

Tommi Hartonen

BETONIJULKISIVUN MIKROBIVAURIOT ja niiden vaikutukset kiinteistön elinkaarihallintaan

Rakennustekniikka
Diplomityö
Toukokuu 2019

TIIVISTELMÄ

Tommi Hartonen: Betonijulkisivun mikrobivauriot ja niiden vaikutukset kiinteistön elinkaarihallintaan
Diplomityö, 61 sivua, 2 liitesivua
Tampereen yliopisto
Diplomi-insinöörin tutkinto, Rakennustekniikan DI-tutkinto-ohjelma
Toukokuu 2019

Betonijulkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimus on vakiintunut osaksi järjestelmällistä kiinteistön pitoa. Sen sijaan betonijulkisivujen lämmöneristeiden kuntotutkimus on edelleen ns. harmaalla alueella, eikä sen mikrobiologisia kuntoa useinkaan tutkita systemaattisesti.

Tämän diplomityön tarkoituksena on selvittää, onko betonisandwich-rakenteen kuntoa ylipääntään tarpeen selvittää. Tähän tarpeeseen vaikuttaa yleisesti mm. vaurioiden yleisyys, niiden vaikutukset rakennuksien sisäilman laatuun sekä viimeistään niiden huomioiminen korjaushankkeeseen ryhdyttäessä. Kiinteistön omistaja määrittää tarpeen perustuen omaan kiinteistönpidon strategiaan. Jokaisella kiinteistön omistajalla on oma strategiansa, joka perustuu kiinteistön omistajan subjektiiviseen näkemykseen, miten kiinteistöä huolletaan, ylläpidetään ja kunnostetaan.

Näiden kiinteistön omistajakohtaisten erojen selvittämiseksi tässä diplomityössä toteutettiin kvalitatiivinen tutkimus, jossa tutkimusmenetelmänä käytettiin teemahaastattelua. Tutkimukseen osallistuneet henkilöt olivat suurien kiinteistön omistajaorganisaatioiden edustajia sekä kiinteistöjen korjaus- ja kunnossapitohankkeiden parissa työskenteleviä suurehkojen insinööritoimistojen asiantuntijoita.

Tutkimustuloksena saatiin mielenkiintoisia sekä tietyissä asioissa toisistaan hyvinkin poikkeavia näkemyksiä. Näiden näkemyksien sekä laajan teoriakatsauksen yhdistelmänä diplomityössä selvitettiin tätä jokseenkin taka-alla olevaa, mutta toisaalta mm. sisäilman laadun sekä korjaushankkeen kustannuksien optimoinnin kannalta tärkeää asiaa, sekä sitä, miten kyseisen asia huomioidaan kiinteistön elinkaaren aikana.

Avainsanat: betonielementti, sandwich, sisäilma, mikrobivaurio, kiinteistön elinkaari

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Tommi Hartonen: Moisture damages in concrete wall and their influences in real estates life cycle
Master of Science Thesis, 61 pages, 2 Appendix pages
Tampere University
Master's Degree Programme in Civil Engineering
May 2019

Concrete facade and balconies have been established as part of systematic property maintenance. In contrast, the condition study of thermal insulation of concrete facades is still so-called in the gray area, and its microbiological condition is often not systematically studied.

The purpose of this thesis is to determine whether the condition of the concrete element structure insulation needs to be overcome. This need is generally influenced by eg. frequency of damage, their effects on indoor air quality and, at the latest, their consideration when making a repair project. The owner of the property determines the need based on his own property management strategy. Each property owner has its own strategy based on the subjective view of the property owner on how to service, maintain and renovate the property.

In order to clarify these property-specific differences in the property, a qualitative study was carried out in this thesis, using a thematic interview as a research method. The persons involved in the study were representatives of large property owners' organizations and experts in major engineering projects working on property repair and maintenance projects.

The results of the research provided interesting and very divisive views on certain issues. In combination with these views and a broad theoretical review, this thesis explored this somewhat behind-the-top, but among other things important in terms of optimizing indoor air quality and the cost of a repair project, and how this matter is taken into account during the life cycle of a property.

Keywords: concrete element, indoor air, microbial damage, property life cycle

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Aluksi haluan kiittää professori Arto Saarta sekä professori Matti Penttiä työni ohjaamisesta sekä arvokkaista neuvoista ja vinkeistä, jotka ovat tukeneet ja toisaalta innoittaneet tämän diplomityön aihetta.

Lisäksi haluan kiittää työnantajaani Raksystems Insinööritoimisto Oy:n toimitusjohtajaa DI Marko Malmivaaraa sekä kuntotutkimusosaston johtajaa DI Jari Marttista mahdollisuudesta saada tehdä diplomityötäni töiden ohella. Samoin haluan kiittää Raksystems Insinööritoimiston sisäilmaosaston johtajaa RI(yamk) Elina Saukkoa saamastani tuesta ja ohjauksesta erityisesti sisäilman laatua koskevilla kysymyksillä.

Suuret kiitokset myös perheelleni saamastani tuesta projektin aikana. Etenkin suuret kiitokset haluan esittää puolisololleni sekä pojalleni Vennille, joka on ikävästä huolimatta hienosti jaksanut, vaikka isä on ollut Tampereella opiskelemaan.

Tampereella, 31.5.2019

Tommi Hartonen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	8
1.1 Tavoitteet	9
1.2 Rajaukset.....	9
1.3 Vaiheet ja käytetyt menetelmät	9
2. KIRJALLISUUSKATSAUS BETONIJULKISIVUJEN MIKROBIVAURIOIHIN SEKÄ NIIDEN VAIKUTUKSIIN KIINTEISTÖN TEKNISESSÄ YLLÄPIDOSSA	11
2.1 Mikrobit ja niiden kasvu rakennuksissa	11
2.1.1 Mikrobin kasvuolosuhteet sekä niiden kasvu rakennusmateriaaleissa ja rakenteiden sisällä.....	12
2.1.2 Mikrobilajistot ja kosteusvaurioindikaattorit.....	14
2.1.3 Mikrobin vaikutukset rakennuksen käyttäjille	15
2.1.4 Mikrobin tutkiminen	16
2.2 Betonijulkisivu	16
2.2.1 Betonisandwich-elementin rakenne	16
2.2.2 Käytetyt materiaalit.....	18
2.2.3 Kosteustekninen toiminta	19
2.2.4 Kosteusrasitukset.....	20
2.3 Mikrobivauriot betonijulkisivuissa ja niiden vaikutukset sisäilman laatuun	21
2.3.1 Mikrobivaurioiden yleisyys	21
2.3.2 Mikrobivaurioiden vaikutukset sisäilman laatuun	22
2.3.3 Paine-erot sekä ilmavuodot rakenteiden sisältä	23
2.4 Kiinteistön elinkaaren tekninen hallinta	23
2.4.1 Kiinteistön ylläpito	24
2.4.2 Korjausrakentaminen osana kiinteistönpitoa	24
2.5 Betonisandwich-rakenteen korjausratkaisut	26
2.5.1 Pinnoitus- ja paikkakorjaukset.....	26
2.5.2 Verhoukcorjaus	27
2.5.3 Purkavakorjaus.....	27
2.5.4 Sisäkuoren tiivistyskorjaus	27
2.5.5 Mikrobivaurioiden huomioiminen julkisivukorjauksissa	28
2.6 Kuntotutkimus osana korjausrakennushanketta.....	30
2.6.1 Betonijulkisivun kuntotutkimus	30
2.6.2 Lämmöneristeen mikrobivaurioiden tutkimus.....	31
2.6.3 Materiaalinäytteet, analysointi sekä tuloksien tulkinta	32
2.6.4 Täydentävät kuntotutkimusmenetelmät betonijulkisivun lämmöneristeen kuntotutkimuksissa	34
2.6.5 Kuntotutkimuksen laatuun vaikuttavat tekijät.....	36
2.7 Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto.....	37

3. TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN.....	39
3.1 Tutkimusongelman kuvaus	39
3.2 Haastattelututkimus	39
3.3 Teemahaastattelun toteuttaminen	39
3.3.1 Haastatteluteemojen muodostaminen	39
3.3.2 Haastateltavien valinta	40
3.3.3 Haastattelun kulku.....	41
3.3.4 Haastatteluaineiston purkaminen.....	41
4. TEEMAHAASTATTELUN TULOKSET, ANALYSOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET	43
4.1 Mikrobivaurioiden vaikutukset kiinteistön ylläpidossa	44
4.1.1 Tutkimustulokset	44
4.1.2 Tuloksien analysointi ja johtopäätökset	47
4.2 Mikrobivaurioiden vaikutukset korjausrakentamisessa	48
4.2.1 Tutkimustulokset	48
4.2.2 Tuloksien analysointi ja johtopäätökset	53
4.3 Mikrobivaurioiden vaikutukset tulevaisuudessa	54
4.3.1 Tutkimustulokset	54
4.3.2 Tuloksien analysointi ja johtopäätökset	55
4.4 Haastattelututkimuksen yhteenveto.....	56
5. TULOSTEN TARKASTELU JA LISÄTUTKIMUSTARPEET	57
5.1 Tulosten tarkastelu	57
5.2 Lisätutkimustarpeet.....	58
6. YHTEENVETO	59
LÄHDELUETTELO	60

KÄSITTEITÄ

Absoluuttinen kosteus	Absoluuttinen kosteus ilmoittaa absoluuttista veden tai vesihöyryn määrää tietyssä tilavuudessa tai massayksikössä.
Aktinomykeetti	Muita nimityksiä ovat sädesieni sekä aktinobakteeri. Lajikkeena mm. <i>Streptomyces</i> . Gram-positiivisiä bakteereja, joilla on kyky muodostaa rihmastoja ja itiöitä.
cfu/g	Mikrobiologian käsite, joka kuvaa kuinka monta pesäkkeen muodostavaa yksikköä on grammassa materiaalia. Sama kuin pmy/g = pesäkkeen muodostavaa yksikköä per gramma.
cfu/m ³	Mikrobiologian käsite, joka kuvaa kuinka monta pesäkkeen muodostavaa yksikköä on kuutiometrissä ilmaa. Sama kuin pmy/ m ³ = pesäkkeen muodostavaa yksikköä per kuutiometri.
Diffuusio	Diffuusio on kaasun tai nesteen molekyylien liikettä väkimmästä pitoisuudesta laimeampaan.
Hydrataatio	Hydrataatio rakennustekniikan yhteydessä tarkoittaa veden ja sementin sisältämien mineraalien välillä tapahtuvaa kemiallistareaktiota, jonka vaikutuksesta niiden muodostama pasta kovettuu kuivuessaan.
Hygroσκοoppisuus	Materiaalin hygroskooppisella kosteudella tarkoitetaan materiaalin kykyä sitoa itseensä kosteutta ilmasta. Materiaalin kosteuspitoisuus pyrkii tasapainoon ympäröivän ilman kosteuden kanssa.
Karbonatisoituminen	Betonin karbonatisoitumisella tarkoitetaan ilman hiilidioksidin reaktiota sementtikiven hydroksidien ja hydraattien kanssa siten, että huokosveden korkea alkalisuus (pH \geq 12,6) neutralisoituu tason pH 9 alapuolelle.
Kondenssi	Kondenssi on aineen olomuodon muutos, jossa kaasumainen aine muuttuu nesteeksi.

Mesofiilinen	Mesofiilinen on mikrobiologian käsite, joka kuvaa mikro-organismien optimilämpötilaa kasvulle. Mesofiiliset mikrobit elävät keskilämpötilassa ja niiden lämpötilaoptimi on 37°C.
Toimenpideraja	Asumisterveysasetuksessa (STMa 545/2015) kuvattu altisteen toimenpiderajalla pitoisuutta, mittaustulosta tai ominaisuutta, jolloin sen, kenen vastuulla haitta on, tulee ryhtyä terveydensuojelulain 27§:n tai 51§:n mukaisiin toimenpiteisiin terveysthaitan selvittämiseksi ja tarvittaessa sen poistamiseksi tai rajoittamiseksi (STMa 545/2015, 2§).
Suhteellinen kosteus	Suhteellinen kosteus [RH] ilmaisee suhteellisena arvona, kuinka paljon ilmassa on kosteutta verrattuna siihen, kuinka paljon se voi kussakin lämpötilassa enimmillään sisältää.
Vesiaktiivisuus	Vesiaktiivisuus [A_w] kuvaa mikrobien käytössä olevan vapaan veden määrää. Vesiaktiivisuus saa arvoja väliltä 0-1, jossa 1 kuvaa puhtaan veden vesiaktiivisuutta. Vesiaktiivisuus korreloi ilman tai materiaalin huokosen suhteellisen kosteuden kanssa.

1. JOHDANTO

Tutkimus toteutetaan kuntoarvioihin sekä -tutkimuksiin erikoistuneen valtakunnallisen toimijan Raksystems Insinööritoimisto Oy:n toimeksiannosta. Tässä työssä käsitellään miten betonisandwich-rakenteen sisällä olevat mikrobivauriot vaikuttavat kiinteistöjen elinkaaren hallintaan kiinteistön omistajan näkökulmasta.

Tutkimuksen aihe on mielenkiintoinen, koska se on herättänyt keskustelua eri asiantuntijoiden kesken. Etenkin mielipiteitä jakavaksi tekijäksi on muodostunut betonijulkisivun lämmöneristeen kuntotutkimus sekä betonijulkisivun kuntotutkimuksien yhteydessä tehtävien lämmöneristeeseen suunnattujen kuntotutkimuksien tarpeellisuus. Nykypäivänä mediassakin paljon puhuttujen sisäilman laatuun liittyvien ongelmien yhtenä tekijöistä pidetään rakenteiden kosteus- ja mikrobivaurioita. Rakennushankkeen yhteydessä toteutettavien kuntotutkimusten yleisenä tavoitteena on antaa kiinteistön omistajalle lähtötiedot korjausvaihtoehtojen vertailua varten. Näiden takia on oleellista tietää, mikä merkitys mahdollisilla betonijulkisivun mikrobivauriolla on kiinteistön ylläpitoon sekä korjausrakentamiseen.

Betonisandwich ulkoseinässä lämmöneriste on rakenteen sisällä, jolloin sen luotettava tutkiminen rakenteen pinnalta tehtävin tutkimuksin ei ole mahdollista. Lämmöneristeessä olevat mikrobivauriot saattavat heikentää sisäilman laatua rakenteiden läpi mahdollisesti tapahtuvien ilma-voitojen kuljettaessa sisäilmaan epäpuhtauksia.

Julkisivukorjaukseen ryhtyvälle lämmöneristeen kunnan kysymystä voidaan pitää oleellisena koska esim. julkisivun päälle tehtävissä levytyskorjauksissa vanha lämmöneriste jätetään rakenteeseen. Korjaushankkeen hankesuunnitteluvaiheessa laadukkaasti toteutettu kuntotutkimus antaa luotettavaa tietoa rakenteen kunnosta ja ohjaa tilaajaa oikean korjaustavan valinnassa. Näin tilaajalla on mahdollisuus välttyä yli- tai alikorjaamiselta.

Betonijulkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimus on vakiintunut osaksi järjestelmällistä kiinteistön pitoa. Sen sijaan betonijulkisivujen lämmöneristeiden kuntotutkimus on edelleen ns. harmaalla alueella, eikä sen mikrobiologisia kuntoa useinkaan tutkita systemaattisesti. Intuitiivisesti yksi osa syistä voi olla lämmöneristeen suhteellisen vaikea tutkittavuus, liittyen näytteenottomenetelmiin sekä yksittäisten näytteiden edustavuuteen.

1.1 Tavoitteet

Betonijulkisivujen mikrobivaurioiden esiintyvyyttä on selvitetty mm. TTKK:n tekemässä laajassa tutkimuksessa (Pessi, ym. 1999). Tutkimuksen pohjalta on luotu hyvä yleiskuva vaurioiden yleisyydestä ja esiintyvyydestä sekä niiden vaikutuksista sisäilman laatuun. Kuitenkaan niiden käytännön vaikutuksia kiinteistön elinkaareen tai sitä, kuinka ne ohjaavat elinkaaren aikana kiinteistön omistajan tekemiä päätöksiä ei ole tutkittu.

Tämän tutkimuksen tavoitteina on selvittää kannattaako betonijulkisivun kuntotutkimuksen yhteydessä tutkia rakenteen lämmöneristeen kuntoa? Jos kannattaa tutkia niin, koska betonijulkisivun lämmöneristeestä otettu materiaalinäyte viittaa mikrobiologisessa analyysissä vaurioon? Mitä yksittäinen poikkeava näyte voi tarkoittaa koko rakennuksen osalta? Lisäksi tavoitteena on selvittää miten betonisandwich-rakenteiden mikrobivauriot vaikuttavat kiinteistön elinkaaren hallintaan kiinteistön omistajan näkökulmasta.

1.2 Rajaukset

Tämän tutkimuksen aihe rajataan seuraavasti:

- Tutkimuksessa keskitytään ainoastaan betonisandwich-rakenteeseen (betoni-villa-betoni) sekä rakenteen sisällä olevan lämmöneristeen kuntoon ja mahdollisiin vaurioihin.
- Rakenteen vauriot rajataan lämmöneristeen mikrobivaurioihin ja niiden vaikutuksiin kiinteistön omistajan kannalta.
- Rakenteen vauriossa keskitytään tapauksiin, jossa rakenteen ulkopuolelta ei ole osoitettavissa selkeää vaurioaluetta muiden kuntotutkimusmenetelmien avulla.

1.3 Vaiheet ja käytetyt menetelmät

Tämä tutkimus on toteutettu tieteellisen kirjallisuuteen tehdyllä kirjallisuuskatsauksella sekä kiinteistön omistajien ja insinööritoimistojen asiantuntijoiden näkemykseen pohjautuvilla mielipiteillä, joita on tutkittu haastattelututkimuksella. Tutkimuksen tavoitteet ja niihin käytetyt menetelmät on kuvattu taulukossa 1.3.

Kirjallisuuskatsauksella on perehdytty betonijulkisivujen mikrobivaurioiden yleisyyteen, betonijulkisivujen sekä niiden lämmöneristeiden kuntotutkimusmenetelmiin, kuntotutkimusmenetelmien luotettavuuteen, luotettavuuden parantamiseen, tutkimustuloksiin liittyviin tulkintoihin sekä niitä ohjaaviin asetuksiin. Aiheeseen liittyvä teoria on suhteellisen laaja ja monisäikeinen, jota on pyritty jäsentelemään aihealueittain kadottamatta kokonaisuutta.

Betonisandwich-rakenteiden mikrobivaurioiden vaikutuksia kiinteistön elinkaaren hallintaan selvitettiin kiinteistön omistajille sekä insinööritoimistojen asiantuntijoille suunnatulla teemahaastattelulla, jonka tarkoituksena oli selvittää heidän näkemyksensä aihealueeseen liittyvistä teemoista. Haastattelussa käsitellyt teemat ja kysymykset on esitetty tämän tutkimuksen liitteessä 1.

Mitä tutkitaan?	Miten tutkitaan?
Kannattaako betonijulkisivun kuntotutkimuksen yhteydessä tutkia rakenteen lämmöneristeen kuntoa?	Kirjallisuustutkimus
Koska betonijulkisivun lämmöneristeestä otettu materiaalinäyte viittaa mikrobiologisessa analyysissä vaurioon?	Kirjallisuustutkimus
Mitä yksittäinen poikkeava näyte voi tarkoittaa koko rakennuksen osalta?	Kirjallisuustutkimus
Miten betonisandwich-rakenteiden mikrobivauriot vaikuttavat kiinteistön elinkaaren hallintaan kiinteistön omistajan näkökulmasta?	Teemahaastattelu

Taulukko 1.3 Tutkimuksen tavoitteet ja niitä vastaavat tutkimusmenetelmät

2. KIRJALLISUUSKATSAUS BETONIJULKISIVUJEN MIKROBIVAURIOIHIN SEKÄ NIIDEN VAIKUTUKSIIN KIINTEISTÖN TEKNISESSÄ YLLÄPIDOSSA

Tämän tutkimustyön kirjallisuuskatsaus sisältää 6 osiota, jotka käsittelevät betonijulkisivujen mikrobivaurioita sekä niiden vaikutuksia kiinteistön elinkaarihallinnassa. Kirjallisuuskatsauksen aluksi käsitellään mikrobeja sekä yleisesti, että rakennustekniikan näkökulmasta. Toisena aiheena perehdytään tutkimustyössä rajattuun betonisandwich-rakenteen tyyppiin, käytettyihin materiaaleihin sekä rakenteen kosteustekniseen toimintaan. Kolmannessa osiossa tarkastellaan betonisandwich-rakenteen mikrobivaurioita sekä niiden vaikutuksia sisäilman laatuun. Seuraavissa osioissa käsitellään kiinteistön teknistä elinkaaren hallintaa, korjausrakentamista sekä betonisandwich-rakenteen eri korjausratkaisuja. Viimeisessä kirjallisuuskatsauksen osiossa käsitellään betonijulkisivun ja sen lämmöneristeen kuntotutkimuksiin liittyviä kysymyksiä. Katsauksen lopuksi vastataan tutkimuksen alussa kirjallisuudelle asetettuihin kysymyksiin.

2.1 Mikrobit ja niiden kasvu rakennuksissa

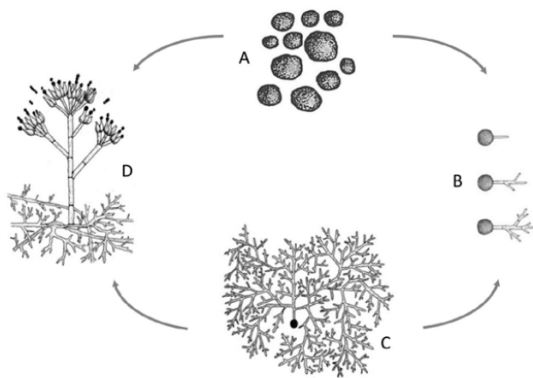
Mikrobit ovat luonnollinen osa maapallon ekosysteemiä. Mikrobeiksi kutsutaan eliöitä kuten hiivoja, sieniä, bakteereja, viruksia ja leviä. Yhteistä kaikille mikrobeille on, että ne ovat pääasiassa yksisoluisia mikroskooppisen pieniä eliöitä eikä yksittäisiä mikrobeja pysty havaitsemaan silmällä. Toisaalta mikrobit elävät vuorovaikutuksessa toistensa kanssa ja ne voivat muodostaa jopa avaruuteen asti näkyviä yhteisöjä, kuten esim. Syanobakteerien massaesiintymät merellä (Madigan ym. 2019, 38-39, 62-67).

Rakennuksien yhteydessä esiintyvillä mikrobeilla tarkoitetaan yleisesti hiivoja, home- ja lahotajasieniä, bakteereja sekä aktinomykeettejä eli sädesieniä. Homesienet ja bakteereihin lukeutuvat sädesienet tuottavat endosporeja eli solun sisälle muodostuvia itiöitä, joiden avulla ne leviävät. Itiöt ovat erikoistuneita soluja, jotka kestävät olosuhteita, joissa mikrobit itse eivät voi elää. Itiöt voivat kestää jopa vuosia ja aktivoituvat vasta suotuisissa olosuhteissa. Bakteerit sen sijaan eivät tuota itiöitä vaan kasvavat materiaalilla kosteana solumassana (Madigan ym. 2019, 38, 89-92).

Mikrobit tarvitsevat kasvaakseen kosteutta, lämpöä ja ravinteita. Rakenteiden pinnoilla on aina mikrobeja, jotka ovat pääasiassa peräisin sisä- tai ulkoilmasta. Rakennusmateriaaleissa on aina saatavilla ravinteita, jopa betonipinnalla oleva pöly riittää ravinnoksi. Rakennuksissa myös lämpöä on yleensä aina saatavilla, joten ainoa mikrobien kasvua säätelevä tekijä on kosteus (YM 2016, 127).

2.1.1 Mikrobiten kasvuolosuhteet sekä niiden kasvu rakennusmateriaaleissa ja rakenteiden sisällä

Eri mikrobit kasvavat eri tyyppisissä kasvuympäristöissä ja -olosuhteissa. Kasvualustana oleva materiaali, kosteustaso ja lämpötila vaikuttavat siihen, minkälainen mikrobilajisto materiaalille kehittyy. Ajan myötä mikrobilajisto myös muuttuu kasvuolosuhteiden muuttuessa tai mikrobitien itse muokatessa kasvuympäristöään. Tätä mikrobikantojen vaihtelua kutsutaan sukessioksi (Seuri & Reiman 1996, 21). Mikrobitien kasvuolosuhteita tarkasteltaessa kosteus esitetään joko materiaalin vesiaktiivisuutena tai sitä vastaavana suhteellisen kosteuden arvona (YM 2016, 130). Homeiden kasvun eri vaiheita on esitetty kuvassa 2.1.1.



Kuva 2.1.1 Homeen elinkierto (yksinkertaistettu malli) (YM 2016, 128)

Sopivissa olosuhteissa homeitiöt (A) itävät ja kasvattavat rihmoja (B), jotka pitenevät ja haarahtavat edelleen rihmastoksi (C). Rihmastoon kehittyy itiökannatin rakenteita, joihin kehittyy itiöitä (D). Itiöt leviävät uusille kasvupaikoille (YM 2016, 128)

Mikrobikasvuston rakennusmateriaaleilla katsotaan olevan mahdollista, kun ilman suhteellinen kosteus ylittää RH 75 - 80%. Hyvin homehtumisherkillä materiaaleilla mikrobikasvu saattaa alkaa jo RH 65 - 70%, mutta tällöin kuitenkin edellytetään yli 25°C lämpötilaa. Koska materiaalilla on vaikutusta siihen, miten helposti siihen syntyy mikrobikasvustoa, voidaan eri materiaalit jakaa eri luokkiin niiden homehtumisherkyyden mukaan (Suomalainen homemalli). Materiaalien homehtumisherkkyysluokat on esitetty taulukossa 2.1.1.

Homehtumisherkkyyssluokka		Rakennusmateriaalit
HHL1	Hyvin herkkä	Karkeasahattu ja mitalistettu puutavara (mänty ja kuusi), höylätty mänty, käsittelemätön huokoinen puukuitulevy
HHL2	Herkkä	Höylätty kuusi, paperipohjaiset tuotteet ja kalvot, kipsilevy, vaneri, lastulevy, bitumoidut/käsitellyt huokoiset kuitulevyt
HHL3	Kohtalaisen herkkä	Mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni*, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiili
HHL4	Kestävä	Alkalinen uusi betoni, lasi ja metallit, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit

* Kevytbetoni kuuluu homehtumisominaisuuksiltaan kahteen eri homehtumisherkkyyssluokkaan. Homeen kasvunopeus vastaa homehtumisherkkyyssluokkaa HHL2, mutta homeindeksin maksimiarvo jää homehtumisherkkyyssluokan HHL3 tasolle.

Taulukko 2.1.1 Rakennusmateriaalien jakautuminen eri homehtumisherkkyyssluokkiin (Suomalainen homemalli)

Mikrobit voidaan myös lajitella ryhmiin niiden elääkseen tarvitseman ilman suhteellisen kosteuden mukaan. Homesienet tarvitsevat kasvaakseen 70 - 85 % suhteellisen kosteuden, mutta toiset mikrobit kuten aktinomykeetit ja lahottajasienet tarvitsevat kasvaakseen huomattavasti korkeamman suhteellisen kosteuden yli 95% (YM 2016, 130-131).

Mikrobeille on kasvun kannalta määritetty optimiolosuhteet, jolloin niiden kasvu on nopeinta. Optimilämpötila on +20 - 30°C ja suhteellinen ilmankosteus RH 95 - 99%, joka vastaa materiaalin vesiaktiivisuutta a_w 0,95 - 0,99. Muita kasvuun vaikuttavia olosuhdetekijöitä on mm. kasvualustan PH-arvot, esim. uudessa korkea-alkalisessa betonissa mikrobit eivät pysty kasvamaan.

Mikrobit tarvitsevat kasvaakseen riittävän pitkän ajan. Aika riippuu kasvualustasta sekä lämpö- ja kosteusolosuhteista. Materiaalin homehtuvuutta kuvaamaan kehitetyn Suomalaisen homemallin avulla pystytään arvioimaan materiaalin homehtumisherkkyyttä. Mallin mukaan herkimmillä materiaaleilla kehittyi erittäin runsasta mikrobikasvustoa n. 5 viikon kuluessa, kun lämpötila ja suhteellinen kosteus pysyvät vakioina 20°C ja RH 90 %. Homekasvuston riippuvuus materiaalista on esitetty kuvassa 2.1.1b. Mallissa käytetyt materiaalin homehtumisasteet ovat:

0 = Ei kasvua (pinta puhdas)

1 = Mikroskoopilla havaittava kasvu (paikoin alkavaa kasvua)

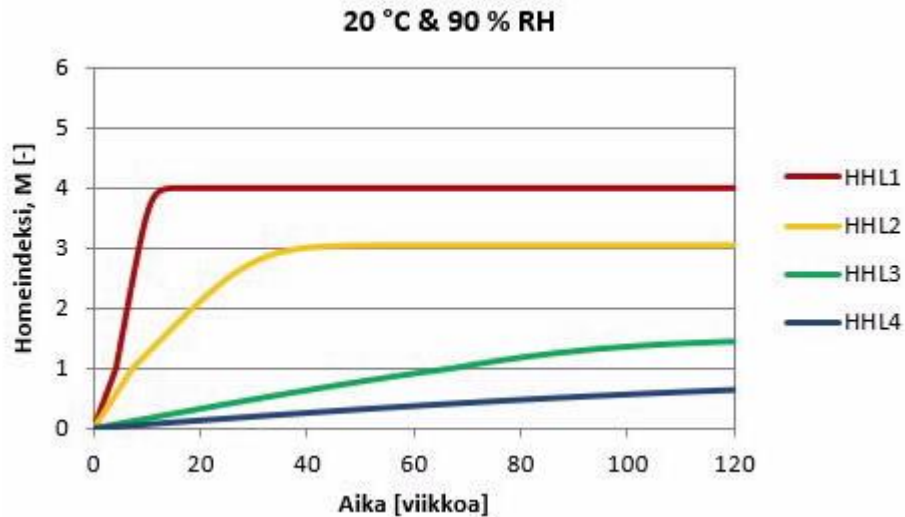
2 = Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu (homerihmasto peittää 10% tutkittavasta alasta)

3 = Silmin havaittava kasvu (alle 10% peitto alasta silmällä)

4 = Selvä silmin havaittava kasvu (yli 10% peitto alasta silmällä)

5 = Runsas silmin havaittava kasvu (yli 50% peitto alasta silmällä)

6 = Erittäin runsas kasvu (lähes 100% peitto, tiivis kasvusto)



Kuva 2.1.1b Homekasvun nopeuden ja voimakkuuden riippuvuus materiaalista ajan funktiona (Suomalainen homemalli)

Rakenteissa mikrobikasvusto käynnistyy yleensä rakenteen liiallisen kosteuden vaikutuksesta, jolloin mikrobit turmelevat rakentamisessa käytettyjä materiaaleja. Kasvustot saattavat olla rakenteiden pinnoilla tai piilossa rakenteiden sisällä. Vaikka ylimääräinen kosteus ajan myötä kuivaisi, jää kasvusto rakenteeseen ja menee ns. lepotilaan. Rakenne, johon vanhaa kasvustoa on kertynyt, on erityisen herkkä homehtumaan uudelleen koska rakenteessa on valmiina itiöt ja rihmasto. Tätä rakenteessa olevaa valmista kasvustoa kutsutaan ”ympiksi” (Seuri & Reiman 1996, 20).

2.1.2 Mikrobilajistot ja kosteusvaurioindikaattorit

Mikrobit lajitellaan niiden taksonomian mukaan sukuun ja lajiin. Mikrobin nimet kirjoitetaan *kursivoidulla* tekstillä. Sukunimi kirjoitetaan isolla alkukirjaimella, jota seuraa pienellä kirjoitettu lajin nimi, esim. *Aspergillus versicolor* (Ympäristöministeriö 2016, 127-128).

Mikrobilajikkeista esim. *Cladosporium*, *Penicillium* sekä tietyt *Aspergillus*-suvun lajikkeet ovat tyypillisiä ulkoilman mikrobeja ja koska rakennukseen ilmanvaihdon korvausilma tuodaan ulkoa, ovat nuo lajikkeet myös tyypillisiä sisäilmanmikrobeja. Toisia mikrobilajeja tavataan harvemmin vaurioitumattomien rakennuksien sisäilmassa ja niiden esiintyminen on yhdistettykin vaurioituneihin materiaaleihin sekä vaurioituneiden rakennuksien sisäilmaan. Näitä kosteusvauriosta indikoivia mikrobeja kutsutaan *kosteusvaurioindikaattoreiksi*. Tärkeimmät home- ja kosteusvaurioindikaattorit on esitetty taulukossa 2.1.2 (Sosiaali- ja terveysalanvalvontavirasto Valvira, 2016d, 7).

Home- ja kosteusvaurioindikaattorilajikkeet	
<i>Acremonium</i>	<i>Geomyces</i>
<i>aktinomykeetit</i>	<i>Oidiodendron</i>
<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Paecilomyces</i>
<i>Aspergillus ochraceus</i>	<i>Phialophora sensu lato</i>
<i>Aspergillus pecilloides / Aspergillus restrictus</i>	<i>Scopulariopsis</i>
<i>Aspergillus sydowii</i>	<i>Sporobolomyces</i>
<i>Aspergillus terreus</i>	<i>Sphaeropsidales</i>
<i>Aspergillus ustus</i>	<i>Stachybotrys</i>
<i>Aspergillus versicolor</i>	<i>Trichoderma</i>
<i>Chaetomium</i>	<i>Tritirachium / Engyodontium</i>
<i>Eurotium</i>	<i>Ulocladium</i>
<i>Exophiala</i>	<i>Wallemia</i>
<i>Fusarium</i>	

Taulukko 2.1.2 Kosteusvaurioindikaattorit (Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus, 2016d, 7)

2.1.3 Mikrobin vaikutukset rakennuksen käyttäjille

Silmin havaittavissa oleva mikrobikasvu rakenteiden pinnalla ilmenee värimuutoksina tai puuterimaisina, pölymäisinä tai pistemäisinä kasvustoina. Rakenteissa kasvavien mikrobin tiedetään tuottavan sisäilmaan epäpuhtauksia kuten itiöitä, hiukkasia ja kaasuja. Näistä monet ovat tai voivat olla haitallisia ihmisille. Mikrobin tuottamat kaasumaiset yhdisteet ovat joko haihtuvia- tai puolihaihtuvia yhdisteitä. Mikrobeista peräisin olevat epäpuhtaudet kulkeutuvat sisäilmassa kaasuina, sitoutuneena erikokoisiin hiukkasiin tai kiinteinä partikkeleina. Pääsääntöisesti mikrobin epäpuhtaudet kulkeutuvat ilmapvirtauksien mukana, mutta osa kaasumaisista yhdisteistä voi läpäistä pinnoitteita diffuusion avulla. Esimerkiksi sädesienten tuottama haju on kaasumaista puolihaihtuvaa yhdistettä, jonka tiedetään läpäisevän polyeteenistä valmistetun tavallisen höyrynsulun (YM 2016, 141-142).

Kosteus- ja homevaurioituneessa rakennuksessa oleskelevilla on tutkimuksien mukaan ilmentynyt hieman tavallista enemmän hengitystieoireita ja -infektioita sekä astmaa. Myös muita oireita ja sairauksia on tutkittu mahdollisena kosteusvaurioituneen rakennuksen mikrobin aiheuttamana, mutta näiden osalta tutkimuksellinen näyttö on jäänyt riittämättömäksi. Näitä ovat mm. allerginen alveoliitti, ODTS-oireyhtymä, silmä-, iho- ja muut ärsytysoireet, reuma, maha- ja suo- listo-oireet sekä neuroottiset oireet (YM 2016, 140).

Suurin osa rakennuksissa olevista mikrobikasvustoista on kerroksellisten rakenteiden sisällä. Tämä johtuu rakenteiden sisäosien kosteuden hitaammasta kuivumisesta verrattuna rakenteiden pintaan. Rakenteiden sisälle saattaa kehittyä mikrobikasvustoa, josta ei ole viitteitä rakenteiden pinnalla. Nämä rakenteiden sisällä olevat mikrobikasvustot havaitaan rakenteita avaamalla. Rakennuksien käyttäjät saattavat aistia rakenteissa olevat mikrobikasvustot myös poikkeuksellisina hajuina sisäilmassa. Rakenteiden sisällä olevat mikrobikasvustot saattavat heikentää sisäilman

laatua mm. rakenteiden sisältä kulkeutuvien ilmavirtojen kuljettaessa sisäilmaan epäpuhtauksia. Mikrobeja voi kulkeutua myös tilasta toiseen tilojen välillä tapahtuvien ilmavirtauksien mukana (YM 2016, 139-142).

Muina mikrobien aiheuttamina hättäväikutuksina tiedetään mm. lahottajasienen aiheuttavan puussa sen lujuuden heikkenemistä (YM 2016, 138).

2.1.4 Mikrobien tutkiminen

Asuintilojen terveellisyyttä tutkittaessa on suositeltavaa käyttää viranomaisten hyväksymiä menetelmiä ja toimintatapoja, jotka on esitetty *asumisterveysasetuksessa* (STMa 545/2015) ja *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016).

Mikrobien ja mikrobivaurioiden tutkiminen on usean eri tutkimusmenetelmän yhteiskäyttöä. Näitä tutkimusmenetelmiä ovat mm. rakenteiden toteutuksen tarkastaminen, materiaalien ja materiaalien ominaisuuksien tunnistaminen, rakenteiden kunnan arviointi, pintakosteusmittaukset, rakenteista tehtävät kosteusmittaukset, rakenteiden tiiveyden ja epäpuhtauksien kulkeutumisen tutkiminen, sisäilman olosuhdemittaukset sekä ilmanvaihtojärjestelmän tarkastaminen (YM 2016, 39-89).

Mikrobivauriota ja niiden vaikutuksia sisäilman laatuun voidaan tutkia pääsääntöisesti kahdella eri menetelmällä. Ensimmäinen menetelmä on rakenteiden avauksista tehdyt havainnot sekä niistä laboratorioanalyysiin kerätyt materiaalinäytteet (YM 206 45-49). Toinen menetelmä pohjautuu sisäilman mittauksiin, jossa sisäilmasta kerätään mikrobeja erilaisilla menetelmillä kuten 6-vaiheimpaktorilla, laskeumalevyillä sekä analysoimalla pölyn koostumusta tilojen pinnoilta (YM 2016, 63-64).

2.2 Betonijulkisivu

Betonijulkisivurakenteet voidaan jaotella eri rakennetyyppeihin kuten betonisandwich-, betonikuorielementti-, kevytbetoni- ja kevytsorabetonirakenteisiin. Tämä tutkimustyö on rajattu betonijulkisivun rakennetyypeistä käsittelemään ainoastaan betonisandwich-rakennetta.

2.2.1 Betonisandwich-elementin rakenne

Betonisandwich-elementeissä lämmöneriste on kahden betonipinnan välissä. Betonisen ulko-kuoren paksuus vaihtelee 65 – 70 mm välillä riippuen pinnoitetyypistä. Sisäkuoren paksuus vaihtelee kantavan ja ei-kantavan rakennetyypin mukaan. Kantavassa rakenteessa elementin sisäkuoren paksuus vaihtelee välillä 150 – 160 mm ja ei-kantavassa rakenteessa välillä 70 – 100 mm (by 42 2013, 14-15). Elementin betonikuoret ovat kiinnitetty toisiinsa teräksisin ansain.

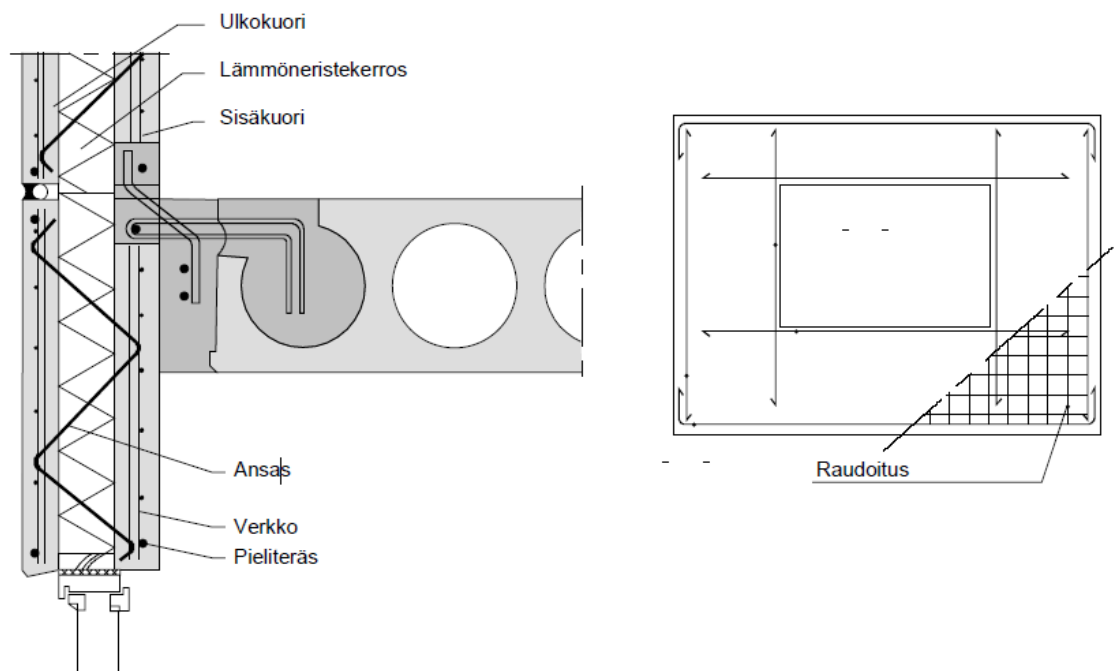
Betonielementin lämmöneristeen suunnittelupaksuus on vaihdellut välillä 70 – 140 mm:iin riippuen kulloinkin määräyksien vaatimasta rakenteen U-arvosta, kts. taulukko 2.2.1. Johtuen ele-

menttien valmistustavasta, lämmöneriste on voinut painua kasaan n. 10 mm. Joissain elementeissä painuminen voi olla paikallisesti huomattavastikin suurempaa, johtuen puutteellisesta laadunvalvonnasta.

	-1976	1976	1978	1985	2003	2007	2010	2012
U-arvo	0,81	0,40	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Suunnittelu- paksuus	70-90	90	120	140	160	160	240	240

Taulukko 2.2.1 Ulkoseinäelementtien lämmöneristeen paksuuden muutos aikakaudella (by 42, 15)

Elementtirakentaminen alkoi Suomessa 1960-luvulla, jolloin yhteiskunnan rakennemuutoksesta johtuvaa suuren asuntotarpeen tyydyttämistä rakentamista tehostettiin elementtirakentamisella (Pentti 1998, 1). Aluksi elementit olivat tuulettumattomia rakenteita, mutta myöhemmin 1970-luvulla elementtien lämmöneristeessä alettiin käyttää uritettua villaa, jonka tarkoituksena oli varmistaa rakenteen tuulettuminen. Urituksesta huolimatta tuulettuvuutta ei pystytty aina varmistamaan, ennen kuin 1990-lopulla tuli markkinoille lämmöneristeen ja ulkokuoren välissä yhtenäisellä tuuletusraolla olevia ratkaisuja (by 42 2013, 15). Uritetun lämmöneristeen ja elementtien jatkoskohdissa aloitettiin käyttämään vaakauraa sekä elementtien saumoissa tuuletusputkia tai -koteloita, joiden tarkoituksena oli mahdollistaa ilman kierto tuuletusurassa (Pentti 1999 & Hyypöläinen, 102). Kahden elementin ulkosaumassa käytetään saumanauhaa ja -massaa, jonka tarkoituksena on tiivistää elementtien väli ulkopuoliselta kosteusrasitukselta.



Kuva 3.1 Betonisandwich-rakenne (Pessi, ym. 1999, 5)

2.2.2 Käytetyt materiaalit

Betonisandwich-elementin osat voidaan jaotella materiaalien mukaan betoniin, lämmöneristeeseen, ansaisiin ja sauma-aineisiin. Ikkunallisissa tai ovellisissa elementeissä on lisäksi käytetty apukarmirakenteena yleensä kyllästettyä puuta, joka on leveydeltään koko eristekerroksen paksuinen (Mäkiö, ym. 1994, 78-79). Aluksi ikkunakarmin ja apukarmin välissä on käytetty tilkermateriaalina joko mineraalivillaa tai orgaanisesta materiaalista valmistettua tilkettä. Myöhemmin käytössä on ollut myös uretaanivaahdot. Uretaanivaahdon kanssa on voitu käyttää myös saumanauhaa tai mineraalivillasuikaletta sauman pohjalla, estämään uretaanin pursuaminen karmin ulkoreunan kittisaumaraosta (Neuvonen 2015, 49)

Elementeissä käytetty betoni koostuu runkoaineesta, sementistä, vedestä ja mahdollisista lisäaineista. Betonielementtien betonin lujuus on vaihdellut ajan kuluessa suuresti. Betonin lujuusvaatimukseksi määräytyi aluksi vuoden 1954 betoninormien mukaan K20. Myöhemmin betonin lujuutta ohjasivat uudistuvat betoninormit. Vuonna 1965 lujuutta nostettiin K25:n kunnes vuonna 1989 julkaistussa Betoniyhdistyksen säilyvyysohjeessa betonin lujuusvaatimus asetettiin K30 tasolle. Tätä säilyvyysohjetta uudistettiin 1992, jolloin lujuusluokka nostettiin K45. Tietyissä tapauksissa betonipeitteen paksuudella lujuusluokkaa voitiin jälkeempäinkin alentaa esim. K35 (by 42 2013, 12).

Betonimassaan on lisätty myös erilaisia lisäaineita, joilla on pyritty vaikuttamaan betonin ominaisuuksiin. Näitä lisäaineita ovat mm. kalsiumkloridi, masuunikuona, lentotuhka ja silika.

Betonielementin lämmöneristeenä on käytetty pääsääntöisesti mineraalivillaa. Käytetty lämmöneriste saattaa vaihdella satunnaisesti, jopa saman elementin lämmöneristeenä voi olla erityyppistä villaa. Vähäisemässä määrin voi olla käytetty myös muita lämmöneristemateriaaleja kuten lastuvillalevyä, expandoitua korkkilevyä tai vaahtomuovieristettä (Mäkiö, ym. 1994, 78). Nykyjään betonisandwich-rakenteissa käytetään mineraalivillan lisäksi muitakin lämmöneristeitä kuten esim. ESP tai PUR/PIR-levyjä (www.elementtisuunnittelu.fi).

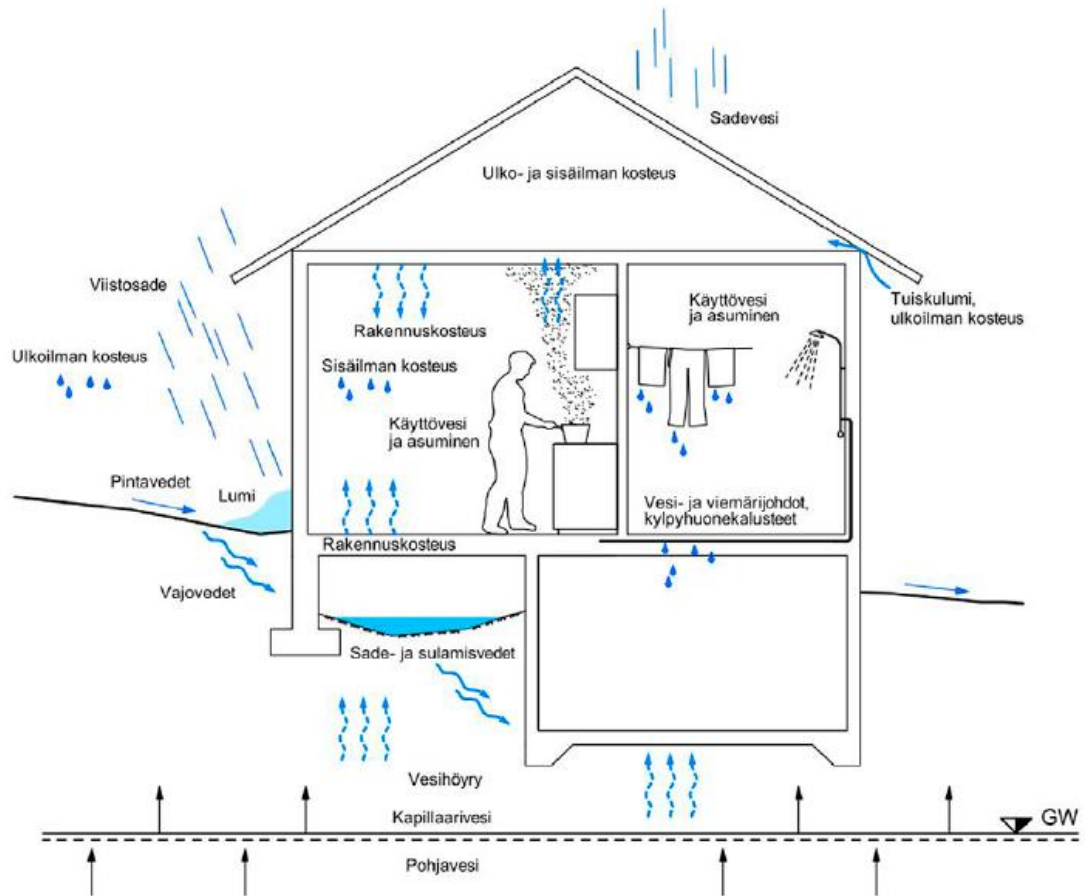
Ulkokuoren kiinnityksessä käytetyt ansaat ovat tehty 1970-luvulta lähtien tyypillisesti sideansain, jossa ruostumattomasta teräksestä valmistetut ansasdiagonaalit on hitsattu seostamattomiin paarretankoihin. Nykyjään kaikki ulkokuoren kiinnityksessä käytetyt teräkset ovat konaisuuksissaan ruostumatonta terästä (by 42 2013, 15). Ansaat asennetaan elementtiin elementin valmistusvaiheessa.

Betonisandwich-elementtien ulkokuoren pintamateriaalina on tyypillisesti käytetty betonia joko maalattuna tai maalaamattomana. Betonipinta voi olla sileä tai eri tavoin profiloitu esim. muottipinta, hierretty, harjattu tai uritettu. Yleinen 1970-luvulla käytetty julkisivun pinta on pesubetonipinta (by 42 2013, 16). Muita käytössä olleita julkisivun pintamateriaaleja ovat ohutrappaus, tiili- ja klinkkerilaattapinnat (Neuvonen 2015, 42-43).

Elementtien saumoissa on käytetty pääosin elastisia saumamassoja. Ulkokuorien väliin jäävän sauman pohjalle on umpisoluinen tiiviste, jonka päälle on asennettu elastinen saumamassa. Polysulfidipohjaisiin saumamassoihin on lisätty 1950-luvulta lähtien PCB:tä ja lyijyä parantamaan saumamassojen teknisiä ominaisuuksia. PCB:tä on käytetty mahdollisesti vuoteen 1979 ja lyijyä vuoteen 1989 asti, jonka jälkeen niiden käyttäminen on kielletty (by 42 2013, 49).

2.2.3 Kosteustekninen toiminta

Yleisesti ulkoseinärakenteen kosteusteknisellä toiminnalla tarkoitetaan sitä, että rakenne suo- jaa sisätiloja ulko- ja sisäpuolisen veden ja kosteuden haitallisilta vaikutuksilta ja pitää vaaditut sisäilman olosuhteet mahdollisena. Kosteudesta ei saa myöskään aiheutua haittaa seinäraken- teen toimivuudelle tai kestävyydelle (Pentti & Hyypöläinen 1999, 60). Tämä tarkoittaa sitä, että kosteus ei saa aiheuttaa ulkoseinärakenteeseen mikrobivaurioita. Rakennuksen ulko- ja sisäpuo- lisia kosteuslähteitä on esitetty kuvassa 2.2.3.



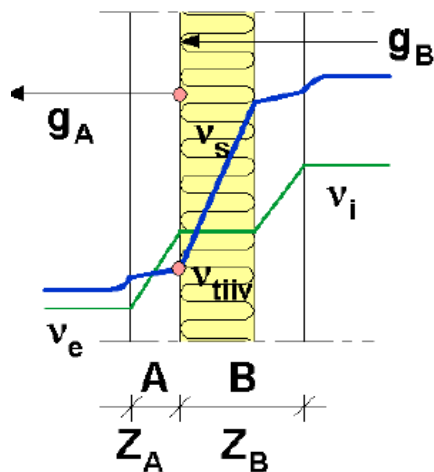
Kuva 2.2.3 Rakennuksen yleisimmät sisä- ja ulkopuoliset kosteuslähteet (YM 2016, 107)

Rakennuksen käytön aikana betonielementin sisään kulkeutuu kosteutta sisäilmasta vesi- höyryn diffuusion avulla rakenteen läpi tai rakennuksen ollessa ylipaineinen ilman konvektiovir- tauksien avulla rakenteiden epätiiviykskohdista. Betonisandwich-rakenteessa sisäilman kosteus kulkeutuu kohti rakenteen ulko-osia ja tiivistyy talviaikana rakenteen ulkokuoren sisäpintaan. Ul- kokuoren sisäpintaan tiivistynyt vesi muodostaa rakenteeseen vesi- ja jääkerroksen. Tiivisty- neestä kosteudesta osa imeytyy kapillaarisesti betonielementin huokosverkostoon (Pentti & Hyypöläinen 1999, 63).

Kesäaikaan rakenteen kuivaessa vesihöyry haihtuu diffuusiolla ulkokuoren ja mahdollisen pinnoitteen läpi ulkoilmaan. Tuuletusuriteuissa lämmöneristeissä kuivumista tapahtuu myös tuuletusurien kautta. Kosteuden massavirtaan sekä siitä johtuvaan rakenteen kuivumisnopeuteen vaikuttaa mm. ulkokuoren betonin ominaisuudet, rakenteen kosteus sekä käytetty julkisivupinnoite. Myös rakenteen lämmöneristekerroksen tuuletusuritus vaikuttaa rakenteen kuivumisnopeuteen ja sitä pidetään nykyään kyseissä rakennetyypissä vaatimuksena (Pentti & Hyypöläinen 1999, 63).

Käytännössä voidaan siis sanoa, että elementin sisällä oleva lämmöneriste kastuu talvella ja kuivaa kesällä, joka on rakenteelle täysin luontainen ilmiö. Kuva 2.2.3b kuvaa betonisandwich-rakenteen kosteusteknistä toimintaa talviolosuhteissa. Kuvassa sinisellä on esitetty kulloisessakin lämpötilassa oleva kyllästyskosteuspitoisuuden raja. Vihreällä on esitetty rakenteessa vallitseva absoluuttinen kosteusarvo stationäärtilassa. Alueella, jossa vallitseva absoluuttinen kosteus ylittää kyllästyskosteuden rajan tapahtuu kosteuden tiivistymistä rakenteeseen.

Tiivistyvän veden määrä ajassa t_{tiiv}



Kuva 2.2.3b Talviaikaan tiivistyvän kosteuden laskentaa (Pentti, 2017b, 12)

Betonijulkisivujen korjausrakentamisen yhteydessä asennettavilla ulkopuolisilla lisälämmön eristeillä yleensä parannetaan rakenteen rakennusfysikaalista toimintaa. Uusi lämmöneriste muuttaa rakenteen rakennusfysikaalista toimintaa ja sillä saavutetaan rakenteelle tehokkaampi kuivumisvaikutus (by 42 2013, 53).

2.2.4 Kosteusrasitukset

Julkisivurakenteen kosteusrasitukset voidaan jakaa ajallisesti kahteen ryhmään, rakennusvaiheeseen sekä käyttö- ja ylläpitovaiheeseen.

Rakennusvaiheen kosteuslähteitä ovat betonin valmistuksessa rakenteeseen jäänyt hydratoitumaton vesi, sadevedeltä suojaamattomien elementtien yläreunoista elementtiin päässyt sadevesi sekä esim. pesubetonipinnan pesusta elementtiin päässyt kosteus.

Käyttö- ja ylläpitovaiheen ulkopuolisia kosteusrasituksista yleisin on sadevesi, joka tuulen vaikutuksesta viistosti sataessa kastelee elementin ulkokuorta. Muita elementin ulkopintaa rasittavia kosteuslähteitä ovat maaperän kosteus sekä ulkopuoliset pintavedet. Suuria määriä elementin sisään vettä tuovat myös mahdolliset ulkoseinärakenteeseen kohdistuvat vesivuodot. Yleisesti ulkopuolisten kosteuslähteiden aiheuttamien kosteusrasituksien voimakkuuteen vaikuttaa elementin pintarakenteet, mahdollisen pinnoitteen vedenimuominaisuudet, pinnoittamattoman julkisivussa betonin laatu sekä rakenteessa olevat halkeamat ja muut yksityiskohdat (Pentti & Hyypöläinen 1999, 62).

Julkisivun tyypillisiä ongelmakohtia kosteusteknisen toiminnan kannalta ovat räystäspellitysten, parveke- ja ikkunaliitosten, perusmuuriliitosten sekä saumarakenteiden heikko sadevedenpitävyys. Toisaalta rakenteen kuivamisen kannalta ongelmakohtia ovat heikko vedenpoisto ja tuuletus. Elementissä vallitsevan kosteustason alentaminen hidastaa aina turmeltumisilmiöiden etenemistä (Pentti, ym. 1998b, 8-9).

2.3 Mikrobivauriot betonijulkisivuissa ja niiden vaikutukset sisäilman laatuun

Rakenteiden kosteusvauriot syntyvät, kun rakenteen kosteuspitoisuus kasvaa kriittisen korkeaksi mikrobikasvun kannalta, jolloin itse rakenteeseen tai siihen liittyviin rakenteisiin voi pitkällä aikavälillä aiheutua kosteusvaurioitumista. Nämä kosteusvauriot saattavat johtaa mikrobikasvuun rakenteissa tai niiden pinnoilla. Materiaalia voidaan pitää mikrobivaurioituneena, jos siinä on aktiivinen tai kuivunut mikrobikasvusto tai materiaaliin on kulkeutunut rakenteissa olevasta kasvustosta runsaasti mikrobien soluja. Kuitenkaan normaalisti ulkoilmasta tai asumisen toiminnasta johtuvien mikrobien kulkeutumista materiaaliin ei voida pitää mikrobivauriointa (Pessi, ym. 1999, 4).

2.3.1 Mikrobivaurioiden yleisyys

Betonelementtien mikrobiologista toimintaa on tutkittu mm. 1999 Tampereen Teknillisen Korkeakoulun julkaisemassa tutkimuksessa, julkaisu 101 (Pessi, ym. 1999). Tutkimuksessa selvitettiin betonisandwich-rakenteessa esiintyvien mikrobivaurioiden yleisyyttä laajalla (n=1713) yksittäisten näytteiden analysoinnilla. Tutkimuksen tuloksena vain 6,6% tutkituista näytteistä havaittiin selkeää mikrobikasvua. Kaikista tutkituista betonelementeistä n. 63% oli luokiteltavissa puhtaaksi mikrobien suhteen. Tutkimuksissa havaittiin lämmöneristeen vaurioitumisen kannalta selvä korrelaatio julkisivun kunnon ja kosteusrasituksien sekä eristetilan mikrobikasvun välillä (Pessi, ym. 1999, 74).

Vaikka rakennusfysikaalisesta ilmiöstä johtuen elementin sisään muodostuu teoriassa kasvuolosuhteet mikrobeille, havaittiin tutkimuksessa elementin sisällä suhteellisen vähän kasvustoja. TTKK:n julkaisussa 101 (Pessi, ym. 1999) tehdyssä tutkimuksessa päädyttiin johtopäätökseen, etteivät eristetilan mahdolliset mikrobikasvustot olleet ilmiöinä niin yleisiä, että niitä kannattaisi

lähteä selvittämään systemaattisesti esim. korjaustoimenpiteitä suunniteltaessa (Pessi, ym. 1999, 75).

Betonisandwich-rakenteen mikrobikasvustojen todettiin keskittyvän tilanteisiin, joissa rakenneratkaisuna on riskirakenne tai muu rakenteellinen kosteusteknisesti toimimaton julkisivun yksityiskohta, joka olisi voinut aiheuttaa julkisivuelementille poikkeuksellista kosteusrasitusta. Tästä syystä rakennuksen julkisivun mikrobikasvustoja arvioitaessa on otettava huomioon, onko rakenteessa ollut tilanteita, missä elementin sisään olisi päässyt merkittäviä sadevesivuotoja tai vuotoja muista kosteuslähteistä, jolloin kosteuden kertyminen elementin sisään olisi ollut mahdollista. Mikrobivaurioiden yleisyyden selvittäminen on myös perusteltua rakennushankkeen hankesuunnitteluvaiheessa, jos vertailtavana on kustannuksiltaan lähes saman hintaisia korjausmenetelmiä, jolloin niiden yhtenä valintaperusteena voidaan käyttää rakenteen lämmöneristeen mikrobiologista kuntoa (Pessi, ym. 1999, 75-76).

2.3.2 Mikrobivaurioiden vaikutukset sisäilman laatuun

Mikrobikasvustojen esiintyminen ulkoseinärakenteessa ei suoranaisesti kerro niiden merkityksestä sisäilman laatuun tai sitä kautta vaikutuksista esim. asukkaiden terveyshaittaan. Mikrobeille altistuminen rakennuksessa tapahtuu pääasiassa hengitysilman kautta, jolloin mikrobeista peräisin olevien partikkelien, itiöiden tai kaasumaisien aineenvaihdunta tuotteiden on siirryttävä ulkoseinärakenteen sisältä sisäilmaan. Käytännössä siirtyminen sisäilmaan tapahtuu rakenteiden sisältä niiden epätiiviyskohdista tapahtuvien ilmavuotojen kautta (Pessi, ym. 1999, 74).

TTKK:n julkaisun 101 (Pessi, ym. 1999) tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, että ainoastaan runsaalla elementin eristetilan sädesienikontaminaatiolla on vaikutus sisäilman laatuun. Tutkimuksen mukaan sisäilman aktinomykeettien viitearvon todettiin ylittyvän, jos elementin sisällä olevan lämmöneristeen aktinomykeettien pitoisuus ylitti 10 000 cfu/g.

Lisäksi TTKK:n julkaisun 101 mukaan lämmöneristeen mikrobikasvulla on todettu olevan korrelaatio vain, jos kasvusto keskittyy elementin reuna-alueelle. Elementin keskialueella olevien sädesienikasvustojen ei ole todettu korreloivan sisäilman sädesienipitoisuuden kanssa (Pessi, ym. 1999, 74).

Nykyisin asumisterveysasetus linjaa, että rakennusmateriaalissa voidaan katsoa esiintyvän mikrobikasvua, jos aktinomykeettien pitoisuus on vähintään 3 000 cfu/g (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016d, 8). Lisäksi Asumisterveysasetus linjaa, että rakennuksen lämmöneristeessä havaitut mikrobivauriot rajataan pois toimenpiderajan ylittymisestä, jos lämmöneristeet ovat suoraan kosketuksissa ulkoilman tai maaperän kanssa, ellei niistä ole esim. merkkiainekokeella vahvistettua ilmayhtyettä sisäilmaan (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016d, 3).

2.3.3 Paine-erot sekä ilmavuodot rakenteiden sisältä

Rakennuksen sisä- ja ulkotilojen tai eri huonetilojen välillä olevat paine-erot aiheuttavat ilman konvektiovirtauksia suuremmasta ilmanpaineesta pienempään. Rakenteiden sisällä tai niiden läpi tapahtuvat ilmavuodot saattavat kuljettaa mukanaan maaperästä tai rakenteista epäpuhtauksia tai hajuja huonetiloihin, jotka voivat heikentää sisäilman laatua. Rakenteiden läpi tapahtuvat virtaukset talvisaikaan myös viilentävät rakennetta, jolloin ilmavuotokohtat ovat havaittavissa esim. lämpökamerakuvauksella (YM 2016, 58).

Rakenteiden läpi tapahtuviin ilmavuotoihin vaikuttaa rakennuksen painesuhteet, joilla tarkoitetaan sisä- ja ulkoilman tai rakennuksen eri osien välisiä ilmanpaineroja. Ilma pyrkii virtaamaan painesuhteiden vuoksi korkeammasta ilmanpaineesta matalampaan. Rakennukseen muodostuviin paineroihin vaikuttaa ilman tiheydestä johtuva ”savupiippuvaikutus”, tuuli sekä rakennuksen ilmanvaihto.

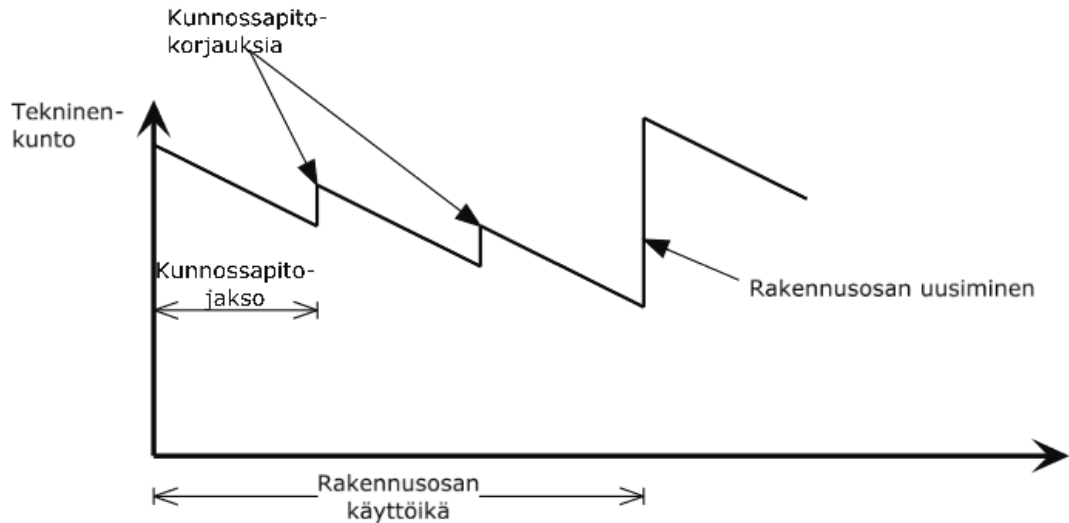
Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen osan I mukaan ilmanvaihdon aiheuttaessa sisä- ja ulkoilman välille yli -15Pa alipaineisuuden, tulee rakennuksen alipaineisuutta pienentää, millä pienennetään vuotoilmavirtauksia, sekä niiden mukana kuljettamia epäpuhtauksia (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016a, 18).

Rakenteiden tyypillisiä ilmavuotokohtia on tutkittu Tampereen teknillisen yliopiston julkaisussa 141: Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksessa. Tutkimuksen mukaan kerrostaloissa yleisimmät vuotokohtat olivat ikkunat ja ovet ja niiden liitoskohdat. Seuraavaksi yleisimmät vuotokohtat olivat ulkoseinän ja välipohjan liitokset. Tutkimuksen mukaan ilmavuotoa esiintyi myös ulkoseinän ja yläpohjan liitoksesta (Aho & Korpi 20019, 9).

2.4 Kiinteistön elinkaaren tekninen hallinta

Kiinteistön elinkaaren hallinnalla tarkoitetaan kaikkia kiinteistön elinkaaren vaiheita maanhankinnasta, kiinteistön mahdollisesta rakentamisesta ja sen hyödyntämisestä päättyen kiinteistöä luopumiseen (RAKLI 2012). Rakennuksien elinkaaren hallinta aloitetaan jo rakennuksen hankesuunnitteluvaiheessa suunnittelun tavoitteiden määrittämisellä. Valituilla suunnitteluratkaisuilla ja käytännön optimoinnilla voidaan vaikuttaa myöhemmin kiinteistön elinkaaren aikaisiin käyttö- ja ylläpitokustannuksiin. Suuri osa kiinteistön omistajan kustannuksista koostuu rakentamisvaiheen jälkeisestä käytöstä, jolloin myös kiinteistön käytöstä muodostuu kiinteistön omistajalle taloudelliset tulot (RIL 2013).

Kiinteistön elinkaaren hallinnan käsitteitä ja kiinteistön rakennusosien ajallinen mittakaava on esitetty kuvassa 2.4. Yleisesti ei ole tarpeen ajatella koko elinkaaren aikaista hallintaa, vaan tarkasteluun voidaan valita lyhyempi ajanjakso, kuten esimerkiksi tietyn rakennusosan kunnossapito tai käyttöikäjakso. Kiinteistön omistajan näkökulmasta käytön suunnittelu tehokkaaksi niin kustannuksiltaan kuin harjoitettavaa liiketoimintaa tukevaksi, takaavat kiinteistön omistajalle hyvän pohjan elinkaaren hallintaan. (RIL 1996).



Kuva 2.4 Rakennusosien elinkaari (Myyryläinen 2008)

2.4.1 Kiinteistön ylläpito

Kiinteistön ylläpidon tavoitteena on pitää rakennus ja sen lähiympäristö teknisesti ja toiminnallisesti kunnossa, erityisesti ottaen huomioon turvallisuus-, terveys- ja toiminnallisuusnäkökohdat. Muita tavoitteita ovat mm energiankulutuksen optimointi, kiinteistön kunnan ja arvon säilyttäminen sekä erityisesti kosteusvaurioiden ja sitä kautta homeongelmien estäminen (RIL 2011, 115).

Lisäksi RIL 250-2011 linjaa, että rakennuksen ylläpidon tulee perustua selkeään, johdonmukaiseen ja asiantuntevaan ylläpitosystematiikkaan, joka on ennakoiva ja kattava eikä liian laaja tai monimonimutkainen. Erityisesti kosteudenhallintaan ja homevaurioiden estämiseen liittyvät kriittiset laatutekijät ja toimenpiteen tulee olla tiedostettu ja ohjelmoitu koko rakennuksen elinkaaren ajan (RIL 2011, 115).

Kiinteistön ylläpidon peruseriaatteita on, että kiinteistön omistajan on aina oltava tietoinen kiinteistön ja sen rakenteiden kunnosta. Vain siten omistaja pystyy hallitsemaan kiinteistön elinkaarta ja elinkaaren aikaisia kustannuksia (RIL 2011, 115).

2.4.2 Korjausrakentaminen osana kiinteistönpitoa

Kiinteistön omistaja määrittelee omassa kiinteistön ylläpitostrategiassaan lyhyen ja pitkän aikavälin tavoitteet. Tavoitteiden asettamisessa määritellään kiinteistön ylläpidon päälinjoista kuten kiinteistönhoito, -kunnossapito ja korjausrakentamisen toteuttamisesta. Kiinteistön omistaja päättää kiinteistön eri rakennusosien, sekä teknisiin järjestelmiin kohdistuvien korjauksien tahditamisesta.

Koska kiinteistöjen korjauksista aiheutuvat kustannukset realisoituvat korjauksien toteutushetkellä on korjaushankkeen ajoituksella keskeinen merkitys kokonaiskustannuksien muodostumisen kannalta. Kiinteistön korjauksien jaksottamisessa on tärkeää päästä suunnitelmalliseen toimintaan, jolloin ennen korjaushankkeeseen ryhtymistä voidaan rauhassa etsiä ratkaisuja, tehdä

suunnittelutyötä sekä arvioida korjauksella saavutettavien ominaisuuksien suhdetta syntyviin kustannuksiin.

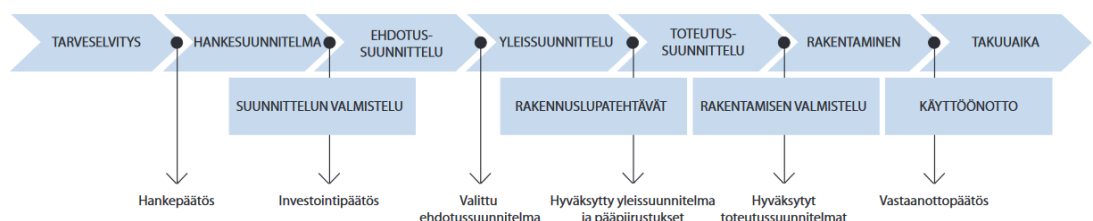
Korjausrakennushankkeen käynnistymisen pääsyytä on yleensä kaksi. Ensimmäinen syy on liiketoiminnallisista syistä johtuva käyttötärpeiden muuttuminen. Toisena syynä ovat tekniset seikat, kuten rakennuksen tekninen- tai toiminnallinen vanheneminen, taikka rakenteiden vauriot (Leivo ym. 1998, 65). Yksittäisen korjaushankkeen osuus kiinteistön koko elinkaaren aikaisista kustannuksista voi olla merkittävä.

Korjaushanke käynnistyy tarveselvitysvaiheesta, jossa arvioidaan hankkeen tarpeellisuutta, edellytyksiä, sekä määritetään tavoitteet. Tarveselvitysvaiheessa käytettäviä arviointimenetelmiä ovat mm. rakennuksen asiakirjoihin tutustuminen, asukas- ja käyttäjäkyselyt, kunto- ja ominaisuusarviot. Tarveselvitysvaihe voi olla hyvin lyhyt ja pääpiirteinen. Tarveselvitystä seuraa hankesuunnittelupäätös (Leivo ym. 1998, 65).

Hankesuunnitteluvaiheen tavoitteena on määrittää ”raamit” toteutussuunnittelulle. Laissa määritetään, että korjaushankkeeseen ryhtyvän on tehtävä riittävät esiselvitykset hankkeen laajuus ja haastavuus huomioiden. Tarvittavat esiselvityksen vaihtelevat tapauskohtaisesti. Esiselvityksien tarpeeseen vaikuttavat rakennuksen ikä, korjaus- ja huoltohistoria, käytetyt rakennusmateriaalit, rakenteet sekä tekniset järjestelmät (RTS 2016, 7). Hankesuunnittelun pohjalta tehdään investointipäätös.

Hankesuunnittelua seuraa ehdotus-, yleis- ja toteutussuunnitteluvaiheet, joiden onnistuminen riippuu olennaisesti hankesuunnitteluvaiheessa tehdyistä selvityksistä. Puutteellisesti tehtyjä selvityksien takia voi vaarana olla esim. yli- tai alikorjaaminen, tai pahimmillaan tehdyt korjaukset voivat jopa kiihdyttää rakenteen vaurioitumista (Pentti, ym. 1998b, 24).

Rakennushankkeen lopputulos toteutetaan rakentamisvaiheessa. Korjausrakentamiselle on tyypillistä, että rakentamisvaiheessa ilmenee uutta tietoa rakenteista tai niiden kunnosta. Tämä vaatii työmaatoiminnalta ja suunnittelulta saumatonta yhteistyötä, jotta tarvittavia suunnitteluratkaisuja voidaan tarvittaessa muuttaa nopeasti. Rakentamisvaihe päättyy vastaanottotarkastuksen perusteella tehtävään päätökseen vastaanotosta (Leivo ym. 1998, 66).



Kuva 2.4.2 Rakennushankkeen vaiheet (RT-11224, 1)

2.5 Betonisandwich-rakenteen korjausratkaisut

Betonijulkisivulle on olemassa eritasoisia ja eri käyttötarkoituksiin soveltuvia korjausratkaisuja. Eri korjausratkaisut ovat kustannuksiltaan hyvinkin eri hintaisia ja niiden rakenteelle tuoma tekninen käyttöikä poikkeaa huomattavastikin toisistaan. Korjaustavan valintaan vaikuttaa olemassa olevan rakenteen kunto sekä korjauksien kiireellisyys. Aina ei ole itsestään selvää pitääkö johonkin korjausratkaisuun päätyä vai onko järkevämpää valita ratkaisu, jossa rakenteeseen ei kohdistu mitään korjaustoimenpiteitä (by 42 2013, 50).

Korjaustavan valintaa ohjaa korjauksen kustannukset, korjauksella saavutettava käyttöikä sekä kiinteistön omistajan kiinteistönpidon strategia. Korjauksen käyttöikä ei ole yksiselitteinen, vaan se riippuu useasta eri tekijästä. Merkittävämpiä ovat korjattavan rakenteen kunto suhteessa käytettyyn korjausmenetelmään, vanhan rakenteen vaurioiden laajeneminen tulevaisuudessa, rasitusolosuhteet sekä itse korjauksen vaurioituminen (by 42 2013, 59). Kiinteistön omistajan näkökulmasta korjaustavan valintaan vaikuttaa kiinteistön omistajaorganisaation kiinteistönpidon strategia, joka määrittelee, miten kiinteistöä ylläpidetään, korjataan ja kehitetään (RT 18-11240, 2).

2.5.1 Pinnoitus- ja paikkakorjaukset

Pinnoitus- ja paikkakorjauksia voidaan tehdä kahden tasoisina. Kevyimmillään sillä tarkoitetaan betonin uudelleen pinnoittamista, jossa vanhaa pinnoitetta ei poisteta alta. Tällöin korjausratkaisuun liittyy kevyitä laastipaikkauksia sekä käytännössä julkisivun pinnan maalaus. Pinnoituskorjauksiin ryhdytään tavallisimmin, kun julkisivun pinnoite on huonokuntoinen, mutta betonissa ei ole havaittavissa näkyviä pakkasrapaumavauriota. Myös huonokuntoiseen kohteeseen voidaan tehdä pinnoituskorjaus, jos tarkoituksena on saada aikaan hankintahinnaltaan halpa korjaus. Tällöin on tärkeää tiedostaa korjauksen lyhyt elinkaari (by 42 2013, 50-51).

Perusteellisella laastipaikkaus- ja pinnoituskorjauksella tarkoitetaan toimenpidettä, jossa betonirakenteessa esiintyvien paikallisten korroosio- ja rapaumavaurioiden sekä erilaisten kolhujen paikkaamiseen käytetään tiettyä laastipaikkaustekniikkaa. Tähän menetelmään sisältyy korjattavien kohtien kartoittaminen ennalta, huolellinen suunnittelu sekä laadun varmistus. Yleensä perusteellisen laastipaikkaustyön päätteeksi betoni pyritään pinnoittamaan uudestaan. Pinnoittaminen tehdään vanhan pinnoitteen poistamisen jälkeen siihen tarkoitetuilla pinnoitteella. Pinnoitteen tarkoituksena on pitää sadevedet pois rakenteista, mutta päästää vesihöyryä lävitse, joka antaa rakenteelle mahdollisuuden kuivaa. Menetelmä ei sovellu pesubetonipinnoitteille, koska laastipaikkauskohdat jäävät näkyviin ja erottuvat selkeästi korjaamattomasta pesubetonipinnasta. Jos paikattavaa on suhteellisen paljon saattaa olla edullisempää päätyä päälle tehtäviin pintarakennevaihtoehtoihin (by 42 2013, 51-53).

2.5.2 Verhouskorjaus

Verhouskorjaus on ns. peittävä korjausmenetelmä, jossa vanha rakenne verhoillaan uudella materiaalilla. Näitä materiaaleja ovat erilaiset teräsohutelvyverhoukset, ohutrappaukset, eriste-rappaukset ja sementtilevyverhoukset. Vanhaa rakennetta ei ole tarpeen poistaa, vaan verhous voidaan toteuttaa vanhan rakenteen päälle. Verhouskorjausta käytetään yleensä, kun korroosio- ja rapaumavaurioita on näkyvissä tai odotettavissa niin runsaasti, ettei perusteellinen laastipaikkauskorjaus ole enää mahdollista. Lisäksi verhouskorjaus käytetään, kun betonielementin ulkokuoren kiinnitykset ovat vaurioitumassa tai osin vaurioituneet.

Verhouskorjauksessa uusi julkisivun verhous kiinnitetään yleensä betonielementin ulkokuoreen, mikäli betoni on riittävän luja ja sen kiinnitys on riittävä. Ulkokuori voidaan tarvittaessa ankuroida sisäkuoreen tai rakennuksen runkoon lisäkiinnikkein.

Yleensä verhouskorjauksen yhteydessä asennetaan rakennuksen ulkopuolelle lisälämmöneristys, joka parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. Lämpimän rakennusosan ulkopuolinen lisälämmöneristys nostaa vanhan rakenteen lämpötilaa, joten sillä saavutetaan tehokkaampi kuivamisvaikutus. Lisälämmöneristyksen myötä betonin rapautuminen pysähtyy ja raudoitteiden korroosio hidastuu merkittävästi (by 42 2013, 53-54).

2.5.3 Purkavakorjaus

Purkavassa korjauksessa julkisivun tai sen osan vaurioitunut ulkokuori ja lämmöneriste puretaan ja korvataan uudella rakenteella. Purkavaa korjausta käytetään, kun vanha rakenne on niin huonokuntoinen, ettei sitä ei ole järkevää lähteä korjaamaan kevyimmillä menetelmillä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, ettei vanha rakenne sovellu uuden alustaksi. Toteutusta käytetään myös tilanteissa, joissa vanhan rakenteen purkaminen on helppoa ja uudella rakenteella saadaan aikaiseksi selvästi parempilaatuinen sekä riskittömämpi lopputulos. Betonisandwich-elementtien eristetilaa laaja mikrobikasvusto saattaa olla lisäperuste ulkokuoren purkutarpeelle. Purkaminen ja uudelleenrakentaminen voidaan toteuttaa koskien joko kokonaista rakenneosaa tai valikoidusti purkamalla vaurioituneimmat kohdat tai elementit. Tyypillisesti purkavassa korjauksessa jälleerakennuksessa rakenteen päälle tehdään joku peittävä korjaus kuten eristerappaus tai verhouskorjaus (by 42 2013, 55).

Joissain tilanteissa purkavalla korjauksella voidaan tarkoittaa myös sitä, että koko rakennus puretaan ja korvataan uudella paremmin tekniset, toiminnalliset, yms. vaatimukset täyttävällä rakennuksella.

2.5.4 Sisäkuoren tiivistyskorjaus

Sisäkuoren tiivistyskorjauksessa rakenteen sisäkuori tiivistetään rakenteen läpi hallitsemattomasti tapahtuvia ilmapuotoja vastaan. Rakennuksen ilmanpitävyyden parantamisella sekä hallitsemattomien ilmapuotojen poistamisella on positiivisia vaikutuksia kuten, energian kulutus pienee, kosteuskonvektiot estyy, epäpuhtauksia ei kulkeudu sisätiloihin ilmapuotauksien mukana,

asumisviihtyvyys paranee sekä usein myös ilmastoineristävyyden myötä paranee (YM 2016, 118-119).

Tiivistyskorjaukset voidaan toteuttaa eritasoisina tiivistyskorjauksina, joista halvimpina ”silikonittauksien” toiminta on epävarmaa sekä elinkaari on suhteellisen lyhyt. Näin ollen niiden soveltuvuus käyttötarkoitukseensa pitkäikäisesti on kyseenalainen. Kevyemmät tiivistykset toimivat väliaikaisina tiivistyksinä, jolloin tiivistyksen vaikutuksia halutaan kokeilla lyhytkestoisesti.

Toimintavarmempi tiivistyskorjaus on rakenteessa olevan raon tiivistäminen nauhalla, jolloin syntyy limitus raon yli. Menetelmällä saavutetaan huomattavasti pidemmät tekniset käyttöiät sekä teknisesti paremmin toimiva toteutus pitkällä aikavälillä. Eri valmistajat tarjoavat haitta-ainejärjestelmiä, joilla tiivistettävistä kohdista saadaan toteutettua sekä ilma- että kaasutiiviitä. Nämä tiivistyskorjaukset ovat kustannuksiltaan huomattavasti kalliimpia kuin kevyemmin toteutetut tiivistyskorjaukset.

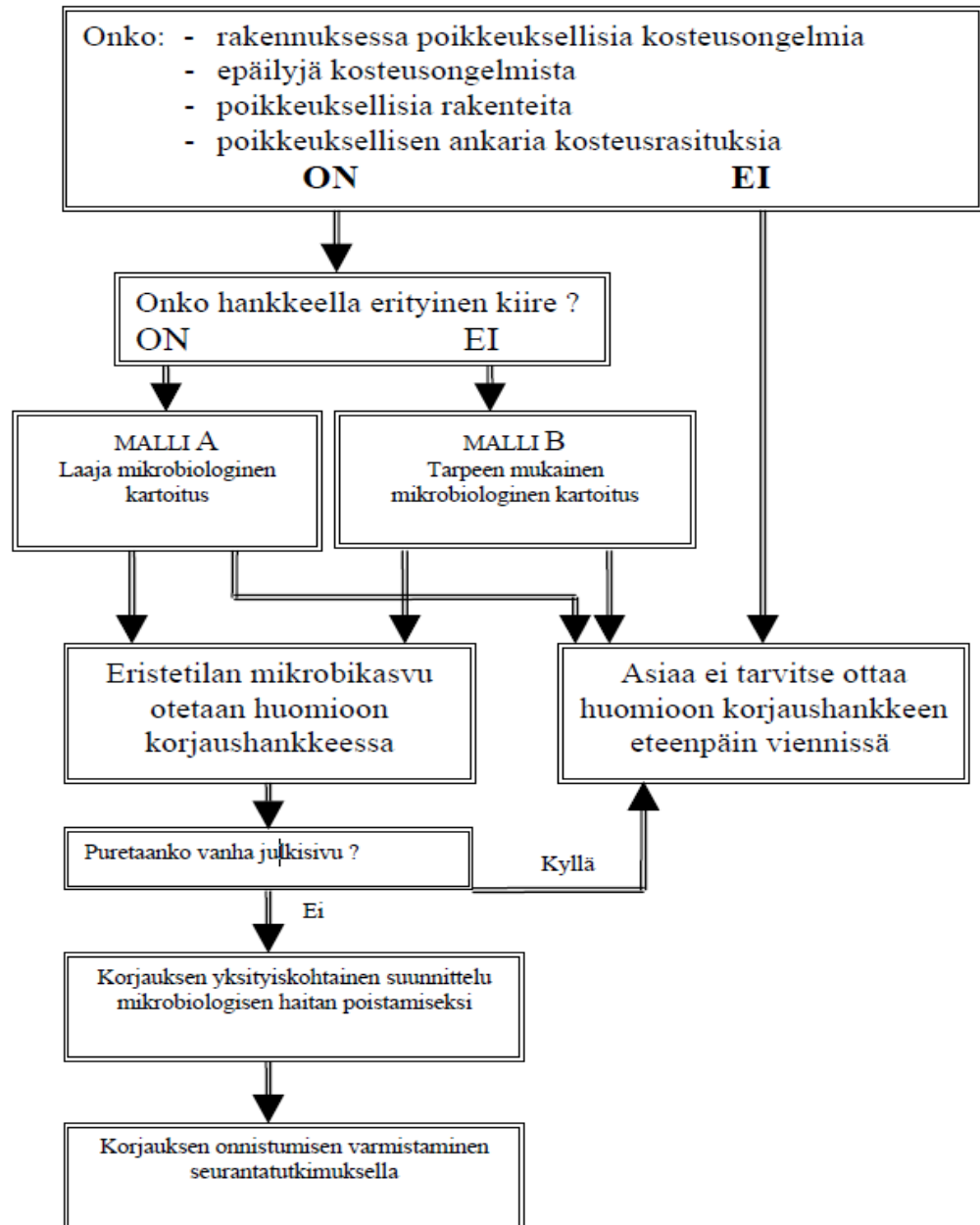
2.5.5 Mikrobivaurioiden huomioiminen julkisivukorjauksissa

Lämmöneristeessä todettujen mikrobivaurioiden korjauksessa, mikrobivaurioitunut lämmöneriste joko uusitaan tai jätetään rakenteisiin.

Lämmöneristettä uusien täytyy purkaa myös betonielementin ulkokuori. Ulkokuoren ja lämmöneristeen purkamista ja uusimista ohjaa yleensä lämmöneristeen laajat mikrobivauriot. Korjausmenetelmä on kustannuksiltaan kallis, johtuen betonielementin ulkokuoren purkamisesta aiheutuvista korkeista kustannuksista. Lisäksi purkutöiden aiheuttamat haitat kiinteistön asukkaille, käyttäjille sekä ympäristölle ovat kevyempiä korjausmenetelmiä suurempia (Pessi, ym. 1999, 15).

Kevyemmissä korjausmenetelmissä, joita ovat pinta- ja verhoukset, vanha eristämateriaali jätetään rakenteen sisälle. Rakennuksen sisäpuolisiin osiin jätettyä mikrobivaurioitunutta materiaalia pidetään riskinä, koska kuivuneestakin kasvustosta voi aiheutua altistusta sisäilmaan. Rakenteiden sisällä olevaa vanhaa mikrobikasvustoa pidetään riskinä myös uuden kosteusvaurion sattuessa, koska vanha kasvusto sisältää runsaasti pitkäaikaista kuivuutta sietäviä itämiskykyisiä itiöitä. Rakenteissa oleva mikrobikasvusto myös huonontaa materiaalin kosteusteknisiä ominaisuuksia (Pessi, ym. 1999, 15).

TTKK:n tutkimuksen 101 (Pessi, ym. 1999) tuloksena on luotu toimintamallikuvaaja, kuva 2.5.5, jossa esitetään, miten eristetilan mikrobikasvusto otetaan huomioon rakennushankkeen hankesuunnitteluvaiheessa.



Kuva 2.5.5 Toimintamallikuvaaja eristetilan mikrobikasvuston ottamisesta huomioon hankesuunnitteluvaiheessa (Pessi, ym. 1999, 77)

Eristetilassa todetun mikrobikasvuston on havaittu vaihtelevan elementin eri osien välillä. Elementin laitaosat lähellä saumojen mahdollisia vuotokohtia ovat tutkimuksen mukaan olleet oletustusti mikrobivaurioituneita. Yllättävänä havaintona tutkimuksessa on kuitenkin pidetty, että ruu-
tuelementin keskiosissa, etäällä sauma-alueella, on havaittu yhtä paljon mikrobikasvua kuin elementin laidoilla. Tutkimuksen havaintona on ollut, että näillä alueilla kasvustot ovat olleet nimenomaan aktinomykkeettejä. Tutkimuksessa on arvioitu ikkuna-aukon alapuolella olevien osien olevan mahdollisten pellityksessä ja karmien asennuksessa tapahtuneiden virheiden vuoksi kosteusteknisesti riskialttiita. Sekä heti ikkuna-aukon alapuolella, että ikkunan alapuolella olevan ala-

sauman läheisyydessä on havaittu kuitenkin suhteellisesti katsoen vähän kasvustoja. Tähän ajatellaan olevan syynä lämpöpatterien sijoittaminen asuinkerrostaloissa tyypillisesti ikkunan alle, joka muuttaa myös ulkoseinän lämpö- ja kosteusoloja (Pessi, ym. 1999, 52).

Tutkimuksessa on todettu myös lämmöneristeessä olevien aktinomykeettien kontaminaatioasteen korreloivan pakkasrapautumisen, saumojen kunnan, elementtien käyristymisen ja ulkoisten kosteusrasituksien kanssa (Pessi, ym 1999, 55). Tutkimuksessa todetaan, että aktinomykeetit suosivat eristetilaa kasvupaikkana ja sienet eivät. Tutkimuksessa ei kuitenkaan selviä mikä on syynä havaintoon (Pessi, ym 1999, 53).

2.6 Kuntotutkimus osana korjausrakennushanketta

Kuntotutkimuksen tavoitteena on tuottaa kuntotutkimuksen tilaajalle luotettavaa tietoa, jotta tilaaja osaa valita kuhunkin korjaushankkeeseen oikean korjaus tavan. Pentti toteaa (2018, 11), että oikean korjaustavan valinta edellyttää luotettavaa tietoa rakenteen kunnosta sekä muistuttaa, että väärät korjaustavat voivat aiheuttaa toiminnallisia haittoja ja taloudellisia menetyksiä.

Kuntoarvio ja -tutkimus kuuluvat tarveselvitys- ja hankesuunnitteluvaiheeseen. Ne ovat työkaluja esiselvityksien tekemiseen ja niiden tekeminen kannattaa aloittaa ajoissa, jotta mahdolliset korjaukset pystytään tekemään suunnitelmallisesti. Kuntotutkimuksella pyritään selvittämään rakenteiden toimivuutta ja kuntoa sekä arvioimaan vaurioiden laajuutta, astetta, syitä, vaikutuksia sekä niiden etenemistä (Pentti, ym. 1998b, 23).

Kuntotutkimuksen päätehtävänä on korjaustarpeen, -vaihtoehtojen ja korjauksen ajankohdan sekä turvallisuusriskien arviointi. Turvallisuuteen ja terveellisyyteen vaikuttaviin puutteisiin ja vaurioihin on suhtauduttava erityisen vakavasti (Pentti, ym. 1998b, 23-24).

2.6.1 Betonijulkisivun kuntotutkimus

Betonijulkisivun kuntotutkimuksen peruseriaatteena on selvittää kaikkien potentiaalisten vauriotapojen tilanne ja eteneminen. Hyvin suunniteltu betonijulkisivun kuntotutkimus etenee vaiheittain, joita ovat (by 42 2013, 65):

- Lähtötietojen kerääminen
- Alustava tilannearvio
- Tutkimustarpeiden arviointi
- Tutkimuksen työsuunnitelma
- Varsinaiset tutkimukset
- Raportointi

Betonijulkisivun kuntotutkimuksen sisältö tulee aina määrittää tapauskohtaisesti kullekin kohteelle. Yleisimmät ja merkittävimmät betonijulkisivuissa ja parvekkeissa vaikuttavat vauriotavat luokitellaan seuraavasti (by 42 2013, 70):

- Raudoitteiden korroosio
- Betonin rapautuminen
- Kiinnitysten, kannatusten ja sidontojen vauriot
- Rakenteiden ja yksityiskohtien kosteustekniset toimivuuspuutteet
- Pintatarvikkeiden vauriot
- Pintakäsittelyjen vauriot
- Halkeilu ja muodonmuutokset
- Käytön aiheuttama vaurioituminen

Eri vauriotavoille on olemassa erilaisia ja erikäyttötarkoituksiin soveltuvia tutkimusmenetelmiä, joiden avulla kuntotutkija muodostaa käsityksen rakenteessa mahdollisesti esiintyvistä vaurioista ja toimivuuspuutteista. Betonijulkisivun varsinaiset kenttätutkimukset tehdään lähes poikkeuksetta nostokorista käsin. Kenttätutkimusmenetelmiä ovat (by 42, 97-122):

- Betonin karbonatisoitumissyvyyden määrittäminen näytelieriöistä
- Raudoitteiden peitepaksuuden kartoittaminen
- Betonin kloridipitoisuuden määrittäminen
- Betonin rapautumisen tutkiminen vasaroimalla sekä betonista otettavin näyttein
- Kannatusten, kiinnitysten ja sidontojen tutkiminen rakenneavauksista
- Silmämääräiset tarkastelut kosteusteknisien puutteiden, pintatarvikkeiden, pintakäsittelyjen, halkeilujen, muodonmuutosten ja aiempien korjauksien osalta
- Terveydelle ja ympäristölle haitallisten aineiden ja yhdisteiden tutkiminen rakenteesta otettavin näyttein
- Muut harvemmin käytetyt tutkimusmenetelmät, joita ovat mm. kosteusmittaukset, tähytys, lämpökuvaus, raudoitteiden potentiaalin mittaaminen, betonin kimmoavasaramittaus sekä koekuormitus

2.6.2 Lämmöneristeen mikrobivaurioiden tutkimus

Lähtökohtaisesti mikrobiologisten tutkimuksien tarkoituksena on vahvistaa tai poissulkea rakennuksen kosteusvaurioiden mahdollisuus. Betonijulkisivun lämmöneristeen kuntotutkimuksessa tavoitteena on selvittää lämmöneristeen vaurioiden laajuutta, astetta sekä vaikutuksia. Turmeltumisilmiöinä ovat lämmöneristeen kastuminen, josta seuraa kosteuden aiheuttamat mikrobivauriot. Käytännössä mikrobivaurioitumisen laajuutta ja astetta voidaan selvittää olemassa olevasta rakenteesta ainoastaan rakenneavauksista otettavin materiaalinäyttein sekä avauksesta tehtävin aistinvaraisin havainnoin (Leivo, ym. 1998, 87).

Lämmöneristeen kuntotutkimus voidaan toteuttaa joko betonijulkisivun kuntotutkimuksen yhteydessä tai omana erillisenä tutkimuksena.

2.6.3 Materiaalinäytteet, analysointi sekä tuloksien tulkinta

Näytteenottomenetelmänä voitaneen käyttää TTKK julkaisussa 101 (Pessi, ym. 1999) kuvattua näytteenottomenetelmää, jonka vaiheet ovat:

- Kuivaporaus elementin ulkokuoreen pneumaattisella poravasarella, reikä 16-22mm
- Näytteenotto tartuntapihdeillä tai ”ankannokkapihdeillä”
- Näytteet tilavuus n. 10 cm³
- Kukin näyte suljetaan omaan erilliseen tiiviiseen muovipussiin, esim. ”minigrip”
- Pussiin näytetietojen merkitseminen
- Näytteenottovälineiden puhdistaminen ennen näytteenottoja ja jokaisen näytteenoton välillä kastamalla välineet desinfioivaan ja nopeasti haihtuvaan nesteeseen (etanoli, isopropanoli tai asetoni)

Näytteenotossa on huomioitava mahdollinen kontaminaation vaara sekä mikrobien elinkyky kuivissa olosuhteissa. Näytteet on toimitettava tai postitettava mahdollisimman pian näytteitä analysoivalle laboratoriolle (Leivo, ym. 1998, 88).

Ulkokuoren poraaminen timanttikoralla on myös mahdollista, mutta tällöin näyte kastuu porauksessa käytetystä vedestä. TTKK julkaisun 101 mukaan kastunut näyte ei kuitenkaan vaikuta analyysin tuloksiin, mutta näyte suositellaan otettavaksi kuitenkin kuivaporausmenetelmällä aina kun se on mahdollista (Pessi, ym. 1999, 24).

Mikrobinäytteet analysoidaan *Asumisterveysasetuksen* (STMa 545/2015) mukaisesti ensisijaisesti laimennossarja- tai suoraviljelymenetelmällä ja mikroskopoimalla tehdyllä analyysillä. Näiden menetelmien tulkintaohjeet on esitetty *Asumisterveysasetuksen* soveltamisohjeessa (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016d). Muita analyysimenetelmiä ovat kvantitatiivinen PCR (eli qPCR) sekä sienibiomassa määrittäminen (Mycometer), mutta näille menetelmille ei ole annettu yksiselitteisiä viitearvoja tulkinnan tueksi (YM 2016, 50).

Laimennossarja- sekä suoraviljelymenetelmillä näytteistä määritetään elinkykyisten mikrobien pitoisuudet. Menetelmällä ei voida todeta kuolleita mikrobisoluja, joten siksi mm. vanhat kuolleet mikrobikasvustot voivat jäädä huomaamatta. Tästä syystä näytteet tulisi lisäksi analysoida suoramikroskopiolla, mutta menetelmä ei sovellu kuitenkaan huokoisille materiaaleille kuten esim. mineraalivillalle. Näytteiden analyysissa mikrobien kokonaisuuspitoisuuksien lisäksi näytteistä tunnistetaan niissä kasvavat mikrobilajikkeet, joista oleellisimpia tulkinnan kannalta ovat ns. kosteusvauriosta indikoivien lajikkeiden tunnistaminen (YM 2016, 50-51).

Laimennossarjaviljely tehdään kahdelle sienikasvustomaljalle (MEA- ja DG18), joista DG18-alustan käyttö parantaa mm. kuivissa viihtyvien homeiden tunnistamista. Bakteerien tunnistamisessa käytetään niille suunnattua kasvualustaa (THG). Homesienten viljelyaika on 7 vrk ja sädesienten viljelyaika on 7-14 vrk (YM 2016, 50-51).

Suoraviljely eroaa laimennossarja viljelystä laboratoriossa näytteelle tehtävien käsittelyjen sekä kasvatusmaljojen tulkinnan osalta. Näytteiden tulokset ilmoitetaan semikvantitatiivisella asteikolla näytteessä esiintyvien mikrobien osalta. Asteikkona ilmoitetaan -/+ /+++ /++++ /++++, joiden pitoisuudet on kuvattu taulukossa 2.6.3 (YM 2016, 51 ja Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016d, 8).

Kuten aikaisemmin oli mainittu julkisivurakenteesta otetun mineraalivillanäytteen mikrobikasvuston analysointimenetelmistä mikroskopointi ei sovellu kyseiselle näytetyypille (YM 2016, 51).

Asteikko	Näytteen mikrobipitoisuudet suoraviljelyssä
-	Ei mikrobikasvua
+	Niukasti mikrobeja, (1-19 pesäkettä)
++	Kohtalaisesti mikrobeja, (20-49 pesäkettä)
+++	Runsaasti mikrobeja, (50-199 pesäkettä)
++++	Erittäin runsaasti mikrobeja, (≥ 200 pesäkettä)

Taulukko 2.6.3 Suoraviljelyn mikrobipitoisuudet

Mikrobikasvuston tulkintaohjeet on esitetty *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016d, 7-9), jotka ovat sovellettu standardissa ISO 16000-21:2013 esitetystä menetelmästä (YM 2016, 51).

Laimennossarjamenetelmällä analysoiduissa näytteissä katsotaan esiintyvät mikrobikasvua, mikäli näytteen elinkykyisten home- ja hiivasienten määrä on $> 10\ 000$ pmy/g tai bakteerien määrä on $> 100\ 000$ pmy/g tai sädesienten määrä on $> 3\ 000$ pmy/g. Myös sienikasvustot, joiden määrä on alle $10\ 000$ pmy/g voivat viitata mikrobikasvustoon silloin, kun näytteessä havaitaan kosteus- ja mikrobivaurioon viittaavia indikaattorilajikkeita ja sienten kokonaispitoisuus on $5\ 000 - 10\ 000$ pmy/g tai näytteen sienisuvusto on epätavallisen yksipuolinen (1-2 lajia/sukua) ja pitoisuus kuitenkin $> 5\ 000$ pmy/g (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016d, 7).

Suoraviljelyssä käytetään mainittua asteikkoa sekä mikrobien kokonaismäärän että tunnistettujen mikrobien määrän arvioimiseen. Homeiden, hiivojen ja aktinomykeettien kokonaismäärien ollessa pieniä (-/+ /++), lasketaan ja ilmoitetaan kosteusvaurioindikaattorien pesäkemäärät. Suoraviljelyn tulkinnan mukaan materiaalissa voidaan katsoa esiintyvän mikrobikasvustoa, kun materiaalissa havaitaan elinkykyisiä sieni-itiöitä tai aktinomykeettejä runsaasti (+++/++++). Suoraviljelyllä materiaalin analyysin tulokset voivat viitata mikrobikasvustoon, jos mikrobeja havaitaan kohtalaisesti tai niukasti, mutta lajistossa on mukana kosteusvauriosta indikoivia lajikkeita (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016d, 8-9).

2.6.4 Täydentävät kuntotutkimusmenetelmät betonijulkisivun lämmöneristeen kuntotutkimuksissa

Betonijulkisivun lämmöneristeen kuntotutkimusta voidaan täydentää muilla kuntotutkimusmenetelmillä, joita voidaan käyttää rinnakkain yhdessä materiaalinäytteiden elinkykyisten mikrobien määrittämisen kanssa. Saman asian tutkimisella eri menetelmin voidaan parantaa kuntotutkimuksen johtopäätöksien luotettavuutta (Pentti 2018, 31). Tässä työssä kuvataan vain betonijulkisivun lämmöneristeen kunnon arviointiin soveltuvia kuntotutkimusmenetelmiä edellä mainittujen materiaalinäytteiden ottamisen sekä näytteiden laboratorioanalysoinnin lisäksi.

Asiakirjatarkastelut ja haastattelut

Kuntotutkimuksen lähtötietoina kosteus- ja mikrobivauriotumista arvioitaessa tarvitaan kaikki ne tiedot, jotka ovat oleellisia vaurioiden syyn ja laajuuden sekä muiden mahdollisten sisäilmaongelmien selvittämisen kannalta. Näitä asiakirjoja ovat esimerkiksi alkuperäiset suunnitelmat ja niiden täydennykset, aiemmin toteutetut kuntotutkimukset ja mahdolliset selvitykset, rakentamisaikaiset ja korjauksiin liittyvät työmaa-asiakirjat sekä muut dokumentit. Korjaushankkeissa tärkeitä asiakirjoja ovat edellä mainittujen lisäksi aikaisempiin korjauksiin liittyvät suunnitelmat. Asiakirjoihin huolellinen perehtyminen on erittäin tärkeää tutkimusprojektin kannalta (YM 2016, 22).

Rakennuksen riskiarviota varten toteutettavat asukas- ja käyttäjäkyselyt, sisäilmasto- ja oirekyselyt sekä rakentajien ja suunnittelijoiden haastattelut ovat oleellisia kuntotutkimuksessa muodostettavan yleiskuvan kannalta (YM 2016, 23).

Aistinvaraiset tarkastelut

Kuntotutkimuskohteissa tehdään aina poikkeuksetta sisätilojen aistinvarainen tarkastelu, jossa kiinnitetään huomioita mm. pintamateriaaleihin sekä niiden ikään, näkyviin kosteus- ja mikrobivaurioihin, sisäilman poikkeuksellisiin hajuihin, riskialttiisiin rakenneratkaisuihin, ilmapuotoihin, ilman vaihtuvuuteen, vääriin käyttötottumuksiin, rakenneratkaisujen toteutuksen yhtäläisyyksiin asiakirjoista tehtyihin havaintoihin, rakennusmateriaalien- tai säilytettävän irtaimiston emissioihin sekä pintalämpötiloihin (YM 2016, 30-31).

Rakennuksen ulkopuolisella tarkastelulla havainnoidaan ulkokuoren, vesikaton sekä rakenteiden liitoksien vesitiiviyspuutteita sekä puutteita sade- ja pintavesien ohjauksessa. Ulkopuolisen tarkastelun ja sen pohjalta tehdyn riskiarvion perusteella voidaan kohdentaa tutkimuksia rakennuksessa havaittuihin riskikohtiin (YM 2016, 31).

Kosteusmittaukset

Aistinvaraisen tarkastelun yhteydessä vähintään ulkovaipan riskialueelle ja vesiputkien läheisyyteen tehtävällä pintakosteuskartoituksella (YM 2016, 30-31) selvitetään rakenteen pinnalta kosteuspoikkeamia, joilla voidaan arvioida rakenteessa mahdollisesti olevien kosteusvaurioiden mahdollisuutta.

Useasta rakennerakennekerroksen koostuvan rakenteen kosteusmittauksien haasteena kuitenkin on, että mahdolliset rakenteen pinnalta tehtävät mittaukset eivät kerro kosteustilannetta

rakenteen sisällä. Rakenteen sisältä tehtävällä RH-mittauksella saadaan selvitettyä rakenteen sisällä vallitsevat kosteus- ja lämpötilaosuhteet. Käytössä olevia rakennekosteusmittausmenetelmiä ovat betonin kosteuden mittauksessa käytettävä porareikä- ja näytepalamittaus. Muita rakenteesta tehtäviä kosteusmittauksia ovat joustavan lattiapinnoitteen alta tehtävä viilto- ja kosteusmittaus, materiaalin kuivatus-punnitus menetelmä, lyhytkestoinen kosteusmittaus rakenteen sisältä (esim. eristetilasta) sekä materiaalin, yleensä puun kosteusmittaus piikkimittarilla (YM 2016, 31).

Sisäilmasta tehtävät olosuhdemittaukset (lämpötila ja kosteus) ovat kuntotutkimuksen ns. perusmittauksia, jotka toteutetaan myös muiden mittauksien yhteydessä (YM 2016, 33). Sisäilman kosteuspitoisuuden mittauksella selvitetään, onko kosteustuotto sisäilmassa tavanomaisella tasolla. Tavanomainen kosteustaso asuinkäytössä on sisäilman absoluuttisena kosteuspitoisuutena ilmaistuna 3-4 g/m³ suurempi kuin ulkoilman kosteus. Tämän kosteuspitoisuuden ylittävät tasot lisäävät mikrobikasvun riskiä rakenteissa ja niiden pinnoilla (Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus, 2016a, 10-11).

Kosteusmittaukset voidaan toteuttaa joko hetkellisinä mittauksina tai jatkuvina mittauksina käyttämällä tallentavia mittalaitteita, jolloin niiden tuloksien tulkinta on hyvin erilaista.

Merkkiainetutkimukset

Merkkiainetutkimuksilla tarkastellaan ilmayhteyttä eri tilojen tai rakenteen ja sisäilman välillä. Merkkiainetutkimuksissa tarkasteltavaan rakennusosaan tai tilaan lasketaan merkkiainekaasua, josta kaasu pyrkii alipaineen synnyttämien ilmavirtauksien mukana läpi rakenteiden epätiiviyshetkistä. Merkkiaine paikallistetaan merkkiaineanalysointilaboratorion avulla. Merkkiainekokeessa tarkasteltavan huonetilan pitää olla vähintään -5 Pa alipaineinen, jotta ilmavirtauksien ja kaasun virtaus-suunta on luotettavasti tarkasteltavan huonetilan suuntaan. Merkkiainetutkimuksia voidaan toteuttaa jatkuvana mittauksina ja ne soveltuvat hyvin rakenteiden ilmapuotokohtien tarkan sijainnin paikallistamiseen. Menetelmän toteutus on kuvattu tarkemmin RT-kortissa *RT 14-11197 Rakennuksen ilmativiiden tarkastelu merkkiainekokein* (RT 14-11197).

Sisäilman elinkykyisten mikrobien mittaus

Tässä työssä käsitellään sisäilman elinkykyisten mikrobien mittauksessa ainoastaan asumisterveysasetuksen (STMa 454/2015) §20 mukaista menetelmää, jossa mikrobihaitta voidaan todeta sisäilmasta 6-vaiheimpaktorilla, ns. Andersen-keräimellä. Sisäilman mikrobiinäytteiden avulla voidaan joissakin tapauksissa todeta rakennuksessa mahdollisesti esiintyvä epätavallinen mikrobilähde. Menetelmän avulla mikrobilähde voidaan myös paikantaa johonkin tiettyyn rakennusosaan.

TTKK:n julkaisussa 101 (Pessi, ym. 1999) selvitettiin korreloivatko ulkoseinäelementin sisällä olevat mikrobivauriot sisäilmasta tehtyjen 6-vaiheimpaktori mittauksien kanssa. Tutkimuksissa havaittiin julkisivun lämmöneristeen materiaalinäytteen laimennossarjaviilijelyllä todetun aktinomykeettipitoisuuden ylittyessä 10 000 cfu/g, sisäilman 6-vaiheimpaktori mittauksilla havaittiin kohonneita yli 10 cfu/m³ ylittäviä aktinomykeettipitoisuuksia useammin kuin verrokiasunnoissa (Pessi, ym. 1999, 74).

Menetelmää pidetään nykyään kuitenkin epäluotettavana eri tutkijoiden keskuudessa. Menetelmän epäluotettavuuteen vaikuttaa sisäilman mikrobiolojen voimakas vaihtelu sekä runsas virhelähteiden määrä. Siitä syystä yksinomaan sisäilmanäytteiden perusteella ei voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä mikrobivaurioiden esiintymisestä tai rakennuksen terveydellisistä olosuhteista (YM 2016, 63).

Asumisterveysasetuksessa on annettu menetelmälle tulosten tulkintaan viitearvot, jolloin sisäilmaan mikrobipitoisuuksia katsotaan olevan poikkeuksellisen suuria. Viitearvot ovat esitettynä taulukossa 2.6.4. Viitearvot ovat annettu talvikaudella kerätyille näytteille. Sen sijaan sulan maan aikaan kerättyihin näytteisiin viitearvoja ei voida käyttää suoraan, vaan tulkinta perustuu näytteiden pitoisuuksien vertaamiseen ulkoilmasta kerättyihin vertailunäytteisiin. Tällöin sisäilman näytteet voivat viitata epätavanomaiseen sisäilmaan vaikuttavaan mikrobilähteeseen, jos sisäilman mikrobipitoisuudet ovat suurempia kuin ulkoilmassa tai sisäilmassa esiintyy mikrobilajeja, joita ei esiinny ulkoilmassa (Asumisterveysasetuksen soveltamisosa IV, 9-15).

Rakennustyyppi	Mikrobiryhmä		
	Home- ja hiiva-sienet pmy/m ³	Sädesienet pmy/m ³	Mesofiiliset bakteerit pmy/m ³
Asunnot ¹⁾	100 / 500 ²⁾	10	4 500 ³⁾
Kivirakenteiset koulut ⁴⁾	50	10	4 500 ⁵⁾
Toimistot	50	5	600

1) Vain taajamissa sijaitsevat asunnot, 2) viitearvo 100 pmy/m³ mikäli lajistossa on poikkeavia pitoisuuksia kosteusvaurioidikaattorimikrobeja, muutoin 500 pmy/m³, 3) viitearvon ylittävä pitoisuus viittaa riittämättömään ilmanvaihtoon tai kosteusvaurioihin, 4) kouluja tutkittaessa suositellaan myös näytteiden ja niiden mediaanipitoisuuksien tarkastelua kokonaisuutena, 5) viitearvon ylittävä pitoisuus viittaa yleensä riittämättömään ilmanvaihtoon.

Taulukko 2.6.4 Sisäilman tavanomaisten mikrobipitoisuuksien viitearvot 6-vaiheke-räimellä talvikaudella otetuille näytteille (YM 2016, 64)

2.6.5 Kuntotutkimuksen laatuun vaikuttavat tekijät

Kuntotutkimuksessa on otettava huomioon tulosten suuri vaihtelu. Tarkastelun laajuuden ja näytteiden sekä mittauksien otannon on oltava riittävän suuret, jotta tulokset olisivat edustavia. Tuloksia ei yleensä pysty yleistämään, vaan esimerkiksi eri rakennuksien, rakennetyyppien ja eri tavalla rasiitettuja rakennetyyppejä on tarkasteltava erikseen. Näin ollen kuntotutkimus on räätä-löitävä kullekin kohteelle erikseen (Pentti, ym. 1998b, 24)

Kuntotutkimuksessa tehtyjen johtopäätöksiä luotettavuutta ja sitä kautta kuntotutkimuksen laatua voidaan parantaa (Pentti 2018, 31):

- Toimilla systemaattisesti, todelliseen tietoon pohjautuen
- Tutkimalla samaa asiaa eri havainnointitavoilla
- Arvioimalla epävarmojen ja vaihtelevien tietojen vaikutusta johtopäätöksiin
- Tehdä turvallisuuteen vaikuttavat päätelmät riittävillä ”varmuuskertoimilla”
- Esittämällä raportissa selkeästi tietoihin liittyvä epävarmuus

Kuntotutkimuksessa johtopäätöksiä tueksi kerätään tietoa rakenteista, rasitusolosuhteista sekä vauriotapojen tilasta. Oleellista on, että johtopäätöksiä tukevaa tietoa on kerätty riittävän tarkasti (by 42 2013, 89).

Otantatutkimuksella tarkoitetaan tutkimusta, jossa koko tutkittavaa perusjoukkoa koskevat päätelmät tehdään satunnaisesti valitun pienen osajoukon eli otoksesta saatuihin tietoihin pohjautuen. Otannalla saatuihin tietoihin liittyy aina epävarmuutta, jota voidaan kuitenkin vähentää käyttämällä mahdollisimman hyviä ja tarkkoja havainnointitapoja, mahdollisimman satunnaista ja edustavaa mittauskohdian valintaa sekä riittävän suurien otoskokoja (by 42 2013, 89).

Otantaa voidaan suunnitella tekemällä alkuvaiheessa valintoja kuten määrittelemällä tutkimuksen tavoitteet, tutkittavat perusjoukot (esim. erikseen tutkittavat rakennetyypit) sekä kerättävät tiedot. Otannalle voidaan asettaa tarkkuustavoitteet sekä valita etukäteen mittaus- ja havainnointitavat. Perusjoukot voidaan jakaa otosyksiköihin sekä valita otokset perustuen määrään, edustavuuteen, satunnaisuuteen, luoksepäisyyn, jne. Tutkimuksen loppuvaiheessa tulokset analysoidaan ja poistetaan mahdolliset virheet aineistosta. Otoksista lasketaan suureet eli estimaatit, joiden avulla arvioidaan virherajoja sekä tulosten harhaisuutta (Pentti 2018, 23).

2.7 Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto

Tämän kirjallisuuskatsauksen yhtenä tavoitteena oli selvittää, kannattaako betonijulkisivujen kuntotutkimuksien yhteydessä tutkia lämmöneristeen kuntoa. Betonielementtien mikrobiologista toimintaa on tutkittu mm. 1999 Tampereen Teknillisen Korkeakoulun julkaisemassa tutkimuksessa, julkaisu 101 (Pessi, ym. 1999). Vaikka rakenteen rakennusfysikaalisesta toiminnasta johtuen elementin sisään muodostuu teoriassa kasvuolosuhteet mikrobeille, havaittiin tutkimuksessa elementtien sisällä suhteellisen vähän kasvustoja. Tutkimuksessa päädyttiin johtopäätökseen, etteivät eristetilan mahdolliset mikrobikasvustot olleet ilmiöinä niin yleisiä, että niitä kannattaisi lähteä selvittämään systemaattisesti esim. korjaustoimenpiteitä suunniteltaessa. Betonisandwich-rakenteen mikrobikasvustojen todettiin keskittyvän tilanteisiin, joissa rakenneratkaisuna on riskirakenne tai muu rakenteellinen kosteusteknisesti toimimaton julkisivun yksityiskohta.

Mikäli rakennuksessa ei ole sen elinkaaren aikana ollut poikkeuksellisia kosteusongelmia, epäilyjä kosteusongelmista, poikkeuksellisia rakenteita tai poikkeuksellisen ankaria kosteusolosuhteita on todennäköistä, että betonijulkisivun lämmöneristeeseen ei ole juurikaan muodostunut mikrobivaurioita, jotka heikentäisivät sisäilman laatua. Mikäli lämmöneristeeseen on muodostunut määrältään vähäisiä ja laajuudeltaan paikallisia vauriota, jotka vaikuttavat yksittäisiin tiloihin, voidaan haitta poistaa tiivistämällä sisäkuori siten, ettei rakenteen sisällä olevat kasvustot pääse vaikuttamaan sisäilmaan. Tiivistyskorjauksien onnistuminen voidaan todentaa laadunvarmistus toimenpiteenä merkkiainekokein. Johtuen betonijulkisivun lämmöneristeen suhteellisen vaikeasta tutkittavuudesta sekä yksittäisten materiaalinäytteiden pienestä edustavuudesta, ei lämmöneristeen kuntoa kannata alkaa tutkimaan yksittäisillä näytteillä betonijulkisivun kuntotutkimuksen yhteydessä.

Toisena tavoitteena oli selvittää koska lämmöneristeestä otettu materiaalinäyte viittaa vaurioon. Mikrobikasvuston tulkintaohjeet on esitetty *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen osassa IV* (Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016d). Ohjeessa kuvataan kaksi viljelymenetelmää, joilla voidaan yksiselitteisesti tulkita viittaako mikrobiviljelyn tulos vaurioon vai ei. Näitä menetelmiä ovat laimennossarjamenetelmä ja suoraviljely. Näytteiden tulkinta perustuu näytteiden elinkykyisten home- ja hiivasienten määrään sekä kosteusvaurioindikaattorilajeihin.

Kolmantena kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli selvittää, mitä yksittäinen poikkeava näyte voi tarkoittaa koko rakennuksen osalta. Mikäli betonijulkisivun lämmöneristeestä otetaan mikrobianalyysiin yksittäinen näyte, joka viittaa mikrobivaurioon *Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen IV* tulkinnan mukaisesti, kysymykseksi muodostuu, kuinka suurta aluetta tutkittavassa rakennusosassa näyte edustaa. Kuntotutkimuksen luotettavuuteen ja edustavuuteen vaikuttavat tarkastelun laajuus sekä näytteiden ja mittauksien otannat, jotka on oltava riittävän suuret. Käytännössä tämä tarkoittaa, että mikäli rakennuksen lämmöneristeen kunto halutaan selvittää, tulee kuntoa tutkia systemaattisella mikrobitutkimuksella. Systemaattisessa lämmöneristeen kuntotutkimuksessa materiaalinäytteiden määrää tulee kasvattaa niin paljon, että kuntotutkija pystyy muodostamaan käsityksen rakenteessa mahdollisesti olevista vaurioista sekä niiden syistä, laajuudesta, asteesta ja mahdollisista vaikutuksista. Lämmöneristeen kuntotutkimukseen voidaan yhdistää myös muita kuntotutkimusmenetelmiä luotettavuuden parantamiseksi.

3. TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN TOTEUTTAMINEN

3.1 Tutkimusongelman kuvaus

Tutkimuksen viimeisenä osa-alueena oli selvittää mikä merkitys betonisandwich-rakenteen mikrobivauriolla on kiinteistön elinkaaren hallintaan kiinteistön omistajan näkökulmasta. Pidetäänkö betonisandwich-rakenteen mahdollisia mikrobivaurioita suurena ongelmana sisäilman laadun kannalta sekä ohjaavana tekijänä korjausrakentamisen ratkaisuisissa. Vai onko kyseessä enemmän yksittäistapaukset, joiden esiintyminen on luonteeltaan harvinaista.

3.2 Haastattelututkimus

Tutkimuksen empiirinen osuus toteutettiin käyttämällä puolistrukturoitua haastattelumenetelmää. Menetelmä tunnetaan teemahaastatteluna, jossa haastattelu etenee valmiiksi valittujen teemojen pohjalta. Teemahaastattelussa haastateltavat saavat vastata kysymyksiin omin sanoin, joka antaa haastateltavalle mahdollisuuden tuoda esiin enemmän omaa näkemystä ja toisaalta rajoittaa tutkijan tuomaa vaikutusta vastauksiin (Hirsijärvi & Hurme 2008).

3.3 Teemahaastattelun toteuttaminen

3.3.1 Haastatteluteemojen muodostaminen

Haastatteluteemat muodostuivat tieteellisessä kirjallisuudessa esiintyvien havaintojen, ongelmakohtien sekä tutkijan itsensä asettamien kysymyksien varaan. Näistä asioista muodostettiin kolme hyvin konkreettista teemaa, jotka ovat relevantteja nykypäivän kiinteistö- ja rakennusalalla. Teemojen keskeisistä aihealueista muodostettiin tarkentavia kysymyksiä, joiden tavoitteena oli ohjata haastattelua tutkimuksen kannalta oleellisiin pääkohtiin.

Haastattelun teemoihin liittyvät kysymykset ovat esitetty tämän työn liitteessä 1.

Tutkimushaastattelun teemat olivat:

- Teema 1: Mikrobivaurioiden vaikutukset kiinteistön ylläpidossa
- Teema 2: Mikrobivaurioiden vaikutukset korjausrakentamisessa
- Teema 3: Mikrobivaurioiden vaikutukset tulevaisuudessa

Ensimmäinen haastatteluteeman *vaikutukset kiinteistön ylläpidossa* tarkoituksena oli kartoittaa kiinteistön omistajien ja toisaalta rakennusalan ammattilaisten näkemystä siitä millaisena tekijänä he kokevat betonijulkisivun mikrobivaurioita sisäilmaongelmien aiheuttajana. Kuinka yleisiä

mikrobivaurioiden aiheuttamat sisäilmaongelmat ovat suhteessa koko betonirakenteisten rakennuksien kiinteistökantaan. Haastattelun tavoitteena oli myös saada tietoa, oliko kyseisten kiinteistön omistajien rakennuksissa tai insinööritoimistojen asiantuntijoiden työkohteissa tehty sisäilman laadun parantamiseksi ulkoseinäelementin tiivistyskorjauksia sekä mikä oli asiantuntijoiden mielipide korjauksien vaikutuksesta ongelmien poistamiseksi, sekä kuinka pitkäikäisiä tiivistyskorjausratkaisut olivat.

Toisen haastatteluteeman *vaikutukset korjausrakentamisessa* tavoitteena oli selvittää, oliko kiinteistöihin tehtyjen julkisivukorjauksien menetelmien valintaa ohjannut tieto rakenteissa olevista mikrobivaurioista ja kuinka usein kaikista julkisivun korjauskohteista oli päädytty ulkokuoren purkavaan menetelmään, johtuen rakenteessa olevista mikrobivaurioista. Ilmiötä tarkasteltiin tasolla harvinaista, melko harvinaista, melko yleistä, yleistä. Teemaan kuului myös alan asiantuntijoiden kokemukset siitä, onko julkisivun verhoukset vaikuttaneet kiinteistön käyttäjien kokemaan sisäilman haittaan eli onko käynyt esimerkiksi niin, että aiemmin sisäilmaltaan hyväkuntoisessa rakennuksessa olisi alettu moittimaan sisäilman laatua toteutettujen julkisivun verhoukset tai ikkunan uusimisien jälkeen. Korjausrakentamisen viimeisenä haaranä olisi kartoittaa asiantuntijoiden näkemystä siitä kannattaako heidän mielestään julkisivun mikrobivaurioita tutkia ylipäätään?

Kolmannen teeman *vaikutukset tulevaisuudessa* tavoitteena oli selvittää kiinteistön omistajien sekä korjausrakentamisen asiantuntijoiden mielipidettä siitä kannattaako tulevaisuudessa betoni-julkisivujen lämmöneristeen kuntotutkimuksiin kiinnittää huomiota. Kysymyksellä viitataan rakennusosan ikääntymiseen ja ikääntymisestä aiheutuviin muutoksiin rakenteessa.

3.3.2 Haastateltavien valinta

Tutkimukseen haluttiin valita henkilöitä, joilla olisi mahdollisimman kattavasti kokemusta sekä mielipiteitä koskien haastattelun teemaa. Haastatellut henkilöt valittiin sekä kiinteistöyhtiöistä sekä insinööritoimistoista.

Kiinteistön omistajien puolelta valittiin yrityksiä, jotka omistavat mahdollisimman paljon tutkimuksen aiheeseen liittyviä kiinteistöjä. Haastateltavat kiinteistöjen omistajien edustajat valittiin yrityksen sisältä kyseisen henkilön työtehtävien sekä toimenkuvan mukaan. Ehtoina oli, että haastateltavilla henkilöillä oli useamman vuoden kokemus monien ennalta määritettyyn profiiliin sopivien kiinteistöjen omistamisesta, hallinnoimisesta sekä korjaus- ja kunnossapidosta.

Insinööritoimistoista valittiin korjausrakentamisen asiantuntijoita suurehkoista ja pitkään alalla toimineista yrityksistä. Tavoitteena oli valita yrityksiä, joilla olisi mahdollisimman paljon kokemusta julkisivujen korjaushankkeiden rakennuttamisesta ja toisaalta sisäilmaongelmien tutkimisesta. Oletuksena haastateltaville oli, että insinööritoimiston asiantuntijan tiedossa on ollut kiinteistöjen rakennushankkeiden läpiviennin kannalta olennaisia tietoja, kuten korjaushankkeen hankesuunnitteluvaiheessa tehty selvitys rakenteiden kunnosta ja sitä seuranneet päätökset esimerkiksi hankkeen korjaustavan valinnasta. Henkilöt yritysten sisältä valittiin niin ikään henkilön työtehtävien sekä toimenkuvan mukaan. Ehtoina oli, että haastateltavalla henkilöillä on mahdollisimman monen vuoden kokemus rakennuksien kunnan tutkimiseen liittyvissä tehtävissä.

3.3.3 Haastattelun kulku

Haastateltaville henkilöille toimitettiin etukäteen sähköpostitse kuvaus tutkimushaastattelun aiheesta, teemat sekä jokaista teemaa ohjaavat kysymykset. Ennakkomateriaaliin tutustuminen ei ollut edellytyksenä haastattelututkimukseen osallistumiselle, mutta oletuksena oli, että jokainen haastateltava oli tutustunut ainakin jollain tasolla kysymyksiin ja saanut niin ollen pohtia asiaa ennen vastauksien antamista. Haastattelun aluksi pyrittiin avaamaan keskustelua ja rikkomaan jännityksiä n. 2-5 min kestäväällä alkukeskustelulla, joka ei liittynyt millään tavalla tutkittavaan aiheeseen. Alkukeskustelun jälkeen tutkija pyrki avaamaan aihetta haastateltavalle ja pohjustamaan miksi aihetta tutkitaan, sekä miksi kyseinen haastateltava on valittu haastatteluun. Haastateltavilta pyydettiin suostumus keskustelun nauhoittamiseen sekä haastateltaville annettiin lupaus, ettei yksittäisiä vastauksia pysty yhdistämään kehenkään tiettyyn haastateltavaan henkilöön. Lisäksi haastateltavalta pyydettiin suostumus, että henkilön nimen ja haastattelun ajankohdan saa julkaista diplomityössä. Haastattelun alussa haastateltavat kertoivat myös yrityksen toiminnasta sekä omasta taustastaan, joka toi tutkijalle luottamuksellisen kuvan, että kyseinen henkilö on soveltuva tutkimushaastatteluun.

Haastattelut etenivät puolittain strukturoidun ohjelman mukaisesti. Teemat käsiteltiin järjestyksessä alkaen ensimmäisestä teemasta. Haastateltavat saivat edetä vapaasti kysymyksestä seuraavaan, kun kokivat olevansa valmiita ja saanet sanoa mielipiteensä edelliseen kohtaan. Joissain tapauksissa haastattelijan täytyi rajata haastateltavan mielipiteitä, jotta kokonaisuus säilyisi ennalta asetetuissa raameissa. Joissain tapauksissa haastattelija avusti esittämällä tarkentavia kysymyksiä, jotta haastateltavalta saataisiin esiin kyseiseen asiaan kohdennettu mielipide. Haastattelija ei kuitenkaan ottanut haastattelun aikana kantaa haastateltavan vastauksiin. Näin saatiin teemoihin ja kysymyksiin mahdollisimman hyvin haastateltavan kantaa kuvaava mielipide.

Haastattelut kestivät noin 30 – 90 minuuttia ja ne pidettiin haastateltavan henkilön edustaman yrityksen tiloissa. Haastattelut nauhoitettiin puhelimen siihen tarkoitukseen soveltuvalla mobiilisoluvelluksella. Haastattelun aikana tehtiin myös pienimuotoisia muistiinpanoja haastattelun ydinasioiden kirjaamiseksi. Osassa haastatteluja haastateltava ei antanut lupaa haastattelun nauhoittamiselle. Näissä tilanteissa haastateltavan mielipiteet kirjattiin mahdollisimman tarkasti muistiinpanoihin haastatteluaineiston analysointia varten.

Kaikki pidetyt haastattelut kirjoitettiin tekstiksi haastattelujen jälkeen. Haastattelusta jääneitä mediatiedostoja säilytetty haastattelun tuloksien kirjaamisen ja analysoinnin jälkeen.

3.3.4 Haastatteluaineiston purkaminen

Haastattelut suoritettiin ja purettiin saman tutkijan toimesta. Teemahaastattelulla kerätyn haastatteluaineiston purkamiseksi muodostettiin kortisto, jossa kunkin henkilön tiedot kerättiin yhteen tekstitiedostoon. Kortistoon muodostettiin kaksi osiota, joista toiseen kerättiin tiedot vastajittain, jolloin haastattelun ajallinen kulku säilyi esillä. Toiseen osioon tiedot kerättiin teemoittain siten, että kummankin ryhmän vastaajalle ja teemalle oli oma sivunsa. Näin teemat ja vastaajien

aiheet saatiin selkeästi jaoteltua, vaikkakin haittapuolena oli tiedon keskustelujen ajallisen etene-
misen menettäminen. Tarkoituksena eri kortistoilla oli selkeyttää kokonaisuutta sekä mahdollistaa
yhden vastaajan ajatusten tarkastelun myöhemmässä vaiheessa.

Haastatteluaineisto purettiin äänitiedostoista sanatarkasti, jolla varmistettiin vastaajan mieli-
teen säilyminen mahdollisimman muuttumattomana. Haastatteluissa, joissa tiedot kirjattiin muis-
tiinpanoihin varmistuttiin lopuksi siitä, että haastateltavan kanta on saatu kirjattua säilyttäen vas-
taajan mielipiteen muuttumattomana.

Haastatteluaineistoa analysoitaessa on kortistosta jätetty pois aiheen ulkopuoliset asiat tiedon
selkeyttämiseksi. Haastavin osuus aineiston purkamisessa oli löytää haastattelusta oleellimmat
asiat, jakaa ne teemoittain, tiivistää teksti kortistoon ja samalla säilyttää haastattelujen informaatio
muuttumattomana. Tällöin aineistoa on seulottu ja tutkija on tehnyt päätöksen mitä haastattelusta
tallennetaan ja mitä jätetään pois (Hirsjärvi & Hurme 2008, 141-142).

Joitakin dialogeja tallennettiin sanasanaisesti. Tähän päädyttiin, jos dialogin koettiin olevan
jotenkin "epätavallista" kokonaisuuteen verrattuna tai jos haluttiin säilyttää haastateltavan "väri-
käs persoonallisuus" vastauksessa.

Purkamisen jälkeen aineistoa luettiin useaan kertaan, jotta aineisto herättäisi tutkijassa aja-
tuksia sekä mielenkiintoisia kysymyksiä. Aineistolle esitettiin yksinkertaisia kysymyksiä, joka oli-
vat muodoltaan Kuka? Mikä? Milloin? Missä? Ja Miksi? (Hirsjärvi & Hurme 2008, 143).

4. TEEMAHAASTATELUN TULOKSET, ANALYSOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän haastatteluluvun alla olevat alaluvut juontuvat haastattelun teemoista ja aihepiirit on jaettu kolmeen eri osioon mukailleen teemahaastattelun runkoa. Näin pyritään jäsentelemään vastaukset ja muodostamaan niistä yhtenäinen kokonaisuus.

Kunkin osa-alueen jälkeen analysoidaan haastattelun tuloksia ja muodostetaan haastateltavien vastaukset yhdeksi kokonaisuudeksi. Analysoimalla teemahaastattelun avulla saatua tietoa sekä yhdistämällä sitä tutkimustyön kirjallisuuskatsaukseen saadaan muodostettua käsitys tutkimuksen keskeisestä sisällöstä johtopäätöksien pohjaksi.

Tuloksien analysointiosuus sisältää tutkijan omakohtaisia näkemyksiä sekä johtopäätöksiä, jotka pohjautuvat edellä esitettyihin tietoihin.

Betonisandwich-rakenteen mikrobivaurioiden vaikutuksia kiinteistön elinkaaren aikana pidettiin yleisesti haastattelijoiden keskuudessa mielenkiintoisena aiheena ja se herätti haastattelun aikana runsaasti keskustelua. Haastattelun päätteeksi monet haastateltavat antoivat positiivista palautetta ja olivat aidosti kiinnostuneita tutkimuksen lopputuloksista.

”Haastattelu antoi ajattelemisen aihetta tulevaisuudessa kiinteistöstrategian laadintaan.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

Yleisesti haastattelulla koettiin olevan positiivinen vaikutus haastateltaviin ja monet haastateltavat kertoivat, etteivät ole pohtineet asiaa tällä tasolla. He kuitenkin kokivat, että tulevaisuudessa olisi hyvä pohtia tarkemmin aihetta muodostaessa omaa kiinteistönpitostrategiaansa.

Toisaalta kosteus- ja homevauriot sekä sisäilmaongelmat ovat monelle kiinteistön omistajalle suhteellisen arka aihe ja se saattaa osaltaan selittää miksi oli haastavaa saada varsinkin kiinteistön omistajien edustajia osallistumaan tutkimushaastatteluun ja miksi osa haastateltavista ei antanut lupaa haastattelun nauhoittamiselle.

”Kiinteistöstrategia riippuu paineensietokyvystä mediassa.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

”Kiinteistöstrategiassa tehtävät valinnat ovat hyvin pitkälle poliittisia.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

On kuitenkin huomattava, että kiinteistön omistajaa edustavalla haastattelu ryhmällä on taustalla tietoa mikä ei esimerkiksi välity insinööri-toimistojen asiantuntijaryhmälle. Näin ollen ryhmien vastaukset poikkesivat hieman toisistaan. Kiinteistön omistajan tekemiä päätöksiä ohjaa vahvasti sisäilmaongelmat, median uutisointi ja toisaalta asioiden kärjistäminen sekä osittain tehtyjä päätöksiä ohjaa politiikka.

Betonisandwich-rakennetta ei pidetty yleisesti ottaen kovin ongelmallisena rakennetyyppinä. Useiden haastateltavilta tuli kuitenkin viestiä, että puhtaaksi muuratut tiiliulkokoirakenteet (tiili-villa-tiili/betoni) ovat sen sijaan huomattavasti ongelmallisempia varsinkin vanhassa rakennuskannassa sekä korkeissa rakennuksissa.

4.1 Mikrobivaurioiden vaikutukset kiinteistön ylläpidossa

4.1.1 Tutkimustulokset

Kiinteistöjen teknisen ylläpidon sekä korjaus- ja kunnossapidon kanssa työskentelevien keskuudessa betonisandwich-rakenteiden mikrobivaurioita ei pidetty merkittävänä ongelmana. Osalla haastateltavista oli kokemusta yksittäisistä tapauksista, mutta tällöin ongelmat keskittyivät pääsääntöisesti vanhempaan 1970-luvun rakennuskantaan. Uusissa 2000-luvun rakennuksissa kokemuksia rakenteen aiheuttamista ongelmista ei ollut juurikaan havaittu. Tapaukset, joissa ongelmia oli havaittu, olivat luonteeltaan oireita tai hajuhaittaa sisätiloissa sekä rakennuksen sisällä ilmentyviä kosteusjälkiä.

Haastateltavilta saatiin tietoon yksittäisiä tapauksia, joissa oli todettu vettä tulevan rakenteesta sisätiloihin. Tällöin ongelmana oli yleensä ollut vuotava elementtisauma tai vuotava julkisivun peltilitys. Yksittäisessä tapauksessa oli myös havainto kevät talvelta, jolloin vesi on päässyt rakenteen sisään ja syyksi on paljastunut rakenteen sisään kertynyt jää, joka sulamis-jäätymis ilmiön kautta on päässyt rakennuksen sisätiloihin.

”Betonisandwich-rakenne toimii hyvin, jos ei ole tehty elinkaaren aikana muutoksia rakenteeseen tai teknisiin järjestelmiin.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

”Ulkokuoren detaljit oltava kunnossa, ettei tule kosteusrasitusta betonisandwich-rakenteen sisään.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

Myös insinööritoimistojen asiantuntijoiden keskuudessa oli näkemys, ettei rakenteen mikrobivaurioilla ole suurta merkitystä kiinteistön elinkaaren hallintaan, kunhan huolehditaan normaalista rakenteen kunnossapidosta. Molempien ryhmien keskuudessa oltiin hyvin yksimielisiä siitä, että elementtisaumoja ja niiden kuntoa pidettiin yhtenä olennaisimpana tekijänä rakenteen kosteusteknisen toiminnan sekä toisaalta mikrobivaurion syntyminen kannalta.

”Sisäilmaongelmatapauksissa tutkitaan kaikki muut asiat mitä pystytään, ennen kuin päädytään tutkimaan betonisandwich-rakenteen kuntoa.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

Mikrobivaurioita ei pidetty myöskään kovin merkittävänä sisäilmaongelmien aiheuttajana. Mikrobivaurioiden ei tiedetty vastaajien keskuudessa aiheuttaneen sisäilmaongelmia kuin yksittäisissä tapauksissa. Merkittävämpänä tekijänä sen sijaan sisäilmaongelmiin pidettiin ilmanvaihdon

toimintaa, putkivuotoja, kylpyhuoneiden kosteusongelmia, kosteusvaurioita, ilmavuotoja alapohjasta sekä muovimattoja.

Sisäilmaongelmien aiheuttajina ollessa monia eri tekijöitä, tulisi joidenkin kiinteistön omistajien mukaan tutkimukset aloittaa rakennuksen sisältä edeten ulospäin kohti rakenteita. Sisäilmaongelmia tutkiessa ei pidä unohtaa rakennuksen käyttäjän vaikutusta sisäympäristöön. On myös havaittu, että osassa tapauksista sisäilmaongelmat eivät ole johtuneen rakennuksen teknisistä seikoista vaan ongelmia ovat aiheuttaneet käyttäjien keskuudessa olevat henkilökohtaiset ristiriidat tai erimielisyydet, joista johtuu psykosomaattisia oireita. Tämä kiinteistöstä johtumaton oireilu yhdistetään kuitenkin liian helposti rakennuksen sisäilman laadun aiheuttavana oireiluna.

Rakennuksesta aiheutuvien sisäilmaoireiden aiheuttajana merkityksellisenä pidettiin molempien haastateltavien ryhmien keskuudessa kuitenkin ilmavuotoja rakenteen sisältä huonetilaan, jota voimistaa ilmanvaihdosta johtuva voimakas alipaineisuus. Tapauksissa ei ole pääsääntöisesti tutkittu sisäilman mikrobiologista kuntoa. Näissä tilanteissa ongelman aiheuttajaksi on paljastunut ilmavuodot rakenteen sisältä. Tällöin on ryhdytty elementin sisäkuoren tiivistyskorjauksiin, jolloin ongelmat ovat pääsääntöisesti poistuneet. Osa sisäilmaongelmaisista kohteista on kuitenkin ollut ns. ”monivammaisia”, jolloin yksittäisten ilmavuotojen osuuden arviointi suhteessa koko tapaukseen on ollut haastavaa.

Betonisandwich-rakenteen sisäkuoren tiivistyskorjauksia pidettiin suhteellisen yleisinä ja niiden tekeminen oli luonteeltaan toistuvaa tarkasteltaessa koko kiinteistökantaa. Tiivistyskorjauksia toteutettiin kiinteistön omistajien mukaan yleisesti paikallisina korjauksina keskittyen yksittäisiin tiloihin. Tiivistyskorjauksien toteuttamisen tarpeeksi pystyttiin yksilöimään ilmavuodot rakenteesta ja tyypillisesti tiivistyskorjaukset keskittyivät ulkoseinän ja ikkunan liitoksiin.

”Tiivistyskorjauksella pelataan aikaa, kunnes päästään normaaliin kunnostusykkliin.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

”Tiivistyskorjaukset ovat luonteeltaan ylläpitokorjauksia, kunnes rakenne saavuttaa luonnollisen peruskorjauksen.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

”Joskus voi käydä niin, että alun perin tilapäiseksi tarkoitettu tiivistyskorjaus jää pysyväksi. Tällöin kyseessä on huono kohde.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

Se mitä tiivistyskorjauksilla on pyritty saavuttamaan, vaihteli eri ryhmien ja vastaajien keskuudessa. Suurin osa kiinteistön omistajista mielsivät tiivistyskorjauksen väliaikaisena ylläpitokorjauksena ja tilapäisenä ratkaisuna, jolla pyrittiin hallitsemaan tilannetta siihen asti, kunnes rakennusosaan tehdään kiinteistönpitostrategian jaksottama peruskorjaus. Varsinainen haitan poistaminen tapahtuu peruskorjauksen yhteydessä. Toiset kiinteistön omistajat kuten myös haastatelluun osallistuneet insinööritoimistojen asiantuntijat mielsivät tiivistyskorjaukset pysyvinä ratkaisuin. Kaikilla vastaajilla oli yhtäläinen näkemys, että halvemmat tiivistyskorjaukset ns. ”kittikorjaukset” ovat tilapäisiä eikä niitä voi pitää missään tapauksessa pysyvinä.

”Tiivistyskorjaukset ovat luotettavia, kunhan huomioidaan huolellinen toteutus, valvonta sekä laadunvarmistus.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

Tiivistyskorjauksia pidettiin yleisesti luotettavina. Monet haastateltavat painottivat kuitenkin niiden huolellista toteuttamista raon limittävällä tehtävin korjauksin. Yhtenäinen näkemys vastaajien keskuudessa oli onnistuneeseen tiivistyskorjaukseen toteutuksen valvonnan tärkeydellä sekä korjauksen jälkeen tehtävillä laadun varmistus toimenpiteillä. Laadunvarmistuksessa yksimielisesti suosittiin merkkiainekokeella tehtäviä laadunvarmistustoimenpiteitä. Vastaajien keskuudessa ei ollut tullut vastaan tilanteita, joissa huolellisesti toteutettu, valvottu ja lopuksi merkkiainekokeella varmistettua korjausta olisi jouduttu korjaamaan uudestaan esim. tiivistyskorjauksen ikääntymisestä tai muusta rakenteellisesta seikasta johtuen.

”Tiivistyskorjauksen käyttöikä on vaikea määrittää, se voi olla jotain 5 – 50 vuoden väliltä.” (Insinööritoimiston asiantuntija)

”Tiivistyskorjauksien käyttöikä on yhtä pitkä kuin rakennuksen käyttöikä.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

”Tiivistyskorjauksien ikä on 20 – 30 vuotta, arvio perustuu saman materiaalin toimintaan vedeneristeenä.” (Insinööritoimiston asiantuntija)

Se kuinka pitkäksi tiivistyskorjauksien elinkaaren pituus mielletään, syntyi vastaajien kesken suurta hajontaa. Osa vastaajista mielsi tiivistyskorjaukset todella pitkäikäisiksi, kun taas toiset vastaajat olivat hyvinkin skeptisiä niiden toimintaan vielä 10 vuoden kuluttua. Osa vastaajista painotti, että tiivistyskorjauksia on kuitenkin pidettävä seurannassa ja mikäli tiivistyskorjaus on kriittinen esimerkiksi sisäilman laadun kannalta, tulee tiivistyksen ilmanpitävyys tarkastaa tietyin väliajoin. Yksittäisten vastaajien mielestä rakenteiden tiivistyskorjauksia tulisi kiinteistön elinkaaren aikana seurata, että rakenteeseen tehty tiivistys pitää vielä kahden vuoden jälkeenkin.

”Ilmanvaihdon toiminta on kaikkein tärkein.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

”Jos koneellisen poistoilmanvaihdon korvausilmaventtiilit puuttuvat, korvausilma tulee rakenteiden läpi.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

Koneellisen poistoilmanvaihdon toiminta perustuu siihen, että tilat tehdään alipaineisiksi ulkoilman suhteen, jolloin konvektiovirtaus seinään tai ikkunakarmiin asennetusta korvausilmaventtiilistä saadaan aikaiseksi. Kummastakin haastateltavasta ryhmästä olevat henkilöt lähes poikkeuksetta painottivat ilmanvaihdon toimivuuden merkitystä sisäilman laadun kannalta. Kiinteistön omistajien kokemusten mukaan suurin osa sisäilman haittaan liittyvistä ongelmista johtuivat

puutteellisesti toimivasta ilmanvaihdosta. Ongelman aiheuttajina oli pääsääntöisesti olleet korvausilmaventtiilit, joita ei ole ollut tai jotka ovat käyttäjän toimesta tukittu koska ulkoa johdettu korvausilma aiheuttaa käyttäjillä vedontunnetta. Myös suuret paine-erot ulkovaipan yli koettiin haitalliseksi, varsinkin korkeissa rakennuksissa. Mikäli alipaineisuus kasvaa liian suureksi on olemassa riski, että korvausilmaa tulee rakenteiden läpi.

4.1.2 Tuloksien analysointi ja johtopäätökset

Yleisesti haastattelun tuloksien perusteella kiinteistö- ja rakennusalalla vallitsee käsitys, ettei betonisandwich-rakenteen sisällä olevat mikrobivauriot ole kovinkaan yleisiä. Toinen melko vallitseva mielipide on, että rakenteen sisällä on aina mikrobeja, mutta kyseessä ei ole niinkään vauriot vaan rakenteen toiminnasta aiheutuva ominaisuus.

Betonisandwich-rakenteiden sisällä olevat mikrobivauriot ja niiden aiheuttamat ongelmat kiinteistön elinkaaren aikana eivät ole ilmiönä yleisiä. Haastattelussa tuli ilmi kuitenkin yksittäisiä tapauksia, joissa betonisandwich-rakenteen sisällä olevat mikrobivauriot on todettu aiheuttavan käyttäjillä sisäilman laatuun liittyviä oireita. Näissä tapauksissa vaurioista on saatu viitteitä, jotka ovat olleet todettavissa myös muilla kuntotutkimusmenetelmillä, kuten sisä- ja ulkopuolisilla aistinvaraisilla tarkasteluilla tai rakenteen pinnalta tehtävillä pintakosteusmittauksilla.

Varsinaisia rakenteen sisällä olevia mikrobivaurioita yleisempänä tekijänä sisäilmaongelmien aiheuttajana ovat haastattelututkimuksen perusteella ilmavuodot rakenteen sisältä huonetilaan. Näissä tapauksissa ei ole välttämättä tutkittu tai todettu mikrobivaurioita rakenteen sisällä ja sisäilman laatua heikentävänä tekijänä ovat saattaneet olla myös muut tekijät kuten esimerkiksi mineraalivillakuidut.

Ilmavuotojen tutkimista ja toteamista merkkiainekokeella pidetään menetelmänä käyttökelpoisena, koska tuolloin pienemmätkin vuotokohdat saadaan tarkkaan paikallistettua. Yleisesti ilmavuotojen korjausta tiivistämällä rakennetta pidetään luotettavana, mutta tiivistyskorjauksen elinkaaren pituudesta ei ole tutkittua tietoa. Myös haastatteluun osallistuneiden kesken tiivistyskorjauksien elinkaaresta oltiin toisten vastaajien kesken hyvinkin skeptisiä ja toisten vastaajien kesken hyvinkin optimistisia. Mielestäni tiivistyskorjaukset tulee mieltää väliaikaisena korjauksena ja luotettavampana korjaustapana pidän haitan korjaamista poistamalla sen aiheuttaja.

Ilmavuotojen korjaamisen onnistumisen edellytyksenä on mielestäni siihen soveltuva raon yli limittävällä liitoksella toteutettu korjausmenetelmä, joka toteutetaan huolellisesti. Myös oleellisena osana tiivistyskorjauksen onnistumiseen pidän korjauksen aktiivista valvontaa, sekä korjauksen jälkeen toteutettavia laadunvarmistus toimenpiteitä, kuten tiivistyksen ilmanpitävyyden toteaminen merkkiainekokein. Oma mielipiteeni mukailee pitkälle haastatteluun osallistuneiden mielipiteitä.

Sisäilmaongelmia selvittäessä pitäisi tutkimukset tehdä kokonaisvaltaisesti ottaen huomioon myös mahdollisuus käyttäjien henkilökohtaisien asioiden vaikutukset koettuun haittaan. Mielestäni haitan selvittäminen kannattaa aloittaa todennäköisimmistä ja helpoiten tutkittavista asioista ennen kuin edetään rakenteen sisällä olevien mikrobivaurioiden selvittämistä rakenneavauksin. Haastateltavien kokemuksen mukaan tyypillisimpiä ongelmien aiheuttajia ovat mm. rakennuksen

sisäpuoliset kosteusvauriot, ilmanvaihdon toiminta, rakennuksen alipaineisuus ulkoilman suhteen, ilmavuodot rakenteen sisältä sekä mahdolliset muut epäpuhtauslähteet kuten muovimattojen ja liimojen aiheuttamat emissiot.

Haastateltavien kokemuksen mukaan koettu haitta on poistunut edellä mainittujen tekijöiden korjaamisella, eikä ulkoseinärakenteen mikrobivauriotutkimuksiin ole ollut syytä ryhtyä kuin poikkeustapauksissa. Näitä poikkeustapauksia ovat olleet tapaukset, joissa haittaa on ilmentynyt koko rakennukseen suhteutettuna laajasti.

4.2 Mikrobivaurioiden vaikutukset korjausrakentamisessa

4.2.1 Tutkimustulokset

Betonisandwich-rakenteiden mikrobivaurioiden merkitystä korjaustapaa ohjaavana tekijänä ei pidetty haastattelun mukaan kovin yleisenä ilmiönä. Mikrobivauriot kuitenkin tunnistettiin yksittäistapauksissa ohjaavan korjaustavan valintaa. Näissä tapauksissa eristetilassa oli todettu olevan laajoja mikrobivaurioita, joiden takia julkisivun korjaustavaksi oli valikoitunut purkava korjaus.

”Mikrobivaurioiden mahdollisuus on tuotava esiin tilaajalle.” (Insinööritoimiston asiantuntija)

”Lämmöneristeen kunto on aina mysteeri. Rakenteen sisällä on aina jonkun verran mikrobivaurioita tai sitten ei. Ainakin tuuletuksen yhteydessä rakenteeseen on tullut mikrobeja.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

Haastateltujen insinööritoimistojen asiantuntijoiden mielestä lämmöneristeen mahdolliset mikrobivauriot on tuotava esiin tilaajalle hankkeen alkuvaiheessa. Tilaajan tulee tiedostaa riskit mitkä rakennetyyppiin liittyy, jotta voi tehdä päätöksen julkisivun korjaustapaa valittaessa. Yleistä korjaustavan valinnassa kuitenkin on, että korjaustavasta aiheutuvat kustannukset ohjaavat voimakkaasti korjaustavan valintaa. Eli korjaushankkeen hintalappu merkitsee enemmän kuin tieto mahdollisista riskeistä, jolloin kiinteistön omistaja on valmis kantamaan riskin.

Pitäisikö sitten lämmöneristeen kuntoa tutkia? Osa vastaajista oli sitä mieltä, että lämmöneristeen kunto pitäisi aina selvittää, kun korjaushankkeeseen ryhdytään. Näin ollen ei jää mustaa aukkoa, josta voisi myöhemmin paljastua jotain. Tai ainakin kun tutkitaan, niin saadaan suuntaa antavaa tietoa rakenteiden sisällä olevista mahdollisista vauriosta edes jollain tasolla.

Toiset vastaajista olivat sitä mieltä, että lämmöneristeen kuntoa ei kannata lähteä selvittämään, jos siihen ei ole aihetta. Jos rakennuksessa ei ole ollut mitään ongelmia voidaan olettaa, että myös lämmöneriste on tällöin kunnossa. Lisäksi osa vastaajista suhtautuu skeptisesti lämmöneristeen kuntotutkimuksiin tuloksien tulkinnan hankaluuden ja näytteiden huonon edustavuuden takia. Nämä vastaajat painottivat lämmöneristeen mikrobiologisen analyysivastauksen epäluotettavuutta sekä sitä, että aistinvaraisen havainnon on mentävä aina laboratorioanalyysin edelle. Lisäksi nämä vastaajat painottivat, että kohdetta on tarkasteltava kokonaisuutena, jolloin

on huomioitava rakennuksen ikä, rakennusfysiikka, ilmavuodot sekä rakennuksen haluttu elinkaari.

Haastattelun vastauksien perusteella asunto-osakeyhtiömaailmassa ongelmana on, että jopa ylläpitokorjauksiin ryhtyminen on kankeaa ja tästä syystä korjaukset usein viivästyvät. Tällöin on mahdollista, että esim. vuotavat elementtisaumat aiheuttavat ongelmia rakenteen sisään ja rakenteeseen pääsee muodostumaan laajoja mikrobivaurioita. Kuitenkin korjaustapa valitaan korjauskustannuksiltaan edullisimman toteutustavan mukaan, jolloin on mahdollista, että elementin sisään jää ongelma.

Suurten kiinteistön omistajien keskuudessa tiedostetaan ylläpitävien korjauksien tärkeys ja esimerkiksi elementtisaumojen uusimiseen ryhdytäänkin usein ennakoivasti. Vaihtelua eri vastaajien keskuudessa kuitenkin esiintyi yrityksen noudattavassa kiinteistönpidon strategiassa, joka ohjaa peruskorjauksiin ryhtymistä. Toiset kiinteistön omistajat suosivat strategiaa, jossa julkisivun peruskorjauksiin ryhdytään ennakoivasti. Tällöin korjauksiin ryhtymistä ohjasi elementin ulkokuoren kunto. Nämä kiinteistön omistajat eivät luonnollisesti sallineet sisätiloissa minkäänlaista haittaa, eivätkä varsinkaan halunneet päästä uutisotsikoihin ongelmien takia. Nämä kiinteistön omistajat pääsääntöisesti suosivat peittäviä korjausmenetelmiä.

Toiset kiinteistön omistajat taas noudattivat strategiaa, jossa rakennusosasta otetaan kaikki tekninen käyttöikä irti ja niin sanotusti ”ajetaan loppuun”. Tämän jälkeen rakennusosalle tehdään täydellinen peruskorjaus, jossa ulkokuori ja lämmöneriste uusitaan kokonaisuudessaan. Tätä strategiaa noudattavat kiinteistön omistajat olivat myös sitä mieltä, että koska kiinteistöjen tulevaisuudesta ei aina tiedä ja koska rakentamista ohjaavat myös muut tekijät kuten politiikka ja muuttuvat kaavamääräykset, niin vasta peruskorjaushetkellä tehdään varsinainen päätös mihin toimenpiteisiin ryhdytään. Näitä toimenpiteitä voivat olla rakennusosan perusteellisen korjauksen lisäksi myös kiinteistön myyminen tai kiinteistön rakennuksien purkamisen ja korvaaminen uusilla paremmin käyttötarkoitukseensa soveltuvilla.

Yhtä mieltä kaikki vastaajat olivat siitä, että mikäli rakennuksen joissain tiloissa olisi havaittavissa paikallista hajuhaittaa, niin silloin kannattaisi ryhtyä paikallisiin tiivistyskorjauksiin haitan poistamiseksi. Lämmöneristeen uusiminen miellettiin kuitenkin korjauskustannuksiltaan suhteellisesti erittäin kalliiksi toimenpiteeksi.

”Betonijulkisivun kuntotutkimuksen yhteydessä ei kannata ottaa lämmöneristeestä näytteitä, jos ei muita viitteitä vaurioista.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

”Julkisivun kuntotutkimuksen yhteydessä voidaan ottaa näytteitä tietyissä tapauksissa, kuten esimerkiksi suunnittelun lähtötietojen keräämisessä.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

Betonisandwich-rakenteen lämmöneristeen kunnon tutkiminen jakautui haastatteluissa kahden eri tapaan. Ensimmäisessä tavassa lämmöneristeen kuntoa voidaan tutkia julkisivun kunto-

tutkimuksen yhteydessä ottamalla lämmöneristeestä näytteitä 3 – 5 kpl materiaalin mikrobiologista analyysiä varten. Toinen tapa on lämmöneristeen systemaattinen kuntotutkimus, jossa näytteitä rakenteen sisältä otetaan useampia.

Betonijulkisivujen kuntotutkimuksien yhteydessä tehtävään lämmöneristeen kunnan tutkimisessa haastateltavien mielipiteet jakaantuivat. Osan vastaajien mielestä kuntotutkimuksen yhteydessä ei kannata lähteä ottamaan materiaalinäytteitä, jos ei ole muita viitteitä vauriosta. Näitä viitteitä olisivat esimerkiksi oireilu sisätiloissa, hajuhaitta, värimuutokset tai kohonneet kosteusarvot sisäpinnoilla sekä tiedossa olevat rakenteeseen kohdistuneet kosteusvauriot kiinteistön historian aikana.

Toisen vastaajien mielestä 3 – 5 kpl materiaalinäytteiden ottamisella julkisivun kuntotutkimuksen yhteydessä on paikkansa. Tietoa voidaan käyttää poissulkevana menetelmänä tai sitten tieto ohjaa systemaattisen lämmöneristeen kuntotutkimuksen tarpeeseen. Mistä sitten näytteitä kannattaa ottaa, jakoi mielipiteitä haastateltavien kesken. Toisien mielestä samoista reijistä kuin betonin poralieriöt, kun taas toiset vastaavat olivat sitä mieltä, ettei ainakaan samoista. Osa kiinteistön omistajista oli sitä mieltä, että otetaan täysin satunnaisesti, kun taas toisten mielestä tutkimuspisteet tulisi kohdistaa riskipaikkoihin. Toiset kiinteistön omistajat olivat sitä mieltä, että tilaaja osoittaa kohdat, kun taas toiset jättäisivät päätöksen teon insinööritoistojen asiantuntijoille.

”Systemaattiseen lämmöneristeen kuntotutkimukseen kannattaa ryhtyä suoraan, jos on olemassa muitakin viitteitä mahdollisista vauriosta” (Kiinteistön omistajan edustaja)

”Systemaattiseen mikrobiutkimukseen kannattaa ryhtyä, jos betonijulkisivun ulkokuoreen on kohdistumassa toimenpiteitä ja jos kyseessä on vanhempi rakennus.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

Systemaattisen lämmöneristeen kuntotutkimukselle nähtiin yleisesti tarvetta, jos kiinteistössä on havaittavissa muitakin viitteitä vaurioista, kuten vesivuotoja sisätiloihin, useissa tiloissa havaitaan hajuhaittaa, sisäilman oireita tai betonijulkisivun kuntotutkimuksen yhteydessä otetut näytteet antavat siihen aiheita. Lähes kaikki vastaajat olivat yhtäläisesti sitä mieltä, että jos systemaattiseen lämmöneristeen kuntotutkimukseen ryhdytään niin kiinteistössä täytyy olla sisätiloissa havaittavissa ongelmia laaja-alaisesti. Poikkeuksena tilanteet, joissa kiinteistön omistajan kiinteistönpitostrategiaan kuului rakennusosan ajaminen loppuun, jolloin voidaan olettaa, että rakenteessa on todennäköisesti laajoja mikrobivaurioita, jolloin niiden tutkiminen erikseen ei tuo lisäarvoa korjaustavan valintaan.

Systemaattisen lämmöneristeen kuntotutkimuksien näytemäärät jakoivat mielipiteitä eri haastatteluryhmien välillä. Kiinteistön omistajien mukaan sopivat näytemäärät normaalille kolmekerroskiselle betonielementtikerrostalolle voisi olla 5 - 10 kpl. Insinööritoimistojen asiantuntijoiden mielestä näytemäärät pitäisivät olla kyseisessä tapauksessa luokkaa 20 - 30 kpl. Näytteiden sijoittelussa oltiin kiinteistön omistajien mukaan lähes yksimielisiä, että kuntotutkija päättää mistä

näytteitä kannattaa ottaa. Haastateltujen asiantuntijoiden vastauksien mukaan näytteenottopisteet kannattaa sijoitella tasaisesti riskipaikkoihin, sekä satunnaisesti valittuihin ei-riskipaikkoihin. Jaottelu olisi syytä tehdä myös tasaisesti joka ilmansuuntiin ja eri korkeuksiin.

”Sopiva hinta systemaattiselle lämmöneristeen kuntotutkimukselle on 15.000€” (Insinööritoimiston asiantuntija)

”Kohtuullinen hinta systemaattiselle kuntotutkimukselle olisi 10.000€, sisältäen nosturit, näytteiden analysointi, jne.” (Insinööritoimiston asiantuntija)

”Jos joudutaan menemään lämmöneristeen systemaattiseen kuntotutkimukseen sopiva hinta olisi n. 5.000€” (Kiinteistön omistajan edustaja)

Haastateltavilta tiedusteltiin myös mikä kohtuullinen hinta systemaattiselle normaalikokoisen kolmekerroksisen lämmöneristeen kuntotutkimukselle. Kaikkien haastateltavien vahva käsitys oli, että hinta muodostuu kohteen koon mukaan. Esimerkkikohde asetettiin luomaan mielikuva, jotta haastateltavien mielipide saataisiin tuotua esille.

Haastateltavien insinööritoimistojen asiantuntijoiden mielestä kohtuullinen hinta kyseiselle tutkimukselle olisi välillä 10.000 – 15.000€. Haastateltujen kiinteistön omistajien vastaus oli lähes poikkeuksetta yksimielinen n. 5.000€.

”Peittävällä korjauksella voidaan vähentää vanhan rakenteen kosteusrasitusta.” (Insinööritoimiston asiantuntija)

”Kuivuneista vaurioista saattaa tulla hajuja sisäilmaan viiveellä, koska kuivuessaan vauriot voivat käynnistää hajun tuoton ja itiöinnin” (Insinööritoimiston asiantuntija)

”Peittävät korjaukset eivät tiettävästi ole vaikuttaneet sisäilman laatuun.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

Julkisivun korjaushankkeen vaikutuksista kiinteistön elinkaaren oli kaikilla vastaajilla positiivisia mielikuvia. Julkisivun korjauksien yhteydessä yleensä uusitaan ikkunat, jolloin ikkunoiden ja ulkoseinän rakenneliitos yleensä tiivistetään, joka parantaa elementin sisäkuoren ilmantiiveyttä. Haastattelussa myös kartoitettiin haastateltavien kokemuksia, onko peittävällä julkisivun korjauksilla ollut vaikutusta sisäilman laatuun. Melko yleinen näkemys vastaajien kesken oli, että peittävällä korjausmenetelmillä on parannettu rakenteen toimintaa ja ongelmia korjauksien jälkeen ei ole ilmentynyt.

Pois lukien muutama yksittäinen kohde, jossa ongelmia on aiheutunut, kun peittävien korjauksien yhteydessä on peitetty myös korvausilmaventtiilit. Yksittäisesti on tiedossa myös tapauksia,

joissa ulkopuolinen lämmöneristys olisi aiheuttanut sisäilmaan hajuhaittaan, joka on johtanut elementin sisäkuoren tiivistystarpeisiin.

Peittävää korjausmenetelmää, jossa vanha lämmöneriste jätetään rakenteen sisään, suosivat osa kiinteistön omistajista sekä kaikki haastatteluun osallistuneet insinööritoimistojen asiantuntijat. Osa kiinteistön omistajista ei pitänyt korjausmenetelmää hyvänä ja kertoi päätyvänsä kyseiseen ratkaisuun vain, jos on tarpeen. Ensisijaisesti nämä kiinteistön omistajat pyrkivät muihin ratkaisuihin, joita olivat rakennusosan purkava korjaus, kiinteistön realisointi ennen rakennusosan peruskorjausta tai koko rakennuksen purkaminen.

”Jos päädytään rakennusosan purkavaan korjaukseen niin 60 - 70% asunnoissa oltava haittaa.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

”Jos purkavaan korjaukseen ryhdytty tuolloin syynä ollut rapautunut ulkokuori, ei rakenteen mikrobivauriot.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

”Meillä on yksittäistapaus, jossa ulkokuori on jouduttu purkamaan nimenomaan lämmöneristeessä havaittujen laajojen mikrobivaurioiden takia.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

Rakennuksien ulkokuoren purkamista mikrobivaurioiden takia kartoitettiin haastattelun kysymyksillä. Haastateltavien näkemyksen mukaan ilmiö on erittäin harvinainen. Haastattelussa tuli kuitenkin esille yksittäistapaus, jolloin rakennusosan purkamiseen on ryhdytty nimenomaan lämmöneristeiden mikrobivaurioiden takia, vaikka ulkokuoren kunnan takia olisi korjaustavaksi voinut valita myös peittävän korjauksen. Korjaustapaan on päädytty tuolloin systemaattisen lämmöneristeiden kuntotutkimuksen pohjata. Haastateltujen insinööritoimistojen asiantuntijoiden mukaan koko rakennusosan tai osittaiseen purkavaan korjaukseen päädytään 5 – 10 % kaikista tapauksissa, tällöin kuitenkin ohjaavana tekijänä on rapautunut ja huonokuntoinen ulkokuori.

”Rakentamisvaiheessa kiinnitettävä erityistä huomiota kosteuden hallintaan” (Kiinteistön omistajan edustaja)

”Raha ohjaa olennaisesti tekemistä” (Kiinteistön omistajan edustaja)

”Talotekniikan elinkaari on huomattavasti suurempi tekijä, kuin rakenteiden mikrobivauriot, kun mietitään kannattaako kiinteistöön lähteä investoimaan” (Kiinteistön omistajan edustaja)

Haastattelussa korjausrakentamiseen liittyvässä keskustelussa nousi esille yleisiä asioita, joita haastateltavat painottivat ja joihin heidän mielestään tulisi kiinnittää erityistä huomioita. Näitä asioita olivat muun muassa rakentamisvaiheen kosteuden hallinta sekä korjauskustannukset suhteessa käytössä oleviin resursseihin, jotka ohjaavat oleellisesti tekemistä. Suurimpana investointina kiinteistön elinkaaren aikana painotettiin talotekniikan peruskorjausta, joka on selkeästi suurin

kiinteistön peruskorjaushankkeista ja oleellisin kiinteistön ylläpitostrategiaan vaikuttava yksittäinen tekijä.

Korjauksien toteuttamista sekä ennen korjausta tehtävien esiselvityksien tarvetta ohjaa olennaisena osana omistajan kiinteistönpitostrategia. Asunto-osakeyhtiöiden kanssa tilanne on mutkikkaampaa, koska päätöksen teko riippuu useamman henkilön mielipiteistä. Asunto-osakeyhtiön erityispiirteinä painotettiin myös osakkaan ja yhtiön välistä ”vastakkain asettelua”, joka osaltaan mutkistaa päätöksentekotilannetta ja kärjistää asioita.

4.2.2 Tuloksien analysointi ja johtopäätökset

Haastattelututkimuksen perusteella kiinteistön omistajan valitsemaa korjaustapaa ohjaa ensisijaisesti omistajan määrittelemä kiinteistönpidon strategia. Korjauksiin voidaan ryhtyä ennakkoivasti tai rakennusosa voidaan tietoisesti ajaa elinkaarensa päähän. Myös median vaikutusta kiinteistön omistajan valitsemaan kiinteistönpidon strategiaan voidaan pitää merkittävänä. Rakennusosan tai sen eri komponenttien elinkaaren ylittyminen tahattomasti johtuen huonosta kiinteistönpidosta on haastattelututkimuksen mukaan valitettavan yleistä varsinkin asunto-osakeyhtiöiden keskuudessa. Hankkeen lopullisen korjaustavan valinta määräytyy lopulta näiden edellä mainittujen seikkojen pohjalta.

Tietylle julkisivun osalle rajoittuvat yksittäiset mikrobivauriot eivät juurikaan ohjaa julkisivun peruskorjauksessa korjaustavan valintaa. Purkavaan korjaukseen ohjaavina asioina pidetään rakennuksessa olevia muitakin viitteitä rakenteen sisällä olevista vaurioista, tai jos todetut vauriot, sekä niiden aiheuttamat haitat ovat laaja-alaisia.

Betonijulkisivun kuntotutkimuksien yhteydessä tehtävät lämmöneristeen kuntotutkimukset 3 - 5 näytteellä ovat käyttökelpoisia korkeintaan poissulkevana menetelmänä sekä tilanteissa, joissa lämmöneristeen kunnosta halutaan tietoa edes jollain tasolla. Menetelmän heikkoutena on näytteenottopisteen huono edustavuus suhteessa koko rakennukseen. Näytteitä analysoitaessa voidaan tukeutua Asumisterveysasetukseen, jossa on selkeästi määritetty raja-arvot koska yksittäisen näytteen mikrobianalyysilla saatu tulos viittaa vaurioon. Mielestäni tätä raja-arvoa noudattamalla näytteen mahdollinen viite vaurioon tai näytteen kontaminoituminen eristetilassa saadaan selville yksiselitteisesti. Näytteen tulkinnessa aistinvaraiset havainnot ovat myös keskeisiä.

Systemaattinen lämmöneristeen kuntotutkimus sekä tutkimuksen yhteydessä eri kuntotutkimusmenetelmien yhdistäminen parantaa huomattavasti tutkimuksen edustavuutta ja sitä kautta koko tutkimuksen luotettavuutta. Mikäli systemaattisen kuntotutkimuksen perusteella eristetilan vauriot ovat luonteeltaan vähäisiä voidaan mielestäni valita korjaustapa, jossa lämmöneristeseen ei kohdistu toimenpiteitä, kunhan samalla huolehditaan sisäkuoren ilmanpitävyydestä. Mikäli systemaattisen tutkimuksen perusteella vauriot ovat laajoja korjaustapana on syytä harkita purkavaa korjaustapaa. Haastattelututkimuksen perusteella kohtuulliset kokonaiskustannukset normaalikokoisen kolmikerroksisen kerrostalon systemaattiselle lämmöneristeen kuntotutkimukselle olisivat välillä 5 000 – 10 000 €. Kuntotutkimuksen hinta tulisi kuitenkin aina määritellä tapauskohtaisesti ottaen huomioon kohteen erityispiirteet.

Peittävät korjausmenetelmät ovat yleisesti käytössä, eikä niiden käytöstä ole tutkimuksen perusteella havaittu ongelmia. Mielestäni korjausmenetelmä on käyttökelpoinen vaikkakin ensisijaisesti mielestäni kannattaisikin valita purkava korjaus, jolloin vanha lämmöneriste saadaan uusittua kokonaisuudessaan. Korjaustavan valintaa ohjaa kuitenkin kiinteistön omistajan kiinteistönpidon strategia ja käytössä olevat resurssit, jolloin mahdollisuutta purkavaan korjaukseen ei aina ole. Tällöin mielestäni on parempi vaihtoehto ryhtyä ennakoivasti julkisivun peittävään korjaukseen, jotta vältytään vuotavan ulkokuoren aiheuttamalta ylimääräisen kosteuden tuotolta rakenteen sisään. Peruskorjauksen ajankohta määräytyy julkisivun ulkokuoren betonin kunnan perusteella. Huomion arvoista on myös ylläpitävät korjaukset elementtien saumoille sekä julkisivun liitoksille kuten pellityksille.

Ylläpitäviin korjauksiin esimerkiksi saumojen uusimiseen kannattaa ryhtyä mielestäni mieluummin ennakoivasti kuin liian myöhään. Liian myöhään toteutetuista julkisivun elementtisaumojen uusimisesta oli myös haastatteluun osallistuvilla huonoja kokemuksia, jotka ilmenivät lämmöneristeen kastumisena sekä siihen syntyvinä mikrobivaurioina. Mikrobivauriot elementin ilma-vuotokohtien läheisyydessä taas korreloivat suoraan sisäilmassa koetun haitan kanssa.

Haastattelututkimuksen perusteella sekä omana mielipiteenä yleisinä uudis- ja korjausrakentamisen onnistumiseen vaikuttavina tekijöinä on rakentamisaikainen kosteuden hallinta, jolla on oleellinen vaikutus projektin lopputuloksen onnistumiseen. Lisäksi mielestäni yksi tärkeistä tekijöistä on putkivuotoihin ja muihin tiedossa oleviin kosteusvaurioihin nopea reagointi, jolloin poikkeustilanteesta kastuneen elementin kuivauksiin ryhdytään välittömästi ja elementin eristetila saadaan kuivattua ennen kuin sen sisään pääsee muodostumaan mikrobivaurioita.

4.3 Mikrobivaurioiden vaikutukset tulevaisuudessa

4.3.1 Tutkimustulokset

Tutkimushaastattelun kolmantena ja viimeisenä teemana oli tulevaisuus. Teeman tavoitteena oli kartoittaa haastateltavien mielipidettä mikä on heidän näkemyksensä vanhempien betonisandwich-rakenteiden mikrobivaurioiden vaikutuksesta tulevaisuudessa. Rakennuskantamme ikään tyy, joten onko vanhoissa rakennuksissa odotettavissa ongelmia?

”Ehdottomasti kiinnitettävä tulevaisuudessa enemmän huomiota, koska näistä voi tulevaisuudessa tulla isokin ongelma.” (Insinööritoimiston asiantuntija)

”Mahdolliset mikrobivauriot huomioitava viimeistään 30-50 vuoden kohdalla kiinteistön rakentamisesta.” (Insinööritoimiston asiantuntija)

”Mikrobivaurioista betonisandwich-rakenteen sisällä ei tule sen enempää olemaan ongelmaa kuin tähänkään asti.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

”Todennäköisesti ei tule olemaan suurempi ongelma kuin tähänkään asti, tosin haasteet voivat tulevaisuudessa muuttaa muotoaan ja esiintyä eri lailla.” (Kiinteistön omistajan edustaja)

Kysymys jakoi selvästi mielipiteitä eri haastateltavien kesken. Haastateltavalla ryhmällä ei ollut merkitystä vastaukseen, joten kysymykselle koettiin olevan perustana puhtaasti henkilökohtaiset mielipiteet.

Haastateltavien mielipiteet jakaantuivat joko siten, ettei mikrobivaurioista koidu suurempaa ongelmaa, jos julkisivun kunnosta huolehditaan. Joidenkin vastaajien ollessa kuitenkin sitä mieltä, että rakenteen mikrobivaurioista voi koitua ongelma, vaikka julkisivusta huolehdittaisiinkin.

Viime tipassa ryhdytyillä korjauksilla koettiin olevan suurin merkitys ongelman esiintyvyyden kanssa. Myös nykyisien energiamääräyksien kautta tulevat matalaenergiatalot koettiin mahdollisena uhkana sisäilman laadun kannalta, johtuen rakenteiden rakennusfysikaalisesta toiminnasta. Osa vastaajista, jotka olivat sitä mieltä, että rakenteen mikrobivaurioista voi koitua ongelma tulevaisuudessa, uskoivat, että ongelmat esiintyvät sisäilmaongelmina.

Osasyynä haitan esiintyvyyteen koettiin olevan korjauksien ryhtymisen olevan jokseenkin harmaalla alueella, jolloin korjauksien ajoittaminen koettiin hankalana.

4.3.2 Tuloksien analysointi ja johtopäätökset

Kiinteistö- ja rakennusalan ammattilaisten mielipidettä betonisandwich-rakenteen mikrobivaurioiden vaikutuksiin tulevaisuudessa kartoitettiin haastattelututkimuksen viimeisessä osiossa. Toisien haastateltavien mielestä vaurioiden vaikutukset kiinteistön elinkaareen eivät tule olemaan tulevaisuudessa merkittävämpi ilmiö kuin tähän mennessä. Toisien haastatteluun vastanneiden kesken vaurioiden merkitys voi tulevaisuudessa olla suurempi ja jopa huomattavasti suurempi kuin tähän asti on ollut.

Mielestäni rakenteen mikrobivaurioiden esiintyvyyteen vaikuttaa olennaisesti koko rakenteen elinkaaren aikainen korjaus- ja kunnossapitohistoria. Mikäli rakenteen kosteusteknisestä toiminnasta on huolehdittu koko sen elinkaaren ajan ja tarvittaviin korjauksiin on ryhdytty ajallaan ei rakenteen sisälle pitäisi muodostua merkittävästi mikrobikasvua. Rakenteiden liikkeistä johtuvia ulkovaipan epätiiveyskohtia saattaa jatkossakin esiintyä, mutta niitä voidaan mielestäni hallita riittävällä tasolla vaipan sisäpuolelta tehtävin tiivistyskorjauksin.

Myöskään peittävän korjausmenetelmän aiheuttamia haittoja ei ole yleisesti tiedossa. Teoriassa peittävän julkisivukorjauksen yhteydessä asennettu lisälämmöneriste parantaa rakennesosan rakennusfysikaalista toimintaa, eikä näissä tapauksissa mikrobikasvua rakenteen sisään talviolosuhteiden vaikutuksesta pitäisi enää syntyä. Näissä tapauksissa myös ulkovaipan vedenpitävyys paranee, jolloin riski esim. elementtisaumojen vedenpitävyyden heikkenemisestä poistuu.

4.4 Haastattelututkimuksen yhteenveto

Haastattelun aihepiiri koettiin haastateltavien mielestä mielenkiintoisena. Aiheiden uskottiin antavan myös ajattelemisen aihetta kiinteistön teknisen ylläpidon parissa työskenteleville. Aihepiiri itsessään on jokseenkin arka, joka osaltaan toi haasteita tutkimushaastattelun toteutukseen. Haastatteluun tavoiteltiin noin kymmentä haastateltavaa. Haastateltavien suhteellisen vaikean tavoitettavuuden ja toisaalta tiiviin aikataulun takia haastatteluun saatiin osallistujia 8:sta yrityksestä. Haastateltavien henkilöiden kokonaismäärä oli 12 henkilöä, jotka osittain edustivat omaa yritystä, mutta toisaalta jokainen haastateltava edustivat myös itseään, tuoden näkemyksiä edustamansa yrityksen lisäksi myös omalta henkilökohtaiselta työuraltaan. Haastateltavien lista ajankohtineen on tämän työn liitteenä, liite 2.

Haastattelun tavoitteena oli selvittää miten betonisandwich-rakenteiden mikrobivauriot vaikuttavat kiinteistön elinkaaren hallintaan kiinteistön omistajan näkökulmasta? Haastattelun kysymyksiin saatiin hyviä näkemyksiä, joista läheskään kaikki eivät olleet ennalta arvattavissa. Oivalluksena tutkijan toimesta havaittiin, kuinka vahvasti kiinteistön omistajan noudattama kiinteistöpidon strategia ohjaa haastateltavien mielipiteitä. Toisaalta kiinteistöpidon strategia saattaa olla puhtaasti kiinteistön omistajan laatima omien mieltymysten mukaisesti ja toisaalta taas vahvasti politiikan ohjaama. Myös median aikaan saamaa vaikutusta kiinteistön ylläpitostrategian laadintaan sekä haastateltavien mielipiteisiin voinee pitää merkittävänä.

Lähes kaikilla haastateltavilla oli kysymyksiin kanta, josta kävi ilmi, että kyseinen henkilö oli joutunut jossain vaiheessa asiaa miettimään ja luomaan omia mielipiteitä, miten asiaan suhtaudutaan. Yksittäisten haastateltavien kohdalla oli havaittavissa, että kyseiset haastateltavat eivät ole joutuneet tekemisiin haastattelun aiheiden parissa. Mielestäni vähäinen kokemus aihepiiristä kertoo, miten suhteellisen harvinaisesta ilmiöstä on kyse.

5. TULOSTEN TARKASTELU JA LISÄTUTKIMUS-TARPEET

5.1 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää betonijulkisivujen mikrobivaurioiden käytännön vaikutuksia kiinteistön elinkaareen omistajan näkökulmasta ja sitä kuinka ne ohjaavat kiinteistön omistajan tekemiä päätöksiä elinkaaren aikana. Se miten vauriota pääsee ylipäättään rakenteeseen synty-mään ja miten ne vaikuttavat kiinteistön elinkaareen korreloi vahvasti kiinteistön omistajan määrittämän kiinteistönpidon strategian kanssa. Koska jokaisella kiinteistön omistajalla on subjektiivinen näkemys siitä mitä strategiaa missäkin vaiheessa noudatetaan, soveltui kiinteistön omistajille sekä insinööritoimistojen asiantuntijoille suunnattu haastattelututkimus menetelmänä hyvin tähän tutkimukseen.

Tutkimuksen teoriaosuudessa käsitellään tutkimukseen liittyviä aiheita ja ne ovat jaoteltu lukijan kannalta selkeästi. Eri käsiteltävät kokonaisuudet ovat kuitenkin sidoksissa toisiinsa, joten niitä on jouduttu käsittelemään osittain myös päällekkäin, joka saattaa tuoda teoriaan toistoa joidenkin asioiden kohdalla. Tutkimuksen teoriaosuus vastaa osaltaan tutkimuksen alussa määritettyihin kysymyksiin mielestäni selkeästi. Myös haastattelututkimukseen osallistuneiden haastateltavien mielipiteet havaittiin tukevan teoriaa. Tämän tutkimuksen aiheiden pohjautuessa pitkälle TTKK:n julkaisuun 101, jossa käsiteltiin betonijulkisivun mikrobivaurioiden yleisyyttä, havaittiin myös tähän tutkimukseen osallistuneiden kiinteistön omistajien näkemysten olevan yhtäläiset TTKK:n julkaisun kanssa.

Tutkimuksen kannalta subjektiiviseen näkemykseen pohjautuviin kysymyksiin etsittiin vastausta teemahaastattelulla. Haastattelun teemat muodostettiin tutkimuksen kannalta selkeiksi kokonaisuusiksi. Teemojen avustavien kysymysten laadinta oli haastavaa, koska ennakoon ei ollut tiedossa haastateltavien näkemyksiä, jolloin kysymykset pohjautuivat tutkijan omiin oletuksiin. Haastattelujen jälkeen havaittiinkin, että kysymykset olisi voinut esittää haastattelun kannalta selkeämmiksi ja painottaen enemmän asioita joihin haastateltavien vastauksissa syntyi vaihtelua.

Haastattelussa kerätyt vastaukset toivat mielestäni riittävän kuvan aiheeseen liittyvistä näkemysistä sekä niihin vaikuttavista eroista. Toisilla haastateltavilla henkilöillä oli omakohtaisia kokemuksia aiheen ydinsisällöstä suhteellisen vähän, joka mielestäni kertoo hyvin ilmiön harvinaisesta esiintyvyydestä. Kaikkia yrityksiä tai henkilöitä, joita haastatteluun pyrittiin saamaan ei syystä tai toisesta saatu osallistumaan. Omakohtainen näkemykseni on, että syynä tähän on haastattelun teemana olevat sisäilmaongelmat, jotka voivat olla suhteellisen arka aihe. Tämä saattaa ainakin osittain selittää miksi haastattelu ei kaikkien ennalta listattujen haastateltavien kohdalla onnistunut. Toinen selittävä tekijä voi yksin kertaisten olla yrityksen sisällä vaikuttava kiire. Haastatteluun osallistuneiden viimeisten henkilöiden vastaukset mukailivat samoja ajatuksia

kuin haastattelun alkupuolella olevien henkilöiden, eikä haastattelun viimeisien osallistujien havaittu tuovan tutkimukseen enää uusia näkökulmia, joten haastatteluun osallistuneiden henkilöiden lukumäärä oli mielestäni riittävä.

Tutkimuksen alkuvaiheessa esitettiin tavoitteisiin vastattiin joko teoriaosuudessa tai tutkimushaastattelun tuloksien perusteella, joten tutkimuksen tavoitteiden todettiin täyttyvän.

5.2 Lisätutkimustarpeet

Tutkimuksen pohjalta pohdittiin myös, heräsikö haastatteluissa asioita, jotka tarvitsisivat mahdollisesti lisätutkimustarpeita. Betonisandwich-rakenteiden mikrobivaurioiden vaikutukset sisäilman laatuun ovat vähäisiä rakenteen betonisen sisäkuoren hyvän ilmanpitävyyden sekä toisaalta korkean vesihöyryn diffuusiovastuksen takia.

Tästä syystä olisi mielestäni tärkeää tutkia diffuusiokerto mikrobien kaasumaiset aineenvaihduntatuotteet betonikuoresta läpi sekä onko sisä- ja ulkoilman painesuhteilla merkitystä ilmiön nopeuteen?

Toinen mielestäni lisätutkimuksen arvoinen asia on, vanhentuuko mineraalivilla pitkän ajan kuluessa ja miten vanheneminen vaikuttaa lämmöneristys ominaisuuksiin sekä sitä kautta rakenteen rakennusfysikaaliseen toimintaan esimerkiksi jäätymis-sulamis sykleissä. Onko mineraalivillan vanhenemisella vaikutusta materiaalin mahdolliseen mikrobivaurioitumiseen?

6. YHTEENVETO

Betonisandwich-rakenteen sisällä olevat mikrobivauriot eivät ole kirjallisuudesta tehdyn selvityksen sekä tutkimukseen osallistuneiden henkilöiden kokemusten perusteella yleinen ilmiö. Mikrobivauriot rakenteen sisällä eivät ole merkittävä sisäilmaongelmien aiheuttaja.

Kiinteistön omistaja pystyy vaikuttamaan merkittävästi rakenteen sisään muodostuvien mikrobivaurioiden syntyyn. Se miten kiinteistön omistaja huomioi asian omissa kiinteistöissään, riippuu täysin kiinteistön omistajan omasta kiinteistönpidon strategiasta. Systemaattinen ja ennakoiva kiinteistön tekninen ylläpito sekä korjaus- ja kunnossapito on paras menetelmä huolehtimaan, ettei kiinteistön elinkaaren aikana betonisandwich-rakenteen mahdollisista mikrobivaurioista muodostu ongelmaa.

Yksittäiset rakenteen vaipan ilmanpitävyyteen liittyvät ongelmat voidaan tarvittaessa korjata parantamalla vaipan ilmatiiveyttä tiivistämällä rakenne sekä ilmanvaihtoon liittyvien huolto- ja korjaustoimenpiteiden avulla.

Betonijulkisivun kuntotutkimuksen yhteydessä voidaan samalla tutkia muutamalla näytteellä myös lämmöneristeen kuntoa, mutta tätä kevyemmästä tutkimuksesta saatua tietoa ei voida käyttää koko rakennusta edustavana tietona. Menetelmää voidaan korkeintaan ajatella poissulkevana menettelynä tai sitten se ohjaa systemaattiseen lämmöneristeen kuntotutkimukseen. Materiaalinäytteiden ottamiseen on vakioitu menetelmä sekä näytteiden mikrobiologisessa analysoinnissa tukeudutaan asumisterveysasetuksen soveltamisohjeeseen, jossa annetaan yksiselitteinen raja-arvo, milloin näyte viittaa vaurioon materiaalissa.

Systemaattinen lämmöneristeen kuntotutkimus sisältää useamman näytteenottopisteen, jolloin tutkimuksen edustavuus myös paranee. Lämmöneristeen systemaattisen kuntotutkimuksen yhteydessä on syytä käyttää myös muita kuntotutkimusmenetelmiä. Tutkimuksen perusteella tehdyt johtopäätökset soveltuvat hyvin peruskorjaushankkeen lähtötietojen määrittämiseksi, jotka tukevat kiinteistön omistajan päätöksentekoa korjaustavan valinnassa.

LÄHDELUETTELO

- Aho H. & Korpi M., Tutkimusraportti 141: Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksessa, 2009, TTY Rakennustekniikan laitos, 100 s.
- Elementtisuunnittelu.fi, <http://www.elementtisuunnittelu.fi/>, viitattu 19.2.2019
- Hekkanen M., Kuntotutkimuksen tilaaminen, 2000, Kiinteistöalan Kustannus Oy, 104 s.
- Hirsjärvi S. & Hurme H., Tutkimushaastattelu: Teemahaastattelun teoria ja käytäntö, 2008, Yliopistopaino, 213 s.
- Leivo V., Pirinen J., Reiman M., Uitti J., Ruotsalainen R., Rautiala S. & Suojanen P., Opas kosteusongelmiin, TTKK Julkaisu 95, 1998, TTKK Rakennustekniikan osasto, 158 s.
- Myyryläinen L., Elinkaariajattelu kiinteistönpidossa, 2008, Kiinteistöalan Kustannus Oy, 205 s.
- Mäkiö E., Malinen M., Neuvonen P., Vikström k., Mäenpää R., Saarenpää J. & Tähti E., Kerrostalot 1960 - 1975, 1994, Rakennustieto Oy, 288 s.
- Neuvonen P., Kerrostalot 1975 - 2000, 2015, Rakennustieto Oy, 117 s.
- Pentti M., RAK-33730 Kuntotutkimukset kurssimateriaali, luentomoniste syksy 2018, 39 s.
- Pentti M., RAK-32500 Eristysrakenteet kurssimateriaalin osa ulkoseinärakenteet, 2017, 37 s.
- Pentti M., RAK-32500 Eristysrakenteet kurssimateriaalin osa kosteuden siirtyminen, 2017b, 41 s.
- Pentti M. & Hyypöläinen T., Ulkoseinärakenteiden kosteustekninen suunnittelu, TTKK Julkaisu 94, 1999, TTKK Rakennustekniikan osasto, 147 s.
- Pentti M., Mattila J. & Wahlman J., Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjaus: Osa I Rakenteet, vauriot ja kunnon tutkiminen, TTKK Julkaisu 87, 1998a, TTKK Rakennustekniikan osasto, 156 s.
- Pentti M., Huttunen I., Vepsäläinen K. & Olenius H., Betonijulkisivujen ja parvekkeiden korjaus: Osa III Korjaushanke, TTKK Julkaisu 87, 1998b, TTKK Rakennustekniikan osasto, 124 s. + liitteet 23 s.
- Pentti M., Ulkoseinärakenteiden pitkäaikaiskestävyys betonirakenteiset, muuratut ja puujulkisivut, TTKK Raportti 33, 1988, TTKK Rakennustekniikan osasto, 254 s.
- Pessi A., Suonketo J., Pentti M. & Rantio-Lehtimäki A., Betonielementtijulkisivujen mikrobiologinen toimivuus, TTKK julkaisu 101, 1999, TTKK Rakennustekniikan osasto, 88 s.
- Rakennustietosäätiö RTS, KorjausRYL: Esiselvitykset ja purkaminen, 2016, 192 s.
- Rakennustieto Oy, 2014, Rakentajainkalenteri 2015
- RAKLI ry, Kiinteistöliiketoiminnan sanasto, 2012, Sanastokeskus TSK ry, 61 s.
- Seuri M. & Reiman M., Rakennusten kosteusvauriot, home ja terveys, 1996, Rakennustieto Oy, 81 s.
- RIL 107-2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohje, X. painos, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

RIL 216 Rakenteiden ja rakennusten elinkaaren hallinta, Helsinki: Suomen Rakennusinsinööriliitto.

RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen, 2011, 243 s.

RIL 255-1-2014 Rakennusfysiikka I, 2014,

RT 10-11224 Talonrakennushankkeen kulku: Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu, 2016, Rakennustieto Oy, 4 s.

RT 14-11197 Rakenteiden ilmatiiviyyden tarkastelu merkkiainekokein, 2015, 16 s.

RT 18-11240 Kiinteistönpitokirja kiinteistön elinkaaren hallinnassa, 2016, Rakennustieto Oy, 6 s.

Madigan M. T., Bender K. S., Buckley D. H., Sattley W. M. & Stahl D. A. Brock Biology of Microorganisms, 15. Edition, 2019, Pearson, 1058 s.

Myyryläinen L., Taloyhtiön kuntokirja, 2012, 160 s.

Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2015, Asumisterveysasetus 545/2015

Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016a, Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osa I, 20 s.

Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016b, Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osa II, 12 s.

Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016c, Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osa III, 10 s.

Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016d, Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osa IV, 17 s.

Sosiaali- ja terveysalan valvontavirasto Valvira, 2016e, Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osa V, 26 s.

Suomalainen homemalli, <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli/>, viitattu 30.5.2019

Suomen Betoniyhdistys ry, Julkisivujen kuntotutkimus, by 42, 2013, 163 s.

Vinha, J. Rakennusfysiikan luentokalvot osa 1, 2019, 45 s.

Ympäristöministeriö, Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, Ympäristö-opas 2016, 2016, Ympäristöministeriö, 234 s.

Ympäristöministeriö, Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus, Ympäristö-opas 28, 1997, Ympäristöministeriö, 143 s.

TEEMAHAASTATTELUN RUNKO

Betonisandwich-rakenteen mikrobivauriot

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää miten betonisandwich-rakenteiden mikrobivauriot vaikuttavat kiinteistön elinkaaren hallintaan kiinteistön omistajan näkökulmasta. Mikrobivaurioitumisen vaikutukset on jaettu kolmeen eri teemaan, joita käsitellään erillisenä vaikkakin kaikki teemat ovat vahvasti kytköksissä toisiinsa.

Teemat:

1. Betonisandwich-rakenteen mikrobivaurioiden vaikutukset kiinteistön ylläpidossa

- 1.1 Käsitkysenne mukaan kuinka yleisiä ovat betonijulkisivun mikrobivaurioiden aiheuttamat sisäilmaongelmat? Jos on, niin miten todennettu? Kuinka paljon kohteita? Mitkä havainnot ja mihin haitan toteaminen perustuu? Millaisia kohteita ja minkä ikäisiä?
- 1.2 Jos sisäilmakorjauksiin on ryhdytty tiivistämällä rakenteen sisäkuori, kuinka luotettavina tiivistyskorjauksia pidetään? Kuinka paljon ja miten tehty? Poistuuko haitta? Loppuuko oi-reilu? Korjauksen pitkäikäisyys? Mitä korjauksilla pyrittiin saavuttamaan?

2. Mikrobivaurioiden vaikutukset korjausrakentamisessa

- 2.1 Ohjaako tieto mahdollisista mikrobivaurioista kiinteistön omistajaa korjaustavan valin-nassa?
- 2.2 Kuinka usein julkisivukorjauksissa on päädytty lämmöneristeen uusimiseen rakenteen mikrobivaurioiden takia?
- 2.3 Onko julkisivun peittävien korjauksien (kuten eristerappaus tai erityyppiset verhouskor-jaukset) jälkeen tullut esille muita korjaustarpeita. Kuten esimerkiksi tarvetta sisäkuoren paikallisille tiivistyskorjauksille tai korjausilman parantamiselle? Jos tullut ongelmia, onko selvitetty mistä johtuu?
- 2.4 Missä tilanteissa lämmöneristeen mikrobivaurioita kannattaa ylipäätään alkaa tutkimaan?
- 2.5 Pitäisikö lämmöneristeen tutkiminen ottaa ohjelmaan, esim. julkisivun kuntotutkimuksien yhteydessä? Jos alettaisiin systemaattisesti tutkia eristetilaa paljon tutkimus saisi mak-saa?

3. Mikrobivaurioiden vaikutus tulevaisuudessa

- 3.1 Pitäisikö tulevaisuudessa kiinteistökannan ikääntyessä, betonijulkisivun lämmöneristeen mikrobivaurioiden tutkimiseen kiinnittää enemmän huomiota?

HAASTATELTAVAT

1. Sitowise Oy, Osastopäällikkö Jussi Saari, 12.3.2019 klo 10.00, Tampere, Sitowise Oy:n Tampereen toimisto
2. Tampereen Opiskelija-asunto säätiö, Kiinteistöjohtaja Jari Ahonen & Rakennuttaja-asiantuntija Jari Mustajärvi, 13.3.2019 klo 12.00, Tampere, TOAS toimisto
3. VAV Asunnot Oy, Projektipäällikkö Risto Repo & Tekninen isännöitsijä Mika Perälä, 15.3.2019 klo 9.00, Vantaa, VAV Asunnot Oy toimisto
4. Sato Oyj, Projektipäällikkö Jukka Rahkonen, Projektipäällikkö Kari Sopenlehto & Asu-
misterveyspäällikkö Aulikki Erälinna, 18.3.2019 klo 9.00, Helsinki, Sato Oyj toimisto Helsinki
5. Kojamo Oyj, PTS Projektipäällikkö Rain Köiv, 18.3.2019 klo 13.00, Helsinki, Kojamo Oyj
toimisto Helsinki
6. Helsingin seudun opiskelija-asuntosäätiö, Tekninen isännöitsijä Matti Luostarinen,
21.3.2019 klo 9.00, Helsinki, HOAS toimisto
7. Raksystems Insinööritoimisto Oy, Rakennuttamispäällikkö Tuomas Venermo, 3.4.2019
klo 15.00, Vantaa, Raksystems Insinööritoimisto Oy:n toimisto
8. Ramboll Finland Oy, Tutkimuspäällikkö Kiia Miettunen, 25.4.2019 klo 9.00, Espoo, Ram-
boll Finland Oy:n Espoon toimisto