

Opinnäytetyö

Rakennustekniikka, insinööri AMK

2021

Teemu Lagström

RAKENNUSTEN SISÄILMAONGELMAT JA KOSTEUSVAURIOIHIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

– Turun Lyseon koulun kuntotutkimus

Teemu Lagström

RAKENNUSTEN SISÄILMAONGELMAT JA KOSTEUSVAURIOIHIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

–Turun Lyseon koulun kuntotutkimus

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää kosteus- ja mikrobivaurioihin vaikuttavia tekijöitä ja työssä tarkastellaan myös terveydellisiä vaikutuksia ihmisiin. Työn tavoitteena on yksityiskohtaisesti tarkastella koulurakennuksissa tehtyjä puutteellisia rakennusratkaisuja sekä toimenpiteitä, joilla näitä ongelmia voidaan korjata.

Opinnäytetyö jakautuu kahteen osaan. Teoriaosio koostuu kirjallisuuskatsauksesta, jossa käsitellään sisäilmaan vaikuttavia tekijöitä ja sisäilmaongelmien aiheuttamia terveyshaittoja ihmisille sekä rakennusten kosteusteknistä toimintaa. Tärkeimpinä lähteinä kirjallisuuskatsauksessa on käytetty uusinta Rakennusinsinööriliiton opasta kosteuden hallintaan ja homevaurioiden estämiseen sekä Sisäilmayhdistyksen artikkeleita. Toisessa osiossa käsitellään tapaustutkimuksena Turun Lyseon koulun kosteusteknistä kuntotutkimusta.

Tapaustutkimuksessa analysoitiin kohteessa tehtyä kuntotutkimusta ja niissä tehtyjä havaintoja. Rakennuksen käyttäjät olivat aiemmin ilmoittaneet huonosta sisäilmasta. Kuntotutkimuksen aikana havaittiin useita rakennusteknisiä puutteita, jonka seurauksena rakennukseen oli pitkän ajan myötä kertynyt suurta kosteusrasitusta. Mittavimmat kosteus- ja mikrobivaurioituneet rakenteet havaittiin rakenneavausten myötä ja suoraviljelynäytteiden avulla vahvistettiin homeitiöiden ja mikrobien kasvaminen rakenteissa.

Kuntotutkimusten tulosten pohjalta tehtiin toimenpide-ehdotukset, jotka jaettiin nopealla aikataululla tehtäviksi ja peruskorjauksen yhteydessä tehtäviksi. Kohteessa tehty kuntotutkimus on suoritettu perusteellisesti ja tuloksena tehty kattava lista suositeltavia korjaustoimenpiteitä, joiden avulla rakennuksen sisäilmaa saadaan parannettua.

ASIASANAT:

sisäilma, kosteusvaurio, mikrobivaurio, kosteustekninen toiminta, riskirakenteet

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Construction engineering

2021 | 62

Teemu Lagström

INDOOR AIR PROBLEMS IN BUILDINGS AND FACTORS AFFECTING MOISTURE DAMAGE

- A condition survey of Turku Lyseo school

The aim of the thesis was to determine the factors affecting moisture- and microbial damage, as well as their health effects on people. In addition the aim is to examine deficient building solutions made in schools and the measures that can be made to remedy these problems.

The thesis is divided into two parts. The theoretical part deals with the factors affecting indoor air, the health effects of indoor air problems on people and the technical properties of moisture in the buildings. The most important sources are the latest guide about moisture management and the prevention of mold damage from the Finnish Association of Civil Engineers as well articles from the Indoor Air Association. The second section is a case study on the condition survey of Turku Lyseo school.

The condition survey conducted at the site and the findings made are analyzed in the case study. Users of the building had previously reported deteriorating indoor air. During the survey study, several construction technical deficiencies were identified, as a result of which the building had accumulated high humidity over a long period of time. The largest moisture and microbial damaged structures were observed with structural openings, and the growth of mold spores and microbes in the structures was confirmed by direct culture samples.

Based on the results on the condition surveys, reparation proposals were made, which were divided into tasks to be carried out on a quick schedule and tasks to be carried out together with the basic renovation. The condition study carried out at the site has been done thoroughly and the result are a comprehensive list of recommended remedial measures to improve the indoor air of the building.

KEYWORDS:

indoor air, moisture damage, microbial damage moisture technical properties, risk structures

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	8
2 SISÄILMAONGELMAT	9
2.1 Sisäilman määritelmä	9
2.2 Yleiset sisäilmaongelmat	9
2.3 Sisäilman epäpuhtauksia	11
2.3.1 Hiukkaset	11
2.3.2 Mikrobit	12
2.3.2.1 Altistuminen mikrobeille	12
2.3.3 Formaldehydi	13
2.3.4 Ammoniakki	13
2.3.5 Styreeni	13
2.3.6 Radon	14
2.3.7 Hiilimonoksidi	15
3 RAKENNUKSEN KOSTEUSTEKNINEN TOIMINTA	16
3.1 Rakennuksen kosteuslähteet	16
3.1.1 Sisäiset kosteuslähteet	17
3.1.2 Ulkoiset kosteuslähteet	18
3.2 Rakenteiden kosteuteen vaikuttavat mekanismit	19
3.2.1 Kapillaari-ilmiö	19
3.2.2 Veden painovoimainen siirtyminen	20
3.2.3 Diffuusio	21
3.2.4 Konvektio	22
4 TYYPILLISET RISKIRAKENTEET	25
4.1 Riskirakenteiden määritelmä	25
4.2 Perustukset, salaojat ja alapohjarakenteet	25
4.3 Seinärakenteet	27
4.4 Yläpohjarakenteet	29
5 HOME JA KOSTEUSVAURIOD	31
5.1 Kosteusvaurion tunnistaminen	31

5.2 Kosteusvaurioiden vaikutukset terveyteen	34
6 TURUN LYSEON KOULUN SISÄILMAONGELMAT	38
6.1 Tapaustutkimus	38
6.2 Kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus	38
6.3 Tutkimusmenetelmät	41
6.3.1 Sisäilman mittaukset	41
6.3.2 Ilmanvaihtotutkimukset ja tulokset	43
6.3.3 Rakennetutkimukset	46
6.4 Toimenpide-ehdotukset	53
7 YHTEENVETO	57
LÄHTEET	60

KUVAT

Kuva 1. Kuntien raportoimia sisäilmaongelmien yleisimpiä syitä.	10
Kuva 2. Rakennusten kosteuslähteitä.	17
Kuva 3. Vesihöyryn diffuusion periaate	22
Kuva 4. Kosteuskonvektion aiheuttama kosteusriski puurunkoisessa seinärakenteessa. Ilman virtauksen kulkusuunta havainnollistettu punaisella nuolella.	24
Kuva 5. Perustus- ja alapohjarakenteiden yleisimpiä riskirakenteita.	26
Kuva 6. Mikrobikasvustoa kerroksellisen rakenteen sisällä.	32
Kuva 7. Kosteusvauriojälkiä huonetilan sekä suljetun komeron kattopinnassa.	32
Kuva 8. Lahovaurioita betonirakenteisen ryömintätilan alapohjan muottilaudoituksessa.	33
Kuva 9. a) vuotoveden aiheuttamaa värjäytymää kattolevyssä b) kalkkihärmettä putkitunnelin lattialla c) tuloilmasuihkun aiheuttamaa likaantumista katon akustointimateriaalissa d) lämpöpatterin aiheuttaman ilmavirtauksen aiheuttamaa likaantumista seinäpinnassa.	34
Kuva 10. Turun Lyseon koulurakennuksen pohjakuva, 1. kerros.	39
Kuva 11. Turun Lyseon koulurakennuksen pohjakuva, 2. kerros.	40
Kuva 12. Turun Lyseon koulurakennuksen pohjakuva, 3. kerros.	40
Kuva 13. Paine-ero mittaukset.	42
Kuva 14. Ilmanvaihtokoneen tulokammiossa esiintyvää veden lammikoitumista sekä pieniä määriä orgaanista ainetta.	44
Kuva 15. Ilmanvaihtokonehuoneen lattiakaivo tukkeutunut.	45
Kuva 16. Rakennuksen viereiset maanpinnan kallistukset puutteelliset. Asfaltin pinnalla sokkelin vieressä merkkejä veden lammikoitumisesta.	46

Kuva 17. Salaojaputki hienojakoisen maa-aineksesen ympäröimänä. Salaojituksen korkeusasema virheellisesti anturanpinnan yläpuolella.	47
Kuva 18. a) Ruostejälkiä alkuperäisen peltikatteen pinnoilla. b) Alkuperäisen vesikatteen sauma- ja liitoskohtia paikattu useasta eri kohtaa.	49
Kuva 19. Ulkoseinän eristevillan suoraviljelyn tulos.	53

TAULUKOT

Taulukko 1. Eri rakennusten kosteus- ja homevaurioiden esiintyvyys sekä sisäilmaongelmille altistuvien henkilöiden määrät kyseisessä rakennuksissa.	11
Taulukko 2. Eri maalajien kapi	20
Taulukko 3. Loivien kattojen suositukset tuuletustilojen korkeuteen.	30
Taulukko 4. Oireita ja sairauksia, joita mikrobeille altistuminen voi aiheuttaa.	36
Taulukko 5. Turun Lyseon koulun porareikämittausten tuloksia.	50
Taulukko 6. Suoraviljelynäytteiden tulkinta tutkitusta materiaalista.	51
Taulukko 7. Materiaalien mikrobinäytteiden tulokset.	52

KÄYTETYT LYHENTEET

FLEC	emittoituvat haihtuvat orgaaniset yhdisteet
IgE	immunoglobuliini E
TSP	kokonaisleijuma
VOC	haihtuvat orgaaniset yhdisteet

1 JOHDANTO

Rakennuksien kosteus- ja mikrobivauriot ovat rakentamisen ja kiinteistönpidon suurimpia laatuongelmia. Ongelmat eivät ole vain teknistaloudellisia vaan ne voivat vaikuttaa haitallisesti myös ihmisten terveyteen. Kosteus- ja homeongelmiin vaikuttavat monet eri tekijät. Ongelmia syntyy, kun hankkeen ohjauksessa, suunnittelussa, rakentamisvaiheessa, rakennuksen ylläpidossa tai rakennuksen käytössä on tehty virhe. Ongelmia syntyy myös, jos on tapahtunut laiminlyönti tai rakennukseen on syntynyt vaurio, jota ei ole asiallisesti hoidettu. Kosteus- ja homevaurioiden syyt ovat usein monen tekijän summia. (RIL 250-2020, 3–12.)

Kosteus- ja homeongelmat aiheuttavat haasteita rakentamiselle ja kiinteistöpidolle vuodesta toiseen. Rakentamisen taso ja kosteudenhallinnan sisällön sekä tärkeyden ymmärtämien on yleisesti ottaen hyvä, mutta puutteita, virheitä sekä huonoa laatua esiintyy edelleen liian laajasti. Kosteusteknisesti oikein toimivan ja kosteusvarman rakennuksen saavuttamiseksi tulee kosteudenhallintaan kiinnittää huomiota jo prosessin alkuvaiheessa. Huolellisella ja asiantuntevalla suunnittelulla, huolellisella toteutuksella ja riittävän kattavalla valvonnalla voidaan minimoida kosteus- ja homevaurioiden riskit rakennuksissa. Tarkoilla kosteudenhallintatoimenpiteillä voi olla suunnittelu- ja rakennuskustannuksia nostava vaikutus. Tämä kustannuslisä on yleensä marginaalinen saavutettavaan hyötyyn verrattuna: näin estetään ongelmia ja säästetään suuria kustannuksia käytön sekä ylläpidon aikana. (RIL 250-2020, 12–16.)

Opinnäytetyön aiheena on selvittää kosteus- ja mikrobivaurioihin vaikuttavia tekijöitä sekä niiden terveydellisiä vaikutuksia ihmisiin. Opinnäytetyössä käsitellään myös tapaustutkimuksena Turun Lyseon koulun kosteusteknistä kuntotutkimusta. Opinnäytetyön tavoitteena on esitellä ja kartoittaa rakennusten sisäilmaongelmia rakennusteknisesti rakenteiden kosteusvaurioitumisen näkökulmasta ja tuoda esille niiden vaikutuksia rakennusten käyttäjiin. Tapaustutkimuksen avulla on tavoitteena tarkastella yksityiskohtaisemmin koulurakennuksissa tehtyjen puutteellisten rakennusratkaisujen lisäksi toimenpiteitä, joilla näitä ongelmia voidaan korjata.

2 SISÄILMAONGELMAT

2.1 Sisäilman määritelmä

Sisäilmalla tarkoitetaan sisätiloissa hengitettävää ilmaa. Sisäilma saattaa sisältää ilman perusosien lisäksi eri lähteistä olevia hiukkasmaisia tai kaasumaisia epäpuhtauksia. Yleisesti sisäilma määritellään rajautuvaksi rakenteiden sisäpuolelle jäävään ilmaan. Sisäilmasto koostuu sisäilmasta sekä siihen vaikuttavista fyysisistä tekijöistä. Erilaisia sisäilmastoon vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa sisäilmassa olevat kaasumaiset yhdisteet sekä hiukkasmaiset epäpuhtaudet, lämpötila, kosteus, ilman oma liike, säteily, valaistus ja melu. (Sisäilmayhdistys ry 2008d, 29.)

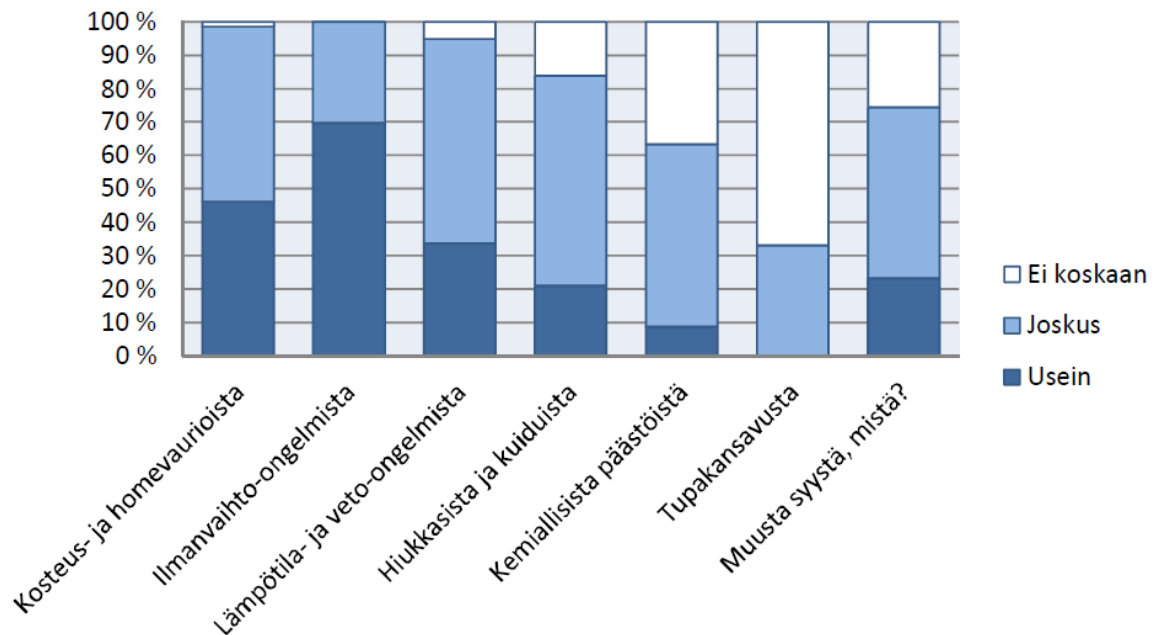
Rakennuksen hyvä sisäilma on tärkeää, sillä ihminen viettää noin 90 % ajastaan sisätiloissa ja hengittää yhdessä vuorokaudessa jopa 40 kuutiometriä ilmaa (Sisäilmayhdistys ry 2008d). Laadukas sisäilma on yleensä tuoksultaan neutraalia sekä miellyttävää ilmakehää ja lämpötilaltaan. Laadukas sisäilma tukee toimintakykyä ja terveyttä. (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2020.)

2.2 Yleiset sisäilmaongelmat

Kemialliset, biologiset ja fyysiset tekijät vaikuttavat sisäilman laatuun. Näiden vaikutusten vuoksi viihtyvyys sisätiloissa heikkenee ja myös mahdolliset oireet ovat mahdollisia. Sisäilmaa heikentäviä tekijöitä voi kantautua sisäilmastoon maaperästä, ulkoilmasta, ja rakennuksen eri rakenteista. Rakennus- ja sisustusmateriaalit voivat olla aiheuttavia tekijöitä epäpuhtauksien muodostamisessa sisäilmaan. (Hengitysliitto 2021b.)

Useimmiten kuntien kiinteistöjen sisäilmaongelmat johtuvat riittämättömästä ilmanvaihdosta. Muita usein esiintyneitä sisäilmaongelmien aiheuttajia ovat kosteus- ja homevauriot sekä lämpötila- ja veto-ongelmat (kuva 1).

Mistä kuntien kiinteistöjen sisäilmaongelmat ovat aiheutuneet viimeisen 5 vuoden aikana?



Kuva 1. Kuntien raportoimia sisäilmaongelmien yleisimpiä syitä (Valtionneuvoston kanslia 2017).

Kosteusvauriot ja home-ongelmat koskettavat useita rakennuksia ja ihmisiä. Työterveyslaitos on arvioinut, että vuosittain kosteus- ja homevaurioiden aiheuttamille epäpuhtauksille altistuu noin 750 000 ihmistä. Taulukosta 1 käy ilmi, että prosentuaalisesti eniten kerrosalasta esiintyy kosteus- ja homevaurioita hoitolaitoksissa. Kouluissa ja päiväkodeissa kosteus- ja homevaurioiden esiintyvyys kerrosalasta on pienempi kuin hoivalaitoksissa, mutta altistuvien määrä on huomattavasti suurempi. (Valtionneuvoston kanslia 2017.)

Taulukko 1. Eri rakennusten kosteus- ja homevaurioiden esiintyvyys sekä sisäilmaongelmille altistuvien henkilöiden määrät kyseisessä rakennuksissa (Valtionneuvoston kanslia 2017).

Rakennuksen käyttötarkoitus	Osuus kerrosalasta, %	Altistuvien määrä	Arviot kosteusvaurioiden korjauskustannuksista, milj. €
Koulut ja päiväkodit	12–18	172 000 - 259 000	212 – 318
Hoitolaitokset	20 - 26	36 000 - 46 800 *	605 – 693
Toimistot	2,5 - 5	27 500 - 55 000	46 – 92
Yhteensä	34,5 - 49	235 500 - 361 000	863 – 1 103

*ei sisällä potilaiden / asukkaiden määrää

2.3 Sisäilman epäpuhtauksia

2.3.1 Hiukkaset

Sisäilmaan voi päätyä hiukkasia useista eri lähteistä, joita ovat muun muassa ihmisten toiminnasta syntyvät hiukkaset, tilojen materiaalit sekä ulkoilmasta sisään siirtyvät hiukkaset. Ulkoilmasta sisälle päätyviä hiukkasia ovat esimerkiksi liikenteen ja teollisuuden päästöt, katupöly sekä luonnon pölyt. (Meklin ym. 2007, 35.)

Sisäilman hiukkaset voidaan jaotella koon perusteella kolmeen ryhmään: kokonaisleijumaan (TSP), hengitettäviin hiukkasiin, sekä pienhiukkasiin. TSP tarkoittaa kaikkia ilmassa leijuvia hiukkasia ja niiden massasta suurin osa on karkeaa pölyä. Hengitettävät hiukkaset ovat halkaisijaltaan alle 10 µm ja pienhiukkaset ovat halkaisijaltaan alle 2,5 µm kokoisia. Suuret hiukkaset eivät jää sisäilmassa leijumaan ilmaan, vaan laskeutuvat lattialle sekä muille tasopinnoille. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003, 70.)

Sisäilman hiukkaspitoisuus kannattaa mitata, jos asunnon sisäilmaan epäillään kulkeutuvan ulkoa huomattavia määriä hiukkasia tai asunnossa on sisälähteitä, joista sisäilman hiukkasmäärä voi nousta korkeaksi. Sisäilman hengitettävien hiukkasten (halkaisija alle 10 µm) pitoisuus 24 tunnin mittauksen aikana saa olla enintään 50 µg/m³ ja pienhiukkasten (halkaisija alle 2,5 µm) pitoisuus 24 tunnin mittauksen aikana saa olla enintään 25 µg/m³ (Sosiaali- ja terveysministeriö 2015).

2.3.2 Mikrobit

Mikrobikasvu koostuu erilaisista pieneliöistä. Nämä pieneliöt ovat homesienet, hiivat ja bakteerit. Mikrobeja esiintyy ulkoilmassa yhdessä muiden sisäilmalle haitallisten organismien kanssa. Näitä siirtyy myös rakennuksen sisäilmaan esimerkiksi tuloilman kautta. Tämän seurauksena sisäilmassa ja sisäilman vaikutuksen alaisena olevilta pinnoilta löytyy aina tietty määrä mikrobeja. Vaikka mikrobeja on sisäilmassa ja rakennuksen eri pinnoilla, eivät ne ole haitallisia niin kauan kun mikrobit eivät pääse kasvamaan. Rakenteessa oleva mikrobi vaatii riittävän määrän kosteutta, jotta mikrobien kasvaminen on mahdollista. Tämän takia lähes aina kosteusvaurioihin liittyy mikrobikasvua. Mikrobien kasvu voi tapahtua millä tahansa sisustus tai rakennusmateriaalilla kun materiaalit ovat kosteita. Erityisesti koulurakennuksissa, joissa on tapahtunut kosteusvaurio ilmenee seuraavia mikrobeja sisäilmassa tai rakennuksen pinnoilla; Acremonium, Eurotium, Trichoderma, Wallemia, Aspergillus versicolor, Stachybotrys, Exophiala, Aktinomykeetit. (Meklin ym. 2007, 14–15.)

2.3.2.1 Altistuminen mikrobeille

Mikrobikasvusto aiheuttaa epäpuhtauksia sisäilmaan, jotka ovat muodoltaan hiukkasmaisia ja kaasumaisia. Osa bakteereista ja homesienistä muostavat itiöitä, joiden hiukkaskoko on tavallisesti kooltaan 1–10 µm. Kooltaan pienemmät itiöt ovat ilmassa pidemmän aikaa ja tällöin ne kulkeutuvat syvemmälle hengitysteihin. Suurempikokoiset itiöt eivät yleensä kulje niin pitkälle hengitysteihin, sillä ne laskeutuvat pinnoille nopeammin. Mikrobien kasvaessa muodostuu aineenvaihduntatuotteita, joita ovat muun muassa haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Kyseiset yhdisteet on mahdollista tunnistaa niiden muodostamasta homeen tai maakellarin hajusta. Mikrobien kasvaessa muodostuu myös ei haituvia yhdisteitä, näistä monet ovat toksiineja eli myrkyllisiä yhdisteitä. Mikrobikasvustosta irtoavia hiukkasten mukana edellämainittuja yhdisteitä voi joutua sisäilmaan. Kaikille edellämainituille yhdisteille altistuminen voi aiheuttaa terveyshaittoja. (Meklin ym. 2007, 15–16.)

2.3.3 Formaldehydi

Formaldehydi on väritön kaasu, joka on orgaaninen yhdiste. Yleisimmin sisäilmassa oleva formaldehydi on peräisin lastulevyissä käytettävästä liima-aineesta ureaformaldehydistä. Muita formaldehydin lähteitä rakennuksen sisäilmaan on maalit, lakat, pinnoitteet, tupakansavu ja kosmetiikkatuotteet. Korkea kosteusprosentti rakennuksen sisäilmassa voi lisätä formaldehydipäästöjen määrää. Materiaalien kastuminen on myös yksi päästöjä kasvattava tekijä. Formaldehydipäästöjä vanhoissa rakennuksissa esiintyy lastulevyistä tehdyistä rakenteista. Tämänkaltaisia rakenteita voidaan joutua purkamaan päästöjen hillitsemiseksi sisäilmassa. Suuria formaldehydipitoisuuksia voi olla myös huonekaluissa, joista voi joutua hankkiutumaan eroon päästöjen pienentämiseksi.

Raja-arvo formaldehydipitoisuuden vuosikeskiarvolle sisäilmassa on Asumisterveysasetuksen (STM 2015) mukaan $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lyhyemmän altistumisen rajana on 30 minuutin aikana $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Jopa pienemmätkin formaldehydipitoisuudet sisäilmassa aiheuttavat silmien ja ylähengitysteiden ärsytystä. (Hengityслиitto 2021a.)

2.3.4 Ammoniakki

Ammoniakki on kaasu, joka on huoneenlämmössä väritön. Ammoniakille tunnusomaisia piirteitä on sen helposti tunnistettava pistävä haju. Orgaanista materiaalia sisältävä taasoite alkaa kosteuden seurauksena hajoamaan ja tämän seurauksena esiintyy tavallisesti ammoniakkia sisäilmassa. Ihminen itsessään on yksi ammoniakin lähde sisäilmaan. Ihmisen omat eritteet yhdessä mahdollisten lemmikkieläinten eritteiden kanssa lisäävät ammoniakin määrää sisäilmassa. Myös tupakointi ja ammoniakkia sisältävien tuotteiden, kuten puhdistustuotteiden käyttö sisätiloissa mahdollistaa ammoniakin muodostumisen sisäilmaan. Sisäilmassa oleva ammoniakki aiheuttaa silmien ja limakalvojen ärsytystä. (Sisäilmayhdistys ry 2008a.)

2.3.5 Styreeni

Styreeni on väriltään läpinäkyvää nestemäistä ainetta, joka haihtuu helposti ja on herkästi palavaa. Styreeniä käytetään enimmäkseen liuotinaaineena teollisuudessa. Styreenin aiheuttamat haitat terveydelle on sidekalvotulehdukset silmissä, ärsytys

hengitysteiden limakalvoilla ja ihoärsytykset. Muita terveyshaittoja altistumisella on keskushermoston eri häiriöt, kuten masennus, päänsärky ja väsymys. Sisäilman styreenipitoisuus ei saa ylittää $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Styreenin pistävä haju pystytään havaitsemaan, kun pitoisuus on $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. (Chen ym. 2006.)

Styreeniä voidaan pitää melko uutena sisäilmaan negatiivisesti vaikuttavana aineena. Se on myös aiheuttanut vaikeitakin yksittäisiä sisäilmaongelmia eri osissa maailmaa. Normaalisti rakennuksen sisäilman styreenipitoisuudet ovat hyvin pieniä. Tapauksissa, joissa pitoisuudet ovat olleet korkealla tasolla, on käytetty virheellisesti polyesterihartsipohjaista rakennusmateriaalia. (Sisäilmayhdistys ry 2008a.)

2.3.6 Radon

Radon on radioaktiivista ja hajutonta kaasua. Sitä ei myöskään kykene näkemään, vaikka sitä esiintyisi sisäilmassa. Näkymättömän olomuotonsa vuoksi radonpitoisuuden selvittäminen sisäilmasta pitää tehdä mittaamalla. Radonin pääsy sisäilmaan on mahdollista ennakoida jo rakennusvaiheessa. Mikäli sisäilmassa radonpitoisuuksia kuitenkin mitataan, on olemassa esimerkiksi radonimuri, jolla pitoisuutta saadaan pienennettyä sisäilmasta. Rakennuksen alapuolella olevaa maaperää voidaan pitää radonin suurimpana lähteenä. Radonkaasu pääsee rakennuksen sisäilmaan perustuksissa sijaitsevien pienten kolojen ja rakojen lävitse. (Säteilyturvakeskus 2021.)

Radonpitoisuuksia on mitattu pohjoismaissa erilaisissa rakennuksissa, kuten toimistojen, päiväkotien, koulujen ja asuntojen sisäilmasta. Tutkimustuloksista selviää se, että radonpitoisuudet Suomessa ovat asunnoissa $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$ luokkaa. Ruotsin ja Norjan mittaustulokset radonpitoisuudelle ovat hyvin lähelle samaa mitattua tulosta Suomen kanssa. Ruotsissa mittaustulokset ovat olleet $90 \text{ Bq}/\text{m}^3$ ja Norjassa $110 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Tanskan mittaustulokset radonille ovat hyvin paljon pienemmät ($50 \text{ Bq}/\text{m}^3$). Islannissa maaperän vulkaanisten ominaisuuksien takia radonpitoisuudet ovat hyvin pieniä. Islannissa tehdään myös mittauksia vähemmän. Radonpitoisuuden toimenpideraja-arvo sisäilmassa on $200 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Suomessa tämän raja-arvon ylitti noin 200 000 asuntoa vuonna 2009. Ruotsissa ylitys oli reilusti suurempi yhteensä 450 000 asuntoa. Muiden pohjoismaiden toimenpiderajat ylittyivät Norjassa 170 000 asuntoa ja 65 000 asuntoa Tanskassa. Suuremman toimenpiderajan $400 \text{ Bq}/\text{m}^3$ ylitti Suomessa 60 000 asuntoa ja vain 5 000 asuntoa Tanskassa ylitti tämän toimenpiderajan. (Haverinen-Shaughnessy ym. 2020, 14.)

Radonpitoisuudet sisäilmassa ovat Suomessa korkeammalla tasolla kuin useampien muiden maiden tulokset ovat. Suuremmat radonpitoisuudet selittyvät geologisista, rakennusteknisistä ja ilmastollisista seikoista. Suurimmat radonpitoisuudet Suomessa ovat Etelä-Suomessa ja Pirkanmaalla.

Maaperän ollessa tiivistä savimaata on radonpitoisuus hyvinkin pientä. Maaperästä nousevan radonin lisäksi on myös mahdollista, että esimerkiksi rakennuspaikan täyttösora voi aiheuttaa radonpitoisuuksia sisäilmaan. Myös täyttösoran raekoko vaikuttaa päästöjen kulkeutumiseen. Suuremmalla raekoolla oleva täyttösora päästää radonvuotoa helpommin lävitse. On myös mahdollista, että sisäilmassa oleva radon on peräisin rakennusmateriaaleista tai talousvedestä, joka tulee asuntoon porakaivosta. Lämpötilaerot rakennuksen sisä- ja ulkopuolella vaikuttavat myös radonpitoisuuden määrään sisäilmassa. Maaperästä kulkeutuvaa radonia virtaa sisäilmaan enemmän lämpötilaeron ollessa suuri. Tämän seurauksena radonpitoisuudet sisäilmassa ovat erilaisia eri vuodenaikoina. Radon kulkeutuu hengitettynä keuhkoihin ja suuren säteilyannoksen seurauksena on riski sairastua keuhkosityöpään. Riski sairastua keuhkosityöpään radonin vuoksi kasvaa sen mukaan mitä suurempia aikoja radonpitoisessa tilassa vietetään aikaa. Radon on yksi merkittävimmistä riskeistä sairastua keuhkosityöpään heti tupakoinnin jälkeen. (Kojo ym. 2017, 3.)

2.3.7 Hiilimonoksidi

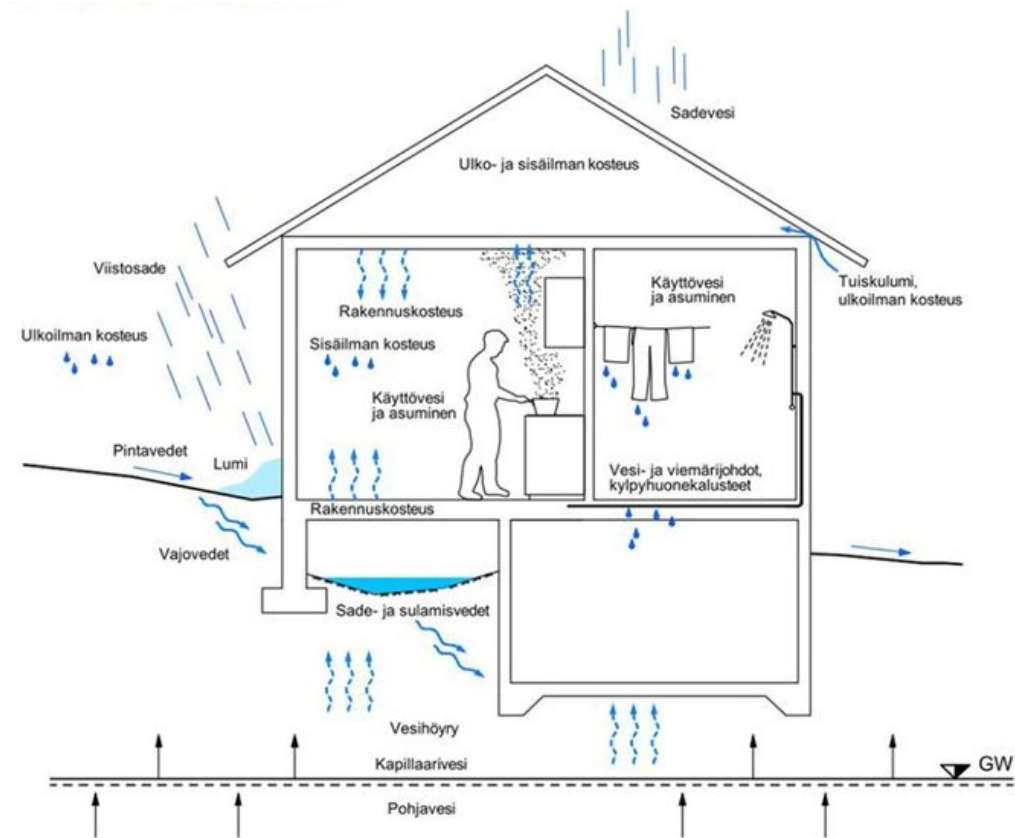
Hiilimonoksidilla tarkoitetaan häkää, joka muodostuu hiiltä sisältävien eri aineiden epäpuhtaan palamisen johdosta. Hiilimonoksidin lähteitä sisäilmassa on muun muassa liikenteen pakokaasut, uunit, takat ja kaasuliedet. Myös tupakointi sisätiloissa muodostaa hiilimonoksidia sisäilmaan. Hiilimonoksidin vaarallisuus ihmisille perustuu sen sitoutumiskykyyn veren hemoglobiinin kanssa. Tämän seurauksena veren luontainen kyky kuljettaa happea kudoksiin heikentyy. Sisäilmassa olevan hiilimonoksidin myrkytystilan oireita ovat päänsärky, hengenahdistus ja pahoinvointi. Vakavimmissa hiilimonoksidimyrkytyksissä se voi koitua jopa kuolemaksi. (Valvira 2016.)

Raja-arvona hiilimonoksidipitoisuudessa pidetään $7\text{mg}/\text{m}^3$, jota ei pidä ylittää. Mikäli epäillään sisäilman sisältävän eri ajoneuvojen pakokaasuja läheiseltä liikenneväylältä tai tieltä on hiilimonoksidin tutkiminen sisäilmasta aiheellista. On olemassa palovaroittimia, joissa on ominaisuutena myös hiilimonoksidin tunnistaminen sisäilmasta. (Valvira 2016.)

3 RAKENNUKSEN KOSTEUSTEKNINEN TOIMINTA

3.1 Rakennuksen kosteuslähteet

Rakennukseen kohdistuvat kosteuslähteet eivät saa kulkea rakenteissa haittaa aiheuttaen. Erillaisia ulkoisia ja sisäisiä kosteuslähteitä voi olla muun muassa vesihöyry, vesi, lumi ja jää (kuva 2). Ulkoisissa kosteuslähteissä veden ja lumen rasiukset eivät saa kulkeutua ovien tai ikkunoiden lävitse rakennukseen sisälle. Rakennus ja sen liitoksien tulee muodostaa sellainen kokonaisuus, jonka tehtävänä on pitää viistosateen ja tuulen rasiukset pois rakenteista. Myöskään rakennuksen pintaa pitkin ei saa kulkeutua kosteusrasituksia rakenteisiin. Rakennuksen sisä- ja ulkopuolella olevien pinnalta kastuvien rakenteiden pitää kestää nämä rasiukset. Rakenteet joihin kohdistuu satunnaisia rasiuksia kosteuden kanssa on suunniteltava niin, että kosteuden on mahdollista poistua ilman aiheuttavaa haittaa rakenteelle. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 2017, 2 luku 5 §.)



Kuva 2. Rakennusten kosteuslähteitä (Mölsä 2017).

3.1.1 Sisäiset kosteuslähteet

Rakennuksen sisäisistä kosteuslähteistä siivoaminen on yksi kosteutta lisäävä tekijä rakenteissa. Siivouksessa käytettävä vesi aiheuttaa rakenteille kosteuskuorman, jonka pitää pystyä poistumaan, ettei rakennus vaurioidu. Lattioiden pesussa yleinen kosteusvaurioiden synty on pesuvesien pääsy rakenteiden sisään. Väliseiniin kohdistuva homevaurio on myös mahdollista, sillä pesuvesi ei pääse rakenteesta pois riittävän nopeasti. Suuren kosteusrasituksen rakenteille aiheuttaa märkätilat. Suihkutiloissa käytettävän veden määrä on satoja litroja. Tämä kaikki vesimäärä on poistuttava rakenteista ilman, että se aiheuttaa vaurioita. Osa suihkutilassa käytettävästä vedestä haihtuuikin ilmaan, jonka seurauksen rakennuksen sisäilman kosteuspitoisuus nousee.

Pesutiloissa olevien vedeneristyspintojen kautta poistuu suurin osa pesuvesistä viemäriverkostoon. Virheet ja puutteet vedeneristyksessä ovat yksi suurimmista syistä

kosteusvaurioiden syntymiseen pesutiloissa. Veden pääsy märkätiloissa olevien rakenteiden sisälle on kosteus- ja homevaurioiden muodostumisen syy, sillä vesi ei pääse riittävän nopeasti rakenteista pois. Vuodot rakennuksen vesiputkistoissa ovat myös kosteusvaurioiden aiheuttavia tekijöitä. Usein rakenteen vesiputkistot ovat piilossa rakenteiden sisällä, joten vuodon havaitseminen on vaikeaa. Vuodot putkistoissa aiheuttaa suurta vesivahinkoa, sillä vuotoa on voinut tapahtua pitkiä aikoja. Pitkäkestoisen vuodon aiheuttaman suuren kosteuden takia ja rakenteissa vallitsevan lämpötilan seurauksena erilaiset homevauriot ovat mahdollisia rakenteissa. (Sisäilmayhdistys ry 2008b.)

Sisäilmassa olevat kosteuslähteet muodostavat erilaisia kosteusrasituksia. Näitä rasituksia on muun muassa seuraavat (RIL 250-2020, 104.):

- sisäilman vesihöyryn diffuusio rakenteisiin ja rakenteiden sisäpinnan läpi
- sisäilman vesihöyryn konvektio rakenteisiin halkeamien ja muiden rakojen kautta ulospäin kulkevien ilmavirtauksien seurauksena
- märkätiloissa tiivistyneen kosteuden valuminen rakojen kautta rakenteisiin tai kapillaari-ilmiöllä siirtyvä kosteus rakenteisiin
- kylmien vesijohtojen pintaan tiivistynyt vesihöyry, joka johtaa kosteuden rakenteisiin

3.1.2 Ulkoiset kosteuslähteet

Rakennuksen yksi merkittävimmistä ulkoisista kosteuslähteistä on sade. Sademäärät Suomessa ovat noin 400 mm ja 750 mm:n välissä. Etelärannikko ja Itä-Suomi ovat alueita, joissa sateita ilmenee eniten. Rannikkoalueilla on tuulien aiheuttamat viistosateet suurimpia. Tuulen aiheuttamien virtauksien vuoksi vesipisarat voi myös siirtyä pintoja pitkin ylöspäin, joka on otettava huomioon rakenteita suunniteltaessa. Kova tuuli voi kuljettaa vesisateesta vettä myös rakenteiden sisään. Räystäsrakenteiden tuuletusraot yhdessä kattorakenteiden kanssa voivat olla paikkoja, joista vesi pääsee tuulen vaikutuksesta rakenteisiin. Suunniteltaessa räystääs- ja kattorakenteita on tämä otettava huomioon. (RIL 250-2020, 98.)

Lumi ja jää sulaessaan voi aiheuttaa kosteusvaurioita. Kattorakenteisiin päässyt pakkaslumi voi kulkeutua syvällekin ja sulaessa vesivahinkoja saattaa tapahtua yllättäviinkin paikkoihin. Sade tulee entistä useammin vuoroittain lumena ja vetenä, josta voi tulla rakennuksen kosteustekniselle toiminnalle ongelmia. Lumen jäädessä rakennuksen

seinärakenteisiin voi se kerätä kosteutta sitä ympäröiviin rakenteisiin. Jääpatojen muodostuessa on riskinä se, että vesi voi päästä rakenteiden sisälle tuuletusrakojen kautta. Rakennuspaikka yhdessä maaperän kosteuden kanssa altistavat kosteusrasituksille. Maaperässä olevan kosteuden määrään vaikuttaa pohjaveden korkeus, maalaji ja salaojat. Maanvastaisia rakenteita suunnitellessa pitää aina ottaa huomioon maaperän kosteus. (RIL 250-2020, 98–99.)

Sadevesien johtaminen pois päin rakennuksesta tehdään maanpinnan kallistuksilla. Kallistuksen pitäisi olla rakennuksesta pois päin 1:20 kaltevuudella kolmen metrin etäisyydellä. Maanpinnan kallistukset tulisi tehdä myös rakennuksen seinien suuntaisesti, jotta lumen sulamisvedet pääsevät valumaan pois rakennuksen välittömästä lähistöstä. Rakennuksen lattiapinnan ollessa ulkopuolisen maanpinnan alapuolella, aiheutuu usein ongelmia. (Sisäilmäyhdistys ry 2008b)

Eri vuodenaikoina ulkoilman suhteellinen kosteus ja vesihöyrypitoisuus muuttuu. Ulkoilmasta vesihöyryn siirtyminen rakenteisiin on mahdollista, jos vesihöyrypitoisuus on suurempi, kuin mitä rakenteen huokosilmassa on. Ulkoverhouksen, tuuletusvälin pintoihin ja tuulensuojan sisäpintaan voi tiivistyä kosteutta. Hydroskooppinen kosteuden sitoutuminen rakennusmateriaaleihin on myös mahdollista. Rakennuksen kosteustekniseen toimintaa vaikuttaa ulkoilman olosuhteista: lämpötila, suhteellinen kosteus, sademäärä ja tuuli, auringon säteily ja pitkäaikainen lämpösäteily. (RIL 250-2020, 99.)

3.2 Rakenteiden kosteuteen vaikuttavat mekanismit

3.2.1 Kapillaari-ilmiö

Kapillaari-ilmiöllä tarkoitetaan veden siirtymistä erilaisissa huokoisissa materiaaleissa. Vesimolekyylit liikkuvat veden pintajännitysvoimista aiheutuvan huokosalipaineen seurauksena. Kapillaari-ilmiö huokoisessa materiaalissa vaatii kuitenkin kosketuksen veteen tai toiseen huokoiseen materiaaliin, josta vesi siirtyy materiaalin huokoisia pitkin. Veden kapillaarinen liikehdintä voi tapahtua mihin suuntaan vain ja ilmiössä siirtyvä kosteusmäärä voi olla merkittävä. Kapillaari-ilmiö voi saavuttaa kosteustasapainon. Kosteustasapaino on saavutettu, jos vesi nousee korkeudelle, missä huokosalipaineesta johtuva kapillaarinen imu ja painovoima ovat samoja. Maanvastaisissa alapohjarakenteissa on erityisen tärkeää saada kapillaarinen vedennousu katkaistua. Kapillaari-ilmiön katkaisu

voidaan maanvastaisissa rakenteissa tehdä laittamalla raekooltaan 6–32 mm olevaa sepeliä vähintään 200 mm maanvastaisen betonilaatan alle. Sepeli itsessään on myös kapillaarista materiaalia, mutta sepelin kapillaarinen vedennousu on vähäistä. Karkeaa sepeliä voidaankin pitää turvallisena vaihtoehtona maanvastaisten alapohjien yhteydessä. (RIL 250-2020, 108.)

Maanvastaisten laattojen kosteusteknisiä ominaisuuksia voidaan parantaa kosteutta äärimmäisen vähän imevällä lämmöneristyskerroksella, esimerkiksi polystyreenimuovieristeellä. Polystyreenimuovi hidastaa kapillaari-ilmiotä maapohjan ja betonilaatan välillä niin paljon, että sitä voidaan jopa pitää kapillaarikatkona. Materiaaleissa on paljon eroavaisuuksia siinä, miten paljon kosteutta siirtyy kapillaarisesti. Kovalla betonilla voi olla noin 10 kertaa huonompi vedenimeytymiskerroin, kuin tiilellä. Maalajeilla, jotka sisältävät paljon hienoainesta on suurempi kyky kapillaariseen vedennousuun (taulukko 2). (RIL 250-2020, 108–109.)

Taulukko 2. Eri maalajien kapi

llaarinen nousukorkeus (Leivo & Rantala 2000, 19).

Maalaji	Kapillaarinen nousukorkeus (m)	
	Löyhä	Tiivis
Karkea hiekka	0,03 ... 0,12	0,04 ... 0,15
Hiekka	0,10 ... 0,35	0,12 ... 0,50
Hieno hiekka	0,3 ... 2,0	0,4 .. 3,5
Karkea siltti	1,5 ... 5	2,5 ... 8
Hieno siltti	4 ... 10	6 ... 12
Savi	> 8	> 10

3.2.2 Veden painovoimainen siirtyminen

Vesi pyrkii siirtymään kohtisuoraan maahan painovoiman vaikutuksesta. Painovoimalla siirtyvä vesi voi olla taivaalta tuleva vesisade kohtisuoraan maahan. Vesi voi myös siirtyä painovoimaisesti kohti maata rakenteiden pinnoilla tai materiaalin huokosten kautta. Kosteusteknisiä toimintoja otetaan erityisesti huomioon rakennuksissa painovoimaisen vedensiirtymisen vuoksi. Katolta painovoimaisen siirtymisen vaikutuksesta valuvat vedet ohjataan räystäskouruihin ja maapohjan kuivatus toteutetaan salaojituksella. Raot

rakenteiden ulkopinnoissa ovat riskitekijöitä, sillä painovoimaisen siirtymisen kautta vesi etenee rakojen kautta rakenteisiin. (RIL 250-2020, 109.)

Kosteusmuotona sadevesi rasittaa rakennusta näkyvimmin. Sateesta muodostuva kosteus paine vaikuttaa eniten vesikattoon ja vaakapintoihin esimerkiksi rakennuksen seinäverhouksiin. Suomessa sateen olomuotoja on pääsääntöisesti kolme. Vesisade, räntäsade ja lumisade. Räntäsade on eniten kosteusrasituksia rakennukseen aiheuttava olomuoto. Räntä voi jäädä pitkäksi aikaa loivillekin pinnoille aiheuttamaan kosteutta. (Siikanen 2014, 66.)

3.2.3 Diffuusio

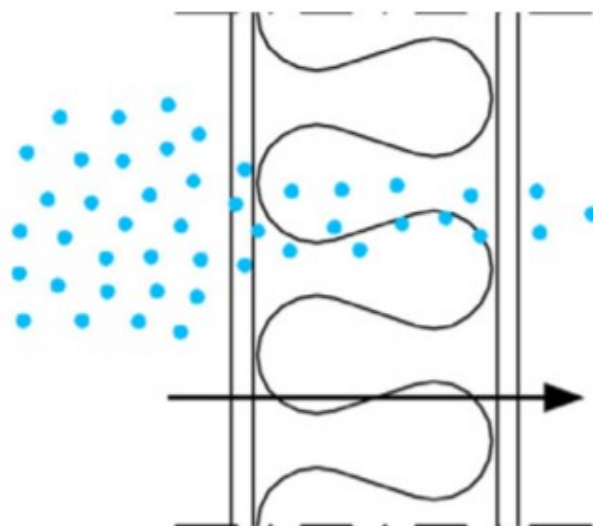
Diffuusio perustuu kaasujen osapainelakiin. Diffuusiolla tarkoitetaan tasaisesti jakautunutta kaasuseosta. Osapainelain mukaan kaasuseos on jakautunut epämääräisesti ja siinä olevat kaasumolekyylit pyrkivät järjestäytymään. Lopputuloksena on tasaisesti jakautunut kaasuseos. Puhuttaessa diffuusiosta rakennustekniikassa tarkoitetaan sillä kosteuden liikkumista rakenteiden läpi vesihöyrynä. Vesihöyry läpäiseekin suurimman osan materiaaleista. (Siikanen 2014, 70–71.)

Diffuusiolla on aina kulkusuunta, johon vesihöyry suuntautuu. Vesihöyry suuntautuu lähes aina lämpimästä tilasta kylmään. Yksi tärkeimmistä vesihöyryn suuntaan vaikuttavista tekijöistä on ilman kosteusero, joka vaikuttaa tilojen välillä. Diffuusion suunta voi olla myös päinvastainen, mikäli kylmän ilman kosteusprosentti on suurempi mitä lämpimän ilman. Huokoisissa rakennusmateriaaleissa on kuitenkin harvoin kyse pelkästään diffuusiosta, mikäli vesihöyry kulkee materiaalin läpi ja poistuu toiselta puolelta. Osa tästä kosteuden liikkeestä voi olla seurausta myös kapillaarisesta kosteuden etenemisestä. (Siikanen 2014, 70–71.)

Diffuusion eli vesihöyryn siirtymisestä aiheutuvat kosteusvauriot seinä rakenteissa on mahdollista välttää. Seinä rakenteet tulee suunnitella ja toteuttaa niin, että seinän lämmöneristeen ja lämpimän sisäilman väliin tulee höytytiivis. Seinä rakenteen vesihöyryvastuksen tulee pienentyä edetessään kohti kylmää tilaa. Osapainelain keksijän John Daltonin (1766–1844) mukaan ilmassa olevat kaasut käyttäytyvät erikseen, kuten vesihöyry. Rakennuksen sisätilassa ihminen hengittää happea (O_2) ja muodostaa hiilidioksidia (CO_2). Mikäli sisätilassa on enemmän hiilidioksidia verrattuna ulkoilmaan, pyrkii hiilimonoksidimolekyylit diffusoitumaan rakennuksen läpi. Tätä kutsutaan rakennuksen

vaipan hengittämiseksi. Tämänkaltainen rakennuksen hengittäminen tapahtuu ainoastaan, jos seinä ei ole tehty diffuusiotiiviiksi. (Siikanen 2014, 70–71.)

Kuvassa 3 on esitetty vesihöyryn diffuusion suunta. Vasemmalla molekyylien määrä on suurempi kuin oikealla, joten kulkusuunta diffuusiolle on vasemmalta oikealle. Diffuusion suuruutta pystytään arvioimaan laskennallisesti vesihöyryn pitoisuuksien ja osapaineiden erolla. (Pitkäranta 2016, 113.)



Kuva 3. Vesihöyryn diffuusion periaate (Pitkäranta 2016, 113.)

3.2.4 Konvektio

Konvektio tarkoittaa lämmön siirtymistä virtausten mukana. Erilaiset virtaukset voivat olla kaasumaisia tai nestemäisiä. Konvektion muodostumiseen on kaksi eri tapaa. Ensimmäinen konvektion muodostumistapa on luonnollinen konvektio. Luonnollisessa konvektiossa lämpötilaerojen muodostamat erot tiheydessä aiheuttaa lämmön liikkeen. Toista tapaa kutsutaan pakotetuksi konvektioksi, jossa neste tai kaasu etenee ulkopuolisten voimien kautta. Tällaisia ulkopuolisia voimia on esimerkiksi tuuli, ilmanvaihto, ihmisen liikkeestä aiheutuva ilmavirta. Luonnollinen konvektio on näistä kahdesta muodostumistavasta harvinaisempi. (Siikanen 2014, 41.)

Luonnollista konvektiota eli ilman tiheyseroista johtuvaa virtausta tapahtuu kerroksellisissa pystyrakenteissa esimerkiksi seinissä ja ikkunoissa. Vastaavaa ilman virtausta eli luonnollista konvektiota voi tapahtua ullakkotiloissa. Ilmanpainesuhteilla rakennuksessa ja rakenteissa on kosteus- ja lämpöteknisen toiminnan takia suurtakin merkitystä varsinkin kylminä vuodenaikoina. Merkitys vuodenaikoihin perustuu suuriin lämpötila- ja kosteuspiitoisuuseroihin ulkoilman ja sisäilman välillä. Lämpiminä vuodenaikoina paine-erot vaikuttavat lähinnä vain korkeissa rakennuksissa ja märkätiloiksi tarkoitetuissa huoneissa. Seinässä olevien pystysuorien ilmarakojen ja huokoisen lämmöneristeen läpäisevä ilma lämpenee hyvin lähelle samaa mitä sisäpinnan lämpötila on. Tämän seurauksena ilman tiheys laskee ja virtaus suuntautuu ylöspäin. Kylmässä ulkopinnassa taas ilman lämpötila pienenee, jolloin virtaus suuntautuu alaspäin. Nämä reaktiot yhdessä muodostavat ilman kiertoa, jossa kulkeutuu kosteutta ja lämpöä. Luonnollisen konvektion aiheuttamat ilman liikkeet onkin syytä ottaa huomioon tarkastellessa seinien tiiviyyttä ja kosteusteknistä toimintaa. (Siikanen 2014, 34.)

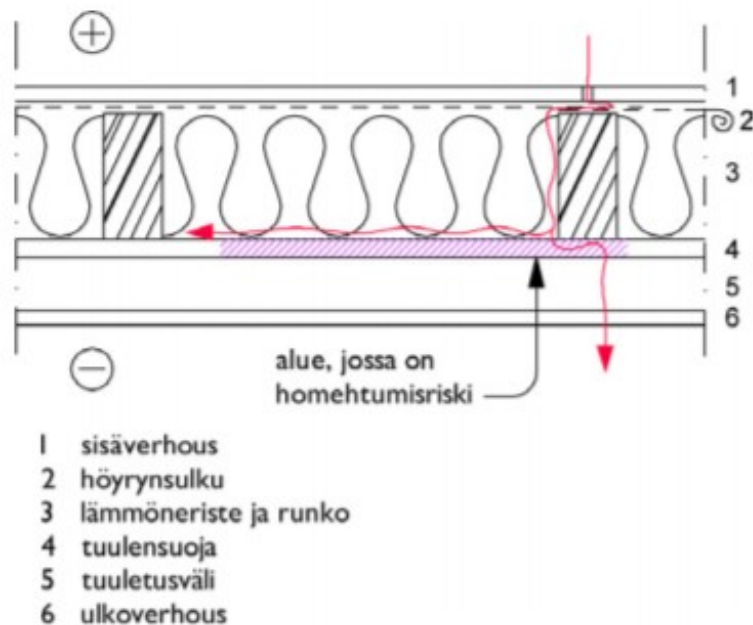
Pakotettua konvektiota syntyy paine-eroista sisä- ja ulkoilman välillä. Ilmanvaihdon, savupiippuvaikutuksen ja tuulen aikaansaamien paine-erojen kautta syntyviä ilman virtauksia rakenteiden läpi kutsutaan pakotetuksi konvektioksi. Pakotetun konvektion syntymiseen vaaditaan rakenteilta myös epätiiviyttä, jotta ilmavirtaus kulkeutuu rakenteiden läpi. Savupiippuilmiossa huoneilman lämmitessä tiheys laskee, jolloin lämmennyt ilma nousee ylöspäin. Lämpimän ilman kertyessä ylös syntyy huoneessa ylipainetta ja alhaalla alipainetta. Paine-erot savupiippuvaikutuksessa ovat melko pieniä, mutta pysyviä. Rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan kannalta savupiippuilmiossa aiheuttama ylipaine huoneen yläosissa pitää ottaa tiivistäessä huomioon. (Siikanen 2014, 35–36.)

Tuulen aiheuttamat paine-erovaikutukset pyrkivät vaikuttamaan rakennuksen sisäpuolelle. Tämän seurauksena ilmanvaihto ja sisäilman painesuhteet voivat häiriintyä. Pitkään jatkuva samansuuntainen tuuli voi merkittävästi lisätä rakenteiden läpi kulkeutuvaa kosteuden ja lämmön siirtymistä. Tuulen vaikutukset rakennuksen energiatehokkuuteen ovat pieniä, mikäli rakenteet ovat hyvin tiiviitä. (Siikanen 2014, 37.)

Koneellinen ilmanvaihto pientaloissa on nykypäivänä hyvin yleistä. Koneellinen ilmanvaihto asettaakin rakenteille erityisiä vaatimuksia. Kosteus- ja lämmönteknisen toimivuuden takaamiseksi koneellisesti aiheutettu ylipaine vaatii seinä- ja alapohjarakenteilta huolellista ilman- ja kosteustiiveyttä. Koneellinen ilmavaihto on säädetty oikein, kun se tuottaa rakennuksen sisällä alipaineen. Kylmä ilma siirtyy rakennuksen seinärakenteiden läpi sisäilmaan alipaineen avulla. Alipaineen avulla virtaavan ilman suhteellinen kosteus

pienenee, kun ilmavirta lämpenee edetessään seinärakenteen lävitse. Kosteustekniikan kannalta toimiva alipaineinen koneellinen ilmanvaihto on turvallinen ratkaisu, sillä alipaineen kautta kulkeutuva lämpiävä ilma kuivattaa seinämiä. (Siikanen 2014, 38.)

Kuvassa 4 on tuotu esiin kosteuskonvektion aiheuttama kosteusvahinkoriski. Kostean sisäilman lisäksi lämmintä sisäilmaa kohdistuu ulkoseinän sisäverhoukseen. Höyrysty- lussa on epätiivis kohta, josta virtaavat ilmat kohdistuvat lämmöneristeeseen ja myös tuuletusväliin. Varsinkin rakenteen kylmissä osissa on riski mikrobivaurioitumiseen, koska kosteus voi tiivistyä suhteellisen kosteuden noustessa. (Pitkäranta 2016, 116.)



Kuva 4. Kosteuskonvektion aiheuttama kosteusriski puurunkoisessa seinärakenteessa. Ilman virtauksen kulkusuunta havainnollisettu punaisella nuolella. (Pitkäranta 2016, 116.)

4 TYYPILLISET RISKIRAKENTEET

4.1 Riskirakenteiden määritelmä

Riskirakenteiksi luokitellaan rakennetyypit, jotka ovat rakenteita tutkiessa sekä käytännössä todettu vaurioherkäksi. Tietyt rakenteet sekä tekniset laatutekijät ovat alttiita vaurioille. (Riskirakenne 2017.) Seuraavissa kappaleissa on esitelty yleisimpiä riskirakenteita.

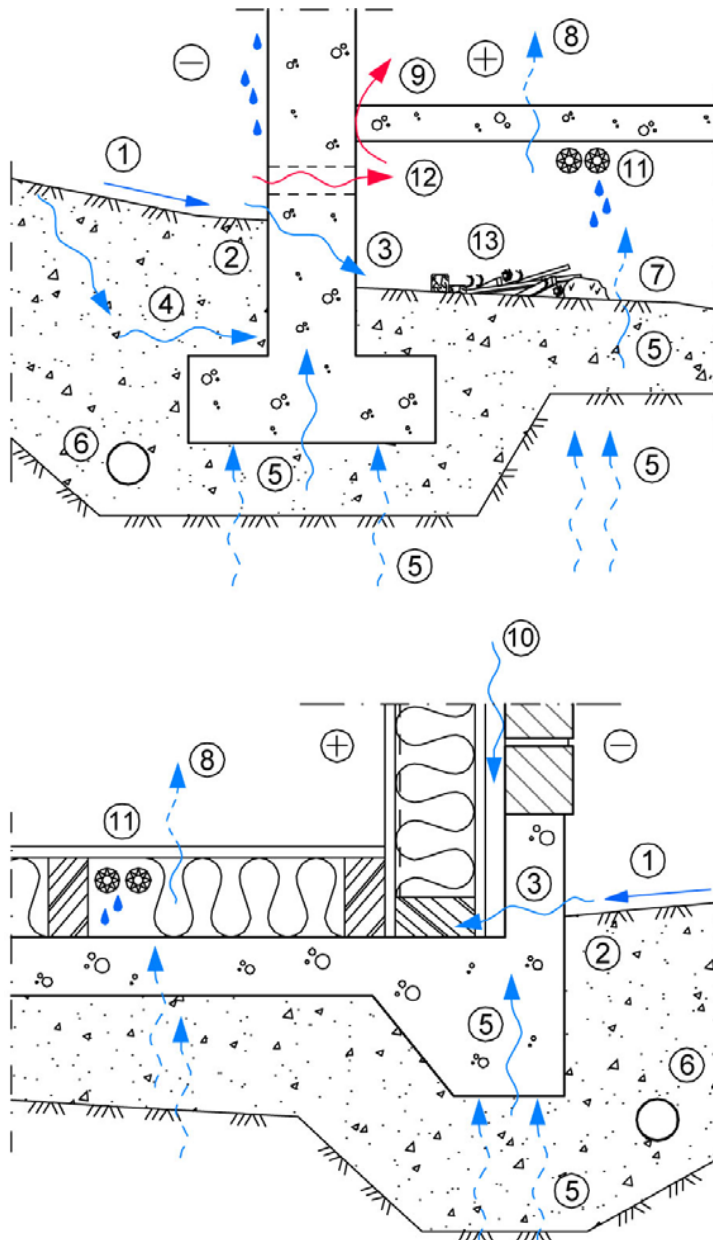
4.2 Perustukset, salaojat ja alapohjarakenteet

1950-luvun lopulla ja 1960-luvulla rakentamisen tyyliin tuli muutoksia, joista esimerkkinä halu asua mahdollisimman lähellä maanpintaa. Tämän vuoksi jouduttiin käyttämään niin sanottua valesokkeliä ja rakennusten ulkopuoliset kallistukset unohtuivat osittain. Maanperän kosteuteen ei kiinnitetty riittävän paljon huomiota, jolloin valesokkelissa olevien pienten halkeamien kautta sadevesi ja lumien sulamisvesi pääsivät seinän alaosaan sekä alapohjaan. (RIL 250-2020, 78.)

Kuvaan 5 on koottu perustus- ja alapohjarakenteiden riskirakenteita sekä yleisimpiä kosteusvaurioiden syitä (RIL 250-2020, 263–264):

1. maanpinnan vääräsuuntaiset tai puutteelliset kallistukset (maanpinta viettää rakennukseen päin, jolloin sadevesi valuu rakennusta kohti)
2. puutteellinen sadevesijärjestelmä; sadevesiviemäröinnin tai kourujen puutteet
3. puutteellinen pintavesien, syöksytorstista tulevien kattovesien ja lumen sulamisvesien poisjohtaminen rakennuksen vierustalta
4. paineellisen veden tunkeutuminen ryömintätilaan sekä muihin rakenteisiin
5. veden kapillaarinen nousu rakennuspohjasta rakenteisiin (liian ohut sajojitusso-rakerros)
6. tukkeutunut, puutteellinen tai puuttuva salaojitus
7. ryömintätilan korkea kosteustuotto
8. maaperästä diffuusiolla nouseva kosteus
9. kosteuden siirtyminen konvektiolla

10. sadevesien tunkeutuminen ylempien rakenteiden epätiividen kohtien kautta perustusrakenteisiin
11. vesivuodot märkätiloista ja putkistoista
12. ryömintätilan riittämätön tuuletus
13. ryömintätilan rakennusjätteet



Kuva 5. Perustus- ja alapohjarakenteiden yleisimpiä riskirakenteita (Pitkäranta 2016, 187).

Sadevesien valumisen rakennukseen päin välttämiseksi maanpinta rakennuksen ympärillä tulisi kallistaa noin 3 metrin etäisyydellä rakennuksesta pois päin viettäväksi kaltevuudella 1:20. Salaojaputken tulee olla kaikissa kohdissa matalaan perustetun seinä- tai perusmuurianturan alapuolella. Käytettäessä roudattomaan syvyyteen perustettuja paalu-, pilari- tai perusmuurianturoita salaojat tulisi sijoittaa sokkelipalkin alapuolelle. Salaojien peitesyvyyden rakennuksen ulkopuolella tulisi aina olla vähintään 0,5 m. Salaojien suositeltu kaltevuus on 1:100, mutta vähimmäiskaltevuus on 1:200. (RT 81-10854.)

Anturaperustuksen perustamisvyvyys tulisi olla vähintään 0,5 m viereisestä maanpinnasta. Perusmuurianturan leveyden tulisi olla vähintään 0,3 m ja pilarianturan koko vähintään 0,4 m × 0,4 m. Laattaperustuksen perustamisvyvyys tulisi olla vähintään 0,5 m rakennuksen ulkoseinälinjalla. (RT 81-10854.)

Rakennuspohjaan, ryömintatilaan ja vierustatäyttöihin ei saa jäädä rakennusjätettä eikä lahoavaa orgaanista ainesta. Ryömintatilaisessa alapohjassa painovaimoista tuuletusta käytettäessä tulee sokkelin tuuletusaukkojen vapaan pinta-alan olla yhteensä vähintään 4 ‰ ryömintatilan pinta-alasta. Tuuletusaukkojen alareunan korkeus tulisi olla vähintään 150 mm maan pinnasta. Ulkoseinälinjoilla tuuletusaukkojen vapaapinta-ala tulisi olla vähintään 150 cm² ja ryömintätilojen osiin jakavissa väliseinissä vähintään 300 cm². Ryömintätilan ja maapohjan välistä lämmöneristystä suositellaan painovaimoisen tuuletuksen yhteydessä. Kosteusteknisesti vaikeissa olosuhteissa joita ovat esimerkiksi korkea pohjavesi, vettäläpäisevä perusmaa tai alavat maaston osat, suositellaan koneellista tuuletusta ryömintätilaisessa alapohjassa. Sokkelin tuuletusaukkojen pinta-alan ollessa yli 8 ‰ ryömintatilan pinta-alasta saa tällöin alapohjana U-arvo olla korkeintaan 0,16 W/m²K. Ryömintätilaan on järjestettävä tarkastusmahdollisuus ja pääsy kaikkialle tilaan sekä ryömintätilan korkeuden tulisi olla vähintään 800 mm. Maanvastaisessa alapohjassa on maanvastaisen laatan yläpinnan oltava vähintään 0,3 m ympäröivää maanpintaa ylempänä, kellarin lattiaa lukuunottamatta. Jos laatan yläpinta on tätä lähempänä tulee sokkelin ulkopinta vedeneristää. (RT 81-10854.)

4.3 Seinärakenteet

1950–1960-luvulla siirryttiin lämmöneristysten osalta mineraalivillaeristeisiin, joilla ei ole merkittävää kosteutta tasaavaa kosteuskapasiteettia. Samalla alettiin käyttää seinien sekä yläpohjan sisäverhouksen alla muovista höyrysulkua. Sisätilojen kosteusrasitukset

lisääntyivät myös muun muassa sisälle tehtyjen sauna- ja pesutilojen sekä vesikiertoisten patterijärjestelmien yleistymisen myötä. (RIL 250-2020, 78–79.)

Ulkoseinärakenteille tyypillisiä riskirakenteita ja kosteusvaurioiden syitä ovat seuraavat (RIL 250-2020, 266):

:

1. ikkuna- tai muut julkisivun pellitykset (huono kiinnitys ikkunakarmin tai seinärakenteeseen, puutteet kallistuksissa, tippanokissa ja pellityksen ulottumat seinäpinnasta)
2. puutteelliset räystäskourut tai syöksytorvet (vialliset tai huonokuntoiset)
3. puutteelliset räystäspellitykset ja liian matala räystäskorotus
4. ulkoseinän ja muiden rakenteiden puutteelliset liittymäkohdat (kosteus pääsee seinärakenteeseen)
puutteellinen vedeneristys ulkoseinään rajoittuvissa märkätiloissa
5. puutteet salaojituksessa
6. maanpinnan virheelliset ja puutteelliset kallistukset seinän vierustalla
7. puutteellinen sadevesijärjestelmä (sadevesien, pintavesien ja syöksytorvista tulevien vesien poisjohtaminen puutteellista)
8. maanpinta liian ylhäällä rakennuksen lattiapintaan nähden
9. ulkopinnan liian tiivis tai sopimaton pinnoitus
10. kylmäsilat sokkelin yläosassa (saattavat aiheuttaa rakenteiden kosteuspitoisuuden kohoamista).

Ikkunoiden pellitys on tehtävä ulospäin kaltevaksi. Suositus on 15–30 astetta. Lähellä 30 asteen kaltevuudella varmistetaan että sadevesi ei roisku ikkapelliltä ikkunaan. Ikkunapellityksiin käytettävän teräsohutlevyn paksuus tulisi olla 0,5-0,6 mm. Räystäspellit suositellaan kiinnitettäväksi ruuvikiinnityksellä. Reunapeltien kiinnikkeiden tulisi olla enintään noin 100 mm:n etäisyydellä vapaana tuulelle alttiista reunasta. Räystäspelti suositellaan kiinnitettäväksi 500-800 mm kiinnitystiheydellä huomioon ottaen räystäään rakenne ja olosuhteet. Räystäspellin tippanokka eli reunataive tulisi taivuttaa noin 20 mm etäisyyteen räystäslaudasta tai vähintään 50 mm etäisyyteen käytettäessä kiviaineista pintaa. Jos räystäässä on tuuletusrako, tulee räystäspellin alareunan olla vähintään 70 mm tuuletusraon alareunan tason alapuolella. (RT 80-11202.)

Ulkoseinät tulee suunnitella niin, että rakennuskosteus tai seinään ulko- tai sisäpuolelta päässyt kosteus pääsee poistumaan rakennuksesta haittaa aiheuttamatta.

Ulkoveuhouksen takana oleva tuuletusväli tulisi olla ainakin ylä- ja alapäästä avoin ulkoilmaan. Rakennuksen suojaellitykset tai palokatkot eivät saa estää ilman virtausta tuuletusvälissä. Puuverhoilussa pontattujen lautojen suositeltava paksuus on 28 mm. Verhouksessa tulee käyttää kuumasinkittyjä nauvoja. Tiiliverhoilussa tulee käyttää säänkestäviä laasteja ja tiiliä. Tiilien nimellispaksuuden tulisi olla vähintään 85 mm. (RT 82-11006.)

4.4 Yläpohjarakenteet

1950-1960 -luvun riskirakenteita löytyy myös yläpohjarakenteiden osalta. Sen ajan rakennustyyliässä vesikatot loivenivat ja muotiin tulivat tasakatot sekä räystäättömät rakennukset. Tasakattojen rakentamisen yhteydessä hyvin tuulettuvat ullakkotilat jäivät pois, jolloin mahdollinen kattovuoto paljastui kylmän ullakon sijaan lämpimän asuintilan katoissa vasta silloin, kun kosteusvaurio oli jo hyvin laaja. (RIL 250-2020, 78.)

Katoille ja yläpohjille tyypillisiä riskikohtia ovat (RIL 250-2020, 268):

1. vesikatteen epätiivit läpiviennit, liitokset ja saumat
2. veden lammikoituminen loivilla katoilla oleviin katteen saumoihin, kuoppiin ja kantavien rakenteiden aiheuttamiin painumiin tai lumen ja jään patoamiin kohtiin
3. veden tulviminen kattokaivojen tukkeutumisen tai jäätyneen vuoksi
4. puutteelliset räystäspellitykset ja liian matala räystääskorotus (katon vedeneristystä ei ole ulotettu korotuksen yli ulkoseinäpinnan puolelle)
5. huonosti toimiva kattotason ja tasolta lähtevän seinärakenteen liitos
6. rakennusaikana tai kattokorjauksen yhteydessä rakenteisiin päässyt vesi
7. alapuolinen huonetila on ylipaineinen yläpohjan tuuletustilaan nähden
8. yläpohjan puutteellinen ilma- ja höyrytiiviyys (Yläpohjan lävistykset ja liitokset ovat puutteellisesti tiivistettyjä).

Vesikaton tulee estää sadeveden, lumen ja sulamisveden kulkeutuminen kattorakenteisiin, seiniin sekä sisätiloihin. Veden poistuminen katolta varmistetaan käyttämällä kattokaivoja tai räystäskouruja sekä syöksytorvia. Näiden tulee olla riittävän suuria eli halkaisijaltaan yli 100 mm tai kourujen osalta 150 mm. Suurien kattojen osalta on mitoitettu tehtävä erikseen. Lumen sulamista ja veden jäätymistä räystäällä voidaan ehkäistä yläpohjan riittävällä lämmöneristyksellä ja ilmatiiveydellä sekä tuuletusvälillä vesikaton ja yläpohjan välissä. Yläpohjan eri kerrokset sekä katon tuuletus on suunniteltava ja

rekennettävä niin, ettei kattoon pääse kertymään vesihöyryn diffuusion tai ilmavirtausten vuoksi haitallista määrää kosteutta ja että rakenteisiin mahdollisesti pääsevä kosteus voi kuivua. Lämmöneristetyt harjakatot tuuletetaan räystäään lisäksi harjalla tai päädyissä olevien tuuletusaukkojen kautta. Tuuletusvälin tulee olla avoin virtausten sisääntulokohdasta aina poistumiskohtaan saakka. Jyrkät katot tehdään yleensä tuulettuvina rakenteina, joissa tuuletusvälin tulee olla vähintään 100 mm korkea. Jyrkän katon tuuletusväli sijaitsee normaalisti lämmöneristeen ja aluskatteen välissä. Loivien kattojen (kaltevuus loivempi kuin 1:20) osalta tuuletusvälin tulee olla huomattavasti suurempi (taulukko 3). (RIL 107-2012, 89–133.)

Taulukko 3. Loivien kattojen suositukset tuuletustilojen korkeuteen.

Kattokaltevuus	Tuuletustilan korkeuden minimiarvo
1:40 tai loivempi	300 mm
1:20-1:40	200 mm

Kattojen pinta-alan ollessa pieni, voi tuuletusväli olla taulukon arvoa pienempi, jos poisto- ja korvausilma-aukoilla on riittävä korkeusero. Riittäväksi korkeuseroksi katsotaan > 500 mm. Tällaisissa tapauksissa on tuuletusvälin oltava kuitenkin vähintään 100 mm. (RIL 107-2012, 103.)

5 HOME JA KOSTEUSVAURIOT

5.1 Kosteusvaurion tunnistaminen

Kosteusvaurio voi kehittyä rakenteiden sisällä pitkään, jopa vuosia ilman, että rakennuksen sisäpinnoilla näkyy merkkejä mikrobikasvustosta tai kosteusvauriosta. Mikrobivaurioihin voivat viitata ajoittain aistittava homeenhaju, maakellarimainen, tunkkainen tai imelä haju. Haju aistitaan tavallisesti rakennuksessa silloin tällöin tai tietyissä tilanteissa. Haju johtuu mikrobien aineenvaihdunnasta, jota muun muassa kosteusolosuhteet säätelevät. Hajua aiheuttavia aineenvaihduntatuotteita ei muodostu jatkuvasti, esimerkiksi ulkoilmaolosuhteiden vaihtelu sekä rakennuksen käytöstä, ilmanvaihdosta ja tuulenpaineesta aiheutuvat paineenvaihtelut voivat aiheuttaa hajun esiintymistä tiettyihin aikoihin tai tilanteisiin. (Pitkäranta 2016, 138–140.)

Asuin- ja oleskelutilojen sisäpinnoilla tai rakenteissa oleva silmin havaittava mikrobikasvusto voi esiintyä puuterimaisina, pölymäisinä tai pistemäisinä kasvustoina tai värimuutoksen materiaalin pinnalla. Mikrobikasvustoa voi löytää irrottamalla materiaalista pala. Suuri osa mikrobikasvustosta sijaitsee kerroksellisten rakenteiden sisällä piilossa (kuva 6). Mikrobikasvuston sijainti rakenteiden sisällä johtuu rakenteiden sisäosien hitaammasta kuivumisesta rakenteen pintaan verrattuna (kuva 7), sekä siitä, että rakenteen ulkovaipan vesivuodot saattavat kastella vain rakenteen ulkovaipan ulko- ja keskiosia samalla, kun sisäpinnat pysyvät kuivina. Kuvassa 7 huonetilan ja komeron materiaalit sekä kosteusrasitus ovat olleet samanlaiset, mutta huonetilan paremman tuulettavuuden seurauksena huoneen kattoon ei ole muodostunut silminnäkyvää mikrobikasvustoa. Rakenteiden sisällä olevat mikrobivauriot voidaan havaita rakenneavauksilla. (Pitkäranta 2016, 138–140.)



Kuva 6. Mikrobikasvustoa kerroksellisen rakenteen sisällä (Pitkäranta 2016).



Kuva 7. Kosteusvauriojälkiä huonetilan sekä suljetun komeron kattopinnassa (Pitkäranta 2016).

Lahon voi tunnistaa vaurioituneen puun pehmenemisestä, jonka voi todeta terävällä työkalulla pintapuusta tai syvemmältä puusta pienellä poranterällä poraamalla. Puunäytteen mikroskoipoimisella voidaan tehdä tarkempi analyysi sekä lahottajasienen lajimääritys. Puu voi olla pintakerroksesta terveen näköistä ja kovaa, mutta olla sisältä lahonnut. Lahon syvyys tulee aina tarkistaa, sillä puun lahoaminen vaikuttaa puun lujuuteen ja voi aiheuttaa rakenteisiin romahtamisvaaran. Laho esiintyy tyypillisesti pitkään kosteina olleissa puurakenteissa, esimerkiksi puurakenteisissa alapohjissa. Lahoja voi esiintyä myös muun muassa yläpohjissa ja vuotavien ikkunoiden puukarmeissa. Heikosti tuuletuvien ryömintätillisten alapohjien paikalleen jätetyt muottilaudoitukset ovat usein lahon vuoksi vaurioituneita, ja ne ovat yleinen sisäilmaongelmien lähde (kuva 8). (Pitkäranta 2016, 138–140.)



Kuva 8. Lahovaurioita betonirakenteisen ryömintätilan alapohjan muottilaudoituksessa (Pitkäranta 2016).

Rakenteiden silmämääräisesti havattavista muutoksista huolimatta, kaikkiin kosteusvaurioihin ei liity mikrobikasvua. Esimerkkinä värimuutokset mineraalivillapohjaisissa alaslasketuissa kattojen levytyksissä sekä akustointilevyjen alapinnoissa ovat yleensä materiaalin sidosaineiden liukenemisestä johtuvaa värjäymää (kuva 9 a). Kapillaari-ilmiön kautta rakenteisiin kertynyt kosteus voi siirtää betonin ja tiilien läpi kalsiumkarbonaattia tai suoloja, jotka muodostavat materiaalin pintaan ”kalkkihärmettä” (kuva 9 b). Muutokset ovat merkki kosteusrasituksesta, vaikka muutokset eivät ole mikrobikasvuston aiheuttamia. Mikrobikasvustoa voi silti esiintyä tutkitussa tai ympäröivissä rakenteissa. Ilmavirtaukset voivat aiheuttaa pintojen likaantumisen, joka on kosteudesta ja mikrobikasvustosta riippumaton ilmiö (kuva 9 c ja d). Tämä ilmiö tulee erottaa mikrobikasvustosta. (Pitkäranta 2016, 138–140.)



Kuva 9. a) vuotoveden aiheuttamaa värjäytymää kattolevyssä b) kalkkihärmettä putki-tunnelin lattialla c) tuloilmasuihkun aiheuttamaa likaantumista katon akustointimateriaa-lissa d) lämpöpatterin aiheuttaman ilmavirtauksen aiheuttamaa likaantumista seinäpin-nassa. (Pitkäranta 2016.)

5.2 Kosteusvaurioiden vaikutukset terveyteen

Rakennusten kosteusvauriot voivat johtaa mikrobialtistukseen. Terveyshaittojen syntyyn vaikuttavat muun muassa altisteen laatu, pitoisuus, altistuksen kesto sekä sekä yksilölliset tekijät (ikä, perintötekijät, hengitystiesairaudet ja muut sairaudet). Kosteusvaurioihin liittyvien mikrobien terveyshaitat voidaan jakaa kahteen kategoriaan: oireet ja sairaudet. Mikrobien aiheuttamia oireita sekä sairauksia on eritelty taulukossa 4.

Ärsytysoireet, kuten nuha, silmien punoitus, yskä ja äänen käheys, ovat tavallisimpia kosteusvauriokohteissa tavattavia oireita. Jo muutaman viikon voimakas altistuminen kosteusvauriorakennuksen mikrobeille voi aiheuttaa jopa 50 % ihmisistä silmien ja hengitysteiden ärsytysoireita. Ärsytysoireet eivät yleensä jätä pysyvää terveyshaittaa, vaan

oireet korjaantuvat yleensä muutamien päivien, viimeistään parin viikon kuluessa altistumisen päätyttyä. Tyypillisimpiä yleisoireita ovat päänsärky, pahoinvointi, väsymys, nivelkipu, kuumeilu tai vilunväristykset sekä näihin liittyvä lihaskipu. Lukuun ottamatta kuumeilua ja nivelkipuja, yleisoireita voi esiintyä myös sellaisissa sisäilmaongelmakohteissa, joissa ei ole mikrobikasvustoa, vaan haittana on puutteellinen ilmanvaihto ja korkea hiilidioksidipitoisuus. Altistuminen mikrobeille voi johtaa toistuviin infektioihin, esimerkiksi normaaliin flunssaan, poskiontelotulehduksiin tai keuhkoputkentulehduksiin. Nämä infektiot liittyvät kosteus- ja homevauriorakennuksessa oleskeluun ja niille tyypillistä on pitkittynyt taudinkuva. Toistuvia infektioita ei yleensä esiinny sen jälkeen, kun oleskelu kosteusvauriorakennuksessa on päättynyt. Hankalan infektiotilanteen rahoittuminen voi kestää monta kuukautta. (Sisäilmayhdistys ry 2008c.)

Homepölykeuhko eli alveoliitti vaatii voimakkaan altistuksen kosteusvauriokohteissa, ja silloinkin vain harvat sairastuvat tautiin. Alveoliitissa tyypillisiä oireita ovat hengitystieoireiden lisäksi muun muassa selittämätön kuumeilu, päänsärky, pahoinvointi ja oksentelu. Mikäli homepölykeuhko todetaan, on tärkeää lopettaa altistuminen välittömästi, jotta homepölykeuhko voi parantua täysin oireettomaksi. Pitkäaikainen altistuminen mikrobeille voi muutamalle prosentille altistuneista kehittyä IgE-välitteinen allergia (IgE, Immunoglobuliini E vasta-aine). Kyseisessä allergiassa oireet tulevat välittömästi esille, kun herkistynyt ihminen altistuu allergiaa aiheuttavalle tekijälle. Kosteusvauriokohteissa on todettu myös astamatapauksia, jotka liittyvät selvästi mikrobialtistukselle, mutta eivät ole IgE-välitteistä allergiaa. (Sisäilmayhdistys ry 2008c.)

Taulukko 4. Oireita ja sairauksia, joita mikrobeille altistuminen voi aiheuttaa. Taulukon tiedoissa käytetty lähteenä: (Sisäilmayhdistys ry 2008c.)

Oireet	Sairaudet
Hengitystieoireet <ul style="list-style-type: none"> • Käheys • Nuha, tukkoisuus • Yskä ja limannousu • Hengenahdistus, vinkuna • Silmä- ja iho-oireet 	Hengitystie-infektiot <ul style="list-style-type: none"> • Poskiontelotulehdukset • Flunssat • Keuhkoputkentulehdukset • Homepölukeuhko eli alveoliitti • Hengitystiesairaudet
Yleisoireet <ul style="list-style-type: none"> • Kuumeilu • Lihas- ja niveloireet • Poikkeuksellinen väsymys • Päänsärky 	Allergiat ja muut pitkäaikaiset haitat <ul style="list-style-type: none"> • Astman puhkeaminen tai paheneminen • Allerginen silmätulehdus • Allerginen nuha • Nivelreuma (yhteys rakennuksen mikrobiologiaan on epäselvä)

Kosteusvaurioituneesta rakenteesta voi siirtyä sisäilmaan hiukkasia, kuten mikrobeja, itiöitä ja rihmaston kappaleita tai mikrobin aineenvaihduntatuotteita, esimerkiksi haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) ja toksiineita. Kosteusvauriorakennuksille tyypillisten homeiden itiöt ja useat mikrobit ovat yleensä kooltaan <5 µm (vaihteluväli voi olla 2–120 µm), jolloin ne leijuvat ilmassa hyvin ja pääsevät limakalvoille sekä hengitysteihin. Pienimmät itiöt ja mikrobit voivat päätyä myös keuhkorakkuloihin asti. Mikrobin tuottamat VOC:it ärsyttävät limakalvoja. Jotkut mikrobit voivat joissain olosuhteissa tuottaa toksiineja eli myrkkijä. Juuri mikrobin tuottamat toksiinit aiheuttavat ärsytysoireita esimerkiksi silmiin, ihoon sekä hengitysteihin. (Sisäilmayhdistys ry 2008c.)

Sisätiloista löydettyistä mikrobeista muun muassa *Aspergillus ochraeus*, *Aspergillus versicolor*, *Penicillium aurantiogriseum* ja *Stachybotrys chartarum* voivat olla mahdollisia toksiinintuottajia. *Stachybotrys chartarum* kasvusto on tyypillisesti harmaata tai mustaa mattoa kipsilevyjen pahvissa, tapeteissa ja muissa paperipitoisissa materiaaleissa. *Stachybotrys chartarum*in mikrobin esiintymiseen liittyy lähes aina ihmisten terveyshaittoja. Kosteusvauriorakennuksissa voi olla useita eri toksiineja tuottavia mikrobeja samanaikaisesti, jolloin terveyshaitat syntyvät eri toksiinien yhteisvaikutuksena.

Kosteusvaurioituneessa rakennuksessa todetut homesienet ja aktinomykeetit käynnistävät elimistössä IgG-vasta-aineiden tuotannon, jos altistus on riittävän voimakas ja pitkäaikainen. Suurten vasta-ainemäärien löytyminen potilaan verestä viittaa merkittävään altistumiseen, mutta ei osoita potilaassa sairautta. (Sisäilmayhdistys ry 2008c.)

6 TURUN LYSEON KOULUN SISÄILMAONGELMAT

6.1 Tapaustutkimus

Tapaustutkimus on moniulotteinen tutkimuksellinen suuntaus, jossa tarkoituksena on tutkia syvällisesti vain yhtä tai muutamaa kohdetta tai ilmiökokonaisuutta. Tapaustutkimuksessa määrittely ja analysointi on keskeisin tavoite. Tapaustutkimuksen tavoitteena on kuvailla ilmiötä sekä tehdä uusia havaintoja. Tapaustutkimukset voidaan jakaa intensiivisiin ja ekstensiivisiin tutkimuksiin. Intensiivisessä tapaustutkimuksessa tavoitteena on ainutlaatuisen ja juuri tästä syystä teoreettisesti mielenkiintoisen tapauksen tarkka kuvaus, tulkinta ja ymmärtäminen. Ekstensiivisessä tapaustutkimuksessa etsitään yhteisiä ominaisuuksia, yleisiä malleja sekä uusia teoreettisia ideoita ja käsitteitä usean tapauksen vertailun avulla. (Eriksson & Koistinen 2014, 1–18.)

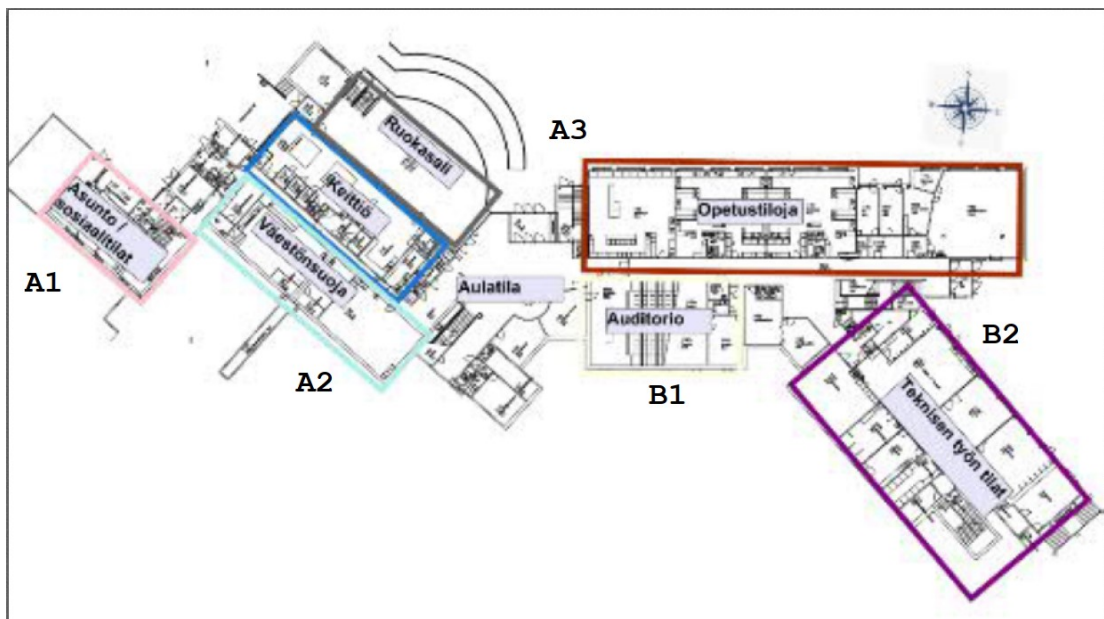
Tämän opinnäytetyön tapaustutkimuksella pyritään analysoimaan Turun Lyseon sisäilmaongelmien syitä ja miten ne on todettu sekä korjattu. Tapaustutkimuksen avulla tarjotaan mahdollisuus oppia kosteusvaurioista käytännön kohteessa, sekä soveltaa tietoa myös muissa yhteyksissä, jolloin voidaan saada tietoa siitä, miten jatkossa voitaisiin välttyä samoilta ongelmilta.

6.2 Kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus

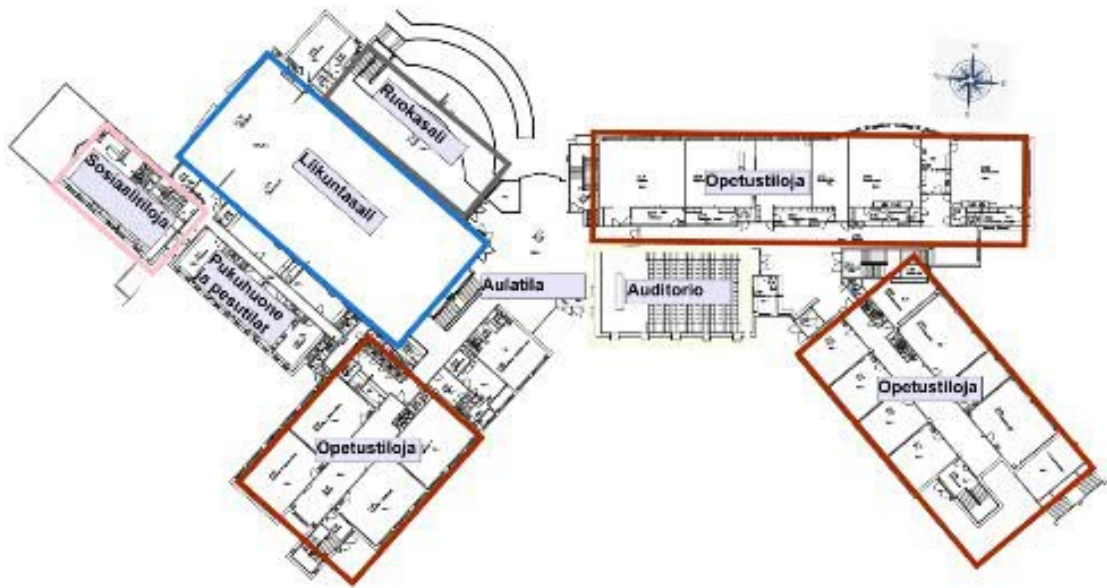
Tapaustutkimuksen kohteena on FCG Finnish Consulting Group Oy:n suorittama kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus Turun Lyseon koulurakennuksesta (Turun Lyseon koulu kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus 2020). Rakennuksessa on selvitetty heikentyneeseen sisäilmaan vaikuttavia tekijöitä aiemminkin useaan kertaan. Selvittelyn jatkona on FCG:n tekemä kattava kuntotutkimus. Tutkimusta varten tehtiin riskiarvio jossa on selvitetty rakennuksen mahdolliset riskirakenteet lähtöaineistoa apuna käyttäen. Riskiarvion pohjalta on laadittu tutkimussuunnitelma varsinaista kuntotutkimusta varten. Kuntotutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ovatko riskiarviossa läpi käytyt toteutuneet. Tutkimuksessa selvitettiin myös mahdollisten vaurioiden laajuus, epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan sekä rakenteiden korjattavuutta. Kuntotutkimus koski koko koulurakennusta ja pääpaino oli rakenneteknisissä tarkasteluissa, jolloin keskityttiin kosteusvaurioituneisiin tai sellaisiksi epäiltyihin rakenteisiin sekä muihin sisäilman

laatun mahdollisesti vaikuttaviin rakenneseisiin ja materiaaleihin. Varsinaisen kuntotutkimusraportin lisäksi yksityiskohtaisemmat mittaustulokset oli koottu omaan liitetiedostoon (Turun Lyseon kuntotutkimuksen liitteet 2020).

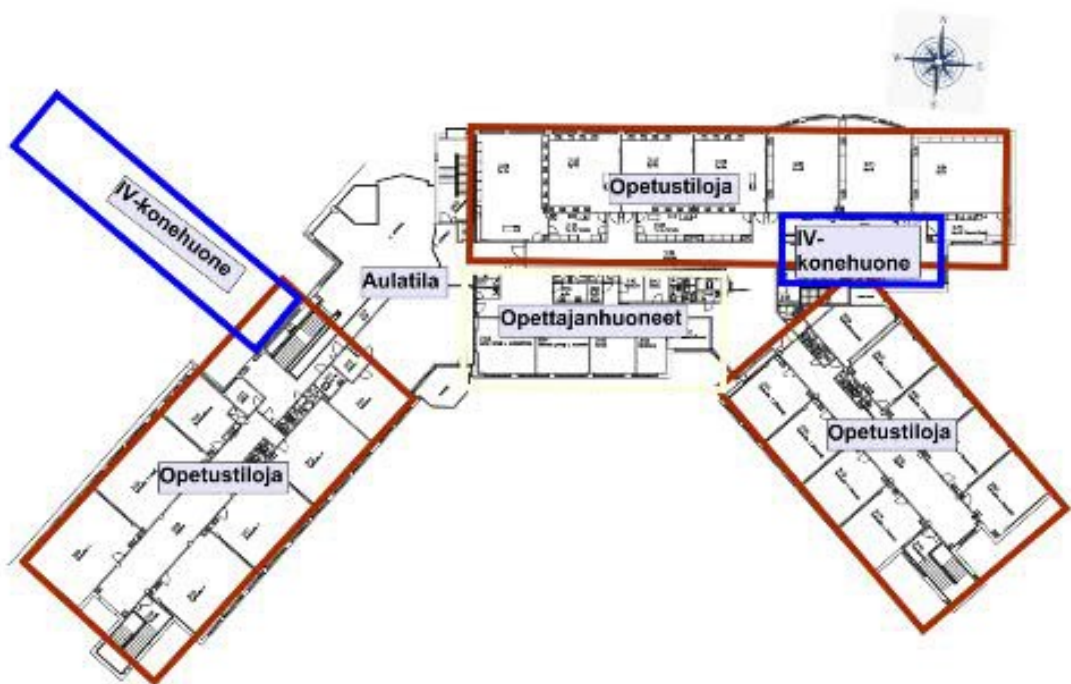
Tutkimuksen kohteena ollut Turun Lyseon koulurakennus on valmistunut 1994. Rakennuksen bruttopinta-ala on 9 365 m² ja tilavuus 39 710 m³. Rakennus on kolmikerroksinen ja siinä on viisi eri siipeä: A1, A2, A3, B1 ja B2. A1 sijaitsee rakennuksen länsiosassa ja sisältää asunto- ja sosialitilat (A1 sisältää kuvat 9 ja 10). A2 sisältää 1. kerroksen väestönsuojatilat, keittiön ja ruokasalin sekä 2. kerroksen liikuntasalin ja pukuhuonetilat (kuvat 10 ja 11). Osa A3 sisältää 1. ja 2. kerroksen aulatilat sekä 2. kerroksen eteläsiiven opetustilat (kuvat 10 ja 11). Osa B1 sisältää Auditorion ja opetustilat kaikkien kolmen kerroksen osalta (kuvat 10-12). B2 sisältää tekniset tilat 1. kerroksessa ja opetustiloja 2. ja 3. kerroksessa (kuvat 10-12). A ja B osan välissä on liikuntasauama.



Kuva 10. Turun Lyseon koulurakennuksen pohjakuva, 1. kerros.



Kuva 11. Turun Lyseon koulurakennuksen pohjakuva. 2. kerros.



Kuva 12. Turun Lyseon koulurakennuksen pohjakuva. 3. kerros.

Rakennus on perustettu pilari- ja nauha-anturoiden varaan kalliolle tai moreenille. Kantavana pystyrakenteena ovat betoniset ulko- ja väliseinäelementit sekä betonipilarit. Kantavana vaakarakenteena ovat teräsbetonipalkit. Pohjakerroksessa

alaphjarakenteena on sekä kantavaa, että maanvaraista teräsbetonilaattaa. Toisen kerroksen koilliskulman opetustilat, pukuhuoneet ja pesutilat ovat maanvastaisia, muilta osin tilojen välipohjarakenteena on ontelolaatta tai paikallavalettu teräsbetonilaatta. Yläpohjan kantavana rakenteena on ontelolaatat, TT-laatat, sekä paikallavalettu betoni. Vesikatteena toimii konesaumapelti ja julkisivumateriaalina on tiili sekä pelti.

6.3 Tutkimusmenetelmät

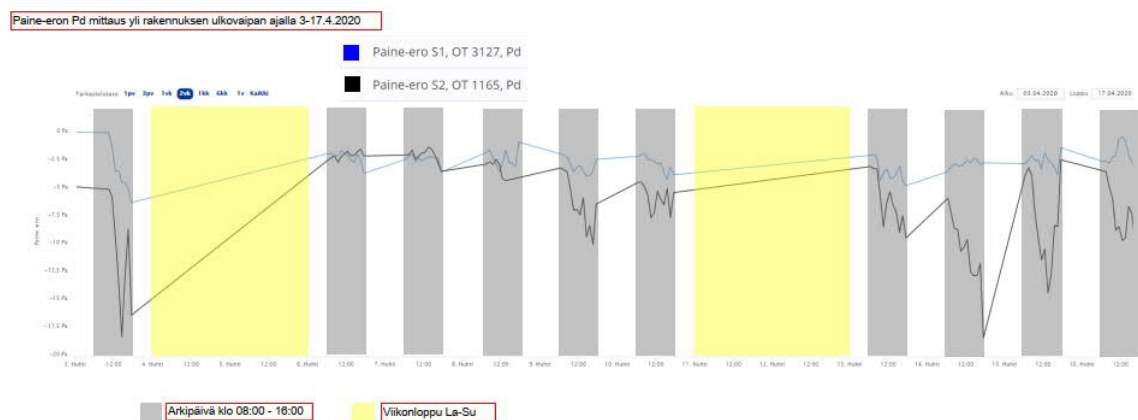
Kuntotutkimuksessa käytettiin useita eri tutkimusmenetelmiä. Prosessi aloitettiin tarkastelemalla lähtöaineiston asiakirjoja sekä luomalla rakenteiden rakennusfysikaalinen ja sisäilmatekninen riskiarvio jo olemassa olevien suunnitelmien perusteella. Lisäksi paikan päällä suoritettiin aistinvaraisia arvioita. Kuten edellä selvitettiin rakennekerroksia, -tyyppejä ja -liittymiä. Näistä rakenneavauksista tarkasteltiin toteutustapaa, rakennefysikaalista toimintaa sekä kuntoa. Kuten edellä suoritettiin pintakosteuskartoitus, viiltokosteusmittaukset sekä porareikäkosteusmittaukset. Mikrobianalyysiä varten otettiin rakennusmateriaaleista suoraviljelymikrobinäytteet. Rakennusmateriaalien VOC-yhdisteiden selvittämiseksi tehtiin näytteenotto ja lisäksi tehtiin paine-eromittauksia. Sisäilmatutkimuksissa otettiin teolliset mineraalikulituskeumanäytteet, testattiin sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus sekä sisäilman hiilidioksidipitoisuus. Rakenteiden ja rakenneliitosten tiiveysmittaukset suoritettiin merkkiainekokeilla.

6.3.1 Sisäilman mittaukset

Kohteessa tapahtuva koulutyö oli keskeytetty poikkeustilajärjestelyjen takia ja oppilaat olivat etäopetuksen piirissä mittausten suunniteltuna ajankohtana. Tämän vuoksi hiilidioksiidipitoisuus- ja lämpötilamittauksia ei tehty, koska vallitsevat olosuhteet eivät vastanneet niin sanottua normaalia rakennuksen käyttötilannetta, joka sisältää muun muassa luokkatilojen oppilasmäärät, muun henkilöstön tilojen käytön ja ruokalatoiminnan. Näin ollen tulokset eivät olisi olleet vertailukelpoisia ja mittaukset suositeltiin toteutettavaksi kun rakennuksen ja tilojen käyttöaste normalisoituu.

Paine-eromittauksia suoritettiin kohteessa 2 kappaletta ja mittaukset toteutettiin B1 osan ensimmäisessä kerroksessa sekä B2 osan kolmannessa kerroksessa aikavälillä 3-17.4.2020. Paine-eromittauksen perusteella mitatut tilat olivat pääasiallisesti alipaineisia ulkoilmaan nähden koko mittausjaksolla. Päiväaikaan sisäilman paine-ero ulkoilmaan

nähdessä vaihteli -20...-2 Pa välillä (kuva 13). Yhdessä opetustilassa alipaine ylitti asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen ohjeistuksen rajat rakennuksen alipainesuudelle. Ohjeen mukaan alipaineisuuden ollessa enemmän kuin 15 Pa, tulee sen syy selvittää ja mahdollisuuksien mukaan alipaineisuutta pienentää. Koulun betoninen seinärakenne on kohtuullisen tiivis, tämän vuoksi suurin osa alipaineen aiheuttamista korvausilmavirroista kulkeutuu tutkimuksissa vaurioituneeksi havaitun ikkunavälirakenteen lävitse. Mitatuissa tiloissa tuloilmavirrassa tapahtui ennen viikonloppua ja yöaikaa muutoksia, jotka aiheuttivat voimakasta alipaineisuutta tiloissa (kuva 13).



Kuva 13. Paine-ero mittaukset.

Tutkimuskohteesta mitattiin mahdollisia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (voc-mittaus), sekä emittoituvia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (flec-mittaus). Tuloksista analysoitiin niiden määrää ja pitoisuuksia lattian muovimattomateriaaleista sekä niiden esiintymistä sisäilmastossa. Näytteet otettiin muutamasta tilasta ensimmäisessä ja toisessa kerroksessa. Kyseiset tilat valikoituivat näytteenotto-alueiksi, sillä niissä oli aiemmin havaittu sisäilmassa poikkeavia hajuja. Rakennus kartoitettiin pintakosteudenilmaisimella ja kosteuspoikkeamat varmennettiin materiaalipintojen välistä muun muassa viiltomittauksin ennen näytteenottoa. Pintailmaisimella havaittiin selkeää kosteuseroa mitattavien tilojen lattiarakenteiden pinnoitteissa ja lattiarakenteiden osissa. Flec-tutkimuksessa muovimattopintojen kokonaispäästö oli pieni (TVOC näyte 1 < 20 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, näyte 2 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$). Näytteissä esiintyi 2-etyyli-1-heksanolia, 1-butanolia sekä aromaattisia hiilivetyjä C12-

alkyylibentseeni. Nämä ovat muovimattojen pehmittimissä käytettyjä sekä mattoliimojen kemiallisen hajoamiseen viittaavia yhdisteitä.

Kohteesta tehtiin pölynkoostumusmittaus pyyhintämenetelmällä jossa noudatettiin työterveyslaitoksen ohjetta pölyn koostumuksen mittaamisesta. Tällä tutkimuksella pyrittiin selvittämään aiemmin laskeutuneen pölyn sisältämiä hiukkasia. Tällä menetelmällä pystytään havaitsemaan melko kattavasti eri hiukkastyypin esiintyminen näytteessä. Hiukkastyyppejä ovat muun muassa tavanomainen huonepöly, karkea ulkoilmapöly, rakennusmateriaalipöly, teolliset mineraalikuidut, metallipöly, puupöly ja homeitiöt (ilman tarkempaa lajimääritystä). Auditoriosta otetussa näytteessä havaittiin tavanomaisen huonepölyn lisäksi teollisia mineraalikuuita joita olivat vuorivilla ja lasikuitu. Näiden määrä suhteutettuna näytteeseen oli 5-10-paino-%:a. Tavanomainen huonepöly koostuu lähinnä hilsehiukkasista, tekstiili- ja paperikuidusta. Laskeumanäytteet tutkittiin seitsemällä kappaleella geeliteippinäytteitä, joista tutkittiin kahden viikon aikana laskeutunut pöly. Tulosten perusteella näytteissä ei havaittu toimenpiderajojen ylittäviä määriä kuituja.

6.3.2 Ilmanvaihtotutkimukset ja tulokset

Turun lyseon koulun ilmanvaihtojärjestelmä on pääosin vuodelta 1994 ja ilmanvaihtojärjestelmä muodostuu seitsemästä erillisestä tulo- ja poistoilmakoneesta. Lisäksi kohteessa on useita erillispoistoja sekä käytöstä poistettuja vyöhykepeltejä. Eri käyttötilanteissa tulo- ja poistoilmamäärät eivät ole aiemmin pysyneet tasapainossa, jonka vuoksi rakennuksen automaatiojärjestelmä uusittiin vuonna 2015. B-osan luokkatilojen ja käytävien, sekä opetuskeittiön B-osan ilmanvaihtotutkimuksissa havaittiin että puhaltimet saavuttivat painemittariin merkityt tavoitellut kanavapaineet: tuo 227 Pa, (tavoite 230 Pa), poisto 209 Pa ja (tavoite 210 Pa). Koneen ulkoilmakammioissa ei ollut tarvittavaa viemärointiä, jonka vuoksi kammioon päätyvä lumi ja vesi pitivät kammion pohjaa märkänä (kuva 14). Näin ollen kammiossa olevilla epäpuhtauksilla oli mahdollisuus mikrobikasvuun. Koneen rakenteiden läpi kulkeutuvien vesijälkien perusteella voitiin pitää hyvin todennäköisenä lumen ja veden päätyminen suodattimiin.



Kuva 14. Ilmanvaihtokoneen tulokammiossa esiintyvää veden lammikoitumista sekä pieniä määriä orgaanista ainetta.

A-osan luokkatilojen ja käytävien ilmanvaihtotutkimusten osalta koneen puhaltimet saavuttivat myös tavoitellut kanavapaineet. A-osan ilmanvaihdossa ei myöskään koneen ulkoilmakammiossa ollut tarvittavaa viemärointiä. Koneeseen päätyvät vedet poistuivat koneesta hallitsemattomasti lattialle eri puolilta konetta. Lattialla sijaisi koneesta valuvien vesien poistoon tarkoitettu lattiakaivo, joka oli tukkeutunut. Koneen takana seinärakenteen sisäosassa sijaitseva kipsilevy vaikutti silmämääräisesti arvioituna mikrobivauriointuneelta. Myös liikuntasalin sekä keittiötilojen koneiden ulkoilmakammioiden viemärointi oli puutteellinen.

Kaikkien koneiden osalta ulkoilmasäleikön alareunan korkeus suhteessa alapuoliseen kattopintaan on puutteellinen. Kohteen rakentamisen aikana voimassa olleen RakmkD2/1987 mukaan ulkoilma-aukon alareunan korkeus alapuolisesta katto- tai tasopinnasta tulee mitoittaa selvästi suuremmaksi kuin alueen keskimääräinen lumipeitteen paksuus, joka on Länsi-Suomessa 0,7 m. Tämän seurauksena lumisina talvina säleiköjen kautta voi ilmanvaihtolaitteisiin kerääntyä haitallisia määriä lunta, joka tukkii ja kastelee ilmanvaihtolaitteiden tuloilmasuodattimia ja alentaa siten tuloilmamääriä ja lisää huoltotoimenpiteitä. Koneiden nykyinen rakennusautomaatiojärjestelmä sisältää riittävät mittapisteet järjestelmän toiminnan seuraamiseen ja vikatilanteiden havainnointiin, jolloin

lumen aiheuttamat vikatilanteet ovat todennäköisesti lyhytaikaisia. Koneiden kastuvien osien viemärointi oli puutteellista kaikkien koneiden osalta jonka vuoksi koneisiin tuloilman mukana kulkeutuva vesi lammikoituu koneiden pohjalle, tai valuu epätiiveyskohdista koneen ulko-osia pitkin lattiakaivoihin. Kuvassa 15 havainnollistettu ilmanvaihtokonehuoneiden tukketuneet lattiakaivot.

Kohteen ilmanjako on luokkatiloissa toteutettu sekoittavana ilmanvaihtona, sekä käytävä ja aulatiloissa ilmanjako tapahtuu syrjäyttävän ilmanjakona. Ilmanjako mahdollistaa tuloilman tasaisen sekoittumisen oleskelutiloihin, eikä ilmanjaossa havaittu merkittäviä sisäilman laatua heikentäviä puutteita. Suurimmat ilmajaon parantamiseen liittyvät havainnot kohdistuvat ilmanjakojärjestelmän puhtauden parantamiseen sekä mahdollisten epäpuhtaus- ja kuitulähteiden poistoon ilmanjakojärjestelmästä (pääsääntöisesti auditoriotilat).



Kuva 15. Ilmanvaihtokonehuoneen lattiakaivo tukkeutunut.

6.3.3 Rakennetutkimukset

Kohteena olleen Turun Lyseon koulun kuntotutkimuksessa rakennetutkimuksia tehtiin kattavasti kaikista rakennuksen eri osista. Tässä kappaleessa keskitytään korjauksen kannalta tärkeimpiin osa-alueisiin.

Rakennusten vierustoja tutkittiin aistinvaraisesti sekä rakennusten viereen tehtyjen kuoppien kautta, joita tehtiin neljä kappaletta. Silmämääräisissä tutkimuksissa kohteen luoteissivustalla olevan lastauslaiturin ympäristössä, sekä teknisentyön tilojen edustan asfaltoidut vierustat olivat painuneet ja vierustalla oli merkkejä veden lammikoitumisesta (kuva 16). Tämä aiheuttaa kosteusrasitusta ulkoseinän alaosille, sekä perustusrakenteille, sillä hulevedet eivät ohjaudu pois päin rakennuksesta. Kaivetuista koekuopista havaittiin, että maa-aines oli pääosin hienojakoista hiekkaa toisin, kuten suunnitelmista käy ilmi, jonka seurauksena vierustojen kuivumiskyky on huomattavasti heikompi. Kosteus nousee hienojakoisessa maa-aineksessa kapillaarisesti. Lisäksi tutkimuksissa havaittiin, että routasuojaus vietti loivasti rakennusta kohti, joka lisää perustusrakenteiden kosteusrasitusta.



Kuva 16. Rakennuksen viereiset maanpinnan kallistukset puutteelliset. Asfaltin pinnalla sokkelin vieressä merkkejä veden lammikoitumisesta.

Salaojien tutkimusten perusteella salaojien sisäpuolisten tarkastuskaivojen pohjat olivat kuivia, jonka perusteella kaivoissa ei ole kulkenut vettä. Salaojaputket oli kauttaaltaan asennettu virheellisesti anturapinnan yläpuolelle (kuva 17). Rakennuksen vierustoilla oleva hienojakoinen maa-aines voi tukkia salaojaputkia.

Tutkimusten perusteella todettiin, että kohteen alapohjarakenteisiin sekä seinärakenteiden alaosiin kohdistuu huomattavaa kosteusrasitusta. Syynä suurelle kosteusrasitukselle on pääsääntöisesti puutteellinen salaojitus sekä rakennuksen pohjan puutteellinen kuivatusjärjestelmä. Lisäksi kohde on rakennettu kalliolle, jolloin vesi voi kulkeutua kallioiden raoista tai kallion pintoja pitkin rakennuksen perustuksiin.



Kuva 17. Salaojaputki hienojakoisen maa-aineksesen ympäröimänä. Salaojituksen korkeusasema virheellisesti anturanpinnan yläpuolella.

Sadevesijärjestelmien tarkastuskaivoissa ei tutkimuksissa havaittu poikkeamia. Katoilta laskeutuvat sadevedet oli suurimmaksi osaksi ohjattu suoraan sadevesijärjestelmään, mutta katoksilta johdetut sekä liikuntasalin pukuhuonetilojen kohdalla vesikatolta ohjattiin sadevedet rakennuksen vierustalle. Liikuntasalin pukuhuonetilojen kohdalla oli havaittavissa veden lammikoitumista rakennuksen vierustalle. Syynä tähän oli betonisten

maahan asennettujen sadevesikourujen epätiiveydet. Kohteen itäseinustalla sisäänkäynnin kohdalla katoksen sadevedet ohjautuivat rakennuksen vierustalle ja kastelivat sokkeleita. Usean sadevesikaivon roskasihti oli lähes täysin tukkeutunut kasvillisuudesta ja roskista. Myös rännien ja syöksytorvien toiminnassa oli useita puutteita. Rakennuksen itäsivustalla oli sadevesikourusta irronnut sadevesisyöksy, jolloin vesi valui syöksyn ulkopintaa pitkin ja kasteli ulkoseinärakenteita. Teknisen työn tilojen kohdalla sadevesikourussa oli vuoto, jonka seurauksena ulkoseinä- ja ikkunarakenteet olivat kastuneet. Piilokouruun tehdyssä rakenneavauksessa havaittiin kosteusvaurioita piilokourun puunrungossa sekä koururankenteeseen liittyvissä rakenteissa. Rakennuksen pohjois- ja lounaissivustan piilokourujärjestelmän puurakenteissa havaittiin lahovaurioita yläpohjarakenteiden turkimusten yhteydessä.

Lounaissivustalla havaittiin katoksen alaosan harvalaudoituksessa lahovaurioita. Vaurioiden aiheuttaja oli tiivistämätön lämmityskaapelin läpivienti. Tiivistämättömän läpivientin kautta oli kulkeutunut kosteutta myös yläpohjan rakennekerrokseen. Metallirunkoisten katosten maalipinnoitteet ovat irtoilleet ja metalliosissa on alkavia ruostevaurioita.

Rakennuksen yläpohja- ja vesikattorakenteista löytyi puutteita useasta eri kohdasta. Vesikatteenä kohteessa oli konesaumattu peltikate, jossa ei ollut aluskatetta ja vesivuodot olivat päässeet kastelemaan eristekerroksia. Eristettä oli kuitenkin vaihdettu vuotokoh-tien osalta. Vesikattorakenne on monimuotoinen ja kohteen rakenteessa on useita liitoskohtia ja läpivientejä, joiden vedenpitävyys on heikko. Vesikate oli uusittu kohteen etelänpuolella opettajanhuoneiden kohdalla sekä ruokalan osalta. Alkuperäisessä vesikat-teessa oli havaittavissa ruostejätkiä (kuva 18 a), jotka voivat heikentää katteen vedenpi-tävyyttä. Vesikatteen pintoja, pellitysten saumoja sekä läpivientejä oli paikkailtu useasta eri kohtaa ympäri rakennusta (kuva 18 b).



Kuva 18. a) Ruostejälkiä alkuperäisen peltikatteen pinnoilla. b) Alkuperäisen vesikatteen sauma- ja liitoskohtia paikattu useasta eri kohtaa.

Kohteen anturoita sekä perusrakenteita tutkittiin aistinvaraisin havainnoin, rakenteisiin suoritettun pintakosteuskartoituksen avulla, rakennekosteusmittauksilla sekä rakenneavauksilla ja koekuoppien kautta. Alapohjiin, kantaviin väliseiniin sekä maanvastaisiin seiniin suoritettiin pintakosteuskartoituksia, joissa havaittiin kohonneita aroja väliseinien vierestä, pilarien vierustoilta, pilarianturoiden ja nauha-anturalinjojen ympäryksiltä sekä maanvastaisten seinien vierustoilta. Porareikämittausten avulla tutkittiin anturarakenteiden kosteuspitoisuuksia. Mittausten tuloksena havaittiin, että anturoiden ja perustusten betonirakenteiden kosteuspitoisuudet olivat korkeat. Taulukossa 5 on kuvattu osa porareikämittausten tuloksista. Seinien alaosista havaittiin maalipinnan irtoilua useasta paikasta sekä alapohjarakenteen päällysteistä huomattiin laajoja vaurioita.

Taulukko 5. Turun Lyseon koulun porareikämittausten tuloksia.

Nro	Tila	Krs	Rakennetyyppi	Materiaali	Syvyys (mm)	T (°C)	RH (%)	a (g/m ³)	Huomiot	Tulkinta
P1	Asunto makuuhuone (tiiliseinän vierestä)	1	AP1	Betoni	50	20,5	88,9	15,67		Kosteuspitoisuus koholla
P2	Asunto makuuhuone (tiiliseinän vierestä)	1	AP1	Betoni	20	20,5	84	15		Kosteuspitoisuus koholla
P3	Asunto keittiö	1			40	20,1	71	12,41		Kosteuspitoisuus ok
P4	Asunto keittiö	1	AP1	Betoni	20	20	72,1	12,5		Kosteuspitoisuus ok
P5	Keittiön takana käytävä	1	Kant. Väliseinä	Betoni (perusmuuri)	230mm (perusmuurista)	20,3	90,1	15,88	Mittaus suuntaa-antava, mittausputki epätiivis	Kosteuspitoisuus koholla
P6	Keittiön takana käytävä	1	Kant. Väliseinä	Betoni (perusmuuri)	150mm (perusmuurista)	20,3	93,8	16,51		Kosteuspitoisuus koholla
P7	Keittiön takana käytävä	1	Kant. Väliseinä	Betoni	50mm perusmuurista	20,2	95,3	16,77		Kosteuspitoisuus koholla
P8	Keittiön takana käytävä	1	Kant. Väliseinä	Betoni	50mm lattianpinnasta ylös	20,3	94,2	16,58		Kosteuspitoisuus koholla
P9	Keittiön takana käytävä	1	Kant. Väliseinä	Betoni	100mm lattianpinnasta ylös	20,4	58,6	10,42		Kosteuspitoisuus normaali
P10	1.krs aulan vaatesäilytys	1	AP2	Betoni	50mm	21,5	84,1	15,86	Pintakartoittimen lukema n. 80	Kosteuspitoisuus koholla
P11	1.krs aulan vaatesäilytys	1	AP2	Betoni	20mm	21,5	83,1	15,72		Kosteuspitoisuus koholla
P12	Rappusten alla varasto	1	AP2	Betoni	50mm	21,3	92,3	17,24		Kosteuspitoisuus koholla
P13	Rappusten alla varasto	1	AP2	Betoni	20mm	21,4	86,2	16,24		Kosteuspitoisuus koholla

Tutkimukset osoittivat, että perustuksiin ja anturarakenteisiin kohdistuu huomattava määrä kosteusrasitusta, joka johtuu rakennuksen kuivatusjärjestelmän puutteista, esimerkiksi salaojissa. Lisäksi rakennus on perustettu kalliolle rinteeseen, mistä vesi voi virrata kalliopintoja pitkin ja vettä voi kulkeutua kallion raoista anturoille. Anturoille ja perustuksille ajautuva kosteus pääsee nousemaan kapillaarisesti perustuksia pitkin rakenteisiin, jonka seurauksena alapohjarakenteissa ilmeni laajoja vaurioita.

Sokkelielementit olivat tutkimusten perustella suureksi osaksi hyväkuntoisia. Rapaumia löytyi esimerkiksi auditorion vastaisella sokkelin osuudella. Sokkelielementeissä havaittiin useassa kohtaa kosteuden aiheuttamia jälkiä ja koekuopista tehtyjen havaintojen perusteella sokkelielementtien saumaukset jatkuivat maanpinnan alapuolelle. Routaeristeet oli asennettu virheellisesti sokkelin kuorielementin alapuolelle ja ne ulottuivat vasten sokkelin EPS-eristettä. Puutteet routaeristyksessä aiheuttivat ylimääräistä kosteusrasitusta sokkelin eristekerrokseen. Sokkelielementin tuulettuvan tilan kautta oli ulkoseinärakenteen kautta suora ilmayhteys sisäilmaan ja sokkelirakenteen kautta kulkeutuvat ilmavuodot saattoivat heikentää sisäilman laatua.

Kohteen alapohjarakenteita tutkittiin aistinvaraisten havaintojen lisäksi rakennekosteusmittauksilla, rakenteisiin tehtyjen rakennevausten avulla sekä merkkiainekokeilla.

Tutkimuksissa todettiin, että alapohjarakenteiden toteutus poikkeaa suunnitelmista. Rakenteiden alapuolinen täyttöaines oli hienojakoista hiekkaa soran sijaan, joka ei tehokkaasti estä kosteuden kapillaarista nousua rakenteisiin. Rakennuksen pohjan kuivatusjärjestelmä toimii puutteellisesti, joka edesauttaa kosteuden nousua. Anturalinjojen kohdalla havaittiin kosteuden siirtyneen alapohjarakenteisiin. Alapohjarakenteet on päällystetty suurimmaksi osaksi vesihöyryä heikosti läpäisevillä päällysmateriaaleilla, kuten muovilla, eikä maaperästä nouseva kosteus pääse haihtumaan sisäilmaan vaan on aiheuttanut laajoja päällystevaurioita. Lisäksi eristekerroksen paksuus on riittämätön suurimmassa osassa alapohjarakenteita. Tutkimuksissa havaittiin myös, että täyttöaineksen lämpötila rakenteiden alapuolella nousee ja kosteus siirtyy maaperästä rakenteeseen päin diffuusion vaikutuksesta. Diffuusiolla siirtynyt kosteus on vaurioittanut alapohjarakenteiden päällysteitä myös rakenteen keskiosilla. Merkkiainekokeet paljastivat, että maaperästä on ilmayhteys sisätiloihin rakenteen reuna-alueiden kautta. Nämä edellä mainitut vauriot heikentävät sisäilmaa.

Kohteen kuntotutkimuksessa otettiin mikrobeiden suoraviljelynäytteitä useasta eri kohdasta. Suoraviljelynäytteitä tulkitaan taulukon 6 mukaisesti. Asteikon +-merkit määrittelevät mikrobien määrän tutkitusta materiaalista. Tulosten tulkinnassa huomiodaan tutkitun materiaalin sijainti rakennuksessa tai rakenteessa sekä käytetään aistinvaraisia havaitoja hajuista ja kosteusjäljistä.

Taulukko 6. Suoraviljelynäytteiden tulkinta tutkitusta materiaalista.

Asteikko	Selitys	Vaurioluokitus
-	Ei mikrobeja	Ei viitettä vauriosta
+	Niukasti mikrobeja (1–19 pesäkettä)	Ei viitettä vauriosta tai lievä viite vauriosta*
++	Kohtalaisesti mikrobeja (20–49 pesäkettä)	Lievä viite vauriosta*
+++	Runsaasti mikrobeja (50–199 pesäkettä)	Viite vauriosta
++++	Erittäin runsaasti mikrobeja (≥ 200 pesäkettä)	Viite vauriosta

* Mikäli tuloksessa on niukasti tai kohtalaisesti mikrobeja, huomioidaan tulosten tulkinnassa indikaattorimikrobien esiintyvyys.

Kohteesta löydettiin mikrobivaurioita. Alapohjarakenteissa olevassa liikuntasaumassa oli käytetty kovalevyä josta löytyi mikrovivaurioita. Ulkoseinärakenteiden eristeistä havaittiin myös mikrobivaurioita. Ikkunoiden asentamisessa käytetyistä puukiiloista löytyi mikrobivaurioita. Kyseiset asennuskiilat ovat virheellisesti jätetty asennuksen jälkeen paikoilleen. Ulkoseinärakenteiden ja ikkunoiden peltikoteloiden sisäpuolelle on päässyt kosteutta joten myös näistä havaittiin mikrobivaurioita. Taulukossa 7 on eritelty osa näytteenottokohdista, joista mikrobinäyte on otettu sekä suoraviljelyn tulos.

Taulukko 7. Materiaalien mikrobinäytteiden tulokset.

VS(aud.)1.1 villa	VS	1185 Auditorio	1.krs	Ei vauriota	Vain niukasti elinkykyisiä mikrobeja,lajistossa ei merkittäviä määriä kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja (mahdollinen itiökertymä tai vanha kuivunut vaurio).
VS(osast.)1.1 villa	VS	1110 Asunto-osan seinä	1.krs	Ei vauriota	Vain niukasti elinkykyisiä mikrobeja,lajistossa ei selkeästi kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja.
US1.12.1 villa	US1	tilan 2213 kohdalla	2.krs	Ei vauriota	Vain niukasti elinkykyisiä mikrobeja,lajistossa ei merkittäviä määriä kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja (mahdollinen itiökertymä tai vanha kuivunut vaurio).
US1.13.1 villa	US1	tilan 2213 kohdalla	2.krs	Ei vauriota	Vain niukasti elinkykyisiä mikrobeja,lajistossa ei merkittäviä määriä kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja.
US1.14.1 villa	US1	tilan 2150 kohdalla	2.krs	Viite vauriosta	Runsaasti elinkykyisiä sieni-itiöitä ja kosteusvaurioon viittaavaa sienilajistoa.
US1.15.1 villa	US1	tilan 2150 kohdalla	2.krs	Viite vauriosta	Erittäin runsaasti elinkykyisiä sieni-itiöitä sekä kosteusvaurioon viittaavaa sienilajistoa. Maljoilla havaittu ylikasvuvuitteita.
US1.16.1 villa	US1	tilan 2145 kohdalla	2.krs	Viite vauriosta	Runsaasti elinkykyisiä sieni-itiöitä,kosteusvaurioon viittaavaa sienilajistoa ja pieniä määriä kosteusvaurioon viittaavia aktinomykkeitejä. Maljoilla havaittu ylikasvua.
US1.17.1 villa	US1	tilan 2124 kohdalla	2.krs	Viite vauriosta	Runsaasti elinkykyisiä sieni-itiöitä ja kosteusvaurioon viittaavaa sienilajistoa. Maljoilla havaittu ylikasvua.
US1.18.1 villa	US1	tilan 2120 kohdalla	2.krs	Viite vauriosta	Runsaasti elinkykyisiä sieni-itiöitä,kosteusvaurioon viittaavaa sienilajistoa sekä erittäin runsaasti elinkykyisiä aktinomykkeitejä. Maljoilla havaittiin ylikasvua.
US1.19.1 villa	US1	tilan 1110 kohdalla	1.krs	Viite vauriosta	Kosteusvaurioon viittaavaa sienilajistoa pieniä määriä sekä erittäin runsaasti elinkykyisiä aktinomykkeitejä.
KS3.2.1 villa	KS3	tila 1209	1.krs	Ei vauriota	Vain niukasti elinkykyisiä mikrobeja,lajistossa ei merkittäviä määriä kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja.
KS3.3.1 villa	KS3	tila 1211	1.krs	Viite vauriosta	Kosteusvaurioon viittaavaa sienilajistoa pieniä määriä sekä erittäin runsaasti elinkykyisiä aktinomykkeitejä.
KS3.4.1 villa	KS3	tila 1211	1.krs	Viite vauriosta	Runsaasti elinkykyisiä sieni-itiöitä ja kosteusvaurioon viittaavaa sienilajistoa.
KS3.5.1 villa	KS3	tila 1209	1.krs	Viite vauriosta	Runsaasti elinkykyisiä sieni-itiöitä,kosteusvaurioon viittaavaa sienilajistoa sekä pieniä määriä aktinomykkeitejä.
IKK2.1.1 villa	IKK2	tila 2193	2.krs	Viite vauriosta	Runsaasti elinkykyisiä sieni-itiöitä ja kosteusvaurioon viittaavaa sienilajistoa. Maljoilla havaittiin ylikasvua.

Ulkoseinärakenteessa olevan eristekerroksen mineraalivillan mikrobinäytteen US1.15.1. suoraviljelyn tulokset paljastavat, että tutkitussa eristeessä havaittiin runsaasti sieni-itiöitä. Näytteessä esiintynyt erittäin runsas muiden bakteerien kasvu saattoi heikentää aktinomykeettien kasvua ja/tai havaittavuutta. Kokonaisuudessaan

näytteessä havaittiin laajalti kosteusvaurioon viittaavaa sienilajistoa, jonka seurauksena näytemateriaalissa katsotaan esiintyvän mikrobikasvustoa (kuva 19).

Näyte US1.15.1. Ulkoseinän eristekerros (mineraalivilla)			Bk759
Bakteerit, THG-alusta			Yht. ++++
Aktinomykeetit *		–	
Muut bakteerit		++++	
Sienet, mesofiiliset, M2-alusta			Yht. ++++
Homesienet	<i>Penicillium</i>	+++	
	<i>Phoma</i> *	++	
	<i>Aureobasidium</i>	+	
	<i>Cladosporium</i>	+	
Hiivasienet		+	
Sienet, mesofiiliset, Hagem-alusta			Yht. +++
Homesienet	<i>Penicillium</i>	+++	
	<i>Phoma</i> *	++	
	<i>Aureobasidium</i>	+	
	<i>Cladosporium</i>	+	
	<i>Exophiala</i> *	+	
Sienet, kserofiiliset, DG-18-alusta			Yht. ++++
Homesienet	<i>Penicillium</i>	++++	
	<i>Cladosporium</i>	+	
	<i>Phoma</i> *	+	

Kuva 19. Ulkoseinän eristevillan suoraviljelyn tulos.

6.4 Toimenpide-ehdotukset

Kohteen kuntotutkimuksen pohjalta on tehty kattava lista suositelluista toimenpide-ehdotuksista, jotka jaettiin kahteen ryhmään: nopealla aikataululla tehtäviin toimenpiteisiin sekä peruskorjauksen yhteydessä tehtäviin toimenpiteisiin.

Nopealla aikataululla tehtävät toimenpiteet ovat esitetty seuraavasti:

- Sadevesien pois johtamisessa havaitut puutteet rakennuksen vierustoilla korjataan.
- Sadevesisyöksyissä ja kouruissa havaitut puutteet korjataan, piilokourujärjestelmää suositellaan uusittavaksi nopealla aikataululla.
- Alapohjakanaalien luukut ja sähkökeskuksen läpiviennit tiivistetään.
- Käyttöä turvaavana toimenpiteenä alapohjarakenteiden vaurioituneet lattiapäällysteet suositellaan poistettavaksi. Pohjat hiotaan betonipuhtaaksi ja rakenteet kuivataan. Uudet lattiapäällysteet toteutetaan tehokkaasti vesihöyryä läpäisevillä tuotteilla.

- Katoksien vedenpoistossa ilmenneet ongelmat korjataan.
- Lounaissivustan katoksessa sijaitseva epätiivis läpivienti korjataan.
- Ruokalan tuloilmapäätelaitteet puhdistetaan.
- Tuloilman ulkoilmakammiot puhdistetaan.
- Ulkoilmasäleikköjen ja ulkoseinärakenteen epätiivisyyskohdat korjataan.
- IV-konehuoneet siistitään.
- Ilmanvaihtokone TK6:n (ruokala ja keittiö) ja siihen liittyvien poistoilmakoneiden aika- ja kanavapaineohjaus tarkastetaan.
- TK4 (liikuntasali) koneen ilmamääräohjauksen tarkistamista.
- Auditorion kiertoilmakoneen äänenvaimentimen kunto selvitetään ja tarvittaessa korjataan.
- Auditorion alapuoliset siirtoilmatilat tyhjennetään tavaroista.
- Alapohjarakenteissa kulkevien kanavaosien rakenteellinen kunto tarkastetaan ja korjataan tarvittaessa.

Peruskorjauksen yhteydessä tehtävät toimenpiteet ovat esitetty seuraavasti:

- Maanpinnan vierustojen maa-aines uusitaan, routaeristeet uusitaan ja maanpinnan kallistukset korjataan.
- Salaojajärjestelmä uusitaan. Sisäpuolisen salaojituksen toteutus suunnitellaan alapohjarakenteiden korjausten yhteydessä.
- Sadevesijärjestelmä suositellaan uusittavan salaojajärjestelmän uusimisen yhteydessä.
- Salaojituksen uusimisen yhteydessä maanvastaisten seinien ulkopuoliset lämmön- ja vedeneristyskerrokset tarkistetaan ja uusitaan tarvittaessa.
- Maanvastaisen seinärakenteen KS3 (ulkopuolelta lämmöneristetty ja kaksinkertaisesti vedeneristetty teräsbetoniseinä. Lämmöneristeenä on EPS ja vedeneristeenä bitumisively sekä huopakerros. Lisäksi sisäpuolinen eristys ja tiilimuuraus. Tiilimuurauksen lämmöneristykseenä on mineraalivilla) sisäpuolinen tiilverhous ja lämmöneristekerros puretaan.
- Sokkelirakenteisiin tehdään paikkakorjauksia. Ilmavirtauksia sokkelirakenteista sisäilmaan vähennetään ulkoseinärakenteisiin ja niihin liittyviin rakenteisiin tehtävien tiivistyskorjausten avulla.
- Alapohjarakenteet suositellaan purettavaksi. Alapuoliset täyttöaineskerrokset ja lämmöneristeet uusitaan ja valetaan uudet teräsbetonilaatat. Uudet alapohjarakenteet päällystetään vesihöyryä läpäisevillä pinnoitteilla.

- Alapohjakanaaleissa kulkeva tekniikka muutetaan kulkemaan esimerkiksi alakatopintojen yläpuolella mahdollisuuksien mukaan.
- Halkeamat välipohjarakenteissa korjataan. IV-konehuoneen muovimattopäällysteet korjataan tarvittavilta osin.
- Hissikuilun pohjan päällystekerros uusitaan.
- Liikuntasauumarakenteesta poistetaan vaurioitunutta materiaalia mahdollisimman syvältä alapohjarakenteiden korjauksen yhteydessä. Liikuntasauumarakenne tiivistetään kaikissa kerroksissa soveltuvan tiivistyskorjausjärjestelmän mukaisesti.
- Julkisivuihin kohdistuvaa kosteusrasitusta vähennetään muiden rakenneosien korjausten kautta. Elementtien saumaukset tarkastetaan ja uusitaan tarvittavilta osin. Eristekerroksissa esiintyvien mikrobivaurioiden vaikutusta sisäilmaan vähennetään paikkaamalla havaitut halkeamat ulkoseinärakenteen sisäkuoressa, sekä suorittamalla tiivistyskorjaukset ulkoseinän ja siihen liittyvien rakenteiden rajapinnoissa.
- Toinen raskaampi vaihtoehto on korjata julkisivut kokonaisuudessaan purkamalla betoninen ulkokuori ja uusimalla mineraalivillaeristeet. Ulkokuori korjataan kosteusteknisesti toimivaksi erikseen laaditun korjaussuunnitelman mukaisesti.
- Ikkunoiden ulkopuolisten pellitysten tiiveyden tarkastetaan ja korjataan. Metallisten ikkunoiden ja ulkoseinien väliset saumaukset uusitaan. Ikkunoiden ulkopuolelle asennetaan tippalista. Vanhat ikkunoiden sisäpuoliset listat poistetaan, puiset asennuskiilat poistetaan ja ikkunoiden asennusraot eristetään uudestaan.
- Vauriot ikkunasyvennysten maali- ja tasoitepinnoissa korjataan.
- Rakennuksen pohjoissivustan ulokerakenteiden koteloinnit uusitaan.
- Ikkunoiden väliset levytykset rakennuksen pohjoissivulla korjataan.
- Ikkunoiden ja seinien liitoskohdat tiivistetään soveltuvalla tiivistyskorjausjärjestelmällä.
- Ulko-ovet huoltomaalataan. Puutteet ulko-ovien toimivuudessa korjataan tarvittavilta osin. Ovien puupaneloinnit uusitaan huoltomaalauksen yhteydessä.
- Katosrakenteiden alapuoliset laudoitukset ja vaneroinnit uusitaan. Metalliset katonkattokset huoltomaalataan.
- Alkuperäiset vesikatteet uusitaan. Katteen alapuolelle asennetaan aluskate. Yläpohjaeristeitä uusitaan tarvittavilta osin.
- Tummentuneet ja vaurioituneet akustiikkalevyt vaihdetaan uusiin.

- Seinien maali- ja tasoitepinnat hiotaan vaurioituneilta osin puhtaiksi ja korjataan vesihöyryä läpäisevillä tuotteilla alueilla, joissa kosteutta voi siirtyä seinärakenteisiin kapillaarisesti.
- Märkätilat uusitaan kokonaisuudessaan.
- Ulkoilmasäleikköjen rakenteet uusitaan.
- Tuloilmakoneet viemäroidään / lammikoituminen estetään koneen sisällä.

7 YHTEENVETO

Rakennusten kosteus- ja sisäilmaongelmat ovat Suomessa erittäin yleisiä. Aihe on ajankohtainen, sillä useat ihmiset saavat terveyshaittoja oleillessaan rakennuksessa, jossa on sisäilmaongelmia. Pitkäaikainen altistuminen voi aiheuttaa vakavia ja kroonisia terveyshaittoja. Opinnäytetyön aiheena oli selvittää erilaisia tekijöitä, jotka vaikuttavat kosteus- ja mikrobivaurioiden syntyyn, sekä niiden terveydellisiä vaikutuksia ihmisiin. Opinnäytetyössä käsiteltiin myös tapaustutkimuksena Turun Lyseon koulun kosteusteknistä kuntotutkimusta. Kohteessa oli todettu laajalti kosteusvaurioita, jonka seurauksena sisäilma oli heikentynyt. Opinnäytetyön tavoitteena oli esitellä ja kartoittaa rakennusten sisäilmaongelmia rakennusteknisesti rakenteiden kosteusvaurioitumisen näkökulmasta ja tuoda esille niiden vaikutuksia rakennusten käyttäjiin. Tapaustutkimuksen avulla tavoitteena oli tarkastella yksityiskohtaisesti koulurakennuksissa tehtyjä puutteellisia rakennusratkaisuja sekä toimenpiteitä joilla näitä ongelmia voidaan korjata. Tapaustutkimuksen kohteeksi valikoitui koulurakennus, sillä useissa kouluissa ympäri Suomea on todettu sisäilmaongelmia.

Rakennusten kosteusteknisessä toiminnassa tärkeimpiä tekijöitä ovat rakennukseen kohdistuvat kosteuslähteet, rakennuksessa tapahtuvat ilmapirtaukset sekä se, miten kosteus rakenteissa pääsee siirtymään. Nämä edellä mainitut tekijät ovat merkittäviä kosteus- ja mikrobivaurioiden syntymiseen rakenteissa. Rakennusten kosteuslähteet voidaan jakaa sisäisiin ja ulkoisiin kosteuslähteisiin. Ulkoisia kosteuslähteitä ovat esimerkiksi sade, lumi ja maaperän kosteus. Ulkoiset kosteuslähteet luovat suurta kuormitusta rakenteisiin. Sisäisiä kosteuslähteitä ovat muun muassa siivous, peseytyminen ja putkivuodot.

Kosteuden ja vesimolekyylien siirtymiseen on useita eri menetelmiä, joista yksi yleinen on veden kapillaarinen siirtyminen. Kapillaarisessa veden siirtymisessä vesimolekyylit liikkuvat veden pintajännitysvoimista aiheutuvan huokosalipaineen seurauksena. Kapillaari-ilmiö huokoisessa materiaalissa vaatii kuitenkin kosketuksen veteen tai toiseen huokoiseen materiaaliin, josta vesi siirtyy materiaalin huokoisia pitkin. Veden kapillaarinen liikehdintä voi tapahtua mihin suuntaan vain ja ilmiössä siirtyvä kosteusmäärä voi olla merkittävä. Homeitiöiden lisäksi sisäilman laatuun vaikuttavat useat eri tekijät. Sisäilmaongelmat johtuvat muuna muassa riittämättömästä ilmanvaihdosta. Muita usein esiintyneitä sisäilmaongelmien aiheuttajia ovat kosteus- ja homevauriot sekä lämpötila-

ja veto-ongelmat. Lisäksi tietyt aineet kuten Radon vaikuttaa sisäilman laatuun. Radon on kaasu, joka on radioaktiivista ja hajutonta. Sitä ei myöskään kykene näkemään, vaikka sitä esiintyisi sisäilmassa. Näkymättömän olomuotonsa vuoksi radonpitoisuuden selvittäminen sisäilmasta pitää tehdä mittamalla. Kaikki nämä edellä mainitut seikat tulee ottaa huomioon rakennuksien suunnitelu- ja rakennusvaiheessa.

Kohteena olleen Turun Lyseon koulun kosteus- ja mikrobivaurioiden syntymekanismit olivat rakennusteknisesti hyvin samankaltaisia, kuten muissa alan julkaisuissa on tutkittu. Kosteus- ja mikrobivauriot olivat hyvin samankaltaisia muihin sisäilmaongelmista kärsivien rakennusten tietoihin verrattuna. Turun Lyseon koulun useat rakennustekniset puutteet ovat aiheuttaneet ajan mittaan koulurakennukselle kosteusrasitusta, joiden seurauksena kosteus- ja mikrobivaurioita on syntynyt ja sisäilman laatu on heikentynyt.

Rakennuksen pohjan kuivatusjärjestelmä toimi puutteellisesti. Pohjan täyttöaines oli hienojakoista ja salaojien toteutuksessa havaittiin puutteita. Sadevedet ohjautuivat rakennuksen vierustoille useassa paikassa ja vierustoilla sijaitsevien routaeristysten kallistukset olivat puutteellisia. Perustuksiin kohdistui huomattavaa kosteusrasitusta, jotka ilmenivät alapohjarakenteisiin, maanvastaisten seinärakenteiden alaosiin ja kantavien väliseinien alaosiin kohdistuvana kapillaarisena kosteuden nousuna. Alapohjarakenteen alapuolinen eristekerros ei ollut riittävä ja maaperästä nousi kosteutta kyseisellä rakenneosalla myös diffuusion vaikutuksesta. Kosteus oli vaurioittanut muovimattopäällysteitä ja muovimattojen liimakerroksia laajoilta alueilta ensimmäisessä kerroksessa ja toisen kerroksen maanvastaisilla osilla.

Tapaustutkimuksen kohteena olleen Turun Lyseon koulun rakentamisvaiheessa oli tehty useita rakennusteknisiä virheitä, jotka ovat ajan saatossa aiheuttaneet rakennukseen suurta kosteusrasitusta ja johtaneet sisäilmaongelmien syntymiseen. Tiettyjä virheitä sekä puutteita on vuosien saatossa paikkailtu, kuten esimerkiksi vesikaton vuotavia liitospaikoja. Nämä korjaukset olivat kuitenkin keskittyneet lähinnä pintapuoliseen korjaukseen eikä varsinaisten juurisyyden korjaukseen.

Kuntotutkimus oli tehty hyvin kattavasti ja tutkittavat osiot olivat jaettu eri osa-alueisiin. Isosta koulurakennuksesta oli tarkasti tutkittu useat eri tilat jokaisesta eri kerroksesta. Silmämääräisesti aistihavaintojen lisäksi tutkimuksessa käytettiin useita eri mittausmenetelmiä ja suoritettiin rakenneavauksia. Näin saatiin kattavasti mitattavaa dataa rakennuksesta. Kuntotutkimuksen tekohetkellä koulussa ei ollut enää opetustoimintaa, jonka vuoksi hiilidioksiidipitoisuus- ja lämpötilamittauksia ei tehty, koska vallitsevat olosuhteet

eivät vastanneet niin sanottua normaalia rakennuksen käyttötilannetta, joka sisältää muun muassa luokkatilojen oppilasmäärät, muun henkilöstön tilojen käytön ja ruokala-toiminnan. Näin ollen tulokset eivät olisi olleet vertailukelpoisia ja mittaukset olisi hyvä tehdä silloin, kun rakennuksen käyttöaste on normaali. Muiden tutkimusten osalta kuntotutkimus oli hyvin tehty ja tärkeänä löydöksenä laaja home- ja mikrobikasvusto eri puolilta rakennusta. Kuntotutkimuksen tuloksena oli pitkä lista toimenpide-ehdotuksia, jotka oli jaettu nopealla aikataululla tehtäviksi ja peruskorjauksen yhteydessä suoritettaviksi. Toimenpide-ehdotukset kattoivat kohteesta löytyneet puutteet ja vastasivat nykyaikaisia rakennusmääräyksiä.

LÄHTEET

- Chen, Q. F.; Milburn, R. K. & Karellas, N. S. 2006. Real time monitoring of hazardous airborne chemicals: A styrene investigation. *Journal of Hazardous Materials*, 132, 261-268. Viitattu 19.6.2021.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438940500600X>
- Eriksson, P. & Koistinen, K. 2014. Monenlainen tapaustutkimus.
- Haverinen-Shaughnessy, U.; Leppänen, H.; Salmela, A. & Hyvärinen, A. 2020. Altistuminen sisäympäristössä : yleisyys Suomessa ja Pohjoismaissa. THL. Viitattu 1.7.2021.
https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/139748/URN_ISBN_978-952-343-402-8.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hengitysliitto. 2021a. Sisäilman epäpuhtaudet ja hajut. Viitattu.
<https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/sisailman-laatu/sisailman-epapuhautet-ja-hajut/>
- Hengitysliitto. 2021b. Sisäilman laatu. Viitattu 18.5.2021.
<https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/sisailman-laatu/>
- Kojo, K.; Rantala, A.; Kurttio, P. & Perälä, M. 2017. Työpaikan sisäilman radonkartoitus Suomen kouluissa : Ympäristön säteilyvalvonnan toimintaohjelma. Säteilyturvakeskus 11/2017. Viitattu 1.7.2021.
<https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/135512/tyopaikan-sisailman-radonkartoitus-suomen-koulussa-2016-2017-ympariston-sateilyvalvonnan-toimintaohjelma-10-2017.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Leivo, V. & Rantala, J. 2000. Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus. Viitattu 19.7.2021.
https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/116709/leivo_%2520rantala_maanvastaisten_alapohjarakenteiden.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Meklin, T.; Putus, T.; Hyvärinen, A.; Haverinen-Shaughnessy, U.; Lignell, U. & Nevalainen, A. 2007. Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot : opas ongelmien selvittämiseen. Helsinki: Kansanterveyslaitos : Edita Publishing.

- Mölsä, S. 2017. Kosteudenhallintakoulutus halutaan pakolliseksi työmaille. Rakennuslehti. Viitattu 3.7.2021. <https://www.rakennuslehti.fi/2017/10/kosteudenhallintakoulutus-halutaan-pakolliseksi-tyomaille/>
- Pitkäranta, M. 2016. Ympäristöopas 2016. Ympäristöministeriö, Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Turenki: Hansaprint.
- RIL 107-2012. 2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
- RIL 250-2020. 2020. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- Riskirakenne. 2017. Viitattu 2.12.2021. <https://raksystems.fi/sanasto/riskirakenne/>
- RT 80-11202. 2016. Rakennusten suojapellitykset. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- RT 81-10854. 2005. Pientalon perustukset ja alapohjien liittymät. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- RT 82-11006. 2010. Ulkoseinärakenteita. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka, perusteet ja sovelluksia. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Sisäilmayhdistys ry. 2008a. Kemialliset epäpuhtaudet. Viitattu 14.6.2021. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Kemialliset-epapuhtaudet>
- Sisäilmayhdistys ry. 2008b. Kosteuslähteet. Viitattu 19.7.2021. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuslahteet>
- Sisäilmayhdistys ry. 2008c. Mikrobien terveyshaitat. Viitattu 7.7.2021. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Terveysvaikutukset/Mikrobien-terveyshaitat>
- Sisäilmayhdistys ry. 2008d. Perustietoa. Viitattu 17.5.2021. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Perustietoa>

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysohje. Helsinki.

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2015. Asumisterveysasetus.

Säteilyturvakeskus. 2021. Radon. Viitattu 17.6.2021. <https://www.stuk.fi/aiheet/radon>

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2020. Sisäilma. Viitattu 17.5.2021.
<https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/sisailma>

Turun Lyseon koulu kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. 2020. Viitattu 11.9.2021. https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files//2020-05-07-turun_lyseo_kosteus_ja_sisailmatekninen_kuntotutkimus.pdf

Turun Lyseon kuntotutkimuksen liitteet. 2020. Viitattu 3.11.2021.
https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files//2020-05-07-turun_lyseo_liitteet.pdf

Valtionneuvoston kanslia. 2017. Ehdotus terveet tilat 2028-toimenpideohjelmaksi. Helsinki. Viitattu 19.5.2021.
<https://vnk.fi/documents/10616/334456/Ehdotus+Terveet+Tilat+2028+-toimenpideohjelmaksi.pdf/9af292aa-2ae5-482f-b5e5-ee1cbfd576e>

Valvira. 2016. Sisäilman kemikaalit. Viitattu 3.6.2021

<https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys/kemikaalit>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta (782/2017). 2017. Viitattu 2.7.2021. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782>