

Aake Rasia

# KOULUJEN SISÄILMAKORJAUSTEN ONNISTUMISEN EDELLYTYKSET

Kandidaatintyö  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Tammikuu 2022

# TIIVISTELMÄ

Aake Rasia: Koulujen sisäilmakorjausten onnistumisen edellytykset (Preconditions for success of school indoor air repairments)

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Tammikuu 2022

---

Arvioiden mukaan noin 500 suomalaista koulua kärsii eriasteisista sisäilmaongelmista. Työn tarkoituksena on selvittää yleisimpiä koulujen sisäilmaongelmien aiheuttajia, sekä niiden korjaukseen ja laadunvarmistukseen soveltuvia menetelmiä. Lisäksi työssä perehdytään sisäilma-  
korjausprosessiin. Tutkimuskysymyksinä esitetään seuraavat kysymykset: Miten varmistetaan koulujen sisäilmakorjausten onnistuminen? Minkälaisia ovat koulujen sisäilmaongelmat, ja mistä ne ovat lähtöisin? Miten koulujen sisäilmaongelmia korjataan? Työ jakaantuu kolmeen osioon.

Toisessa luvussa käsitellään koulujen sisäilmaongelmia ja sisäilman epäpuhtauksista yleisesti. Koulujen sisäilman yleisimpiä epäpuhtauksia ovat mikrobit, materiaalipäästöt ja mineraalikiudut. Koulurakennusten tyypillisimmät mikrobikasvustoa aiheuttavat kosteusvauriot puolestaan sijaitsevat alapohjarakenteissa, maanvastaisissa seinissä ja lattioissa sekä salaojajärjestelmissä.

Kolmannessa luvussa käsitellään koulurakennusten yleisimpiä korjausmenetelmiä, joilla voidaan parantaa sisäilman laatua, sekä rakenteiden yleisimpiä vauriotapoja. Tutkittaviksi korjausmenetelmiksi ja kohteiksi on työssä valittu tiivistyskorjaukset, maanvastaiset laatat, ryömintätilaiset alapohjat, maanvastaiset seinät sekä lattiapinnoitteiden vauriot.

Neljännessä luvussa käsitellään sisäilmakorjausprosessia sekä korjausten laadunvarmistusta. Sisäilmakorjausprosessin keskeisiksi vaiheiksi tunnistetaan lähtötilanneselvitys, kuntoarviot ja tutkimukset, korjaussuunnittelu, korjauksen toteutus ja laadunvarmistus. Keskeisinä sisäilmakorjausten laadunvarmistus- ja tutkimusmenetelminä pidetään kosteusmittausmenetelmiä, käyttäjäkyselyitä, merkkisavua ja merkkiainekoetta.

Viides luku sisältää yhteenvedon ja pohdintaa. Koulujen sisäilmakorjausten onnistumisen kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että korjaukset tehdään tarkasti suunnittelijan ohjeita noudattaen. Suunnittelijoiden ja korjausten tekijöiden on lisäksi oltava tarpeeksi kokeneita ja tunnettuja käytetyt työmenetelmät. Sisäilmakorjausten laatu tulisi lisäksi aina varmistaa tilanteeseen sopivalla laadunvarmistusmenetelmällä. Tutkimus osoittaa, että oikein tehdyillä sisäilmakorjauksilla voidaan lisätä merkittävästi rakennuksen käyttöikä.

Avainsanat: Sisäilmaongelma, sisäilmakorjaus, sisäilma, laadunvarmistus, koulurakennukset

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. KOULUJEN SISÄILMAONGELMAT YLEISESTI.....	3
2.1 Mikrobit .....	3
2.2 Materiaalipäästöt.....	5
2.3 Mineraalikuidut.....	6
3. SISÄILMAKORJAUSMENETELMÄT .....	7
3.1 Tiivistyskorjaukset.....	7
3.1.1 Tiivistyskorjausten toteutus .....	8
3.1.2 Tiivistyskorjausten onnistuminen.....	8
3.2 Maanvastaiset laatat .....	8
3.2.1 Maanvastaisten laattojen vauriot.....	9
3.2.2 Maanvastaisten laattojen korjaus .....	10
3.3 Ryömintätilaiset alapohjat .....	12
3.4 Maanvastaiset seinät .....	13
3.5 Lattiapinnoitteiden vauriot .....	15
4. SISÄILMAKORJAUSPROSESSI JA LAADUNVARMISTUS.....	17
4.1 Lähtötilanneselvitys.....	18
4.2 Kartoitukset, tarkastukset ja kuntotutkimukset.....	18
4.2.1 Kosteusvauriokartoitus.....	18
4.2.2 Ilmanvaihdon toimintatarkastus.....	19
4.2.3 Kosteustekninen kuntotutkimus.....	19
4.2.4 Sisäilmaston kuntotutkimus.....	20
4.3 Korjaussuunnittelu .....	21
4.4 Korjauksen toteutus .....	21
4.5 Työn jälkeinen laadunvarmistus ja laadunvarmistusmenetelmät .....	22
4.5.1 Käyttäjäkyselyt.....	22
4.5.2 Merkkisavu.....	24
4.5.3 Merkkiainekoe.....	24
4.5.4 Mikrobinäytteet .....	25
5. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT .....	27
LÄHTEET .....	30

# 1. JOHDANTO

Sisäilmaongelmat suomalaisissa kouluissa ovat nykyään valitettavan yleisiä. Erityisesti 1950–1980-luvuilla rakennetuissa koulurakennuksissa sisäilmaston laatu on huono. Kuntaliiton arvioiden mukaan 500 koulua Suomessa kärsii eriasteisista sisäilmaongelmista [1]. Sisäilmaongelmat eivät ole pelkästään vanhojen koulurakennusten ongelma, sillä myös uusissa rakennuksissa on todettu ongelmia. Sisäilmayhdistyksen mukaan koulujen yleisempiä sisäilmaongelmia ovat veto, lämpöolot ja ilmanvaihdon riittämättömyys sekä kosteusvauriot [2].

Koulujen sisäilman laatuun vaikuttavat monet tekijät kuten rakennuksen käyttö- ja sääolot, rakennuksen sijainti, rakennustapa, ilmanvaihtoratkaisut ja rakennusmateriaalit. Sisäilman epäpuhtauden lähteitä puolestaan ovat ulkoilma, sisustus, ihmisen toiminta tai itse rakennus. Koulujen sisäilmaongelmat eivät täten aina tarkoita, että rakennus olisi kosteus- ja homevaurioitunut.

Koulurakennusten sisäilmakorjauksia on Suomessa tehty jo useita, mutta niiden onnistumista ei voida pitää aina itsestäänselvyytenä. Useat koulujen sisäilmakorjaukset ovat epäonnistuneet, ja korjauksia on jouduttu tekemään moneen kertaan. On myös tapauksia, joissa on purettu sisäilmaa lukuun ottamatta kelvollisia koulurakennuksia, joista oikeilla korjausratkaisuilla olisi saatu toimintakuntoisia.

Koulujen sisäilmakorjaukset vaativat onnistuakseen perusteellisia kuntotutkimuksia, joilla selvitetään vaurion laajuus ja niiden aiheuttajat. Korjaussuunnittelija tekee kuntotutkimustulosten ja muiden lähtötietojen perusteella korjaussuunnitelman, joka sisältää tiedon korjattavista rakenteista, tarvittavasta korjauksen laadusta sekä korjauksessa käytettävistä materiaaleista. [3, s. 30]

Sisäilmakorjausten yhteydessä on myös mietittävä, että mitä korjauksia kiinteistölle on tulossa tulevina vuosina, ja kuinka paljon sisäilmakorjaus toisi lisää käyttöikää. On myös mietittävä, että kuinka suuri olisi rakennuksen korjausaste. Korjausasteen noustessa suureksi olisi hyvä miettiä myös vaihtoehtoisia ratkaisuita kuten vanhan rakennuksen purkamista kokonaan ja uuden rakennuksen rakentamista.

Sisäilmakorjauksiin ei ole olemassa selkeitä valtakunnallisia säädöksiä tai ohjeita, ja alalla on runsaasti tarjontaa tekijöistä. Lisäksi on syytä muistaa, että sisäilmaongelma on

usein monisyinen. Tämän vuoksi sisäilmakorjauksia saatetaan tehdä huolimattomasti tai väärillä menetelmillä, ja työn lopputulos ei ole aina onnistunut. Usein epäonnistuneiden sisäilmakorjausten taustalla on myös liian puutteelliset kuntotutkimukset tai liian vähäiset korjaukset.

Tässä työssä tutkitaan sisäilmakorjausprosessin vaiheita ja sisäilmaongelmien korjausmenetelmiä, joilla saavutetaan onnistunut lopputulos. Lisäksi työssä tutkitaan sisäilmakorjausten laadunvarmistusta, sekä korjausprosessin eri osapuolten vaikutusta korjauksen onnistumisen kannalta. Työ suoritetaan kirjallisuustutkimuksena.

## 2. KOULUJEN SISÄILMAONGELMAT YLEISESTI

Koulujen sisäilmaongelmat saavat alkunsa tyypillisesti siitä, että käyttäjä alkaa oireilemaan rakennuksessa, tai kun rakenteissa havaitaan vaurioita. Yleisimmin koulujen sisäilmasta valittavat opettajat ja muu kouluhenkilökunta. Sisäilman laatuun vaikuttaa ilmanvaihto ja epäpuhtauksien lähteet. Tyypillisin sisäilman epäpuhtauksien lähde on kosteusvaurioista johtuva mikrobikasvusto. Muita yleisiä epäpuhtauksien lähteitä ovat materiaali päästöt (mm. formaldehydi, VOC), mineraalikuidut, likainen ilmanvaihtojärjestelmä ja muut poikkeavat hajut, kuten viemärin haju. [3, s. 11,4, s. 14]

Vanhojen koulurakennusten sisäilmaongelmia arvioitaessa on syytä muistaa, että rakennukset ovat aina yksilöllisiä, ja niistä löytyy usein nykysäilyksen mukaisia riskirakenteita. Riskirakenteiden laukeamiseen vaikuttavat monet asiat kuten rakennusmateriaaliyhdistelmät, ja rakenteiden yksityiskohdat sekä käytöstä johtuvat erot rakennuksen sisäolosuhteissa. Myös ympäröivät olosuhteet kuten, pohjaveden korkeusvaihtelut, rakennuspaikan maalaji, maastonmuodot ja mikroilmasto vaikuttava riskirakenteiden laukeamiseen. [3, s. 54]

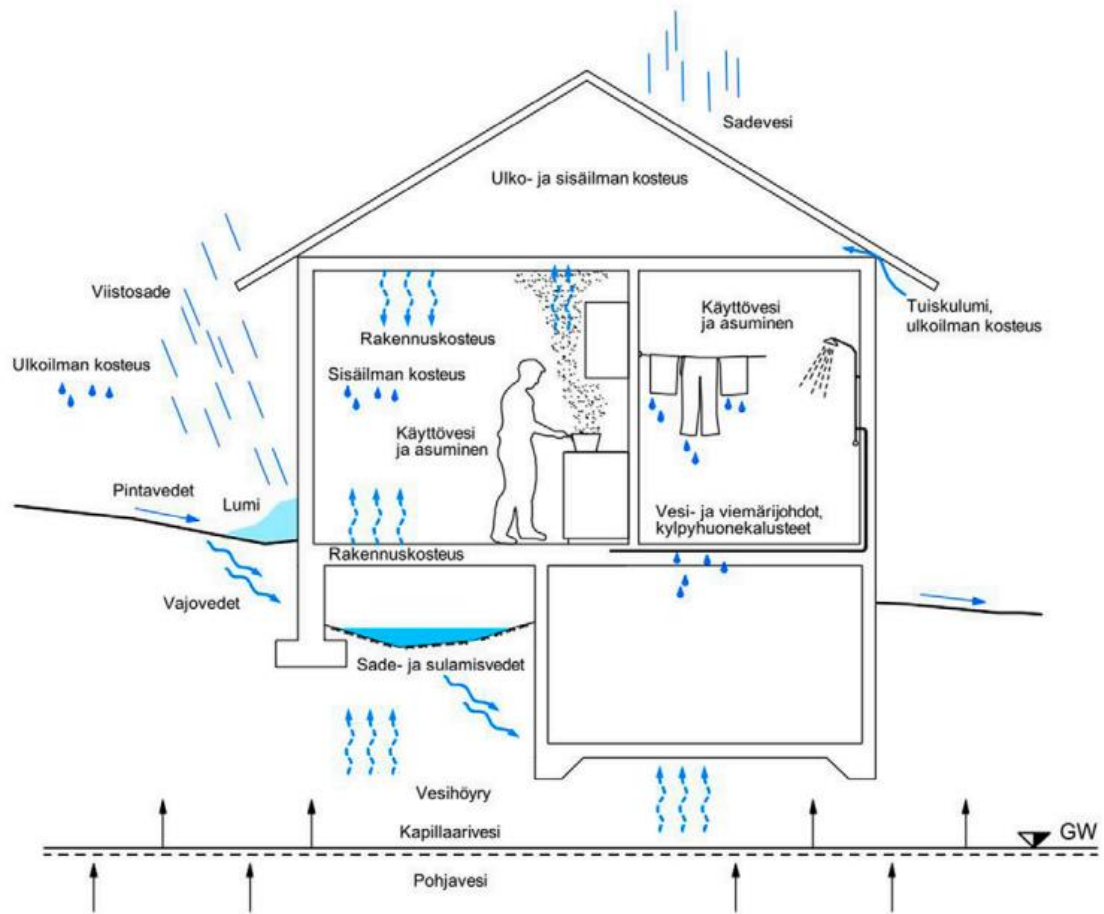
Sisäilmaongelmia aiheuttavat epäpuhtaudet ovat usein joko pieniä hiukkasia tai kaasumaisia yhdisteitä, ja mahdollisia epäpuhtauksien lähteitä on monia. Tästä syystä ongelman paikantaminen voi välillä olla vaikeaa. Sisäilmasta tulleet oireet ja valitukset saattavat kuitenkin joskus johtua vain huonosta siivoamisesta tai puutteellisesta ilmanvaihdosta. [3, s. 11]

### 2.1 Mikrobit

Mikrobeja esiintyy aina ulkoilmassa, ja ne pääsevät kulkeutumaan rakennukseen tuloilman mukana. Tämän takia rakennuksen pinnoilla ja sisäilmassa esiintyy myös normaalisti vähän mikrobeja. Nämä mikrobit eivät kuitenkaan ole haitallisia, elleivät ne pääse kasvamaan rakennuksen pinnoilla. Mikrobikasvu puolestaan edellyttää, että rakenteessa on riittävästi lämpöä ja kosteutta. Mikrobikasvu koostuu homesienistä, hiivoista, bakteereista ja muista pieneliöistä. [5, s. 13]

Yleisin syy mikrobikasvustolle on rakenteen kosteusvaurio. Kosteusvaurioihin liittyy lähes aina mikrobikasvustoa. KTL:n selvityksen ja TKK:n tutkimuksen mukaan koulujen yleisin kosteusvaurioiden sijainti on alapohjarakenteet, kuten kellaritilat, ryömintätilat ja maanvastaiset lattiat sekä seinät ja salaojajärjestelmät. [5, s. 6] Kuvassa 1 on esitetty

rakennusten yleisempiä sisä- ja ulkopuolisia kosteuslähteitä, jotka voivat olla myös mikrobivaurioiden taustalla.



**Kuva 1** Rakennuksen yleisimpiä sisä- ja ulkopuolisia kosteuslähteitä [4, s. 107].

Mikrobikasvusto rakenteissa voidaan tietyissä tapauksissa sallia, mikäli voidaan varmistaa, että mikrobeja ei pääse sisäilmaan, sillä Tällöin rakenteen sisäpuolisen kerroksen on oltava niin tiivis, että kaasutkaan eivät pääse siitä läpi. Tällöin tulee erityistä huomiota kiinnittää myös liitosten ja läpivientien tiivyyteen. Kosteuskuorman ollessa vähäinen voitaisiin monin paikoin käyttää jopa ilmanvaihdon pientä ylipaineistamista, jotta rakenteiden läpi ei virtaisi ilmaa sisälle. [3, s. 57]

Tietyissä paikoissa homeen kasvua ei ole mahdollista välttää ulkoisten olosuhteiden vuoksi. Tällaisia paikkoja ovat esimerkiksi maanvaraisten alapohjien täyttökerrokset, joissa on tyypillisesti voimakas bakteerikasvusto ja vähäinen homesienikasvusto. Nämä eivät yleensä aiheuta ongelmia sisäilmassa, mutta tietyissä olosuhteissa on mahdollista, että ilmavirtauksen kuljettavat kasvustojen epäpuhtauksia sisäilmaan alapohjan liitosten läpi. Myös vanhojen julkisivuelementtien ja tiilirakenteisten ulkoseinien, mineraalivillieristeissä ja tuuletusraoissa esiintyy usein mikrobikasvustoja. Nämä saattavat päästä kulkeutumaan sisäilmaan esimerkiksi ilmanvaihdon tuottaman alipaineen takia. Nämä

asiat ovat otettava huomioon suunniteltaessa eri rakenteiden ilmatiivyyttä ja materiaali-  
valintoja. [3, s. 54]

## 2.2 Materiaalipäästöt

Sisäilman materiaalipäästöistä yleisempiä ovat haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VOC yhdisteet. VOC yhdisteet aiheuttavat esimerkiksi silmien ja limakalvojen ärsytysoireita. Sisäilman VOC-mittauksia tulisi tehdä, mikäli tilassa on havaittavissa pistävää hajua, tai kun on syytä olettaa, että ihmiset oireilevat VOC-päästöjen takia. VOC-yhdisteiden emisiot jaetaan primääri- ja sekundääriemissioihin. Primääriemissiossa materiaalista haihtuu normaaleja materiaalin valmistamiseen käytettyjä aineita. Primääriemissio-päästöt siis pienenevät ajan kuluessa. Sekundääriemissiot puolestaan saavat alkunsa ulkoisesta tekijästä kuten kosteudesta. [6, s. 36–39]

Tyypillisin VOC-päästöjen lähde on lattiapinnoitteiden vaurio. Suhteellisen kosteuden kasvaessa liian korkeaksi laatan ja lattiapinnoitteen rajapinnassa, voi lattiapinnoitteessa ja sen kiinnitysliimassa tapahtua vaurioita. Betonin alkalisuus yhdessä kosteuden kanssa aiheuttaa päällystemateriaaleissa, ja niiden kiinnittämiseen käytetyissä liimoissa kemiallista hajoamista. Reaktion käynnistyttyä se jatkuu loppuun asti, vaikka rakenne kuivuisikin. Jotta reaktio ei pääse käynnistymään on betonilaatan suhteellisen kosteuden oltava tarpeeksi matala ennen lattian päällystämistä. Tämän vuoksi on hyvin tärkeää, että betonilaattaan suoritetaan vaaditut kosteusmittauksen. Betonilaattaan ei myöskään saa päästä kosteutta käytön aikana esimerkiksi kapillaarisesti. Yleisempiä lattiapinnoitteita, joissa variota esiintyy ovat muovimatto- ja vinyylimattopinnoitteet. [6, s. 37]

Uusissa rakennuksissa VOC primääripäästöt ovat tyypillisesti koholla noin puoli vuotta, jonka vuoksi uusissa rakennuksissa on suositeltavaa tehostaa ilmanvaihtoa ensimmäisien kuukausien aikana. [6, s. 37]

Formaldehydi on huoneenlämmössä väritön ja pistävän hajuinen kaasu, joka imeytyy helposti limakalvoihin. Formaldehydi aiheuttaa silmän sidekalvojen ja ylähengitysteiden limakalvojen ärsytystä. Formaldehydi päästöjen pääasiallinen lähde on lastulevyt, joissa on käytetty sidosaineena ureaformaldehydiliimaa. Muita mahdollisia päästölähteitä ovat laminaatit ja parketit, jos niiden liimaamiseen on käytetty formaldehydiä sisältävää liimaa. Formaldehydiä vapautuu sisäilmaan lämpötilan ja kosteuden hajottaessa ureaformaldehydiliiman ureaksi ja formaldehydiksi. Formaldehydiä saattaa vapautua ilmaan myös tietyistä lakoista ja maaleista. [2,3, s. 21]



## 2.3 Mineraalikuidut

Mineraalikuituja pääsee koulujen sisäilmaan tyypillisesti rikkoutuneista tuloilmajärjestelmien äänenvaimentimista ja muista rikkoutuneista äänenvaimennusmateriaaleista. Sisäilman mineraalikuidut aiheuttavat hengitysteiden, silmien ja ihon ärsytysoireita, sekä äänenkäytön ongelmia. Mineraalikuitunäytteitä tulisi ottaa tiloista, joiden ilmanvaihtojärjestelmän ääneneristeet, tai muut ääneneristeet ovat rikkonaiset tai pinnoittamattomat, ja joissa esiintyy altistumiseen viittavia oireita. [3, s. 22]

### 3. SISÄILMAKORJAUSMENETELMÄT

Koulurakennusten sisäilmaongelmien syynä on usein rakenteissa esiintyvä kosteus- ja mikrobi vaurio. TKK:n tutkimuksen mukaan tyypillisimmät koulurakennusten kosteusvauriot liittyvät alapohjarakenteisiin kuten kellaritiloihin, ryömintätiloihin ja maanvastaisiin lattioihin sekä seiniin ja salaojajärjestelmiin [5, s. 6].

Tässä luvussa käsitellään muutamaa yleisintä koulujen sisäilmakorjausmenetelmää. Korjausmenetelmistä on kerrottu rakenteiden vahingoittumistavat ja korjausmenetelmien perusteet pääpiirteittäin.

#### 3.1 Tiivistyskorjaukset

Rakennuksen sisätilojen ollessa alipaineisia, eikä korvausilman saantia ole taattu voi osa rakennuksen korvausilmasta tulla rakennuksen ulkovaipan epätiiviyshkohdista. Näiden ilmapuotovirtausten mukana sisäilmaan saattaa päätyä epäpuhtauksia, joita voivat olla esimerkiksi mikrobit, mineraalikulut lämmöneristeistä, kemialliset epäpuhtaudet, maaperästä peräisin oleva radon tai muut haitta-aineet. Ilmapuotojen määrään vaikuttavat siis oleellisesti rakenteen tiiveys sekä tilojen alipaineisuus. Ilmapuodoilla on myös negatiivista vaikutusta rakenteen palo- ja äänitekniiseen toimivuuteen. [7]

Tiivistyskorjauksiksi kutsutaan rakennusvaipan ilmatiiviyden parantamiseksi tehtäviä korjauksia. Niiden tavoitteena on estää rakenteiden läpi tapahtuvat hallitsemattomat vuotoilmavirtaukset. Rajoittamalla vuotoilmavirtauksia saadaan samalla estettyä ilmavirtausten mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan. Rakenteiden läpi virtaava ilma heikentää myös lämmöneristeiden toimintaa sekä viilentää rakenteita. Tiivistyskorjauksilla voidaan siis myös vähentää rakennuksen lämmitysenergiankulutusta. Rakenteiden tiivistys on myös yleisesti käytetty korjaustapa radonin torjunnassa. [7]

Yleisempiä tiivistyskorjausten kohteita ovat betonin kuivumiskutistumasta aiheutuneiden rakojen ja liikuntasauvojen sekä eri rakenneliittymien ja läpivientien tiivistäminen. Ulkovaipan raot ovat usein syntyneet eri materiaalien liitoskohtiin, joissa tapahtuu liikettä lämpötila- ja kosteusmuutosten vuoksi. Tämän vuoksi täytyy varmistaa, että tiivistyksissä käytettävällä materiaalilla on riittävä muodonmuutoskyky ja, että se pysyy varmasti kiinni ympäröivissä pinnoissa. [3, s. 231]

### 3.1.1 Tiivistyskorjausten toteutus

Tiivistyskorjaukset eivät sovellu kaikille rakenteille, eikä rakenteita saa koskaan tiivistää ilman perusteellisia tutkimuksia, suunnittelua sekä korjauksen valvontaa ja seuranta. Tiivistyskorjaukset ovat lisäksi aina suunniteltava tapauskohtaisesti. Korjausten suunnittelussa on huomioitava rakenteen lämpö- ja kosteustekninen toiminta, joka voi korjausten vaikutuksesta muuttua hyvinkin merkittävästi. Esimerkiksi rakenteen ilmatiiviyden parantamisen huonona vaikutuksena voi olla rakenteita kuivattavan ilmavirtauksen heikentyminen. [7]

Lähtökohtaisesti rakenteita, joissa on kosteus- tai mikrobivaurio ei tiivistetä, vaan vaurioitunut materiaali ja vaurion aiheuttaja poistetaan, niin että vaurio ei uusiudu. Tietyissä tapauksissa jos mikrobivaurioitunutta rakennetta ei voida poistaa, voidaan harkita mikrobivaurion kapseloimista rakenteen sisään. [7]

### 3.1.2 Tiivistyskorjausten onnistuminen

Huolellinen työ ja hyvin laaditut suunnitelmat ovat ehdoton edellytys tiivistyskorjausten onnistumiselle. Urakoitsijan on tunnettava suunnitelmassa käytetyt työtekniikat ja materiaalit. Tiivistyskorjausten onnistuminen on varmistettava työmaalla laadunvarmistusmenettelyllä, eli aistinvaraisen tarkastuksen lisäksi rakenteiden tiiveys tarkastetaan merkkiainekokeella. [7]

Tiivistystyö aloitetaan tekemällä mallityö, jonka hyväksymisen jälkeen urakoitsija voi jatkaa tiivistystyötä. Myös mallityön laatu on varmistettava laadunvarmistusmenettelyllä. Mallityön arvioinnin perusteella tiivistyskorjaussuunnitelmaan voidaan vielä tarvittaessa tehdä muutoksia. Tiivistyskorjausten laadunvarmistus on tehtävä ennen kuin pintarakenteet on asennettu paikoilleen. [7]

## 3.2 Maanvastaiset laatat

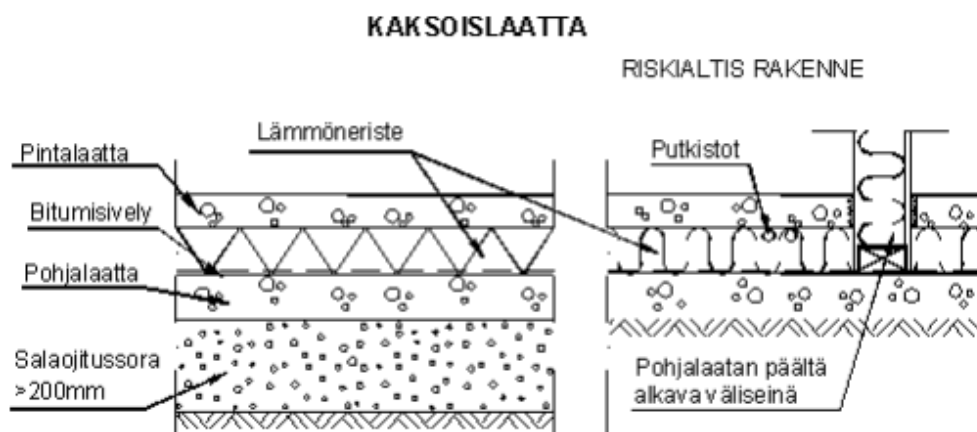
Maanvastaisella laatala tarkoitetaan alapohjarakennetta, jossa betonilaatan alla on tyyppilliseste lämmöneriste ja tämän alla on kapillaarikatkokerros. Maanvastaisista laatoista on käytetty erilaisia muunnelmia. Usein vanhojen rakennusten keskialueilla ei ole käytetty lainkaan lämmöneristettä betonilaatan alla. Nykyään maanvastaisen laattojen lämmöneristeinä käytetään hyvin kosteutta kestäviä solumuovieristeitä. Vanhemmissa koulurakennuksissa on betonilaatan alapuolisina lämmöneristeinä saatettu käyttää myös mi-

neraalivillaa ja sementtipuukuitulevyä. Myös täyttöaineen materiaali vanhoissa rakennuksissa vaihtelee paljon. Vielä 1980-luvulla täyttömateriaalina saatettiin käyttää hienojakoista maa-ainesta, jonka ansiosta kosteus on päässyt nousemaan lattiarakenteisiin kapillaarisesti. [3, s. 114–115]

### 3.2.1 Maanvastaisten laattojen vauriot

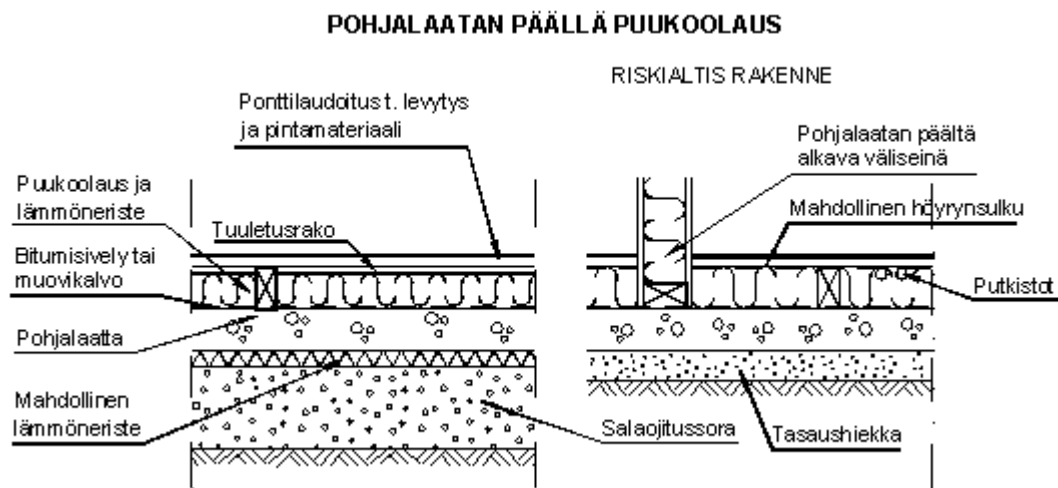
Ongelmia maanvastaisissa laatoissa aiheuttaa siis maaperän kosteus, sillä laatta voi olla jatkuvasti kosketuksissa kostean ja lämpimän täyttökerroksen tai pohjamaan kanssa. Pääasiallisesti kosteutta pääsee kulkeutumaan rakenteisiin vesihöyrynä diffuusiolla ja vetenä kapillaarisesti. Laatan eristemateriaalilla on huomattava vaikutus mahdolliseen mikrobikasvustoon. Mineraalivillaan ja erityisesti sen päällä olevaan paperiin kehittyvät huomattavasti enemmän mikrobikasvustoa kuin polystyreenieristeeseen. [3, s. 114] Maanvastaisen yksinkertaisen betonilaatan kosteus voi myös vahingoittaa lattiapinnoitteita ja lattiaan liittyviä puuosia. [2]

Maanvastaisina laattoina on käytetty myös kaksoislaattarakennetta. Kaksoislaattarakenteessa pohjalaatan päälle on asennettu lämmöneristekerros ja tämän päälle on tehty toinen pintavalu [8]. Kaksoislaattarakenteen riskinä on, että eristetilaan pääsee kosteutta, joko maaperästä tai eristetilassa kulkevien putkien vuotojen seurauksena. Kosteuksen pääseminen eristetilaan voi olla hyvin vaikea havaita. Kaksoislaattarakenteen väliseinät alkavat usein jo pohjalaatan päältä, jolloin väliseinän alaohjauspuu on pinta-laatan alapuolella. Tällöin riskinä on, että eristetilaan ja väliseinien puurakenteisiin kehittyy mikrobikasvustoa. Eristetilan mikrobikasvuston riskialttuus riippuu käytetystä eristemateriaalista. [2] Kuvassa 2 on esitetty oikealla puolella erityisen riskialttu kaksoisbetonilaattarakenne ja vasemmalla puolella puolestaan kosteusteknisesti paremmin toimiva rakenne.



Kuva 2 Esimerkki kaksoislaattarakenteesta [2].

Kolmas maanvastaisissa laatoissa käytetty rakennetyyppi on puukorotettu lattia, jota on koulurakennuksissa käytetty esimerkiksi liikuntasaleissa ja teknisen työn tiloissa [3, s. 114–115]. Puukorotetussa lattiassa yksinkertaisen pohjalaatan päälle on rakennettu puukoolattu lämmöneristetty puurakenteinen lattia. Riskinä puukorotetussa lattiassa on lattian puurakenteiden kosteus- ja homevauriot. Lattian puurakenteisiin voi päästä kosteutta monesta lähteestä. Maaperästä voi imeytyä kosteutta, joka ei pääse kuivumaan, jos rakenteessa on höyrynsulkuna toimiva kerros. Sisäilman kosteus voi myös tiivistyä kylmän betonilaatan yläpintaan, jos rakenteessa ei ole höyrynsulkua. Kosteus voi olla peräisin myös betonin rakennusaikaisesta kosteudesta. On myös mahdollista, että vesiputkia on sijoitettu puukorotetun lattian eristetilaan. [2] Kuvassa 3 on esitetty oikealla puolella riskialtis puukorotettu lattia. Vasemmanpuoleinen rakenne on puolestaan kosteusteknisesti toimivampi.



*Kuva 3 Esimerkki puukorotetusta lattiasta [2].*

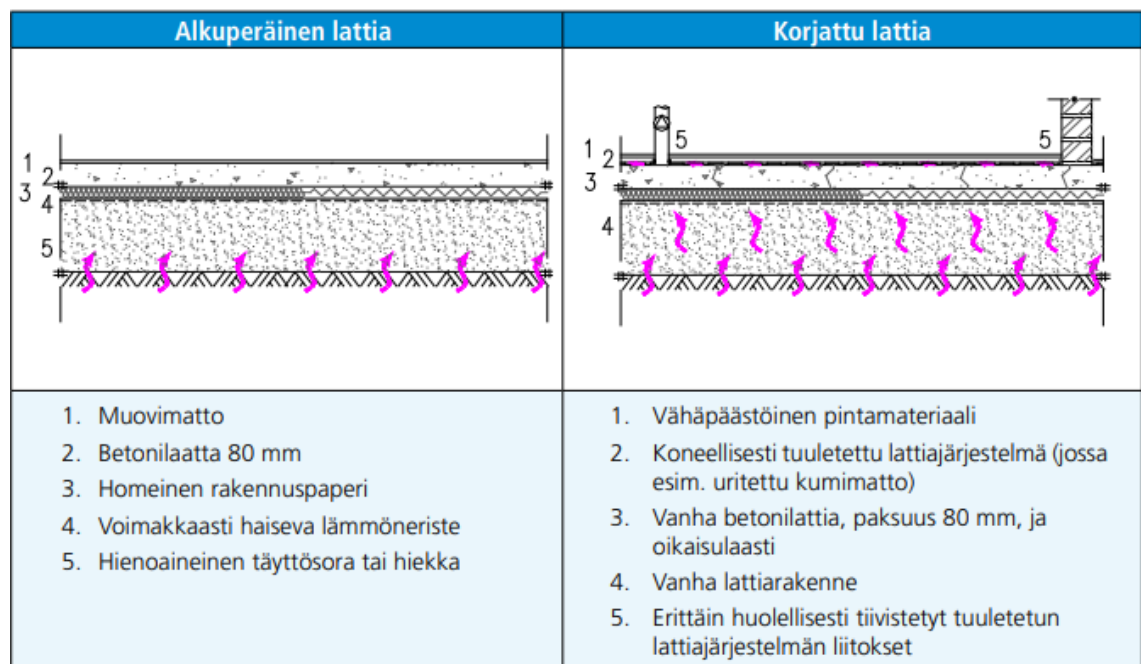
### 3.2.2 Maanvastaisten laattojen korjaus

Alapohjarakenteiden korjausten kannalta oleellista on ulkopuolisen kosteusrasituksen pienentäminen ja rakenteen muuttaminen kosteusteknisesti toimivammaksi. Näitä ongelmia pyritään ehkäisemään rakennuspohjan kuivatuksella ja kuivana pitämisellä, sekä estämällä kosteuden pääsy rakenteisiin. Rakennuspohjan kuivana pitämisen kannalta oleellista on salaojitus, sekä hulevesien pois johtaminen maan kallistusten ja sadevesijärjestelmien avulla. Rakennuksen ulkopuolisen maanpinnan tulisi olla muotoiltu vähintään 1:20 kaltevaksi rakennuksesta poispäin vähintään kolmen metrin matkalta. [2]

Rakennuspohjan asianmukaisella salaojituksella saadaan estettyä veden kapillaarinen nouseminen maaperästä alapohjarakenteisiin. Salaojitus tulee toteuttaa siten, että sala-

ojaputkien korkeimman kohdan on oltava 0,4 m viereisen maanvastaisen lattian alapinnan alapuolella. Salaojituskerros tulee olla tasarakeista seulottua luonnonkiviainesta, mutta myös sepelin, pestyn singelin, tai muun materiaalin käyttö, jolla on vastaavat vedenläpäisyominaisuudet, on sallittua. Salaojituskerroksen paksuus on oltava vähintään 0,2 m, ja se on erotettava suodatinkankaalla alla ja ympärillä olevasta hienorakeisesta maasta. [2]

Kapillaarikatkokerroksen puuttuessa alapohjasta voidaan betonilaatan päälle asentaa tuulettuva lattia. Tuulettuvaa lattiaa voidaan myös joissain tapauksissa käyttää, jos alapohjassa tai maaperässä havaitaan epäpuhtauksia. Lattian tuuletustilan kokoon vaikuttaa betonilaatan kosteusrasituksen määrä, sekä tuuletustilassa kulkeva ilmavirta. Tuulettuva lattia voi olla painovoimaisesti tai koneellisesti tuuletettu. Tuuletetun lattian haittapuolena on lattian pinnan nouseminen. Tuulettuvaa lattiaa voidaan käyttää niin yksinkertaisessa maanvaraisessa betonilaatassa kuin kaksoisbetonilaatassa. [2,3, s. 117] Kuvassa 4 on esitetty tuuletetun lattian rakenne yksinkertaisen maanvastaisen betonilaatan kanssa.



**Kuva 4** Esimerkki tuuletetusta lattiasta [1, s. 117].

Puukorotetun lattian korjaustapana on usein rakenteen korvaaminen kaksoisbetonilattalla. Tällöin vanha pintakerros ja eristeet poistetaan, jonka jälkeen pohjalaatan pinnalle tehdään vedeneristys ja asennetaan kosteutta kestävä lämmöneriste. Tällöin on huomioitava, että myös pintarakenteiden on kestävä kosteutta. [2] Kaksoisbetonilaatta on mahdollista korjata tuulettamalla/alipaineistamalla kaksoislaattarakenteen eristetila. Eristetilan tuuletuksella on myös todettu olevan rakennetta kuivattava vaikutus. [9] Jos

mitkään korjauskeinot eivät sovellu kohteeseen on koko alapohjarakenteen purkaminen ja uudelleen rakentaminen mahdollista esimerkiksi peruskorjauksen yhteydessä. Tällöin alapohjarakenteesta saadaan varmasti kosteusteknisesti toimiva.

### 3.3 Ryömintätilaiset alapohjat

Suomen koulusta noin 40 prosentissa on ryömintätilainen eli tuulettuva alapohja. Ryömintätilan kosteustekniseen toimivuuteen vaikuttaa olennaisesti kolme asiaa: maaperän kosteustuotto, ryömintätilan lämpöolosuhteet ja ilmanvaihto. Maaperän kosteustuotto on pidettävä rajallisena estämällä kosteuden nousu kapillaarisesti. Hulevedet tulee myös johtaa kiinteistöltä pois asiaankuuluvalla tavalla, ja salaojitusten on oltava kunnossa. Ryömintätilan kosteustekninen toiminta varmistetaan lisäksi tehokkaalla ympärivuotisella tuuletuksella, sekä tarvittaessa lämmöneristämällä maapohja tai lämmittämällä ryömintätilaa. Jos ryömintätilaan pääsee kehittymään mikrobikasvustoa, voi homeitiöitä päästä sisäilmaan ilmvirran mukana alapohjan epätiivetyksistä kuten läpivienneistä. [3, s. 126]

Ryömintätilainen alapohja toimii talviaikaan kosteusteknisesti hyvin, mutta sen kosteusteknisessä toiminnassa voi kesällä ilmetä ongelmia. Kesällä päiväsaikaan ryömintätilan lämpötila voi olla alhaisempi kuin ulkolämpötila. Tällöin kosteamman ulkoilman tullessa ryömintätilaan tämä kasvattaa ryömintätilan ilman suhteellista kosteutta, jolloin kosteutta voi jopa tiivistyä rakenteiden pinnoille, mikä puolestaan luo hyvät olosuhteet homekasvustolle. Tilanne paranee, kun ryömintätilan ja maapohjan lämpötila nousee. Ryömintätilan ja maapohjan lämpötila saadaan nousemaan lisäämällä maapohjaan lämmöneristystä tai lämmittämällä ryömintätilaa. Tällöin ryömintätilan tuuletusilma ei pääse jäähtymään eikä ryömintätilan suhteellinen kosteus näin ollen kasva. Ryömintätilan lämpötilalla on siis hyvin suuri merkitys ryömintätilan ilman kosteuteen. Jos ryömintätilan lämpötila on merkittävästi ulkoilmaa viileämpi, niin ryömintätilan suhteellinen kosteus on aina korkea. Talviaikaan ulkoilma puolestaan lämpenee tullessaan ryömintätilaan, jonka ansiosta ryömintätilan ilma kuivuu. [3, s. 126–129]

Ryömintätilojen sallittu ilman suhteellinen kosteuspitoisuus riippuu ryömintätilassa käytetyistä materiaaleista. Betonirakenteisella alapohjarakenteella ryömintätilassa voidaan sallia suurempi kosteuspitoisuus, kuin puurakenteisessa alapohjassa. Tällöin tulee kuitenkin huolehtia, ettei ryömintätilassa ole herkästi homehtuvaa orgaanista materiaalia tai rakennusjätettä kuten muottilautoja. Puurakenteisissa alapohjissa ryömintätilan suhteellisen kosteuden tulisi olla alle 80 %. Puurakenteisten alapohjien ilmatiiveys on lisäksi

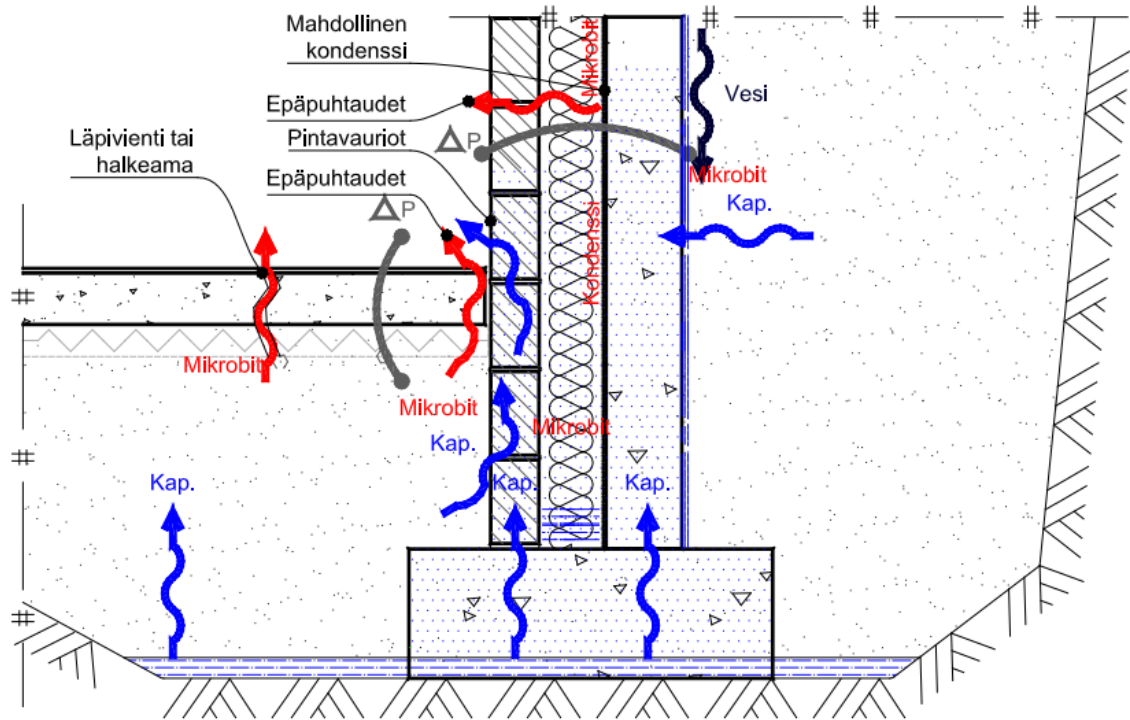
vaikeampi toteuttaa, kuin betonirakenteisen alapohjan. Puurakenteisten alapohjien kosteusteknistä toimintaa on myös mahdollista parantaa lämmöneristämällä alapohjan puurakenteet alhaalta päin. [3, s. 126–129,4, s. 185]

Maaperän kosteustuottoa voidaan korjausten yhteydessä rajoittaa esimerkiksi muotoilemalla rakennusta ympäröivä maanpinta siten, että sadevedet valuvat rakennuksesta pois päin, kunnostamalla pinta- kattovesien poistojärjestelmiä, salaojittamalla rakennuspohja tai parantamalla sokkelin vedeneristystä. Ryömintätilan lämpöolosuhteita voidaan korjauksissa parantaa lisäämällä maapohjaan lämmöneristettä tai lämmittämällä ryömintätilaa. Ryömintätilan tuuleutusta on mahdollista parantaa esimerkiksi lisäämällä koneellinen tuuletus. Myös läpivientejä voidaan joutua tiivistämään, jotta saadaan estettyä ilma- vuodot ja epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan. Rakennuksen ryömintätilan tulisi myös olla tarpeeksi korkea, jotta siellä voidaan suorittaa korjauksia. [3, s. 126–129]

### **3.4 Maanvastaiset seinät**

Vanhoissa erityisesti 1970-luvulla rakennetuissa koulurakennuksissa on käytetty maanvastaisina seininä usein tiili-villa-betonirakennetta. Tiilivuoratun lämmöneristetyn maanvastaisen seinän suurin ongelma on tiilimuurin ja lämmöneristeen ulottuminen alapohjalaatan alapuolelle, jolloin ne ovat erityisen alttiita kosteusrasitukselle. [4, s. 186] Tällöin seinä voi olla ympäri vuoden kosketuksissa kostean pohjamaan kanssa, jolloin kosteus nousee kapillaarisesti tiilikuoressa ylöspäin. Myös sisäilman kosteus saattaa talvikaudella tiivistyä eristetilaan villakerroksen ja betonin väliin. Huonosti kallistetut pintamaat, tai puuttuvat salaojitukset lisäävät myös rakenteen kosteusrasituksen määrää. [3, s. 140] Kuvassa 5 on esitetty maanvastaisen tiili-villa-betoni ulkoseinän kosteusrasituksen lähteitä.



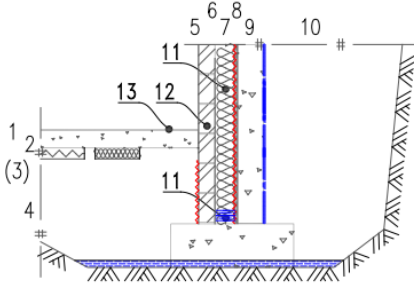
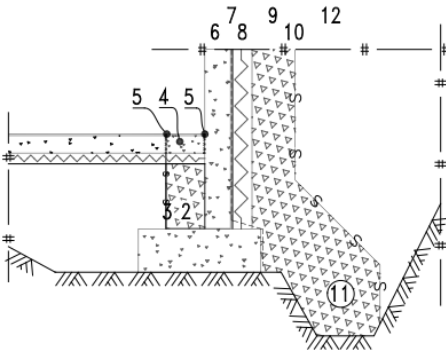


**Kuva 5** Maanvastaisen tiili-villa-betoni ulkoseinän kosteuslähteitä ja vauriomekanismeja [3, s. 141].

Kosteus ja lämpötila yhdessä luovat hyvät kasvuolosuhteet mikrobeille maanvastaisen seinän eristekerroksessa. Tällöin mikrobeja voi päästä sisäilmaan sisäkuoren epätiivetyyskohdista. Myös seinän pinta ja puiset lattialistat voivat vahingoittua kosteuden vaikutuksesta. [2]

Maanvastaiset seinät ovat mahdollista korjata tiivistyskorjauksilla. Korjaustapa soveltuu rakenteisiin, jotka ovat helposti tiivistettävissä. Tiivistyskorjauksen toisena edellytyksenä on, että ulkopuoliset rakenteet kuten salaojitukset ja eristykset ovat kunnossa. Myös täytösoran tulisi olla kapillaarikatcomaata. Korjauksen etuna on sen edullisuus verrattuna muihin korjaustapoihin. Tiivistyskorjauksen yhteydessä eristetila voidaan myös alipainistaa. Tiivistyskorjauksen riskinä on puolestaan, että hajua ja kosteutta pääsee sisäilmaan diffuusiolla korjauksista huolimatta. [3, s. 143–144]

Toisena korjausvaihtoehtona on seinän muuttaminen ulkopuolelta lämmöneristetyksi. Tällöin vanha kuorimuuraus, eriste ja betonipinnan bitumisively poistetaan, ja veden- ja lämmöneristys siirretään betonirakenteen ulkopinnalle. Tällöin seinän uudeksi pinnoitteeksi valitaan vedenkestävä vesihöyryä läpäisevä laasti. Korjausten yhteydessä voidaan myös esimerkiksi parantaa rakennuksen salaojitusta, tai pintamaan muotoilua. [3, s. 148–149] Kuvassa 6 on esitetty korjauksen periaatteet.

Alkuperäinen rakenne	Korjattu rakenne
	
<p><b>Kellarin lattia</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lattianpinnoite</li> <li>2. Betonilaatta, paksuus 80 mm</li> <li>3. Mahdollinen eriste, paksuus 50 mm</li> <li>4. Hienoaineinen täyttösora tai hiekka</li> </ol> <p><b>Seinärakenne</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Seinäpinnoite (maali, rappaus)</li> <li>6. Tiilimuuraus</li> <li>7. Mineraalivilla</li> <li>8. Bitumisively</li> <li>9. Paikalla valettu betoniseinä, paksuus 150–180 mm</li> <li>10. Hienoaineinen täyttösora tai hiekka</li> </ol> <p><b>Vauriot</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>11. Märkä, homehtunut tai haiseva eriste</li> <li>12. Kosteaa tiilimuuraus</li> <li>13. Alapohjan vauriot, ks. Maanvastaiset laatat</li> </ol>	<p><b>Kellarin lattia</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alapohjan korjaustarve, ks. Maanvastaiset laatat</li> </ol> <p><b>Seinärakenne</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Sepeli, raekoko 3–18 mm</li> <li>3. Suodatinkangas</li> <li>4. Lattianpinnoite + betonilaatta, paksuus 80 mm + lämmöneriste</li> <li>5. Liitosten ja rakojen huolellinen tiivistys</li> <li>6. Puhdistettu vanha betoniseinä</li> <li>7. Kosteudeneristys: bitumisively + bitumihuopa</li> <li>8. Polystyreenilevy, paksuus 50–100 mm</li> <li>9. Sepeli, raekoko 3–18 mm</li> <li>10. Suodatinkangas</li> <li>11. Salaojitus</li> <li>12. Täyttömaa</li> </ol>

**Kuva 6** Maanvastaisen seinän kuorimuurin poistaminen [3, s. 148].

### 3.5 Lattianpinnoitteiden vauriot

Betonilaatan suhteellisen kosteuden kasvaessa riittävän suureksi voi lattianpinnoitteissa ja sen kiinnitysliimoissa tapahtua vaurioita. Betonilaatan kosteus voi olla peräisin maapohjasta, tai betonilaattaan on voinut jäädä rakennusaikaista kosteutta, mikäli se on päällystetty tiiviillä lattianpinnoitteella, ennen kuin se on kuivunut tarpeeksi. Rakennusaikaisen kosteuden takia lattianpinnoitteiden vauriota voi esiintyä myös välipohjarakenteissa. Betonin alkalisuus yhdessä kosteuden kanssa aiheuttaa päällystemateriaaleissa, ja niiden kiinnittämiseen käytetyissä liimoissa kemiallista hajoamista. Yleisempiä lattianpinnoitteita, joissa vauriota esiintyy ovat muovimatto- ja vinyylimattopinnoitteet. Lattianpinnoitteiden vaurioitumiseen vaikuttavat siis kiinnitysalustan pH eli alkalisuus, kiinnitysalustan kosteus ja lattianpinnoitemateriaali. Reaktion käynnistyttyä se jatkuu loppuun asti, vaikka rakenne kuivuisikin normaalikuivuuteen. Rektion vaikutuksesta sisäilmaan voi päästä VOC-yhdisteitä. [6, s. 32–40]

Iso osa muovimattojen materiaalipäästöistä aiheutuu maton pehmittimistä. Pehmittimet saavat muovimatosta joustavan, joka helpottaa esimerkiksi asennustyötä. Muovimattojen ja sen kiinnitysliiman hajoamisen seurauksena myös maton pehmitinaineet tuhoutuvat, mikä aiheuttaa myös maton kovettumisen ja joustavuuden menetyksen. Pehmitinaineen hajoaminen aiheuttaa 2-etyliheksanoli päästöjä. Pahimmillaan pehmitinaineen hajoamisen näkee PVC-matossa tummina laikkuina tai hajuna sisäilmassa. [6, s. 37–38]

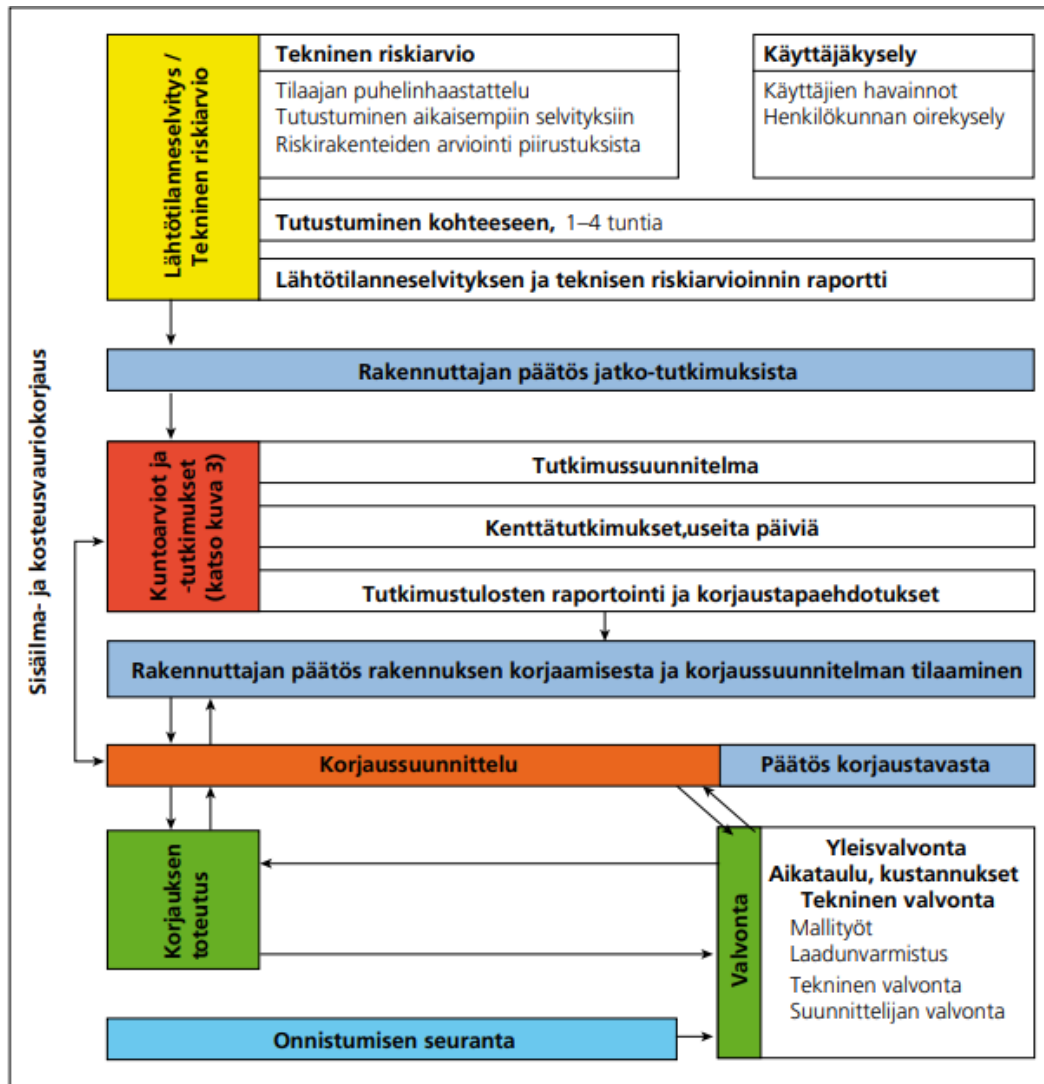
Vaurioitumisriskiä voidaan pienentää käyttämällä matala-alkalisia tasoitteita betonin pinnassa. Erityisen tärkeää matala-alkalisien tasoitteiden käyttö on, jos betonilaatassa käytetään korkealujuusbetonia, jolloin kosteuden imeytyminen betoniin on hitaampaa betonin suuremman tiiveyden takia. Korkealujuusbetonilla on myös normaalia suurempi alkalisuus johtuen suuremmasta sementtimäärästä. Matala-alkaliset sementtitasoitteiden avulla pinnan pH saadaan laskettua normaalista arvosta 13 noin arvoon 10,5–11. [6, s. 38]

Lattianpinnoitteita voidaan luokitella eri päästöluokkiin, niiden sisäilmaan emittoivien haitallisten yhdisteiden määrän perusteella. Jos halutaan varmistaa sisäilman hyvä laatu olisi syytä käyttää M1-luokan vähäpäästöisiä materiaaleja. [6, s. 37] Myös mattoliimoja on saatavana vähäpäästöisinä. Sisäilmastoluokkien vaatimukset ovat esitettynä Sisäilmastoluokituksessa 2018. Vähäpäästöisten rakennusmateriaalien käyttöä vähentää niiden korkeampi hinta.

Jos muovimatoissa ja sen kiinnitysliimoissa todetaan vaurioita, niin yleisimpänä korjausmenetelmänä on vanhan muovimaton ja sen kiinnitysliiman poistaminen. Myös tasoite on mahdollista poistaa, jos siinä todetaan olevan paljon VOC-yhdisteitä. Pintarakenteiden poiston jälkeen mitataan betonilattian VOC-pitoisuus. Jos betonilaatassa todetaan olevan paljon VOC-yhdisteitä niin betonilattian ja sisäilman lämpötila nostetaan väliaikaisesti 30–35 °C lämpötilaan. Lämpötilan nosto saa betonilattiaan varastoituneet VOC-yhdisteet siirtymään laatan sisäpintaan ja siitä edelleen sisäilmaan. Tällöin täytyy myös tehostaa korjattujen tilojen ilmanvaihtoa, jotta VOC-yhdisteet saadaan siirrettyä ulkoilmaan. Tilojen VOC pitoisuuksien laskiessa tiloihin voi taas haihtua enemmän emissiotuotteita betonilaatasta. Ilmanvaihdon lisääminen vähentää myös emissiotuotteiden absorboitumista muille pinnoille. [10, s. 24] Korjausten yhteydessä tulee varmistaa, ettei päällystettävään betonilaattaan tule kosteusrasitusta, jotta vaurio ei pääse toistumaan. Korjausten ja betonin kosteusmittausten jälkeen lattia voidaan päällystää uudelleen vähäpäästöisellä lattiapinnoitteella.

## 4. SISÄILMAKORJAUSPROSESSI JA LAADUNVARMISTUS

Koulujen sisäilmakorjaukset etenevät tyypillisesti kuvassa 7 esitytyn kaavion mukaisesti. Sisäilmakorjausprosessin kaikkiin vaiheisiin tulee kiinnittää huomiota, jotta korjauksen lopputuloksesta saadaan onnistunut. Sisäilmakorjausten onnistumista voidaan arvioida erilaisten mittausten ja käyttäjäkyselyiden perusteella. On kuitenkin huomioitava, että sisäilmamittausten avulla ei voida suoraan poissulkea sisäilmaongelmien olemassaoloa, vaan niitä tulisi käyttää suuntaa antavina työkaluina. [4, s. 19] Tässä luvussa käsitellään sisäilmakorjausten laadunvarmistusta sekä sisäilmakorjausprosessia ja sen vaikutusta korjausten onnistumisen kannalta.



**Kuva 7** Rakennuksen kunnan arvioinnin ja korjaamisen prosessi sisäilmasto- ja kosteusvauriokorjauksissa. [3, s. 14].

## 4.1 Lähtötilanneselvitys

Ennen sisäilmakorjaushankkeen aloittamista on selvitettävä, mistä sisäilman huono laatu johtuu. Sisäilman laatua arvioitaessa on syytä tehdä myös oirekyselyitä käyttäjille, sillä sisäilman laadun parantamista voi olla vaikea todeta pelkästään teknisten mittaus-ten perusteella. [3, s. 12]

Sisäilmakorjausten prosessi alkaa teknisestä riskiarviosta eli lähtötilanneselvityksestä, jossa selvitetään mahdollisten kuntotutkimusten tarvetta. Teknisessä riskiarviossa pyritään tunnistamaan mahdollisia riskirakenteita sekä tarkastamaan ilmanvaihtojärjestelmän teknistä tasoa piirustusten avulla. Teknisen riskiarvion toteuttaa rakennuksen kunnan arviointiin erikoistunut yritys. [3, s. 13–15]

## 4.2 Kartoitukset, tarkastukset ja kuntotutkimukset

Seuraavassa vaiheessa tilataan lähtötilanneselvitysten tietojen ja mahdollisten käyttäjäkyselyiden perusteella tarvittavat kartoitukset, tarkastukset ja kuntotutkimukset, joiden tavoitteena on määrittää sisäilmaongelmien mekanismit ja antaa korjausten suunnitteluun lähtötietoja. Tutkimuksia tekevän henkilön on oltava pätevä, jotta hän osaa kohdistaa tutkimukset oikeisiin kohtiin. Mikäli tutkimukset ovat kohdennettu väärin, joudutaan korjausten aikana usein tekemään uusia tutkimuksia ja muutoksia korjaussuunnitelmiin. Kartoitukset ja tarkastukset suoritetaan ilman rakenteiden avaamista. [3, s. 14]

### 4.2.1 Kosteusvauriokartoitus

Kosteusvauriokartoituksessa käydään läpi lähtötilanneselvityksen ja käyttäjäkyselyiden mukaiset riskirakenteet. Loput mahdolliset riskirakenteet selviävät kaikkiin tiloihin ja rakenteisiin tehtävillä katselmuksilla. Löydetyistä riskirakenteista tehdään pintakosteuskartoitukset. Pintakosteuskartoitukset tehdään rakenteita rikkomatta pintakosteusmittarilla, jonka toiminta perustuu veden sähkönjohtavuuteen. Tällöin mittari reagoi rakenteessa mahdollisesti olevaan kosteuteen. On syytä muistaa, että pintakosteuskartoitus on aina suuntaa antava menetelmä. Tyypilliset tarkastettavat kohdat ovat maata vasten olevat lattiat ja seinät erityisesti kellaritiloissa. Pintakosteuskartoitukseen kuuluvat myös kevyet kosteusmittaukset, jotka voidaan tehdä rakenteita avaamatta. Näitä mittauksia tehdään

tyypillisesti kattorakenteisiin. Kosteusvauriokartoituksen perusteella päätetään, onko kosteustekniselle kuntotutkimukselle tarvetta. [3, s. 18,6]

## 4.2.2 Ilmanvaihdon toimintatarkastus

Ilmanvaihdon toimintatarkastuksessa tutkitaan ilmanvaihtojärjestelmän toiminta, kunto yleisesti, puhtaus ja tekninen taso. Jos kohteessa on painovoimainen tai koneellinen poistoilmanvaihto, on korjaustarve ilmeinen. Uudet alle kymmenen vuotta vanhat järjestelmät ovat yleensä hyvässä kunnossa. Näistä tulee tarkastaa, että ne toimivat suunnitellulla tavalla. Vanhemmat koneelliset tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmät vaativat tarkempaa tarkastusta. [3, s. 18]

Toimintatarkastuksissa tarkastetaan jokaisen ilmanvaihtokonehuoneen puhaltimet, suodattimet, äänenvaimentimet ja kammiot sekä lisäksi ilmanvaihtokoneiden yleinen kunto. Äänenvaimentimien kuntoon on kiinnitettävä erityistä huomiota, sillä rikkinäisistä äänenvaimentimista voi päästä sisäilmaan mineraalikuituja. Myös päätelaitteiden äänenvaimentimet on tarkastettava. Lisäksi tarkastuksiin kuuluvat ilmavirtojen tarkastus sekä tarvittaessa hiilidioksidipitoisuuksien mittaaminen. Tarkastukset tulisi kohdentaa niihin tiloihin, joissa epäillä olevan ongelmia käyttäjäkyselyiden perusteella. [3, s. 18]

## 4.2.3 Kosteustekninen kuntotutkimus

Kosteusteknisen kuntotutkimuksen tavoitteena on piilossa olevan kosteusvaurion löytäminen ja vauriomekanismin määrittäminen korjaustapaehdotusta varten. Lisäksi kuntotutkimuksessa on määriteltävä kosteusvaurion laajuus. Kuntotutkimuksen yhteydessä voidaan myös ottaa tarkkoja rakennekosteusmittauksia sekä avata rakenteita sekä ottaa materiaali- ja pintanäytteitä, joista määritellään mikrobipitoisuus. [3, s. 19–20]

Yleisemmin käytetyt kosteusmittausmenetelmät betonirakenteissa ovat: porareikämittaus ja näytepalamittaus. Viiltomittauksella saadaan puolestaan mitattua suhteellinen kosteus lattiapinnoitteen alapuolelta. Mittauksilla pyritään mittaamaan rakenteen suhteellinen kosteus, joka riippuu aineen huokosissa olevasta vesihöyryn määrästä sekä lämpötilasta. Mittaukset on pyrittävä kohdentamaan pintakosteuskartoitusten ja rakennetyyppitietoja hyödyntäen. [4, s. 53–55]

Kuntotutkimuksessa rakenteiden avaaminen keskitetään usein tietyille alueille, jossa arvioidaan olevan vaurioita riskirakenteiden, kosteuden, poikkeuksellisen hajun tai käyttäjien oireiden perusteella. Kosteusteknisen kuntotutkimuksen tavoite on siis määrittää

kosteusvaurion laajuus, syyt ja vauriokuvaus. Näiden tietojen perusteella kuntotutkija laatii korjaustapaehdotukset. [3, s. 19–20]

Näytepalamittaukset ovat tarkin käytössä oleva betonin suhteellisen kosteuden mittaamenetelmä. Mittaus soveltuu käytettäväksi, kun tutkittavan rakenteen lämpötila on - 20–80 °C. Menetelmässä rakenteesta otetaan betonimurusia piikkaamalla halutulla syvyydellä. Näytepalat suljetaan mitta-astiaan, jonka lämpötilan annetaan tasaantua ennen näytteen kosteuden mittausta. Mittausta tehdessä tulee mittaajan varoa vesiputkia ja sähköjohtoja. [4, s. 54]

Porareikämittaus soveltuu käytettäväksi, kun tutkittavan rakenteen lämpötila on 15–25°C. Porareikämittauksessa rakenteeseen porataan valitun syvyiset mittareiat, jotka puhdistetaan. Puhdistuksen jälkeen porareiat tiivistetään ja niihin asennetaan mittaputket. Tämän jälkeen mittauspisteiden on annettava tasaantua noin 2–3 vuorokauden ajan, jonka jälkeen niille voidaan suorittaa kosteusmittaukset. Myös porareikämittauksia tehdessä täytyy varoa rakenteissa kulkevia sähkö- ja vesijohtoja. [4, s. 54–55]

Viiltomittauksella voidaan puolestaan mitata lattiapinnoitteen alapintaan kohdistuva kosteusrasitus. Mittauksessa lattiapinnoitteeseen tehdään viilto tutkittavalle kohdalle. Heti viillon tekemisen jälkeen on sinne asetettava mittausanturi, ja viiltokohta on tiivistettävä. Mittauksen tulos saadaan noin 20 minuutissa. Viiltokohdasta voidaan lisäksi mittauksen jälkeen tehdä havainnot liiman koostumuksesta ja lattianpäällysteen tartunnasta. [4, s. 55]

Puu- ja levymateriaalien kosteusmittauksissa voidaan puolestaan käyttää piikkimittaria. Piikkimittarin piikit painetaan rakenteen sisään, jonka jälkeen mittari antaa mittaustuloksen painoprosentteina. Piikkimittarin mittaustulos valitaan mitattavan materiaalin tai puulajin mukaan. Piikkimittarin toiminta perustuu kahden puuhun painettavan metallielektrodin välisen konduktanssin mittaamiseen. [4, s. 57]

#### **4.2.4 Sisäilmaston kuntotutkimus**

Sisäilmaston kuntotutkimus tehdään, jos vakavia kosteusvaurioita ei ole havaittu tai ne eivät selitä sisäilmaongelmien syytä. Sisäilmaston kuntotutkimus suoritetaan aina kussakin kohteessa erikseen laadittavan suunnitelman mukaan. Suunnitelma tehdään kosteusteknisen kuntotutkimuksen, ilmanvaihdon toimintatarkastuksen ja sisäilman laadun aistinvaraisen arvioinnin perusteella. Kuntotutkimuksessa voidaan esimerkiksi mitata ongelmallisten alueiden VOC-pitoisuuksia tai arvioida materiaalipäästöjä mittaamalla sisäilman kemiallisia epäpuhtauksia. Näytteiden lisäksi on otettava vertailunäytteitä alueilta,

joissa ongelmia ei ole havaittu. [3, s. 20–23 ,6] Kuvassa 8 on esitetty rakennuksen kunnon arvioinnin ja tutkimisen vaiheet pääpiirteittäin.



*Kuva 8. Rakennuksen kunnon arvioinnin ja tutkimisen vaiheet. [3, s. 16].*

### 4.3 Korjaussuunnittelu

Seuraavassa vaiheessa rakennuttaja tekee päätöksen rakennuksen korjaamisesta ja tilaa korjaussuunnitelmat kuntotutkimusraporttien ja korjaustapaehdotusten perusteella. Korjaussuunnitelman tulee sisältää tiedot korjattavista rakenteista, korjausten laajuudesta, korjaustavasta sekä käytettävistä materiaaleista. Lisäksi siinä tulee esittää kaikki muutkin asiat, jotka vaikuttavat korjaustöiden aikatauluun, kustannuksiin ja työmenekkiin. Näitä ovat esimerkiksi laadunvarmistustoimet ja vaadittavat mallityöt. Suunnittelijoiden täytyy ymmärtää korjaussuunnitelmaa tehdessään kuntotutkijoiden tekemät vauriokuvaukset ja korjaustapaehdotukset. [3, s. 30,6]

### 4.4 Korjauksen toteutus

Korjaustyön aikana urakoitsija tekee sisäilmakorjaukset korjaussuunnitelmien mukaisesti. Korjaussuunnitelmien ja ohjeiden noudattaminen toteutuksen aikana on tärkeää.



Monet korjaukset ovat epäonnistuneet, kun urakoitsija tai vastaava mestari on poikennut suunnitelmasta ja käyttänyt omaan kokemukseen perustuvia korjausratkaisuita. [3, s. 14]

Jos korjaustyön aikana esimerkiksi rakenteita avatessa niistä paljastuu oletettua laajempia vaurioita, on varmistuttava, että korjaussuunnitelmia täydennetään tilanteen vaatimalla tavalla. Urakoitsijan tulee ilmoittaa myös muista havaitsemistaan suunnitelmien puutteista, tai jos rakenteet ovatkin erilaisia kuin luultiin. [3, s. 14]

## 4.5 Työn jälkeinen laadunvarmistus ja laadunvarmistusmenetelmät

Sisäilmakorjausten onnistumisen seuranta ja laadunvarmistus on suunniteltava korjaussuunnittelun yhteydessä. Laadunvarmistus voidaan toteuttaa esimerkiksi käyttäjäkyselyiden, merkkisavun, merkkiainekokeen tai mikrobinäytteiden avulla. Korjausten laadunvarmistuksella ja seurannalla pyritään vastaamaan seuraaviin kysymyksiin

- oliko arvio sisäilmaongelman syystä oikea
- korjattiinko kaikki vauriot ja haitan aiheuttajat
- olivatko korjaukset riittävät
- toistuuko vaurio
- hävisivätkö haitat. [2]

Jos korjausten jälkeen havaitaan, että käyttäjien terveyshaitat ovat hävinneet eikä vaurio toistu, niin korjaukset ovat olleet riittävät laajoja. Jos taas käyttäjien oireet eivät poistu, niin on mahdollista, että on korjatuilla kohdilla ei ole mitään tekemistä oikean sisäilmaongelman aiheuttajan kanssa. [2]

### 4.5.1 Käyttäjäkyselyt

Käyttäjäkyselyitä käytetään tyypillisesti, jos teknisen riskinarvioinnin perusteella ei löydetä selkeitä syitä sisäilman huonoon laatuun. Kyselyillä voidaan saada tietoa mahdollisen ongelman laajuudesta, sekä mahdollisesti paikallistettua ongelmaa. Tehtäviä kyselyitä on kahden tyyppisiä, käyttäjäkyselyt ja sisäilmasto- ja oirekyselyt.

Käyttäjäkyselyitä voidaan käyttää myös laadunvarmistusmenetelmänä, jos kyselyt toistetaan sisäilmakorjausten jälkeen. Tällöin huomiota tulee kiinnittää, että kysely tehdään

samaan vuodenaikaan kuin aiempi kysely, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään. [3, s. 16–17]

Varsinaisessa käyttäjäkyselyssä keskitytään käyttäjän tekemiin teknisiin havaintoihin rakennuksesta. Käyttäjäkyselyt tehdään usein tutkittavassa rakennuksessa tai sen osassa työskentelevälle kouluhenkilökunnalle. Oppilaille kyselyä ei yleensä tehdä.

Kyselyllä voidaan selvittää esimerkiksi seuraavia asioita:

- tapahtuneet vesivahingot ja niiden ajankohdat
- poikkeuksellisten sääolosuhteiden aikana tehdyt havainnot
- näkyvät kosteusvauriot ja poikkeavat hajut
- havainnot sisäilman laadultaan tai olosuhteiltaan muutoin puutteellisista tiloista
- käyttötottumukset
- rakennuksen huoltotoimenpiteet
- toteutetut korjaukset
- toteutetut peruskorjaukset [4, s. 23]

Sisäilmasto- ja oirekyselyillä pyritään puolestaan selvittämään käyttäjien kokemuksia sisäilman laadusta, käyttäjien sairastavuudesta ja rakennukseen liittyvistä oireista. Kyselyitä voidaan tehdä koulurakennuksessa kouluhenkilökunnalle sekä opiskelijoille. Alle 20 henkilön käyttäjämäärälle kyselyitä ei kuitenkaan suositella. Sisäilmasto- ja oirekyselyt tulee tehdä yhteisteistyössä työ- tai kouluterveydenhuollon kanssa. Tällöin tiedot käyttäjän rakennukseen liittyvistä oireista ja sairastavuudesta käsittelee terveydenhuollon ammattilainen. Kyselyn yhteyteen kannattaa myös tehdä kartoitus, jolla selvitetään, että kuinka pitkiä aikoja käyttäjä oleskelee rakennuksen eri osissa. [3, s. 16–17, 4, s. 23–24]

Kyselyiden perusteella voidaan saada tietoa sisäilmaongelmien aiheuttajasta ja sijainnista. Jos kyselyt osoittavat, että vain tietyssä osassa rakennusta oireillaan, niin tällöin tutkimukset voidaan kohdentaa alueille, joilla oireilu on yleisempää. Jos sisäilmasto ja oirekyselyä ei tehdä on mahdollista, että sisäilmaongelman aiheuttavaa piilovauriota ei havaita pintapuolisissa kartoituksissa ja tarkastuksissa. [4, s. 23–24]

## 4.5.2 Merkkisavu

Merkkisavukoetta voidaan käyttää, kun arvioidaan varsinaisen merkkiainekokeen tarpeellisuutta. Merkkisavukoe soveltuu myös käytettäväksi kuntotutkimuksiin, joissa arvioidaan rakennuksen vaipan tiiveyttä. Merkkisavua voidaan käyttää rakenteen ilmapuotojen paljastamiseen aistinvaraisen arvioinnin tukena. Merkkisavukokeessa käytetään paksua valkoista savua, joka lasketaan pullosta tutkittavalle alueelle. Merkkiainesavun virtauksen perusteella voidaan arvioida rakenteiden ilmapitävyyttä. Mikäli merkkisavu jää leijumaan on liitos siis tiivis. Merkkisavututkimuksessa täytyy huomioida sisäilmassa normaalisti tapahtuvat virtaukset. Ilmavirtauksia voi saada aikaan ilmanvaihto, tilan käyttö, tutkijan liikkeet, ja lämmityskaudella lämpöpatterit Merkkisavukoe on aina suuntaa antava mittausmenetelmä, eikä sillä arvioida tarkasti ilmavirtausten voimakkuutta kuten merkkiainekokeella. [4, s. 60–61]

Merkkisavuna käytetään usein rikkihappoa, joka reagoi ilman kosteuden kanssa siten että savuntapaista höyryä muodostuu. Merkkisavukokeita tehdessä täytyy muistaa, että rikkihappopohjainen savu on ihoa ja limakalvoja ärsyttävää. Savu on kuitenkin haitatonta sekoituttuaan ympäröivään ilmaan. [4, s. 60–61]

Suurten tilojen kuten ala- ja välipohjarakenteiden ilmatiivyyden tutkimisessa voidaan käyttää niin sanottua puhdassavua. Tällöin tutkittavaan rakenteeseen lasketaan huomattava määrä savua savukoneen avulla, ja tutkittava tila alipaineistetaan tarvittaessa. Tällöin savu pyrkii pääsemään tutkittavaan tilaan ja mahdolliset epätiiveyskohdat voidaan havaita. [4, s. 60–61]

## 4.5.3 Merkkiainekoe

Merkkiainekoe on tutkimustapa, jolla tutkitaan rakenteen sisällä ja rakenteen läpi tapahtuvia ilmavirtauksia merkkiainekaasujen ja mittareiden avulla. Merkkiainekokeen avulla voidaan arvioida rakenteen tarkkoja ilmapuotojen paikkoja sekä ilmapuotojen voimakkuuksia. [3, s. 229–231]

Merkkiainekokeessa merkkiainekaasua lasketaan rakenteen sisään sisäkuoreen tehdyn reiän kautta. Sähköinen mittari tunnistaa ilmassa esiintyvän merkkikaasun, ja mittaria siirtämällä voidaan vuotokohta paikallistaa merkkiaineen pitoisuuden muuttuessa. Merkkiainekoetta suoritettaessa sisäilman ilmanpaineen tulee olla alhaisempi, kun tutkittavan rakenteen takana oleva ilmanpaine. Ilmanpaine-ero saa merkkikaasun virtaamaan korkeammasta ilmanpaineesta matalampaan ilmanpaineeseen. [3, s. 229–231]

Sopiva paine-ero laadunvarmistuskokeissa on 10–15 Pa. Normaalitilanteissa rakennus ei ole juuri koskaan näin alipainen paitsi poikkeustilanteissa kuten voimakkaalla tuulella. Paine-eron tulisi olla aina samanlainen eri tutkimuskerroilla. [11]

Merkkiainekokeella voidaan tutkia rakenteet, joiden ilmapuotokehtia ei voida määrittää merkkisavulla tai aistinvaraisesti. Merkkiainekokeita voidaan käyttää esimerkiksi sisäilmaongelmien selvittämisessä, korjaussuunnittelun lähtötietona ja tiivistyskorjausten laadunvarmistuksessa. [11]

Tiivistyskorjauksien tiiveydelle on asetettava tavoitearvo, jonka päättää kohteen pääraKENNUSUUNNITTELIJA tai tiivistyskorjauksista vastaava suunnittelija. Tavoitetasoina on mahdollista käyttää seuraavia tasomääritelmiä:

1. Täysin tiivis, vuotoja ei sallita
2. Merkittävä tiiveyden parantaminen: Sallitaan vähäisiä vuotoja alipaineistettuna, -10 Pa.
3. Tiiveyden parantaminen: ei saa olla merkittäviä vuotoja alipaineistettuna, -10 Pa ja enintään vähäisiä vuotoja käyttötilanteessa, ilmanvaihto tasapainotettuna alle -5 Pa. [11]

Tavoitetason valintaan vaikuttaa olennaisesti se, että mitä tiiveyden parantamisella tavoitellaan. Jos tiivistyskorjauksilla pyritään estämään rakenteessa esiintyvien mikrobin pääsy sisäilmaan, on tavoitetason oltava tiukempi kuin esimerkiksi silloin, kun rakenteita tiivistetään energiataloudellisista syistä. [3, s. 229–231]

Merkkiainekokeet tulee tiivistyskorjausten yhteydessä suorittaa ennen pintamateriaalien asennusta, jotta mahdolliset tiivistystyön virheet voidaan vielä helposti paikantaa ja korjata. Tiivistetyn rakenteen toimintaa tulee seurata säännöllisin väliajoin (3–5 vuoden välein) uusittavalla merkkiainekokeella. [3, s. 229–231]

#### **4.5.4 Mikrobinäytteet**

Mikrobinäytteitä voidaan ottaa osana korjausten seuranta ja laadunvarmistusta, jos alkuperäisessä sisäilmaongelmassa on ollut kyse kosteudesta ja mikrobeista. Sisäilman mikrobinäytteet eivät ole laadunvarmistuksen ensisijainen menetelmä, vaan niitä käytetään muiden menetelmien tueksi. Mikrobinäytteitä voidaan ottaa myös kuntotutkimusten yhteydessä. [4, s. 62–63]

Mikrobinäytteiden ottamisessa tulee huomioida, että korjausten jälkeen tilat tulee siivota huolellisesti ja ennen näytteiden ottamista tulee odottaa vähintään 2 kuukautta. Lisäksi

näytteet tulisi mieluiten ottaa samaan vuodenaikaan, kuin ennen korjausta otetut mikrobinäytteet, jotta tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia. Sisäilman mikrobinäytteet tulisi lisäksi ottaa talviaikana, koska tällöin ulkoilman sieni-itiö ja sädesienipitoisuudet ovat pienimmillään. Jos näytteitä otetaan muulloin, tulisi näytteenoton yhteydessä ottaa myös ulkoilmasta vertailunäyte. [4, s. 63–64]

Sisäilman mikrobinäytteissä käytetään Andersen keräintä. Toimistoympäristössä on myös mahdollista arvioida mikrobipitoisuuksia mikrobiviljelemällä näyteastialle kahden viikon aikana laskeutunutta pölyä. [4, s. 64]

## 5. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Koulujen sisäilmaongelmat ovat valittavan yleisiä, ja ne voivat aiheuttaa terveysongelmia tilojen käyttäjille. Koulurakennusten sisäilmakorjausten onnistumisella on suuri merkitys rakennusten tulevan käyttöön ja tilan käyttäjien kannalta. Monien rakennusten sisäilmakorjaukset ovatkin epäonnistuneet, jolloin korjauksia on jouduttu tekemään moneen kertaan, tai rakennuksia on jopa jouduttu purkamaan. Oikein tehdyillä sisäilmakorjauksilla saadaan pidennettyä merkittävästi rakennuksen käyttöikää.

Koulurakennusten tyypillisimmät epäpuhtauksien lähteet ovat mikrobit, materiaalipäästöt ja mineraalikulut. Sisäilman mikrobit, johtuvat usein rakenteen kosteusvauriosta. Tällöin vahingoittuneesta rakenteesta pääsee kulkeutumaan mikrobeita sisäilmaan. Tyypillisimpiä koulurakennusten materiaalipäästöjä ovat VOC yhdisteet ja formaldehydi. VOC päästöt liittyvät usein lattiapinnoitteiden vaurioihin. Tällöin betonin alkalisuus yhdessä kosteuden kanssa aiheuttaa päällystemateriaaleissa ja niiden kiinnittämiseen käytetyissä liimoissa kemiallista hajoamista. VOC yhdisteitä voi päästä sisäilmaan myös uusista rakennusmateriaaleista niin sanottuina primääripäästöinä. Formaldehydiä voi vapautua sisäilmaan kosteuden ja lämpötilan vaikutuksesta esimerkiksi lastulevyistä, parketeista tai laminaateista. Mineraalikulut voi päästä sisäilmaan esimerkiksi rikkoutuneista tuloilmajärjestelmän äänenvaimentimista.

Työssä tutkittiin yleisimpiä korjausmenetelmiä, joilla voidaan parantaa sisäilman laatua, sekä rakenteiden yleisimpiä vauriotapoja. Tutkittaviksi korjausmenetelmiksi ja kohteiksi on valittu tiivistyskorjaukset, maanvastaiset laatat, ryömintätilaiset alapohjat, maanvastaiset seinät sekä lattiapinnoitteiden vauriot.

Tiivistyskorjauksia voidaan käyttää, jos rakennuksen sisäilmaan pääsee vaipan epätiivelyskohdista epäpuhtauksia. Yleisempiä tiivistyskorjausten kohteita ovat betonin kuivumiskutistumasta aiheutuneiden rakojen ja liikuntasaumojen tiivistäminen, sekä eri rakenneliittymien ja läpivientien tiivistäminen.

Maanvastaisista laatoista on käytetty yleisesti kolmea eri rakennetyyppiä koulurakennuksissa. Käytetyt rakennetyypit ovat kaksoisbetonilaatta, puukorotettu lattia ja normaali alapohjalaatta. Kaikkien maanvastaisien laattojen ja ryömintätilaisen alapohjan korjaukset perustuvat siihen, että rakenne muutetaan kosteusteknisesti paremmin toimivaksi. Rakenteisiin tulevaa kosteusrasitusta voidaan esimerkiksi pienentää muotoilemalla maanpintaa siten, että sadevedet valuvat rakennuksesta pois päin.

Maanvastaisten tiili-villa-betoni seinien ongelma on maaperästä tuleva kosteusrasitus. Myös sisäilman kosteus saattaa aiheuttaa ongelmia villan ja betonin rajapinnassa. Maanvastaiset seinien ongelmat voidaan korjata tiivistyskorjauksilla, tai muuttamalla rakenne ulkopuolelta lämmöneristetyksi. Korjaustavan valinnassa täytyy miettiä, että mikä käyttöikä korjaukselle ja rakennukselle halutaan. Tiivistyskorjaus on rakenteen perusteellista korjausta halvempi, mutta se ei ole välttämättä yhtä pitkäikäinen.

Lattiapinnoitteiden vauriot syntyvät, jos suhteellinen kosteus pääsee kasvamaan betonin ja lattianpinnoitteen rajapinnassa riittävän suureksi. Tällöin Betonin alkalisuus yhdessä kosteuden kanssa aiheuttaa päällystemateriaaleissa, ja niiden kiinnittämiseen käytetyissä liimoissa kemiallista hajoamista. Lattiapinnoitteiden vauriot korjataan poistamalla vanha lattianpinnoite, jonka jälkeen tasoite mahdollisesti jyrsitään pois. Tämän jälkeen, kun on varmistettu, että betonilaatan suhteellinen kosteus on tarpeeksi matala, eikä siinä ole VOC-yhdisteitä, voidaan lattia päällystää uudelleen.

Sisäilmakorjausten onnistumisen kannalta on ensiarvoisen tärkeää selvittää, että mistä sisäilman huono laatu johtuu. Tällöin tilojen käyttäjille voidaan teknisen riskiarvion yhteydessä jakaa käyttäjäkyselyitä, joilla kartoitetaan, että missä tiloissa käyttäjät oireilevat. Lisäksi teknisessä riskiarviossa pyritään tunnistamaan riskirakenteita piirustusten perusteella. Käyttäjäkyselyiden ja teknisen riskiarvion avulla kuntotutkimuksia voidaan kohdentaa tietyille alueille.

Kartoitusten ja kuntotutkimusten tarkoituksena on määrittää sisäilmaongelmien mekanismit ja antaa korjausten suunnitteluun lähtötietoja. Korjausten onnistumisen kannalta on tärkeää, että kartoitukset ja kuntotutkimukset suoritetaan huolellisesti ja tarpeeksi laajasti. Tutkimuksia tekevän henkilön tulee myös olla pätevä, jotta tutkimukset saadaan kohdistettua oikeisiin kohtiin.

Kartoitusten ja kuntotutkimusten perusteella suunnittelija tekee korjaussuunnitelmat sisäilmaongelman korjaamiseksi. Korjaussuunnitelmien tulee huolellisesti laaditut, jotta korjausten tekijät pystyvät toimimaan niiden perusteella. Korjaussuunnitelmissa tulee esittää tiedot korjattavista rakenteista, korjausten laajuudesta, korjaustavasta, käytettävistä materiaaleista, laadunvarmistuksesta ja mallitöistä. Korjaustyöt tulee suorittaa korjaussuunnitelmien mukaisesti.

Työn jälkeisellä laadunvarmistuksella saadaan varmuus korjausten onnistumisesta. Korjausten laadunvarmistus voidaan toteuttaa esimerkiksi käyttäjäkyselyiden, merkkisavun, merkkiainekokeen tai mikrobinäytteiden avulla. Laadunvarmistusmenetelmät tulee määrittellä korjaussuunnittelun yhteydessä.

Tässä työssä perehdyttiin ainoastaan sisäilmaongelmiin, niiden korjausmenetelmiin ja korjausprosessiin sekä laadunvarmistukseen. Aihetta olisi tarpeellista tutkia lisää. Mahdollisissa jatkotutkimuksissa olisi hyvä haastatella rakennusliikkeiden edustajia, jotka ovat olleet mukana suorittamassa onnistuneita sisäilmakorjauksia.



## LÄHTEET

- [1] S. Mölsä, Miksi koulut homehtuvat Suomessa? – asiantuntijat vastaavat. Rakennuslehti, 2016, Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2016/04/miksi-koulut-homehtuvat-suomessa-asiantuntijat-vastaavat/>.
- [2] Puolueetonta tietoa sisäilmasta. Sisäilmayhdistys. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi>.
- [3] V. Asikainen, S Peltola. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Opetushallitus, 2008. Saatavissa: <https://docplayer.fi/24510420-Sisailmaongelmaisten-koulurakennusten-korjaaminen.html>.
- [4] M. Pitkäranta. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöministeriö, 2016. Saatavissa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO\\_2016\\_Kuntotutkimusopas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO_2016_Kuntotutkimusopas.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [5] T. Meklin. et al. Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot. Kansanterveyslaitos, 2007. Saatavissa: [https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/78159/Meklin\\_Koulurakennukset-Opas%20KTL-2007.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/78159/Meklin_Koulurakennukset-Opas%20KTL-2007.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [6] T. Merikallio. et al. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Helsinki: Suomen betonitieto; 2007. Saatavissa: <https://betoni.com/wp-content/uploads/2021/02/betonilattiarakenteiden-kosteudenhallinta-ja-paallystaminen-2007.pdf>.
- [7] K. Laine. Rakenteiden ilmatiivyyden parantaminen osana onnistunutta sisäilmakorjausta, Rakentajain kalenteri 2015, Rakennustietosäätiö RTS. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK150504.pdf>.
- [8] Riskirakenne. Raksystems. Saatavissa: <https://raksystems.fi/sanasto/riskirakenne/>.
- [9] E. Salo, Alipaineistusmenetelmä sisäilmakorjauksissa, Rakentajain kalenteri 2015, Rakennustietosäätiö RTS. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK150506.pdf>.
- [10] P. Metiäinen, Oirekyselyt asuntojen PVC-muovimatoilla päällystettyjen betonilattojen sisäilmahaittojen ratkaisijana, Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisu 9/2009, Helsingin kaupungin ympäristökeskus, Helsinki 2009, 87 s. Saatavissa: <https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu09-09.pdf>.
- [11] RT 14-11197 Rakenteiden ilmatiivyyden tarkastelu merkkiainekokein, Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS 2015, 16 s. Saatavissa: <https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/kortit/RT%2014-11197>.