vireilletulovuosi								
	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-	2018-
U-arvot uudisrakennuksessa	Lämpimät tilat								
Ulkoseinä	0,81	0,70	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17	0,17
Maanvarainen alapohja	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16	0,16
Ryömintätällainen alapohja	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09	0,09
Ovi	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0	1,00
Ikkuna	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0	1,00
Rakennuksen ilmanvuoto-luku (n_{50}); dm^3/h	6,0	6,0	6,0	6,0	4,0	4,0	4,0		
Rakennusvaipan ilman-vuotoluku (q_{50}); $m^3/(h m^2)$								4,0	4,0
Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde (η_a)	0	0	0	0	30 %	30 %	45 %	45 %	55 %
Ilmanvaihdon ominaissähkö-tehoja , SFP ($kW/m^3/s$)					2,5	2,5	2,5	2,0	1,8
Vaipan lämpöhäviön jousto					10 %	20 %	30 %	tasaus-laskenta	tasaus-laskenta
Uusissa määräyksissä vaipan lämpöhäviön joustolla ei ole ylärajaa, vaan ylitys pitää pystyä tasaamaan parantamalla rakennuksen ilmanpitävyyttä tai ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa.									

Taulukko 2: Taulukon pohjana käytetty YM asetusta rakennuksen energiatodis-tuksesta, liitettä 1 sekä vanhoja ja nykyisiä rakennusmääräyksiä.

Vaikka energiankulutukseen on vuosikymmenien edetessä kiinnitetty huomiota ja säädetty direktiivejä sen säästämiseksi, on energian kokonaiskulutus miltei kaksinkertaistunut vajaassa puolessa vuosisadassa. Teollisuus ja liikenne ovat kasvattaneet huomattavasti energiankulutusta, kun taas rakennusten lämmitykseen käytetty energia on lähes samaa tasoa kuin 70-luvulla. Elintason nousu ja kulutustottumusten muuttuminen on lisännyt autokantaa ja yksityisautoilua, mikä selittää pitkälti liikenteen kasvaneen energiankulutuksen. (Kuva 4)

Energian kokonaiskulutus ja loppukäyttö 1970–2016



Kuva 4. Energian kokonaiskulutus Suomessa 1970-2016, Tilastokeskus

Petajoule (PJ) on energian yksikkö, jota käytetään polttoaineiden ja muiden energialähteiden energiasisällön ilmaisemiseen. 1 PJ = 1000 TJ; 1 TJ = 0,278 GWh (Gigawattitunti), esim Rakennusten lämmitykseen kuluttu energia 1980 oli noin 200 PJ = 55 600 GWh

Maailman terveysjärjestön WHO:n vuoden 2009 raportissa todettiin sisäilman laadun osalta energiatehokkaampien rakennusten lisäävän asumismukavuutta ja asukkaiden hyvinvointia sekä parantavan terveyttä. Kylmäsillat, riittämätön eristys ja hallitsematon korvausilman kulku voivat laskea pintalämpötilat alle ilman kastepisteen ja aiheuttaa rakenteille kosteuskuormaa. Välttämätöntä olisikin varmistaa rakennuksen yhtenäinen eristys, ja erityistä huomiota kiinnittää siihen, että estetään rakennuksen yhdenkään sisäpinnan lämpötilaa laskemasta kastepisteen lämpötilan alapuolelle. (EU 2018/844 & WHO, 2009)

Jäsenvaltioiden tulisivatkin tukea olemassa olevien rakennusten energiatehokkuuden parannuksia, jotka edistävät terveellisen sisäympäristön saavuttamista.

Energiatehokkuuden parantamiseksi tärkeää on huomioida rakennuksen vaipan lisäksi koko rakennuksen tekninen järjestelmä. Passiiviset rakenneratkaisut, joilla pienennetään lämmityksen, jäähdytyksen tai valaistuksen tarvetta ovat ensisijainen ratkaisu energiatehokkuuden parantamiseksi. Tavoitteena on myös parantaa historiallisten rakennusten ja kohteiden energiatehokkuutta siten, että samalla myös suojellaan kulttuuriperintöä ja säilytetään se. (EU 2018/844)

4.2 Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivi

Euroopan unionissa tuli voimaan 2012 energiatehokkuusdirektiivi 2012/27/EU, jossa vaaditaan jäsenvaltioita asettamaan ohjeelliset kansalliset energiatehokkuustavoitteet. Energiatehokkuusdirektiivin päämääränä oli pienentää primäärienergian kulutusta 20% vuoteen 2020 mennessä samaisen vuoden arvioituun energiakulutukseen nähden. (2012/27/EU)

Rakennusten energiatehokkuudesta annettu direktiivi 2010/31/EU taas sisältää useita säännöksiä, joiden tarkoituksena on parantaa sekä uusien että olemassa olevien rakennusten energiatehokkuutta. Keskeisiä rakennuksia ja rakentamista koskevia säädöksiä on uudisrakennusten vähimmäisenergiavaatimuksien soveltaminen eli vuoteen 2020 mennessä lähes nollaenergiarakennukset. Tavoitteena oli luoda myös riippumattomia valvontajärjestelmiä rakennusten tai sen osien energiasertifiointiin, teknisten järjestelmien säännöllisiin tarkastuksiin sekä energiatehokkuustodistusten ja tarkastusraporttien seurantaan. (2010/31/EU)

Energiatehokkuusdirektiivin muutos tuli voimaan 2018 vuoden heinäkuussa ja asetti aikatavoitteen kansallisille säädöksille vuoteen 2020 mennessä. Tavoitteena on luoda peruskorjausstrategia pitkälle aikavälille, jotta korjausrakennusurakassa energiatehokkuus ja vähähiilisyys otettaisiin keskeisiksi tavoitteiksi. Rakennuskanta, jonka hiilidioksidipäästöt ovat tällä hetkellä 36% kaikista hiilidioksidipäästöistä, on pyrkimys saada hiilivapaaksi vuoteen 2050 mennessä. Tavoitteena on luoda myös indikaattori älykkäille ratkaisuille sekä energiatehokkuustietokannan tietovelvoitteet. Energiatodistuksiin on tarkoitus luoda taloudelliset kannusteet sekä rakennusten ylläpitoon taloteknisten järjestelmien tarkastusvaatimukset rakennusten energiatehokkuuden näkökulmasta. (EU 2018/844)

5 YMPÄRISTÖN VAIKUTUS RAKENNUSTEN SISÄILMAONGELMIIN

Rakenteisiin syntyy kosteus - mikrobivaurioita, kun niihin kohdistuva kosteusrasituskynnys ylittyy. Kosteusrasituksien ylittäessä rakenteen sietokyvyn ei ole määriteltävissä yksiselitteistä kriittistä rajaa, joka aiheuttaa vaurion. Ylipäätään rakenteeseen ei saisi kertyä kosteutta pitkällä aikavälillä. Myös yksittäisen, paikallisen kosteusrasituksen, esimerkiksi putkivuodon, on kuivuttava riittävän nopeasti, jotta kosteus- ja homevauriot voidaan välttää. Rakenteiden kosteusteknisen käyttäytymisen analysoinnissa arvioidaan sekä rakenteisiin kohdistuvaa kosteusrasitusta, että rakenteiden kuivumisnopeutta. (Ympäristöopas 2016, 101-126)

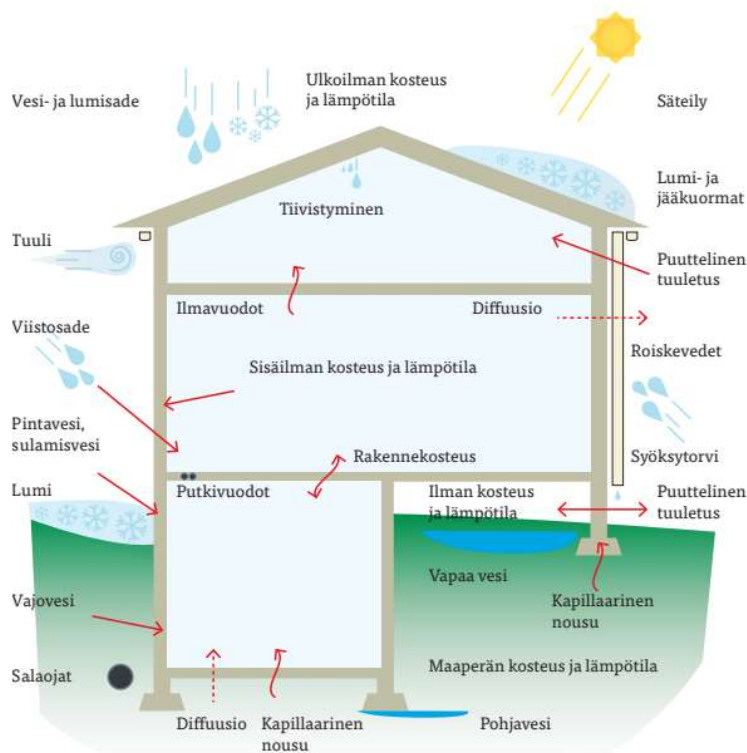
5.1 Rakennusta rasittavat ulkoiset kosteuslähteet

Sade on rakennuksen ulkopuolisista kosteusrasituksista voimakkain. Suomessa sataa vuositasolla n. 600mm vettä, josta suuri osa (noin 30%) voi tulla syksyllä hyvinkin lyhyellä aikavälillä. Maaperän kosteus taas on rakennuksia rasittavista tekijöistä pitkäkestoisin. Pohjavedenpinta on aina jollakin syvyydellä rakennuksen alla, ja rakennuksen ja pohjavedenpinnan välissä on erilaisia kapillaarisia maa-aineita. Uudemmissa rakennuksissa yleensä kapillaarisoralla rakennettu kapillaarikatko, jonka pitäisi estää kosteuden siirtyminen rakenteisiin estäen niiden vaurioituminen. Maaperästä kapillaarisesti nousevan kosteuden määrä riippuu maalajin kapillaarisuudesta, pohjaveden pinnan korkeudesta ja salaojaverkoston toimivuudesta. (Sisäilmayhdistys ry, Ympäristöopas 2016, 101-126)

Rakenteita rasittavien valumavesien hallitsemiseksi maanpinnan tulisi kallistua pois päin rakennuksesta vähintään 1:20 kaltevuudella 3 m matkalla. Rakennerratkaisut, joissa sisäpuolinen lattiapinta on alempana kuin maan pinta, ovat ongelmallisia. tällaisia ovat rinnetalot ja osa valesokkeliratkaisuista. Rakennuksen anturoiden alle tulisi aina sijoittaa salaojaputket, joita pitkin maakerroksen läpi kulkeutuva vesi päätyy hulevesijärjestelmään. Rakennuksen ulkovaippaa taas rasittaa ulkoilman kosteus. Rakennusmateriaalien hygroskooppinen kosteustasapaino eli materiaaliin ilmasta sitoutunut kosteus määräytyy ympäröivän ilman kosteuspitoisuuden mukaan ja siksi rakenteiden kosteuspitoisuus muuttuu ilman

kosteuspitoisuuden mukana. ”Ulkoilman kosteuspitoisuus on kesällä korkeimmillaan n.14 g/m³ ja talvella alhaisimmillaan n. 1 g/m³. Suhteellinen kosteus vaihtelee vastaavasti kesällä 60...80% ja talvella 80...90%” (Sisäilmayhdistys ry).

Rakennuksen rakenteita ja tekniikkaa suunniteltaessa tulisi huomioida rakennuksen suojaus kosteuslähteitä vastaan. Suositeltavaa on harjakattoiset tai vastaavat rakenteet, joista sade- ja sulamisvedet johdetaan rännejä, syöksytorvia ja rännikaivoja pitkin pois talon ja sokkelin läheisyydestä. Tasakattoisten rakennusten kattokaivoissa on vaarana tukkeutuminen lehdistä ja jäädästä tai rakennuksen sisäpuolisten sadevesiviemäreiden suorituskyvyn riittämättömyys mitoitussateen ylittyessä, jolloin niiden paineenkesto voi olla koetuksella ja putkivuotoja syntyessä sadevesi pääsee vaurioittamaan rakenteita. (Sisäilmaopas ja Ympäristöopas 2016, 101-126)



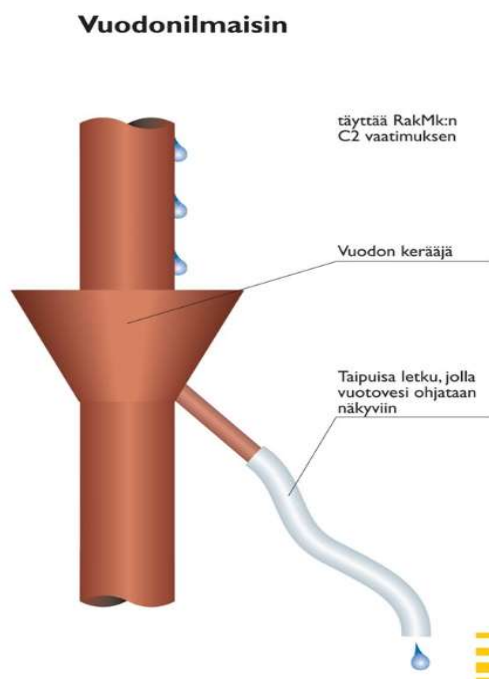
Kuva 5: Rakennusta rasittavat kosteuslähteet. Hengityслиitto

5.2 Rakennusta rasittavat sisäiset kosteuslähteet

Suurimmat asuinhuoneiston kosteuslähteet ovat peseytyminen, ruuanlaitto ja pyykinpesu. Suihkussa käynti nostaa sekä sisäilman kosteuspitoisuutta että rasittaa

vedeneristyspintoja kulkeutuessaan lattiakaivoon. Vedeneristeiden puutteellisuudet ovat aiheuttaneet suuren osan kosteusvaurioista. Siivousvesien pääsy väli-seinärakenteen sisään, josta se ei pääse riittävän nopeasti kuivumaan, aiheuttaa seinän homehtumisen sisäpuolelta. (Sisäilmayhdistys ry)

Vesi-, viemäri- ja lämmitysputkien vuodot ovat suurimpia yksittäisiä syitä rakennusten kosteusvaurioille. Rakenteiden sisällä olevat putkistot on vaikeasti havaittavista ja putkirikosta tai tiivisteiden heikkenemisestä aiheutunut putkivuoto voi jatkua kauan ennen kuin se huomataan. Nykyään hyvänä suunnittelu- ja rakennustapana on hormin sisään tuleviin putkiin asentaa vuodonilmaisimet (Kuva 6) joka kerrokseen, jolloin yksittäisen putken kerroskohtainen putkivuoto on helpommin havaittavissa ja paikallistettavissa.



Kuva 6. Esimerkkikuva hormivalmistajan (Rudus) betoniormielementin sisällä olevaan putkeen asennettavasta vuodonilmaisimesta.

”Rakennekosteudella tarkoitetaan vesimäärää, joka rakenteista on rakentamisen jälkeen poistuttava ennen kuin rakenne on kosteustasapainossa ympäristönsä kanssa.”, Sisäilmayhdistys ry. Rakennekosteusmäärät vaihtelevat materiaalista valmistusprosessista ja varastoinnista johtuen. Esimerkiksi betonin rakennekosteusmäärä on erittäin suuri. Myös materiaalien varastointiolosuhteet ratkaisevat ja rakennusmateriaalit tulisivat säilyttää säältä suojassa ja kuivissa olosuhteissa.

Rakennekosteus aiheuttaa vaurioita rakenteisiin vasta silloin kun kosteus ei pääse hallitusti pois rakenteista. Ongelmia ei aiheuta pelkkä betonirakenteen keskellä oleva korkea kosteuspitoisuus, vaan sen päällystäminen liian tiiviillä materiaalilla. Päällyste vaurioituu, kun kosteus ei pääse rakenteista riittävän nopeasti pois. (Sisäilmayhdistys ry)

5.3 Vuodenajat

Talvien lämpeneminen ja lumisateen korvautuminen vedellä saattavat aiheuttaa puurakenteille pahenevia home- ja lahoamisongelmia sekä metalliosille kiihtyvää korroosiota. Mekaanista rasitusta rakennusten julkisivuille puolestaan aiheuttaa voimakkaat viistosateet sekä nopea jäätyminen ja sulamisen vaihtelusykli. Kun lämpötila vaihtelee useampia kertoja nopeasti nollan ylä- ja alapuolella aiheuttaa se puurakenteille home- ja lahoamisriskin sekä nopeuttaa kivisten ulkopintojen ja luonnonkivimuurien rapautumista. Sademäärien lisääntyminen voi paikoin nostaa pohjaveden korkeutta ja kosteuttaa maaperää niin, että siitä tulee epävaka pohja rakennuksille. (Gerghäll & Pesu. 2008)

Ilmanvaihtokoneen raitisilmasäleiköstä lumi ja sade voi päästä suodattimiin asti, jossa se aiheuttaa niiden kastumisen ja mikrobikasvuston synnyn. Mikrobikasvu on mahdollista myös suodattimen jälkeen ilmanvaihtokanavistossa, jos sinne pääsee kosteutta. Ulkoilmasäleikön kautta tuleva kosteus on vaikeasti todennettavissa oleva sisäilmaongelmia aiheuttava tekijä, jota ei mittauksissa havaita, koska veden tai lumen pääsy järjestelmään tapahtuu satunnaisesti sääoloista riippuen. Tuloilmasuodattimille pääsevä lumi vaikuttaa myös ilmanvaihtojärjestelmien painesuhteisiin, kun raitisilmareitti on estynyt. Ulkoilmasäleiköt tulisikin mitoittaa riittävän suuriksi, jotta otsapintanopeus olisi koko säleikön alueella riittävän pieni. Lisäksi säleikköjen sijainnissa tulisi huomioida ulkoilman epäpuhtauksien kulkeutumisen estämisen lisäksi, ettei tuuliolosuhteet pääse vaikuttamaan säleikön toimintaan ja lumi kasautumaan säleikön eteen. Markkinoilla olevien lumisuojasäleikköjen lumen ja veden tehokas erotuskyky saavutetaan, kun säleikkö mitoitetaan niin, että otsapintanopeus on 0,7m/s. (MIV-hanke)

5.4 Tuuliolosuhteet

Kovalla tuulella viistosateet voivat rasittaa vaakapintojen lisäksi myös pystypintoja sekä katettujen osien alle jääviä pintoja. Tuulenpaine voi siirtää vettä tai lunta myös ylöspäin. Ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuden kannalta on tärkeää, että painesuhteet pysyvät mahdollisimman muuttumattomina. ulkoilmasäleikkö tulisi-kin sijoittaa siten, että tuulen vaikutukset ovat mahdollisimman vähäiset. Tuulen vaikutusta ja sen nopeutta on vaikea ennustaa ympäristötekijöiden vaikuttaessa siihen. Staattisen paineen kannalta vältettäviä ulkoilmasäleikköjen sijoituspaikkoja ovatkin rakennuksen sisäkulmat (Seppänen. 1996, 78-82). Ulkoilmasäleikön ja ilmanvaihtokoneen raitisilmasuodattimien välinen suositeltava minimietäisyys on noin kaksi metriä, jotta vesi tai lumi ei pääsisi suodattimeen asti.

”Tuulen aiheuttama paine rakennukseen riippuu tuulen nopeudesta ja suunnasta sekä rakennuksen geometriasta” (Sisäilmayhdistys ry). Rakennuksen tuulen puoleisella seinällä on ylipainetta ja suojan puolella, sivuseinillä, harjakaton lappeen puolella ja tasakatossa alipainetta. (Sisäilmayhdistys ry)

Rakennuspaikan sisäpuoliseen paineeseen taas vaikuttaa tuulen suunta ja rakennuksen aukkojen sijainti. ”Jos rakennuksen tuulenpuoleinen seinä on muita seiniä epätiiviimpi, rakennuksen sisäpuolelle muodostuu ylipaine” (Sisäilmayhdistys ry). Alipaine muodostuu rakennuksen sisälle, kun suurin osa aukoista on suojan puoleisella seinällä. Nykyään rakennuksen yli- ja alipaineen sekä ikkunoiden ja ovien sijainnit sekä tuuliolosuhteet voidaan simuloida mallinnusohjelmalla (esim. IDA ICE), jolloin pystytään arvioimaan kriittisiä rakenneratkaisuja ja välttämään ne mahdollisuuksien mukaan. (Sisäilmayhdistys ry)

6 RAKENNUSTEKNISET RATKAISUT SEKÄ MUUT TOIMENPITEET ENNEN ILMANVAIHDON KORJAUKSIA

Ilmanvaihtotekniset ratkaisut ovat harvoin yksinään tehokkaita ratkaisuja sisäilmaolosuhteiden kannalta. Ennen ilmanvaihdon toimenpiteitä luodaan sen toiminnalle optimaaliset olosuhteet minimoimalla rakenteiden vuotokohtat sekä estämällä epäpuhtauksien pääsy rakenteista huoneilmaan. Epäpuhtauksien pääsy rakenteista huoneilmaan voidaan tehdä kapseloimalla tai rakenteita tiivistämällä. Viemäriputkien puhdistuksessa voi käyttää biosideja ja otsonointia harkiten tilojen puhdistukseen. Ilmanpuhdistimilla taas voi tuoda helpotusta sisäilmaongelmista kärsiville, vaikkei se korjausratkaisuksi sovellukaan.

Vaurioituneelle materiaalille, jota ei voi poistaa tai puhdistaa, täytyy tehdä rakenteellisia erityistoimia kuten tiivistys, kapselointi, alipaineistettu rakenne tai tuuletuvat rakenteet. Tällöin on kuitenkin varmistettava, että jätettävän rakenteen epäpuhtaudet eivät pääse missään olosuhteissa kulkeutumaan sisäilmaan. Vaurioituneen materiaalin jättäminen rakenteisiin voi vaikuttaa rakennuksen arvoon, joten ratkaisuvaihtoehdot perusteluineen (terveys-elinkaarikustannusvaikutuksineen) on esiteltävä rakennuksen omistajalle, joka tekee lopullisen päätöksen korjaustavasta. (Kosteus- ja home-talkoot.2013)

6.1 Kapselointi

Kapseloinnilla tarkoitetaan rakenteen tiivistämistä siten, ettei homepöly pääse leviämään sisäilmaan. Tätä korjausmuotoa voidaan käyttää silloin kun rakenteet ovat vaurioituneet vähän ja ne pystytään kuivattamaan pysyvästi. Kapselointi on tehtävä huolellisesti ja vaurioitunutta kohtaa on seurattava säännöllisesti, jotta voidaan havaita vaurion uusiutuminen. Rakenteen kapselointia käytetään silloin, kun muut korjauskeinot ovat liian kalliita, hankalia toteuttaa tai niitä ei ole. Kapselointi on kustannuksiltaan kohtuullinen ja oikein toteutettuna se poistaa terveyshaitat ja riskit. (YM. 1997, Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjaus)

6.2 Tiivistysratkaisut

Tiivistyskorjaus on haastavimpia rakennustöitä työmaalla. Usein siihen ei kuitenkaan työmaalla suhtauduta riittävällä vakavuudella. Tiivistyskorjauksille pitäisi aina toteuttaa laadunvalvonta eikä tiivistyskorjauksia ylipäätään voi suositella kuin tilapäisenä ratkaisuna. Tiivistyskorjauksia tehtäessä pitäisi varmistaa, etteivät sisätilat ole liian alipaineisia korjausten edetessä ja niiden jälkeen. Onnistuneen tiivistyskorjauksen edellytyksenä on huomioida rakennuksen muuttuvat painesuhteen myös korjaustilanteessa. Alipaineisuuden kasvaessa liiaksi ei esimerkiksi tiivistysnauhoja saada asennettua pitävästi. Tiivistyskorjauksessa laitteen, joka mittaa ja tasaa aktiivisesti painetta, käyttö on suositeltavaa.

Vanhoissa rakennuksissa esiintyy harvoin suuria paine-eroja niiden epätiivien rakenteiden vuoksi. Usein ilmanvuotoreitit tasaavat alipaineiseksi suunnitellun rakennuksen painesuhteet. Tiivistyskorjausten seurauksena alipaineisuus saattaa kasvaa, jos hallittuja korvausilmareittejä ei suunnitella tai ilmanvaihtojärjestelmän mitoitus ja toiminta säilytetään ennallaan. Ongelma tiivistyskorjauksessa voi siirtyä tiivistämättä jätettyihin tiloihin ja rakenneliittymiin, jos ilmanvaihdon säätöä tai korjausta ei tehdä tiivistyskorjauksen yhteydessä. (Björkroth ym. 2018)

6.3 Biosidit

Biosidivalmisteet jaetaan neljään pääryhmään: desifiointiaineet, säilytysaineet, tuholaistorjunta ja muut biosidivalmisteet. Biosidi on aine, jolla torjutaan tai tuhoetaan vahingollisia eliöitä. Sisäilmaongelmaisissa kohteissa jälkivahinkojen torjumiseen keskittyneet yritykset käyttävät biosideihin kuuluvia otsonointia ja desifiointia homeongelmien poistoon. Kosteus- ja homevaurion syy pitää aina kuitenkin selvittää ja vaurio korjata. Biosideja ei suositella sisätilojen homeongelman ratkaisuksi, homesiivouksen tehosteeksi tai homeiden ehkäisyyn. Biosidit ovat myrkyllisiä aineita ja ne voivat olla haitallisia siivoustyötä tekevien ja tiloja käyttävien terveydelle. (Moisa 2015; Mölsä, 2016)

Otsoni (O_3) on reaktiivinen kaasu, jota on kaikkialla ilmassa. Se on voimakas hapetin ja reagoi sekä orgaanisten että epäorgaanisten aineiden kanssa. Ihmiselle

turvallisella otsonipitoisuudella ei ole tutkimuksissa todettu olevan sieni- ja bakteerionismeja tuhoavaa vaikutusta. Otsoni voi reagoida erilaisten rakennusmateriaalien ja tyydyttymättömien orgaanisten yhdisteiden kanssa ja aiheuttaa uusia, terveydelle haitallisia reaktiotuotteita. Otsonin reagoiessa esimerkiksi puumateriaalista peräisin olevien terpeeniyhdisteiden kanssa reaktion seurauksena ilman terpeenipitoisuus vähenee, mutta samalla ilman formaldehydipitoisuus nousee ja ilman pienhiukkasten määrä kasvaa. (Leppänen ym. 2017)

Otsonointi saattaa poistaa tehokkaasti hajua, mutta sen käytössä on oltava huolellinen, koska sen teho perustuu kemiallisten yhdisteiden hajottamiseen. Työntekijöiden on suojauduttava hyvin ja otsonin leviäminen muihin tiloihin esimerkiksi ilmanvaihdon kautta on estettävä otsonoinnin aikana. Otsonoinnin jälkeen tilat on tuuletettava tehokkaasti ja pinnoilta on pyyhittävä pois epäpuhtaudet. Tuuletusaika on yleensä 24-48 tuntia. (Leppänen ym. 2017)

Otsoni kulkeutuu elimistöön pääasiassa hengitysteitä pitkin ja sen terveyshaitat perustuvat sen kykyyn hapettaa keuhkosolujen entsyymejä, proteiineja ja rasvahappoja. Otsonoinnilla on haitallisia vaikutuksia työntekijän mahdollisiin sydän- ja verisuonitauteihin. Akuutteja vaikutuksia ovat rintakipu, yskä, hengitysvaikeudet ja kurkun ärsytys. Se voi myös pahentaa astman oireita. Otsonointi on haitallista myös materiaaleille kuten betoni, kipsilevy, luonnonkumi, neopreeni, lateksimaali, linoleum, puulattiat ja kokolattiamatot. Se haalistaa ja vanhentaa materiaaleja ja haurastuttaa betonia. (Leppänen ym. 2017)

6.4 Ilmanpuhdistimet

Ilmanpuhdistin puhdistaa huoneilmasta pölyä, siitepölyä ja osa niistä poistaa sisäilmasta eriasteisia tuoksujia. Puutteellisten ilmanvaihtoratkaisujen tai rakennuksessa piilevien homeongelmien ratkaisuksi se ei kuitenkaan sovellu. Hyvä ilmanpuhdistin voi kuitenkin lievissä tapauksissa helpottaa tilannetta siihen asti, kunnes varsinainen ongelma saadaan ratkaistua.

Ilmanpuhdistimissa on keskenään suuria eroja, esimerkiksi kaasumaisten epäpuhtauksien poistosta laitteet suoriutuvat vaihtelevasti. Yhdistelmälaitteiden, eli

useampaa eri tekniikkaa hyödyntävien laitteiden hyödyn ja toimivuuden arviointi on vaikeaa, koska niille ole tehty vertailevaa puolueetonta tutkimusta. Ilmanpuhdistimien vaikutuksesta hengitysterveyteen ja hengityssairaiden oireisiin ei ole tehty tutkimusta. (Hengitysliitto ry)

Jokainen ilmanpuhdistaja on käytännössä tila- tai huonekohtainen ja puhdistimen valinnassa on huomioitava tilavuusilmavirta, jonka se pystyy puhdistamaan. Suurempiin tiloihin tulee mitoittaa tarvittaessa useampi puhdistin ja sijoitella ne optimaalisiin paikkoihin. Tilan käyttäjän kannalta oleellista on myös valita äänitasoltaan hiljainen ilmanpuhdistin. Kouluissa, päiväkodeissa ja isoissa toimistoissa tarvitaan alhaisella äänitasolla toimiva, mutta tehokas ilmanpuhdistin, jota on myös helppo siirtää tarvittaessa. (Allergia-apu)

Ilmanpuhdistimet voidaan jakaa suodatustekniikan mukaan. Mekaanisissa ilmanpuhdistimissa suodattimien tyyppi (ePM10, ePM2,5, ePM1 tai näiden yhdistelmät) määrittelee puhdistuskyvyn. Mekaaniseen puhdistuskykyyn perustuvista suodattimista on paljon tutkimustietoa sekä standardeja. Elektrostaattinen eli sähkösuodatukseen perustuva suodatus varaa sähköisesti hiukkaset ja vastakkain varattu suodatinmateriaali kerää pienhiukkaset. Sivutuotteena syntyy otsonia, jonka pääsy huoneilmaan on estettävä. Fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuvat laitteet hajottavat haihtuvia orgaanisia yhdisteitä huoneilmasta sekä tappavat homeitiöitä, bakteereja ja viruksia. Laitteen toiminta perustuu joko luonnon valoon tai UV-lampun käyttöön. UV-säteilytys kuitenkin aiheuttaa haitallista otsonia joka on huomioitava laiterakenteessa. Kemialliset suodattimet taas poistavat kaasumaisia epäpuhtauksia ja suodattimen materiaali on usein kivihiltä. Kemiallisten suodattimien toimivuudesta ei ole luotettavaa testiä ja aktiivihiilisuodattimen käyttöikä on lyhyt eli normaalioloissa vaihtoväli on vuoden ja runsaasti epäpuhtauksia sisältävässä ilmassa jopa kuukausittain. (Hengitysliitto ry)

Yleisin käytössä oleva suodatintyyppi on mekaaninen suodatin, koska niitä on helppo huoltaa ja huoltoväli on suhteellisen pitkä. Mekaaniset suodattimet erottavat tehokkaasti hiukkasia ja suodatusaste on valittavissa tyypeittäin. Mekaaniseen suodatukseen perustuva ilmanpuhdistin on varmatoiminen eikä vaadi erityisosaamista. Mekaaniset ilmansuodattimet eivät myöskään tuota otsonia ja lait-

teilla on kansainväliset standardit. Ilmanpuhdistimien vertailu keskenään on vaikeaa, koska eri suodatusmenetelmien luotettavaa vertailevaa tutkimusta ei ole tehty. (Hengitysliitto ry)

Amerikassa siirrettävissä ilmanpuhdistimissa käytetään CADR-luokitusta, kuluttajavertailua helpottamaan. CADR-luokituksen saaneiden ilmanpuhdistinten pienhiukkasten eikä kaasumaisten epäpuhtauksien erottelukykä mitata. Testaukset tehdään myös aina laitteiden maksimiteholla, mikä taas ei sovellu äänenvoimakkuuden takia todelliseen käyttötilanteeseen. Testausajanjakso on myös lyhyt, jolloin ei saada tietoa laitteen tehokkuuden heikkenemisestä ajan myötä. (APG)

7 SISÄILMAOLOSUHTEIDEN PARANTAMINEN

7.1 Kuntien taloudellinen panostus koulujen väliaikaiseen korjaukseen

Rakentamiselle asetettavia vaatimuksia koskevan maankäyttö- ja rakennuslain 117 §:n 4 momentin mukaan ”korjaus- ja muutostyössä tulee ottaa huomioon rakennuksen ominaisuudet ja erityispiirteet sekä rakennuksen soveltuvuus aiottuun käyttöön. Muutosten johdosta rakennuksen käyttäjien turvallisuus ei saa vaarantua eivätkä heidän terveydelliset olonsa heikentyä”.

Helsingin kaupungin talousarvion (2019) mukaan 10-vuotisen investointibudjetin laatimisessa on uusien ja peruskorjattavien koulujen, päiväkotien ja leikkipuistorakennusten 1,325 miljardin euron lisäksi varattu ohjelmoimatonta rahaa 500 miljoonaa euroa kunnostettaville/uusittaville rakennuksille. Helsingin kaupungin investointiohjelmaan on lisäksi varattu vuosittain 30 miljoonaa euroa kohdentamatonta korjausmäärärahaa, jolla voidaan toteuttaa kiireellisiä sisäilmaongelmien ratkaisemiseksi tarvittavia korjauksia tai väistötilaratkaisuja. (Helsingin kaupungin Sisäilmaohjelma 2018-2028, Liite 1)

Tampereen kaupunki on varannut vuoden 2019 budjettiin noin viisi miljoonaa euroa koulujen ja päiväkotien pieniin korjaushankkeisiin suurempien peruskorjausten ja uudiskohteille varatun reilun 20 miljoonan lisäksi. (Tampereen kaupungin Talousarvio 2019, s.82)

7.2 Sisäilman epäpuhtaudet

Sisäilman epäpuhtaudet voivat olla hiukkasmaisia, kaasumaisia, lähtöisin materiaaleista tai ihmisistä. Myös sisäilman kosteus ja lämpötila vaikuttavat hengitysterveyteen.

Karkeat hengitettävät hiukkaset (PM10) ovat halkaisijaltaan 2,5–10 mikrometriä ja pääsevät kulkeutumaan keuhkoputkeen asti. Tällaisia hiukkasia ovat mm. ter-

veyshaittoja aiheuttavat katu- ja siitepöly. Tyypillisiä oireita ovat silmien ja ylähengitysteiden ärsytysoireet, mutta karkeiden hengitettävien hiukkasten on epäilty myös pahentavan astmaa ja keuhkohtaumatautia sekä aiheuttavan sydän- ja verisuonitauteja. (Hengitysliitto ry)

Karkeiden hengitettävien hiukkasten pääsy sisäilmaan estetään rakennuksen tuloilmaa suodattamalla. Suodatin valitaan niin, että tuloilman laatuvaatimus toteutuu. Ulkoilman hiukkaspitoisuus on huomioitava suodatinvalinnassa. Sisäilmaluokat S1 ja S2 edellyttävät aina ilman suodattamista, koska niissä on määritelty vaatimus sisä- ja ulkoilman pienhiukkasten (PM_{2,5}) suhteelle. Sisäilmaluokan alimman vaatimustason (S3) mukaan ulkoilma voidaan jättää suodattamatta vain alueilla, joissa ulkoilma on puhdasta ja pölyä ainoastaan tilapäisesti (esim. siitepöly keväällä/kesällä). (Talotekniikkainfo. Luku 3, kappale 12)

Pienhiukkaset eli alle 2,5 mikrometrin kokoiset hiukkaset (PM_{2,5}) pääsevät tunkeutumaan keuhkojen ääreisosiin, keuhkorakkuloihin saakka. Ultrapienet hiukkaset (PM₁), joiden halkaisija on alle 0,1 mikrometriä taas voivat päästä keuhkorakuloista verenkiertoon. Pienhiukkasista puolet kulkeutuu ulkomailta ilman mukana ja puolet on peräisin erilaisista polttoprosesseista ja liikenteestä. Kaikista ilmansaasteista pienhiukkasilla on arvioitu olevan suurin merkitys terveyteen ja niiden on arvioitu tappavan vuosittain 1800 suomalaista. Lyhytaikainen altistuminen pienhiukkasille voi lisätä hengitystieinfektiota ja pahentaa astmaa, keuhkotautia sekä sepelvaltimotautia. Pitkäaikaisen altistumisen on todettu jopa lyhentävän elinikää. WHO:n raportin mukaan vuonna 2000 sisäilman epäpuhtaudet aiheuttivat yli 1,5 miljoonaa kuolemaa. Pienhiukkasten pitoisuutta vähennetään tuloilmaa suodattamalla ja esim. 0,5 pitoisuussuhteen vaatimustason täyttävät kaikki ePM₁ ja ePM_{2,5} hiukkasluokan suodattimet. (WHO 2007, Terveyden ja hyvinvoinnin laitos; Talotekniikkainfo. Luku 3, kappale 12)

Sisäilman kaasumaisia epäpuhtauksia on ammoniakki, formaldehydi, hiilidioksidi, hiilimonoksidi, radon, styreeni, tupakansavu, VOC-yhdisteet ja viemärikaasut. Lievissä tapauksissa lähes kaikkiin kaasumaisiin epäpuhtauslähteisiin toimii pitoisuuksien laimennus ilmanvaihtoa lisäämällä. Hiilimonoksidin eli hään pitoisuuksia pystytään vähentämään oikeaoppisella tulisijan käytöllä ja sijoittamalla parkkihallit tai-alueet niin, ettei sisäilmaan pääse häkää. Radon-kaasu taas on

hajuton radioaktiivinen kaasu, joka aiheuttaa Suomessa 300 keuhkosyöpätaapausta vuodessa. Maaperästä tuleva kaasun pääsy vanhoissa rakennuksissa pyritään estämään tiivistämällä maanvarainen alapohja tai parantamalla ryömintätilan tuuletusta. Uudiskohteissa maanvaraisiin alapohjiin suunnitellaan radon-putkisto ja ryömintätillaiset alapohjat tuuletetaan usein koneellisella poistoilmanvaihdolla sekä korvausilmaputkillla. Viemärikaasujen yhteydessä selvitetään aina hajuun syy. Tutkitaan, onko haju peräisin kuivasta lattiakaivosta tai vesilukosta, vai onko vesikatolla oleva tuuletusviemäri mahdollisesti tukkeutunut (esim. talvella jäässä). Viemärikaasut voivat myös tulla putkien tiivisteiden vuodoista tai liian alipaineinen ilmanvaihto kuivattaa vesilukot. (Hengitysliitto ry)

VOC-yhdisteitä eli haihtuvia orgaanisia yhdisteitä on satoja ja ne voivat olla yksin tai useamman yhdisteenä terveydelle haitallisia. VOC-yhdisteiden päästölähteitä on usein rakennus- ja sisustusmateriaalit, pesuaineet ja joskus mikrobikasvustot. Uusissa taloissa on yleensä paljon VOC-pitoisuuksia, jotka voidaan hyvällä ilmanvaihdolla laimentaa puolessa vuodessa normaalitasolle. Vanhoissa rakennuksissa VOC-yhdisteiden aiheuttaja voi olla kastunut rakennusmateriaali (esim. formaldehydiä sisältävät lastulevy), joka täytyy poistaa. VOC-yhdisteiden ollessa kyseessä ratkaisu on aina tapauskohtainen. aluksi pitää selvittää lähde, poistaa tai kapseloida se, tuulettaa lähde tai poistaa lähteenä olleet pinnoitteet tai tasoitteet. On myös syytä välttää pesuaineita, jotka sisältävät haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. (Hengitysliitto ry)

Materiaaleista peräisin olevat tyypillisimmät päästölähteet ovat asbesti ja mineraalivillakuidut. Asbestia käytettiin 60-70-luvulla yleisesti putkien lämmöneristysmassoina ja kattolevyissä, lattialaatoissa ja tasoitteissa. Mineraalivillaa käytetään rakennusten lämpö- ja paloeristeenä sekä aikaisemmin yleisesti ilmanvaihtolaitteiden äänenvaimentimissa. Ilmanvaihtolaitteista tuloilmakanavien kautta mineraalivillakuidut pääsevät sisäilmaan ja mineraalivillaa sisältävät vaimentimet pitäisikin vaihtaa polyesterikuituversioihin tai pinnoittaa lasikuitukankaalla ja reikäpellillä.

Sisäilman liiallinen pitkäaikainen kosteus voi käynnistää rakenteessa mikrobikasvuston ja aiheuttaa pahimmillaan home- ja kosteusvaurioita, joista voi seurata vakavia terveysongelmia. Liiallinen sisäilman kuivuus taas lisää hengitysteiden,

limakalvojen ja ihon ärsytysoireita. Talvella sopivana huoneilman suhteellisena kosteutena pidetään 20-40% ja kesäaikaan suhteellinen kosteus voi vaihdella 50-70% välillä. Korkea sisälämpötila talvella lisää huoneilman kuivuutta ja sisäilman lämpötilaa laskemalla voidaan suhteellinen kosteus saada nousemaan jonkin verran. Huoneilmaa voi myös kostuttaa ilmakehän kostuttimella, mutta vaarana epäpuhtaassa kostuttimessa on mikrobien leviäminen huoneilmaan. Liian alhainen huonelämpötila voi olla viihtyvyys- tai terveyshaitta. Vetoa aiheuttavat liian korkea ilman virtausnopeus sekä suuret lattian raja- ja ulottuvat ikkunapinnat, joiden eteen ei ole sijoitettu lämpöpatteria. Kylmyys myös hidastaa pesutilojen kuivumista, mikä voi johtaa homevaurioihin. Suurissa rakennuksissa yleensä lämmitysjärjestelmän perussäätö lämmityskauden aikana, kun ulkolämpötila on alle -5°C , auttaa tasaamaan eri osien lämpötilaerot. (Hengitysliitto ry)

7.3 Vuotoilmojen hallinta

7.3.1 Rakennuksen ilmatiiviys ja painesuhteet

Rakennuksen tiiveyteen kiinnitetään nykyrakentamisessa huomiota rakenteiden toimivuuden lisäksi energiatehokkuuden näkökulmasta. Rakennuksen tiiviystasolla ja hallitsemattomalla vuotoilmalla on suuri vaikutus rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Normaalin ilmanvuotolukuvuatomustason (q_{50}) mukaista $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ arvoa verrattaessa Suomen passiivitalon tiiviystasoon ($n_{50}=0,6 \text{ dm}^3/\text{s}$) saadaan lämmitystehontarvetta laskennallisesti pienennettyä neljänneksen. (Rakennustieto)

Rakennuksen ilmatiiviuden parantuessa on riittävä ja hallittu ilmanvaihto entistä tärkeämpää. Ilmanvaihto tulee mitoittaa ja säätää tasapainoon, koska vuotoilmaa ei käytetä korvausilmana. Aiemmin rakennusvaipan ilmavuotoluvun ollessa suurempi ($n_{50} = 2...4 \text{ dm}^3/\text{h}$) ohjeistettiin (D2; 2010) mitoittamaan tuloilmavirta poistoilmavirtaan suhteella 0,9 eli 10% tuloilmasta laskettiin tulevan vuotoreittien kautta. Nykyisten ohjeistusten mukaan ja rakennustiiviuden kasvaessa ilmavirrat

pyritään mitoittamaan saman suuruiseksi ja lisäksi ilmavirtojen säädössä huomioidaan pane-erot rakennusvaipan yli. Näin varmistutaan, että rakennuksen painesuhteet ovat tasapainossa.

Rakennusten suunnitteluratkaisuissa ilmanpitävyyttä ei tarvitse erikseen osoittaa, jos ilmanvuotoluvuksi määritellään asetuksen 27§ mukainen enimmäisarvo $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Pienempää ilmanvuotolukua voidaan käyttää, jos ilmanpitävyys osoitetaan joko jälkikäteen mittaamalla tai muulla menettelyllä. Ilmanvuotoluku voi ylittää arvon $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut sitä edellyttävät. (Ympäristöministeriön Tasauslaskentaopas 2018, s 25)

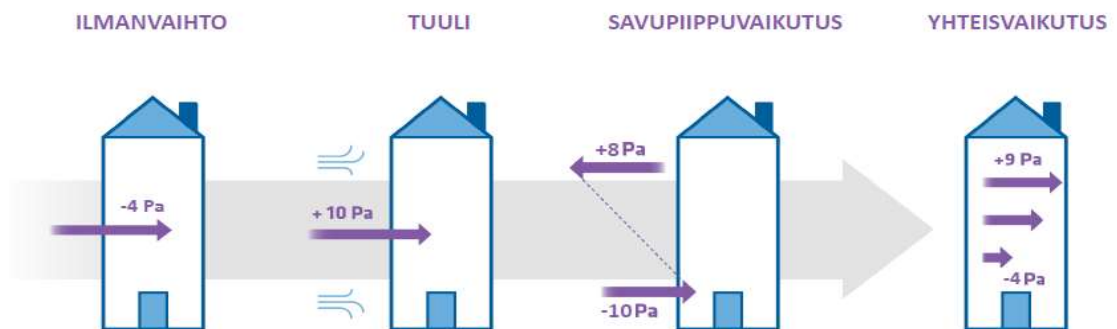
Rakennuksen ilmatiiveyttä ei pystytä luotettavasti arvioimaan laskennallisesti, koska yksittäisillä raoilla on suuri merkitys ilmatiiveyteen, eikä niiden tarkka ennakoarviointi ole mahdollista. Yleisen käytännön mukaan rakennuksen ilmatiiveys mitataan nykyisin vasta rakennuksen ollessa valmis. Ilmatiiveysmittaus suoritetaan standardin SFS-EN 13829 mukaisesti (RT 80-10974) yli- tai alipaineistamalla rakennus. Ilmavuotoluku ilmoitetaan suhteutettuna ulkovaipan pinta-alaan (q_{50} -luku). Koska rakennuksen ilmavuotoluvulla on oleellinen merkitys E-lukulaskelmassa, eikä määräysten mukaisella minimiarvolla $4 \text{ m}^3 /(\text{h, m}^2)$ yleisesti päästä toivottuun E-luokkaan, uudisrakennusten ilmatiiveys yleensä mitataan.

Rakennuksen ilmatiiveyden parantuessa on ilmanvaihtosuunnitelmissa huomiotava entistä tarkemmin ilmanvaihdon vaikutus painesuhteisiin. Perinteisesti 10-15% alipaineiseksi mitoitettu ilmanvaihto tekee tiiviin rakennuksen helposti liian alipaineiseksi. Lisäksi perinteinen tapa suunnitella koulujen- ja päiväkotien ilmanvaihto siten, että käyttöajan ulkopuolella tulo- ja poistoilmakone sammuu sekä wc-tilojen huippuimurien poistoilma puolittuu, aiheuttaa tiloihin todella suuren alipaineen normaalin käyttöajan ulkopuolella. Alipaineen kasvu lisää rakenteista ja lattiakaivojen kautta hallitsemattomasti tulevan vuotoilman määrä ja sen mukana pääsee epäpuhtauksia huoneilmaan. Sisä- ja ulkoilman välisellä paine-erolla on todettu olevan mikrobilajiston esiintyvyyteen sisäilmassa selvä vaikutus. 10...20 Pa:n alipaineistus ulkovaippaan nähden lisää selvästi sisäilman mikrobilajistoa (Päkkilä 2012, s138)

7.3.2 Hallitsematon ilman kulku

Rakennuksen ilmavirtauksiin vaikuttaa sen painesuhteet sekä rakenteiden ilmatiiveys. Ilma virtaa korkeammasta paineesta matalampaan eli ylipaineesta alipaineeseen. Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttaa ilmanvaihto, termisten voimien aiheuttama paine-ero eli hormivaikutus, rakennuksen korkeus sekä tuuliolosuhteet (Kuva 7). Tuulen vaikutus painesuhteisiin on tuulen suunnasta ja voimakkuudesta johtuen satunnainen. Tuuli on otettava erityisesti huomioon korkeissa rakennuksissa sekä tuulisilla aukeilla tonteilla.

Paine-erojen hallintaan vaikuttavat tekijät



Kuva7: (Climecon Oy)

Ilman lämpötilaerot vaikuttavat rakennuksen painesuhteisiin sitä voimakkaammin mitä kylmempää ulkoilma on sisäilmaan verrattuna. Tällöin rakennuksen alosaan muodostuu alipaine ja yläosaan ylipaine. Ilman tiheys on kääntäen verrannollinen lämpötilaan, jolloin saadaan paine-eron kaava muodostettua. (Seppänen, s.112)

$$\Delta p = \rho_s g h \left(\frac{T_s - T_u}{T_u} \right) \rho_s$$

ρ_s = sisäilman tiheys ($1,2 \text{ kg/m}^3$)

g = painovoiman kiihtyvyys ($9,81 \text{ m/s}^2$)

h = rakennuksen korkeus

T = ilman lämpötila, Kelvin

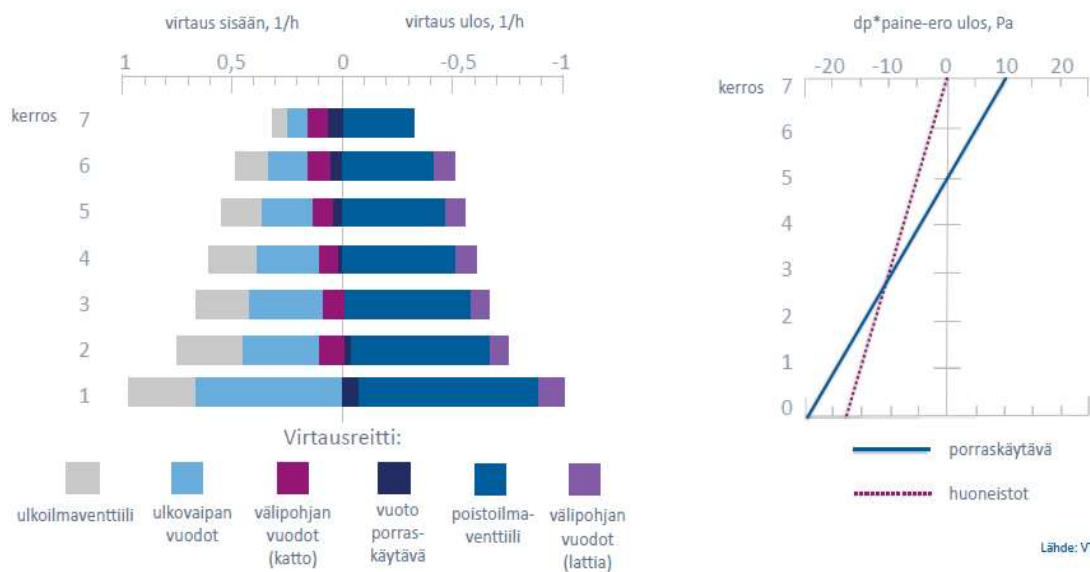
Kaavasta johdettuna saadaan paine-ero metriä kohden 21°C lämpötilaerolla (esimerkkutilanne kun ulkolämpötila on 0°C ja sisälämpötila $+21^{\circ}\text{C}$)

$$\frac{\Delta p}{h} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \frac{(293 - 273)}{273} = 0,9 \text{Pa}$$

Alapohjarakenteiden kautta voi tapahtua ilmavirtauksia huonetilaan, ja yläpohjarakenteiden kautta huonetilasta ulospäin. Rakennuksen korkeus lisää paine-eroja talvella, kun sisä- ja ulkoilman lämpötilaerot ovat suuria eli ns. hormivirtaus vaikuttaa rakennuksen ilmavirtauksiin. (kuva 8)

Hormivirtauksen vaikutus ilmamääriin

Ulkolämpötila -20°C :



Kuva 8: Kerrostalon ilmavirtauksen talvella -20°C :een pakkasella. Alimmissa kerroksissa alipaine lisää poistoilmamäärää ja vuotoilmaa rakenteista. Ylimmissä kerroksissa porrashuoneen ylipaineisuus pyrkii tasaamaan porrashuoneen painetta asuntoihin päin. Poistoilmamäärät ylimmissä kerroksissa pakkasilla pieneenee. (Climecon Oy)

Ilmaa on rakenteiden ympärillä ja lisäksi rakenteiden sisällä erilaisissa onteloissa ja huokosissa. Ilman ominaisuuksilla on oleellinen merkitys rakenteiden toimim-

nalle. Ilman ominaisuuksista kosteustekniikan kannalta tärkein on ilman kyky sitoa kosteutta eri tavalla eri lämpötiloissa. Mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän se pystyy sitomaan kosteutta. (Sisäilmayhdistys ry)

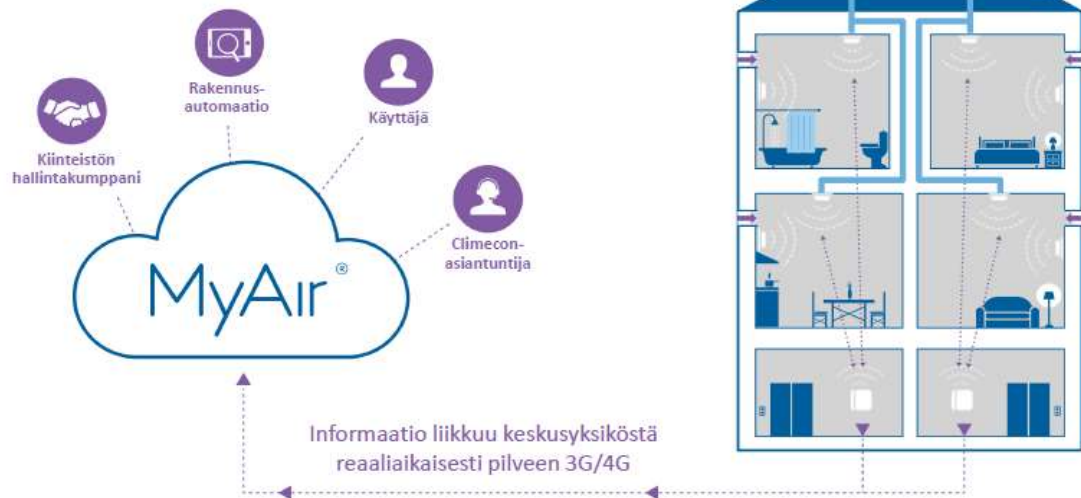
Ilmanvaihdon on merkittävä vaikutus rakennuksen painesuhteisiin. Koneellisessa poistoilmanvaihtoratkaisussa epäpuhtaudet kulkeutuvat rakenteista sisäilmaan, jos hallituista korvausilmareiteistä ei ole huolehdittu. Alipaineiden ilmanvaihtojärjestelmä voi myös kuivattaa lattiakaivot ja imeä korvausilman viemäriverkostosta, jolloin ihmiselle haitallisia viemärikaasuja pääsee sisäilmaan. Koneellisen poistoilmanvaihdon kohteissa alipaine ei saisi nousta yli 10 Pa:n. (Sisäilmayhdistys ry)

Painesuhteiden lisäksi rakenteiden ilmatiiveys vaikuttaa rakennuksen ilmavirtauksiin. Ilma kulkee rakenteissa virtausreitit pitkin. Tällaisia ovat rakenteiden saumat, halkeamat, läpiviennit sekä tarkistus- ja kulkuluukut. Rakennuksessa olevista LVIS-asennuskuiluista ja putkikanaaleista voi myös ilma kulkeutua, jolloin homeen lähde voi olla rakennuksen ulkopuolella. (Sisäilmayhdistys ry)

7.3.3 Alipaineinen koneellinen poistoilmanvaihto tasapainoon

80-luvun koneelliseen poistoilmanvaihtoon perustuvasta ilmanvaihtojärjestelmässä suurimpina ongelmina sen alipaineisuus sekä talvella vetoisuus. Lisäksi koneellisessa poistoilmanvaihdossa lämmin poistoilma puhalletaan ulos, jolloin lämpöenergian hukka on suuri. Suomalainen ilmanvaihtolaitteiden ja järjestelmien valmistaja ja kehittäjä Climecon Oy on tuonut markkinoille erityisesti kerrostaloihin soveltuvan My Air-ilmanvaihtojärjestelmän. Järjestelmä soveltuu hyvin saneerauskohteisiin, joissa koneelliseen poistoilmanvaihtojärjestelmään uusitaan vakiopainepainesäätöinen poistopuhallin ja itsesäätävät poistoilmaventtiilit (kuva 9). Painesuhteiden osalta on kiinnitetty huomiota myös korvausilmaan ja huoneiston korvausilmasäleikköön asennetaan itsesäätävä, suodattimella varustettu tuloilmaventtiili. Omatoiminen tuloilmaventtiili pitää vakiopainetta vaipan yli. (Climecon Oy)

Ratkaisun kuvaus



Kuva 9: Climecon My Air-järjestelmän toimintaperiaatteesta.

My Air-järjestelmän venttiilit mittaavat lämpötilaa, kosteutta, ilmanpainetta ja paine-eroja. Lisäksi venttiilit säätävät ja optimoivat automaattisesti ilmanvaihdon tasapainoon jokaisessa huoneistossa. Järjestelmään voi asettaa kello-ohjatun tai tarpeenmukaisen ilmanvaihdon säädön. Tarpeenmukaisella säädöllä saadaan esim. kylpyhuoneiden kosteuskuormasta johtuen ilmanvaihtoa lisättyä tilakohtaisesti. (Climecon Oy).

MyAir-venttiilit

-  Mittaavat lämpötilaa, kosteutta, ilmanpainetta ja paine-eroa
-  Käytetyt komponentit samoja autoteollisuuden kanssa
-  Toimivat savunrajoittimena
-  Kotelointiluokka IP44, materiaali A2-s1, d0:n mukainen
-  Valmistettu Suomessa
-  Paristojen kesto: alkaliparistot n. 5 vuotta, litiumparistot n. 10 vuotta
-  Sähkönsyöttöversio esimerkiksi linjasaneerauskohteisiin 12-48V AC/DC



 CLIMECON

Kuva 10: Climeconin My Air-järjestelmän poistoilmaventtiili

Venttiilit keräävät ja lähettävät dataa (kuva 11) sekä tarvittaessa huoltokutsun kiinteistön keskusyksikköön, mistä informaatio siirtyy reaaliaikaisesti pilveen. Pilvipalvelua taas pystyy hyödyntämään kiinteistöhuolto, rakennusautomaatiojärjestelmä, käyttäjät sekä Climeconin asiantuntijat. Etäkäyttöliittymän kautta sisäilman olosuhteet ja niiden muutokset ovat helposti ja nopeasti tutkittavissa ja seurattavissa sekä ongelmat nopeasti paikannettavissa. Järjestelmästä saa tuotettua halutulle aikavälille olosuhteraportin, jossa voidaan tarkastella huoneistokohtaisesti absoluuttisista kosteutta, ilman suhteellista kosteutta, lämpötilaa, paine-eroa ja kokonaisilmavirtaa. (Climecon Oy)

Järjestelmän keräämä tieto

Ilmamäärä	l/s
Paine-ero	Pa
Ilman suhteellinen kosteus	%
Ilman absoluuttinen kosteus	gH ₂ O/kg (ki)
Ilmanpaine	hPa
Lämpötila	C
Venttiilin asento	%
Yhteyden tila	dBm
Pariston varaus	%



CLIMECON

Kuva 11: My Air järjestelmän keräämä tieto

Järjestelmän venttiilien asennus kerrostaloon vie noin päivän ja laitetoimittajan etänä suoritettu automaattinen tasapainotusajo noin 2-5 päivää. Takaisinmaksuaika järjestelmällä ja vakiopainepuhallin-yhdistelmällä on viisi vuotta. (Climecon Oy)

7.3.4 Painesuhteiden stabilointi olosuhde-aktiivisäädöllä

Suomessa asuinrakennukset, toimistot ja koulut suunnitellaan yleensä lievästi alipaineiseksi. Asumisterveysoppaan mukaan koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon sallittu vaihteluväli on 0...-2 Pa ja painovoimaisessa ilmanvaihdossa 0...-5 Pa Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä ulkoilmalaitteiden kautta tulevan ulkoilmavirran kohtuullinen hallinta edellyttää vähintään 10 Pa:n paine-eroa rakennuksen vaipan yli. Lievällä alipaineisuudella pyritään estämään

sisäilman pääsy rakenteisiin niiden epäjatkuvuuskohdissa ja näin estämään ylimääräinen rakenteen kosteusrasitus. (Asumisterveysopas, 64; Talotekniikka-info, Luku 3, kappale 21)

Rakennusten ilmatiiveyden koko ajan parantuessa on syntynyt tarve säätää ilmanvaihtoa paljon tarkemmin kuin mihin on totuttu. Koulujen ja päiväkotien mitoitustilavirroilla syntyy haitallisen suuria paine-eroja jo alle 10 %:n poikkeamalla tulo- ja poistoilmavirtojen suuruudessa. Luokkakohtaisessa ilmapirtasäätöisessä koulurakennuksessa on mahdollista säätää tilan painesuhteita tulo- ja poistoilman suhteita säätämällä. Tuloilmaa ohjataan hiilidioksidi- ja lämpötila-anturilla tarpeen mukaan ja poistoilman määrää säädetään ulkovaipan yli mitatun paine-eron mukaan. Paine-erolähetin ohjaa huonesäädintä pneumatiikkaletkulla vaipan yli mitatun paine-eron mukaan, josta tieto viedään eteenpäin tulo- ja poistokanavassa oleville IMS-säätöpelleille. Poistokanavassa olevaa IMS-peltiä säätämällä pyritään tasaamaan muuttuvat paine-erot. Medel Oy ja Fidelix Oy ovat yhdessä kehittäneet mittaus- säätö ja ohjausjärjestelmän, jota pystytään hyödyntämään kohteissa, joissa on tilakohtaiset ilmapirtasäätimet. Paineen tasaamisen nopeus tilassa on IMS-pellin reagointinopeus ja paineen on mitattu koekäytössä olevissa luokahuoneissa pysyvän kahden vuorokauden mittausdatan perusteella 0...-2 Pa:n välillä. Järjestelmästä saadaan myös vikailmoituksia poikkeavista painetasoista ja pystytään keräämään huonekohtaisesti vuorokauden aikana mitatut paine-tasot. (Javanainen & Rantanen)

7.3.5 Rakennusautomaatio painesuhteiden tarkkailun välineenä

Ympäristöministeriön perustelumuistion mukaan rakennuksen ulko- ja ulospuhallusilmavirrat on suunniteltava niin, ettei rakenteisiin aiheudu ylipaineen vuoksi rakenteita vaurioittavaa pitkäaikaista kosteusrasitusta eikä alipaineen vuoksi epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan. Rakennuksen vaipan ja sisärakenteiden ilmanpitävyys sekä hormivaikutuksen hallinta on suunniteltava siten, että edellytykset ilmanvaihdon toiminnalle voidaan varmistaa, rakenteissa ja maaperässä olevien epäpuhtauksien sekä radonin siirtyminen sisäilmaan välttää ja kosteuden siirtyminen rakenteisiin estää.

Uusissa rakennuksissa vaipan ilmanpitävyyden parantumisesta huolimatta voi silti esiintyä paikallisesti ilmanvuotokohtia, joihin ulko- ja ulospuhallusilmavirtojen ero kohdistuu. Vanhoissa rakennuksissa ja ilmanvaihtojärjestelmissä liian suuri alipaineisuus on osoittautunut yhdeksi sisäilmaongelmien aiheuttajaksi. Raitisilman ja ulospuhallusilmavirtojen hallinta on olennaista, jotta paineet eivät pääse aiheuttamaan rakenteisiin pitkäaikaista kosteusrasitusta. Yksittäiset tilat voivat kuitenkin olla yli- tai alipaineisia. Ilmavirtojen suunnittelussa tulisi ottaa huomioon myös järjestelmän eri toimintapisteet (esim. tarpeenmukainen ilmanvaihto) ja järjestelmän toiminnan muutokset kuten suodattimien likaantuminen.

Ulkoilmaan nähden ylipaineisiksi voidaan suunnitella tiloja niissä tehtävän toiminnan luonteen vuoksi, kuten puhdashuonetiloja. Rakenteet on tällöin suunniteltava kestämään ylipaineesta aiheutuvaa kosteusrasitusta. Runsaasti epäpuhtaus- tai kosteuskuormaa sisältävät tilat suunnitellaan alipaineiseksi muihin tiloihin nähden. (YM perustelumuoistio asetukseen 1009/2017)

Koko rakennuksen tasolla painesuhteet voidaan säätää halutuiksi säätämällä ilmanvaihtojärjestelmä ensin tavanomaiseen tapaan ilmavirtamittauksiin perustuen, jonka jälkeen tulo- tai poistoilmavirtaa korjataan sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron saattamiseksi tavoitealueelle. Tämä edellyttää, että ainakin osa ilmanvaihtokoneiden puhaltimista on kierroslukusäätöisiä ja sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero kyetään mittaamaan luotettavasti, useammasta pisteestä (vähintään jokaiselta eri suuntaan olevalta ulkoseinältä) ja riittävän pitkän ajan keskiarvona tuulen vaikutuksen poissulkemiseksi. (Björkroth ym. 2018)

Kierroslukusäätöisessä, ilmanvaihtokoneen puhaltimien toimintaan perustuvassa paine-erojen hallinnassa, on kuitenkin ongelmallista säädön hitaus. Puhaltimet reagoivat hitaasti paine-eromuutoksiin ja painesuhteet ovat jo voineet muuttua oleellisesti toimenpidettä vaativan paine-eromittauksen jälkeen.

Nykyiset ilmanvaihtojärjestelmät vaativat osaavaa ja säännöllistä seuranta toimiaukseen suunnitellulla tavalla. Ilmanvaihdon toimiessa puutteellisesti voi hallitsemattomista vuotoilmavirtauksista muodostua riskitekijöitä, jotka voivat aiheuttaa sisäilmaongelmia. Aina ilmanvaihtokoneen suodattimien vaihdon yhteydessä eli vähintään kaksi kertaa vuodessa tulisi tehdä järjestelmän paine-eromittaus

vaipan yli, jotta kartoitettaisiin ja tarvittaessa säädettäisiin rakennuksen poikkeavat painesuhteet.

7.4 Ilmanvaihdon lisääminen epäpuhtauksien laimentamiseen

Useita sisäilman kaasumaisia epäpuhtauksia voi laimentaa ilmanvaihtoa lisäämällä. Materiaalien epäpuhtauspitoisuuksien laimentaminen tehostetulla ilmanvaihdolla ei kuitenkaan ole yleisesti hyväksyttävissä, vaan pääsääntöisesti ilman epäpuhtaudet tulee hallita päästölähteiden rajoittamisen keinoin.

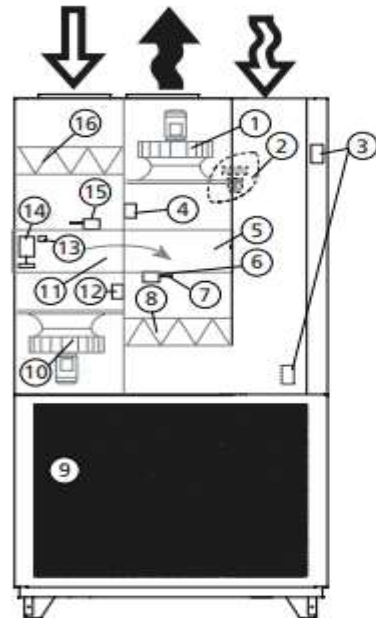
Vakiotilassa olevan epäpuhtauslähteen aiheuttamat pitoisuudet laimenevat suorassa suhteessa ilmanvaihdon tehokkuuteen. Ilmamäärien kasvattaminen kaksinkertaisiksi tilassa laimentaa haitta-aineiden pitoisuuden sisäilmassa puoleen. Siten esimerkiksi rakennuksenkäytön aikaiset hiilidioksidipitoisuudet ja vastaavat epäpuhtauspäästöt ovat tehokkaasti hallittavissa ilmanvaihdon keinoin. Samoin tasapainotilan saavuttaneiden materiaalilähteiden päästöt. (Aikiovuori. 26-42)

Ilmanvaihdon lisääminen olemassa olevaan järjestelmään on usein mahdotonta ilman, että uusitaan koko ilmanvaihtojärjestelmä. Kevyimmissä tapauksissa runkokanavat ovat riittävän väljiä, jolloin haarakanavien ja päätelaitteiden lisääminen sekä ilmanvaihtokoneen puhallintehon nostaminen ja järjestelmän säätö riittävät aikaansaamaan vaadittavan lisäilmamäärän. Ilmamäärän lisääminen tilassa kaksinkertaiseksi voi aiheuttaa vedon tunnetta ilmamäärän ja ilmannopeuden kasvaessa. Onkin syytä aina tehdä huonesimulaatio päätelaitteiden optimaalisen sijoittelun ja ilmavirtakuvion suhteen. Ilmamäärän lisäämisen yhteydessä on huomiotava, että sisäilmaa laimennetaan suodatetulla ulkoilmalla, jotta ulkoilman epäpuhtaudet eivät pääse kuormittamaan sisäilmaa.

Olemassa olevan ilmanvaihtojärjestelmän ilmamäärän lisäämisen ollessa mahdotonta voidaan tilaan tuoda erillinen ilmanvaihtokone. Swegonin luokkahuoneeseen soveltuvassa konemallissa (kuva 15) raitisilma otetaan koneelle ja ulospuhallusilma johdetaan luokkatilan ulkoseinästä. Kone ottaa poistoilmasta lämmön

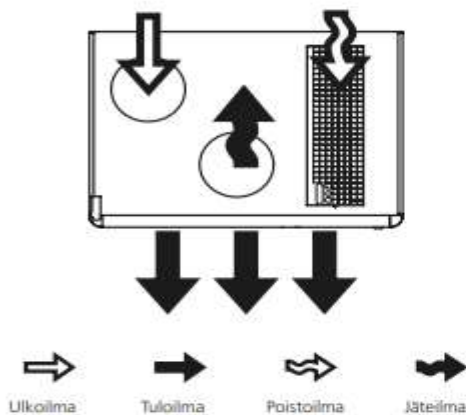
talteen, suodattaa ilman (ePM1 50%) ja lämmittää tuloilman tarvittaessa sähköpatterilla. Tuloilman jako tapahtuu koneen etupaneelista syrjäyttävällä ilmanjaolla ja koneen päällä on poistoilmasäleikkö. (Swegon)

Alla on yksinkertaistettu, kaaviomainen kuvaus yksittäisistä komponenteista.



Osien sijainti ja nimitykset

- 1 Poistoilmapuhallin moottorilla ja sisäisellä ohjauksella
- 2 Ohjauspaneeli (tarkastusluukussa)
- 3 Tuotekiipi
- 4 Paineanturi, poistoilmapuhallin
- 5 Sähkökotelo ja ohjausyksikkö
- 6 VOC-anturi
- 7 Lämpötila-anturi, poistoilma
- 8 Poistoilmasuodatin
- 9 Lämpötila-anturi, tuloilma (aliosassa)
- 10 Tuloilmapuhallin moottorilla ja sisäisellä ohjauksella
- 11 Ito-laite
- 12 Paineanturi, tuloilmapuhallin
- 13 Pyörimisvahtianturi
- 14 Käyttömoottori, Ito-laite
- 15 Lämpötila-anturi, ulkoilma
- 16 Tuloilmasuodatin



Kuva 15: Periaatekuva luokkahuoneen syrjäyttävästä ilmanvaihtokoneesta. Kone-malli Swegon COMPACT Air. (Kuva Swegon Oy)

Ilmavirtakapasiteetti suurimmalla koneella (koko 03) maksimissaan on 360 dm³/s, mutta optimaalisin käyntinopeus äänitaso, käytettävissä oleva kokonaispaine ja SFP-luku huomioiden on 250 dm³/s. Tämä täyttää S2-sisäilmaluokituksen ilmamäärävaatimukset 60m² luokkatilassa. Syrjäyttävässä ilmanjaossa 10 dm³/s oppilasta kohden saadaan aikaan puhtaan ilman verho oleskeluvyöhykkeelle (Skistad, 9) eli yhdellä koneella saadaan optimaalisesti toteutettua 25 hengen luokkahuoneen ilmanvaihto. Koneita voi kuitenkin sijoittaa suurempaan tilaan

useita. On myös huomioitava, että syrjäyttävä ilmanvaihto vaatii koneen läheisyyteen lähivyöhykkeen, jossa veto on sallittua. Syrjäyttävä ilmanjako soveltuu erityisesti tiloihin, joissa on lämpimiä epäpuhtauslähteitä, kuten ihmisiä. Ilmanjaossa hyödynnetään ihmisten ja laitteiden synnyttämiä konvektiovirtauksia, jolloin tuloilma nousee lämmönlähteitä esim. ihmisiä pitkin ylöspäin (kuva 16). Huoneilmaa muutamaa astetta viileämpi ilma tuodaan oleskeluvyöhykkeelle pienellä nopeudella, jolloin epäpuhtaudet kerääntyvät tilan yläosaan ja kulkeutuvat poistoilmalaitteeseen. Syrjäyttävää ilmanvaihtoa suunnitellessa on huomioitava tuloilmalaitteen sijainti. Alilämpöinen ilma voi aiheuttaa vedon tunnetta laitteen läheisyydessä, joten sen välittömään läheisyyteen ei kannata sijoittaa oppilaita tai opettajaa. (Skistad, 9)



Kuva 16: Syrjäyttävän ilmapaihtolaitteen toimintaperiaate. (Kuva Swegon Oy)

Ilmanvaihtokoneessa on vakiovarusteena CAC-anturi (Clean Air Control), joka säättää ilmavirtoja huonetilan vastaavan hiilidioksidin (CO_2), haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) ja muiden kaasujen pitoisuuksien perusteella. CAC-anturi reagoi myös hajuihin ja tuoksuihin sekä ilmankosteuteen. Anturin sisäänrakennetun käyttökompensointi- ja ennustealgoritmin mukaan kalibrointi tapahtuu mallitunnistuksen ja signaalianalyysin avulla sekunnin välein, jolloin mittausluotettavuus säilyy. (Swegon)

7.5 Ylipaineistus

Ylipaineistusta ei voi pitää sisäilmaongelmaisessa rakennuksessa korjaavana toimenpiteenä, vaan se soveltuu lähinnä tilojen väliaikaiseen jatkokäyttöön ennen

niiden purkua tai laajamittaista saneerausta. Ylipaineistus lisää rakenteiden kosteusrasitusta ja riskiä uusien kosteusvaurioiden syntyyn rakenteissa. Ylipaineistuksessa on myös riskitekijöitä, jotka aiheuttavat ylipaineistuksen toimivaan toteutukseen ongelmia. Esimerkiksi tuulettuvan alapohjan yläpuolisia tiloja ei saada alapohjaan nähden ylipaineisiksi hormivaikutuksen ja epätiivien rakenteiden takia.

Ylipaineistuksessa ongelmia aiheuttavat myös toiminnaltaan erityyppiset ja käyttötarkoituksiltaan poikkeavat tilat. Esimerkiksi koulun kemian luokassa olevat vetokaapit ja niiden vaihtelevat käyttötilanteet aiheuttavat ylipaineistuksen ylläpitoon ongelmia, kun vetokaapin väliaikainen käyttö tekee ylipaineisesta tilasta jopa hetkellisesti alipaineisen. Myös kulku paineistettujen tilojen välillä eli ovien aukaisujen aiheuttamat painevaihtelut haittaavat ylipaineistuksen ylläpitoa.

Ylipaineistuksen ylläpitoon ja ongelmien tunnistamiseen vaaditaan paljon paine-eromittauksia ylipaineistetussa rakennuksessa, jotta voidaan havainnoida korjausta vaativa tilanne. Lisäksi päätelaitteet tiloittain on säädettävä huolellisesti, jotta ylipaine toteutuisi tasaisesti kaikissa tiloissa. Paine-erolähettimien mittaus tulosten perustella automatiikka pyrkii ohjaamaan puhaltimien kierroslukua, jotta ylipaine pysyisi. (Utriainen, 48-52)

Ylipaineistetussa rakennuksessa myös käyttäjän ohjeistus tilojen suhteen on ensiarvoisen tärkeää. Tilojen käyttäjän on ymmärrettävä ja noudatettava ohjeistusta suljetuista ovista ja ikkunoista. Ikkuna- ja ovituuletuksella saadaan helposti ylipaineistuksen vaikutus kumottua. Kova tuuli vaikuttaa myös rakennuksen painesuhteisiin ja epätiivissä rakenteissa se voi siirtää epäpuhtauksia rakenteista sisäilmaan ylipaineistustoimenpiteestä huolimatta.

2018 valmistuneessa Case-tutkimuksessa käsiteltiin ilmanvaihdon ylipaineistuksen vaikutusta koulurakennuksen mitattuun ja koettuun sisäilman laatuun. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voidaanko lievällä ylipaineistuksella (5-7 Pa) estää haitallisten kemiallisten ja mikrobiologisten epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan. Ylipaineistuksen tarkoituksena oli estää vaurioituneista rakenteista ilma-voitojen mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien pääsy huoneilmaan ja vähentää oireilua sisäilmaongelmaisissa tiloissa.

Haastavaa tilojen ylipaineistamisessa oli vaaditun ylipaineen ylläpitäminen tutkitavissa tiloissa. Mittausten perusteella 10 kuukauden tutkimusajanjakson aikana ylipaine pysyi toisessa luokkahuoneessa parhaimmillaankin 23% mittausajasta ja toiseen luokkatilaan vaadittavaa ylipainetta ei saatu aikaiseksi. Ylipaineistuksen seurauksena sisätilojen mikrobilajistossa todettiin muutoksia ja rakenteista lähtöisin oleva mikrobilajisto joko väheni tai sitä ei esiintynyt ollenkaan. Luokkatilojen hiilidioksiditasot pysyivät optimaalisina koko seurantajakson (noin 520ppm), mutta tilojen suhteellinen kosteus oli alle 20% yli neljäsosan mittausajasta. Kuiva huoneilma voi selittää käyttäjien ihon, silmien ja hengitysteiden ärsytysoireilua. (Vornanen-Winqvist ym. 351-356)

7.6 Alipaineistus

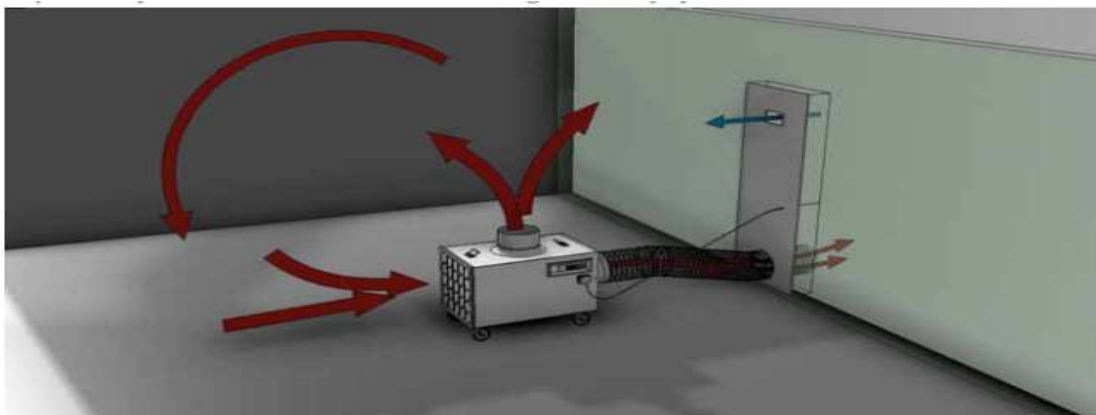
7.6.1 Hallittu aktiivinen alipaineistus

Painesuhteiden avulla hallitaan eri tilojen välillä tapahtuvia ilmavirtauksia. Ilman on virrattava rakennuksessa sisäilmaltaan puhtaammista tiloista epäpuhtaampiin tiloihin. (YM, MLR 1009/2017, 17§)

Alunperin rakennustyömaiden pölyntorjuntatyön parantamiseksi kehitetty Apad-tekniikka (Active Pressure Adjustment Device) on otettu käyttöön myös sisäilma-ongelmaisten tilojen alipaineistukseen, kuten koulujen kellaritilojen vaikutusten eliminoimiseksi. Koulujen kellaritilojen kontrolloidussa alipaineistuksessa epäpuhtauksien kulkeutuminen muihin tiloihin estyy. Alipaineistuksen ohella kellaritilojen ilmaa suodatetaan suurella volyyymilla, jolloin myös itse ongelmatilojen ilmanlaatu paranee.

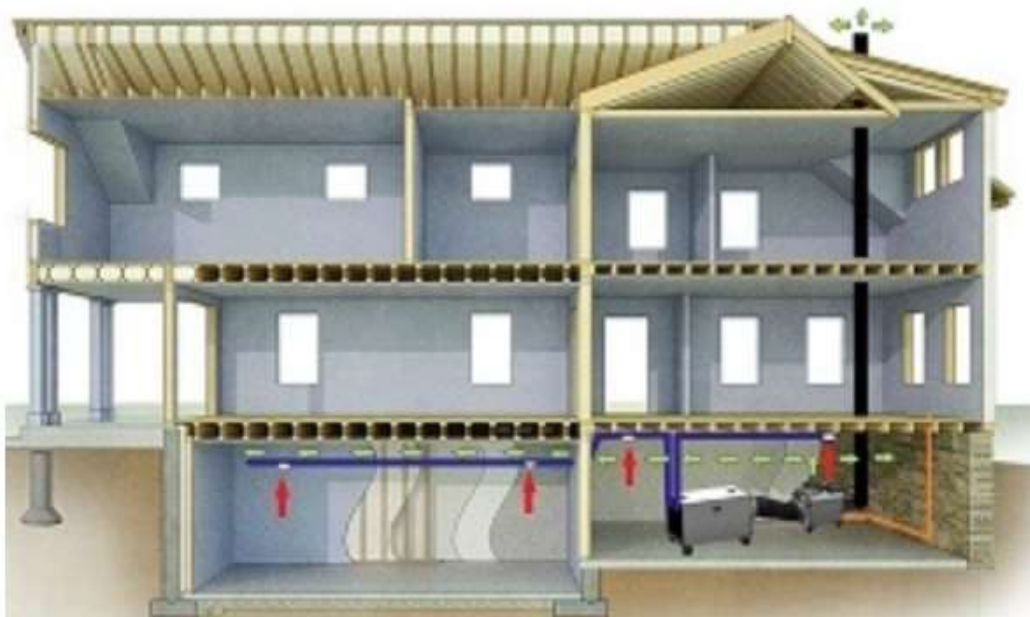
APAD teknologia perustuu alipaineistajan kanssa yhdessä toimivaan palautusilmajärjestelmään, jonka reaaliaikainen ohjaus perustuu automatisoituun paine-eromittaukseen ja ilmanohjauskanavien säätöön (kuva 12). Aktiivisella alipaineistuksella paine-ero muodostetaan ongelmatilan ja puhtaan tilan välille, jolloin painetasaimen laiteohjauksesta valitaan ylläpidettävä alipaine, esim. -5 Pa. Ennen alipaineistusta suurimmat vaippa- ja kerrosepätiiveydet korjataan tiivistyksin

ja osastoinnein. Kiinteästi asennettavalle laitteistolle voidaan rakentaa myös imu-kanavisto ongelmatilaan.



Kuva 12: Integroitu alipainetasajalaite. (Kuva Strong-Finland Oy)

Aktiivisella alipaineistuksella rakennuksen epäpuhtaat osat voidaan erottaa ilmanhallinnallisesti puhtaista tiloista, jolloin epäpuhtauksien kulkeutuminen katkaistaan kontrolloidulla alipaineella. Alipaineen käyttäminen kyseisessä tarkoituksessa ei sinällään ole uutta, mutta aiemmin ei ole huomioitu riittävästi muuttuvia painesuhteita kuten ilmvaihdon käyntiaikoja tai ovien aukaisusta johtuvia painesuhteiden muutoksia. (Strong-Finland Oy)



Kuva 13: Sisäilmaongelmaisen kellaritilan alipaineistaminen muihin tiloihin nähden (Kuva Strong-Finland Oy).

Laitteisto kontrolloi alipainetta, ja estää epäpuhtauksien kulkeutumisen, vaikka rakennuksessa tapahtuu runsaasti paine-eron muutostilanteita. Laitteistossa on sisäänrakennettu hälytyslogiikka ongelmatilanteiden varalta, sekä käyttödatan reaaliaikainen seuranta ja tallennus. Laitteisto puhaltaa ulos ilmaa aina sen verran kuin tarvittavan alipaineen muodostaminen vaatii. Paine-eron muutostilanteissa laite kompensoi muutosta ulospuhallusilmamäärän muutoksella. Alipainetta ei ohjata moottorin kierroslukua muuttamalla, vaan ongelmatilan ilmaa prosessoidaan koko ajan runsaasti epäpuhtauksien eliminoimiseksi. Näin säätötarkkuus säilyy ja samalla ongelmatilan ilma puhdistuu. Ilman kaksivaiheisella suodatuksella (aktiivihili ja HEPA H13) ja osittaisella palautuksella on VTT tutkimusten mukaan 50-85% lämmitysenergian säästömahdollisuus osastoinnin tiiveydestä riippuen. (Arpomaa, 265-270)

Euran kunnassa sijaitsevassa 40-luvulla rakennetussa Kauttuan koulussa päätettiin 2016 suorittamaan rakenteiden puhdistustöitä sisäilmakyselyssä havaittujen oireiden perusteella. Suurimmiksi ongelmiksi havaittiin aikaisempien saneerausten yhteydessä rakennukseen jäänyt rakennuspöly sekä kellaritilan jo aistinvaraisestikin havaittavissa oleva huono sisäilma, joka kulkeutui myös ylempään kerrokseen. Rakennuspöly puhdistettiin alakatoista ja pinnoilta sekä epäpuhtauslähteenä olevaan kellariin (kuva 14) sijoitettiin Apad-järjestelmä, joka alipaineistaa tilan 5 Pa yläpuolisiin tiloihin nähden. (Arpomaa, 265-270)

Apad-järjestelmän käyttöön oton jälkeen sisäilman laadun paraneminen opetus- ja yleistiloissa havaittiin pian ja väliaikaiseksi ratkaisuksi otettu laite päätettiin ottaa pysyvään käyttöön. Laitteen käyttöönoton jälkeen koulun sisäilmatilanne on parantunut, eikä uusista oireista ole enää ilmoitettu. Myös alipaineistetun sisäilmaongelmaisen kellarin olosuhteet ovat parantuneet järjestelmän käyttöön oton jälkeen niin hyviksi, ettei tiloissa ole havaittavissa aistivaraisesti mitään hajuja. (Arpomaa; kohde-esittely)



Kuva 14: Kauttuan koulun kellarin Apad-alipaineistus (oma kuva-arkisto)

Apad- järjestelmää on myös hyödynnetty sisäilmaongelmaisilla korjaustyömailla, joissa tilan alipaineistus on pyritty pitämään asetusarvossa. Perinteisellä alipaineistuksella tiivistyskorjausten edetessä ja tilan tiiviyn parantuessa tilan alipaineisuus kasvaa, mikä aiheuttaa ongelmia tiivistysmassojen ja nauhojen pitävyydelle. Hallitussa ja riittävän alhaisessa alipaineessa korjaustyöt saadaan pitäviksi ja niiden onnistunut toteuttaminen on helpompaa. Apad-järjestelmän soveltuvuus ylipaineistukseen on myös huomattu hetkellisesti ja tilakohtaisesti ylipaineen vaativissa tiloissa. Järjestelmää on käytetty sairaalatyömaalla puhtaiden tilojen ylipaineistamiseen, saneerausalueen pölyn ja epäpuhtauksien pääsyn estämiseksi. (Keskustelu, Arpoma)

7.6.2 Ryömintätilallisen alapohjan ratkaisut

Pientalojen sisäilmaongelmia aiheuttaneista mikrobivaurioista 61% oli peräisin kellariseinistä ja alapohjarakenteista (Pirinen, 45-63). Ennen alapohjaan tehtäviä ilmanvaihtoon perustuvia ratkaisuja on korjattava alapohjan rakenteelliset virheet sekä saatava maanpintaa pitkien tulevat valumavedet hallintaan.

Ryömintätilojen tuuletusaukkojen mitoitusohjeavot on RIL 107-2012 mukaan 0,5-1% alapohjan pinta-alasta, rakennuspaikasta riippuen. Painovoimaista tuule-
tusta voidaan tehostaa lisäämällä tuuletusaukkojen määrää ja jakamalla ne ta-
saisesti siten, että koko ryömintätila tuulettuu. Painovoimaisessa alapohjan tuu-
letuksessa säleikköjen, verkkojen ja mutkien virtausta pienentävä vaikutus on
otettava huomioon tuuletusaukon tehollista pinta-alaa määritettäessä. Savupiip-
puvaikutuksen ansiosta painovoimaista tuule-
tusta voidaan tehostaa katolle joh-
detun tuuletusputken avulla. Ryömintätilan ilman tulisi vaihtua 0,5-1 kertaa tunnin
aikana. (Rakentamisen kosteudenhallinta)

Alapohjan koneellisessa tuuletuksessa korvausilma johdetaan ulkoseinää kiertä-
viä korvausilmapaaluja pitkin. Tasaisin välein poistoilmakanavaan asennetut
venttiilit varmistavat sen, että alapohjan kaikilla alueilla ilma kiertää. Poistoilma-
kanava johdetaan vesikatolle ja kanavan päähän asennetaan huippuimuri. Ilman-
vaihdon tehokkuutta säädetään alapohjan lämpötilan mukaan, esim. termostaat-
tiohjauksella. Näin pyritään varmistamaan tilan kuivana pysyminen, sekä este-
tään pakkasella alapohjan liiallinen jäähtyminen. Koneellisen poistoilmajärjestel-
män toimintavarmuus varmistetaan erillisellä hälytyksellä, esim. poistoilmakana-
vaan asennettavalla paineanturilla. Näin rakennusautomaatioon saadaan viesti
järjestelmän epäkunnosta.

Sekä painovoimaisessa että koneellisessa alapohjan tuuletuksessa on varmistet-
tava, että korvausilman pääsy alapohjaan on esteetöntä. Korvausilmasäleikköjen
edessä ei saa olla ilmavirtausta haittaavia tekijöitä kuten kasvillisuutta.

Ryömintätilan tuuletuksen korjaustoimenpiteisiin ryhdyttäessä on huomioitava, että kaikki merkittävät kosteus- ja homevaurioituneet rakenteet sekä vaurioituneet putkistot ja niiden kiinnitykset ja kannakointi tulee myös korjata. Lievät rakenteiden pinnoilla olevat vauriot voidaan asiantuntijan tekemän arvion perusteella jättää korjaamatta, mikäli alapohjarakenteen tiiviydestä huolehditaan. (YM 782/2017, luku 5; Fise)

7.7 Sisäilmaolosuhteiden seuranta ja ylläpito

7.7.1 Sisäilmaolosuhteiden jatkuvan mittauksen menetelmä

Tampereen teknillinen yliopisto, Tampereen ammattikorkeakoulu ja Enermix Oy suorittivat yhteistyössä 2016-2018 tutkimuksen, jonka tarkoituksena oli selvittää, saadaanko jatkuvilla lämpötilan, ilman suhteellisen kosteuden, hiilidioksidipitoisuuden ja ulkovaipan yli mitattavan paine-eron mittauksilla luotettava kuva sisäilman olosuhteista ja laadusta. Lisäksi tutkimuksessa testattiin mittausanturien luotettavuutta ja toimintavarmuutta pitkäaikaisessa mittauksessa.

Hankkeessa tutkimuskohteena oli kolme asuinkerrostaloa ja kolme päiväkotia. Haasteena tutkimuksessa oli hiilidioksidimittarin luotettavuus sekä mittausanturien sijoittelu oleskeluvyöhykkeelle. Erityisesti ulkovaipan yli mitatun paine-eron ja sisälämpötilamittaustulosten perusteella saadaan arvokasta tietoa ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän toimivuudesta. Mittaustulosten perusteella selviää mahdollinen tarve tehdä kiinteistöihin sisäolosuhteita parantavia toimenpiteitä, kuten lämmitysjärjestelmän säätö tai ilmanvaihdon mittaus, säätö ja tasapainotus. (Heinonen ym. 363)

7.8 Energiansäästö ja rakennusterveys

Rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat rakennuksen lämmöneristys- ja läpäisykyky, ilmanvaihto ja rakenteiden ilmatiiviyys, talotekniset järjestelmät sekä rakennuksen käyttö ja ylläpito. Rakennuksen ilmanvaihdon käyn-

tiaikoja on pidetty yhtenä yksittäisenä ja helposti todennettavissa olevana energiansäästötoimenpiteenä. Helsinki, Espoo ja Vantaan kaupunki käynnisti sisäilmaverkoston 2017 tarkoituksena tutkia, miten ilmanvaihdon käyntiajat käytön ulkopuolella vaikuttavat sisäilman epäpuhtauksiin (TVOC-pitoisuudet) ja kosteuskuormaan. Tavoitteena oli luoda yhtenäinen ohjeistus perusteluineen julkisten rakennusten ilmanvaihdon toiminnalle ja erityisesti käyntiajoille sekä opastaa ilmanvaihdon energiataloudelliseen käyttöön, taaten samalla hyvät rakennuksen käyttöolosuhteet. Sisäilmayhdistys julkaisi 14.3.2019 Hyvän sisäilmasuosituksen sekä Julkisten rakennusten käytön yleisohjeen ja sen perustelumuiiston. Helsingin, Espoon ja Vantaan lisäksi työryhmään oli liittynyt myöhemmin myös Jyväskylä, Kuopio, Lahti, Oulu, Tampere ja Turku. (Tuomainen & Wallenius; Sisäilmayhdistys ry)

Yleisohjeissa ilmanvaihdon käyntiajat jaetaan ympärivuorokautiseen ja jaksoittaiseen käyttöön. Esim. palvelutaloissa, palvelun ollessa ympärivuorokautista, ilmanvaihtoa käytetään ympäri vuorokauden viikon jokaisena päivänä. Jaksotaitaista käyttöä suositellaan rakennuksen toiminnan ollessa jaksotaitaista. Esim. päiväkoteihin, kirjastoihin ja kouluihin ohjeistetaan, että ilmanvaihto käynnistetään kaksi tuntia ennen toiminnan aloittamista ja pysäytetään noin 1...2 tuntia toiminnan päättymisen jälkeen toimintatavasta riippuen (esim. liikuntasalissa vähintään 2 tuntia). Jos rakennusta tai ilmanvaihtokoneen palvelualueetta ei käytetä viikonloppuisin, ilmanvaihdolle laaditaan jaksotusohjelma, jolloin ilmanvaihto käy sekä lauantaina että sunnuntaina mitoitusteholla yhden tunnin ajan. Loma-aikana noudatetaan myös jaksotusohjelmaa ja sen päätyttyä ilmanvaihto käynnistetään 3 tuntia ennen käyttöajan alkamista. (Sisäilmayhdistys ry)

”Ryömintätilallisten alapohjien, radontuuletusjärjestelmien, putkitunneleiden, hissien ja jätehuoneiden erillispoistoja ei saa sulkea, sillä näiden erillispoistojen kuuluu alipaineistaa em. tilat käyttötiloihin nähden. Myöskään myrkkykaappien, akkutilojen eikä kemikaalutilojen erillispoistoja ei saa pysäyttää” (Sisäilmayhdistys ry).

Sisäilmaongelmaisissa rakennuksissa ja tiloissa sisäilma-asiantuntija määrittää aina erikseen ilmanvaihdon käytön. Jos rakennuksessa on esimerkiksi kosteus- ja mikrobivaurioita, ilmanvaihto on hyvä pitää päällä jatkuvasti sen jälkeen, kun

on varmistettu ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus rakennuksen paineolosuhteisiin ja ilmavirrat tarvittaessa säädetty tasapainoon. (Sisäilmayhdistys ry)

7.8.1 Ilmanvaihdon käyntiajat ja niiden vaikutus sisäilmaan

Helsinkiläiseen ala-asteeseen ja kirjastoon asennettiin sisäilmastotekijöitä mittaavat anturit joulukuussa 2016. Anturit ovat edelleen paikoillaan ja mittausdataa kerätään sisäilman suhteellisesta kosteudesta, haihtuvista orgaanisista yhdisteistä, sisäilman lämpötilasta ja hiilidioksidipitoisuudesta. Lisäksi molempien rakennusten kahdessa huonetilassa mitataan sisäilman pienhiukkaspitoisuutta kokuokissa PM10, PM2,5 ja PM1. Mittaukset jatkuvat ala-asteella ja kirjastossa ainakin vuoden 2019 loppuun ja niillä pyritään selvittämään ilmanvaihdon käyntijaksojen vaikutuksia tarkasteltaviin sisäilman olosuhteisiin. Smart & Clean sisäilmaprojektissa on myös helmikuussa 2019 asennettu neljään uuteen kohteeseen aikaisemmin mitattujen suureiden lisäksi tuloilman lämpötilaa ja paine-eroa vaiipan yli mittaavat anturit. Monesta eri kohteesta kerättävän mittausdatan perusteella on tarkoituksena luoda kriteeristö, kuinka sisäilmaolosuhteet voidaan pitää käyttäjän kannalta hyvänä, mutta vähentää energiankulutusta. (Tuomainen, M., sähköposti)

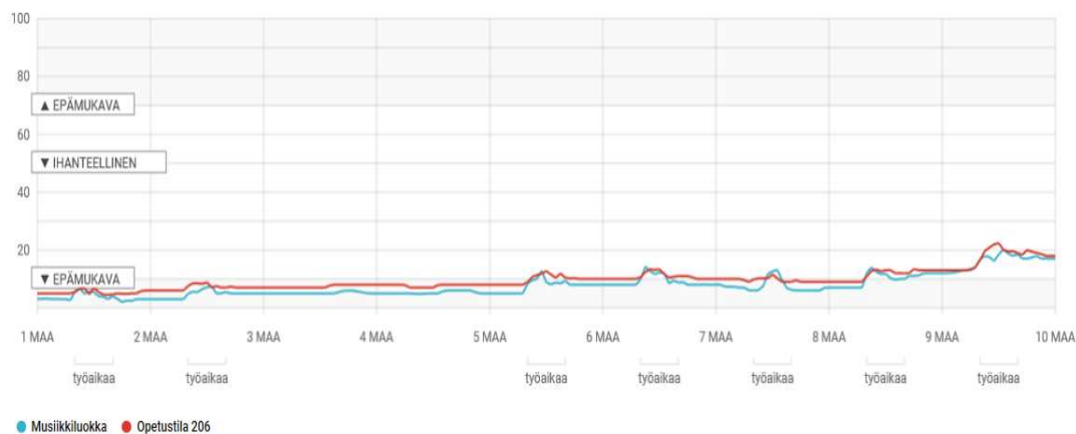
Mittausdataa kerätyissä kohteissa ala-asteen ilmanvaihto oli pois käytöstä arkipäivisin 20.00-05.00 välisen ajan sekä viikonloppuisin perjantai-illasta 20.00 maanantaiaamuun 05.00. Kirjasto oli auki myös viikonloppuisin ja kirjaston ilmanvaihto oli aukioloajoista riippuen 5-13 tuntia pois käytöstä. (Tuomainen, M., sähköposti)

Ala-asteella eikä kirjastossa koneen ollessa pois päältä ei ilman suhteellinen kosteus noussut, vaan korreloi vuodenajan ja ulkolämpötilan mukaisiin kosteusolosuhteisiin (Kuvat 15, 16 ja 17). Ilmanvaihtokoneiden ollessa pois päältä ei tiloissa myöskään ollut toimintaa eli ihmisperäinen kosteuskuorma ei nostanut sisäilman suhteellista kosteutta.

Sisäilman suhteellinen kosteus 1. – 9.3.2018

Ulkoilman lämpötilä -2...-17 °C

KOULU

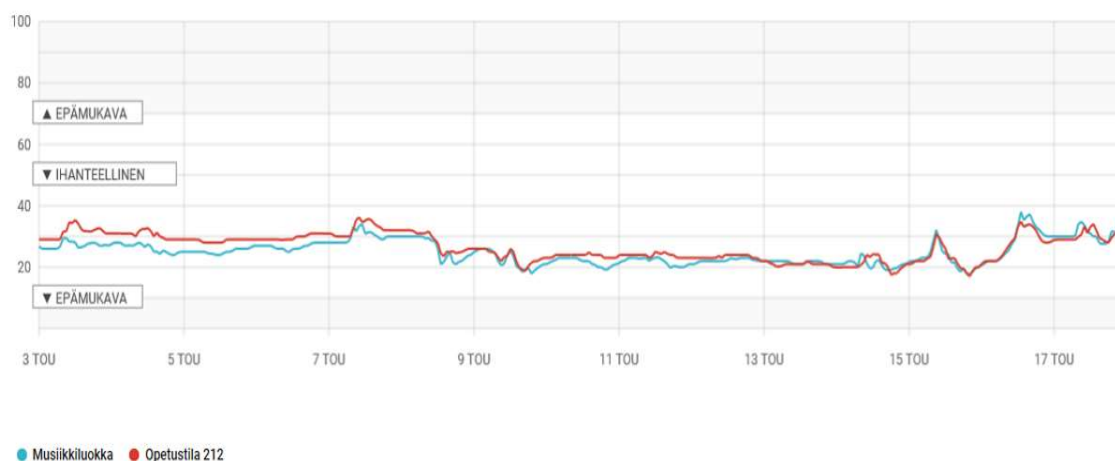


Kuva 15: Sisäilman suhteellinen kosteus 8 päivän ajalta maaliskuussa, kun ulkolämpötilä on pakkasen puolella. Taulukon pystyviivat ovat puolen yön kohdalla.

Sisäilman suhteellinen kosteus 3. – 17.5.2018

Ulkoilman lämpötilä +5...+29 °C

KOULU

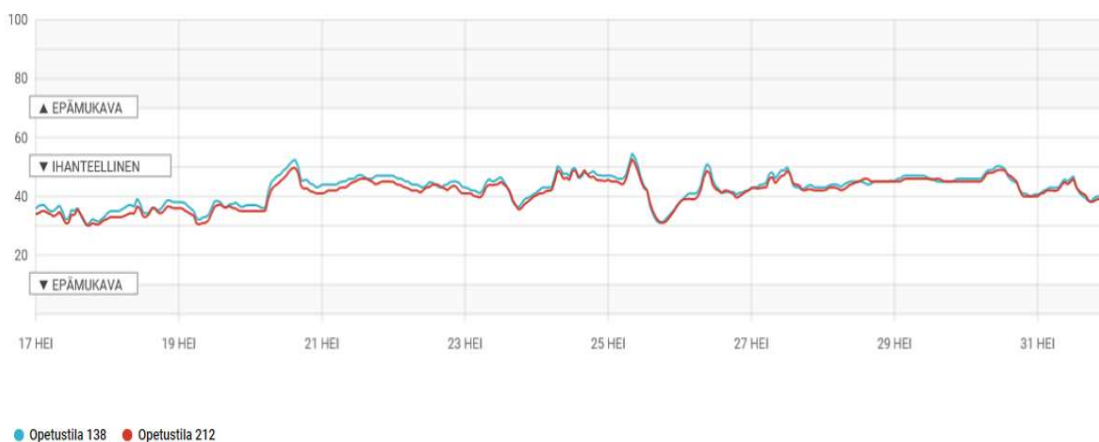


Kuva 16: Sisäilman suhteellinen kosteus kahden viikon ajalta toukokuussa, kun ulkolämpötilä vaihtelee välillä +5°C...+29°C. Taulukon pystyviivat ovat (kahden päivän välein) puolen yön kohdalla.

Sisäilman suhteellinen kosteus 17. – 31.7.2018

Ulkoilman lämpötila +17...+29 °C

KOULU



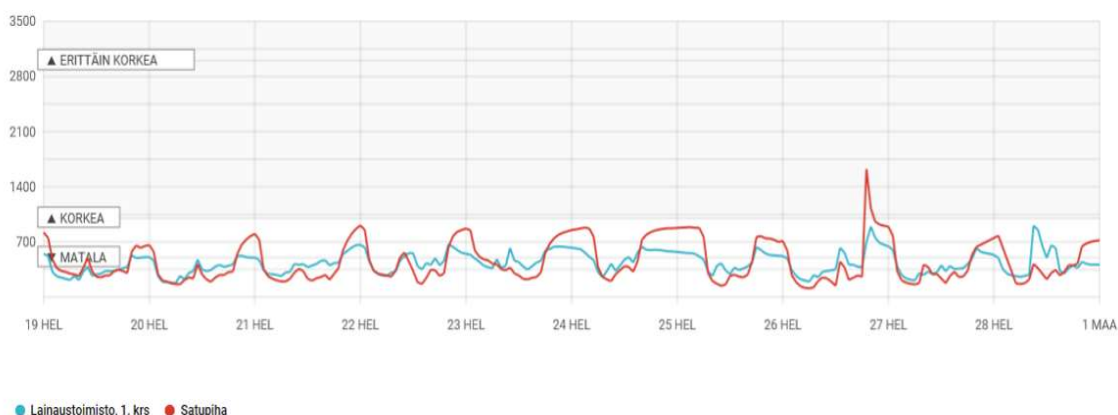
Kuva 17: Sisäilman suhteellinen kosteus kahden viikon ajalta heinäkuussa, kun ulkolämpötila vaihtelee välillä +17°C...+29°C. Taulukon pystyviivat ovat (kahden päivän välein) puolen yön kohdalla.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC, pitoisuus ppm) pitoisuudet kirjastossa nousivat selkeästi aina ilmanvaihdon ollessa pois päältä, mutta laskivat heti ilmanvaihdon käynnistyttyä (Kuvat 18, ja 19). Mittausten perusteella haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet korreloivat myös ulkolämpötilan ja sen suhteellisen kosteuden mukaan. Kesäaikaan pitoisuudet kokonaisuudessaan nousivat. Koulurakennuksessa TVOC-pitoisuudet pysyivät ilmanvaihdon käyntiajoista ja vuodenajasta riippumatta matalalla tasolla, pois lukien heinäkuussa tapahtunut muutaman päivän kestänyt pitoisuuksien nousu (silti vielä normaalitasolla) liikuntasalissa.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet 19. – 28.2.2018

Ulkoilman lämpötila -5...-20 °C

KIRJASTO

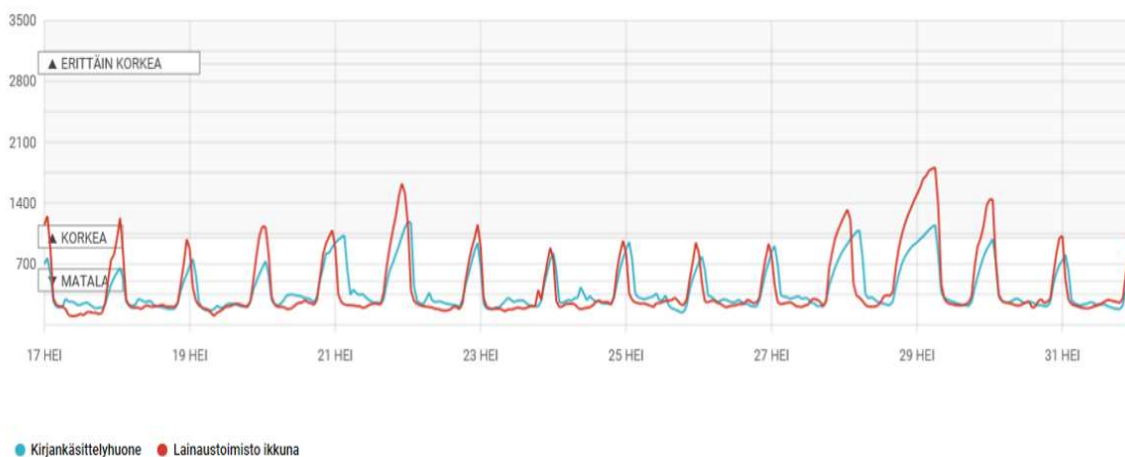


Kuva 18: Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuus (TVOC, ppb) 10 päivän ajalta helmikuussa, kun ulkolämpötila vaihtelee välillä -5°C...-20°C. Taulukon pystyviivat ovat (kahden päivän välein) puolen yön kohdalla.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet 17. – 31.7.2018

Ulkoilman lämpötila +17...+29 °C

KIRJASTO



Kuva 19: Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuus (TVOC, ppb) kahden viikon ajalta heinäkuussa, kun ulkolämpötila vaihtelee välillä +17°C...+29°C. Taulukon pystyviivat ovat puolen yön kohdalla.

Pitkäaikaiset jatkuvat mittaukset kohteissa on mittaustulosten luotettavuuden kannalta ensiarvoisen tärkeitä. On oleellista verrata useamman vuoden ajalta

mittaustuloksia ja onko pitoisuuskäyrät systemaattisesti kohonneet pitemmän aikavälin (esim. 3-5 vuoden) tarkastelujaksolla. Koneiden käyntiaikojen jaksotuksen ja sen pohjalta kerättävien mittaustulosten lisäksi vaikutuksia ihmisten mahdollisesti kokemiin oireisiin ei selvitetty. Lisäselvityksiä pitäisi tehdä siitä, kuinka käyttäjät reagoivat jaksotettuun ilmanvaihtoon. Onko aamulla tai viikonlopun jälkeen enemmän oireilua, kun tilan ilmanvaihto on ollut pidemmän aikaa sammutettuna ja lisääntykö oireilu pidemmällä aikajaksolla.

7.9 Saneeratun kohteen huolto ja ylläpito

Kiinteistöä tulee ylläpitää, huoltaa ja korjata säännöllisesti sen kunnon, käyttöominaisuuksien ja arvon säilyttämiseksi. Kiinteistön ylläpitoon kuuluu kiinteistönhoito ja kunnossapito. Kiinteistönhoidolla ylläpidetään kiinteistön olosuhteet halutulla tasolla ja seurataan kiinteistön kuntoa ja sen korjaustarpeita. Kunnossapidossa taas pyritään säilyttämään kiinteistön ominaisuudet joko uusimalla tai korjaamalla vialliset ja kuluneet osat siten, että kohteen suhteellinen laatutaso ei olennaisesti muutu. Korjaaminen on järkevää kytkeä osaksi kiinteistön suunnitelmallista ylläpitoa ja kehittämistä niin, että korjaushankkeet ajoitetaan pitkän aikavälin suunnitelman (PTS) mukaan. Ylläpitokorjausten yhteydessä kannattaa toteuttaa mahdollisuuksien mukaan myös laatutason parantamista, esimerkiksi edistää energiatehokkuutta tai esteettömyyttä. (Ympäristö.fi)

Kiinteistön huoltokirja on yleisesti käytetty apuväline kiinteistön ylläpitoon ja korjaamiseen. Käyttö- ja huolto-ohje on kiinteistökohtainen asiakirjakokonaisuus, joka sisältää kiinteistön perustietojen lisäksi kiinteistön ylläpitoon liittyvät ohjeet ja tavoitteet sekä seurantatietoja. (Ympäristö.fi)

Kuntien sisäilmaverkoston työryhmä on laatinut julkisten rakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen kiinteistön ylläpidon avuksi sekä perustelumuition, jossa käydään läpi teknisiä asioita ohjeen taustalla. (Sisäilmayhdistys ry)

7.10 Käyttäjämäärät ja kohteen mitoitus

Koulujen luokkatilat ja päiväkotien ryhmätilat ovat ilmanvaihdon suhteen suunniteltu ja mitoitettu tietyille käyttäjämäärälle. Luokka- ja ryhmäkokojen kasvaessa pitäisi huomioida tilan riittävä ilmanvaihto kulloisellekin ryhmälle. Ryhmäkoon ylitäessä suunnitellun käyttäjämäärän nousee tilan hiilidioksidipitoisuus, mikä ilmenee huonona ilmaana ja pahimmillaan päänsärkinä ja väsymyksenä. Huonon sisäilman on tutkittu jopa vaikuttavan oppimiseen. Puutteellisen ilmanvaihdon ja liian korkean huonelämpötilan on molempien tutkittu laskevan oppimistuloksia esim. matematiikassa noin neljä prosenttia. (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos)

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen (545/2015) mukaan ilmanvaihdon minima vaatimus henkilöä kohden on $6 \text{ dm}^3/\text{s}$, eikä tilan hiilidioksidipitoisuus ulkoilmaan verrattuna saa nousta yli $2100 \text{ mg}/\text{m}^3$ (1150ppm). EU:n Healthvent-projektissa toteutettiin ilmanvaihdon suuruuden terveysvaikutuksista kattava tieteellinen yhteenveto. Sen tuloksena todettiin, että sisäilmaan liittyvät oireet vähenevät ilmanvaihdon määrän kasvaessa aina ilmavirtaan $7\text{--}9 \text{ dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohden. (YM 1009/2017; Perustelumuiotio)

7.11 Koulujen sisäilma muualla Euroopassa

7.11.1 Sisäilman laatu Ruotsin kouluissa

AAF:n (Allmänna Försvarsföreningen) mukaan astmaongelmia sairastavien lasten määrä on noussut 6%:sta 9%:iin vuosien 2003 ja 2011 välillä. Allergioista kärsii keskimäärin joka yhdeksäs oppilas. Terveysneuvoston (Socialstyrelsen) mukaan vain 30% kouluista on OVK:n (Obligatorisk Ventilationskontroll) hyväksymä määräysten mukainen ja riittävä ilmanvaihto. Ruotsin kouluissa ilmanvaihto sammutetaan öisin, mikä aiheuttaa aamulla oireilua allergioista kärsiville. (Swegon Air Academy)

Swedish Ventilation osoitti, että Ruotsissa 1 200 000 ihmisellä on päivittäin allergiaongelmia. On ehdotettu Skol-ROT-ohjelmaan perustuen verohelpotuksia kou-

luille, jotka edistävät sisäilman laadun parantamista. Skol-ROT-ohjelman arvioidaan maksavan 1,5 miljardia kruunua ja rahat kerättäisiin verotuloilla. Rakennusstandardien osaston (Boverket) julkaiseman raportin perusteella sisäilman laatu on unohdettu erityisesti rakennusten peruskorjauksen aikana. (Allergia; Swegon Air Academy)

7.11.2 Sisäilman laatu Euroopan kouluissa

EFA (Euroopan astma- ja allergialiitto) julkaisi 2001 Euroopan komission tuke- man raportin; Oikeus terveelliseen sisäilmaan kouluissa. Hankkeessa tehtiin yleiskatsaus Euroopan koulujen sisäilman laadusta ja tarkasteltiin maiden ennal- taehkäiseviä toimia ja suosituksia terveelliseen kouluympäristöön

Tutkimusten perusteella selvisi, että koulujen sisäilmaongelmat ovat usein seu- rausta huonosta rakentamisesta. Vakavia sisäilmaongelmia aiheuttavat myös puutteellinen huolto ja puhdistus sekä huono ilmanvaihto. Näiden seurauksena kouluissa ovat lisääntyneet VOC-pitoisuudet, allergeenit ja homeet. Astma, aller- gia ja hengitysteiden ärsytysoireet ovat lisääntyneet kaikkialla Euroopassa ja noin kolmasosa lapsista kärsii tällaisista oireista. Astmaoireilujen kasvu on liian no- peaa, jotta se voisi johtua geneettisistä muutoksista

Raportin ohjeistuksena oli ympäristön tupakansavun, kosteuden, homeiden ja al- lergeenien välttäminen. Sisätilojen suunnittelussa olisi huomioitava helppo puh- distettavuus ja huolto. Taloteknisiä järjestelmiä tulisi valvoa riittävästi, jotta var- mistetaan luokkatilojen vaadittu lämpötilataso sekä riittävä ilmanvaihto. Sisäilman laatua tulisi myös seurata kouluissa sekä perehdyttää tilan käyttäjät, siivous- ja huoltohenkilökunta sisäilmaan vaikuttavista toimista. (Franchi; Carrer)

8 POHDINTA

Sisäilman laatuun vaikuttaa moni tekijä, eikä niiden hallintaan tai korjaukseen ole yhtä oikeaa ratkaisua. Jokainen kohde on tarkasteltava laaja-alaisesti ja korjaustoimet pohdittava kohdekohtaisesti rakenteet, korjaushistoria ja talotekniikka huomioiden. Myös rakennuksen tuleva käyttöikä vaikuttaa korjaustoimenpiteiden laajuuteen ja valintaan. Ilmanvaihto ja sen korjaustoimenpiteet vaikuttavat yksinään vain rajallisesti, sillä korjaustoimenpiteissä on otettava huomioon kaikki sisäilmaongelmiin vaikuttavat osatekijät. Ilmanvaihtoratkaisut ilman muita toimenpiteitä ei poista sisäilmanlaatuun liittyviä terveysriskejä, vaan on tärkeää rajoittaa myös sisäilmaongelmien lähteiden vaikutus.

Kosteus- ja homevaurioiden tutkiminen edellyttää monen eri alan osaamista ja ymmärtämistä sekä vankkaa asiantuntemusta. Jos sisäilmaongelmien selvitys- ja ratkaisuprosessia ei hallita, osa syistä jää löytämättä tai korjaamatta. Riittämättömin esiselvityksin, puutteellisin hankesuunnitelmin ja alimitoitettulla budjetilla toteutetut korjaukset ovat yleisin syy julkisten rakennusten sisäilmakorjausten epäonnistumiseen. Sisäilmaston ongelmien selvitys- ja ratkaisuprosesseihin on yleisesti saatavilla jo runsaasti ohjeita ja työkaluja. Tarpeellista onkin koulutuksen ja konsultoinnin järjestäminen kuntiin. Kuntotutkimus, suunnitteluvaiheet ja töiden valvonta ovat korjaustyön kokonaiskustannuksista vain prosentti, joten näiden vaiheiden kilpailuttaminen pitää olla laatu- eikä hintaperusteinen.

Ilmanvaihtoon perustuvista toimenpiteistä aktiivinen paineohjattu alipaineistus sopii kohteisiin, joissa sisäilmaongelmainen tila pystytään rajaamaan oppilaiden käyttämästä tilasta erilleen. Tällöin esimerkiksi sisäilmaongelmainen kellaritila voidaan rajata yläpuolisista opetustiloista pidemmäksikin aikaa tai vaikka pysyvästi. Aktiivista alipainetta pitävä laite sijoitetaan silloin kellariin, jossa se suodattaa myös kellarin ilmaa ja pitää alipainetta kellarin ja luokkatilojen välillä tilojen paineilmamittauksiin perustuen.

Ryömintätilasta epäpuhtaudet pääsevät helposti sen yläpuolisiin tiloihin rakenteiden ilmavuotojen kautta. Tuuletettu alapohja pitääkin suunnitella alipaineiseksi

sen yläpuolisiin tiloihin nähden. Alapohjan lämpötilaohjattu koneellinen poistoilmanvaihto ja riittävät korvausilmareitit sekä rakenteisiin liittyvät tiivistykset tai korjaukset yhdessä estävät alapohjan epäpuhtauksien pääsyn huoneilmaan.

Laajemman alueen ylipaineistamiseen ei ole löytynyt vielä luotettavaa ratkaisua ja tutkimusten perusteella rakenteiden vuotokohtat ja käyttäjien piintyneet tavat ohjeistuksesta huolimatta heikensivät tilojen ylipaineen pysymistä. yksittäisten pienempien alueiden ylipaineistukseen voi käyttää samaa menetelmää kuin paineohjattuun aktiiviseen alipaineistukseen.

Epäpuhtauksien laimentamiseen sisäilmassa ilmamäärää lisäämällä on useampikin vaihtoehto. Jos olemassa olevassa kanavistossa ja ilmanvaihtokoneessa on tehoreserviä, voidaan tilojen ilmanvaihtoa kasvattaa lisäämällä haarakanavia ja päätelaitteita tilaan sekä säätämällä järjestelmä ja lisäämällä puhallintehoa. Harvoin kuitenkaan suuremman alueen ilmavirtoja voidaan kasvattaa tällä menetelmällä. Silloin ratkaisuksi voi tilaan sijoittaa erillisen ilmanvaihtokoneen, joka mitoitetaan riittävän suureksi laimentamaan huoneilman pitoisuudet. Koneen säädön ja ohjauksen tulisi silloin perustua poistoilman pitoisuuksien perusteella säädettävään tuloilmamäärään.

Sisäilmaongelmien ehkäisyyn ja ratkaisuksi on viime aikoina tuotu esiin tilan pitämistä mahdollisimman tasapainoisena. Silloin alipaineesta johtuvat ilmavuodot ei tuo rakenteista epäpuhtauksia eikä ylipaine liiallisen ilmankosteuden seurauksena vaurioita rakenteita. Poistoilmanvaihtoon perustuvaan rakennukseen soveltuva korjausratkaisu on paineohjattu poistoilmapuhallin ja omatoimiset tulo- ja poistoilmaventtiilit. Omatoimiset poistoilmaventtiilit asennetaan tavallisten poistoilmaventtiilien tilalle olemassa olevaan kanavaan ja omatoimisilla tuloilmaventtiileillä korvataan raitisilmaventtiilit. Paineohjattu huippuimuri asennetaan vanhan huippuimurin tilalle. Tämän jälkeen järjestelmä säätää itse itsensä ja tiedot järjestelmän toiminnasta saadaan pilvipalvelun kautta. Poistoventtiilit reagoivat hiilidioksidiin ja kosteuteen ja tuloilmaventtiili säätyy niin, että tila on tasapainoinen.

Myös koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän tasapainotukseen on kehitetty ratkaisuja ulkovaipan yli mitattavan paine-eroon perustuen. Vakioilmavirtajärjes-

telmässä ilmanvaihdon tiheyskorjattu ilmavirtojen säätö kierroslukusäätöisillä puhaltimilla, kanaviston säätö sekä tulo- tai poistoilmavirtojen korjaus sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron saattamiseksi tavoitealueelle. Tämä edellyttää luotettavaa paine-eromittausta vaipan yli, mielellään eri suuntaan olevien ulkoseinien yli. Tarpeenmukaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä painusuhteita voi korjata paine-eron mittaustulosten ohjatessa IMS-säätöpeltejä. Tuloilma voidaan määrätä lämpötila ja hiilidioksidiohjauksen mukaan, kun taas poistoilmakanavan IMS-pelti säätyy vaipan yli mittavan paine-eron mukaan pyrkien pitämään tilan tasapainossa. Rakennusautomaation hyödyntäminen tilojen painesuhteiden stabiloinnissa on oleellista.

Sisäilmaolosuhteiden seuranta ja ylläpito on tärkeää korjaustoimenpiteiden jälkeen, vaikkei se itsessään korjaustoimenpide olekaan. Toimenpide soveltuu myös sisäilmaongelmien ennaltaehkäisyyn ja suositeltava toimenpide kaikkiin rakennuksiin ja järjestelmiin. Myös ilmanvaihdon käyttöajoilla on merkitystä rakennusterveyteen.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää kustannustehokkaita ratkaisuja ilmanvaihdon näkökulmasta sisäilmaongelmaisiin koulurakennuksiin. Tavoitteena oli varmistaa ilmanvaihtoon perustuvilla ratkaisuilla sisäilmaongelmaisen rakennuksen turvallinen käyttö ennen sen perusteellista saneerausta tai uuden korvaavan koulurakennuksen rakentamista. Aikatavoite väliaikaisella korjauksella oli viisi vuotta, joten suhteellisen kevyillä ilmanvaihdon ratkaisuilla oli saavutettava tilojen turvallinen käyttö.

Opinnäytetyön tarkoituksena on auttaa FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy:n Rakennusterveys- ja sisäilmatiimiä löytämään väliaikaisen sisäilmakorjauksen ilmanvaihtoon perustuvia ratkaisuja sisäilmaongelmaisiin kohteisiin rakennusteknisten ratkaisujen tueksi. Ilmanvaihtoratkaisuja tutkittiin vuotoilmojen hallinnan ja ilmamäärien lisäämisen sekä yli- ja alipaineistuksen näkökulmasta. Lisäksi selvitettiin sisäilman olosuhteiden seurannan ja ylläpidon vaikutuksia.

Eri ilmanvaihtojärjestelmiin soveltuvia paine-eroja tasaavia ratkaisuja löytyi. Vakioilmavirtaan perustuvassa ilmanvaihtojärjestelmän tasapainottamiseen löytyi korjaavia toimenpiteitä. Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän tilojen tasapainottaminen IMS-peltien ja paine-eromittauksiin perustuen ratkaisee tilan painevaihtelut.

Saastuneiden tilojen erottamiseen puhtaista tiloista, alipaineeseen perustuen, löytyi energiatehokas ratkaisu, joka huomioi myös tilojen painevaihtelut ja piti tilaan asetetun alipaineen stabiilina. Saman laiteratkaisun todettiin myös soveltuvan rajattujen alueiden ylipaineistamiseen. Suuremman alueen ylipaineistamiseen taas ei löytynyt toimivaa ratkaisua. Myös tilojen pitoisuuksien laimentamiseen löydettiin ratkaisu. Selvitetiin myös ryömintätilallisen alapohjan ilmanvaihtoratkaisu, joka perustuu alapohjan tekemisen alipaineiseksi yläpuoliseen tilaan nähden.

Opinnäytetyössä käsiteltiin myös sisäilman olosuhteiden seurantaa ja niiden ylläpitoa. Tarkasteltiin mitä mittaustuloksista voi päätellä ja mitkä ovat seurannan

perusteella tehtyjen korjaustoimet vaikutukset rakennuksen ylläpidon ja energia-
tehokkuuden kannalta. Myös ilmanvaihdon käyntiajat ja niiden vaikutus sisäil-
maan selvitettiin juuri ilmestyneen Sisäilmayhdistyksen julkaiseman Hyvän sisäil-
masuosituksen sekä Julkisten rakennusten käytön yleisohjeen ja sen perustelu-
muiston pohjalta.

Opinnäytetyö tuo rakennustekniikan ammattilaiselle tietoa ilmanvaihtoon perus-
tuvista korjaustoimenpiteistä, mutta yksityiskohtaisia, tietyn aikakauden raken-
nuksiin yleisesti soveltuvia ratkaisuja ei ole. Jokainen sisäilmakohde on yksilölli-
nen rakenneratkaisujen, sisäilmaongelmien, teknisten järjestelmien ja korjaushis-
torian suhteen. Näin ollen yleispätevää ratkaisua tai ohjeistusta ilmanvaihdon toi-
menpiteiden suhteen ei voi antaa. Jokaiseen sisäilmakohteeseen tulee etsiä pa-
ras, yksilöllinen ratkaisu lähtötietoihin ja tulevaan käyttöön perustuen.

Opinnäytetyössä jäi seuraamatta ja analysoimatta oikea sisäilmakohde lähtien
kohteen kartoituksesta suunnitteluvaiheeseen ja toteutukseen. Lisäksi korjatun
kohteen seuranta valittujen korjausratkaisujen ja niiden toimivuuden perusteella
olisi ollut mielenkiintoista. Tässä olisikin aiheita lisätutkimuksiin, jotka aikatalu-
systä jäi tästä opinnäytetyöstä pois. Koko korjausprosessi kartoituksesta valmi-
seen seurattavaan ja analysoitavaan kohteeseen vaatii usean vuoden seuran-
nan, joten opinnäytetyön näkökulmasta tämä olisi pilkottava useampaan työhön
ja vaiheeseen.

LÄHTEET

Aikiovuori A. 2001. Terveen rakennuksen evoluutio. VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tutkimusraportti. Tulostettu 23.3.2019. https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2001/terveen_rakennuksen_evoluutio.pdf

Air Purifier Guide (APG). CADR Ratings Guide For Air Purifiers. Luettu 25.03.2019. <http://www.airpurifierguide.org/faq/cadr>

Allergia. 2012. Skol-ROT för elevernas hälsa. Luettu 20.2.2019. <https://www.allergia.se/skol-rot-for-elevernas-halsa/>

Allergia-apu. Ilmanpuhdistimet. Luettu 6.3.2019. <https://www.allergia-apu.fi/ilmanpuhdistimet>

Arpomaa, T., 2019. Automatisoidun APAD-alipaineistuksen käyttö rakennusperäisten epäpuhtauksien haittojen hallinnassa - Case Koulurakennuksen kellarin alipaineistus. Teoksessa Ahola, M. & Merikari A. (toim.). Sisäilmastoseminaari 2019. SIY Raportti 37. Espoo: SIY Sisäilmätieto Oy, 265- 270.

Arpomaa T. Kohdevierailu Kauttuan kouluun ja keskustelu Arpomaan kanssa. 8.3.2019.

Asumisterveysopas. 2009. 3. korjattu painos. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen soveltamisopas. Pori: Ympäristö ja Terveys-lehti.

Blomqvist, S, Harju, H-M, Hämäläinen, A, Raimoaho, A. 2018. Yle Uutiset 13.09.2018: 48 000 suomalaista lasta käy koulua väistötilassa. Luettu 05.03.2019. <https://yle.fi/uutiset/3-10395943>

Björkroth, M., Eskola, L.& Rönkä, T. 2018. Koulujen ja päiväkotien rakenteiden ja ilmanvaihdon haasteet sisäilmaongelmaisissa kohteissa: 3 Case tapausta. Teoksessa Säteri, J. & Ahola, M. (toim.). Sisäilmastoseminaari 2018. SIY Raportti 36. Espoo: SIY Sisäilmätieto Oy, 133-138.

Carrer, P., Bruinen de Bruin, Y., Franchi, M., Valovirta, E., 2002. The EFA Project: Indoor Air Quality in European schools. Tulostettu 23.3.2019. <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB6709.pdf>

Climecon. Kotisivut. Luettu 14.3.2019. <https://www.climecon.fi/myair/>

EU komission asetus direktiivi N:o 1253/2014. 2014. Tulostettu 30.12.2018. <https://publications.europa.eu/fi/publication-detail/-/publication/a65efd48-747b-11e4-b593-01aa75ed71a1>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/844. 2018. Tulostettu 30.1.2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0844>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU. 2012. Euroopan unionin virallinen lehti 14.11.2012. Tulostettu 30.1.2018. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:FI:PDF>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU. 2010. Euroopan unionin virallinen lehti 18.6.2010. Tulostettu 30.1.2018. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FI:PDF>

Fise. Virhekortti. Ryömintätalallisen alapohjan kosteudenpoisto ei toimi. Luettu 12.3.2019. <https://fise.fi/virhekortti/ryomintatallisen-alapohjan-kosteuden-poisto-ei-toimi/>

Franchi, M (EFA Editor). 2001. The Right to Breathe Healthy Indoor Air in Schools. Extracted from the EFA report 'Indoor Air Pollution in Schools'. Tulostettu 23.3.2019. http://ec.europa.eu/health/ph_projects/1999/pollution/efa_en.pdf

HE 251/2016 vp. 2016. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta. Tulostettu 2.1.2019. https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Documents/HE_251+2016.pdf

Gerghäll, J & Pesu, M. 2008. Suomen ympäristö 44/2008. Ilmastonmuutos ja kulttuuriympäristö. Tunnistetut vaikutukset ja haasteet Suomessa. Tulostettu 3.1.2019. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/38358>

Hankintalaki. 2017. Laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista. 1397/2016 (2§, 25§). Luettu 28.12.2018. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161397>

Heinonen, J., Leivo, V., Pihlajamaa, P., 2018. Sisäilmaolosuhteiden jatkuvan mittauksen menetelmä. Teoksessa Säteri, J. & Ahola, M. (toim.). Sisäilmastoseminaari 2018. SIY Raportti 36. Espoo: SIY Sisäilmatieto Oy, 363.

Helsingin kaupungin Sisäilmaohjelma. 2018-2028. Liite 1. Tulostettu 12.3.2019. <https://www.hel.fi/static/helsinki/valtuustoseminaari-2019/sisailmaohjelma.pdf>
Hengitysliitto ry. Ilmanpuhdistin. Luettu 6.3.2019. <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanpuhdistin>

Hengitysliitto ry. Hiukkaset ja kaasumaiset aineyhdisteet. Luettu 25.3.2019. <https://www.hengitysliitto.fi/fi/terveys-hyvinvointi/ulkoilma-ilmanlaatu/ilmanlaatu-saasteet/hiukkaset-ja-kaasumaiset-aineyhdisteet>

Hengitysliitto ry. Materiaalit. Luettu 26.3.2019. <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat-sisailmaongelmat/materiaalit>

Hengitysliitto ry. Sisäilman kosteus ja lämpötila. Luettu 26.3.2019 <https://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/sisailma-asiat-sisailmaongelmat/sisailman-kosteus-ja-lampotila>

Javanainen Risto, Medel Oy; Rantanen Jussi, Fidelix Oy. Tuote-esittely 11.3.2019.

- Kosteus- ja hometalkoot. 2013. Homevaurioituneen rakennusmateriaalin puhdistusohje rakenneosille, joita ei voida poistaa. Tulostettu 12.02.2019. <https://hometalkoot.fi/file/15838.pdf>
- Kukkonen E. 2018. Sisäilmautiset. Määräykset 23.01.2018. Rakentamismääräykset menivät kokonaan uusiksi. Luettu 29.12.2018. <https://www.sisailmautiset.fi/maaraykset/rakentamismaaraykset-menivat-kokonaan-uusiksi/>
- Leppänen H., Peltonen M., Komulainen H. & Hyvärinen A. 2017. Otsonointi sisäympäristössä. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. Kirjallisuuskatsaus. Tulostettu 6.3.2019. https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/135107/URN_ISBN_978-952-302-837-1.pdf?sequence=1
- Maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL). 132/1999. 117§ Rakentamiselle asetettavat vaatimukset. Luettu 28.12.2018. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>
- Maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL). 132/1999. 166§ Rakennuksen kunnossapito. Luettu 28.12.2018. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L22>
- MIV-hanke. Ilmanvaihdon parannus- ja korjausratkaisut. 2006. Tulostettu 30.12.2018. <https://docplayer.fi/2003847-Ilmanvaihdon-parannus-ja-korjausratkaisut.html>
- Moisa, J. 2015. Biosidit ja korjausrakentaminen. Ympäristötiede. Itä-Suomen yliopisto. Pro Gradu-tutkielma.
- Mölsä, S. 23.5.2015. Miksi home on terveysongelma vain kylmissä maissa? Rakennuslehti. Luettu 5.3.2019. <https://www.rakennuslehti.fi/2015/03/talvi-lisaa-homeongelmia-suomessa/>
- Mölsä, S. 15.4.2016. Desifiointiaineet ja otsonointi pahentavat homeongelmaa. Rakennuslehti. Luettu 6.3.2019. <https://www.rakennuslehti.fi/2016/04/desifiointiaineet-voivat-vain-pahentaa-homeongelmaa/>
- Pirinen J, Kero P. 2016. Sisäilmaongelman ratkaiseminen; Ohjekortti ammattilaisille. Tulostettu 27.12.2018. <https://www.hometalkoot.fi/file/15922.pdf>
- Pirinen, J., 2018. Pientalojen mikrobivauriot. Lähtökohtana asukkaiden kokemat terveyshaitat. Rakennustekniikan osasto. Tampereen teknillinen yliopisto. Väitöskirja.
- Päkkilä, T. 2012. Mikrobin kulkeutuminen sisäilmaan paine-eron vaikutuksesta. Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma. Aalto-yliopisto. Diplomityö. Luettu 18.4.2019. <https://www.hometalkoot.fi/file/15826.pdf>
- Rakennusteollisuus. Korjausvelka. Luettu 1.11.2018. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Korjausrakentaminen1/Korjausvelka/>
- Rakennustieto. Historia. Luettu 29.12.2018. <https://www.rakennustieto.fi/index/rakennustieto/historia.html>

Rakennustieto. 2010. Rakennuksen tiiviys. Tulostettu 18.4.2019 <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK100301.pdf>

Rakentamisen kosteudenhallinta. Ryömintätilalliset eli tuulettuvat alapohjat. Luettu 11.3.2019. <http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/rakenteet/alapohjat/ryoemintatilalliset-eli-tuulettuvat-alapohjat>

Ratu-hanke. Luettu 29.12.2018. <http://www.ratu-hanke.fi/>

RIL 107-2012. 2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

SFS-EN ISO 16890-1:2016. Yleisilmanvaihdon ilmansuodattimet. Osa 1:Tekniset määritelmät, vaatimukset ja hiukkasmaisen aineksen erotusasteeseen perustuva luokitusjärjestelmä (ePM). 2017. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2017.

SFP-opas. 2009. Opas ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittelymiseen, laskentaan ja mittaamiseen. LVI-talotekniikkateollisuus ry. Tulostettu 2.1.2019. http://ilmansuodatin.com/data/sfpopas3_060709.pdf

Seppänen, O.1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Kirjapaino Kiitorata Oy, 286.

Sisäasiainministeriö: Suomen rakentamismääräyskokoelma, C2. 1976. Veden ja kosteuden eristys. Helsinki. Valtionpainatuskeskus.

Sisäilmaopas. 2014. Allergia- ja Astmaliitto ry & Hengityслиitto ry. Tulostettu 29.12.2018. <https://docplayer.fi/922587-Sisailto-2-sisailmaopas-julkaisija-allergia-ja-astmaliitto-ry-ja-hengityслиitto-ry.html>

Sisäilmayhdistys ry. Kosteuslähteet. Luettu 3.1.2019. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuslahhteet>

Sisäilmayhdistys ry. Ilmavirtaukset rakennuksessa. Luettu 3.1.2019. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>

Sisäilmayhdistys ry. 2019.Hyvä sisäilma –suositukset. Tulostettu 14.3.2019. <http://sisailmayhdistys.fi/Julkaisut/Hyva-sisailma-suositukset>

Sisäilmayhdistys ry. 2019. Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje ja Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelumuuisto. Tulostettu 14.3.2019. <http://sisailmayhdistys.fi/Julkaisut/Hyva-sisailma-suositukset>

Skistad, H (toim.). 2003. Syrjäytysilmanvaihto – muissa kuin teollisuuslaitoksissa. Rehva opas no. 1. Rehva – Eurooppalaisten LVI-yhdistysten liitto. Helsinki. Suomen LVI-liitto ry.

Strong-Finland Oy. APAD sisäilmatekniikka. Luettu 2.3.2019.

<http://www.strong.fi/fi/tuotteet-ja-tarvikkeet/apad-paineentasaimet/tuote/apad-sisailmatekniikka>

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2. 2008. Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto. määräykset ja ohjeet 2010.

Swegon. 2019. Clean Air Control esite. Tulostettu 23.3.2019.

<http://www1.swegon.com/fi/Tuotteet/Ilmankasittelykone/COMPACT-yksikkokone/COMPACT-Air/>

Swegon. 2019. Compact Air & Heat esite. Tulostettu 26.3.2019.

<http://www1.swegon.com/fi/Tuotteet/Ilmankasittelykone/COMPACT-yksikkokone/COMPACT-Air/>

Swegon Air Academy. 2014. Our future in our children: Ventilation in schools! Luettu 19.3.2019. <https://www.swegonairacademy.com/2014/11/03/our-future-in-our-children-ventilation-in-schools/>

Talotekniikkainfo. Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas. Luku 3, Kappale 12: Ilman-suodatus. Luettu 26.03.2019

<https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/12-ss-ilman-suodatuksen-tarve>

Talotekniikkainfo. Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas. Luku 3, Kappale 21: Ilmavirroista aiheutuneet paineet ja rakenteiden ilmanpitävyys. Luettu 26.03.2019.

<https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/20-ss-ilmavirtojen-tasapaino-ja-rakenteiden-ilmanpitavyys>

Tampereen kaupunki. Talousarvio 2019. 2018. Tulostettu 12.3.2019.

https://www.tampere.fi/tiedostot/t/Xst3W871X/Talousarviokirja_2019_kvn_hyvaisyma_nettiin.pdf

Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje.2009. RT 80-10974. Rakennustietosäätiö RTS.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. Pienhiukkasten vaikutusmekanismit. Luettu 26.3.2019 <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ilmansaasteet/pienhiukkasten-vaikutusmekanismit>

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2016. Koulujen huono sisäilma heikentää oppimistuloksia ja lisää poissaoloja. Luettu 15.3.2019. <https://thl.fi/fi/-/koulujen-huono-sisailma-heikentaa-oppimistuloksia-ja-lisaa-poissaoloja>

Tuomainen, M., Wallenius, P., 2018. Sisäilmapaja10. Hyvät toimintamallit jatkoon kuntien sisäilmaverkossa. Tulostettu 6.3.2019. http://www.sisailmayhdistys.fi/content/download/4164/27449/file/6_Wallenius%20Pekka%20ja%20Tuomainen%20Marianna.pdf

Tuomainen, M. Sähköpostit: 4.3.2019, 13.3.2019, 14.3.2019.

Utriainen H. 2006. Ylipaineistus korjaavana toimenpiteenä sisäilmaongelmia sisältävässä kiinteistössä. Talotekniikan koulutusohjelma. Karelia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/150739/Utriainen_Henri_2018_05_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vornanen-Winqvist, C., Järvi, K., Toomla, S., Ahmed, K., Andersson, M.A., Mikola, R., Marik, T., Kredics, L., Salonen, H., Kurnitsk, J. 2018. Ilmanvaihdon ylipaineistuksen vaikutus koulurakennuksen mitattuun ja koettuun sisäilman laatuun. Teoksessa Säteri, J. & Ahola, M. (toim.). Sisäilmastoseminaari 2018. SIY Raportti 36. Espoo: SIY Sisäilmatieto Oy, 351-356.

World Health Organization 2009. WHO Guidelines for indoor air quality: dampness and mould. 2009. Tulostettu 3.1.2019. <https://www.who.int/airpollution/guidelines/dampness-mould/en/>

World Health Organization. Indoor Air Pollution: National Burden of Disease Estimates. 2007. Tulostettu 26.3.2019 <https://www.who.int/indoorair/publications/nationalburden/en/>

Ylen Elävä arkisto. 2006. Energiakriisi vuonna 1973. Päivitetty 28.12.2018. Hallitus antaa ohjeet energian säästämistä ja a-studio: Energian säästäminen öljykriisin aikana. Katsottu 30.12.2018. <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2006/09/08/energiakriisi-vuonna-1973>

Ympäristöministeriön perustelumuuksien asetukseen 1009/2017. Tulostettu 19.03.2019. https://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys

Ympäristöministeriön asetus (782/2017) rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. 2017. Tulostettu 20.03.2019. https://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys

Ympäristöministeriö. 2017. MLR (1009/2017) Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009#Pidp447650688>

Ympäristöministeriön ohje rakennustyön suorituksesta ja valvonnasta. 2015. Tulostettu 20.03.2019. https://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Suunnittelu_ja_valvonta

Ympäristöministeriön asetus (216/2015) rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä. 2015. Tulostettu 20.03.2019. https://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Suunnittelu_ja_valvonta

Ympäristöministeriön Ekosuunnitteludirektiivi 2009/125/EU. Päivitetty 14.6.2016. Luettu 30.12.2018. https://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Rakennustuotteiden_tuotehyvaksynta/Ekosuunnitteludirektiivi_ja_energiamerkintadirektiivi

Ympäristöministeriön asetus (1009/2010). Laki tuotteiden ekologiselle suunnittelulle ja energiamerkinnälle asetettavista vaatimuksista annetun lain muuttamisesta. 2010. Luettu 30.12.2018.

Ympäristöministeriö (YM). Kumotut rakentamismääräykset. Luettu 29.12.2018. https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Kumotut

Ympäristöopas 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. 2016. Kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Tulostettu 3.1.2019. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO_2016_Kuntotutkimusopas.pdf

Ympäristöministeriö: Suomen rakentamismääräyskokoelma, B3. 1976. Pohjarakennus. Helsinki. Valtionpainatuskeskus.

Ympäristöministeriön Tasauslaskentaopas 2018. Tulostettu 12.3.2019.

https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus

Ympäristöministeriö. Ympäristöopas 29. 1997. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjaus. Tampere. Tammer-Paino Oy.

Ympäristö.fi. 2013. Kiinteistön ylläpito ja korjaaminen. Luettu 14.3.2019.

https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Kiinteiston_ yllapito_ ja_ korjaaminen

545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 2015. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>