

Virve Puumala

Kosteusvauriokorjauksen suunnittelu ja laadunvarmistus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinööriytyö

19.11.2015

Tekijä(t) Otsikko	Virve Puumala Kosteusvauriokorjauksen suunnittelu ja laadunvarmistus
Sivumäärä Aika	49 sivua + 1 liitettä 19.11.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaaja(t)	Metropolia, Anne Pietilä Betoniteknologia-asiantuntija, kuntotutkija Elina Paukku
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli selvittää kosteus- ja homevaurion korjaushankkeen laadun kannalta riskialttiita työvaiheita, sekä korjauksen laadunvarmistustoimenpiteitä ja -kokeita hankkeen eri vaiheissa. Työssä keskityttiin erityisesti kosteus- ja homevaurioiden syntymisen ja korjaamisen tarkasteluun rakennesuunnittelijan ja kuntotutkijan näkökulmasta. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin korjaushankkeen laatuun vaikuttavia tekijöitä, sekä mahdollisia laadunvarmistustoimenpiteitä ja -kokeita hankkeen eri vaiheissa. Lopuksi työssä annettiin kehitysehdotuksia Sweco-konsernin nykyisen projektinhallintajärjestelmän laadunvarmistukseen.</p> <p>Tutkimuksessa tarkasteltiin yleisimpiä kosteusvaurioiden aiheuttajia, sekä korjaussuunnittelussa huomioitavia asioita. Työ keskittyi rakenteissa esiintyviin kosteusvaurioihin ja myös laadunvarmistuksessa käytiin läpi lähinnä rakenteellisten korjausten laadunvarmistusta. Tutkimuksessa käytiin läpi myös korjaushankkeen vaiheet ja niiden linkittyminen keskenään. Lisäksi selvitettiin, mitä laadunvarmistustoimenpiteitä voidaan käyttää projektin eri vaiheissa. Tutkimuksessa käytettiin apuna alan kirjallisuutta, jonka perusteella koottiin kehitysehdotuksia sekä taulukko korjaushankkeen eri vaiheissa tehtävistä laadunhallintatoimenpiteistä ja -kokeista.</p> <p>Tutkimuksen aikana havaittiin, kuinka hankkeen eri vaiheet muodostavat kokonaisuuden, jossa edellisten vaiheiden laatu vaikutti seuraavien vaiheiden lopputuloksen laatuun. Korjaushankkeen laadunvarmistukseen tulisikin panostaa jo tutkimusvaiheessa ja ottaa suunnittelijat mukaan projektiin mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Varsinkin suunnittelun tueksi on nykyään kehitetty monia laskentamalleja ja -ohjelmia, joilla voidaan tarkastella rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta. Korjaushankkeen yhtenä tärkeänä osana on, että suunnittelijalle muodostuu yhtenäinen kokonaiskuva hankkeesta ja sen laadunvarmistuksesta jo alkuvaiheessa.</p>	
Avainsanat	Kosteusvaurio, homevaurio, korjaus, kuntotutkimus, laadunvarmistus

Author(s) Title Number of Pages Date	Virve Puumala The Planning and Quality Assurance of Moisture Damage Renovation 49 pages + 1 appendix 19 November 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructor(s)	Anne Pietilä Elina Pauku, Expert of concrete technology,
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to analyze moisture damages and to discuss the risks in the different phases of a renovation project, related to managing the moisture and mold damages. In addition, quality assurance practices and tests in different phases are presented. These topics are discussed from the point of view of a Structural Engineer and a Building Condition investigator Furthermore, the study examines the factors which can affect the overall quality of the project and the quality assurance practices are evaluated as well. Finally, solutions are suggested how to improve Sweco Ab's current project management and quality assurance program.</p> <p>In this thesis, the formation of moisture damages is examined. In addition, the reasons causing moisture damages are discussed and what should be taken into consideration during the planning of the renovation. This thesis focuses on the moisture damages in building structures and the quality assurance of these types of renovation projects. This thesis also examines the renovation project and explains how the different stages are linked together. The different quality assurance practices that can be used in different stages are also presented. The thesis is based on topic-related literature. From this literature, suggestions of improvements have been gathered and also a table was created of quality assurance procedures and tests used in the different stages of the project.</p> <p>As a result, it was discovered how the different stages form a project as a whole, where the quality of the previous stages have effects on the quality of the following stages and their outcomes. Therefore, it is important to place great emphasis on the quality assurance of the project already in the survey-phase and to engage the Structural Engineer in the project as early as possible. At present there are several calculation models and programs to support the planning of the renovation project. One of the most important parts of the renovation project is to ensure that the Structural Engineer gets a complete picture of the project and its quality assurance at an early stage.</p>	
Keywords	Moisture damage, mold damage, renovation, condition investigation, quality assurance

Sisällys

1	Johdanto	2
1.1	Tutkimuksen tausta	2
1.2	Tutkimusmenetelmät	2
1.3	Tutkimusongelma	2
1.4	Tutkimuksen rajaus	3
2	Kosteus	4
2.1	Kosteuslähteet	8
2.2	Kosteusvauriot	11
2.2.1	Mikrobikasvustot	12
2.2.2	Kosteusvaurion merkit	14
3	Kosteusvaurion korjauksen suunnittelu	14
3.1	Suunnittelua tukevat tutkimukset	17
3.2	Suunnittelussa huomioitavat asiat	24
3.3	Rakenteiden rakennusfysikaalinen laskenta	27
3.4	Laadunvarmistus ja laatuun vaikuttavat tekijät	30
3.5	Korjauksen laadunvarmistustoimenpiteet ja –kokeet	32
4	Swecon nykyinen laadunvarmistuksen toimintatapa	36
5	Kehitysehdotukset	37
6	Tutkimustulokset ja johtopäätökset	43
7	Yhteenveto	45
	Lähteet	47
	Liitteet	
	Liite 1. Rakenteiden kosteustekniset riskialttiusmatriisit	

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Huomattavassa osassa Suomen rakennuskantaa on todennäköisesti jonkin asteisia kosteus- ja homevaurioita. Syynä tähän ovat tyypillisesti kosteudelle riskialttiit rakenteet ja materiaalit, suunnittelu- ja rakentamisprosessin hajanaisuus, huolimattomuus, rakennustyövirheet, kunnossapidon laiminlyönti sekä työaikaisten suojausten puutteellisuus. [7, s.3.] Kosteusvauriot eivät ole riesana ainoastaan Suomessa, vaan ilmasto-olosuhteista riippumatta kosteus aiheuttaa vaurioita ja homeongelmia myös muissa maissa [16, s.4]. Kosteus- ja homevauriot saattavat aiheuttaa terveysongelmia, minkä lisäksi ne vaurioittavat rakenteita aiheuttaen vaaraa rakennuksen käyttäjille.

Tutkimus tehdään yhteistyössä Sweco Rakennetekniikka Oy:n kanssa, joka on osa Sweco Finland:ia ja Sweco-konsernia. Sweco Finland on yksi Suomen johtavista rakennetun ympäristön ja teollisuuden asiantuntijayrityksistä ja sen toimialat muodostavat yhdessä kokonaisuuden, joka kattaa koko rakentamisen prosessin hankkeen esiselvityksestä aina valmistumisen jälkeisiin laadunvarmistus- ja ylläpitopalveluihin. [15.]

1.2 Tutkimusmenetelmät

Tässä työssä tarkastellaan kosteutta rakennefysikaalisena ilmiönä sekä kosteus- ja homevaurioiden syntymistä ja korjaamista. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kosteus- ja homevaurion korjaushankkeen laadun kannalta riskialttiita työvaiheita, sekä korjauksen laadunvarmistustoimenpiteitä ja -kokeita hankkeen eri vaiheissa. Lisäksi tutkimuksessa tarkastellaan Sweco konsernin nykyistä projektinhallintajärjestelmää.

1.3 Tutkimusongelma

Tutkimuksen tavoite voidaan jakaa kahteen osa-alueeseen, jotka muodostavat työn tutkimuskysymykset. Nämä tutkimuskysymykset ovat:

1. Mitä asioita rakennesuunnittelijan tulee huomioida kosteusvaurion korjaushankkeen suunnittelussa?

2. Minkälaisia laadunvarmistustoimenpiteitä kosteusvaurion korjausrakentamishankkeessa voidaan hyödyntää?

Tämä työ perustuu laajaan kirjallisuuskatsaukseen kosteusvauriokorjauksen suunnittelusta ja laadunvarmistuksesta. Kirjallisuudesta on nostettu esille rakennesuunnittelijalle tärkeät suunnitteluvaiheet sekä laadunhallintatoimenpiteet. Tämän pohjalta laaditaan parannus- ja kehitysehdotuksia Sweco-konsernin nykyiseen projektihallintajärjestelmään. Erityisesti taulukon 5 ja kuvion 1 laadinnassa on kirjoittaja käyttänyt hyödykseen yli kahden vuoden työkokemustaan korjaussuunnittelusta.

1.4 Tutkimuksen rajaus

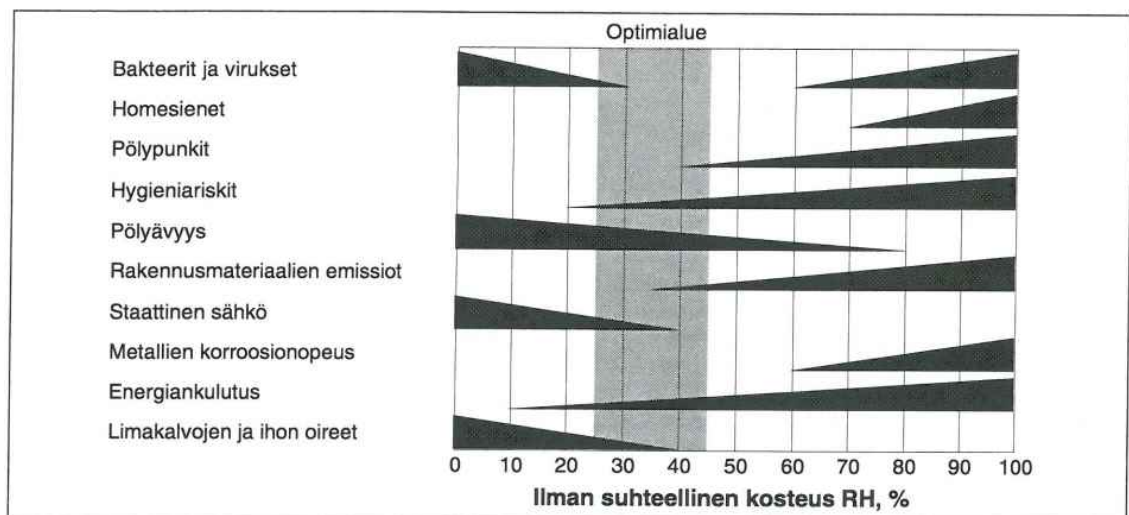
Tässä työssä keskitytään tarkastelemaan kosteus- ja homevaurioita, sekä niiden syntymistä lähinnä rakennesuunnittelijan ja kuntotutkijan näkökulmasta. Erityiskiinnostus tutkimuksessa on korjauksen suunnittelussa ja laadunvarmistuksessa. Laadunvarmistustarkastelu rajataan käsittelemään vain rakenteellisia korjauksia ja korjaushankeen laadunvarmistustoimenpiteitä tarkastellaan vaurion huomaamisesta aina korjauksen jälkitarkastuksiin asti.

2 Kosteus

Kosteuden käyttäytymisen ja sille annettujen sallittujen rajojen ymmärtäminen luo pohjan korjaussuunnittelulle. Rakennuksessa, sen rakenteissa ja ympäristössä on aina normaaleissa olosuhteissa kosteutta. Rakennukselle haitallisen kosteuden määrää pyritään hallitsemaan ja rakennuksen veden- ja kosteudeneristämisestä on annettu monia määräyksiä ja ohjeita. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C2 mukaan rakennuksen kosteuden hallinnan olennainen vaatimus on seuraava:

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei siitä aiheudu sen käyttäjille tai naapureille hygienia- tai terveysriskiä kosteuden kertymisestä rakennuksen osiin tai sisäpinnoille. Rakennuksen näiden ominaisuuksien tulee normaalilla kunnossapidolla säilyä koko taloudellisesti kohtuullisen käyttöajan ajan. [10,s. 3.]

Kesällä sisäilman suhteellinen kosteuspitoisuus on lähes sama kuin ulkoilman kosteuspitoisuus. Rakennuksen kosteusvaurioiden estämisen ja sisäilman viihtyvyyden kannalta sisäilman suhteellisen kosteuden tulisi olla riittävän alhainen. Kesäisin sisäilman kosteuden tulisi pysyä 30 - 60 %:n välillä. Talvisin sisäilman suhteellisen kosteuden tavoitearvo on 25 - 45 % Kun sisäilman kosteus laskee tavoitearvojen alapuolelle, alkaa ilma olla käyttäjien viihtyvyyden kannalta liian kuivaa. Sisäilman suhteellinen kosteus vaikuttaa lisäksi ilman laatuun. Kuvassa 1 on esitetty suhteellisen kosteuden vaikutuksia sisäilman epäpuhtauksien määrään. [2, s. 24-25.]



Kuva 1. Huoneilman kosteuden vaikutuksia ilman epäpuhtauksien määrään. [2,s.25]

Sisäilman kosteuspitoisuudesta puhuttaessa käytetään yleensä termiä suhteellinen kosteus. Suhteellinen kosteus (RH %) ilmaisee kostean ilman todellisen vesihöyryn paineen (kPa) ja kylmän vesihöyryn paineen suhdetta samassa lämpötilassa. Suhteellinen kosteus voidaan myös selvittää vesihöyryn määrästä (g/m^3). Tämä kuitenkin edellyttää sitä, että tiedetään ilman lämpötila. [1, s. 8.] Esimerkiksi kun 20 °C lämpötilassa RH on 40 %, sisäilman absoluuttinen kosteus eli veden määrä vesihöyrynä on noin $7,5\text{ g}/\text{m}^3$. Jos ilma pääsee liikkumaan talvella rakennuksen vaipparakenteiden läpi sisältä ulospäin, eli korkeammasta vesihöyrypitoisuudesta pienempään, se jäähtyy ja esimerkiksi edellä ilmoitettu ilman absoluuttinen kosteus saavuttaa 6 °C :ssa kastepisteen, $\text{RH} = 100\%$, jolloin vesihöyry tiivistyy nesteeksi. Suhteellisen kosteuden muuttamista eri lämpötiloissa on havainnollistettu kuvassa 2.

Absoluuttinen kosteus Vesihöyry	Absoluuttinen kosteus Vesi	Suhteellinen kosteus	Lämpötila	Kyllästys- kosteus
$5\text{ g}/\text{m}^3$	$0\text{ g}/\text{m}^3$	6 %	$+50\text{ °C}$	$83\text{ g}/\text{m}^3$
$5\text{ g}/\text{m}^3$	$0\text{ g}/\text{m}^3$	10 %	$+40\text{ °C}$	$51\text{ g}/\text{m}^3$
$5\text{ g}/\text{m}^3$	$0\text{ g}/\text{m}^3$	16 %	$+30\text{ °C}$	$30\text{ g}/\text{m}^3$
$5\text{ g}/\text{m}^3$	$0\text{ g}/\text{m}^3$	29 %	$+20\text{ °C}$	$17\text{ g}/\text{m}^3$
$5\text{ g}/\text{m}^3$	$0\text{ g}/\text{m}^3$	53 %	$+10\text{ °C}$	$9\text{ g}/\text{m}^3$
••••		KASTEPISTE		
$5\text{ g}/\text{m}^3$	$0\text{ g}/\text{m}^3$	100 %	0 °C	$5\text{ g}/\text{m}^3$
•••	•••	100 %	-10 °C	$2\text{ g}/\text{m}^3$
$2\text{ g}/\text{m}^3$	$3\text{ g}/\text{m}^3$	100 %	-10 °C	$2\text{ g}/\text{m}^3$
••	••••	100 %	-20 °C	$1\text{ g}/\text{m}^3$
$1\text{ g}/\text{m}^3$	$4\text{ g}/\text{m}^3$	100 %	-20 °C	$1\text{ g}/\text{m}^3$

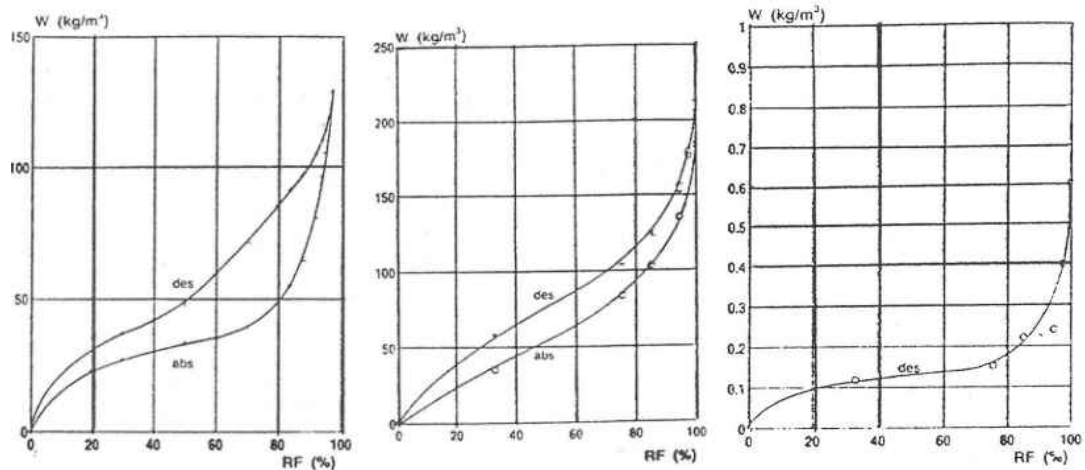
Kuva 2. Lämpötilan muutoksen vaikutus ilman suhteelliseen kosteuteen, kun absoluuttinen kosteus pysyy vakiona ($5\text{ g}/\text{m}^3$) [18].

Kosteuden siirtyminen rakenteissa

Kosteus voi siirtyä rakenteissa neljällä eri tavalla: diffuusiolla, konvektiolla, kapillaarisuudella tai haihtumalla. *Diffuusiolla* vesihöyryn osapaine pyrkii tasoittumaan, jolloin vesihöyry pyrkii siirtymään rakenteiden yli korkeammasta vesihöyrypitoisuudesta alemman pitoisuuden suuntaan. *Konvektiossa* kosteus siirtyy vesihöyrynä rakenteessa liikkuvien ilmanvaihdon ja tuulen aiheuttamien virtausten mukana. *Kapillaarisesti liikkuva* kosteus liikkuu rakenteiden kapillaarihuokosissa nestemäisenä, hyödyntäen veden kapillaarivoimia eli pintajännitystä. Kapillaarisesti liikkuva kosteus voi kulkeutua vaaka-

ja pystysuunnassa. Yleisimmin kapillaarista nousua tapahtuu perustuksista kohti alapohjaa ja seinien alajuoksuja. *Haihtumisessa* kosteus siirtyy vesihöyrynä kosteasta materiaalista kuivempaan ilmaan ja vastaavasti kosteasta ilmasta materiaalin pinnalle. Haihtumissuunta riippuu lämpötiloista ja kosteuspitoisuuksista. [1, s. 19.]

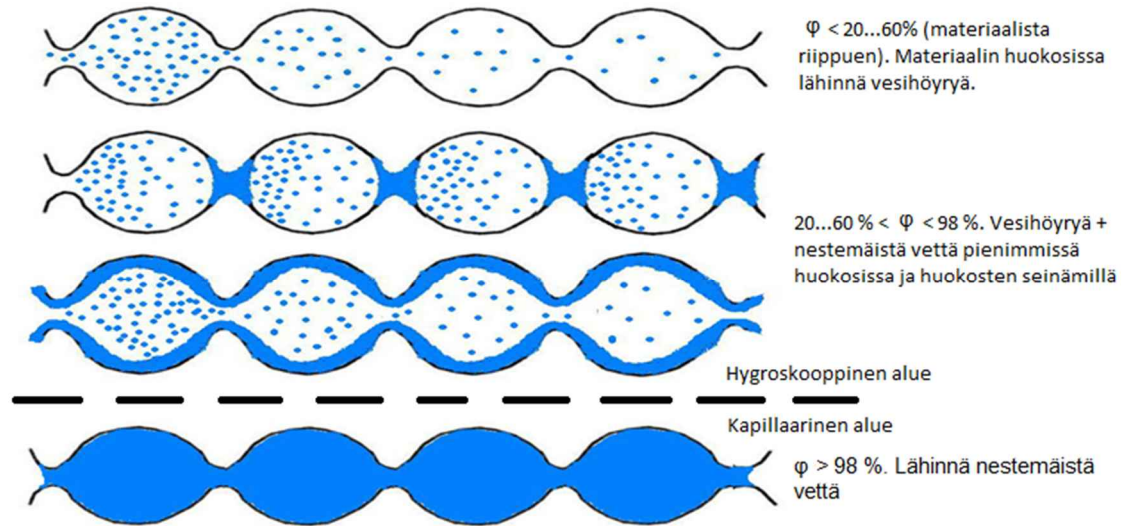
Kaikki rakennusmateriaalit ovat hygroskooppisia, eli ne voivat sitoa ja haihduttaa kosteutta. Materiaali pyrkii näillä ilmiöillä ympäröivän ilman kanssa hygroskooppiseen tasapainokosteuteen. Tasapainokosteudessa materiaalin sisältämä kosteus (kg/m^3) riippuu ympäröivän ilman suhteellisesta kosteudesta ja lämpötilasta. Lisäksi kosteudella vaikuttaa se onko materiaali kuivumassa, desorptio, vai kastumassa, absorptio. Useille rakennusmateriaaleille on tehty omat tasapainokosteuskäyrät, joista muutama on esitetty kuvassa 3. Diagrammin pystyakselilla ilmoitetaan materiaalin kosteuspitoisuus, kg/m^3 , ja vaaka-akselilla materiaalin suhteellisen kosteus, %. [11, s. 15.]



Kuva 3. Rakennusmateriaalien tasapainokosteuskäyriä 20 °C lämpötilassa. Vasemmalla betoni, vesisementtisuhte 0,5. Keskellä lastulevy, tiheys noin 660 kg/m^3 . Oikealla styrox, tiheys noin 20 kg/m^3 . [3, s. 135-137.]

Rakennusmateriaalien huokosissa liikkuvaa kosteutta, kosteuden määrän haitallisuutta ja materiaalin kosteusteknistä käyttäytymistä arvioidaan materiaalin hygroskooppisella ja kapillaarisella vaiheella. Hygroskooppisella alueella materiaalin kosteuspitoisuus on lähellä ympäröivän ilman suhteellista kosteutta ja kosteus on materiaalin huokosissa kaasumaisessa muodossa, eli vesihöyrynä. Huokosilman suhteellinen kosteus on tällöin 0:n ja 98 %:n välillä. Kapillaarisella alueella materiaalin kosteuspitoisuus on todella korkea ja kosteus on huokosissa nestemäisenä. Kapillaariselle alueelle päästään yleensä vain silloin kun materiaali on kosketuksessa vapaaseen veteen. Korkeat kosteuspitoisuudet viittaavat tällöin myös rakenteen virheelliseen toimintaan. Tyypillisesti

normaalikäytössä rakennuksen rakennusmateriaalien ja rakenteiden kosteuspitoisuus on hygroskooppisella alueella ja se on lähellä ympäristönsä suhteellista kosteutta. [1, s. 19-20; 3, s. 46-47.] Hygroskooppista ja kapillaarista vaihetta on havainnollistettu kuvassa 4.



Kuva 4. Kosteus hygroskooppisella ja kapillaarisella alueella. ϕ on huokostilan suhteellinen kosteus [5.].

Kosteuden poistuminen rakenteesta on hitaampaa kuin rakenteiden kastuminen. Aluksi kuivumisnopeus pysyy lähes vakiona, mutta kostean rintaman siirtyessä kauemmaksi rakenteen pinnasta, kuivumisnopeus alenee. Nopeuden aleneminen johtuu siitä, että kosteus joutuu kulkemaan pidemmän matkan päästäkseen rakenteen pinnalle. [1, s. 20.]

Liiallisen kosteuden haittavaikutuksia rakennuksissa ja rakenteissa voidaan mainita viisi:

- rakenteiden hajoaminen, kantavuuden menetys ja betonin rapautuminen
- terveysriskit ihmisille ja hajuhaitat
- kasvanut energiantarve
- esteettiset haitat, kuten kosteuslääkät ja värimuutokset
- kosteusliikkeet.

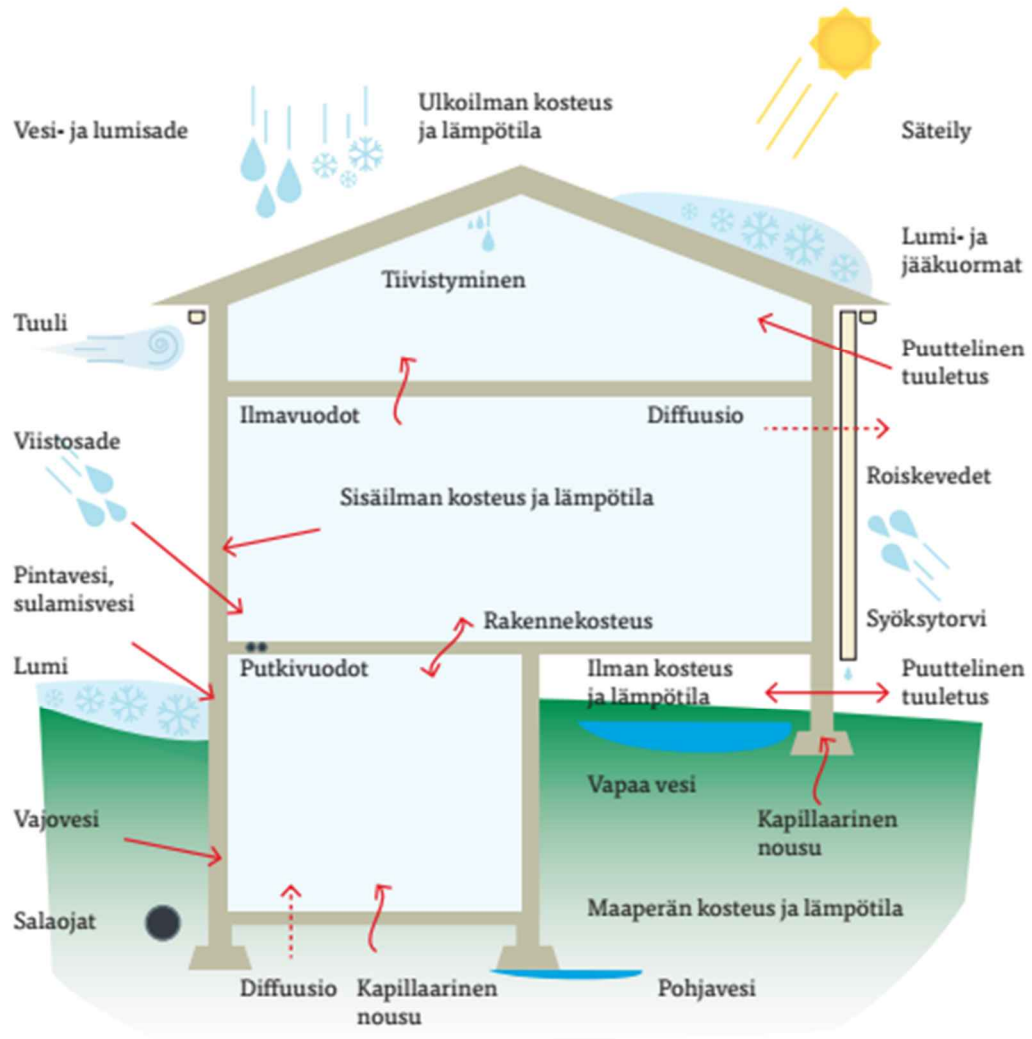
Kosteuden aiheuttamaan rakenteiden hajoamiseen ja rapautumiseen voivat olla syynä betonirakenteissa pakkasrapautuminen, suolarapautuminen tai sideaineen liukeneminen ja puurakenteilla lahoaminen. Lisäksi rakenteissa voi tapahtua kemiallista ja fyysikaalista muuttumista. Kantavissa rakenteissa esiintyviin vaurioihin tulisi puuttua mahdollisimman nopeasti, jotta vaurioista ei aiheudu merkittävää vaaraa. [2, s. 19.]

Terveysriskejä ja hajuhaittoja aiheuttavat osa homesuvuista ja mikrobikasvustoista sekä materiaalien emissiot eli kaasumaiset epäpuhtaudet. Terveysriskit riippuvat mikrobi-lajeista ja niiden erittämistä mykotoksiineista ja mikrobien tuottamista haihtuvista orgaanisista yhdisteistä (MVOC). Emissioiden kohdalla terveysriskejä aiheuttaa muun muassa materiaalien sisältämät VOC-yhdisteet. Lisäksi materiaaleista haihtuvien emissioiden määrä kasvaa kun huoneilmaston suhteellinen kosteus nousee. [2, s. 19; 1, s. 52-53.]

Kasvanut energiatarve johtuu yleensä lämmöneristeiden kostumisesta. Kosteusvaurion aiheuttamat esteettiset haitat eivät aina ole vaarallisia, mutta näkyviin päässyt kosteus viittaa usein siihen, että rakenteissa on enemmänkin kosteutta. Tyypillisiä esteettisiä haittoja ovat pintojen tummuminen ja esimerkiksi alapohjissa lattiapinnoitteen kupruilu. Rakenteiden kosteusliikkeet näkyvät rakenteissa turpoamisena ja kutistumisena sekä kieroutumisena. Erityisesti puurakenteissa kosteusliikkeet voivat aiheuttaa suuriakin muutoksia. Osa puun kosteusliikkeistä on luokiteltavissa esteettisiksi haitoiksi, esimerkiksi lautalattian saumojen aukeaminen puun kuivuessa. Toiset vauriot taas saattavat aiheuttaa rakenteiden kantavuuden heikkenemistä, esimerkkinä kantavien puurakenteiden halkeilu niiden kuivuessa. [2, s. 19, 31.]

2.1 Kosteuslähteet

Rakennusta rasittavat useat kosteuslähteet, jotka voidaan jakaa sisä- ja ulkopuolisiin kosteuslähteisiin. Kosteusvauriot voivat johtua niin ympäristön rasituksista kuin käyttäjien huolimattomista käyttötottumuksista. Toisinaan rakenteisiin päässyt kosteus voi olla peräisin rakennusvirheistä. Rakennusta rasittavia kosteuslähteitä on esitetty kuvassa 5. [1, s. 21.]



Kuva 5. Rakennusta rasittavat kosteuslähteet [4, s. 5].

Rakennuksen ulkopuoliset kosteuslähteet

Rakennuksen julkisivuja ja vesikattoa rasittavat eniten sadevedet. Niin sanottu pystysade rasittaa rakennuksen vaakapintoja, kuten vesikattoa ja parvekkeita, kun taas viistosade rasittaa enemmän ulkoseiniä, erityisesti seinien yläosia ja nurkkia. Voimakkaan tuulen aiheuttama viistosade voi myös aiheuttaa kosteuden tiivistymistä höyrynsulunpintaan sellaisissa julkisivuissa, joiden ulkoverhoukseen vesisade pääsee imeytymään helposti, kuten esimerkiksi tiiliverhoukseen. [1, s. 21-22; 6, s. 42-43.]

Sokkelia ja alapohjarakenteita taas rasittaa pintavesien valuminen rakennusta ja rakenteita kohti, vajovedet sekä pohjaveden kapillaarinen nousu. Jäättyessään maaperän

kosteus aiheuttaa maaperän routimista, mikä myös voi vahingoittaa rakenteita. Routiminen ei kuitenkaan yksinään aiheuta kosteusvauriota. [1, s. 21-23.]

Tuulettuvien alapohjien kohdalla puutteellinen ryömintätilan tuuletus aiheuttaa kosteuden kerääntymistä kesäisin ulkoilmaa viileämpään ryömintätilaan, jossa liiallinen kosteus alkaa tiivistyä alapohjan ja sokkelien pinnoille. Riittämätön tuuletus ei pysty edes kuivalla säällä kuivattamaan alapohjan ilmatilaa tarpeeksi. [1. s. 21.]

Ulkoilman suhteellinen kosteus ei normaalisti aiheuta suuria kosteusvaurioita. Kuitenkin sellaisissa tapauksissa, joissa rakennuksen sisäilmaa jäähdytetään esimerkiksi koneellisesti, saattaa rakenteiden läpi liikkuvan ulkoilman mukana tuleva kosteus tiivistyä rakenteiden sisään, kun ilma ja rakenteet jäähtyvät lähempänä rakenteen sisäpintaa. Tämä johtuu siitä, että rakennukset suunnitellaan yleensä hieman alipaineisiksi ja ulkoa tulevan kostean ilman suhteellinen kosteus kasvaa sen edetessä lähemmäs viileämpää sisätilaa. Tiivistymiseen vaikuttaa ulkoilman suhteellinen kosteus ja ulkoilman ja sisäilman välinen lämpötilaero. Varsinkin sateen jälkeen ulkoilman suhteellinen kosteus on korkea. [1, s. 21-22; 2, s. 21; 6, s. 42-43.]

Rakennuksen sisäpuoliset kosteuslähteet

Rakennuksen sisäpuolisia kosteuslähteitä ovat sisäilman kosteus, käyttövesistä haihtuva kosteus ja putkivuodot. Sisäilman kosteus rasittaa rakenteita silloin, kun se liikkuu vaipparakenteiden yli, jäähtyy ja saavuttaa kastepisteen rakenteen sisällä. Käyttövesien vaikutus riippuu yleensä käytötottumuksista. Suurimmillaan rasitus on tiloissa, joissa käytetään vettä, kuten märkätilat, wc-tilat ja keittiöt. [6, s. 41- 42.]

Sisäpuolisista, suuriakin kosteusvaurioita aiheuttavista tunnetuimpia ovat putkivuodot. Putkivuodot johtuvat yleensä putkien vanhenemisesta tai kulumisesta. Vuotojen nopeaksi havaitsemiseksi Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) osassa C2 on annettu ohjeita vesi- ja viemärlaitteistojen ja -putkien asentamisesta ja varustamisesta. Näitä putkivuotojen havaitsemista auttavia varusteita ei kuitenkaan ole vanhoissa rakennuksissa, joissa putkivuodot voivat aiheuttaa laajoja vaurioita. [6, s. 42.]

Myös rakennekosteus lasketaan rakennuksen sisäpuoliseksi kosteuslähteeksi. Rakennekosteudeksi kutsutaan rakenteissa ja materiaaleissa olevaa valmistus ja rakentamisajalta peräisin olevaa rakenteisiin jäänyttä kosteutta. Rakenteet ja rakennusmateriaalit

sisältävät vettä ja ne ovat saattaneet myös kastua rakennusaikana. Rakennusmateriaaleista varsinkin betoni sisältää rakennusaikana paljon kosteutta. Rakennuksen valmistuttua rakenteiden kosteus pyrkii tasapainottumaan ympäristön kosteuden kanssa, jolloin rakenteissa oleva ylimääräinen kosteus pyrkii haihtumaan sisäilmaan. Jos normaali rakennekosteuden haihtuminen estetään esimerkiksi liian tiiviillä pinnoitteilla, seurauksena voi aiheutua kosteuden tiivistymistä pinnoitteen alle. Esimerkkinä tällaisesta tiiviistä pinnoitteesta on betonilattian päälle asennettu muovimatto. [1, s. 23.]

Rakennusten sisäilman kosteutta lisäävät myös käyttäjät ja aktiviteetit (hengitys, peseytyminen, pyykinpesu, huonekasvit yms.), ilman kostutus, polttopuiden kuivaaminen sisätiloissa, kaasua- ja kerosiinilaitteet sekä jäähdytyslaitteiden kondenssivedet [2, s. 19].

2.2 Kosteusvauriot

Kosteusvauriot voidaan luokitella niiden syyn mukaan. Selkeitä kosteusvaurioiden syitä ovat virheet suunnittelussa, rakentamisessa tai korjaamisessa, riskialttiit rakennusosat, käyttötarkoitukseen soveltumattomat materiaalit tai materiaaliyhdistelmät, putkivuodot, ilmanvaihdon puutteet, sekä rakenteen tai järjestelmän käyttöiän loppumien.

Käytöstä ja käyttäjistä johtuvia vaurioita aiheuttavat käyttötottumukset ja huolimattomuus sekä tilojen muuttunut käyttö. Puutteellisesta kiinteistön kunnossapidosta johtuvia vaurioita ovat kattokaivojen, räystäskourujen ja salaojien tukkeutumisesta johtuvat vauriot sekä märkätiloihin, vesikattoihin ja julkisivuihin tulleiden vaurioiden pikaisen korjaamisen tekemättä jättäminen, esimerkkeinä puhki ruostuneet syöksytorvet tai räystäskourut. [2, s. 26.]

Lisäksi käytön ja huollon virheistä johtuvia kosteusvaurion syitä ovat ilmanvaihdon puutteellinen käyttö sekä lämpöeristetyn ja lämpimänä pidettävän rakennuksen jättäminen kylmäksi pitkäksi aikaa. Molempia edellä mainittuja käyttövirheitä pahentaa rakennuksen ja laitteiden huollon laiminlyönti. Maan kosteudesta johtuvat tyypilliset vaurioiden aiheuttajat ovat huonot täyttömaat, salaojituksen toimimattomuus ja kellareiden vedeneristyksen puutteet. [2, s. 26.]

Kansanterveyslaitoksen pientalojen kosteusongelmista tekemän tutkimuksen mukaan yli puolet pientalojen kosteusvaurioiden syistä oli aiheutettu jo rakennusvaiheessa. Syynä olivat puutteellinen suunnittelu, virheelliset ja huolimattomat työsuoritukset sekä väärät materiaalivalinnat. Tutkimuksen kohteena oli yhteensä 450 pientaloa, jotka oli rakennettu vuosien 1950 - 1990 välillä. [7, s. 3.]

Tyypillisiä kosteusvaurioita voidaan myös jaotella eri vuosikymmenten mukaan. Kansanterveyslaitoksen tekemän tutkimuksen mukaan tyypillisiä kosteusvaurioita ovat:

- 50-luvun pientaloissa perusmuurin vuotaminen, vesikattovuodot ja putkisto- tai laitevauriot
- 60-luvun pientaloissa yläpohjien ja seinien kosteusvauriot, putki- ja viemäri- vauriot ja alapohjan kosteusvauriot
- 70-luvun pientalossa yläpohjan kosteusvauriot, seinien kosteusvauriot ja putkisto- ja ilmanvaihtokanavien vuodoista johtuvat vauriot
- 80-luvun pientaloissa seinärakenteiden kastuminen, yläpohjan vesivauriot, ilmanvaihtokanavien vauriot ja muista laitevaurioista johtunut rakenteiden kastuminen. [7, s. 8-14.]

2.2.1 Mikrobikasvustot

Pitkään kosteana oleviin rakenteisiin muodostuu usein homekasvustoa. Kuitenkaan kaikki kosteusvauriot eivät välttämättä aiheuta mikrobivaurioita, sillä mikrobien kasvuun vaikuttavat niiden kasvuolosuhteet. Mikrobeille olennaiset kasvuolosuhteet ovat riittävä lämpötila, kosteus, ravinto ja happi sekä kasvupinnan happamuus. Mikrobit pystyvät muuttamaan ympäristöolosuhteiden mukaan ja ne kestävät kasvun ja itämisen kannalta epäedullisia olosuhteita hyvinkin pitkään. [11, s. 19.]

Lämpötilan suhteen eri mikrobisuvut suosivat erilaisia lämpötiloja. Useimmille mikrobeille kasvun kannalta optimaalisin lämpötila on 15 - 30 °C välillä, mutta ne kasvavat yleisesti 5 – 40 °C lämpötila-alueella. Lämpötilan laskiessa alemmas kasvu hidastuu ja lämpötilan pudotessa alle 0 °C rihmastot ja itiöt menevät lepotilaan, mutta eivät kuitenkaan kuole. Vastaavasti lämpötilan noustessa yli 60 °C useimpien mikrobien kasvu pysähtyy ja osa mikrobeista kuolee. Mikrobikasvuston aktiiviset rihmastot kuolevat yli 80 °C lämpötilassa ja itiöt kuolevat yli 100 °C lämpötilassa. [11, s. 19-20; 17, s. 146.]

Kosteuden määrä vaikuttaa mikrobeihin siten, että täysin kuivassa ympäristössä mikään mikrobi ei kasva vaan ne ovat lepotilassa. Mikrobit voivat olla lepotilassa muutamia vuosia ja aktivoitua saadessaan taas kosteutta. Mikrobit eivät vaadi kasvaakseen kosteata kasvupintaa, vaan ilmassa oleva kosteus riittää. Ilman suhteellisen kosteuden tulee kuitenkin olla yli 70 %, jotta kosteus riittäisi mikrobikasvulle. Kasvun todennäköisyys nousee ilman suhteellisen kosteuden kasvaessa. Kuitenkin, mitä kosteampi kasvualustakin on, sitä todennäköisemmin siihen muodostuu home- ja mikrobikasvustoa. Esimerkiksi lahottajasienille riittää kasvuun puun kosteuspuiteosuudeksi 20 – 30 % puun kuivapainosta. Siksi kasvua pyritäänkin estämään säätelemällä muita kasvuun vaikuttavia tekijöitä. [11, s. 20; 17, s. 146.]

Koska mikrobit ovat ravinteiden suhteen vaatimattomia, niiden kasvun rajoittaminen materiaalivalinnoilla on hyvin hankalaa. Lähes kaikki orgaaninen aines, sekä huonepöly ja lika tarjoavat riittävästi ravintoa mikrobeille. On kuitenkin selvää, että toiset materiaalit, kuten orgaaninen puu, tarjoavat paremman kasvualustan kuin toiset, esimerkiksi betoni ja tiili. Mikrobeille ihanteellisen kasvualustan pH on 5 - 6, mutta lajista riippuen pinnan pH voi vaihdella 2 - 10 välillä, jotta kasvu olisi mahdollista. [11, s. 21.]

Sopivissa kasvuolosuhteissa mikrobit voivat kasvaa paikallaan, eivätkä ne tällöin tuota paljon itiöitä. Kasvupaikan olosuhteiden huonontuessa kasvusto alkaa tuottaa enemmän itiöitä, joiden avulla se etsii uutta, sopivaa kasvupaikkaa. [11, s.20.]

Mikrobikasvustoon viittaavia käyttäjillä ilmeneviä oireita ovat muun muassa silmien ja ylähengitysteiden ärsytysoireet ja tulehdukset, sekä väsymys, päänsärky ja selittämättömän nuha. Oireet ovat epäspesifisiä, eli ne voivat johtua myös muista syistä, kuin mikrobivauriosta. Mikrobivaurioiden aiheuttamalle oireilulle on kuitenkin tyypillistä, että oireet voimistuvat homevaurioituneissa tiloissa ja ne helpottuvat tai poistuvat tilasta lähdettäessä. Mikrobivaurioiden terveyshaittoja aiheuttavat mikrobien sisäilmassa liikkuvat itiöt ja aineenvaihduntatuotteet. [11, s. 22-23; 16, s. 10-11.]

Mikrobeja ja sieni-itiöitä voi tulla sisäilmaan muualtakin kuin kosteus- ja homevauriosta. Tällaisia lähteitä ovat ulkoilma, elintarvikkeet, polttopuut, lemmikkieläinten ruoat, sekä niiden kulkeutuminen rakennuksen ulkopuolelta eläinten ja vaatteiden mukana. [17, s. 158.]

2.2.2 Kosteusvaurion merkit

Kosteusvauriota voidaan epäillä, mikäli rakennuksessa on aikaisemmin ollut selvä kosteusvaurio, jota ei ole korjattu kunnolla, rakennuksessa on merkkejä kosteusvauriosta, näkyvää hometta tai selvä tunkkainen haju [1, s. 10].

Monet merkit rakenteissa ja rakennuksen käytössä viittaavat mahdolliseen kosteusvaurioon. Tällaisia merkkejä ovat

- kosteusläikät ja paikoittaiset tummumiset sisäpinnoitteissa
- pinnoitteiden, esimerkiksi tapettien, maalien ja sisustusmateriaalien irtoilu
- levyrakenteisten seinien ja kaapistojen sokkelien turpoaminen ja kupruilu
- ikkunoiden jatkuva huuruuntuminen
- tiiliverhous on ulkoapäin paikoin valkoinen jopa kesällä. [1, s. 11; 17, s. 150.]

Rakennuksen käytössä, muun muassa kylpyhuoneen pysyminen pitkään kosteana, vesimittarin pyöriminen hanojen sulkemisen jälkeen ja veden lisäämisen tarve lämminvesijärjestelmään viittaavat putkiston vuotovaurioon [1, s.11].

Mikrobikasvun tunnusmerkkejä ovat näkyvä kasvusto rakennusmateriaalien sisäpinnoilla, hajuhavainnot ja rakennuksen tai tilojen käyttäjien oireilu. Näkyvä kasvusto voi ilmetä materiaalien värimuutoksina tai kupruiluna sekä selvänä puuterimaisena, pölymäisenä tai pistemäisenä kasvustona materiaalien pinnalla. Mikrobivauriosta tyypillisesti lähtevää hajua kuvaillaan usein tunkkaiseksi ja varsinkin sädesienten aiheuttamaa hajua maakellarin hajuksi. Käyttäjien oireilua on käyty läpi aiemmin luvussa 2.2.1.[11, s. 19; 17, s. 148.]

3 Kosteusvaurion korjauksen suunnittelu

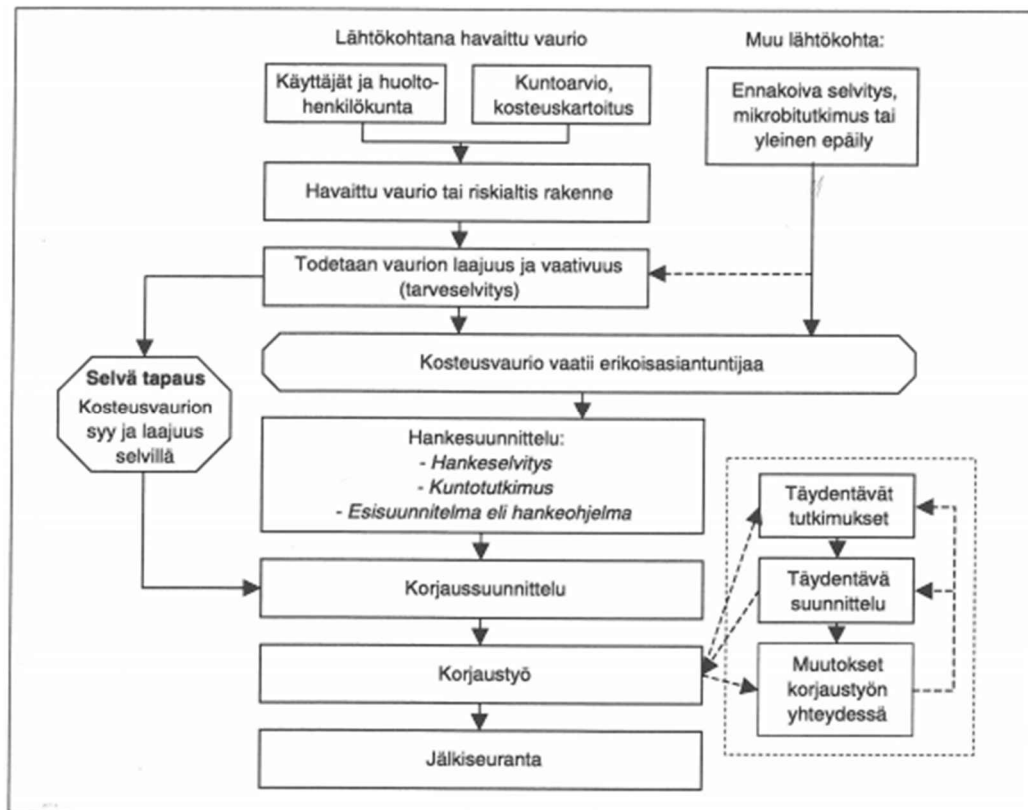
Rakennuksessa ilmenevät kosteus- ja homevauriot sekä käyttäjien oireilu viittaavat siihen, että rakennuksen rakennusfysikaalinen toiminta on puutteellista. Rakenteiden toiminnalliset virheet voivat johtua muun muassa seuraavista asioista:

- suunnittelun virheestä
- rakenteita ei ole toteutettu suunnitelmissa esitetyllä tavalla
- rakenteiden vanhenemisesta
- rakennuksen käytön, huollon ja kunnossapidot virheistä ja puutteesta
- rakennuksen tai sen osan käyttötavan muuttamisesta ilman, että on huomioitu uuden käyttötavan rakenteille aiheuttamia rasituksia. [3, s. 67.]

Home- ja kosteusvauriokorjauksessa haasteita ovat muun muassa mikrobikasvuston tai mikrobikasvustojen, sekä muiden epäpuhtauslähteiden löytäminen. Lisäksi on oleellista löytää oikeat korjausmenetelmät vaurioiden aiheuttamien sisäilmavaikutusten poistamiseksi, sekä selvittää miten kasvupesäkkeet tulevat varmimmin poistetuiksi ja vaurioituneet pinnat puhdistetuiksi. Korjaustyön suunnittelussa tulee myös miettiä vaurion aiheuttajan poistamista ja lopullisen toteutuksen laadun varmistamista, sekä laatu-kustannussuhteeltaan parasta toteutus tapaa. Korjaushankkeiden rakennusfysikaalinen suunnittelu on vaativaa varsinkin silloin, kun suunnittelu edellyttää muun muassa kosteusteknisen toiminnan muuttamista. [6, s. 20; 8, s. 135.]

Korjauksen suunnittelun yhteydessä tulee myös huomioida korjattavien rakenteiden ja taloteknisten järjestelmien vaikutus energiakulutukseen. Nykyinen lainsäädäntö velvoittaa korjaushankkeissa parantamaan rakennuksen energiatehokkuutta, jos korjaustyöt kohdistuvat näihin rakennusosiin ja mikäli siitä ei aiheudu kohtuuttomia kustannuksia.

Jokainen korjaushanke on oma kokonaisuutensa. Kosteusvaurioiden korjausprosessissa on kuitenkin tyypillistä eri vaiheiden päällekkäisyys ja limittyminen keskenään. Esimerkiksi rakenteiden tutkiminen ja korjauksen suunnittelu saattavat vaatia rakenteiden osittaista purkamista. Korjaushankkeessa on tärkeää, että rakennuttaja pystyy organisoimaan hankkeen siten, että hanke etenee järjestelmällisesti ja tarpeelliset tutkimukset ja tehtävät tulevat suoritetuksi. Normaalisti kosteusvaurion korjaushankkeen kulku etenee vaurion havaitsemisen jälkeen kuvan 6 mukaisesti. [2, s. 65-66.]

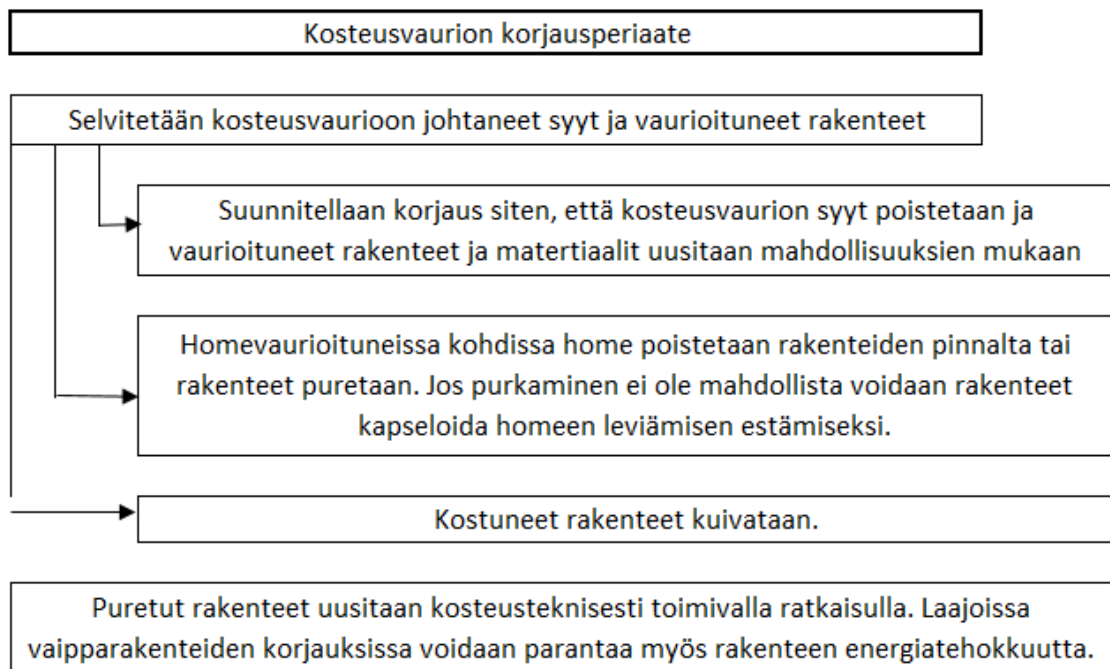


Kuva 6. Kosteus- ja homevaurion korjaushankkeen kulku [2, s. 65].

Suunnittelua edeltävät vaiheet, eli tarveselvitys ja hankesuunnittelu, luovat suunnittelun lähtökohdat. Tarveselvitysvaiheessa tulisi kerätä tietoa kohteen rakennetyypeistä, rasitusolosuhteista, korjaushistoriasta ja käyttäjien tarpeista. Lisäksi havaituista vaurioista ja kosteusongelmista tulisi arvioida sijainti, laajuus ja vakavuus sekä kirjata ylös myös havaitsemisajankohta. Hankesuunnitteluvaiheessa selvitetään kuntotutkimuksen avulla rakenteiden riskialttius, kunto ja korjaustarve. Tässä vaiheessa rakennuttajan tulee selvittää myös omat käyttötarpeet ja rahoitusmahdollisuudet ja niiden perusteella korjausten ajoittaminen. Aikataulukysymyksissä on kuitenkin hyvä huomioida, että korjaussuunnitteluun ja korjauksiin ryhtymistä ei tulisi pitkittää. Rakennuttajan olisi hyvä myös ottaa suunnittelijat mukaan jo hankesuunnitteluvaiheessa. [2, s. 66-70.]

Kosteusvaurion korjauksen suunnittelu alkaa vaurioiden syyn ja laajuuden selvittämisellä kuntotutkimuksen avulla. Vaurioiden synnyn ymmärtäminen on tärkeää suunnittelun kannalta, sillä harkitsemattomalla korjaussuunnittelulla ja korjauksella voidaan huonontaa tilannetta ja rakenteiden toimivuutta. [3, s. 102] Taulukossa 1 on kuvattu kosteusvauriokorjauksen periaatteita.

Taulukko 1. Kosteusvauriokorjauksen suunnittelun kulku [2, s. 82].

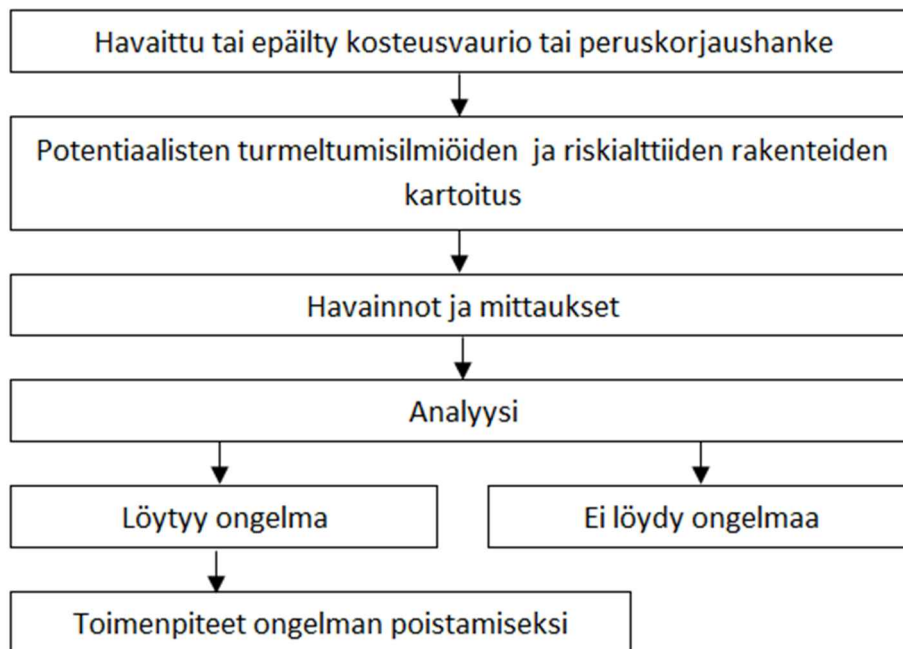


3.1 Suunnittelua tukevat tutkimukset

Korjaushankkeen alkuvaiheessa, osana hankesuunnitteluvaihetta, kohteessa on hyvä suorittaa kosteustekninen kuntotutkimus, jossa varmistetaan että hankkeen lähtötiedot ovat oikein. Samalla selvitetään rakenteiden suunnitelmien mukaisuus, mahdolliset riskirakenteet, mahdollisten vaurioiden esiintyminen, aste, eteneminen ja laajuus, sekä tarvittavat toimenpiteet vaurioiden poistamiseksi. Lisäksi kuntotutkimuksessa määritetään sopivia korjausperiaatteita. Kosteusteknisen kuntotutkimuksen suorittaminen auttaa myös projektin riskien hallinnassa. [2, s. 71 – 73; 11, s. 74.]

Tyypillisiä syitä ja lähtökohtia kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimukseen on useita. Tutkimuksen lähtökohtana voi olla tiedossa oleva äkillinen kosteusrasitus, esimerkiksi putkivuoto tai tiedetty olemassa oleva kosteus- tai homevaurio. Tutkimuksiin voidaan ryhtyä myös mikrobitutkimusten ja kuntoarvion tulosten tai yleisen kosteusvaurion epäilyn, esimerkiksi hajun ja oireiden, pohjalta. Joissain tapauksissa kosteus- ja homevauriotutkimus tehdään ennakoivana selvityksenä, jossa pyritään selvittämään mahdolliset piilossa olevat ja vasta alkuvaiheessa olevat kosteus- ja homevauriot. Ennakoivia tutkimuksia voidaan tehdä myös asuntokaupan yhteydessä. [3, s.

12; 6, s. 377-378.] Tyypillisen kosteusteknisen kuntotutkimuksen kulkua on havainnollistettu kuvassa 7.



Kuva 7. Kosteusteknisen kuntotutkimuksen periaatteellinen kulku [11, s. 74].

Ennen varsinaista kuntotutkimusta kohteesta on voitu tehdä kuntoarvio, jonka perusteella tehdään tarkempi arvio tutkimustarpeesta. Kuntoarviossa tarkastellaan rakennuksen kuntoa piirustusten ja käyttäjäkyselyjen, sekä rakenteita rikkomattomien tarkastusten ja mittausten avulla. Tavoitteena on selvittää pääasialliset home- ja kosteusvaurioituneet kohdat ja mahdolliset vaurioiden kannalta oleelliset jatkotutkimustoimenpiteet. Kuntoarvion tuloksena voi myös olla, ettei rakennuksessa ei ole mitään ongelmaa, vaan ilman tunkkaisuus voi johtua esimerkiksi liian vähäisestä ilmanvaihtuvuudesta. [8, s. 136-139.]

Jos kosteusvaurion syy ja sijainti on tiedossa, tulee tutkimuksessa selvittää vaurion laajuus ja mahdolliset korjaustavat. Kohde, jossa on epäily tai viitteitä kosteusvauriosta, vaatii laajempia vaurion sijaintia ja vaurioitumisastetta selvittäviä tutkimuksia. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimuksessa on hyvä käyttää luovasti ja monipuolisesti erilaisia tutkijan tuntemia ja tutkimuskohteeseen soveltuvia tutkimus- ja näytteenottomenetelmiä. Kuntotutkijan ei tulisi käyttää sellaisia mittaus- ja näytteenottomenetelmiä, joita hän ei itse osaa käyttää tai tulkita. Käyttäjäkysely on hyvä tehdä viimeistään tässä vaiheessa. [6, s. 378; 8, s. 137-138.]

Tutkimusohjelmaan tulisi kuulua riskirakenteiden kartoittaminen rakennuksen piirustusten pohjalta. Tutkimustoimenpiteitä tulisi tehdä vähintään näihin, homekasvun kannalta riskialttiisiin, rakenteisiin. Vaurioitumisriskin arvioinnissa tutkija arvioi rakenneratkaisujen ja detaljien rakennusfysikaalista toimivuutta, rakenteisiin kohdistuvia ilmastollisia tekijöitä ja rakennuksen käytön aiheuttamia rasituksia. Arvioinnissa otetaan myös huomioon rakennuksen ikä ja rakennusmateriaalien vanheneminen. [8, s. 138-140; 3, s. 67]

Rakenteiden kosteutta voidaan mitata pintakosteusmittarilla ja rakenteisiin jätettävillä, lämpö- ja kosteuskäyttäytymistä mittaavilla ja tietoja tallentavilla mittareilla, joilla saadaan parempi käsitys rakenteessa liikkuvan kosteuden määrästä. Huokosilman kosteus voidaan määrittää myös rakenteesta irrotetusta näytteenottopalasta. Kosteuden arvioinnin kannalta on siis tärkeämpää tietää rakenteen suhteellinen kosteus, eikä materiaalin sisältämää absoluuttista kosteutta. Lämpötilan mittaus kertoo, kuinka lähellä vesihöyryn tiivistymislämpötilaa ollaan. Lisäksi yksi kuntotutkimuksen oleellisimmista asioista, kosteusvaurioiden sijainnin selvittämisen lisäksi, on ilmapuotokohtien selvittäminen. [6, s. 381; 8, s. 138-140.]

Tutkimuksia täydennetään tarvittaessa laboratoriotutkimuksilla. Kuntotutkimuksen yhteydessä voidaan myös kartoittaa rakenteiden lämmöneristävyyttä ja mahdollisuutta lämmöneristävyuden parantamiseen korjaustöiden yhteydessä. [8, s. 138-140.]

Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimuksissa tehdään aina aluksi olosuhdemittaukset, eli mitataan ulko- ja sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus. Muut kohteen mittaus- ja tutkimuskohdat ja mittaustavat valitaan vauriotapauksen perusteella. Vaihtoehtoisia mittauskohтия ovat sisätiloihin rajoittuvat pinnat, rakenteiden sisäosat, tuuletetut rakenteet, rakennuspaikan maaperä, salaoja- ja sadevesijärjestelmät sekä muut erityiskohdat. Tehtävät mittaukset voidaan jaotella kenttä- ja laboratoriomittauksiin. Kenttämittauksissa tulokset saadaan heti mittauspaikalla kun taas laboratoriomittauksissa kohteesta otetaan näytteitä, jotka tutkitaan tarkemmin laboratorioolosuhteissa. [3, s. 19 - 25.] Tutkimuksen yhteydessä mitattavia rakennusfysikaalisia suureita on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimuksen yhteydessä mitattavat rakennusfysikaaliset suureet [3, s. 22].

Mitattava suure:	Mitä mitataan:
Ilman olosuhdemittaus	ulko- ja sisälämpötilat, ulko- ja sisäilman suhteellinen kosteus ja ilmavirtojen virtausnopeus ja suunta
Rakenteiden pintamittaukset	lämpötilat ja lämpötilajakaumat sekä pintakosteus
Lämpövuotokohdat	
Rakennuksen ja rakennusosien virtaustekninen käyttäytymien	rakennusvaipan ilmanpitävyys, painesuhteet, paine-erot rakenteen yli, ilmanvuotokohdat ja ilmanvaihtuvuus
Materiaalien kosteuspitoisuus	
Materiaalien kosteustekniset ominaisuudet	
Veden kapilaarinen nousukorkeus materiaalissa	maa-aineksen rakeisuus ja materiaalien diffuusiokertoimet
Mikrobitutkimukset	materiaalista, pinnalta ja ilmasta

Mikrobinäytteiden ja ilmanvaihdon, paine-erojen sekä ilmanvuotokohtien selvittämisen lisäksi kuntotutkimuksen kenttä- ja laboratoriotutkimuksiin kuuluu:

- rakennuksen ja rakenteiden järjestelmällinen aistinvarainen havainnointi,
- vesivuotojen ja muiden vaurioiden kartoittaminen,
- putkistojen vuototutkimukset,
- havaittuihin vaurioihin liittyvät mittaukset ja havainnoinnit,
- materiaalien tunnistus ja sopivuuden arviointi,
- haitta-ainetutkimukset, esimerkiksi asbesti, PCB, lyijy, kreosootti, VOC-MVOC- ja PAH-yhdisteet, formaldehydi [9, s. 196].

Rakenteiden vaurioiden kosteusmittauksen yhtenä ongelmana on löytää vauriokohdat ja kohdistaa kosteusmittaukset oikeille alueille. Todennäköisiä kosteita alueita ovat

- ulkoseinissä seinien alaosat, ikkunoiden, julkisivuihin tehtyjen kiinnitysten ja läpivientien liitoskohdat seinään, nurkat ja kulmat etenkin seinän yläosissa ja julkisivun saumarakenteet,
- perustuksissa sokkelihalkaisut ja sisäpuolelta lämmöneristetyt kellarinseinät,
- vesikatoilla ja yläpohjissa räystäsrakenteet, lovilla katoilla ylös nostot, liikuntasaumot ja kattokaivot. [12, s.98.]

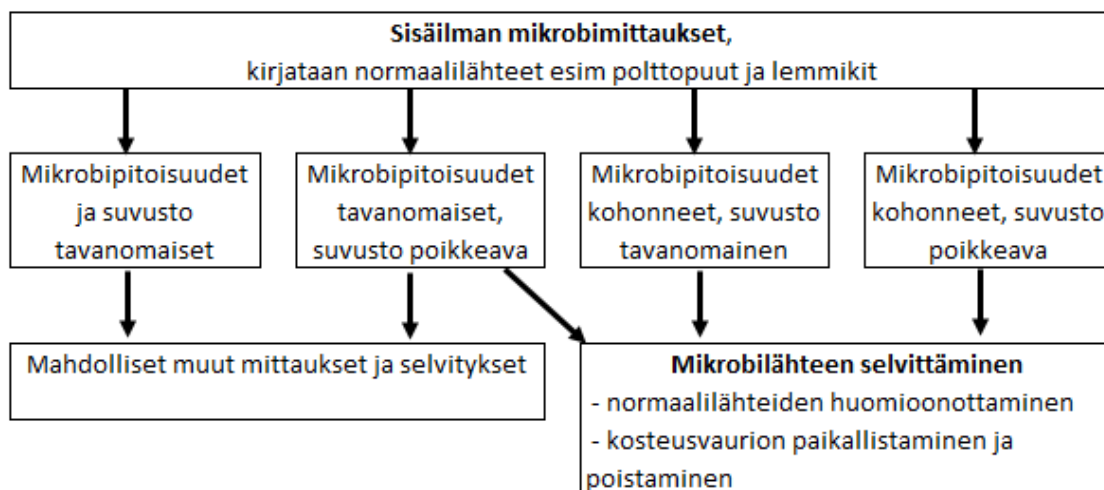
Homevaurio voidaan todeta mm. sisäilma-, pinta- tai materiaalinäytteen viljelymenetelmän analyysin perusteella. Jos näytteessä on niin sanottuja indikaattorilajeja, rakennuksessa esiintyy kosteusongelma, ellei indikaattorilajien esiintymistä näytteessä voida osoittaa johtuvaksi jostain muusta lähteestä. Indikaattorilajeilla tarkoitetaan mikrobeja, joita pitäisi esiintyä vain sellaisten rakennusten sisäilmassa, joissa ei ole kosteus- ja homeongelmaa. Kuvassa 8 on nimetty muutamia kosteusvaurioon viittaava mikrobeja. Asumisterveysoppaassa on listattu lisää indikaattorimikrobeja ja toksiineja tuottavia mikrobeja. [1, s. 5; 11, s. 23; 16, s. 70-71; 17, s. 172.]

Aspergillus fumigatus*	Phialophora	Trichoderma*	Fusarium*
Aspergillus versicolor*	Aktinomykeetit*	Stachybotrys*	Chaetomium*
*= mahdollisesti toksiineja tuottavia mikrobeja			

Kuva 8. Kosteusvaurioon viittaavia mikrobisukuja [11, s. 23; 17, s. 172.]

Sisäilmanäytettä käytetään apuna mikrobilähteen olemassaolon toteamiseksi. Ilmanäytteen ottaminen tulee yleensä kysymykseen, kun näkyvää vauriota tai selvää homeen hajua ei ole, mutta rakennuksen käyttäjillä on mikrobilähteisiin viittaavia oireita. Näytteen ottoon käytetään yleensä Andersen-keräimiä. [3, s. 24; 6, s. 383.]

Sisäilmanäyte olisi hyvä ottaa talviaikaan, kun maa on jäässä. Tällöin ulkoilman sienitiö- ja sädesienipitoisuudet ovat alhaisimmillaan. Sisäilmanäytteen tuloksen tulkinnassa on hyvä huomioida, että sisäilman mikrobipitoisuudet vaihtelevat paljon ajallisesti ja paikallisesti. Tuloksia analysoitaessa on myös tärkeää ymmärtää mikrobien käyttäytymistä. Sopivalla kasvualustalla olevat mikrobit eivät tuota paljoa itiöitä levittäytymiseen vaan ne kasvavat paikallaan. Tällöin sisäilmasta otetun ilmanäytteen mikrobipitoisuus saattaa olla alhainen, vaikka rakennuksessa on nähtävissä selviä mikrobikasvustoja. Myöskään sisäilmanäytteen alhainen mikrobitaso ei siis sulje pois kosteus- ja mikrobivaurion olemassaoloa. Kuvassa 9 on esitetty, miten mikrobipitoisuuksia voidaan tulkita. [3, s. 24-25; 6, s. 383; 17, s. 170.] Sisäilman terveellisyyteen ja sen puhtauteen vaikuttavat homeiden, bakteerien ja hiivojen lisäksi hiukkasmaiset ja kemialliset epäpuhtaudet, rakenteiden haitta-aineet ja ilmanvaihtojärjestelmän toimimattomuus [8, s. 135].



Kuva 9. Mikrobipitoisuuksien ja -suvuston huomioiminen sisäilmanäytteen mikrobituloksia tulkittaessa [17, s. 170].

Pinta- ja materiaalinäytteillä varmistetaan vauriokohdan mikrobikasvu ja mikrobilajisto. Koska home- hiiva- ja bakteerikasvustot eivät tyypillisesti ulotu materiaalin pintaa syvemmällä, pintanäyte otetaan rakenteen pinnalta joko steriilillä pumpulipuikolla pyyhkäisemällä tai teippinäytteenä. Pyyhkäisyinäyte analysoidaan yleensä kasvatusmenetelmällä laboratoriossa. Teippinäytteestä tutkitaan mikroskoopin avulla onko tutkitulla pinnalla mikrobikasvulle tyypillisiä itiöitä ja rihmastoja. Materiaalinäyte on rakennusmateriaalista otettu näytepala. Näyte tutkitaan laboratoriossa ja siitä määritellään mikrobipitoisuudet ja -lajisto joko viljelymenetelmällä tai pyyhkäisyelektronimikroskoopilla. Kosteusteknisessä kuntotutkimuksessa mikrobivaurion toteamiseksi on suositeltavaa ottaa pinta- ja materiaalinäytteitä. Näytteitä on myös suositeltavaa ottaa vaurion laajuudesta riippuen kahdesta viiteen näytettä. [3, s. 24; 17, s. 154-155.]

Uusimpia kosteusvaurioiden tutkimismenetelmiä ovat mikrobien DNA-analyysiin perustuva menetelmä ja mikrobien toksisuutta mittaava tutkimusmenetelmä. Näiden menetelmien tulosten analysointiin ja tulkintaan ei ole kuitenkaan vielä olemassa yleisesti käytössä olevia tai viranomaisten hyväksymiä viitearvoja. Niitä voidaan käyttää esimerkiksi muiden näytteenottomenetelmien kanssa rinnakkaismenetelmänä. [6, s. 382.]

Kuntotutkimuksessa on myös tärkeää tutkia ilmanvaihtojärjestelmä. Liian alhaisella teholla oleva koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä ei poista sisäilmaan normaalioloissa kertyviä epäpuhtauksia tarpeeksi. Liian suurella teholla oleva ilmanvaihto taas tekee rakennuksesta alipaineisen, jolloin korvausilmaa alkaa tulla myös hallitsemattomasti

rakenteiden läpi tuoden mukanaan rakenteissa mahdollisesti olevia mineraalivillakuituja, mikrobeja, toksiineja ja VOC-yhdisteitä. Varsinkin vanhoissa rakennuksissa korvausilman saanti tuloilmakanavien kautta on puutteellista. On myös hyvä ottaa huomioon, että homekasvusto voi sijaita itse IV-järjestelmässä, jolloin mikrobit leviävät helposti ympäri rakennusta. [8, s. 139.]

Kuntotutkimuksen perusteella tehdään kuntotutkimusraportti, jossa analysoidaan tuloksia ja tehdään johtopäätöksiä vaurioiden syistä ja vaurioasteesta. Tutkimustulosten arvioinnin yhteydessä tulee tarkastella tilan ja rakennuksen toimintaa kokonaisuutena ja arvioida kaikkia mahdollisia tutkimustuloksiin vaikuttavia tekijöitä. Raporttiin kuuluu myös kuntotutkijan ehdotus korjaustavoista ja suositus korjausaikataulusta. Korjauksista on myös hyvä mainita suuntaa antava kustannusarvio. [8, s. 140.]

Mittaustulosten merkityksen ja luotettavuuden arviointi sekä tulosten tulkinta vaatii ammattitaitoa. Kuntotutkija arvioi myös rakennuspaikan vaikutusta tutkimusten tuloksiin sekä homevaurioiden syy-seuraussuhdetta. Vanhoissa rakenteissa on usein homeelle suotuisat ravinne- ja lämpötilaolot, joten homevaurion kasvua voidaan rajoittaa vain kosteuslähteitä pienentämällä ja poistamalla. [8, s. 138.]

Jokainen kuntotutkimus on aina yksilöllinen. Tutkimuksen laajuus voi vaihdella yhden rakenteen tutkimisesta koko rakennuksen tutkimiseen. Jokaisen kosteusteknisen kuntotutkimuksen raportin eli tutkimusselostuksen olisi kuitenkin hyvä sisältää tutkimuksen ja kohteen yleistiedot, tutkimuksen tavoite ja rajaus, tutkimustoimenpiteet, havainnot ja mittaustulokset, tulosten analyysi ja yhteenveto sekä toimenpide-ehdotukset. Lisäksi tutkimusselostukseen liitetään mukaan laboratorio- ja kenttätutkimusten raportit. [11, s. 90.]

Joissain tapauksissa voidaan kuntoarvion tai kuntotutkimuksen pohjalta tehdä pikainen kustannuksiltaan edullinen ensikorjaus. Ensikorjauksen tavoite on vähentää terveysvaaraa alentamalla haitallisten mikrobien tasoa sisäilmassa ja siten lieventää rakennuksen käyttäjien oireilua ja altistusta mikrobeille. Näin saadaan lisää aikaa varsinaiselle korjaussuunnittelulle ilman, että rakennuksen käyttäjät joutuvat siirtymään muualle tai että heidän terveytensä vaarantuu. Tyypillisiä ensikorjaukseen sopivia toimenpiteitä ovat rakennuksen vaipan sisäpintojen ilmavuotokohtien sulkeminen ja tiivistäminen, kosteusrasitusten vähentäminen ja ilmanvaihdon säätäminen. Tehdyt työt dokumentoi-

daan tarkasti ja esimerkiksi tiivistystyöt voidaan tarkistaa lämpökameran avulla. [8, s. 136-141.]

3.2 Suunnittelussa huomioitavat asiat

Kosteusvaurion korjausta suunniteltaessa on mahdollisen kuntotutkimuksen lisäksi hyvä tutustua myös kohteen suunnitteluratkaisuihin. Kosteuden hallinnan ja mahdollisten kosteusvauriosyiden kannalta oleellisia tarkastettavia asioita ovat

- rakennuspaikan kuivatus,
- rakennuksen perustusten kosteudenhallinta
- rakennusvaipan toimivuus
- märkätilaratkaisuiden toimivuus ja taso
- talotekniset ratkaisut ja kalusteet. [8, s. 26-27.]

Rakennuspaikan kuivatusta tarkasteltaessa kiinnitetään huomiota tontin muotoihin, sade- ja sulamisvesien poistamiseen sekä tontin kasvillisuuteen. Maanpinnan tulisi olla muotoiltu siten, että maa viettää pois päin rakennuksesta. Suunnitelmista on myös tarkastettava kuinka salaojitus on toteutettu ja onko katolta tulevat vedet ohjattu ränneillä sadevesijärjestelmään. Myös rakennuksen sokkelin korkeus maanpinnasta vaikuttaa rakennuksen kosteusrasitukseen. Nykyään hyvänä sokkelin korkeutena pidetään vähintään 300 mm maanpinnan yläpuolella. Tontilla sijaitsevasta kasvillisuudesta tulisi tarkistaa, että se on tarpeeksi kaukana rakennuksen sokkelista ja etteivät suurten puiden ja pensaiden juuret pääse tukkimaan salaojitusjärjestelmää. Sopivana etäisyytenä sokkelista voidaan pitää puille ja pensaille yli kolmea metriä ja kukille yli yhtä metriä. [8, s. 26.]

Perustusten kosteudenhallinnan tarkastelussa kiinnitetään huomiota pohja- ja muiden vesien hallintaan sekä alapohjan sekä ulko- ja väliseiniä välisiin liitoksiin. Maaperässä liikkuvien vesien hallintaa tarkasteltaessa tulee selvittää onko rakennuksen perustusten ympärillä oikeanlaiset maakerrokset, esimerkiksi kapillaarikatko ja kallistukset alapohjan alla, sekä onko rakennuksen ympärillä ja alla toimiva salaojitusjärjestelmä. Alapohjan liittymiskohdissa ulko- ja väliseiniin tarkastellaan liitoksen toimivuutta lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan ja ilmatiiviyyden kannalta. [8, s. 26.]

Rakennusvaipan toiminnasta tarkastellaan vaipan rakenneratkaisuja lähinnä niiden lämpö- ja kosteusteknisen toimivuuden ja ilmatiivyyden kannalta. Nykyinen kunto voidaan lisäksi todeta käyttämällä apuna lämpökuvausta ja ilmatiiviysmittausta. Lisäksi suunnitelmaratkaisuista selvitetään katon vedenpoisto, yläpohjan riittävä tuuletus, räystäiden toimivuus sekä julkisivujen tuuletus. Rakenteissa tulee myös huomioida liitoskohtien detaljit, rakenteiden kuivumismahdollisuus ja rakennusmateriaalit. Näissä rakenteissa on myös hyvä huomioida materiaalien ikä, tehdyt huoltotoimenpiteet ja aiemmat korjaukset. [8, s. 26.]

Märkätilojen osalta tarkastellaan suunnitelmista rakenneyksityiskohtia, laatutasoa ja rakenneratkaisun toimivuutta. Märkätilojen osalta myös ilmanvaihto ja mahdollinen lattialämmitys vaikuttavat tilan kosteudenhallintaan. Märkätiloista on hyvä selvittää tehdyt korjaukset ja muutokset sekä näiden toimenpiteiden ajankohta. [8, s. 27.]

Edellä mainittuihin suunnitelmaratkaisuihin voidaan kiinnittää huomiota myös kuntotutkimusvaiheessa, kun epäilty kosteus- tai homevauriokohta ei ole tarkasti tiedossa. Suunnitelmista voidaan kartoittaa mahdolliset riskirakenteet, kosteusvaurion syy ja kosteuslähde sekä korjaustöiden yhteydessä muut suositeltavat korjaukset. Samoja asioita tarkkaillaan myös uudisrakentamisen kosteudenhallinnassa.

Hankesuunnitteluvaiheessa ja kuntotutkimusten pohjalta saatujen korjausvaihtoehtojen vertailussa huomioon otettavia toiminnalliseen ja tekniseen laatuun vaikuttavia seikkoja on esitetty kuvassa 10.

TOIMINNALLINEN LAATU	TEKNINEN LAATU
<ul style="list-style-type: none"> • Korjauksen aikataulu. • Korjauksen vaikutus kohteen käyttöön. • Mahdollisuus toteuttaa korjaus vaiheittain. • Mahdolliset liittyvät korjaukset ja rakennuksen muut korjaustarpeet, kuten <ul style="list-style-type: none"> – pihatyöt, istutukset, asfaltoinnit, – viemäröinti, salaojitus ja muu kaivutyö, – pintaremontit, – julkisivu- ja vesikattokorjaukset, – LVIS-järjestelmien korjaukset. • Kustannusarvio. • Elinkaarikustannukset. • Rahoitusmahdollisuudet. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tieto koko rakennuksen kunnosta. • Vaurioiden ja puutteiden korjaamisen kiireellisyys. • Vaurioiden tärkeysjärjestys. • Turvallisuus ja terveellisyys. • Vaurioiden eteneminen. • Kosteus- ja työtekniikan riskialttius. • Pitkäaikaiskestävyys. • Ratkaisujen tarkkailtavuus, huollettavuus, korjattavuus ja uusittavuus. • Lähtötietojen luotettavuus. • Mahdolliset muut riskitekijät.

Kuva 10. Korjausvaihtoehtojen vertailussa huomioon otettavat seikat [2, s.72].

Suunnittelussa on huomioitava muun muassa rakennusfysikaaliset tekijät, ulkoiset kosteuslähteet sekä aiempien kosteusvaurioiden aiheuttajat. Lisäksi suunnittelijan pitää arvioida tarvittavan korjauksen laajuus. Suunnitelmissa tulee myös huomioida rakennuksen muut rakenteet ja korjausten vaikutus rakennuksen toimintaa. Esimerkiksi, jos harvoja ja helposti ilmaa läpäiseviä vaipparakenteita päätetään tiivistää, tulee ilmanvaihdon korvausilman saanti varmistaa. Aiemmin rakenteista läpi päässyt ilma tulee korvata esimerkiksi säädettävillä tuloilma-aukoilla. Varsinkin koneellisen ilmanvaihdon kanssa rakennuksesta tulee muuten liian alipaineinen ja esimerkiksi alapohjan läpi kulkeutuva ilmaa saattaa tuoda mukanaan radon-kaasuja. [6, s. 48-52.]

Suunnittelun perustasoon kuuluu lämpö- ja kosteusteknisen suunnittelun osalta

- U-arvolaskelmat eli rakenteen lämmönläpäisevyyyslaskennan laatiminen
- Rakenneratkaisujen tarkistaminen rakennusmääräysten, hyvän rakennustavan, tuote- ja valmistajaohjeiden sekä mahdollisten referenssikohteiden perusteella
- Suunnitteluasiakirjoissa rakenteiden lämmön-, kosteuden- ja vedeneristysten tuoteluokkien, tuotetyyppien ja tuotenimien ilmoittaminen
- Liitosten ja läpivientien toteutuksen selvittäminen mm. höyry- ja ilmansulkujen sekä vedeneristysten osalta
- Rakennustyönäikaisen sääsuojauksen määrittäminen
- Käyttöä ja huoltoa koskevien ohjeiden ilmoittaminen [8, s. 30].

Suunnitelmia voidaan tarkentaa ja niiden laatu varmistaa muun muassa tarkastelemalla rakenneosiin liittyviä kosteusteknisiä rasiustekijöitä esimerkiksi laskennallisesti, suorittamalla kastepiste-, kosteudenkertymä- ja kuivumislaskelmat sekä määrittämällä rakennustyöaikaiset lämpötilan ja kosteudenhallinta menetelmät ja vaatimukset [8, s. 30].

Suunnitelmien sisällölle on asetettu vaatimuksia ympäristöministeriön asetuksessa 216/2015 Rakentamista koskevat suunnitelmat ja selvitykset. Asetuksessa on esitetty sisältövaatimuksia rakennuksen kunnosta laadituille selvityksille, purku- ja suojaussuunnitelmalle, kosteudenhallintasuunnitelmalle, sekä kosteusvaurion korjaussuunnitelmalle. [14.]

Jos kostuneita materiaaleja ei tarvitse tai ei voi vaihtaa, ne voidaan kuivata. Rakennesuunnittelija määrittelee kuivaustarpeen, laajuuden ja menetelmän. Rakenteet voivat

kuivua kolmella eri tavalla. Luonnollisesti kosteus poistuu materiaaleista haihtumalla. Haihtumista voi edistää tuomalla ilmatilaan kuivaa kylmää ulkoilmaa. Toinen vaihtoehto kuivattamiselle on käyttää sorptiokuivaajaa. Tässä menetelmässä kosteus imeytetään toiseen materiaaliin, joka imee kosteutta itseensä paremmin kuin kuivatettava materiaali. Kolmas vaihtoehto on jäähdyttää ympäröivää ilmaa, jolloin vesihöyry kondensoituu nesteeksi. Tämän jälkeen kuiva ilma lämmitetään, jolloin siihen voi sitoutua vesihöyryä uudelleen. Tässä menetelmässä ilma toimii kondenssikuivaajana. [1, s. 20.]

Rakenteiden kuivatusta voidaan tarkkailla pinta- ja rakennekosteusmittareilla. Tarkkailussa kiinnitetään huomiota siihen, että kuivatus suoritetaan riittävän tehokkailla laitteilla, kaikki kuivattavaksi tarkoitetut alueet kuivuvat ja tarpeetonta kuivatusta ei tapahdu. Kuivatuksen aikana on myös hyvä varmistaa, että kuivatettu kosteus pääsee siirtymään ulos. [2, s. 94.]

3.3 Rakenteiden rakennusfysikaalinen laskenta

Rakennuksen vaipparakenteita, eli alapohjaa, ulkoseiniä ja yläpohjaa uusittaessa voidaan rakenteiden kosteusteknistä toimintaa tarkastella laskennallisesti. Laskennallisessa mallissa uudesta rakenteesta tarkastellaan ideaalisen rakenneleikkauksen toimintaa. Laskennan tuloksiin vaikuttavat valittu lämpötila- ja kosteusrasitusolosuhteet sekä rakenteessa käytettyjen materiaalien ominaisuudet. [12, s. 14.]

Osa rakennusfysikaalisista suureista on helposti laskettavissa, mutta joihinkin ilmiöihin ja pitkän aikavälin tarkasteluihin on hyvä käyttää tietokoneohjelmia. Yleisiä käsin laskettavia rakennusfysikaalisia tarkasteluja on U-arvon eli rakenteen lämmönläpäisevyyden laskenta ja rakenteen kastepisteen sijainnin laskenta.

Laskennallinen analyysi antaa suunnittelijalle yleiskäsityksen rakenteen rakennusfysikaalisesta toiminnasta. Tärkeimpiä tarkasteltavia asioita ovat rakenteen U-arvo, rakenteen kuivumiskyky ja materiaalivalintoihin liittyvät riskit. [12, s. 22.]

Rakennusfysikaalisen laskentatarkastelun toteutukseen kuuluu:

- laskentatehtävän ja tarkasteluperiaatteiden määrittely
- toimintakriteerien ja niihin liittyvien raja-arvojen valinta
- ulko- ja sisäympäristön olosuhteiden määrittely
- laskentamenetelmän ja -ohjelman valinta
- materiaaliominaisuuksien määrittely
- tarkasteltavan rakenteen tai rakennuksen mallintaminen
- tarkasteltavien suureiden ratkaiseminen
- laskentatulosten analysointi [6, s. 55].

Laskentatehtävää määriteltäessä suunnittelijan tulee arvioida mitä tekijöitä laskennassa tulee ottaa huomioon. Keskeisiä osatekijöitä ovat ulkoympäristön ja sisäympäristön olosuhteet ja materiaaliominaisuudet. Laskennasta määritetään myös tarkasteltavat ilmiöt, joiden mukaan määritellään tarvittavat lähtötiedot, ja tulosten tarkkuus. Jos halutaan tutkia rakenteen vaurioitumisriskiä, tulee laskenta kohdistaa rakenteen kriittisimpään kohtaan ja valita vaurioitumisen kannalta kriittisimmät ulko- ja sisäolosuhteet. Rakenteiden määräystenmukaisuus voidaan kuitenkin osoittaa hyvinkin yksinkertaisilla rakennusfysikaalisilla tarkasteluilla, jotka voidaan toteuttaa käsinlaskentana. [6, s. 55-57.]

Rakennuksen ja rakenteiden toimintakriteerit kuvaavat erilaisia rakenteissa tapahtuvia ilmiöitä ja prosesseja, jotka aiheuttavat terveys- ja viihtyvyyshaittoja, rakenteiden vaurioitumista ja ulkonäköhaittoja. Toimintakriteerit voidaan luokitella kolmella tavalla: rakennuksen kokonaistoimintaa ja sisäilmastoa kuvaavat kriteerit, rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa kuvaavat kriteerit sekä materiaalien säilyvyyttä kuvaavat kriteerit. Taulukossa 3 on esitetty testivuosisissa tarkasteltavia olosuhteita rakenteiden toimintakriteerien mukaan. [6, s. 57.]

Taulukko 3. Kriittisten testivuosien valintaperusteita rakenteen toimintakriteerien perusteella [6, s. 58].

Toimintakriteeri	Testivuosien valintaperusteita
Kosteuden kondensoituminen	Korkea RH, sateinen sää, nopeat lämpötilavaihtelut, alhainen lämpötila, pilvettömät yöt
Homeen ja mikrobien kasvu	Korkea lämpötila ja RH, sateinen sää, pilvettömät yöt
Liimojen tartunnan pettäminen	Korkea RH, jäätyminen ja sulaminen
Kosteusmuodonmuutokset	RH:n suuri vaihtelu
Lämpötilamuodonmuutokset	Lämpötilan suuri vaihtelu
Vedon tunne	Tuulinen ja kylmä sää
Materiaalien emissiot, VOC	Korkea RH, sateinen sää

Rakenteelle voidaan asettaa samanaikaisesti useita toimintakriteerejä. Jokaista toimintakriteeriä ei kuitenkaan tarvitse laskea erikseen, sillä useat vauriot ovat kytköksissä toisiinsa. Yleensä riittää vain kriittisimpien toimintakriteerien tarkastelu. Esimerkiksi, jos rakenne toimii siten, että home- ja mikrobikasvua ei synny, voidaan päätellä, ettei liiallisesta kosteudesta ole vaaraa myöskään puun lahoamisen osalta. Tällöin voidaan myös olettaa, että kosteusmuodonmuutosten, materiaaliemissioiden ja liimojen tartunnan riski pienenee oleellisesti. Nämä kaikki rakenteiden vaurioitumismekanismit ovat siis kosteuden aiheuttamia. Eli kun saadaan laskennallisesti todettua, ettei rakenteessa ole tarpeeksi kosteutta mikrobikasvuston syntymiselle ei sitä ole tarpeeksi myöskään puun lahottamiseen tai materiaalien emissioiden suurentamiseen. [6, s. 58.]

Rakenteiden luotettavaan arviointiin tarvitaan rakennuksen ulko- ja sisäympäristön rakenteille kohdistamat rasitukset ja näiden rasitusten yhteisvaikutus ääriolosuhteissa. Ulkoympäristön olosuhteista voidaan esittää ilman lämpötila, suhteellinen kosteus, sade- ja tuulitiedot sekä auringon säteilytiedot tuntiarvoina. Kosteusteknisen riskin tarkastelussa useimmille rakenteille leuto ja sateinen vuosi kuvaa suurinta kosteusteknisen toimivuuden riskitilannetta rakenteille. Ulkoilman olosuhteiden vaikutusta tarkastellaan yleensä testivuosien avulla. [12, s. 15; 6, s. 57.]

Sisäilman olosuhteista laskentaan voidaan ilmoittaa sisäilman kosteuslisä, sisäilman lämpötila ja paine-erot sisä- ja ulkoilman välillä. Sisäilman kosteuslisä tarkoittaa sisä- ja ulkoilman vesihöyrypitoisuuden eroa, mikä johtuu rakennuksen käytöstä ja asumisen toiminnoista aiheutuvasta lisäkosteudesta. Sisäilman kosteuslisä eri rakennustyypeille ja rakenteille on esitetty standardissa SFS-EN 13788. Rakennukset suunnitellaan hie-

man alipaineiseksi. Uudelle rakenteelle alipaineen suositeltu arvo on korkeintaan viisi Pascalia (5 Pa). [6, s. 70-72.]

Rakenteiden rakennusfysikaalisen toiminnan laskentamenetelmään ja ohjelman valintaan vaikuttavat tarkastelukriteerit. Laskentatarkastelu voidaan tehdä joko vakioolosuhteissa eli stationääritilassa tai muuttuvissa olosuhteissa eli epästationääritilassa. Määräystenmukaisuuden osoittamiseen käytetään lähinnä stationäärisiä U-arvon ja energiakulutuksen laskentasovelluksia. Tarkemman suunnittelun yhteydessä käytetään yleisimmin ohjelmia, jotka laskevat rakenteille epästationäärisiä lämpötila- ja kosteusolosuhteita. [6, s. 73-74.]

Materiaaliominaisuuksista laskentaa varten määritetään tarvittavat suureet. Tärkeimpiä laskennallisessa tarkastelussa käytettyjä suureita ovat materiaalin ominaislämpökapasiteetti, lämmönjohtavuus ja lämmönvastus, pinnan säteilyominaisuudet, ilmanläpäisevyys, tasapainokosteus- ja ominaiskosteuskapasiteetti, vesihöyrynläpäisevyys, kapilaarisuusominaisuudet, kosteuden johtavuus sekä homehtumisominaisuudet. Kaikista materiaaleista edellä lueteltuja tietoja ei aina ole saatavilla, minkä lisäksi materiaaliominaisuudet vaihtelevat tiheyden, lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja iän mukaan. [6, s. 81.]

Kun rakenteesta ja siihen vaikuttavista rasituksista on saatu oleellinen tieto, voidaan tarkasteltava rakenne tai rakennus mallintaa ja laskennan tulokset analysoida. Rakenteiden yksityiskohtaisen kuvaamisen tarkkuus riippuu valitusta laskentaohjelmasta. Esimerkiksi hyvin ohuet rakennekerrokset ja vinot rakenteet ovat usein hankalia mallintaa. Laskennassa käyttötilannetta tarkastellaan vuoden pituisissa jaksoissa. Riittävän pitkän laskentajakson pituus saadaan vertaamalla testivuotia toisiinsa. Laskentajakso on tarpeeksi pitkä, kun peräkkäisten vuosien välillä ei ole merkittäviä muutoksia. [6, s.82.]

3.4 Laadunvarmistus ja laatuun vaikuttavat tekijät

Korjaus- ja uudisrakentamisen laadunhallinnassa on paljon samanlaisia vaiheita. Mo-lemmissa pitää suunnitteluvaiheessa miettiä rakenteiden toimintaa ja kosteusteknistä käyttäytymistä, minimoida suunnitteluratkaisuilla kosteusrasitus ja varmistaa rakenteiden kuivuminen. Rakentamisvaiheessa korjaus- ja uudisrakentamisessa samanlaisia

piirteitä laadun kannalta ovat esimerkiksi työmaan olosuhdehallinta, rakennusaikaisen kosteuden hallinta ja työvirheiden määrän minimointi. Korjausrakentamisessa lopputuloksen laatuun vaikuttaa vahvasti yksi vaihe, jota uudisrakentamisessa ei ole, nimittäin kuntotutkimus. Projektin laatu on vain yhtä hyvä kuin sen heikoimman lenkin laatu.

Kosteusteknisessä kuntotutkimuksessa laadusta vastaa ensisijaisesti kuntotutkija. Lisäksi tutkimustulosten laatuun ja tulosten luotettavuuteen ja vaiheen laadunvarmistukseen vaikuttavat kuntotutkimuksen tavoite ja rajaukset, riskien ja epävarmuustekijöiden tiedostaminen tutkimusten alkuvaiheessa sekä kenttätutkimus- ja näytteenottovaiheessa. Tutkimuksen laatua rajoittaa myös otettujen näytteiden määrä. Yleensä kuntotutkija ehdottaa tutkimussuunnitelmassa näytemäärää huomioiden samanaikaisesti kustannukset ja kuntotutkimuksen tuloksen luotettavuusasteen. [11, s. 76, 92.]

Suunnitteluvaiheessa suunnitelmia pyritään kehittämään laadullisesti sekä tarkastellaan toteutuksen kokonaiskustannusten, eli hankinta- ja ylläpitokustannusten suhdetta käyttöikään. Suunnittelun laadussa tulee lisäksi kiinnittää huomiota rakenteen toimivuuteen ja korjausmateriaalien sopivuuteen. Suunnitelmien laatuun vaikuttavat hankkeen aiempien vaiheiden laadun lisäksi tilaajan asettamat tavoitteet ja vaatimukset, suunnittelijoiden pätevyys, suunnittelijoiden kyky arvioida korjausratkaisujen rakennusfysikaalista toimintaa ja työtekniistä toteutettavuutta. Laadukkaan suunnittelun edellytyksiä on esitetty taulukossa 4. [2, s. 78-79.]

Taulukko 4. Ennen korjaussuunnittelun aloittamista vaadittavat edellytykset [2, s. 81].

ONNISTUNEEN SUUNNITTELUN EDELITYKSET

- Lähtötietojen riittävyys ja oikeellisuus .
- Oikean korjausperiaatteen valinta.
- Hankesuunnittelun alussa tehtyjä kuntotutkimuksia täydennetään tarvittaessa rakennesuunnittelun vaatimaan tarkkuustasoon.
- Hankesuunnitteluvaiheessa tehtyjä mittauksia täydennetään tarvittavin osin.
- Varataan suunnitteluun riittävästi aikaa ja resursseja.
- Tehdään tarvittavat koekorjaukset niin hyvissä ajoin ja laajoina, että urakkalaskennassa olevia perusratkaisuja ei tarvitse muuttaa urakkasopimuksen jälkeen.

Vastaavan rakennesuunnittelijan vastuualueet kosteudenhallinnan laadunvarmistuksessa koskevat yleensä rakennesuunnitelmien laatua, omalta osaltaan muille suunnittelijoille annettavien lähtötietojen riittävyttä, kosteudenhallinnan riskien arviointia ja kosteudenhallintasuunnitelman laadinnan koordinoitua. Lisäksi vastaava rakennesuunnittelija osallistuu työmaa- ja tuotantotarkastuksiin tarvittavassa ja sovitussa laajuudessa. Rakennesuunnitelmien laadun puolesta rakennesuunnittelija vastaa rakenneteknisestä laadusta, rakennesuunnitelmien kattavuudesta ja yhteensopivuudesta vanhojen rakenteiden ja toistensa kanssa. [8, s.44.]

Rakentamisvaiheessa työn laatuun vaikuttavat muun muassa korjaustyön ohjaus, valvonta ja tarkastus; suunnitelmien selkeys ja toteutettavuus, sekä työsuorituksia valmistelevat toimenpiteet, esimerkiksi aloituskatselmus, tiedotukset ja laatusuunnitelma. Työsuoritusten laatuun vaikuttavat materiaalien käsittely ja varastointi, työskentelyolosuhteet, työaikainen suojaus, sekä työtavat ja välineet. [2, s.87-88.]

3.5 Korjauksen laadunvarmistustoimenpiteet ja -kokeet

Kosteusvauriokorjausprojektin laadunvarmistus voidaan jakaa projektin vaiheiden ja tarkasteltavien kriteerien ja rakennusfysikaalisten ilmiöiden mukaan. Projektia voidaan tarkastella esimerkiksi neljässä eri vaiheessa: ennen korjaustyön aloittamista, korjaustyön aikana, käyttöönottovaihe, rakennuksen käyttövaihe.

Ennen korjaustyön aloittamista

Ennen korjaustyön aloittamista on hyvä tarkastaa lähtötietojen oikeellisuus, esimerkiksi rakenteiden todelliset materiaalit ja niiden paksuudet. Lisäksi korjauksen laadunvarmistuksen kannalta on hyvä määrittää selkeät vaatimukset korjauksen lopputulokselle ja tehdä kohteelle kosteudenhallinta suunnitelma.

Kosteudenhallintasuunnitelmassa käydään läpi

- kosteusriskien kartoitus
- rakenteiden kuivumisaika-arviot
- työmaaolosuhteiden hallintasuunnitelmat
- kosteusmittaussuunnitelmat
- organisoinnin, seurannan ja valvonnan järjestäminen [13].

Kosteusmittaussuunnitelmassa määritetään, mitä mittauksia kohteessa tehdään, mittausmenetelmät ja laitteistot, mittaustyön tekijä, sekä mittausten aikataulu, laajuus ja mittauspisteiden sijainti [13].

Korjaustyön laatusuunnitelma voidaan tehdä joko suunnitteluvaiheessa tai työn aloitusvaiheessa. Laatusuunnitelmaan kirjataan hankkeen menettelytavat, riskit ja laadunvarmistustoimenpiteet. Laatusuunnitelmassa käydään läpi projektin osapuolten vastuut ja menettelytavat, laadunvarmistustoimenpiteet (esimerkiksi katselmukset ja tehtävät mittaukset), projektin toimintoja, joilla varmistetaan hankkeen sujuvuus (esimerkiksi vaiheiden rajapintojen hallinta ja tiedonkulku), sekä lisäksi kiinteistön käyttäjiä koskevat asiat. [2, s.17-19.]

Korjaustyön aikana

Korjauksen lopputuloksen laadun kannalta on erittäin tärkeää, että korjaussuunnitelmia tarkennetaan purku- ja korjaustyön yhteydessä. Purkutöiden aikana saadaan selville rakenteiden todellinen kunto ja se, miten rakenne on toteutettu. Samalla voidaan myös tarkistaa onko vaurioitunut alue todellisuudessa oletettua suurempi vai riittääkö suunniteltu purku- ja korjaustyön laajuus. [2, s.88.]

Rakentamisvaiheen laadunvarmistuksen pääkohtia ovat

- työmenetelmien suunnittelu vaadittujen laatuvaatimusten ja laadunvarmistustoimenpiteiden pohjalta
- työvaiheiden aloituskokoukset ja katselmukset
- työsuoritusten ja materiaalien laadun toteaminen vaatimusten mukaisesti
- työvaiheiden tarkastukset, mittaukset ja kokeet
- valvonta.

Aloituskokouksessa ja työvaiheiden katselmuksissa tarkastetaan muun muassa työvaiheen aloituksen edellytykset, hyväksytään mallityöt, työmenetelmät, materiaalit ja työvaiheiden toteutuksen laatu, sekä tarkastetaan hankeen aikataulu. [2, s.95.]

Rakennustyön yhtenä laatukriteerinä on myös työmaa-alueen eristäminen muusta rakennuksesta, sekä korjaustyön jälkeinen siivous. Kosteus- ja homevauriokorjauksen, ja varsinkin purkutöiden, yhteydessä rakenteista irtoaa paljon mikrobeja. Pinnoille kertynyt pöly lähtee liikkeelle, kun rakennusta aletaan taas käyttää. Tämä samalla ilman mikrobipitoisuuden kohoamista ja siksi korjaustöiden jälkeisessä loppusiivouksessa kaikki pinnat tulee puhdistaa imuroimalla HEPA-suodattimella varustetulla imurilla ja nihkeäpyyhinnällä. [2, s.94.]

Rakennuksen käyttöönotto- ja käyttövaihe

Uuden vaipparakenteen kohdalla voidaan määrittää urakkaan käyttöönottovaiheessa tehtäviä käyttöönottokokeita. Tällaisia kokeita ovat ulkovaipan ilmanpitävyys, lämpökuvaus ja savukokeet, ilmanvaihdon tasapainotus painesuhteiden hallitsemiseksi ja korkeiden tilojen painesuhteiden tarkastus. Rakennuksen käyttöön ja ylläpitoon kuuluvat muun muassa rakenteiden määräaikaisten silmämääräiset tarkastukset, rakenteiden vaurioitumisen ja toimivuuden seuranta sekä lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien suunnitellun mukaisen toiminnan varmistus. [12, s.116.]

Korjauksen onnistumista arvioidaan yleensä pitkäaikaisella rakennuksen kunnon seurannalla. Alustavia tuloksia korjauksen onnistumisesta saadaan muutama kuukausi valmistumisen jälkeen. Onnistumista arvioidaan rakenneteknisillä selvityksillä, rakenteiden ja olosuhteiden mittauksilla ja tapauskohtaisesti myös mikrobimittauksilla. Kor-

jauksen onnistumista voidaan myös arvioida käyttäjien oireilun seurannalla. Oireilupe-
rusteisen arvioinnin yhteydessä on hyvä muistaa, että yksittäisen henkilön oireet eivät
välttämättä poistu, vaikka korjaus olisikin onnistunut. [2, s.91.]

Korjausten onnistumisen kannalta tärkeitä vaiheita ovat

- vaurioituneiden materiaalien riittävän laaja-alainen poisto
- kostuneiden rakenteiden riittävä kuivatus
- vaurioiden syiden löytäminen
- oikean korjaustavan valinta [2, s.91].

Rakennuksen omistajalle tehdään korjauksiin liittyvistä rakenteista huoltokirja, johon
suunnittelijat määrittelevät rakenteiden huolto- ja tarkastusvälit sekä pitkäaikaiskestä-
vyyden ja vaurion uusiutumisen ehkäisemisen kannalta oleelliset tiedot. Lisäksi,
varsinkin riskialttiita korjaustapoja käytettäessä, korjaustyön valmistumisesta alkaa
jälkiseurantavaihe. Jälkiseuranta voidaan toteuttaa joko asentamalla korjattuun raken-
teeseen seuranta- ja hälytyslaitteita tai tekemällä rakenteisiin määräajoin tarkastuksia,
katselmuksia, mittauksia ja tutkimuksia. Tapauksissa, joissa kosteusvaurio on aiheut-
tanut käyttäjien oireilua, voidaan myös tarkkailla oireilujen vähentymistä. Kuvassa 11
on esitetty korjaustyön vastaanoton ja rakennuksen käyttöönoton jälkeisiä tehtäviä ja
rakennuksen laatuun vaikuttavia asioita. [2, s.96-99.]



Kuva 11. Kosteusvauriokorjatun rakennuksen käyttövaiheessa laatuun vaikuttavat asiat [2, s.96].

4 Swecon nykyinen laadunvarmistuksen toimintatapa

Swecon nykyinen projektinhallinta ja johtamisjärjestelmä sweco@work on luotu lähinnä uudisrakentamisen projekteja varten. Järjestelmä jakaa hankkeen viiteen vaiheeseen, joissa jokaisessa kerrotaan vaiheen tarkoitus ja vaiheesta dokumentoitavat asiakirjat. Järjestelmä on luotu hankkeen kokonaisvaltaiseen hallintaan, jossa laadunvarmistuksen osuus on vain pieni osa kokonaisuutta.

Projektinhallintajärjestelmän yhtenä tarkoituksena on myös helpottaa Swecon eri toiminta-alueiden yhteistyötä ja yhtenäistää toimintatapoja. Järjestelmässä on erivaiheisiin soveltuvia asiakirjapohjia, sekä projektin hallintaa ja toteutusta auttavia ohjeita. Muun muassa rakennesuunnittelulle on valvontavaiheeseen luotu tarkastuslistoja esimerkiksi rakennetyyppien, detaljien ja paikallavalupiirustusten tarkastamiseen.

Sweco@work lähtee laadunvarmistuksessa liikkeelle jo tarjouksen teko vaiheessa, jolloin tehdään hankkeen riskianalyysi. Hanketta tarkkaillaan järjestelmässä aina kohteen luovutukseen asti. Toimeksiannon suunnittelussa käydään läpi muun muassa hankkeen laajuus, riskien hallinta, aikataulut, valvonta ja tarkastukset sekä virheiden ja poikkeamien hallinta. Kyseinen toimeksiannon suunnitelma käsittelee valvonnassa ja tarkastuksissa vain suunnittelijan oman työn laadunhallintaa.

Sweco@work-järjestelmään on luotu myös yksi vaihe valvonnalle. Tämän vaiheen alta löytyy ohjeita rakennesuunnittelijalle ja valvojalle sekä tarkastuslistoja omien suunnitelmien sekä työmaan toteutusten tarkastamiseen. Tämän vaiheen ohjeet tukevat pääasiassa oman työn laadunvarmistusta.

Sweco@work-projektinhallintajärjestelmä on sertifioitu standardien ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 ja OHSAS 18001 mukaisesti, joista ISO 9001 standardi määrittää laadunhallintajärjestelmän vaatimukset. Nämä laatuvaatimuksen kuitenkin käsittävät projektin kokonaisvaltaisen laadunhallinnan, joka on paljon laajempi kuin tyypillisen korjaushankkeen laadunvarmistus.

Kyseinen järjestelmä on laaja ja sen avulla varmistetaan, että kaikki tarvittavat vaiheet ja selvitykset on tehty. Järjestelmä on kuitenkin sopiva lähinnä vain isoille uudiskohteille ja sen käyttäminen pienempien korjauskohteiden kanssa on hyvin aikaa vievää. Jär-

jestelmällä ei myöskään saada luotua helposti kokonaiskuvaa projektin etenemisestä ja laadunvarmistuksen linkittymisestä eri vaiheiden välillä.

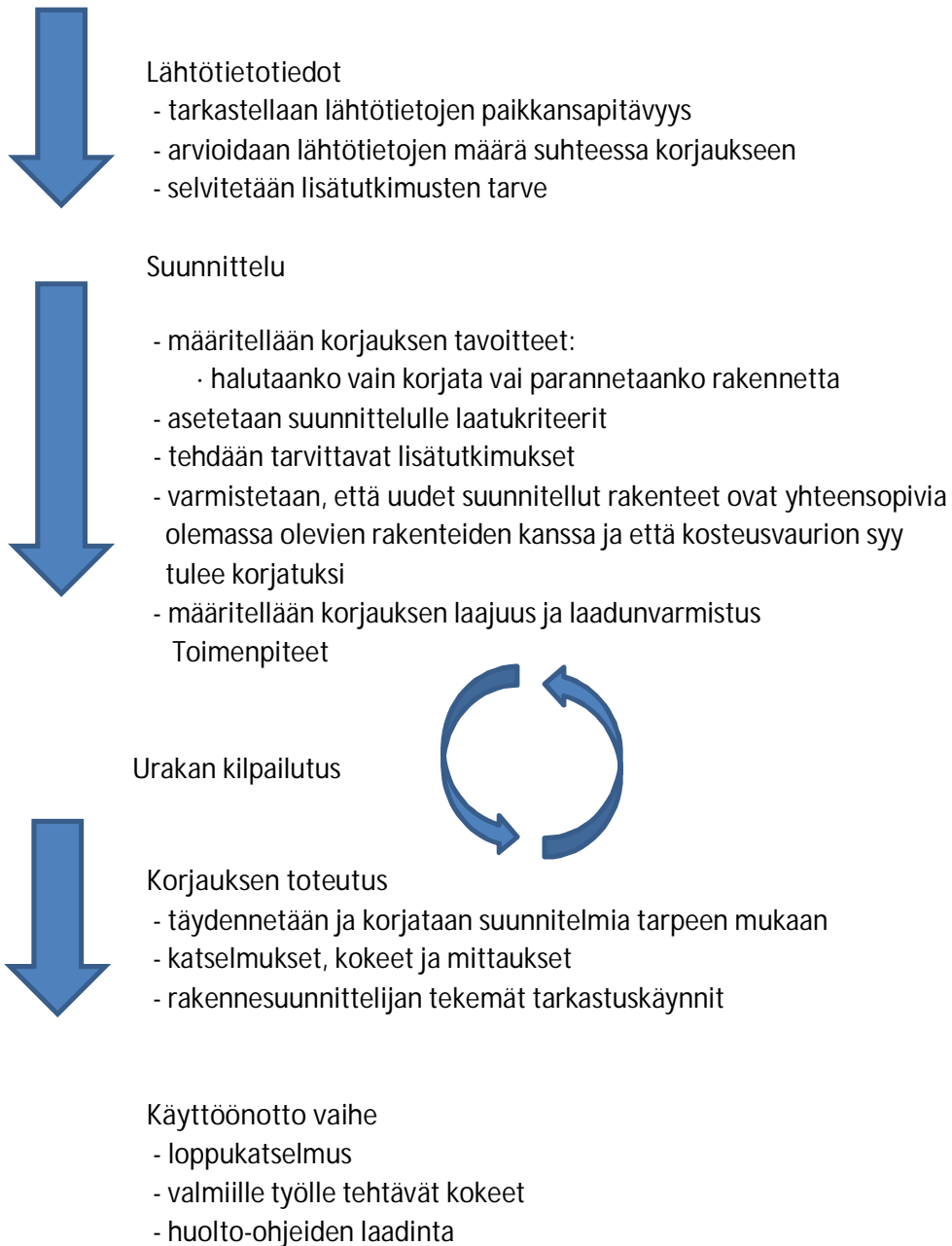
5 Kehitysehdotukset

Korjaushankkeiden koko saattaa vaihdella pienestä paikkakorjauksesta aina suuriin koko rakennusta koskeviin korjauksiin esimerkiksi julkisivujen korjaus. Rakennesuunnittelijan rooli riippuu hankkeen luonteesta, eli kohdistuuko korjaus rakenteisiin vai esimerkiksi talotekniikkaan. Tässä esitetyissä kehitysehdotuksissa tarkastellaan lähtökohteisesti rakenteellisia korjauksia ja niiden laadunvarmistuksen suunnitelmallisuuden parantamista.

Korjaussuunnittelun kannalta projektinhallintaa ja laadunvarmistusta olisi parempi tarkastella jatkuvana projektina, joka jaetaan neljään vaiheeseen. Nämä vaiheet ovat lähtötietojen hankinta ja tarkastelu, varsinainen suunnitteluvaihe, korjaustyön yhteydessä tehtävä täydentävä suunnittelu, sekä käyttöönoton yhteydessä viimeiset tarkastukset ja huolto-ohjeen laadinta. Näissä vaiheissa huomioitavia asioita on esitetty kuviossa 1.

Hanke olisi hyvä käydä läpi esimerkiksi yllä esitetyn kuvion mukaisesti jo ennen suunnittelun aloitusta. Jokaiseen vaiheeseen voidaan täydentää hankkeen luonteesta riippuen kyseisessä vaiheessa huomioitavat tekijät sekä kriittiset työvaiheet. Tavoitteena on saada kokonaiskuva hankkeen kulusta, sekä samalla luoda eräänlainen muistilista rakennesuunnittelijalle tärkeistä asioista. Tätä muistilistaa voidaan myös tarkentaa ja täydentää hankkeen edetessä.

SUUNNITTELUN VAIHEET



Kuvio 1. Kosteusvauriokorjauksen suunnittelun vaiheet ja näissä vaiheissa huomioitavat asiat.

Lähtötietojen tarkastusvaiheeseen voidaan tehdä merkintöjä esimerkiksi kuntotutkimuksen huomioista, kosteusvaurion aiheuttajasta, sekä vaurion todetusta tai epäilystä laajuudesta.

Kohteeseen mahdollisesti tehdystä kuntotutkimuksesta saadaan hyviä lähtötietoja suunnittelua varten. Kuntotutkimusraportista on kuitenkin hyvä tarkastaa milloin tutkimus on tehty, onko tutkimuksessa avattu rakenteita ja kohdistuuko tutkimus vain yh-

teen alueeseen rakennuksessa, esimerkiksi johonkin huoneeseen, vai koko rakennukseen. Samalla voidaan myös kirjata ylös, onko kuntotutkimuksessa tehty mikrobitutkimuksia ja onko rakenteista löydetty toksiinisia mikrobeja. Mikäli tutkimuksesta on kulu-
nut vuosia, on suunnittelijan syytä tehdä tarkastuskäynti ja mahdollisia lisätutkimuksia kohteeseen. Jos kuntotutkimusraportissa todetaan, että kohteesta otetuista näytteistä on löydetty toksiinisia mikrobeja, tulee tämä asia huomioida työsuoritusten, työmaan eristämisen ja työmaan puhdistuksen suunnittelussa.

Suunnitteluvaiheeseen voidaan kirjata erilaiset korjausvaihtoehdot ja -menetelmät, sekä suunnittelussa ja toteutuksessa noudatettavat ohjeet ja standardit. Suunnittelun edetessä voidaan myös kirjata ylös huolellista toteutusta vaativat vaiheet ja rakenteet.

Suunnitteluvaiheeseen on hyvä myös arvioida mahdolliset riskirakenteet. Rakennesuunnittelijan tulee arvioida rakenteiden riskialttius sekä tarvittaessa tehdä rakennusfysikaalinen tarkastelu laskemalla tai rakennusfysikaalisella simulointiohjelmalla. Suunnittelijan on hyvä myös tarkastaa oman työnsä laatua ja kirjata rakenteellisesti tärkeitä asioita, jotka on hyvä tarkastaa valmiista suunnitelmista.

Suunnittelun alussa on tiedettävä korjattavat rakenteet ja vaurion aiheuttaja. Varsinkin suuremmissa kosteusvauriokorjaushankkeissa voidaan suunnittelu vaihe myös jakaa näihin kahteen osaan.

Korjattavan rakenteen rakennesuunnitelmista on hyvä myös arvioida tehtyjä rakenne-
materiaalivalintoja. Valmiista suunnitelmista on hyvä tarkastaa ainakin, onko suunnitelmissa huomioitu korjatun rakenteen

- materiaalien tiheyden harveneminen ulospäin
- vesi-, vesihöyry- ja ilmatiiveys
- tuulettavuus ja kosteuden haihtumismahdollisuus
- mahdollisesti muodostuvat kylmäsillat
- liitoskohtien tiiveys ja yhteensopivuus vanhoihin rakenteisiin.

Rakenteesta olisi myös hyvä tarkastella kosteuden kertymistä rakenteen sisään laskennallisesti tai käyttämällä hyväksi simulointiohjelmia. Suunnittelijan on myös hyvä tarkastaa korjaustyöselostuksen sisältö. Työselostuksen olisi hyvä sisältää ainakin tiedot korjauksen laajuudesta, mahdollisista mallitöistä ja tarkastuksista työn aikana, sekä urakoitsijalle kuuluvista toimenpiteistä ennen korjauksen aloittamista. Tällaisia urakoitsijalle usein kuuluvia tehtäviä on esimerkiksi kosteudenhallintasuunnitelman laatiminen.

Suunnitteluvaiheen tarkastuksissa voidaan hyödyntää Sweco konsernin nykyisiä tarkastuslistoja. Tässä vaiheessa on hyvä myös tarkastaa lähtötiedoista tehdyt muistiinpanot ja verrata niitä suunnitelmissa ajateltuihin lähtökohtiin.

Korjausvaiheeseen on hyvä kirjata vaaditut tarkastukset ja katselmukset. Lisäksi suunnittelija voi kirjata tähän toivomansa työnaikaiset laadunvarmistustoimenpiteet. Ennakoon mietityt toimenpiteet käydään läpi rakennuttajan kanssa urakkatarjouspyyntöjen laadinnassa, jolloin päätetään mitä laadunvarmistustoimenpiteitä päädytään käyttämään.

Projektin kokonaiskatsauksesta on hyötyä muun muassa siinä, kun halutaan tarkentaa suunnitelmia purkutöiden edetessä. Lähtötietojen arvioinnilla saadaan käsitys tarkennettavista rakenteista ja kun tämä tieto ilmoitetaan työmaalle myös työmaa osaa varautua kyseisen rakenteen avauksessa mahdollisesti ilmeneviin yllätyksiin.

Käyttöönottovaiheessa rakennukselle tehdään viimeiset kokeet ja työ todetaan hyväksytyksi. Tässä vaiheessa tehtäviä laadunvarmistuskokeita ovat muun muassa tiiveyskokeet, lämpökuvaukset ja kosteusmittaukset.

Rakennuksen käyttövaihe on laadunvarmistuksessa lähinnä seurantaa. Tähän voidaan käyttää apuna esimerkiksi rakenteisiin asennettavia kosteutta mittaavia ja hälyttäviä antureita. Käyttövaiheessa on tärkeää myös huollon oikeanlainen ohjeistus korjatun alueen seurannasta sekä tehtävistä huolto ja hoito toimenpiteistä.

Suunnitteluvaiheiden jaottelun rinnalle on hyvä tuoda vaiheiden laadunvarmistussuunnitelma. Suunnittelija arvioi vaiheiden, suunnitelmien ja toteutuksen riskit ja onnistumisen tärkeyden ja määrittää näille tarvittavat laadunvarmistus toimenpiteet.

Jokainen korjaushanke on oma kokonaisuutensa, joten tarvittavat laadunvarmistus toimenpiteet tulee arvioida kohdekohtaisesti. Usein myös erilaisten kokeiden kustannukset vaikuttavat siihen, voidaanko tai haluttaanko niitä toteuttaa. Taulukoon 5 on kerätty esimerkkejä projektin laadunhallinta- ja -varmistustoimenpiteitä.

Taulukossa 5 hanke on jaettu samoihin vaiheisiin kuin luvussa 3.5. Jokaiselle vaiheelle merkataan tarvittavat ja suositeltavat laadunvarmistustoimenpiteet sekä hankkeen ja toteutuksen laatua parantavat rakennesuunnittelijan tehtävät. Taulukkoon voi myös lisätä toimenpiteelle sopivat viranomaisohjeet ja määräykset.

Tilaaajan kanssa yhdessä sovitut laadunvarmistustoimenpiteet ilmoitetaan yleensä työ- ja purkuselostuksessa. Näihin selostuksiin kirjataan ylös myös noudatettavat määräykset, asetukset ja ohjeet. Kaikki mahdolliset urakoitsijalle kuuluvat kokeet sekä mallityö suoritukset on kirjoitettava ylös selkeästi, jottei niistä tule kiistaa myöhemmässä vaiheessa. Suunnittelijan on myös huomioitava, etteivät työselostukset ja muut suunnitelmat saa olla ristiriidassa toistensa kanssa.

Laadunvarmistus toimenpiteistä on hyvä huomioida, että osa soveltuu rakenteilla oleviin rakenteisiin ja osa tehdään vasta rakennuksen valmistuttua. Tärkeimpiä ja käytetyimpiä laadunvarmistustoimenpiteitä ovat katselmukset. Tämän lisäksi, varsinkin vaativissa korjauskohteissa, suunnittelijoiden ja urakoitsijan välinen kanssakäyminen takaavat sen, että työn toteutus vastaa suunnitelmia.

Taulukko 5. Laadunhallinta ja –varmistustoimenpiteet korjausprojektin eri vaiheissa.

Laadunhallinta ja -varmistus toimenpiteet		
Vaihe	Ennakointi ja testaustavat	Ohjeet ja määräykset
Ennen korjaustyötä, suunnittelu	Lähtötietokatselmukset Kosteudenhallintasuunnitelman tekeminen Rakenteiden laskennallinen tarkastelu Määritellään suunnitelmiin selkeitä vaatimuksia korjaustyölle Laaditaan työmaan laatusuunnitelma	Ratu S-1180
Korjaustyön aikana	Rakennustyön tarkastusasiakirja Suunnitelmien tarkennus purkutöiden aikana Mallityöt Työmaan ja työvaiheiden aloituskatselmukset ja vastaanotot Valvonta Sääsuojan rakentaminen Kosteudenhallinnan valvonta Kosteusmittaukset, rakenteiden työaikainen kuivatus Märkätiloissa vedeneristeen kalvonpaksuusmittaukset, eristyksen paksuus	MRL 150§ 3 mom. Ympäristöopas 76 Ympäristöopas 43 RakMK A1 Ratu S-1232 RT 14-10984
Kosteus		
Ilmatiiveys	Purkutöiden määrittely, purkualueen eristäminen muusta tilasta	Ratu 82-0383
Muiden tilojen puhtaus		
Korjaustyön jälkeen / käyttöönotto vaihe		
Ulkovaipan ilmatiiveys	Savukokeet Paineekoe, esim ilmatiiveysmittauslaitteisto, eli Blower Door Systems Ilmanvaihdon tasapainotus	RakMK D3
Ulkovaipan lämmöneristävyys	Lämpökuvaus	RT 14-10850
Rakenteiden kosteus	Kosteusmittaukset	
Rakennuksen käyttövaihe	Seuranta rakenteisiin asennetuilla hälyttävillä kosteusantureilla Käyttäjäkyselyt Huollon ohjeistus Lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien suunnitelmienmukaisen toiminnan varmistus	

6 Tutkimustulokset ja johtopäätökset

Korjaushankkeen laadunvarmistus jakautuu lähes samoihin vaiheisiin. Suunnittelun ensimmäiset kaksi vaihetta voidaan yhdistää laadunvarmistuksessa yhdeksi vaiheeksi, eli korjaustyötä edeltävä vaihe. Tämän jälkeen laadunvarmistuksessa tulee korjaustyövaihe mikä päättyy käyttöönottovaiheeseen. Viimeisenä laadunvarmistuksen vaiheena on rakennuksen käyttövaihe. Näiden vaiheiden sisältö on käsitelty luvussa 3.5.

Laadunhallinta ja laadunvarmistus lähtevät liikkeelle aivan hankkeen alusta eli kosteusvaurion huomaamisesta. Kaikki tämän jälkeen tehtävät toimenpiteet vaikuttavat hankkeen kokonaisuuden ja lopputuloksen laatuun. Kosteusvaurioiden kanssa vaurion nopea havainnointi ja siihen reagointi helpottavat korjausta. Hankkeen laatu on siis vain yhtä hyvä kuin sen vaiheiden heikoin lenkki. Mikäli laatuun ei panosteta jo hankkeen alussa, ei tilannetta pystytä täysin korjaamaan suunnitteluvaiheessa tai korjauksen toteutuksessa.

Korjauksen lähtökohtien määrittäminen kuntotutkimuksella ja tilaajan tekemät rajaukset korjauksen suhteen antavat lähtökohdan suunnittelulle. Ennen korjaustyön aloitusta tehtävät laatusuunnitelma ja kosteudenhallintasuunnitelma antavat hyvät puitteet korjauksen toteutukselle. Purkutyön aikana tulee varsinkin mikrobivaurioiden kanssa huomioida purkualueen eristäminen muusta rakennuksesta. Rakennesuunnittelija täydentää tarvittaessa omia suunnitelmiaan purkutyön edetessä. Korjaustyön aikana seurataan työn laatua tarkastuksilla ja mittauksilla.

Hankkeen kokonaisvaltainen seuranta ja laadunvarmistustoimenpiteiden linkittäminen erivaiheiden välillä luovat hankkeelle jatkuvan laadunvarmistuksen. Hankkeen ja suunnittelijan tehtävien läpikäyminen jo hankkeen alussa antaa suunnittelijalle paremman kokonaiskuvat työn etenemisestä. Tämä auttaa suunnittelijaa myös ennakoimaan seuraavan vaiheen tarpeisiin.

Taulukkoa 5 ja kuviota 1 voidaan käyttää havainnollistamaan korjaushankkeen vaiheita. Näitä malleja olisi hyvä käyttää rinnakkain ja vuorotellen, kun suunnitellaan ja seurataan projektin etenemistä. Kuviossa 1 esitettyjä suunnittelun ja projektin vaiheita tarkastellaan taulukon 5 mukaisten laadunhallintatoimenpiteiden kautta. Tällä menettelyllä voidaan varmistaa, että loppuun saatettu vaihe täyttää asetetut laatukriteerit ennen

seuraavaan vaiheeseen etenemistä. Taulukko 5 ja kuvio 1 ovat malliesimerkkejä ja jokaiselle korjausprojektille on hyvä laatia omat tapauskohtaiset vaihekaaviot.

Rakennusala on kokoajan jatkuvan kehityksen alla. Kosteusvaurioista puhutaan enemmän mediassa ja samalla kehitetään entistä tarkempia vaurioiden ja mikrobin tunnistusmenetelmiä. Tulosten vertailumateriaalia on helpommin saatavilla, jolloin myös vaurioiden arvioinnit tarkentuvat.

Myös monet uudistukset kiinteistön huollossa auttavat ennaltaehkäisemään kosteusvaurioita tai vähintään nopeuttaa niiden huomaamista. Hyvä esimerkki tästä on taloyhtiöissä käyttöön otettu PTS eli pitkän tähtäimen suunnitelma. PTS:n avulla taloyhtiöissä pidetään yllä käsitystä kiinteistön kunnosta ja varaudutaan tuleviin korjauksiin. Jatkuvan huollon ja kunnan tarkkailu korostuu rakennuksen ja sen talotekniikan vanhetessa. Tämä olisi hyvä tuoda myös käytännöksi omakotitalo-asumiseen, jossa rakennuksen huolto ja tarkkailu jää yleensä yksilön eli omistajan vastuulle.

Korjausrakentamisesta ja varsinkin kosteusvaurioiden korjausrakentamisesta ja niiden suunnittelusta opitaan yleensä paljon asioita joita voidaan hyödyntää uudispuolen rakennushankkeissa. Yleensä uudisrakentamisessa mietitään vain rakennusaikaisia kustannuksia, eikä mietitä esimerkiksi rakenteiden korjattavuutta tai materiaalien vaihdettavuutta.

Kosteusvauriokorjauksissa yhtenä hankkeen onnistumisen kannalta tärkeänä asiana on suunnittelijoiden tietämys ja ymmärrys rakennusfysiikasta. Erilaisten tietokone ohjelmien ja rakennusfysikaalisten 3D-mallien käyttö ja tärkeys tulevat luultavasti kasvamaan tulevaisuudessa ja tähän osaamiseen olisi myös hyvä panostaa.

7 Yhteenveto

Rakennuksissa ilmenevien kosteus- ja homevaurioiden taustalla on lähes poikkeuksetta joko suunnitteluvirhe, huolimaton toteutus tai käytöstä johtuva rasitus. Vaurioiden löytämiseksi ja poistamiseksi on ymmärrettävä rakennuksen rakennusfysikaalista toimintaa ja kosteuden käyttäytymistä rakenteissa. Varsinkin kosteusvaurion aiheuttajan löytäminen vaikuttaa korjauksen onnistumiseen.

Kosteus- ja homevaurioiden korjaushanke alkaa yleensä vaurion havaitsemisesta tai mahdollisesta kuntoarviosta. Ennen korjaussuunnittelua rakennukselle ja sen rakenteille on hyvä suorittaa kosteustekninen kuntotutkimus. Tutkimuksissa selvitetään mahdolliset vauriot ja niiden sijainti. Lisäksi selvitetään mistä vauriot ovat peräisin. Kuntotutkija kertoo tutkimusraportissaan vaurioiden laajuuden ja mahdolliset aiheuttajat, sekä antaa ehdotuksen korjaustavasta ja korjauksen kiireellisyydestä. Korjaussuunnitelma pohjautuu osittain kuntotutkimuksen tuloksiin.

Vaurioiden korjaussuunnittelussa huomioidaan muun muassa vaurioiden laajuus, rakenteiden uusittavuus, korjaustöille asetetut määräykset ja vaatimukset, sekä selvitetään onko purettavissa rakenteissa mahdollisesti niin sanottuja haitta-aineita, kuten asbestia. Korjaussuunnittelussa tulee tarkastaa uuden rakenteen rakennusfysikaalisen toiminnan yhteensopivuus rakennuksessa ennestään olevien rakenteiden kanssa ja varmistaa etteivät rakenteet pääse kastumaan uudestaan. Korjaussuunnittelun yhteydessä on hyvä myös tarkastella korjauksen kustannuksia.

Rakennusvaihe on yleensä korjaushankkeen kallein ja kriittisin vaihe. Korjaussuunnitelmia voidaan täydentää purkuvaiheen yhteydessä, mutta laadunvarmistuksen ja kustannusten hallinnassa pysymisen kannalta suunnitelmien tulisi olla mahdollisimman valmiita ennen korjaustöiden aloitusta.

Korjaushankkeen osat muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden, jossa aiemmat työvaiheet vaikuttavat seuraavien vaiheiden laatuun. Korjaushankkeen vaiheet voidaan myös limittää päällekkäin, esimerkiksi aloittamalla purkutööt ennen kuin korjaussuunnitelma on täysin valmis. Purkutöiden yhteydessä nähdään vanhat rakenteet ja niiden vaurioitumisaste selvemmin kuin mitä kuntotutkimuksen tulokset näyttävät.

Sweco konsernin nykyinen projektinjohtojärjestelmä on turhan laaja ja raskas pienemmillä korjaushankkeille. Lisäksi se ei myöskään anna suunnittelijalle selkeää kokonaiskuvaa hankkeen etenemisestä ja laadunvarmistuksesta.

Kokonaisuuden hallitseminen työssä tehdyllä vaiheistetulla työn muistilistalla ja laadunvarmistus kaaviolla auttavat suunnittelijaa tarkastamaan omat suunnitelmansa ja kriittisimmät työvaiheet, sekä ennakoimaan seuraavan vaiheen tarpeita.

Laadunvarmistus ja -hallinta ovat tärkeä osa rakentamista. Niiden toimivuus korostuu korjaushankkeen suurentuessa tai muuttuessa hankkeen aikana.

Lähteet

- 1 Leivo, Virpi. 1998. Opas kosteusongelmiin – Rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.
- 2 Torikka, K., Hyyppöläinen, T., Mattila, J., Lindberg, R. 1999. Kosteusvauriokorjausten laadunvarmistus. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.
- 3 Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. 1997. Ympäristöministeriö. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 4 Syrjänen, Tuula. Sisäilmaopas. Allergia- ja astmaliitto Ry. Verkkodokumentti. <<http://www.hengitysliitto.fi/sites/default/files/oppaat/sisailmaopas.pdf>> Luettu 9.8.2014.
- 5 Suvanto, Kari. 2012. Rakennusfysiikan kurssin oppimateriaali. Helsinki.
- 6 RIL 255-1 Rakennusfysiikka 1. 2014. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- 7 Pientalojen kosteusvauriot – yleisyyden ja korjauskustannusten selvittäminen. 1995. Kuopio: Kansanterveyslaitos, KTL B6/1995. 48 s.
- 8 RIL 250 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. 2011. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- 9 RIL 107-2012. Rakennusten vedeneristys ja kosteudeneristysohjeet. 2012. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- 10 RakMK C2. 1998. Verkkodokumentti. <<http://www.finlex.fi/data/normit/1918-c2.pdf>> Luettu 7.2.2015.
- 11 Rissanen, Jari. 2005. Kosteustekninen kuntotutkimus. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- 12 Nieminen, J., Kouhila, I., Ojanen, T., Knuutti, A. 2013. Kosteusteknisesti toimivia korjausrakentamisen periaateratkaisuja. Espoo: VTT Technology.
- 13 Seppälä, Pekka. 2008. Kosteuden hallinta suunnittelussa ja rakentamisessa. Seminaari esitys 14.3.2008. Seminaarimateriaali. <<http://www.pohjoismaisetrakennuspaivat.fi/>> Luettu 12.4.2015
- 14 Ympäristöministeriön asetus rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä. 2015. Suomen säädöskokoelma 216/2015.

- 15 Swco Finland verkkosivut. <www.sweco.fi> Luettu 13.4.2015.
- 16 Putus, Tuula. 2014. Home ja terveys. Pori: Suomen Ympäristö- ja Terveysalan Kustannus Oy.
- 17 Välikylä, Tapio. 2009. Asumisterveysopas. Pori: Ympäristö- ja Terveys-lehti.
- 18 Tiivistalo. Verkkodokumentti.
<<http://www.tiivistalo.fi/tiedostot/default.asp?sivu=tiivistalowiki>> Luettu 2.11.2015.

Rakenteiden kosteustekniset riskialtiusmatriisit

Tähän kirjoitetaan liitteen sisältö. Alla on ohje liitteiden poistamiseksi ja lisäämiseksi siten, että ylätunnisteet säilyvät oikeanlaisina.

Maanvastaisten rakenteiden kosteustekninen riskialtiusmatriisi:

RASITUS- OLOSUHTEET	Suunnitteluratkaisu						Ylläpito			
	Salaajitus ei toimi tai puuttuu kokonaan	Salaajituskerros puuttuu tai on kapillaarista materiaalia	Rakenne vastarinteessä ja/tai sade- ja pintavesien poisjohtaminen puutteellista	Rakenteeseen tai sen alapuolelle on sijoitettu putkistoja	Märkätilan rajoittuminen alapohjaan tai kellarin seinään	Ryömintätilan puutteellinen tuuletus	Kellariontia rakennusta ympäröivä maanpinta on ylempänä tai samalla tasolla kuin lattiapinta	Korkea sisäilman kosteus	Rakenteen sisä / yläpinnassa on vesihöyrytiivis pinnote	Kellarin seinässä on sisäpuolinen levyrakenteinen lisälämmöneristys
RAKENTEET										
Yksinkertainen maanvastainen betonilaatta	⊗	⊗ ¹⁾	⊗ ²⁾	⊗ ⁴⁾			⊗			
Maanvastainen betoninen kaksoislaatta	⊗	⊗⊗	⊗	⊗⊗	⊗⊗		⊗⊗	⊗		
Puukorotettu lattia betonisen maanvastaisen pohjalaatan päällä	⊗⊗	⊗⊗	⊗⊗	⊗⊗	⊗⊗		⊗⊗	⊗⊗	⊗⊗	
Tuulettuva betonialapohja, yläpuolinen lämmöneristys	⊗		⊗	⊗⊗ ⁵⁾	⊗	⊗	⊗⊗	⊗⊗		
Tuulettuva betonialapohja, alapuolinen lämmöneristys	⊗		⊗			⊗	⊗			
Tuulettuva puualapohja	⊗		⊗⊗	⊗⊗ ⁵⁾	⊗⊗	⊗⊗	⊗⊗	⊗		
Kellarin seinänä kivilatamus, jonka sisäpuolella tiilimuuraus	⊗⊗	⊗⊗	⊗⊗		⊗ ⁶⁾			⊗⊗	⊗⊗	⊗⊗
Massiivinen betoninen kellarin seinä, jossa sisäpuolinen kosteus- ja lämmöneristys	⊗	⊗	⊗		⊗ ⁶⁾			⊗⊗	⊗⊗	⊗⊗
Ulkopuolelta kosteuseristetty betonisandwich kellarin seinä	⊗	⊗	⊗ ³⁾		⊗ ⁶⁾			⊗	⊗	⊗⊗
Ulkopuolelta vedeneristetty kellarin seinä, jossa lämmöneristys on vedeneristyksen ulkopuolella	⊗		⊗ ³⁾		⊗ ⁶⁾			⊗		⊗⊗
Harkoista tehty kellarin seinä ja uralevysuojaus	⊗	⊗⊗	⊗⊗		⊗ ⁶⁾			⊗		⊗⊗

HUOM! Katso ohjeita lukijalle, matriisin käyttöohje, sivu 8.

- ⊗⊗ = Rasisolosuhde on huomattava riskitekijä rakennetyypissä
- ⊗ = Rasisolosuhde on riskitekijä rakennetyypissä
- Tyhjä = Rasisolosuhteella ei ole vaikutusta rakenteen riskialtuteen
- Harmaa = Rasisolosuhde/rakenne -yhdistelmä ei ole mahdollinen
- 1) Jos rakenteessa ei ole kapillaarisuuden katkaisevaa lämmöneristekerrosta niin ⊗⊗
 - 2) Lämpäiseviä lattiapinnoitteita käytettäessä riski pienempi
 - 3) Kermieristysssä rakenteessa riskit pienempiä kuin patolevyillä tai sivelyeristetyssä rakenteessa
 - 4) Lämpöputket lisäävät riskiä
 - 5) Jos putket ovat rakenteen sisässä
 - 6) Mikäli rakenteessa on kosteudelle arkoja materiaaleja niin ⊗⊗

Julkisivujen kosteustekninen riskialtiusmatriisi

RASITUS- OLOSUHTEET	Suunnitteluratkaisu										Ylläpito
	Voimakas ilmastorasitus, korkea ja/tai kapearäystäinen rakennus	Rakenteen tuuletuksen puuttuminen, tukkeutuminen tai huono toiminta	Märkätilan rajoittuminen ulkoseinään	Huonosti toimiva perusmuuri-liitos ja/tai pintavesirasitus	Korkea sisäilman kosteus	Rakennuksessa sisäpuolinen ylipaine	Katon vedenpoiston tai räystäsraakenteiden puutteet	Pelitysten ja liitosten huono toiminta tai kunto	Ulkopinnassa vesihöyrytiivis pinnoite	Saumojen huono kunto	
RAKENNE											
Betonisandwich-rakenne	1)	3) ja 4)	1)				☹☹	☹	☹	☹☹	☹1)
Klinkkeripintainen betonisandwich-rakenne	1)	☹☹	1)		☹		☹☹	☹		☹☹	☹1)
Massiivinen rapattu tiiliseinä	☹			☹☹			☹☹	☹☹	☹☹		☹
Massiivinen puhtaaksi muurattu tiiliseinä				☹			☹	☹	☹☹		☹☹
Luonnonkiviverhottu massiivinen ulkoseinä	☹			☹☹	☹	☹		☹☹	☹		☹☹
Massiivinen rapattu kevytbetoni-ulkoseinä	☹			☹	☹☹	☹	☹	☹☹	☹☹	☹☹	☹☹
Betoni-kevytbetoni-ulkoseinä	☹				☹			☹☹	☹☹	☹☹	☹☹
Tiili-mineraalivilla-tiili-seinä	☹☹		☹2)		☹			☹☹	☹	☹☹	☹
Tiiliverhottu rankaseinä	☹☹	☹☹	☹☹	☹☹	☹☹	☹☹	☹☹	☹☹	☹☹	☹	
Puuverhottu rankaseinä	☹☹	☹	☹☹	☹☹	☹	☹☹	☹☹	☹☹	5)		
Metalliverhottu rankaseinä	☹	☹☹	☹☹	☹☹	☹	☹☹	☹☹	☹☹			
Metalli-, lasi- tms. levyverhottu betoni- tai tiiliseinä	☹	☹☹		☹			☹☹	☹☹			

HUOM! Katso ohjeita lukijalle, matriisin käyttöohje, sivu 8.

☹☹ = Rasitusolosuhde on huomattava riskitekijä rakennetyypissä

☹ = Rasitusolosuhde on riskitekijä rakennetyypissä

Tyhjä = Rasitusolosuhteella ei ole vaikutusta rakenteen riskialttiuteen

Harmaa = Rasitusolosuhde/rakenne -yhdistelmä ei ole mahdollinen

1) Riippuu betonin pakkasenkestävyydestä

2) Voimakkaassa viistosaderasituksessa merkitystä

3) Saumatuuletuksen tulee olla kunnossa

4) Uusien rakenteiden tulisi olla tuulettuvia (rakennuskosteuden kuivuminen, uudet betonit tiiviimpiä)

5) Riskialtius riippuu kosteusrasitusten lisäksi muista tekijöistä

Yläpohjarakenteiden kosteustekninen riskialtiusmatriisi

RASITUS- OLOSUHTEET RAKENTEET	Suunnitteluratkaisu							Ylläpito	
	Runsaasti sisätiloita tai muita yksityiskohtia	Aluskatteen puuttuminen tai vaurioituminen	Huonosti toimiva tai tukkeutunut katon vedenpoisto	Vesikaton läpivientien ja liitosten huono toimivuus	Ullakotilan/rakenteen tuuletuksen puuttuminen tai huono toiminta	Vesikatteen vuotaminen	Rakenteen kastuminen korjauksen yhteydessä	Korkea sisäilman kosteus	Rakennuksessa sisäpuolinen ylipaine
Harjakatto, epätiivis kate, tuulettuva rakenne, betoniyläpohja (myös konesaumattu peltikatto)	☹☹	☹☹1)	☹2)	☹	☹☹	☹3)	☹4)		☹5)
Harjakatto, epätiivis kate, tuulettuva rakenne, puuyläpohja (myös konesaumattu peltikatto)	☹☹	☹☹1)	☹2)	☹	☹☹	☹3)	☹☹	☹	☹5)
Loiva bitumikermikatto, tuulettuva rakenne, betoniyläpohja			☹☹	☹	☹☹	☹☹	☹4)		☹5)
Loiva bitumikermikatto, tuulettuva rakenne, puuyläpohja			☹☹	☹	☹☹	☹☹	☹☹	☹	☹5)
Kevytsovakatto			☹☹	☹☹	☹	☹☹	☹☹	☹	☹
Tuuletusuritettu lämmön-eristealustainen katto			☹☹	☹☹	☹	☹☹	☹☹	☹☹	☹☹
Lämmöneristealustainen umpikatto			☹☹	☹☹		☹☹	☹☹	☹☹	☹☹
Kevytbetonikatto			☹☹	☹☹		☹☹	☹☹	☹☹	☹
Käännetty rakenne (terassi)			☹☹	☹		☹☹	☹		

HUOM! Katso ohjeita lukijalle, matriisin käyttöohje, sivu 8.

Liian pienet kaltevuudet lisäävät kaikkien kattotyyppien vuotoriskiä.

Joustavat kermit (kumibitumituotteet) vähentävät katteen vuotoriskiä tavallisiin bitumikermeihin verrattuna.

☹☹ = Rasitusolosuhde on huomattava riskitekijä rakennetyypissä

☹ = Rasitusolosuhde on riskitekijä rakennetyypissä

Tyhjä = Rasitusolosuhteella ei ole vaikutusta rakenteen riskialttiuteen

Harmaa = Rasitusolosuhde/rakenne -yhdistelmä ei ole mahdollinen

1) Konesaumatuissa peltikatoissa riski on pienempi, paitsi jos katon kaltevuuden ovat pieniä tai siinä on runsaasti yksityiskohtia

2) Leveillä toimivilla räystäillä riski on pienempi

3) Toimiva aluskate vähentää riskiä

4) Runsaastuminen ☹☹

5) Yläpohjan hyvä ilmatiiviyys ja tuulettavuus vähentävät riskiä

Märkätilojen kosteustekninen riskialttiusmatriisi

RASITUS- OLOSUHTEET	Suunnitteluratkaisu							Ylläpito
	Vedeneristyksen puuttuminen rakenteesta	Vedeneristeen vaurioituminen, esim. muovimaton saumojen vuotaminen	Seinässä laatoitus ja kosteussulku-käsittely	Rakenteeseen on sijoitettu putkia	Seinä rakenne ulkoseinänä	Märkätilan vieraisen/ alapuolisen huonetilan puolella rakenteen pinnassa vesihöyrytiivis pinnoite	Läpivientien puutteellinen tiivistäminen	Lattia kaivon liitosten vuotaminen
RAKENTEET								
Kivirakenteiset märkätilan seinät	⊗			⊗		⊗	⊗	
Levyrakenteiset märkätilan seinät	⊗⊗	⊗⊗	⊗ ¹⁾	⊗⊗	⊗ ²⁾	⊗⊗	⊗⊗	
Betoninen maanvastainen märkätilan lattia	⊗	⊗				⊗	⊗	⊗
Alalaatta- tai kaksoislaatta-holvi märkätilan lattiana	⊗⊗	⊗⊗		⊗⊗		⊗	⊗⊗	⊗⊗
Ontelolaattavälipohja märkätilan lattiana	⊗⊗	⊗⊗		⊗		⊗	⊗⊗	⊗⊗
Puu-levyrakenteinen märkätilan lattia		⊗⊗		⊗⊗		⊗⊗	⊗⊗	⊗⊗

HUOM! Katso ohjeita lukijalle, matriisin käyttöohje, sivu 8.

Rakenteesta riippumatta pitkäaikainen korkea sisäilman kosteus esim. puutteellisesta ilmanvaihdosta johtuen ja veden lammikoituminen lisäävät rakenteen vaurioriskiä ja aiheuttavat hygieniahaittoja.

⊗⊗ = Rasitusolosuhde on huomattava riskitekijä rakennetyypissä
 1) Voimakkaalle roiskevesirasitukselle alttiissa kohdassa ⊗⊗
 2) Mikäli rakenteessa on kaksi höyrytiivistä kerrosta niin ⊗⊗

⊗ = Rasitusolosuhde on riskitekijä rakennetyypissä

Tyhjä = Rasitusolosuhteella ei ole vaikutusta rakenteen riskialttiuteen

Harmaa = Rasitusolosuhde/rakenne -yhdistelmä ei ole mahdollinen

Ilmanvaihdon riskialttiusmatriisi

RISKITEKIJÄ	Suunnitteluratkaisu							Ylläpito	
	Sisätilassa on suuri kosteus- tai epäpuhtaustuotto	Korvausilmareittejä ei ole tai niitä on tukittu	Ilmanvaihtoventtiilejä puuttuu kanavan päästä	Kanavan päässä olevia ilmanvaihtoventtiilejä on tukittu	Ilmanvaihto voi jakautua epätasaisesti eri huoneiden välillä	Ilma virtaa väärään suuntaan (ilmanvaihto on hallitsematonta)	Rakennukseen voi syntyä ylipainetta	Rakennukseen voi syntyä liiallista alipainetta	Ilmanvaihtokanavien puhdistusta ei ole järjestetty
ILMANVAIHTO-JÄRJESTELMÄ									
Painovoimainen	⊗⊗	⊗⊗		⊗⊗	⊗⊗	⊗	⊗		
Koneellinen poisto	⊗	⊗	⊗	⊗⊗	⊗			⊗	⊗
Koneellinen tulo- ja poisto			⊗⊗	⊗⊗			⊗⊗ ¹⁾		⊗⊗

HUOM! Katso ohjeita lukijalle, matriisin käyttöohje, sivu 8.

Taulukossa on oletettu, että ilmastointikone toimii oikein eli esim. kone ei puhalla ilmaa väärään suuntaan.

⊗⊗ = Huomattava riskitekijä ilmanvaihtojärjestelmässä
 1) Herkkä järjestelmän säädöille ja käytölle

⊗ = Riskitekijä ilmanvaihtojärjestelmässä

Tyhjä = Ei vaikutusta ilmanvaihtojärjestelmän toimivuuteen

Harmaa = Yhdistelmä ei ole mahdollinen