

ULKOSEINÄRAKENTTEEN KOSTEUSTEKNINEN TARKASTELU JA KORJAUSMENETELMÄT



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Hämeenlinnan korkeakoulukeskus
Rakennus ja yhdyskuntatekniikka
Rakennusmestari (AMK)

kevät, 2020

Anssi Koliseva

Rakennusmestari

Visamäki

Tekijä	Anssi Koliseva	Vuosi 2020
Työn nimi	Ulkoseinärakenteen kosteustekninen tarkastelu ja korjausmenetelmät	
Työn ohjaaja/t	Elina Saukko, Anssi Knuutila	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää case-kohteeseen aikaisemmin tehdyssä kuntotutkimuksessa havaittujen laajojen ulkoseinän kosteusvaurioiden syntymekanismit sekä tarkastella korjaukseen soveltuvia menetelmiä. Tutkimuskohteena oli kiinteistö, jonka peruskorjaus on ajan-kohtainen lähivuosina. Tutkimus tukee kiinteistön jatkokäytön suunnittelua.

Työssä perehdytään vaurioituneen ulkoseinärakenteen ja sitä ympäröivien rakenteiden kosteusrasitukseen, kosteus- ja mikrobivaurioitumisen perusteisiin, kosteuskäyttäytymiseen sekä korjausmenetelmiin. Vaurioituneen ulkoseinärakenteen rakennusfysikaalista toimintaa tarkastellaan kuntotutkimuksessa tehtyjen havaintojen sekä olemassa olevan kirjallisuuden pohjalta. Vaurioiden syntymekanismia selvitetään teoreettisesti laskemalla rakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä.

Maaperästä kapillaarisesti nouseva kosteus sekä diffuusiolla rakenteeseen siirtynyt kosteus ovat pääasialliset vaurioiden aiheuttajat. Ulkoseinän rakennetyyppi sekä puutteet ulkopuolisissa kuivatusrakenteissa ovat pääasiassa mahdollistaneet rakenteiden vaurioitumisen.

Ulkoseinä voidaan korjata uusimalla rakenteet osittain tai perusteellisesti. Alapohjarakenteet sekä ulkopuoliset kuivatusrakenteet on korjattava korjaustoimenpiteiden onnistumisen edellytykseksi. Kiinteistön korjaaminen ei välttämättä ole taloudellisesta näkökulmasta kannattavaa korkean korjausasteen vuoksi.

Avainsanat diffuusio, kapillaarisuus, korjaus, kosteusvauriot, kuntotutkimus

Sivut 60 sivua

Degree Programme in Construction Management
Hämeenlinna University Centre

Author	Anssi Koliseva	Year 2020
Subject	Moisture behaviour and repair methods of an external wall structure	
Supervisors	Elina Saukko, Anssi Knuutila	

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's thesis was to investigate the causes of a moisture damage in a certain external concrete element wall and to find the most appropriate repairing method for eliminating moisture problems. The object of the study was a property that will face a major renovation in the next few years.

The thesis concentrates on moisture stress, basics of moisture and mold damages, moisture behavior and repairing methods of the damaged external wall structure and surrounding structures. The physical function of the damaged structure is evaluated based on the findings in a previously conducted condition study and existing literature. Moisture-technical behavior of the damaged structure is calculated to evaluate the major source of the moisture stress.

Capillary moisture rising from the soil and indoor air moisture transferred to the structure by diffusion are the main causes of the damages found in the structure. The structure type of the outer wall and deficiencies in the external drainage structures are the main constructional faults.

The outer wall can be repaired by renovating the structures partially or completely. Ground floor structures and external drainage structures must be repaired as a prerequisite for successful repairing measures. Renovation of the property may not be economically viable due to high renovation degree.

Keywords capillarity, condition study, diffusion, moisture damage, renovation

Pages 60 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	KIINTEISTÖN KORJAUSTARPEET JA NIIDEN SELVITYS	2
2.1	Kiinteistön peruskorjaus ja tekninen käyttöikä.....	2
2.2	Kuntoarvio.....	2
2.3	Kuntotutkimus	3
2.4	Kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus	4
3	KOSTEUS RAKENNUKSISSA	5
3.1	Kosteus ilmassa	5
3.2	Kosteus materiaalissa	5
3.3	Kosteuden siirtyminen	6
3.3.1	Kosteuden siirtyminen kondensoitumalla.....	6
3.3.2	Kosteuden siirtyminen painovoimaisesti	6
3.3.3	Kosteuden siirtyminen kapillaarisesti.....	6
3.3.4	Kosteuden siirtyminen konvektiolla	7
3.3.5	Kosteuden siirtyminen diffuusiolla.....	8
3.4	Määräykset	8
3.5	Rakenteiden kosteusrasitus	10
3.5.1	Maakosketuksessa olevat rakenteet	10
3.5.2	Ulkoseinärakenteet	12
4	RAKENTEIDEN KOSTEUS- JA MIKROBIVAURIOITUMINEN	13
4.1	Kosteusvaurioituminen	13
4.2	Mikrobivaurioituminen	14
4.2.1	Yleistä mikrobeista	14
4.2.2	Mikrobien kasvu rakennuksissa.....	14
4.2.3	Mikrobivaurion vaikutukset	16
5	KOSTEUS- JA MIKROBIVAURIOIDEN KORJAUS	18
5.1	Yleistä.....	18
5.2	Lainsäädäntö.....	19
5.3	Korjausmenetelmät	20
5.3.1	Perusteellinen rakenteen uusiminen.	21
5.3.2	Rakenteen osittainen uusiminen.....	22
5.3.3	Pintarakenteisiin liittyvät korjaukset.....	22
5.4	Korjaustoimenpiteet	22
5.4.1	Rakenteiden kuivatus	22
5.4.2	Rakenteiden uusiminen.....	23
5.4.3	Rakenteiden tiivistys ja kapselointi	24
5.4.4	Painesuhteiden hallinta.....	24
5.5	Rakennusosakohtaiset korjaustoimenpiteet	25
5.5.1	Rakennuksen ulkopuoliset kuivatusrakenteet	25
5.5.2	Ryömintätalallinen alapohja.....	26

5.5.3	Ulkoseinärakenteet	27
5.6	Kosteuden ja epäpuhtauksien siirtymistä rajoittavat korjausmenetelmät	27
5.6.1	Erikoislaastit ja -pinnoitteet	27
5.6.2	Kapillaarikatko mekaanisesti tai injektoimalla	27
5.6.3	Sähköosmoosi.....	28
5.6.4	Rakenteiden lämmittäminen.....	28
5.6.5	Rakenteita kuivaava korjausratkaisu	28
5.6.6	Dynaaminen sähkömagneettikenttä	29
5.6.7	Aktiivihilimatto	29
6	CASE-ESIMERKKI.....	30
6.1	Yleistä.....	30
6.2	Tiedot rakenteista ja järjestelmistä.....	30
6.3	Havaitut puutteet ja vauriot	31
6.3.1	Ulkopuoliset tutkimukset	31
6.3.2	Alapohjarakenteet.....	33
6.3.3	Ulkoseinärakenteet	34
6.4	Yhteenvedo kuntotutkimuksesta.....	36
7	VAURIOIDEN SYNTYMEKANISMIT	37
7.1	Diffuusio ulkoseinärakenteessa	37
7.1.1	Rakenteen lämpötilakenttä	37
7.1.2	Rakenteen diffuusiokäyttäytyminen talviolosuhteissa	39
7.1.3	Rakenteen diffuusiokäyttäytyminen kesäolosuhteissa	40
7.1.4	Diffuusiovauhti	41
7.2	Kapillaarisen veden nousu	42
7.3	Kosteuskonvektio.....	43
7.4	Yhteenvedo.....	45
8	KORJAUSTOIMENPITEET.....	48
8.1	Ulkoseinärakenne	48
8.1.1	Ulkoseinärakenteen osittainen purkaminen	48
8.1.2	Ulkoseinärakenteen perusteellinen purkaminen	50
8.2	Ulkopuoliset kuivatusrakenteet	51
8.3	Alapohjarakenne	52
9	TUTKIMUSTULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	53
10	POHDINTA	54
	LÄHTEET	55

1 JOHDANTO

Kiinteistöjen käyttö ja ylläpito vaatii järjestelmällistä ja huolellista korjaustoimenpiteiden ja -kustannusten suunnittelua. Huonoksi todetut rakennusmenetelmät sekä huonosti toteutetut korjaustoimenpiteet lyhentävät merkittävästi kiinteistön elinkaarta ja lisäävät kiinteistön elinkaari-kustannuksia. Rakennus- ja korjausvirheiden takia rakenteiden kosteustekninen toiminta saattaa olla puutteellista. Tämä aiheuttaa rakenteisiin kosteus- ja mikrobivaurioita. Pahimmassa tapauksessa mikrobivauriot johtavat sisäilmaongelmaan, jolla saattaa olla vaikutusta käyttäjien terveydelle.

Kosteus- ja mikrobivaurioiden korjauksessa olennaista on soveltuvimman menetelmän valitseminen. Korjaustoimenpiteen ensisijainen tarkoitus on poistaa vaurioiden aiheuttama haitta sekä ehkäistä vaurioiden uusiutumista. Toimenpiteiden järkevä rajaaminen säästää kustannuksia ja ehkäisee yli- tai alikorjaamista.

Merkittävästi vaurioituneen kiinteistön korjauskustannukset saattavat nousta niin korkeaksi, että taloudellisesti kannattavampi ratkaisu on purkaa vanha kiinteistö uudisrakentamista varten. Erityisesti tiheään rakennetulla sekä muuttovoittoisella alueella purkuvaihtoehto saattaa hyvinkin olla edullisempi ratkaisu pitkällä tähtäimellä. Asuinrakennusten ylläpito on Suomen kansalaisten tulevaisuuden turvaamista sekä taloudellisesta että terveydellisestä näkökulmasta.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää esimerkkikohteessa havaittujen pitkäaikaisten ulkoseinän kosteusvaurioiden aiheuttajat. Selvitys tehdään arvioimalla rakenteeseen kohdistuvien kosteusrasitusten määrää laskennallisesti. Vaurioselvityksen perusteella valitaan kohteeseen soveltuvin korjausmenetelmä, joka poistaa vauriosta kiinteistön käyttäjille mahdollisesti aiheutuvan haitan sekä ehkäisee vaurioiden uusiutumista. Korjaustoimenpiteiden suunnittelu ei sisälly työhön.

Työn aihe valikoitui kohdekiinteistössä havaittujen poikkeuksellisten laajojen vaurioiden herättämästä mielenkiinnosta. Vaurioiden syntymekanismien ymmärtäminen sekä korjausmenetelmien tuntemus ovat tärkeitä osa-alueita kuntotutkijan työssä.

2 KIINTEISTÖN KORJAUSTARPEET JA NIIDEN SELVITYS

2.1 Kiinteistön peruskorjaus ja tekninen käyttöikä

Rakennukselle sekä sen eri rakennusosille ja taloteknisille järjestelmille on suunniteltu tekninen käyttöikä. Tekninen käyttöikä on aika, jona kyseisen rakennusosan tai taloteknisen järjestelmän toimivuusvaatimukset täyttyvät. Tekniseen käyttöikään vaikuttavat rakennusaikainen suunnittelu ja toteutus, rakenneosan tai järjestelmän tyyppi, rasitusluokka sekä rakennuksen ylläpito ja huolto. Rakennustietosäätiön vuonna 2008 julkaisemassa KH 90-00403 *Tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* -ohjekortissa esitetään rakenteiden, rakennusosien, aluerakenteiden ja LVIA-järjestelmien ja -laitteiden keskimääräiset tekniset käyttöiät, tarkastusvälit, huoltovälit ja kunnossapitojaksot. (KH 90-00403, 2008, s. 1,2)

Peruskorjaushankkeessa teknisen käyttöiän päässä olevat rakennusosat ja järjestelmät uusitaan, jolloin rakennuksen käyttöikä pitenee merkittävästi. Peruskorjauksen yhteydessä tehdään usein tilamuutoksia, tilojen käyttötarkoituksen muutoksia sekä uusitaan pintamateriaaleja. Kiinteistön korjaustarve, laajuus ja korjausmenetelmät selvitetään peruskorjauksen hankesuunnittelulla. Hankesuunnittelussa tulee ottaa huomioon myös korjaustoimenpiteiden vaikutus eri rakennusosien ja rakenteiden toimintaan. Selvitystyössä käytetään apuna kuntoarviointi- ja kuntotutkimusmenettelyjä. (Pitkäranta, 2016, s. 29)

2.2 Kuntoarvio

Kuntoarvio on nimensä mukaisesti arvio kiinteistökokonaisuuden tai sen osan kunnosta. Kuntoarviolla selvitetään merkittävimmät korjaustarpeet, kuntotutkimustarpeet, huolto- ja tarkastustarpeet sekä kunnossapitosuunnitelman lähtötiedot. Kuntoarviossa esitetään kiinteistön kunnossapitosuunnitelma, josta käy ilmi vaadittavien toimenpiteiden toteutusajankohdat sekä niiden kustannusarviot. Kiinteistön korjaustoiminnan suunnittelu tehdään kunnossapitosuunnitelman pohjalta. Vaadittavat lisätutkimukset ja -selvitykset tarkentavat korjaustarvetta ja -laajuutta. Kunnossapitosuunnitelmaan kirjattujen korjaustoimenpiteiden tarkoituksena on ylläpitää kiinteistön teknistä kuntoa sekä arvoa. Kuntoarvio toteutetaan pääosin aistinvaraisilla, pintoja rikkomattomilla menetelmillä. (Laakso, 2003, s. 3)

Pientalojen kuntoarvio toteutetaan Rakennustietosäätiön vuonna 2007 julkaisemaa ohjekorttia KH 90-00394 noudattaen. Kerros- ja rivitalojen kuntoarvio toteutetaan ohjekortin KH 90-00535 mukaisesti.

2.3 Kuntotutkimus

Kuntotutkimuksella tarkoitetaan kuntotutkimusohjeen mukaista tutkimusta yksittäisestä rakenteesta tai järjestelmästä. Kuntotutkimuksella selvitetään tutkittavien rakenneosien ja järjestelmien kunnan lisäksi niiden todellinen korjaustarve. Kuntotutkimus on kuntoarviota perusteellisempi kiinteistön kunnan määrittämisen työkalu ja sillä selvitetään tutkimushetkellä todettavat vauriot, vaurioitumisriskit ja niiden laajuudet. Kuntotutkimusraportissa arvioidaan vaurioiden vaikutuksia sekä mahdollista vaurioitumisen etenemistä. Kuntotutkimusraportissa esitetään mahdollisuuksien mukaan vaihtoehtoisia korjaustapoja. (KH 90-00535, 2013, s. 2,4,5)

Eri rakenneosien ja taloteknisten järjestelmien kuntotutkimuksia ovat muun muassa:

- sisäilmaston kuntotutkimus
- kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus
- julkisivun kuntotutkimus
- vesi- ja viemäri-laitteistojen kuntotutkimus
- ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien kuntotutkimus
- sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien kuntotutkimus

Kuntotutkimusten yhteydessä usein toteutettava lisäselvitys on haitta-ainetutkimus. (KH 90-00535, 2013, s. 4)

Kuntotutkimuksen ensimmäinen vaihe on kuntotutkijan perehtyminen lähtötietoihin. Näitä ovat kiinteistön suunnitelma-asiakirjat sekä kiinteistöön aiemmin tehdyt selvitykset, tutkimukset ja korjaustoimenpiteet. Lähtötietojen sekä kohteeseen tehtävän katselmuskäynnin perusteella laaditaan riskiarvio, jossa selvitetään rakenteiden vaurioitumisriskit, vaurioitumisen todennäköiset syyt sekä ne rakenteet, rakenneosat ja talotekniset järjestelmät, joihin kuntotutkimuksessa on kiinnitettävä huomiota. Riskiarvion pohjalta laaditaan alustava suunnitelma tutkimuslaajuudesta ja siihen käytettävistä menetelmistä. Riskiarvion jälkeen tehdään tarvittavat lisäselvitykset käyttäjien haastatteluilla sekä asiakirjojen läpikäynnillä. Tutkimuksia edeltävä toimenpide on lopullinen tutkimussuunnitelman laadinta. (Pitkäranta, 2016, s. 22)

Kuntotutkimuksissa käytettyjä menetelmiä ovat mm.

- kuntoarvion, suunnitelma-asiakirjojen sekä korjaus- ja vauriohistorian läpikäynti
 - rakenteiden avaukset
 - kenttätutkimukset
 - mittaukset
 - erilaiset kuvaukset ja tähystykset
 - näytteiden otto
 - laboratoriotutkimukset
- (KH 90-00535, s. 4,5)

2.4 Kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus

Kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus toteutetaan usein kohteisiin, joissa käyttäjät ovat havainneet sisäilmaongelmia, vesivuotoja tai kosteusvaurioita. Tutkimukset voidaan myös käynnistää sisäilmahaittojen riskitekijöiden kartoittamiseksi peruskorjaushankkeen laajuuden määrittämistä varten. (Pitkäranta, 2016, s. 17)

Kosteus- ja sisäilmateknisessä kuntotutkimuksessa tutkitaan ne rakenteet, joiden epäillään tai on todettu vaurioituneen. Muut sisäilmanlaatuun vaikuttavat rakenneosat, talotekniset tekijät sekä rakennuksen irtaimisto otetaan huomioon tutkimuslaajuuden suunnittelussa. Kuntotutkimuskohteen ja tutkimusten laajuuden arviointi tehdään ensimmäisellä kohdekäynnillä. Selkeästi havaittavissa olevat yksinkertaiset ja helposti rajattavat viat ja vauriot voidaan korjata ilman mittauksia ja erityistä korjaussuunnittelua kuntotutkimusraportin toimenpide-ehdotusten perusteella. Kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimuksen yhteydessä on usein perusteltua toteuttaa myös muiden rakenneosien esimerkiksi taloteknisten järjestelmien, vesikaton tai julkisivun kuntotutkimuksia. (Pitkäranta, 2016, s. 18)

Jotta kuntotutkimusta voidaan käyttää lähtötietona kiinteistön korjaus- tai muutostöille, tulee sen riittävässä laajuudessa sisältää seuraavia tietoja kiinteistöstä:

- Rakenteiden kantavuus ja rakennuksen vakaus
 - Rakennusosien kosteustasapaino ja muu rakennusfysikaalinen toimivuus
 - Rakennuksen sisäilmaston terveellisyys
 - Muut rakennuksen turvallisuuteen ja terveellisyyteen liittyvät seikat
 - Käytetyt selvitysmenetelmät ja selvityksen laatijan tiedot
 - Selostus rakennuksen ominaispiirteistä ja rakennushistoriallisesti merkittävistä seikoista
 - Kiinteistön korjaus- ja muutostyöhistoria.
- (Pitkäranta, 2016, s. 8)

3 KOSTEUS RAKENNUKSISSA

3.1 Kosteus ilmassa

Ilmamolekyyleillä on kyky sitoa kosteutta ympäristöstä. Lämpötilan nousu parantaa ilman kosteudentomiskykyä. Ilman kosteuspitoisuus voidaan ilmaista absoluuttisena kosteuspitoisuutena tai suhteellisena kosteuspitoisuutena. Ilman absoluuttinen kosteuspitoisuus ilmaisee vesihöyryn määrän ilmassa grammoina yhtä ilmakeuutiota kohden (g/m^3). Ilman suhteellisen kosteuden arvo kertoo prosentuaalisesti, kuinka paljon vesihöyryä on sitoutunut ilmaan suhteessa teoreettiseen vesihöyryn maksimipitoisuuteen tarkasteltavassa lämpötilassa. (Siikanen, 2017, s. 68,69)

Ilman sisältämän vesihöyryn aiheuttamaa painetta kutsutaan vesihöyryn osapaineeksi. Lämpötilan ja vesihöyrypitoisuuden lisäys kasvattavat vesihöyryn osapainetta. Kyllästyspaine on suurin vesihöyryn aikaansaama paine tietyssä lämpötilassa. Kyllästyspaine kasvaa lämpötilan noustessa. (Siikanen, 2017, s. 70)

Taulukko 1. Ilman kyllästyskosteus ja vesihöyryn kyllästyspaine lämpötilan funktiona (Lindberg, n.d.a, s. 4)

t °C	v_k g/m ³	p_k Pa	t °C	v_k g/m ³	p_k Pa	t °C	v_k g/m ³	p_k Pa
-20	0,87	102	-3	3,89	485	14	12,10	1602
-19	0,95	111	-2	4,19	524	15	12,86	1708
-18	1,04	122	-1	4,51	566	16	13,65	1820
-17	1,14	135	0	4,85	611	17	14,49	1939
-16	1,25	149	1	5,21	658	18	15,37	2064
-15	1,38	164	2	5,58	708	19	16,30	2197
-14	1,52	181	3	5,98	762	20	17,28	2337
-13	1,67	200	4	6,40	818	21	18,31	2484
-12	1,83	221	5	6,84	878	22	19,40	2640
-11	2,01	242	6	7,31	941	23	20,54	2805
-10	2,20	266	7	7,80	1008	24	21,74	2979
-9	2,40	292	8	8,32	1079	25	23,00	3162
-8	2,61	319	9	8,87	1154	26	24,32	3355
-7	2,84	348	10	9,45	1234	27	25,71	3559
-6	3,08	379	11	10,06	1318	28	27,17	3773
-5	3,33	412	12	10,71	1408	29	28,70	3999
-4	3,60	447	13	11,38	1502	30	30,31	4237

3.2 Kosteus materiaalissa

Huokoiset materiaalit sisältävät normaalioloissa kosteutta. Materiaalin kosteuspitoisuudet riippuvat ympäristössä vallitsevasta lämpötilasta ja kosteudesta. Materiaalin ominaisuudet vaikuttavat myös sen sisältämään kosteuspitoisuuteen. (Siikanen, 2017, s. 65)

Materiaalin hygroskooppinen kosteus on ilmasta materiaaliin sitoutunutta kosteutta. Materiaali on hygroskooppisella alueella, kun sen kosteuspitoisuus vastaa ympäröivän ilman suhteellista kosteutta 0...98 %. (Siikanen, 2017, s. 77)

Materiaalin kosteuskapasiteetti on sen kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta. Kosteuskapasiteetilla on suuri vaikutus rakenteen kosteustekniselle toiminnalle. Suuren kosteuskapasiteetin omaavat materiaalit, kuten puuperäiset lämmöneristeet, kykenevät sitomaan ympäristöstä kosteutta vähentäen kosteusvaurioitumisen riskiä ympäröivissä rakenteissa. (Siikanen, 2017, s. 77)

3.3 Kosteuden siirtyminen

3.3.1 Kosteuden siirtyminen kondensoitumalla

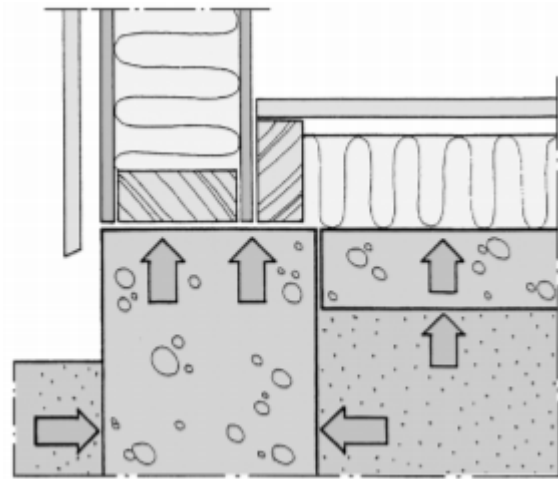
Kondensoituminen on ilman vesihöyryn tiivistymistä vedeksi. Materiaalin pinnalle tai sen sisälle voi tiivistyä kosteutta, kun ilman suhteellinen kosteus on 100 %. Tiivistyminen tapahtuu ilmaa kylmemmille pinnoille. Tämä edellyttää vesihöyryn kyllästyskosteuden saavuttamista. Kosteuden tiivistymistä aiheuttaa esimerkiksi ikkunoiden sisäpinnat, kylmäsiilat ja puutteet höyrynsulkurakenteessa. (Siikanen, 2017, s. 72)

3.3.2 Kosteuden siirtyminen painovoimaisesti

Painovoima kuljettaa vettä alaspäin rakennuksen pystysuorilla ja kaltevilla pinnoilla sekä vierusmaan pinnalla. Rakennuksen kosteustekninen toiminta perustuu suurelta osin painovoimaiseen kosteuden siirtymiseen. Painovoimainen siirtyminen mahdollistaa veden johtamisen pois rakenteiden ulko- ja sisäpinnoilta sekä rakennuksen vierustoilta. Vettä ohjaavien rakenteiden vesitiiveyden ja/tai kaltevuuden puutteet saattavat aiheuttaa rakenteisiin vaurioita. (Pitkäranta, 2016, s. 112, 113)

3.3.3 Kosteuden siirtyminen kapillaarisesti

Kapillaarinen kosteus tarkoittaa materiaaliin huokosalipaineen vaikutuksesta sitoutuvaa kosteutta. Huokosalipaine nostaa kosteutta materiaalissa siihen korkeuteen, missä se on tasapainossa painovoiman kanssa. Huokosalipaine vaikuttaa materiaalissa kaikkiin suuntiin, jolloin kosteus voi siirtyä materiaalissa myös vaakasuunnassa. Kapillaarinen kosteuden siirtyminen edellyttää, että materiaali on kosketuksissa veden tai toisen kapillaarisen materiaalin kanssa. (Pitkäranta, 2016, s. 105)

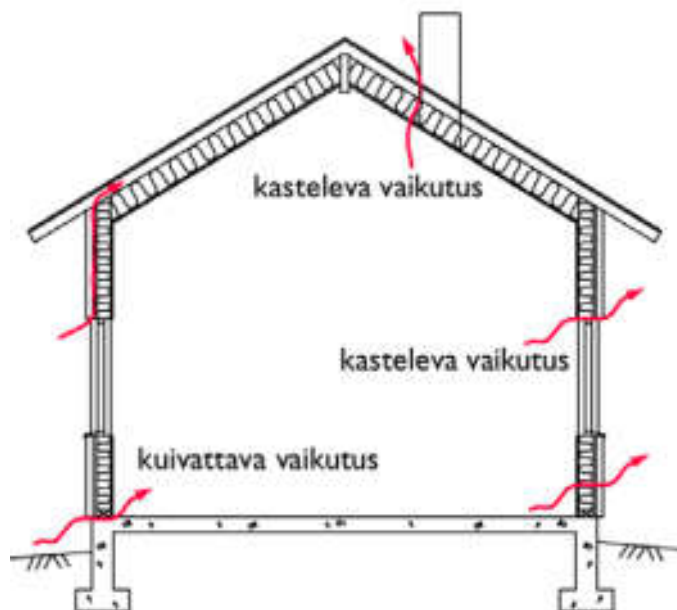


Kuva 1. Esimerkki kapillaarisesta kosteuden siirtymisestä alapohjarakenteessa. (Siikanen, 2017, s. 68)

3.3.4 Kosteuden siirtyminen konvektiolla

Konvektiovirtaus on ilman liikettä korkeammasta ilmanpaineesta matalampaan. Rakennuksen sisätilojen ja ulkoilman välillä vallitsee lähes aina paine-ero, jonka aiheuttaa ulko- ja sisäilman lämpötilaerot, tuuliolosuhteet sekä ilmanvaihto. (Pitkäranta, 2016, s. 115)

Kosteuskonvektiossa ilmankosteus siirtyy pakotetun konvektiovirtauksen mukana epätiivien rakenteiden läpi. Rakenteeseen saattaa kondensoitua kosteutta, jos lämmin ilmavirtaus jäähtyy. Ilmavirtauksen lämpenemisellä on rakennetta kuivattava vaikutus. (Pitkäranta, 2016, s. 115)



Kuva 2. Konvektion vaikutus rakenteissa. Ilmavirtausten suunnat esimerkillisiä. (Pitkäranta, 2016, s. 116)

3.3.5 Kosteuden siirtyminen diffuusiolla

Ulkoilman ja rakennuksen sisäilman välillä vallitsevien olosuhde-erojen takia myös ilman vesihöyryn osapaineet poikkeavat toisistaan, jolloin vesihöyry pyrkii siirtymään diffuusiolla rakenteen läpi suuremmasta ilman vesihöyryn osapaineesta pienempään. (Siikanen, 2017, s. 71)

Vesihöyryn läpäisevyyteen vaikuttaa materiaalin ominaisuus vastustaa vesihöyryä. Vesihöyryn vastus vaihtelee merkittävästi materiaalien välillä. Kosteusfysikaalisen toiminnan kannalta rakenteet on suunniteltava niin, että vesihöyrynvastus pienenee rakenteessa kylmään tilaan päin mentäessä. (Siikanen, 2017, s. 73)

Taulukko 2. Eri materiaalien vesihöyrynvastuksia. (Lindberg, n.d.a, s. 5)

Materiaalikerros	Paksuus mm	Z_v 10^3 s/m	Laskentaan sopiva arvo
Polyeteenikalvo	0,2	> 2000	3500
Ilma	100	4	4
Betoni	100	30...1000	150
Puu	100	30...500	400
Siporex	100	10...50	30
Mineraalivilla	100	4...12	8
Polystyreeni	100	70...110	100
Polyuretaani	100	600...7500	1300
Kipsilevy	13	1,6...4,5	4
Huokoinen kuitulevy	12	2,5...3,5	3
Kovalevy	3,2	2,5...3,5	3
Vaneri	13	15...80	50
Maalit		5...120	
Linoleum matto		200	
Muovimatto		500	

3.4 Määräykset

Rakennuksen rakenneosien oikeaoppinen kosteustekninen toiminta on olennaista rakennukselle suunnitellun käyttöiän saavuttamiseksi sekä rakennuksen käyttäjien terveydellisten olosuhteiden takaamiseksi. Puutteet rakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa saattaa aiheuttaa rakenteisiin kosteus- ja mikrobivaurioita, joilla on vaikutus sekä rakennuksen käyttöikänsä että käyttäjien terveyteen. Ympäristöministeriön vuonna 2017 julkaisema asetus rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta määrittelee vaatimukset rakennuksen kosteusteknisestä toiminnan suunnittelulle uudis- ja korjausrakentamisessa. Tässä luvussa käsitellään asetuksen sisältöä pääpiirteittäin. (Asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017)

Rakennuksen suunnittelussa ja rakentamisessa on otettava huomioon, ettei rakennuksen osiin tai sisäpinnoille kertyvästä kosteudesta aiheudu käyttäjille tai naapureille hygienia- tai terveysriskiä. Näiden ominaisuuksien tulee säilyä normaalilla kunnossapidolla kohtuullisen käyttöajan ajan.

Rakenteiden kosteusrasituksesta peräisin oleva vesihöyry ei saa päästä haitallisesti tunkeutumaan rakenteisiin tai muutoin rakenteen kuivumis-kyky on osoitettava erikseen suunnitelmissa. Kosteusvaurioalttiit rakenteet sekä rakennuspohjan kuivatusjärjestelmät suunnitellaan ja rakennetaan toimintavarmiksi sekä helposti ylläpidettäviksi tavoitellun käyttöajan ajaksi.

Rakennusvaiheessa rakennusmateriaalien ja rakennusosien tulee olla suojattu haitalliselta kastumiselta. Rakenteiden on oltava riittävän kuivia ennen niiden peittämistä kuivumista hidastavalla ainekerroksella tai pinnoitteella. Rakenteiden ja rakennusosien kosteustekninen toimivuus on varmistettava luotettavan selvityksen perusteella. Vedelle altistuvat rakenteet on valmistettava kosteutta ja tarvittaessa kulutusta kestävästä tarvikkeista ja pintamateriaaleista. Rakennukselle ja sen osille on määriteltävä normaalit kunnossapitotoimenpiteet niiden suunnitellun käyttöajan ajaksi. Rakennusmateriaalien on kestävä asentamisen sekä asennus- ja käyttöolosuhteiden aiheuttamat rasitukset niille suunnitellun käyttöajan tai suunnitellun huolto- ja korjausvälin ajan.

Sade- ja sulamisvedet johdetaan pois rakennuksen vierestä. Tarvittaessa rakennuspohjaan asennetaan salaojajärjestelmä katkaisemaan veden haitallinen kapillaarivirtaus maaperässä sekä pitämään pohjavedenpinta riittävällä etäisyydellä alapohjarakenteista. Salaojituksella johdetaan myös maahan imeytyvä pintavesi pois rakennuksen vierestä ja alta. Veden kapillaarista siirtymistä maanvastaisiin rakenteisiin ehkäistään kosteuden tai vedeneristyksillä.

Veden kerääntyminen on estettävä ryömintätilallisessa alapohjassa. Ryömintätilan tulee tuulettua riittävästi, jotta ilmankosteudesta ei aiheudu haittaa rakenteiden toiminnalle ja kestävyydelle. Ryömintätilan tulee olla puhdas rakennusjätteistä sekä orgaanisesta materiaalista.

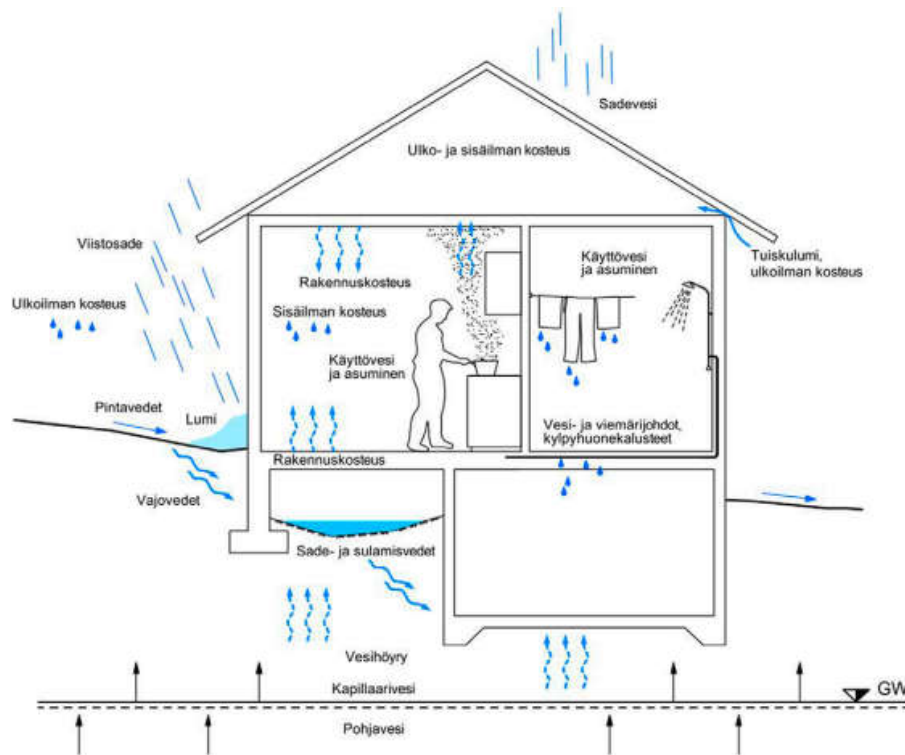
Ulkoseinien kosteusteknisen toiminnan varmistamiseksi seinärakenteen, siihen liittyvien rakenteiden ja liitosten vesihöyrynvastus ja ilmatiiviys tulee olla riittävä estämään haitallinen vesihöyryn konvektio ja diffuusio rakenteiden läpi. Mahdollisen rakennuskosteuden sekä rakenteeseen kulkeutuneen veden on poistuttava vahinkoa ja terveysriskiä aiheuttamatta. Seinärakenteen ulkoverhous suunnitellaan siten, että sen taakse mahdollisesti tunkeutuva kosteus pääsee poistumaan vahingoittamatta rakenteita. Ulkoverhouksen tarkoituksena on estää tuulenpaineen kuljettaman veden pääsy rakenteisiin. Kosteuden kapillaarinen siirtyminen ulkoseinärakenteisiin sokkelin tai maanvastaisen lattiarakenteen kautta tulee estää kosteuden siirtymisen katkaisevalla kerroksella.

Tarkentavat ohjeet rakenneosittain: Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017.

3.5 Rakenteiden kosteusrasitus

Rakenteisiin kohdistuva kosteusrasitus voi olla lähtöisin rakennuksen ulko- tai sisäpuolelta. Rakennuksen ulkopuolisen kosteusrasituksen aiheuttaa sääolosuhteet sekä ulkoilman ja maaperän kosteus. Sisäpuolinen kosteusrasitus aiheutuu rakennuksen käytöstä, talotekniikkajärjestelmistä sekä rakennuskosteudesta. Rakennuskosteus on rakennusvaiheessa tai sitä ennen rakenteisiin joutunutta käytönaikaisen tasapainokosteuden ylittävää kosteutta. Rakennuskosteutta on esimerkiksi rakennusvaiheessa huonosti suojattuihin materiaaleihin kohdistuva sade tai betonivalujen puutteellisesta kuivatuksesta johtuva rakenteisiin jäänyt kosteus. (RT 05-10710, 1999, s. 5)

Rakenteisiin kohdistuva kosteusrasitus voi olla kausittaista kuten esimerkiksi vuodenaikasadonomainen ulkoilman sääolosuhteiden vaihtelu tai jatkuvaa kuten rakennuksen käyttäjien aiheuttama kosteusrasitus. (Sisäilmäyhdistys ry, 2008)



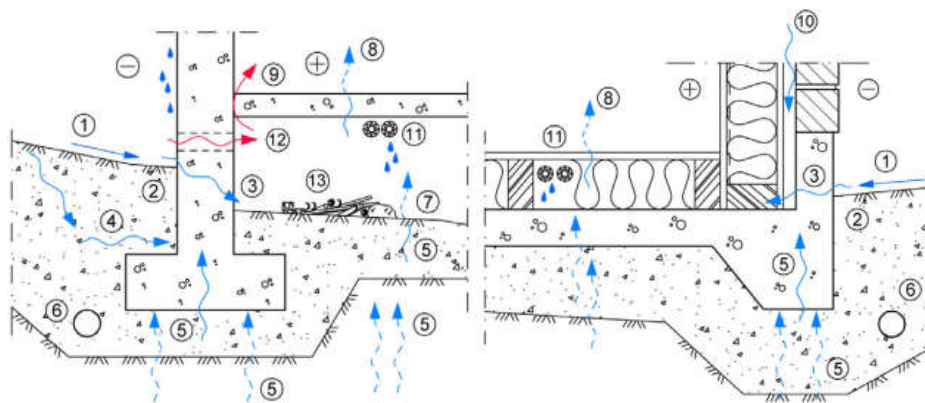
Kuva 3. Rakennukseen kohdistuvan kosteusrasituksen lähteet. (Pitkäranta, 2016, s. 107)

3.5.1 Maakosketuksessa olevat rakenteet

Maakosketuksissa oleviin rakenteisiin kohdistuu voimakas kosteusrasitus maaperästä. Maaperän heikkojen ilmavirtausten seurauksena maaperässä vallitsevat kosteusolosuhteet ovat usein tasaiset. Maaperän aiheuttama kosteusrasitus rakenteisiin muodostuu maaperän huokosilman vesihöyryn diffuusiosta, kapillaarisesti nousevasta vedestä sekä rakenteeseen

kohdistuvasta vedenpaineesta. Salaojajärjestelmän toiminnalla, maalajilla sekä pohjaveden pinnan korkeudella on vaikutus rakenteisiin kohdistuvaan kapillaariseen sekä vedenpaineen aiheuttamaan kosteusrasitukseen. Vedenpainetta saattaa aiheuttaa myös roudan sulaminen. (Pitkäranta, 2016, s. 111)

Sadevesien aiheuttamat rasitukset maanvastaisille rakenteille ovat samankaltaisia maaperän kosteusrasitusten kanssa. Viistosateet ja saderoiskeet kastelevat sokkeliä näkyvältä osin. Pintavedet aiheuttavat rasitusta sokkeliin, jos maaperän pinta viettää rakennukseen päin. Sadevesi saattaa maaperään imeytyessään siirtyä maanvastaisiin rakenteisiin, mikäli niiden vedeneristyksessä tai salaojajärjestelmässä on puutteita. (Pitkäranta, 2016, s. 111)

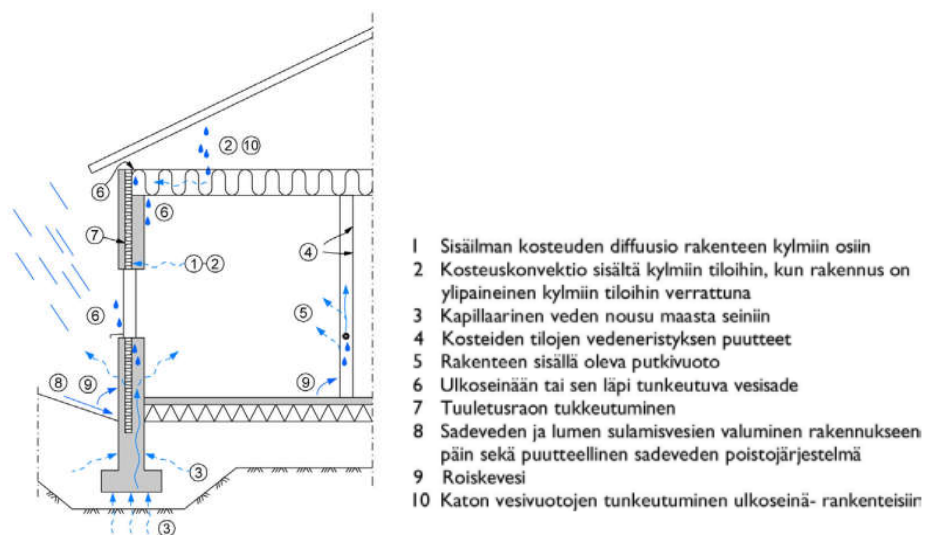


Kuva 4. Perustuksiin ja alapohjarakenteisiin kohdistuvan kosteusrasituksen tekijät. (Pitkäranta, 2016, s. 187)

1. Pintavesien valuminen rakennukseen
 2. Puutteellinen sadevesijärjestelmä
 3. Pintaveden tunkeutuminen ryömintätilaan ja muihin rakenteisiin
 4. Paineellisen veden tunkeutuminen ryömintätilaan ja muihin rakenteisiin
 5. Veden kapillaarinen nousu rakennuspohjasta rakenteisiin
 6. Salaojituksen puutteet
 7. Ryömintätilan korkea kosteustuotto
 8. Kosteuden siirtyminen diffuusiolla
 9. Kosteuden siirtyminen konvektiolla
 10. Sadeveden tunkeutuminen ylempien rakenteiden epätiivelyskohtien kautta perustusrakenteisiin
 11. Putkivuoto ryömintätilassa
 12. Ryömintätilan riittämätön tuuletus
 13. Rakennusjätteet ryömintätilassa
- (Pitkäranta, 2016, s. 187)

3.5.2 Ulkoseinärakenteet

Ulkoseinän molemmin puolin on toisistaan eroavat ilman kosteudet. Kosteusteknisesti ulkoseinät tulee toteuttaa sisäpinnalta vesihöyryntiiviimmäksi, jolla estetään diffuusion avulla sisäilmasta rakenteisiin siirtyvää kosteutta. Höyrysulku ei kuitenkaan ole välttämättömyys rakenteen kosteusteknisen toiminnan kannalta, jos rakenteella on riittävä kuivumis-kyky. Rakenteen ilmatiiveyden puutteet aiheuttavat konvektiovirtauksia, jotka kuljettavat sisäilman vesihöyryä rakenteeseen, kun rakennus on ylipaineinen. Rakennuksen ollessa alipaineinen ulkoseinärakenteen tiiveys on olennaista, sillä konvektiovirtausten mukana saattaa kulkeutua epäpuhtauksia sisäilmaan. Sisäilman kosteus saattaa kondensoitua ulkoseinän sisäpinnoille, jos pinnan lämpötila on riittävän alhainen. Sadeveden aiheuttama kosteusrasitus ulkoseinään syntyy saderoiskeista, viistosateista sekä yläpuolisten rakenteiden epätiiveydestä. Saderoiskeet ja viistosateet kastelevat seinän ulkopintaa, josta kosteus saattaa siirtyä sisäpuolisiin rakenteisiin. Sateen aiheuttama rasitus on voimakkainta vallitsevan tuulen puoleisella julkisivulla. Maaperän kosteus sekä väärin ohjatut pintavedet saattavat nousta kapillaarisesti perustuksia pitkin ulkoseinän alaosiin, mikäli rakenteiden välisessä kapillaarikatkossa on puutteita. Lumen aiheuttama kosteusrasitus kohdistuu ulkoseinän alaosiin silloin, kun lumi kasautuu ulkoseinää vasten ja lumi alkaa sulamaan. Lumi saattaa kulkeutua julkisivun tuuletusaukoista tai epätiiveyskohdista ulkoseinärakenteen sisään tai yläpohjaan aiheuttaen piileviä vaurioita. (Pitkäranta, 2016, s. 110, 111)



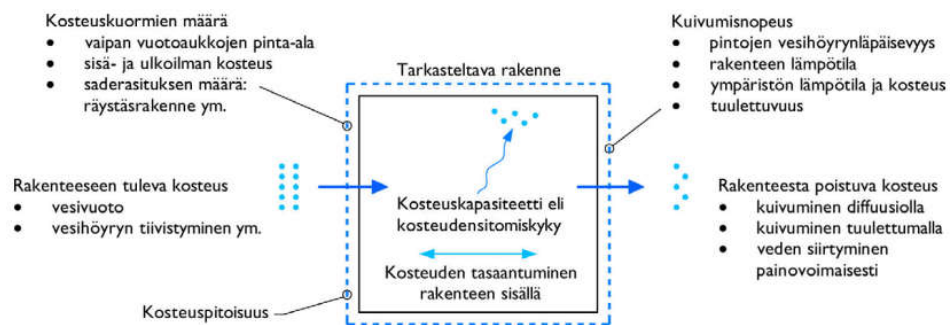
Kuva 5. Ulkoseinään kohdistuvan kosteusrasituksen tekijät. (Pitkäranta, 2016, s. 161)

4 RAKENTEIDEN KOSTEUS- JA MIKROBIVAUROITUMINEN

4.1 Kosteusvaurioituminen

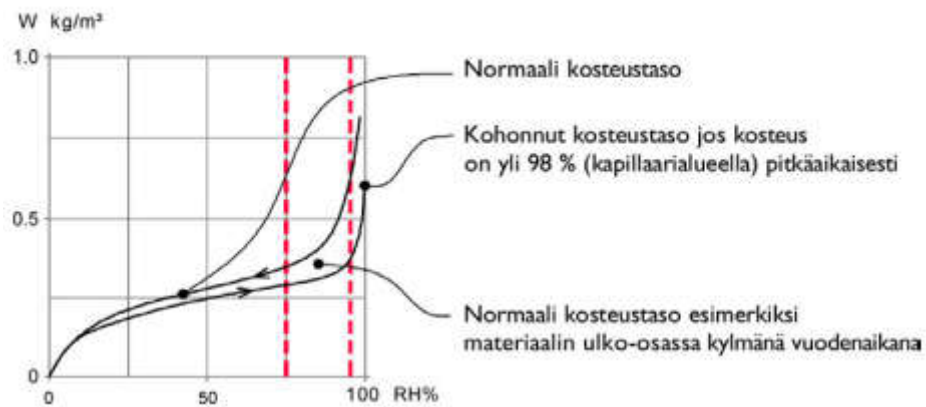
Kosteusvaurion syntyminen on monista tekijöistä kiinni. Vaurioitumiseen vaikuttaa muun muassa rakenteen ikä ja tyyppi, rakennusmenetelmä sekä rakennuksen käyttö, huolto ja kunnossapito. Kosteusvaurio voi syntyä lyhytaikaisestakin kosteusrasituksesta. Home- ja lahovauriot kuitenkin vaativat pitkäaikaista kosteusrasitusta syntyäkseen. Kosteusvaurioitumista ei voida todeta yksinomaan rakenteen kosteuspitoisuuden mittauksella. Rakenteilla ja materiaaleilla on eri kosteudenkestävyysominaisuudet. (Pitkäranta, 2016, s. 150)

Rakenteisiin tulevaa ja rakenteista poistuvaa kosteutta kutsutaan kosteusvirraksi. Rakenteeseen kertyy kosteutta, jos rakenteeseen tuleva kosteusvirta on suurempi kuin rakenteesta poistuva. Rakenteen kosteudensitomiskyky määrittää, kuinka kauan kosteuspitoisuuden nousu kestää: Mitä parempi kosteudensitomiskyky, sitä kauemmin kosteuspitoisuuden nousu kestää. (Pitkäranta, 2016, s. 149)



Kuva 6. Rakenteen kosteuspitoisuuden muodostuminen. (Pitkäranta, 2016, s. 149)

Rakenteilla on yksilöllinen tavanomainen kosteustaso. Materiaalien kosteuspitoisuus on normaalisti hygroskooppisella alueella (RH 0...98 %), mutta joissakin tapauksissa jo yli 75 % suhteellinen kosteus on poikkeuksellisen korkea. Rakenteet ovat usein hetkellisesti tavanomaista korkeammassa kosteusolosuhteissa. Tämä ei kuitenkaan aina aiheuta vaurioitumisriskiä rakenteille. Rakenteen tavanomainen kosteustaso määräytyy vaurioitumiselle herkimmän materiaalin mukaan. (Pitkäranta, 2016, s. 149)



Kuva 7. Mineraalivillan kosteustasapainokäyrä. (Pitkäranta, 2016, s. 149)

4.2 Mikrobivaurioituminen

4.2.1 Yleistä mikrobeista

Mikrobit ovat osa luonnollista elinympäristöämme. Mikrobin luonnollisia lähteitä ovat maaperä, kasvit, ihmiset, eläimet ja elintarvikkeet. Mikrobeja ja niiden itiöitä esiintyy normaalisti kaikkialla, myös rakennusmateriaalien pinoilla. Mikrobivaurioitumisella tarkoitetaan mikrobin kasvua rakenteessa. Mikrobivaurio aiheuttaa rakenteisiin vaurioita, jotka saattavat heikentää rakenteiden toimintaa. Mikrobin ja niiden ainevaihduintuotteiden pääsy sisäilmaan aiheuttaa rakennuksen käyttäjille terveyshaittaa. (Pitkäranta, 2016, s. 127)

Rakennusmateriaaleilla voi kasvaa erilaisia home- ja hiivasieniä sekä aktinomykeettejä eli sädesieniä ja muita bakteereja. Sädesieni luokitellaan bakteeriksi, vaikka niiden kasvutapa muistuttaa homesieniä. Kosteusvaurioituneessa rakenteessa voi kasvaa tavanomaisesti luonnossa esiintyviä mikrobeja sekä vähäisesti luonnossa esiintyviä mikrobeja, joista jälkimmäisiä kutsutaan kosteusvaurioindikaattoreiksi. Kosteusvaurioindikaattoreiden esiintyminen rakenteissa viittaa rakenteiden pitkäaikaiselle kosteuden altistumiselle. (Pitkäranta, 2016, s. 130)

4.2.2 Mikrobin kasvu rakennuksissa

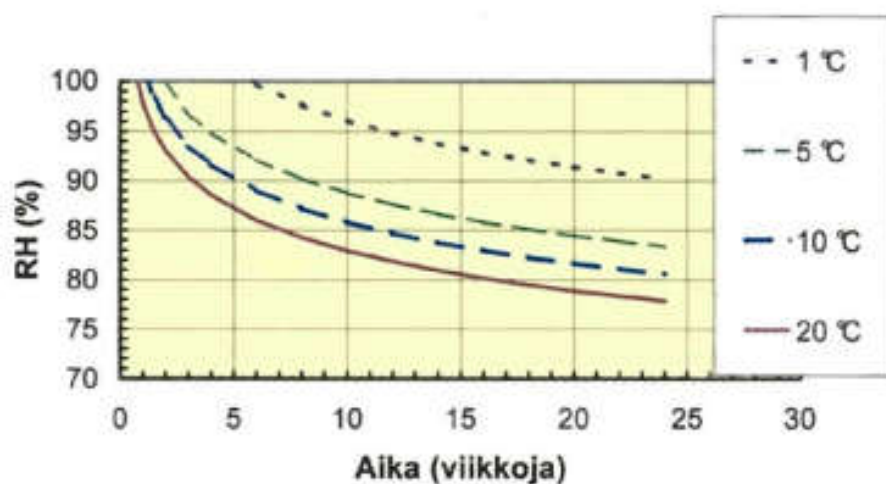
Mikrobin kasvun edellytyksenä on lämmön, kosteuden ja ravinteiden saanti. Rakennuksissa on tyypillisesti suotuisat lämpöolosuhteet mikrobin kasvuun. Ravinteeksi mikrobeille saattaa riittää jopa huonepöly. Merkittävin mikrobin kasvua rajoittava tekijä on kosteus. Mikrobeille suotuisimmat kasvuolosuhteet ovat + 20-30 °C lämpötilassa ja suhteellisessa ilmankosteudessa (RH) 95-99 %. Vähimmäiskosteus mikrobin kasvamiselle rakennusmateriaaleilla on noin RH 75 ... 80 %. Herkästi homehtuvilla materiaaleilla homekasvu saattaa alkaa jo suhteellisen kosteuden

ollessa RH 65 ... 70 %. Tällöin kasvaminen edellyttää korkeampaa, yli + 25 °C lämpötilaa. Niin kutsutut kserofiiliset mikrobilajit kykenevät kasvaamaan jopa alle RH 75 % kosteudessa. Termofiiliset lajit kasvavat suotuisimmin korkeassa lämpötilassa (40 °C). Psykrofiiliset lajit kykenevät kasvamaan hitaasti lähes 0 °C lämpötilassa, vaikka optimaalisin kasvu­lämpötila näille on + 20-30 °C. Mikrobikasvuston vähimmäiskosteus- ja lämpötilavaatimukset ovat toisistaan riippuvaiset. Olosuhteet vaikuttavat myös mikrobien kasvunopeuteen ja siten mikrobivaurion kehittymisvauhtiin. Lyhytaikainen korkea suhteellinen kosteus ei riitä mikrobien kasvun alkamiseen. Tämä edellyttää, että kosteuspitoisuus laskee nopeasti alle RH 70-75 %. (Pitkäranta, 2016, s. 127, 130,131)

Taulukko 3. Mikrobikasvun vähimmäiskosteusvaatimukset mikrobiryhmittäin. (Pitkäranta, 2016, s. 131)

Mikrobiryhmä	Ilman suhteellinen vähimmäiskosteus
Homesienet	70...85 %
Bakteerit ja sädesienet	95 %
Sinistäjä- ja lahottajasienet	95 %

Materiaalin mikrobivaurio näkyy kosteusvaurioituneessa rakenteessa ensimmäiseksi home- ja hiivasienikasvustojen ilmestymisenä. Materiaalin homehtumisherkkyydestä sekä vallitsevista olosuhteista riippuen tähän voi kulua aikaa vain muutamasta päivästä jopa vuosiin. Sädesienet kasvavat homesieniä hitaammin. Lahottajasienien kasvu edellyttää kuukausien mittaista erittäin korkeaa kosteuspitoisuutta. (Pitkäranta, 2016, s. 131)



Kuva 8. Homeen kasvun alkamiseen vaadittavat kriittiset olosuhteet sekä niiden vaikutusaika männyn pintapuussa. Kuvaajan perusteella +20 asteen lämpötilassa ja yli 90 % suhteellisessa kosteudessa puun pintaan muodostuu mikrobikasvua noin kolmessa viikossa. (Pitkäranta, 2016, s. 131)

Homehtumisherkkyyys kuvaa materiaalin alttiutta mikrobivaurioitumiselle. Materiaalit on jaettu neljään homehtumisherkkyyysluokkaan. Herkkien luokkien (HHL 1 ja 2) materiaaliin kehittyy mikrobikasvustoa yli 97 % suhteellisessa kosteudessa ja huoneenlämmössä noin 2...8 viikossa. Vastaa- vissa olosuhteissa mikrobikasvuston kehittyminen HHL 3 luokan materiaaliin kestää noin vuoden ja HHL 4 luokan pinnoille useita vuosia. (Pitkäranta, 2016, s. 133)

Taulukko 4. Homehtumisherkkyyysluokittain jaettuja yleisiä rakennusmateriaaleja. (Pitkäranta, 2016, s. 133)

Homehtumisherkkyyysluokka	Rakennusmateriaalit
HHL 1 hyvin herkkä	karkeasahattu ja mitallistettu puutavara (mänty ja kuusi), höylätty mänty
HHL 2 herkkä	höylätty kuusi, paperipohjaiset tuotteet ja kalvot, puupohjaiset levyt, kipsilevy
HHL 3 kohtalaisen kestävä	mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatsoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet
HHL 4 kestävä	lasi ja metallit, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit

Taulukko 5. Homehtumisriskin kannalta kriittinen kosteus eri materiaaleilla kolmen kuukauden tarkastelujaksolla. (Pitkäranta, 2016, s. 133)

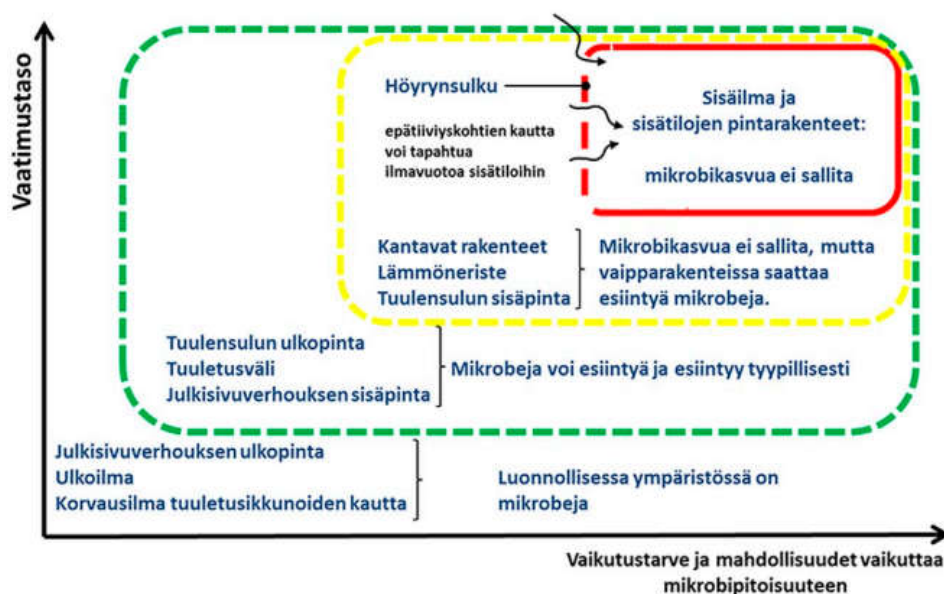
Materiaali	Alin mikrobikasvun mahdollistava kosteus (RH)	
	Lämpötila + 22°C	Lämpötila +10°C
Puu (mänty)	75...79 %	85...90 %
Vaneri	75...79 %	75...85 %
Lastulevy	79...85 %	90...93 %
Ohut kovalevy	85...89 %	93...95 %
Märkätilan kipsilevy	89...95 %	> 95 %
Tuulensuojakipsilevy	89...95 %	> 95 %
Tervapaperi	89...95 %	> 95 %
Sementtipohjainen levy	> 95 %	> 95 %
Lasivilla	> 95 %	> 95 %
EPS-lämmöneriste	> 95 %	> 95 %

4.2.3 Mikrobivaurion vaikutukset

Osa mikrobilajeista hajottaa vaurioitunutta rakenneosaa heikentäen sen toiminnallista kuntoa. Mikrobit tuottavat ympäristöön itiöitä ja muita hiukkasia sekä aineenvaihduntatuotteinaan kaasuja. Näiden pääsy sisäilmaan saattaa aiheuttaa rakennuksen käyttäjille terveyshaittaa, sillä moni mikrobien tuottamista hiukkasista ja kaasuista voivat olla haitallisia ihmiselle. Mikrobien tuottamat epäpuhtaudet kulkeutuvat ilmassa kaasuina sekä hiukkasiin sitoutuneena. Pääosin mikrobiperäiset epäpuhtaudet kulkeutuvat ilmapvirtausten mukana, mutta osa mikrobien tuottamista

kaasuista läpäisee rakenteita diffuusiolla. Aktiivinen mikrobikasvusto tuottaa pääasiassa sisäilmaan kaasumaisia yhdisteitä, passiivinen kuivunut mikrobikasvusto pääasiassa hiukkasia. Tästä syystä korjaustoimenpiteiden jälkeenkin rakenteisiin jäänyt kuiva mikrobikasvusto saattaa olla haitallinen rakennuksen käyttäjille. Artikkelissa *Altistumisen arviointi sisäilmaston laatuun vaikuttavien tekijöiden perusteella* (Pietarinen V-M., ym., 2015) ja julkaisussa *Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen* (Lappalainen S., ym., 2016) määritellään kriteerejä mikrobivaurion aiheuttaman terveydellisen haitan arviointiin. Arviointiin vaikuttavat rakennuksessa havaitun mikrobivaurion laajuus, vaurion ja sisäilman väliset yhteydet, ilmavuotoreitit sekä rakennuksen paine-erot. (Pitkäranta, 2016, s. 141, 142, 144)

Mikrobien esiintyminen sisäilmaan yhteydessä olevissa rakenteissa tulkitaan lähtökohtaisesti haitalliseksi mikrobivaurioksi. Kasvustoa voi kuitenkin toisinaan esiintyä niin vähäisenä määränä tai sellaisessa rakennosassa, ettei se aiheuta haittaa rakenteiden ulkonäölle, toiminnalle tai rakennuksen käyttäjien terveydelle. Mikrobien esiintyminen rakennuksen ulkoilmaan yhteydessä olevien rakenteiden ulkopinnoilla on tavanomaista ikääntyneissä rakennuksissa. Näitä rakennosia ovat muun muassa tuulensuojalevyt sekä ylä- ja alapohjaeristeet. Ulkoilmaan yhteydessä olevien rakenteiden korkeatkaan mikrobipitoisuudet eivät aina vaadi korjaustoimenpiteitä. Mikrobipitoisuuksien vaikutus rakenteiden toiminnalle ja käyttäjien terveydelle on aina tapauskohtainen. (Pitkäranta, 2016, s. 141, 142)



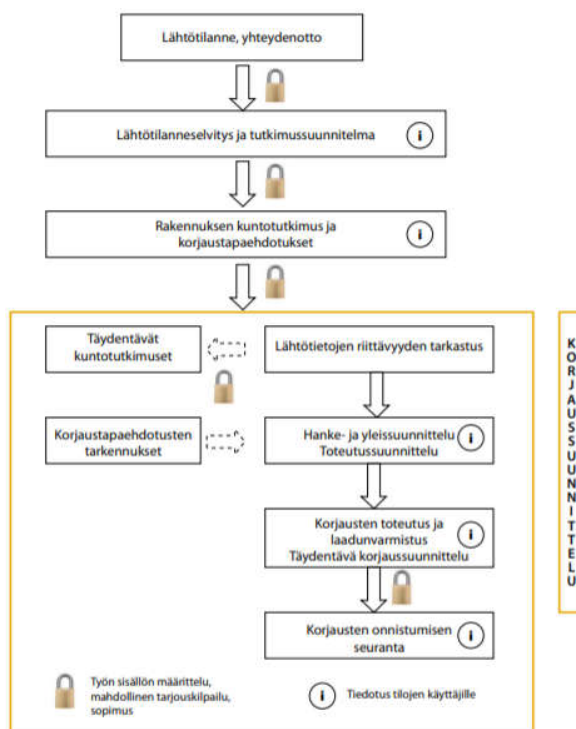
Kuva 9. Mikrobikasvun merkitys rakennuksen eri rakennosissa. (Pitkäranta, 2016, s. 143)

5 KOSTEUS- JA MIKROBIVAUROIDEN KORJAUS

5.1 Yleistä

Kosteus- ja mikrobivaurioiden korjauksessa tavoitteena on muuttaa vaurioituneet rakenteet rakennusfysikaalisesti toimivaksi sekä poistaa mahdolliset vaurion aiheuttamat terveyshaitat rakennuksen käyttäjille. Rakennuksen peruseräparannus ei ole ensisijainen tavoite. Korjauksen toteutuksessa on kaksi vaihtoehtoa: Vaurioituneet materiaalit sekä muut epäpuhtauslähteet poistetaan tai epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan estetään. (Weijo, 2019, s. 10)

Kosteus- ja mikrobivaurioiden korjauksessa tärkeänä perusedellytyksenä on riittävien lähtötietojen saanti. Yksi merkittävä lähtötieto on kiinteistöön tehdyt kuntotutkimukset. Lähtötietojen pohjalta käynnistetään korjaussuunnittelu. Korjaussuunnittelu toteutetaan kiinteistö- tai rakennuskohtaisesti huomioiden rakennuksen, rakennusosien sekä taloteknisten järjestelmien mahdolliset erityispiirteet. Sisäilmaongelmien korjaukset ovat usein monimutkaisia. Jos korjaustoimenpiteet kohdistuvat vain osaan rakennusta, rakennuksen rakennusosien sekä taloteknisten järjestelmien toiminta yhtenä kokonaisuutena tulee varmistaa suunnitteluvaiheessa. Korjaussuunnittelussa on tärkeää sovittaa korjattavan rakenteen käyttöikätaivoite muiden rakenneosien ja taloteknisten järjestelmien käyttöiän kanssa, jolloin vältetään kosteus- ja mikrobivaurion ali- tai ylikorjaiselta. (Weijo, 2019, s. 8)



Kuva 10. Kosteus- ja mikrobivaurioituneen rakennuksen korjaushankkeen kulku. (Weijo, 2019, s. 11)

5.2 Lainsäädäntö

Rakennusten sekä asuin- ja työtilojen terveydellisistä oloista, rakennusten suunnittelusta ja niiden rakentamisesta säädetään maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999, MRL), terveydensuojelulaissa (763/1994, TSL) ja työturvallisuuslaissa (738/2002, TTL) sekä lakien nojalla annetuissa asetuksissa ja näitä selventävissä alemmissa ohjeissa.

Korjaustoimenpiteet vaativat rakennusluvan, mikäli työllä on vaikutusta rakennuksen käyttäjien turvallisuuteen tai terveydellisiin oloihin (MRL 125 §). Kunnan rakennusvalvontaviranomainen arvioi rakennusluvan tarpeen. Tarkoin rajattavissa olevan kosteus- ja mikrobivaurion korjaus harvemmin edellyttää rakennuslupaa. Rakennusluvanvaraisessa kosteusvauriokorjauksessa viranomainen voi edellyttää pätevän henkilön laatimaa selvitystä rakennuksen kunnosta (MRL 131 §). Rakennuksen kunnan selvitys toteutetaan kuntoarvio, -tarkastus tai -tutkimusmenetelmin. Selvityksen tekijällä tulee olla rakennuksen tai rakenteiden kunnan selvittämiseen riittävä koulutus. (Weijo, 2019, s. 14)

Kosteus- ja mikrobivauriokorjausten suunnittelu luokitellaan erityisalan suunnitteluksi. Kosteusvaurion korjaustyön suunnittelijan tulee ottaa erityisesti huomioon rakentamisen terveellisyys. Suunnittelijan tulee lisäksi tietää rakennuksen rakennusaikainen rakentamistapa sekä rakenteiden kosteustekninen toimivuus. Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan suunnittelutehtävät jaetaan neljään vaativuusluokkaan, jotka määrittävät suunnittelijalta vaadittavan koulutustason sekä vähimmäistyökokemuksen. Vaativuusluokat ovat vähäinen, tavanomainen, vaativa ja poikkeuksellisen vaativa. Kosteusvauriokorjaustöissä ei ole vaativuusluokaltaan vähäiseksi määriteltäviä suunnittelutehtäviä. Rakennusvalvontaviranomainen määrittää rakennuksen kunnosta tehtyjen selvitysten perusteella suunnittelutehtävän vaativuusluokan. Tavanomaiseksi määriteltävässä suunnittelutehtävässä kosteus- ja mikrobivauriot ovat selkeästi määriteltäviä ja rajattavia. Tavanomaisessa suunnittelutehtävässä korjaustoimenpiteitä vaativat vauriot esiintyvät pääosin rakenteiden pinnoilla tai rakenteiden sisäiset vauriot ovat selvästi rajattavissa. Vaativaksi määriteltävässä suunnittelutehtävässä vauriot ovat laajoja tai vaativat huomattavia muutoksia rakenteiden kosteusteknisen toiminnan parantamiseksi. Suojeltujen rakennusten kosteusvauriokorjaukset ovat tyypillisesti määriteltäviä vaativaksi, jos korjaustyö ei vaikuta rakennuksen suojeltuihin ominaispiirteisiin. Suunnittelutehtävä on poikkeuksellisen vaativa, jos rakennuksessa on aikaisemmista korjaustoimenpiteistä huolimatta uusiutunut kosteusvaurio, vaurioituneiden materiaalien poistaminen ei ole mahdollista, rakennuksen käyttötarkoitus tai muu ominaisuus aiheuttaa poikkeuksellisia vaatimuksia tai rakenteissa on poikkeuksellisen korkeita haitta-ainepitoisuuksia. Mikäli kosteusvauriokorjaukset kohdistuvat suojellun rakennuksen suojeltuihin erityispiirteisiin, luokitellaan suunnittelutehtävä poikkeuksellisen vaativaksi. (Weijo, 2019, s. 18)

Korjaussuunnitelmaan tulee sisällyttää tiedot toimenpiteistä, joilla kosteusvaurion haitta tai sen vaikutus sisäilmaan poistetaan sekä tieto rakenteen toimivuudesta suunnitellun käyttöiän aikana. (YMa 216/2015, 16 §). Rakennepiirustuksissa tulee sisällyttää tieto käyttöön jäävistä ja purettavista rakenteista sekä niiden toiminnasta (YMa 216/2015, 11 §).

Rakennuksen energiatehokkuutta on parannettava luvanvaraisen korjaustyön yhteydessä, mikäli se on teknisesti, toiminnallisesti ja taloudellisesti kannattavaa (Yma 4/2013).

5.3 Korjausmenetelmät

Korjausmenetelmien valinnassa keskeistä on valita tilanteeseen soveltuvien korjaustoimenpide teknisen käyttöiän, taloudellisuuden ja toimintavarmuuden näkökulmasta. Korjaustoimenpiteen ensisijainen tarkoitus on eliminoida vauriosta aiheutuva terveyshaitta. Jos vaurioituneessa rakennusosassa on aktiivinen ja etenevä kosteus- ja tai mikrobivaurio se on aina uusittava. Sisäilmaongelmatapauksissa rakenteiden purkaminen ei kuitenkaan aina ole välttämätöntä. Toisinaan vaurioitumiseen johtaneen tekijän poistaminen ja epäpuhtauksien kulkeutumisen estäminen sisäilmaan riittää poistamaan vaurioiden aiheuttaman terveyshaitan. Mikäli rakenteisiin jää vaurioitumattomia, kosteustekniseltä toiminnalta riskirakenteiksi luokiteltavia rakennosia, tulee niiden toimivuutta seurata ja olosuhteita hallittava suunnitelmallisesti korjaustoimenpiteiden jälkeen. (Weijo, 2019, s. 32)

Kosteus- ja mikrobivaurioiden korjaushanke voi kohdistua yksittäiseen rakennusosaan tai koko rakennukseen. Korjaushankkeen yhteydessä on usein kannattava korjata muita kosteuden aiheuttamia vaurioita rakenteissa, kuten korroosion heikentämiä raudoituksia kosteusvaurioituneen vaipparakenteen korjauksessa. Korjausmenetelmän ja korjausalueen määrittämisessä on tärkeä tiedostaa vaurion syntymekanismit. Yksinkertaisissa tapauksissa vaurioituminen on voitu selkeästi osoittaa ja rajata perusteellisesti tehdyssä kuntotutkimuksessa havaittujen vauriokohtien alueelle. todellinen korjauslaajuuden määrittäminen on haastavaa erityisesti suurissa kiinteistöissä. (Weijo, 2019, s. 32)

Rakennuksen tai rakennusosien purkaminen on yleensä vaihtoehtona silloin, kun rakenteiden korjausaste on yli 70 %, eikä rakennus tai rakenteet ole suojeltuja. Myös tilojen käyttötarkoituksen muutos saattaa vaikuttaa purkupäätökseen. Korjausaste voi ylittyä myös ilman purkuperusteita erityisesti vanhemmissa aikakaudelle tyypillisesti rakennetuissa rakennuksissa. Elinkaarensa päässä olevia rakennuksia saatetaan purkaa matalamallakin korjausasteella. Rakennuksen perusparannuksen suunnittelussa uudisrakentaminen saattaa olla edullisempi ratkaisu. (Weijo, 2019, s. 32, 33)

Taulukko 6. Kosteus- ja mikrobivaurioituneen rakennuksen korjausmenetelmiä. (Weijo, 2019, s. 37)

Korjausmenetelmä	Korjauksen soveltuvuus	Keskeiset onnistumisen edellytykset	Riskitekijät onnistumiselle
Kosteusteknisen toimivuuden parantaminen	Kaikissa tapauksissa, jos ei ennestään toimiva.	Rakennuksen ja rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden kokonaisvaltainen tarkastelu. Toimivuuden parantamisen mahdollistavien korjausmenetelmien valinta.	Kosteusteknistä toimivuutta ei tarkastella tai ymmärretä rakennuksessa kokonaisvaltaisesti. Vanhan rakennusosan kosteusteknisen toimivuuden puutteet tai vanhat rakenteet on selvitetty huonosti.
Rakennusosan uusiminen	Uusiminen on rakennusteknisesti ja suojelunäkökuilmaista mahdollista, korjauksen kannalta tarpeellista ja siihen on käytettävissä tarvittavat resurssit.	Uusittavan osan tarkoituksenmukainen rajaaminen. Hankkeen kokonaisvaltainen hallinta, resurssien riittävyys. Uuden rakenteen rakennusfysikaalinen toimivuus.	Ympäristöjen rakenteiden, stabiiliteetin, paloturvallisuuden, taloteknisten järjestelmien ja ääneneristykseen riittämätön hallinta. Liitokset ympäröiviin rakenteisiin. Pölynhallinta. Joudutaan samalla purkamaan hyviä, toimivia rakenteita.
Kuivaaminen	Kun löydetään kostea materiaalia, jota ei ole kannattavaa poistaa. Riittää yksin, jos vaurio on paikallinen, eikä ole ehtinyt aiheuttaa mikrobikasvua materiaaleihin, ja kaikkien kastuneiden rakenteiden kuivaaminen on mahdollista.	Varmistetaan siitä, että (1) kaikki kastuneet rakenteet ovat kuivat ennen rakenteiden sulkemista, (2) mikrobikasvu ei ole ehtinyt alkaa, (3) materiaalit eivät ole vaurioituneet.	Huolimaton kastuneiden rakenteiden kartoitus ja riittämätön kuivaaminen. Rakenteiden sulkeminen ennen niiden riittävää kuivumista. Rakenteeseen jää mikrobivaurioita, joita ei ole huomattu, tai kuivaaminen on liian hidasta niin, että rakenne ehtii sen aikana mikrobivaurioitua.
Rakennuksen painesuhteiden muuttaminen	Paine-eron aiheuttamien epäpuhtauksien kulkeutumisen hallinta laajempaa korjausta odotettaessa tai sen jälkeen. Painesuhteiden tarkistaminen ja ilmanvaihdon säätäminen sisältyvät kaikkiin korjaustoimenpiteisiin.	Taloteknisten järjestelmien, ilmavirtauksen, painesuhteiden ja ilmavuojojen hallinta, rakenteiden kosteusteknisen käyttötymisen hallinta.	Rakennuksen taloteknistä ja rakennusfysikaalista toimintaa ei tarkastella kokonaisuutena. Tuulen aiheuttaman ja termisen paine-eron vaikutukset, jotka eivät ole hallittavissa pelkästään ilmanvaihdoilla (tuulinen rakennuspaikka, korkea rakennus, korkeat kiulut tai epätiivit vaipparakenteet).
Rakennusosien ilmativiiden parantaminen	Vaurio ei ole etenevä, vaurio on vähäinen ja sitä ei voida poistaa kokonaan esim. rakenneteknisiä syistä. Terveystaitan poistuminen korjauksilla on vahvasti perusteltu.	Korjauksella saadaan estettyä epäpuhtauksien leviäminen sisäilmaan. Lisäksi tehdään etenevän vaurion korjaustoimet. Korjauksien kokonaisvaltainen hallinta (muun muassa ilmanvaihto).	Epäpuhtauslähde jää ilmayhteyteen sisätilan kanssa, tiivistyksen rikkoutuminen esimerkiksi käyttäjien tai huollon toiminnan vuoksi. Etenevän vaurion korjaustoimien puuttuminen. Vuotojen lisääntyminen jonkun toisen rakennusosan kautta tiivistämisen seurauksena. Pitkäaikaisesta käytöstä nyky-menettelmillä ei ole kokemusta, käyttöikä epävarma.
Kapselointikorjaus			

Korjaustoimenpiteiden tavoitteellinen käyttöikä on ajanjakso, jonka aikana rakenne täyttää sille asetetun vaatimustason normaalia huoltosuunnitelmaa noudattaen (ISO 15686-1 2011). Käyttöikäsuunnitteluun vaikuttaa valittujen materiaalien ja rakenteiden ominaisuudet sekä suunniteltu tavoitteellinen käyttöikä. Suunniteltu tavoitteellinen käyttöikä on ajanjakso, jonka valitun korjausratkaisun tekniset ominaisuudet säilyvät valitulla todennäköisyydellä vaaditulla tasolla normaalia huoltosuunnitelmaa noudattaen. Suunnittelukäyttöiän toteutumistodennäköisyydeksi valitaan normaalisti 95 %, joka tarkoittaa että 5 % korjauksista jää alle tavoiteikänsä. (Weijo, 2019, s. 38, 39)

5.3.1 Perusteellinen rakenteen uusiminen.

Korjaustavassa voi kohdistua korjaustoimenpiteitä myös kantavaan rakenteeseen. Uusitun rakenteen tavoitteellinen käyttöikä on yli 50 vuotta. Tavoiteikäkäyttöikä vähentäviä tekijöitä ovat muun muassa rakenteiden liitosten epätiivetyshkohdat, liittyvän rakenteen vaurioituminen sekä korjatun rakenteen kastuminen liittyvän rakenteen toimimattomuuden vuoksi. (Weijo, 2019, s. 38)

5.3.2 Rakenteen osittainen uusiminen.

Vaurioituneet rakenteet poistetaan laajoilta alueilta. Rakenteen ilmatiivyyttä parannetaan rakenneliitoksia tiivistämällä. Rakenteen kosteusteknistä toimintaa parannetaan vaurioitumisen uusiutumisen ehkäisemiseksi. Osittain uusitun rakenteen tavoitteellinen käyttöikä on 30-50 vuotta. Tavoiteikäyttöikää vähentäviä tekijöitä ovat muun muassa perusteellisessa uusimisessa mainittujen tekijöiden lisäksi korjattavan rakenteen kosteussisältö ja rakenteen kuivaamisen onnistuminen. (Weijo, 2019, s. 38)

5.3.3 Pintarakenteisiin liittyvät korjaukset.

Rakenteen ilmatiivyyttä ja tuuletusta parannetaan. Paikalliset, selkeästi rajattavat vauriot korjataan. Rakenteen kosteusteknistä toimintaa parannetaan. Vaurioitunutta materiaalia jää rakenteeseen. Rakenteiden ilmatiivyyden parantamiskorjausten tavoiteikä on 15-20 vuotta. Tavoiteikäyttöikää vähentäviä tekijöitä ovat rakenteiden liitosten epätiiviyskohdat, korjauksessa käytettyjen materiaalien kestävyys, rakenteiden väliset liikkeet, tiivistettävän rakenteen epätiivis sekä korjaustyön toteutuksen epäonnistuminen. (Weijo, 2019, s. 38)

Korjauskokonaisuus voi koostua eritasoisten korjausmenetelmien yhdistelmästä. Ensisijaisesti kuitenkin pyritään poistamaan vaurion aiheuttaja ja vaurioitunut materiaali sekä estämään vaurion aiheuttama haitta sisäilmaan. (Weijo, 2019, s. 39)

5.4 Korjaustoimenpiteet

Kosteus- ja mikrobivaurioituneen rakennuksen korjaukseen kuuluvia toimenpiteitä ovat rakenteiden kuivaaminen, rakenteiden purkaminen, rakenteiden pintojen puhdistaminen, rakennusosien rakennusfysikaalisen toimivuuden varmistaminen, taloteknisten järjestelmien säätö ja siivoustoimenpiteet. Lisäksi korjaukseen kuuluu muita tarvittaessa toteutettavia toimenpiteitä, kuten rakennusosien epätiiviyiskohtien tiivistäminen, rakenteiden tai tilojen ali- tai ylipaineistaminen sekä kosteuden ja epäpuhauksien siirtymistä rajoittavat korjausmenetelmät. (Weijo, 2019, s. 54)

5.4.1 Rakenteiden kuivatus

Rakenteiden kuivattamisen nopea aloittaminen on erityisen tärkeä toimenpide akuuteissa kosteusvauriotapauksissa. Kuivattamista ennen karotetaan kuivatusta vaativat rakenteet. Hetkellisissä vauriotapauksissa rakenteiden avaaminen ja kuivattaminen on riittävä toimenpide. Laajoissa ja pitkäaikaisissa kosteusvaurioissa joudutaan usein tekemään merkittäviä materiaalin poistamisia sekä puhdistamisia kuivatuksen lisäksi. Rakenteiden avaaminen ja vaurioituneen materiaalin poistaminen

nopeuttaa rakenteen kuivatusta. Kosteusmittauksella varmistetaan rakenteen kuivatuksen onnistuminen. Kuivatus voidaan toteuttaa ilman tehostusta luonnollisella ilmankierrolla tai tehostamalla kuivatusta koneellisesti. Rakenteen kuivumista tehostetaan imemällä ilmaa rakenteiden läpi, lämmittämällä rakennetta paikallisesti ja alentamalla ilman suhteellista kosteutta rakenteen ympärillä. Rakenteen läpi imevää ilmaa voidaan tarvittaessa lämmittää. (Weijo, 2019, s. 55, s. 56)

Tilakuivaus on yleisimmin käytetty toimenpide. Tilakuivauksessa kastunutta rakennetta ympäröivän tilan ilman kosteustasoja alennetaan adsorptio- tai kondenssikuivaimilla. Adsorptiokuivauksessa kostea ilma puhalletaan pois tilasta, kondenssikuivauksessa kosteus tiivistyy nesteeksi, joka kerätään astiaan tai viemäroidään. (Weijo, 2019, s. 57)

Hyvin ilmaa läpäisevien rakenteiden kuten joidenkin lämmöneristeiden kuivatuksessa käytetään imukuivausta, puhalluskuivausta tai imu-puhalluskuivausta. Rakenteista imetään kosteaa ilmaa tai rakenteisiin puhalletaan kuivaa ilmaa tai tehdään samanaikaisesti molempia. (Weijo, 2019, s. 57)

Lämpökuivausmenetelmässä rakennetta lämmitetään esimerkiksi lämpömatolla ja rakenteesta höyrystyvä ilma puhalletaan pois rakenteen läheisyydestä kosteuskerääjiin. Menetelmää käytetään massiivirakenteissa, jolloin kosteus voi siirtyä syvemmälle rakenteessa. Tämän vuoksi kuivatus tehdään usein jaksoissa, jotta rakenteessa jäljellä oleva kosteus tasaantuu. (Weijo, 2019, s. 57)

5.4.2 Rakenteiden uusiminen

Mikrobivaurioituneiden ja kastuneiden rakennusmateriaalien poistaminen on lähtökohtaisesti aina tarpeellinen toimenpide. Materiaalin uusimistarvetta harkitaan kuitenkin arvioimalla vaurion aiheuttamaa haittaa rakenteille tai käyttäjille sekä rakennusosan purkamista teknisestä ja taloudellisesta näkökulmasta. Kantavien rakenteiden, kuten betonirakenteiden purkaminen ei ole lähtökohtaisesti kannattavaa. Mikrobivauriot sijaitsevat usein rakenteiden pinnalla huokoisia materiaaleja lukuun ottamatta. Mikrobivaurio tulee kuitenkin poistaa rakenteen pinnalta mekaanisesti esimerkiksi jyrsimällä. Huokoiset ja kerrosvahvuudeltaan ohuet rakenteet on yleensä suositeltava poistaa rakenteen sisällä olevan mikrobivaurion varalta. Massiivirakenteiden sisällä olevien epäpuhtauksien poistaminen ei ole yleensä kannattavaa. Rakennusosiin jäävien vähäisten epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan voidaan estää tiivistyskorjauksilla. (Weijo, 2019, s. 57)

5.4.3 Rakenteiden tiivistys ja kapselointi

Epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan konvektion tai diffuusion avulla estetään tiivistämällä rakenteita tiivistys- ja kapselointitoimenpiteillä. Rakenteen tiivistäminen tarkoittaa rakenteiden saumojen, reunojen sekä läpivientien epätiiviyyskohdista vuotavien konvektiovirtausten estämistä. Kapselointi tarkoittaa koko rakenteen pinta-alalle tehtävää pinnoitetta konvektion ja diffuusion tapahtumisen estämiseksi. Konvektiovirtauksia voidaan myös vähentää tekemällä painesuhteiden muutoksia tilojen ja rakenteiden välille. (Weijo, 2019, s. 54)

Rakennuksen tiivistyskorjauksissa on otettava huomioon, että rakennusta ei saada koskaan täysin tiiviiksi. Tiivistyskorjaukset saattavat vaikuttaa rakenteen kosteustekniseen toimintaan heikentämällä sen kuivumiskykyä konvektiovirtausten vähennyttävä. Tiivistyskorjauksissa on kiinnitettävä erityistä huomiota materiaalivalintoihin. Tiivistykseen valittavat materiaalit tulee olla käyttökohteeseen soveltuvia elastisuus ja lujuusominaisuuksiltaan. (Weijo, 2019, s. 58)

Tiivistyskorjaukset toteutetaan usein massiivisiin rakennusosiin, kuten betoni- ja tiilirakenteisiin. Betonirakenteiden tiivistyksessä tiivistetään liikuntasamat, läpiviennit sekä rakenneliitokset. Tiilirakenteisilla pinnoilla tiivistys on suositeltava tehdä kauttaaltaan tiilirakenteen huokoisuuden takia. Tiivistys on tehtävä yhtenäisesti koko tiivistettävän pinnan alueelle. (Weijo, 2019, s. 58)

Kapseloinnilla estetään haitta-aineiden tai muiden epäpuhtauksien kulkeutuminen konvektiolla ja/tai diffuusiolla rakenteiden läpi. Kapselointi on usein korjauslaajuudeltaan suurempi kuin tiivistäminen. Kapselointi toteutetaan levitettävillä pinnoitteilla tai höyrynsulkukalvoilla. Rakenteellisessa kapseloinnissa epäpuhtauksia sisältävän rakenteen ja sisätilan väliin rakennetaan tuuletusväylallinen verhouksen rakenne. Tuuletusväli tuuletaan koneellisesti epäpuhtauksien pääsyn estämiseksi. (Weijo, 2019, s. 59, 60)

5.4.4 Painesuhteiden hallinta

Rakennuksen painesuhteiden hallinnalla voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen sisätilojen ilman laatuun. Ulkovaipan yllisen paine-eron säättäminen lievästi alipaineiseksi ehkäisee haitallisen kosteuden siirtymisen rakenteisiin sekä luo rakenteita kuivattavan vaikutuksen talviolosuhteissa. Alipaineen aiheuttamat konvektiovirtaukset ja niiden tuomat epäpuhtaudet rakenteesta sisäilmaan tulee estää tarvittaessa tiivistyskorjauksilla. Suurta alipaineisuutta tulee välttää. Painesuhteiden hallinta on monimutkainen kokonaisuus. Painesuhteisiin vaikuttaa ulkoilman olosuhteet sekä rakennuksen käyttö. (Weijo, 2019, s. 61)

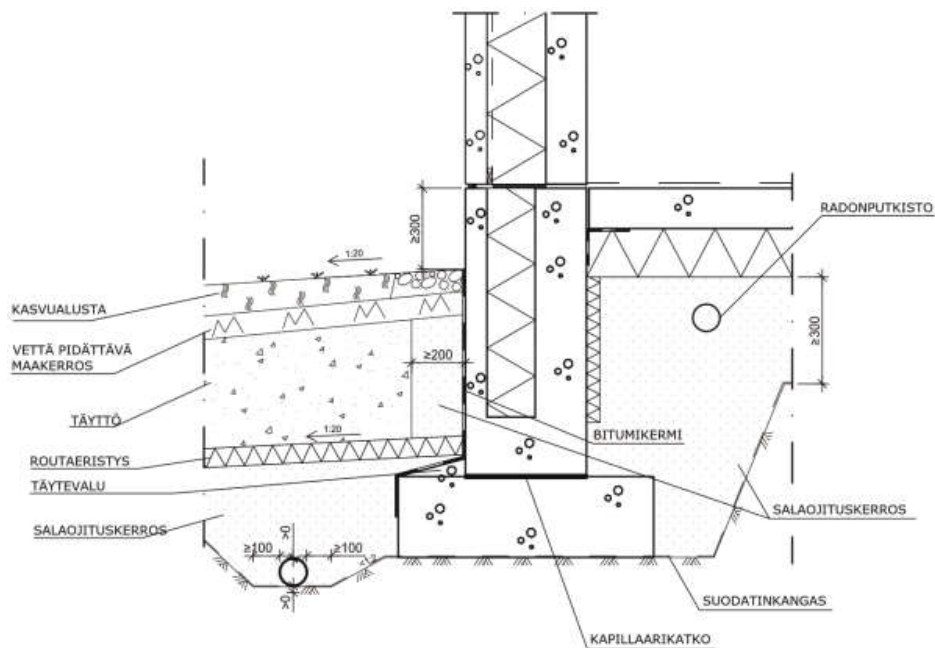
Rakennusosan alipaineistuksella voidaan ehkäistä epäpuhtauksien kulkeutuminen rakennusosasta sisätiloihin. Alipaineistus edellyttää rakennusosan tiivistystä sekä koneellisen poistopuhaltimen asennusta alipaineistettavaan tilaan. Alipaineistusta käytetään esimerkiksi ryömintätiloihin. Rakennusosan alipaineistuksessa on huomioitava sen vaikutus ympäröiviin rakennusosiin ja niiden toimintaan. Rakennusosan alipaineisuuden ylläpidon tarkkailu on suositeltava toteuttaa hälytysjärjestelmällä. (Weijo, 2019, s. 62)

Haitallisten ilmavirtausten ehkäisemiseksi rakennuksen sisätilat voidaan tehdä ylipaineiseksi vaurioituneen rakennusosan suhteen. Suomen ilmasto-olosuhteissa ylipaineistaminen ei ole pitkäaikaisesti suositeltavaa sen aiheuttaman rakenteiden kosteusrasitusriskin takia. Ylipaineistuksessa sisäilman kosteuspitoisuutta on seurattava. Ylipaineistaminen on sopiva menetelmä käyttöikänsä päässä oleville rakenteille, jos muut korjaustoimenpiteet eivät ole osoittautuneet toimiviksi. Ylipaineistaminen toimii myös väliaikaistoimenpiteenä korjausta odottaviin rakennuksiin, joissa sisäilman kosteustuotto ei ole merkittävä. (Weijo, 2019, s. 62)

5.5 Rakennusosakohtaiset korjaustoimenpiteet

5.5.1 Rakennuksen ulkopuoliset kuivatusrakenteet

Rakennuksen perustusten kosteusrasitusta vähentää oikeaoppinen sadeveden ohjaus. Sadevesi ohjataan vesikatolta ulko- tai sisäpuolisella vedenpoistolla. Ulkopuolisessa vedenpoistossa sadevesi ohjautuu räystäskouruja pitkin syöksytorville ja sadevesikaivoille. Syöksytorven korkeus sadevesikaivoon tulee olla sopiva, jotta vesi ei roisku kaivon yli missään olosuhteissa. Sade- ja sulamisvesien aiheuttamaa kosteusrasitusta perustuksille vähennetään muotoilemalla maanpinta rakennuksesta pois viettäväksi kolmen metrin matkalla vähintään 150 mm. Rakennuksen lattia-pinnan tulee olla vähintään 300 mm rakennusta ympäröivää maanpintaa korkeammalla. Poikkeuksena ovat kellaritilojen lattiat. Rakennuspohjan salaojitus estää kapillaarisen veden nousun maaperästä perustusrakenteisiin. Salaojajärjestelmään kuuluu salaojaputkisto, salaojituskerros, salaojakaivot, tarkastuskaivot sekä kokoojakaivo. Salaojaputkiston tulee sijaita perustusten ulkopuolella ja anturan alapinnan alapuolella. Syvälle menevien perustusten salaojituksessa putkiston tulee kulkea sokkelipalkin tai perusmuurin alapuolella. Salaojajärjestelmän toiminnan ollessa puutteellinen se yleensä uusitaan kokonaisuudessaan. Salaojitus ei ole tarpeellinen, jos maaperän vedenläpäisykyky voidaan osoittaa riittäväksi eikä pohjaveden korkeus ole todettu haitalliseksi. (Weijo, 2019, s. 40)



Kuva 11. Perustusten kuivatusrakenteita. (Weijo, 2019, s. 41)

Salaojaputket asennetaan vähintään kaltevuuteen 1:200. Salaojakaivot asennetaan tyypillisesti rakennuksen nurkkien läheisyyteen ja salaojien liittymä- ja korkoerokohtiin. Salaojituskerros on karkearakeisesta maa-aineksesta tehty kerros rakennuksen ympärille ja alle, jonka tarkoituksena on ohjata vedet salaojaputkistoon. Rakennuksen vierustalla perustuksia vasten tulee olla vähintään 200 mm paksu pystysuuntainen salaojituskerros. Salaojituskerroksessa käytetyn maa-aineksen tulee täyttää RIL 126-2009 ohjeessa määrätyt kapillaarikatkokerroksen läpäisevyyssuosittukset. Sokkelirakenteen vedeneristyksen tarpeellisuutta tulee tarkastella korjauksen yhteydessä. Vedeneristys voidaan toteuttaa perusmuurilevyllä, jos sokkelin ulkopuolinen kosteusrasitus on suuri. (Weijo, 2019, s. 41)

5.5.2 Ryömintätällinen alapohja

Ryömintätilan kosteusteknisten ominaisuuksien parantaminen on ryömintätilan korjaustoimenpiteissä olennaisinta. Kosteustekniset ominaisuudet paranevat maaperän aiheuttaman kosteusrasituksen pienentämisellä, orgaanisen materiaalin poistamisella ryömintätilasta sekä tuuletuksen parantamisella. Rakennusjätteet poistetaan ryömintätilasta. Jos ryömintätilan täyttömaan pinnalla on mikrobikasvustoa, tulee täyttömaata poistaa vähintään 200 mm paksu kerros. Lievät vauriot rakenteiden pinnoilla voidaan tapauskohtaisesti arvioida jätettäväksi korjaustoimenpiteiden ulkopuolelle. Tällöin alapohjarakenteen ja sisäilman välisestä ilmatilavyydestä tulee varmistua. Maaperän aiheuttamaa liian suurta kosteustuottoa ryömintätilaan voidaan vähentää eristämällä maapohja kevytsoralla tai muovikalvolla. Kevytsorakerros toimii samalla sekä kapillaarikatkona että lämmöneristeenä. Kevytsorakerros vähentää lämmön

johtumista ryömintätilan ilmasta maaperään, jolloin ilmatilan kosteudentomiskyky on korkeampi. Lisäksi maaperän pysyessä viileämpänä vähemmän kosteutta haihtuu ilmatilaan. Ryömintätilan maapohjan salaojitus vähentää maaperän kosteudentuottoa ryömintätilan ilmatilaan. Maanpinnan muotoilu salaojiin päin viettäväksi vähentää veden lammitumista ryömintätilassa. Ryömintätilan tuuletuksen parantaminen vähentää kosteuden kertymistä ilmatilaan. Ryömintätilan painovoimaista tuuletusta voidaan parantaa lisäämällä tuuletusaukkojen määrää. Ryömintätilan tuuletuksessa tulee varmistua siitä, että koko ilmatila tuuletuu tasaisesti. Kokemuseräisesti ryömintätilan tuuletus on todettu riittäväksi tuuletusaukkojen tehollisen pinta-alan ollessa yli 1 % alapohjan kokonaispinta-alasta (RIL 107-2012, 2012). Tehollisen pinta-alan laskennassa on otettava huomioon mutkien, säleikköjen ja verkkojen aiheuttama virtausvastus. Painovoimaista tuuletusta voidaan tehostaa myös hyödyntämällä savupiippuvaikutusta katolle johdetulla tuuletusputkella. (Weijo, 2019, s. 43)

5.5.3 Ulkoseinärakenteet

Ulkoseinärakenteen kosteusfysikaaliseen toimivuuteen ja julkisivun vesitiiveyteen tulee kiinnittää huomiota. Ulkoseinärakenteeseen kohdistuvaa viistosateen aiheuttamaa kosteusrasitusta voidaan vähentää suunnittelemalla rakennukseen leveämmät räystäät. (Weijo, 2019, s. 47)

5.6 Kosteuden ja epäpuhtauksien siirtymistä rajoittavat korjausmenetelmät

5.6.1 Erikoislaastit ja -pinnoitteet

Rakenteiden kosteusrasitustaso voidaan alentaa siihen soveltuvilla erikoislaasteilla ja pinnoitteilla. Korjausmenetelmä soveltuu esimerkiksi seiniin, joissa esiintyy kapillaarista kosteuden nousua. Menetelmään soveltuvia laasteja on esimerkiksi kalkkipohjaiset erikoislaastit. Laastien haihtumispinta-ala on tavanomaista laastia suurempi, joka saattaa laskea rakenteen kosteusrasitustaso. Laastien käyttöikä rajoittaa huokosten tukkeutuminen. Menetelmään soveltuvia vedentiivistyslaasteja ovat tiivistysrappaukset, tiivistyslaastit sekä huokosiin materiaaleihin tunkeutuvat tiivistysaineet. Pinnoitteiksi soveltuu vesihöyryä hyvin läpäisevät maalit, tiivistyslaastit tai päällystysratkaisut sekä rakenteen pintalämpötilaa nostattavat maalit. (Weijo, 2019, s. 63)

5.6.2 Kapillaarikatko mekaanisesti tai injektoimalla

Kapillaarisesti nousevan kosteuden estämiseksi voidaan toteuttaa mekaanisesti tai injektointilla tehty kapillaarikatko. Injektointikorjauksessa rakenteeseen injektoidaan kapillaarisen katkon muodostavaa ainetta paineen avulla tai paineettomana. Käytetyn aineen tasainen leviäminen

rakenteeseen on edellytyksenä korjauksen onnistumiseen. Mekaaninen kapillaarikatko tehdään rakenteeseen sahaamalla seinän molemmin puolin urat alaviistoon, V-muotoon. Korjaus tehdään noin metrin mittaisissa osissa rakenteen kantavuuden säilyttämiseksi. Rakenne voidaan katkaista myös poraamalla tai lyömällä. (Weijo, 2019, s. 63, 64)

5.6.3 Sähköosmoosi

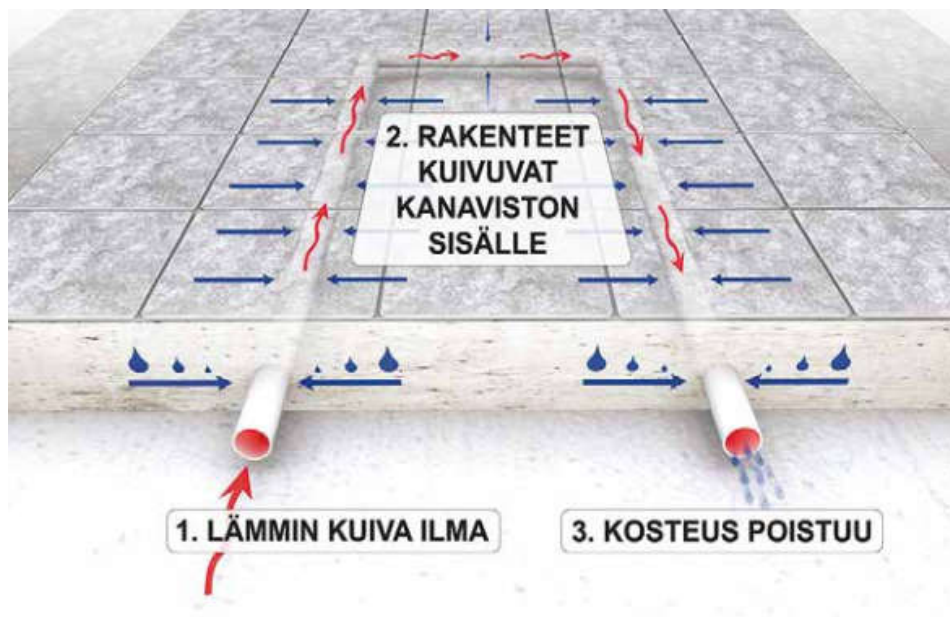
Sähköisessä rakenteiden kuivatusmenetelmässä peruseriaatteet ovat sovellettuja yleisistä korroosionestomenetelmistä. Aktiivisessa elektroosmoosissa rakenteeseen ja maaperään asennetaan elektrodit. Elektrodien välille luodaan sähköinen jännite, jonka suuruus säädetään vastamaan rakenteen polaarisuutta. Vaihtuvassa sähköosmoosissa rakenteisiin asennetaan positiiviset elektrodit ja maaperään negatiiviset. Menetelmä kuluttaa suuria määriä energiaa. (Weijo, 2019, s. 64)

5.6.4 Rakenteiden lämmittäminen

Rakenteita ja sen myötä sisätiloja lämmitetään rakenteeseen asennettujen lämmitysputkien avulla. Suojelluissa rakennuksissa lämmitysputket asennetaan pinta-asennuksella. Rakenteiden lämmittäminen soveltuu massiivisten seinien, maanvastaisten seinien, ikkunoiden ympärysten ja kylmäsiltojen kosteustekniseen parantamiseen. Rakenteiden lämmitysmenetelmä on käytössä myös rakenteiden väliaikaisessa kuivattamisessa ja mukavuuslämmityksessä. Menetelmän energiankulutus on suuri. (Weijo, 2019, s. 64)

5.6.5 Rakenteita kuivaava korjausratkaisu

Maanvastaisia sekä niihin liittyviä rakenteita voidaan korjata kuivausmenetelmällä. Menetelmä soveltuu tilanteisiin, joissa rakenteisiin kohdistuvaa kosteusrasitusta ei voida poistaa rakennusteknisistä tai kustannusteknisistä syistä. Rakenteen kuivaus edellyttää kosteusvaurioituneen rakenteen korjaamista muilta osin siihen tarkoitetuilla menetelmillä. Korjauksessa rakenteeseen asennetaan ilmakehanavisto, jonka tarkoitus on poistaa kosteutta konvektion avulla. Kuivausta voidaan tehostaa koneellisella puhaltimella, lämmittämällä sekä adsorptiokuivaimella. Menetelmää voidaan käyttää jo korjausvaiheessa kuivattamaan rakennetta tehostetusti ennen pinnoitustöitä. Jatkuva kuivatus mitoitetaan kohdekohtaisesti. Laadunvarmistus toteutetaan rakenteen kosteusmittauksilla. (Weijo, 2019, s. 64, 65)



Kuva 12. Rakenteita kuivaava korjausratkaisun toimintaperiaate (Weijo, 2019, s. 65)

5.6.6 Dynaaminen sähkömagneettikenttä

Magneettikentän avulla voidaan pienentää kapillaarista kosteutta rakenteessa. Pitkät dynaamiset sähkömagneettipulssit läpäisevät rakenteet ja hajottaa veden molekyylirakennetta, jolloin se menettää pintajännityksen ja kyvyn nousta rakenteessa ylöspäin. Menetelmän käytön yhteydessä rakenteen kosteutta suositellaan seurattavaksi jatkuvalla rakenteen kosteuden mittauksella. Korjausmenetelmään ei ole olemassa suunnitteluohjetta tai vakiintunutta toimintatapaa. Menetelmää on tutkittu työssä *Kapillaarisen kosteuden pienentäminen magneettikentän avulla* (Jurvanen 2018). (Weijo, 2019, s. 65)

5.6.7 Aktiivihiilimatto

Rakenteen aiheuttamien emissioiden pääsy sisäilmaan voidaan estää aktiivihiilimatolla. Materiaali on diffuusionläpäisevä mutta ilmatiivis. Toiminta perustuu epäpuhtauksien vangitsemiseen ja sitomiseen. Aktiivihiilimaton todellisesta käyttöiästään ei ole kokemuksia. (Weijo, 2019, s. 65, 66)

6 CASE-ESIMERKKI

6.1 Yleistä

Tutkimuskohde on pääkaupunkiseudulla sijaitseva vuonna 1984 rakennettu elementtirakenteinen pienkerrostalokiinteistö. Kohteessa on asuntoja 80 kappaletta kahdessa kerroksessa, yhteensä 14:ssä eri rakennuksessa. Kohteeseen toteutettiin kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus keväällä 2019. Lisäksi kohteeseen tehtiin erillisinä tutkimuksina asbesti- ja haitta-ainekartoitus, pohja- ja tonttviemärijärjestelmän kuntotutkimus, vesi- ja viemärijärjestelmän kuntotutkimus, sadevesiviemärijärjestelmän kuntotutkimus, sekä ilmanvaihdon kuntotutkimus.

6.2 Tiedot rakenteista ja järjestelmistä

Rakennuspiirustusten perusteella rakennukset on perustettu paalujen varaan. Päätysokkelit ja kantavien väliseinien peruspalkit ovat paaluanturoiden varaan asennettuja teräsbetonielementtejä. Alapohjan kantavat 265 mm vahvuiset teräsbetoniset ontelolaattaelementit on asennettu sokkeli ja peruspalkkien varaan ja alapohjan alustila on suunniteltu tuulettuvaksi sokkelin tuuletusaukkojen kautta. Rakennusten ulko- ja väliseinät ovat teräsbetonielementtejä.

Kiinteistössä on kahden tyyppistä ulkoseinärakennetta: Kantava seinärakennetyyppi A sekä itsekantava seinärakennetyyppi B. Rakennusten päädissä on kantavat tiililaattapintaiset sandwich-elementit (tyyppi A). Ulkoseinätyypin A rakennevahvuus on 380 mm. Pitkillä julkisivuilla ulkoseinä on itsekantava, sisäosaltaan puurunkoinen ja ulkokuoreltaan tiililaattapintainen teräsbetonikuorielementti (tyyppi B). 1. kerroksen kuorielementtiin on toteutettu sekä sokkeli että varsinainen seinäosa yhdessä elementissä. 2. kerroksen kuorielementti on tuettu 1. kerroksen elementtien varaan. Ulkoseinätyypin B rakennevahvuus on 293 mm lukuun ottamatta sokkeliosuutta. Kuorielementit toimivat mahdollisesti rakennusrungon pituussuuntaisessa jäykistyksessä. Myös parvekkeet ja vesikaton ristikot tukeutuvat kuorielementteihin. 1. ja 2. kerroksen väliset välipohjat ovat 265 mm ontelolaattoja.

Ulkoseinätyypin A rakenne sisältä ulospäin:

- Teräsbetoni 150 mm
- Mineraalivilla 130 mm
- Tiililaattapintainen teräsbetoni 100 mm

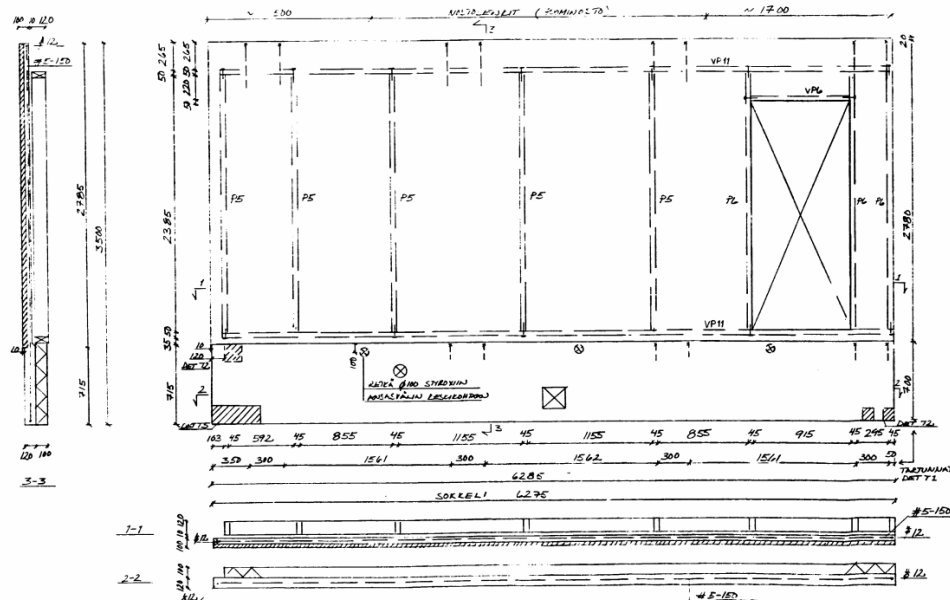
Ulkoseinätyypin B rakenne sisältä ulospäin:

- Kipsilevy 13 mm
- Koolaus ja mineraalivilla 50 mm
- Höyrynsulku (ei liitettynä alapohjaan)
- Puurunko ja mineraalivilla 130 mm

- Tiililaattapintainen teräsbetoni 100 mm

Ulkoseinätyypin B sokkeliosuuden rakenne sisältä ulospäin:

- Polystyreenilevy 100 mm
- Teräsbetoni 120 mm



Kuva 13. 1. kerroksen ulkoseinäelementti (Tyyppi B).

Rakennuksissa on vesikatteena konesaumattu teräspeltikate. Vesikatteen alusta on umpilaudoitettu. Vesikaton sadevedenohjaus on toteutettu ulkopuolisilla räystäääseen asennetuilla sadevesikouruilla. Vesikouruista sadevesi on ohjattu syöksytorviin ja maata vasten oleviin betonikouruihin, jotka viettävät pois päin rakennuksesta.

Rakennuksissa on koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä. Ilmanvaihtokanavat ovat sinkitystä teräksestä valmistettuja kierresaumakanavia. Korvausilmansaanti tapahtuu ulkoseinään asennettujen huoneistokohtaisten korvausilmaventtiilien kautta.

Kiinteistön salaojajärjestelmä on alkuperäinen ja salaojaputkisto on materiaaliltaan muovia. Salaojavedet on johdettu perusvesikaivojen kautta sadevesiverkostoon ja sieltä edelleen kaupungin hulevesiverkostoon.

6.3 Havaitut puutteet ja vauriot

6.3.1 Ulkopuoliset tutkimukset

Ulkopuolisissa tarkastelussa rakennusten sokkeleissa havaittiin kosteuden aiheuttamia jälkiä. Rakennusten vierustan täyttömaa on orgaanista täyttömaata tai kapillaarista soraa. Rakennusten sokkeleiden ulkopinnassa ei havaittu perusmuurilevyä, kosteussulkua tai vedeneristystä.

Rakennuksia ympäröivä pintamaa oli monin paikoin tasaista ja liian korkealla rakennusten lattiapintoihin nähden. Sadevedenohjaus syöksytorstesta betonikouruihin on suurelta osin puutteellinen, jonka vuoksi osa syöksytorvea pitkin kulkevasta sadevedestä jää rakennuksen vierustalle.

Salaojajärjestelmän kuntotutkimuksessa havaittiin, että salaojaputkisto on kokonaisuutena välttävissä sekä suurelta osin myös toimimattomassa kunnossa. Salaojissa esiintyy laajalti rakenteellisia vaurioita, korkeussuuntaista muutosta, juurikasvustoa ja maa-aineskertymää sekä tukoksia. Huomioiden salaojaverkostossa esiin tulleet ongelmat, ei salaojat todennäköisesti kykene poistamaan maaperästä aiheutuvaa kosteusrasitusta rakennusten perustuksista riittävästi. Havaintojen mukaan pelkällä salaojien huuhtelulla ei ole kovinkaan suurta merkitystä salaojien toiminnan parantamiseksi.



Kuva 14. Rakennuksia ympäröivä maan pinta on paikoin liian korkealla ja koostuu orgaanisesta maa-aineksesta.



Kuva 15. Vesikaton puutteellinen sadevedenohjaus aiheuttaa maanvastaisiin rakenteisiin kosteusrasitusta.

6.3.2 Alapohjarakenteet

Rakennusten alapohjia tarkastettiin niiltä osin, kun tarkastelu oli mahdollista. Kiinteistön H-rakennuksen alapohjaan oli tehty tarkastusluukku, joka mahdollisti ryömintätilan aistinvaraisen tutkimuksen sekä olosuhdemittaukset. Ryömintätilassa oli aistinvaraisesti havaittavissa veden lamikoitumista sekä kosteuden kondensoitumista alapohjarakenteen alapinnalle. Ryömintätilan maa-aines on kapillaarista täyttömaata. Alapohjiin on asennettu tuuletusputket, joiden toiminta on rakennusten pitkillä sivuilla puutteellinen. Ryömintätilan kosteudentuotto on arviolta korkeampi kuin sen kuivumiskyky. Ryömintätilassa havaittiin kohtalaisesti rakennusjätettä. Rakennuksen H alapohjassa tehdyt havaintojen oletetaan toistuvan suurimmassa osassa kiinteistön rakennuksia.



Kuva 16. Rakennusjätettä ryömintätilassa. Tiivistynyttä kosteutta ontelolaattojen alapinnassa.



Kuva 17. Rakennuksen vierustalla kulkeva routaeriste on painunut.

6.3.3 Ulkoseinärakenteet

Pintakosteuskartoituksessa havaittiin paikoin kohonneita kosteusarvoja pitkien sivujen ulkoseinien tiililaattapinnoissa. Useiden huoneistojen sisäänkäyntien vierustoilla havaittiin kosteusjälkiä kuorielementissä.

Kosteusjäljet ovat muodoltaan kolmiomaisia ja viittaavat siihen, että kosteusrasitus on suurinta seinän alaosassa. Ulkoseinien rakenneavauksissa tutkittiin rakenteet sisäpuolelta kuorielementin sisäpintaan saakka 15:en rakenneavauksen kautta. Rakenneavauksissa todettiin pitkien sivujen ulkoseinärakenteen alaohjauspuussa merkittäviä lahovaurioita. Vaurioita todettiin kaikissa 1. kerroksessa tehdyissä rakenneavauksissa. Rakenneavauksista otetuissa materiaalinäytteistä todettiin höyrynsulun sisäpuolisissa mineraalivillaeristeissä, puurakenteissa sekä kipsilevyn sisäpinnalla mikrobivaurioita. Merkkiainekokeissa ulkoseinärakenteen alaosissa havaittiin selkeitä ilmavuotoja.



Kuva 18. Rakenteista otetuilla materiaalinäytteillä todettiin mikrobivaurio myös höyrynsulun sisäpuolella.



Kuva 19. Höyrynsulun ulkopuolisissa puu- ja lämmöneristerakenteissa havaittiin pitkälle edenneitä mikrobi- ja lahovaurioita.

6.4 Yhteenveto kuntotutkimuksesta

Kiinteistössä havaittiin vaurioita maanvastaisissa ja niihin liittyvissä rakenteissa. Ulkoseinätyypin B puu- ja eristerakenteet ovat joutuneet voimakkaan kosteusrasituksen alaiseksi. Erityisesti 1. kerroksen B-typin ulkoseinärakenteen alaohjauspuu on pahoin vaurioitunut. Vauriot ovat koko kiinteistön laajuudella.

Ulkoseinän ja höyrynsulun välisen liitoksen epätiiveys sekä koneellisen poistoilman aikaansaama alipaineisuus aiheuttaa konvektiovirtauksia vaurioituneista rakenteista sisäilmaan. Tämä altistaa rakennuksen käyttäjät vauriosta syntyville epäpuhtauksille.

Ulkopuoliset kuivatusrakenteet ovat puutteelliset. Salaojajärjestelmä on paikoin toimintakyvytön poistamaan sadevesiä rakennuksen vierustalta. Sokkeli altistuu maaperän kosteudelle puutteellisten vesieristysten ja kapillaarisen maa-aineksen seurauksena.

Alapohjien ryömintätilan kosteustuotto on voimakkaampi kuin sen kuivumiskyky. Kosteus kondensoituu pinnoille aiheuttaen rakenteisiin kosteusrasitusta. Alapohjan maaperän pinnanmuodot mahdollistavat veden lamikoitumisen perustusrakenteiden läheisyyteen.

7 VAURIOIDEN SYNTYMEKANISMIT

Pitkien sivujen ulkoseinärakenteiden kosteusrasitusta aiheuttavia tekijöitä ovat viistosateet, sisä- ja ulkoilman vesihöyryn diffuusio, konvektiovirtaukset sekä kapillaarinen kosteuden nousu maaperästä.

Kosteusrasitustekijöiden vaikutusta vaurioiden syntyyn voidaan arvioida teoreettisesti laskennalla. Laskennallisesti määritettäviä tekijöitä ovat rakenteen diffuusiokäyttäytyminen, konvektiovirtaukset sekä kapillaarisen veden nousu. Viistosateiden vaikutusta rakenteen kosteustekniseen toimintaan ei laskennassa oteta huomioon.

7.1 Diffuusio ulkoseinärakenteessa

Ulkoseinärakenteen kosteusteknistä toimintaa voidaan arvioida rakenteen diffuusiolaskelmalla. Diffuusiolaskelmalla selvitetään mahdollista kosteuden tiivistymistä rakenteeseen sekä rakenteen kuivumiskykyä. Diffuusiolaskelmaa varten tarvitaan rakenneosien lämpötilat, ainekerrosten vesihöyrynvastukset, lämpötiloja vastaavat kyllästyspaineet sekä suhteellinen kosteus rakenteen molemmilla puolilla. Rakenteen kosteusteknisessä tarkastelussa vesihöyryn osapaineen oletetaan muuttuvan samassa suhteessa ainekerrosten vesihöyrynvastusten kanssa. (Siikanen, 2017, s. 73,74)

Ulkoseinärakenteen tiililaattapintaa ei oteta laskennassa huomioon sen vähäisen vaikutuksen vuoksi. Tiililaattapinta lasketaan osaksi betonikuoren vahvuutta.

7.1.1 Rakenteen lämpötilakenttä

Rakenteessa olevien ainekerrosten lämpötilat lasketaan määrittämällä ainekerrosten lämmönvastusten suhteet, kun tiedetään kokonaislämpötilaero rakenteen yli.

Ainekerroksen lämmönvastus lasketaan kaavalla:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (1)$$

jossa

R = lämmönvastus $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

d = homogeenisen ainekerroksen paksuus (m)

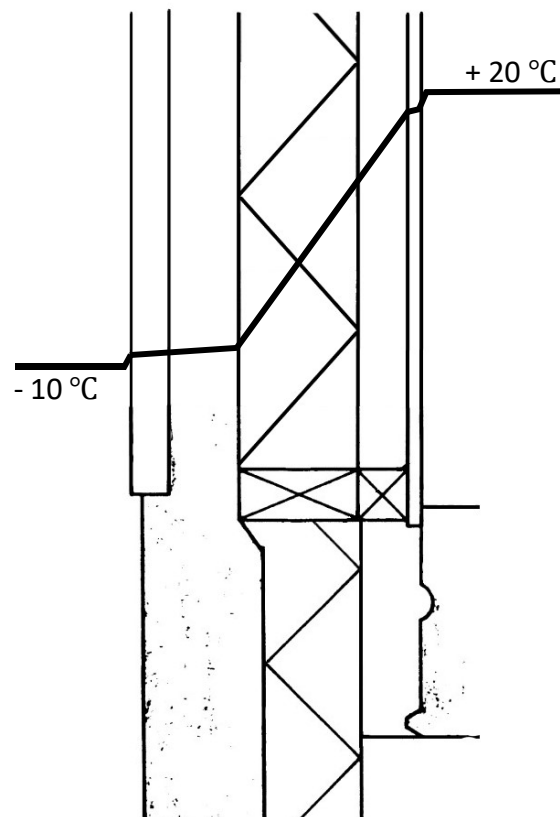
λ = lämmönjohtavuus W/mK

Laskennassa käytetyt lämmönjohtavuudet ovat SFS-EN-standardin mukaan määritettyjä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja. (Siikanen, 2017, 42-44). Höyrynsulkumuovia ei oteta laskennassa huomioon.

Rakenteen lämpötilakenttä talviolosuhteissa: Ulkoilma - 10 °C, sisäilma 20 °C, rakenteen kokonaislämpötilaero 30 °C. Lasketaan lämpötilat eri rakeneosien pinnoilla lämmönvastusosuuden suhteen.

Taulukko 7. Ulkoseinärakenteen lämpötilakentän laskennallisia arvoja.

Ainekerros	Paksuus	Lämmönjohtavuus	Lämmönvastus	Osuus kokonaisvastuksesta	Lämpötila rakenteen rajapinnassa
	m	W/mK	m ² K/W	%	°C
Sisäpuolen pintavastus			0,13	3,3	
Kipsilevy	0,013	0,21	0,0619	1,6	+18,98
Mineraalivilla	0,05	0,05	1	25,7	+18,5
Höyrynsulku					+10,79
Mineraalivilla	0,130	0,05	2,6	66,8	-9,25
Betoni	0,1	1,7	0,0588	1,5	-9,7
Ulkopuolen pintavastus			0,04	1,0	
Yhteensä	0,293	2,01	3,89	100	
Sisäpuolinen pintavastus R_{si} vaakasuuntaan on 0,13 m ² K/W					
Ulkopuolinen pintavastus R_{se} vaakasuuntaan on 0,04 m ² K/W					



Kuva 20. Ulkoseinärakenteen lämpötilakenttä talviolosuhteissa havainnollistettuna.

7.1.2 Rakenteen diffuusiokäyttäytyminen talviolosuhteissa

Ulkoilman olosuhteet talvella ovat -10 °C RH 100 %. Sisäilman kosteuslisä on 5 g/m^3 . (RIL-107, 2012, s. 26).

Ainekerroksen vesihöyrynvastus lasketaan kaavalla:

$$Z_p = \frac{d}{\delta_p} \quad (2)$$

jossa

Z_p = vesihöyrynvastus (m^2sPa)/kg

d = homogeenisen ainekerroksen paksuus m

δ_p = vesihöyryn läpäisevyys (kg/msPa)

Sisäilman kosteustuotto on 5 g/m^3 (RIL-107, 2012, s. 24). Ulkoilman kosteussisältö on $2,34\text{ g/m}^3$ suhteellisen kosteuden ollessa 100 %. Sisäilman kosteussisällöksi saadaan ottamalla kosteustuotto huomioon $2,34 + 5 = 7,34\text{ g/m}^3$.

Sisäilman kosteussisältöä vastaava vesihöyryn osapaine lasketaan kaavalla

$$P_v = v \times 461,4 \times T \quad (3)$$

jossa

v = sisäilman kosteussisältö (g/m^3)

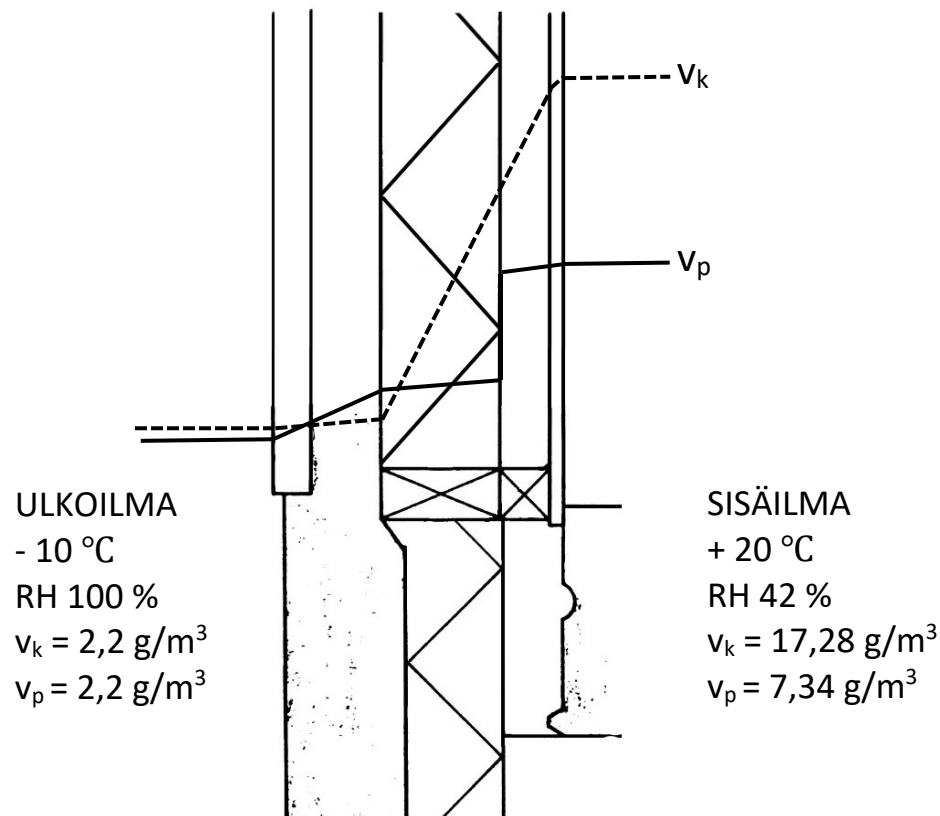
T = sisäilman lämpötila (K)

Sisäilman vesihöyryn osapaine on

$$P_v = 461,4 \times 293,15 \times 0,00734 \approx 993\text{ Pa}$$

Taulukko 8. Ulkoseinä rakenteen kosteuskentän laskennallisia arvoja.

Ainekerros	Lämpötila kerroksen rajassa °C	Kyllästyspaine Pa	Vesihöyryn vastus (m^2sPa)/kg x 10^{-9}	Vesihöyryn osapaineen aleneminen Pa	Vesihöyryn osapaine kerroksen ulkopinnassa Pa
Sisäilma	+ 20,0	2335			993
Pintavastus R_{si}					
Kipsilevy 13 mm	+ 18,98 sisäpinta	2200	0,75	1,5	991,5
Mineraalivilla 50 mm	+ 18,5 sisäpinta	2130	0,5	1,0	990,5
höyrynsulkuvuovi 0,2 mm	+10,79 ulkopinta	1300	350	688,6	301,9
mineraalivilla 130 mm	- 9,25 ulkopinta	277	1,3	2,6	299,3
betoni 100 mm	- 9,7 ulkopinta	267	20	39,3	260
Pintavastus R_{se}					
Ulkoilma RH 100 %	- 10	260			
Yhteensä			372,55		



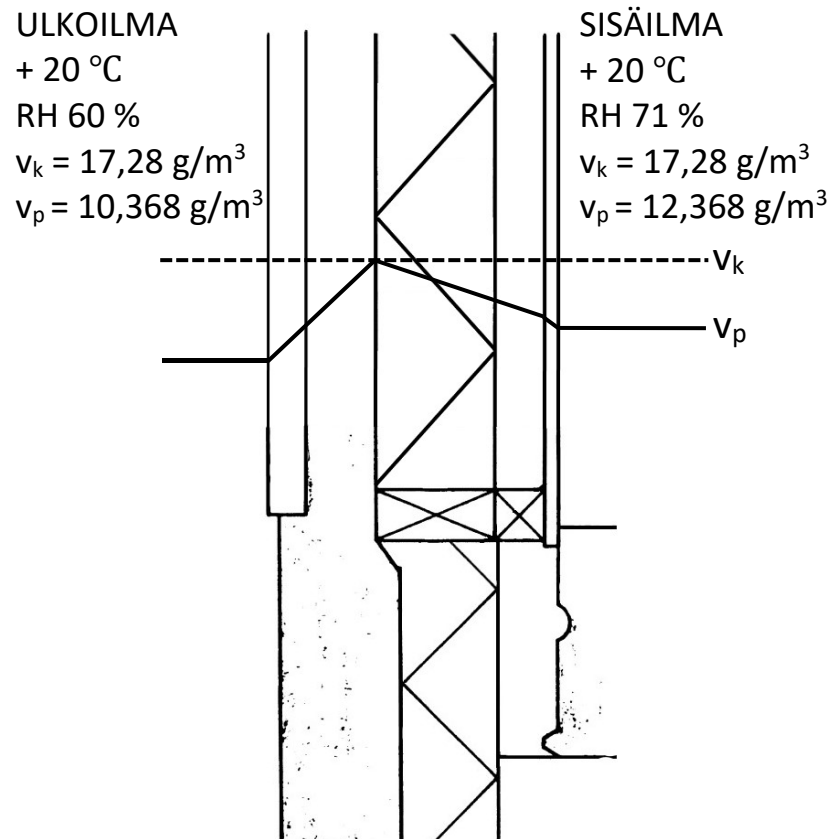
Kuva 21. Rakenteen kosteuskenttä talvella havainnollistettuna kyllästys- ja osapainekäyrillä. Kyllästyspitoisuuskäyrä on todellisuudessa vähäisesti epälineaarinen lämpötilamuutosten suhteen. (Lindberg, n.d.a, s. 6)

Rakenteen yli piirretyt kyllästys- ja osapainekäyrät leikkaavat toisensa betonikuoren ja ulomman mineraalivillan sisällä. Kun rakenteessa olevan vesihöyryn osapaine nousee kyllästyspaineen yli, osa vesihöyrystä tiivistyy rakenteeseen. Todellisuudessa vesihöyryn tiivistyminen tapahtuu betonikuoren sisäpintaan. (Lindberg, n.d.a, s. 6)

7.1.3 Rakenteen diffuusiokäyttäytyminen kesäolosuhteissa.

Rakenteiden kesäolosuhteiden laskennassa otetaan huomioon talvella todettu kosteuden tiivistyminen betonikuoren sisäpintaan. Tällöin sisäpinnassa vallitsee RH 100 %.

Kesäolosuhteissa sisäilman kosteustuotto on laskennallisesti 2 g/m^3 (RIL-107, 2012, s. 26). Tällöin sisäilman kosteussisältö on $17,28 \text{ g/m}^3 * 0,6 + 2 \text{ g/m}^3 = 12,368 \text{ g/m}^3$. Kosteussisältöä vastaava suhteellisen kosteuden arvo $+ 20 \text{ °C}$ lämpötilassa on 71 %.



Kuva 22. Rakenteen kosteuskenttä kesäolosuhteissa havainnollistettuna vesihöyryn kyllästys- ja osapainekäyrillä.

7.1.4 Diffuusiovauhti

Diffuusiolla tapahtuvan vesihöyryn etenemisnopeutta rakenteessa voidaan laskea kaavalla

$$g = \frac{\Delta v}{Z_v} \quad (4)$$

jossa

Δv = kahden pisteen välinen vesihöyryn pitoisuusero (g/m^3)

Z = kahden pisteen välinen vesihöyryn vastus (s/m)

Talviolosuhteissa betonikuoren sisäpintaan tiivistyvän kosteuden määrää voidaan arvioida laskemalla kondenssialueelle kulkeutuvan ja sieltä poistuvan vesihöyryn erotuksen. Vesihöyryn kulkusuunta on aina alemman pitoisuuden suuntaan, jolloin diffuusion suunta on talvella sisältä ulospäin.

Määritetään tarkastelujakso viikon mittaiseksi. Kondenssialueelta poistuvan vesihöyryn määrä viikossa on

$$\Delta v = 2,4 - 2,2 \text{ g}/\text{m}^3 = 0,2 \text{ g}/\text{m}^3$$

$$Z = 150 \times 10^3 \text{ s}/\text{m}$$

$$g = 0,2 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \div 150 \times 10^3 \frac{\text{s}}{\text{m}} \times 3600 \times 24 \times 7 \approx 0,8 \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \text{vko}}$$

Kondenssialueelle tulevan vesihöyryn määrä viikossa on

$$\Delta v = 7,34 - 2,4 \text{ g/m}^3 = 4,94 \text{ g/m}^3$$

$$Z = 2644 \times 10^3 \text{ s/m}$$

$$g = 4,94 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \div 2644 \times 10^3 \frac{\text{s}}{\text{m}} \times 3600 \times 24 \times 7 \approx 1,1 \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \text{vko}}$$

Talviolosuhteissa betonipintaan tiivistyy viikossa kosteutta $1,1 - 0,8 = 0,3 \text{ g/m}^2$.

Talviolosuhteissa rakenteeseen tiivistynyt kosteus poistuu kesäolosuhteissa sekä sisä- että ulkopuolelle.

Ulospäin siirtyvän kosteuden määrä kesäolosuhteissa on

$$\Delta v = 17,28 - 10,368 \text{ g/m}^3 \approx 6,912 \text{ g/m}^3$$

$$Z = 150 \times 10^3 \text{ s/m}$$

$$g = 6,912 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \div 150 \times 10^3 \frac{\text{s}}{\text{m}} \times 3600 \times 24 \times 7 \approx 27,8 \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \text{vko}}$$

Sisäänpäin siirtyvän kosteuden määrä kesäolosuhteissa on

$$\Delta v = 17,26 - 12,368 \text{ g/m}^3 = 4,912 \text{ g/m}^3$$

$$Z = 2644 \times 10^3 \text{ s/m}$$

$$g = 4,912 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \div 2644 \times 10^3 \frac{\text{s}}{\text{m}} \times 3600 \times 24 \times 7 \approx 1,1 \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \text{vko}}$$

Kesällä rakenteesta diffuusiolla poistuvan kosteuden määrä viikossa on $27,8 + 1,1 \approx 28,9 \text{ g/m}^2$.

7.2 Kapillaarisen veden nousu

Kapillaarinen kosteuden nousu tapahtuu, kun nesteen koheesio ja rajapinnan adheesio saa aikaan pintajännityksen. Kapillaarinen kosteus nousee materiaalin huokosia pitkin. Kapillaarinen nousukorkeus vaihtelee materiaalin mukaan. Nousukorkeuteen vaikuttaa muun muassa materiaalin huokosten koko. Rakennusmateriaalien huokosrakenne on kuitenkin epäsäännöllinen, jonka vuoksi kapillaarista nousukorkeutta ei voida tarkoin laskea. Eri rakennusmateriaalien kapillaarisuus on todettu kokemukseräisesti. Materiaaleille on määritetty kapillaarisen käyttäytymisen arvioimiseksi kapillaarivastuskerroin $m \text{ (s/m}^2\text{)}$ sekä kapillariteettikerroin $B \text{ (kg/m}^2\text{/Vs)}$. Kapillaarivastuskertoimen avulla voidaan laskea, kuinka kauan vedellä kestää nousta korkeudelle x . Kapillariteettikertoimella arvioidaan veden imeytymisnopeutta ajan hetkellä t (Lindberg, n.d.b, s. 1,3).

Kapillaarinen nousukorkeus voidaan kuvata ajan funktiona kaavalla

$$t = m \times x^2 \tag{5}$$

jossa

t = aika (s)

m = kapillaarivastuskerroin (s/m²)

x = veden nousukorkeus (m)

Veden imeytymisnopeutta tietyllä ajanhetkellä voidaan arvioida kaavalla

$$g = \frac{B}{2\sqrt{t}} \quad (6)$$

jossa

g = veden imeytymisvauhti ($\text{g}/\text{m}^2\text{s}$)

B = kapillariteettikerroin ($\text{kg}/\text{m}^2/\sqrt{\text{s}}$)

t = aika (s)

Taulukko 9. Rakennusmateriaalien kapillaariseen käyttäytymiseen vaikuttavia kertoimia (Lindberg, n.d.b, s. 4).

Rakennusmateriaali	Kapillaarivastuskerroin $\frac{\text{m}}{\text{s}/\text{m}^2 \cdot 10^6}$	Kapillariteettikerroin B $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \sqrt{\text{s}}}$	
Punatiili $1700 \text{ kg}/\text{m}^3$	0,5	0,37	
Kalkkihiekkakivi $1800 \text{ kg}/\text{m}^3$	1,6	0,18	
Kevytbetoni $700 \text{ kg}/\text{m}^3$	2,0	0,10	
Betoni		B_{max}	B (RH=90 %)
K20 (W/C $\approx 0,8$)	6	0,050	0,021
K25 (W/C $\approx 0,7$)	17	0,028	0,012
K30 (W/C $\approx 0,6$)	31	0,019	0,007
K40 (W/C $\approx 0,5$)	48	0,013	0,005

Ulkoseinärakenteen betonisokkelin korkeus on 715 mm. Betonin lujuusluokka on K30.

Vesi ulottuu alaohjauspuun alapinnan korkeudelle ajassa

$$t = m \times x^2$$

$$m = 31 \times 10^6 \frac{\text{s}}{\text{m}^2}$$

$$x = 0,715 \text{ m}$$

$$t = 31 \times 10^6 \times 0,715^2 / 3600 / 24 \approx 184,4 \text{ d}$$

Veden imeytymisnopeus ajanhetkellä $t \approx 184,4 \text{ d}$ on

$$g = \frac{B}{2\sqrt{t}}$$

$$B = 0,019 \text{ kg}/\text{m}^2/\sqrt{\text{s}}$$

$$t = 184,4 \text{ d}$$

$$g = \frac{0,019}{2 \times \sqrt{15847975}} \times 1000 \times 3600 \approx 8,6 \frac{\text{g}}{\text{m}^2\text{h}}$$

Kapillaarisen veden imeytymismäärä viikossa on:

$$8,6 \times 24 \times 7 \approx 1444,8 \text{ g}/\text{m}^2$$

7.3 Kosteuskonvektio

Rakenteessa olevien reikien tai rakojen kautta tapahtuva konvektio aiheutuu ilmanpaine-eroista rakenteen eri puolien välillä. Ilmanpaine-ero voidaan mitata tai laskea. Laskennassa on käytetty koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän tavoitteellista paine-eron arvoa.

Taulukko 10. Tavoitteelliset paine-erot rakennuksessa (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2009, s. 16)

Ilmanvaihtotapa	Paine-ero	Huomautuksia
Painovoimainen ilmanvaihto	0...-5 Pa ulkoilmaan 0 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat voimakkaasti sään mukaan.
Koneellinen poistoilmanvaihto	-5 ... -20 Pa ulkoilmaan 0...-5 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat sään mukaan.
Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, ilmanvaihtolämmitys	0...-2 Pa ulkoilmaan 0 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat sään mukaan.

Rakenteessa olevien epätiiviykskohtien kautta siirtyvää kosteusvirran määrää voidaan arvioida kaavalla (Björkholtz, 1987, s. 58)

$$g_{konv} = v \times Q \quad (7)$$

jossa

g_{konv} = konvektion aiheuttama kosteusvirta (g/s)

v = vesihöyrypitoisuus ilmassa (g/m³)

Q = Läpi virtaavan ilman määrä (m³/s)

Raon läpi kulkema ilmamäärä on hankala määrittää koska raon todellista suuruutta ei tiedetä ja sen vaikutus lopputulokseen on suuri. Arvio Konvektion aiheuttaman ilmavirran määrästä voidaan laskea kaavalla (Björkholtz, 1987, s. 58)

$$Q_{ohut} = 0,8 \times A \times \sqrt{\Delta p} \quad (8)$$

jossa

Q = konvektion aiheuttaman ilmavirran määrä (m³/s)

A = reiän pinta-ala (mm²)

Δp = rakenteen eri puolien ilman paine-ero (Pa)

Lasketaan ulkoseinärakenteen höyrynsulun ja alapohjan liitoksen läpi kulkevan kosteusvirran määrä metrin matkalla kesäolosuhteissa, kun oletetaan että höyrynsulun ulkopuolinen mineraalivillaeriste on kastunut talven aikana. Höyrynsulun ja alapohjan liitoksen rako on arviolta 0,1 mm leveä, jolloin $A = 0,0001 \text{ m}^2$. Rakenteen ja sisäilman väliseksi paine-eroksi arvioidaan taulukon x mukaan 5 Pa. Sisäilman vesihöyrypitoisuus on 12,368 g/m³, rakenteen ilmahuokoisten vesihöyrypitoisuus on 17,28 g/m³, kosteuspitoisuuksien ero on 4,91 g/m³.

$$Q = 0,8 \times 0,0001 \times \sqrt{5} \approx 1,78 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$g_{konv} = 4,91 \times 1,78 \times 10^{-4} \approx 8,78 \times 10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

viikossa tapahtuva konvektiolla siirtyvän kosteuden määrä metrin matkalla on

$$8,78 \times 10^{-4} \times 3600 \times 24 \times 7 \approx 531,2 \frac{\text{g}}{\text{vko}}$$

7.4 Yhteenveto

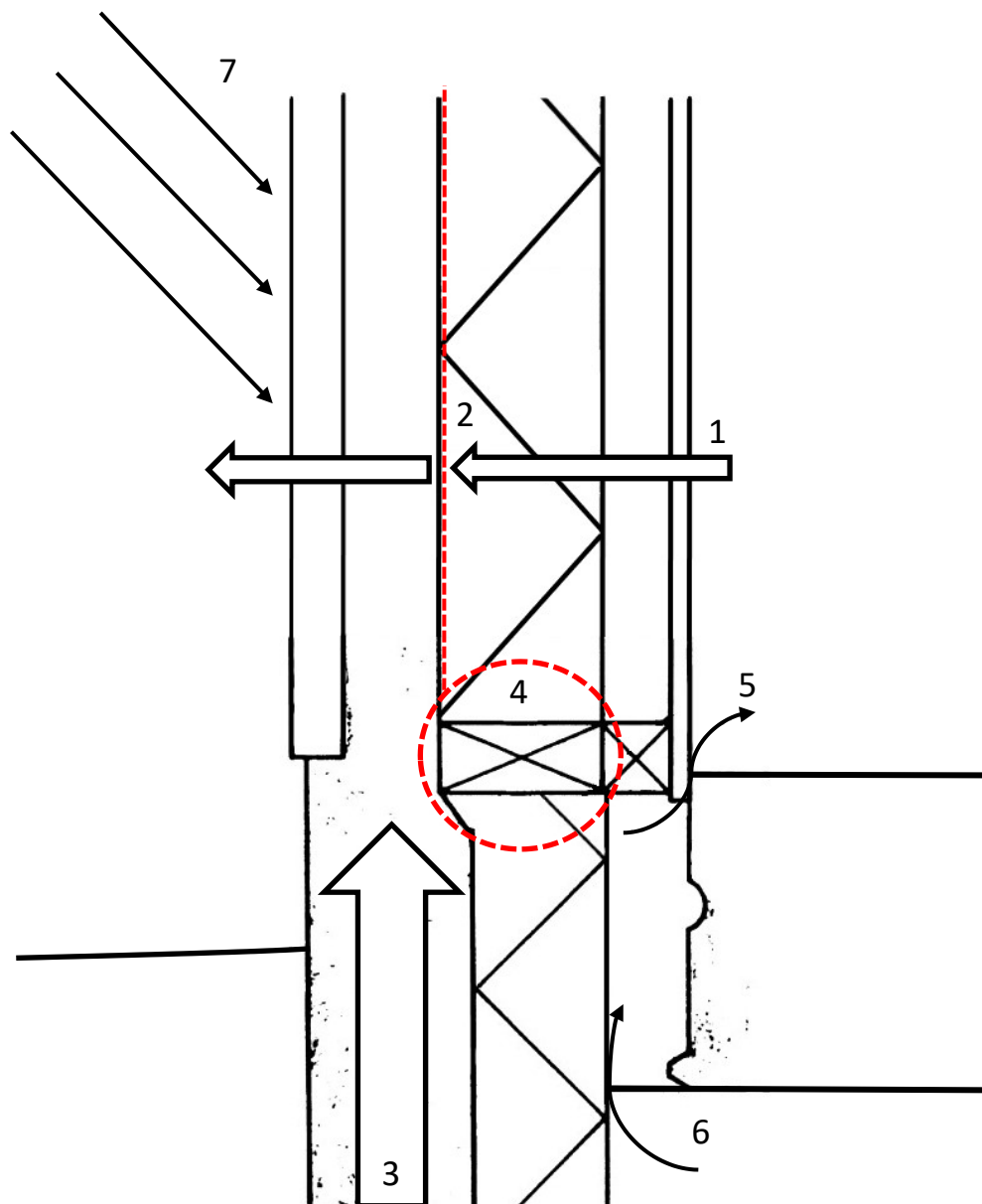
Talviolosuhteissa ulkoseinärakenteeseen kertyy viikossa kosteutta diffuusiolla $0,3 \text{ g/m}^2$, kesällä rakenteesta poistuu kosteutta diffuusiolla $28,9 \text{ g/m}^2$. Konvektiolla siirtyvän kosteuden määrä kesäolosuhteissa on $531,2 \text{ g/m}$. Kapillaarisesti nousevan kosteuden määrä on viikossa 1444 g/m^2 .

Talvella diffuusion vaikutuksesta ulkoseinärakenteen betonikuorielementin sisäpintaan tiivistyy kosteutta, joka jäätyy. Kesällä rakenne kuivuu diffuusiolla rakennuksen sisätiloihin ja ulkoilmaan. Diffuusion kuivattava vaikutus rakenteeseen on jaksottaista.

Rakenteen kuivumista saattaa edistää höyrynsulun ja sitä ympäröivien rakenteiden epätiivien liitosten läpi puhaltavat konvektiovirtaukset. Laskennallisesti konvektiolla siirtyvän kosteuden määrä on yli kymmenkertainen diffuusioon, joten konvektion ajoittainen rakennetta kuivattava vaikutus voidaan todeta. Konvektiovirtausten vaikutusta rakenteen kuivumiskykyyn on todellisuudessa vaikea arvioida, sillä liitosten välistä rakoa on vaikea määrittää tarkasti. Lisäksi konvektiolla siirtyvän ilman kosteuspitoisuus saattaa poiketa merkittävästi laskennassa käytetyistä arvoista.

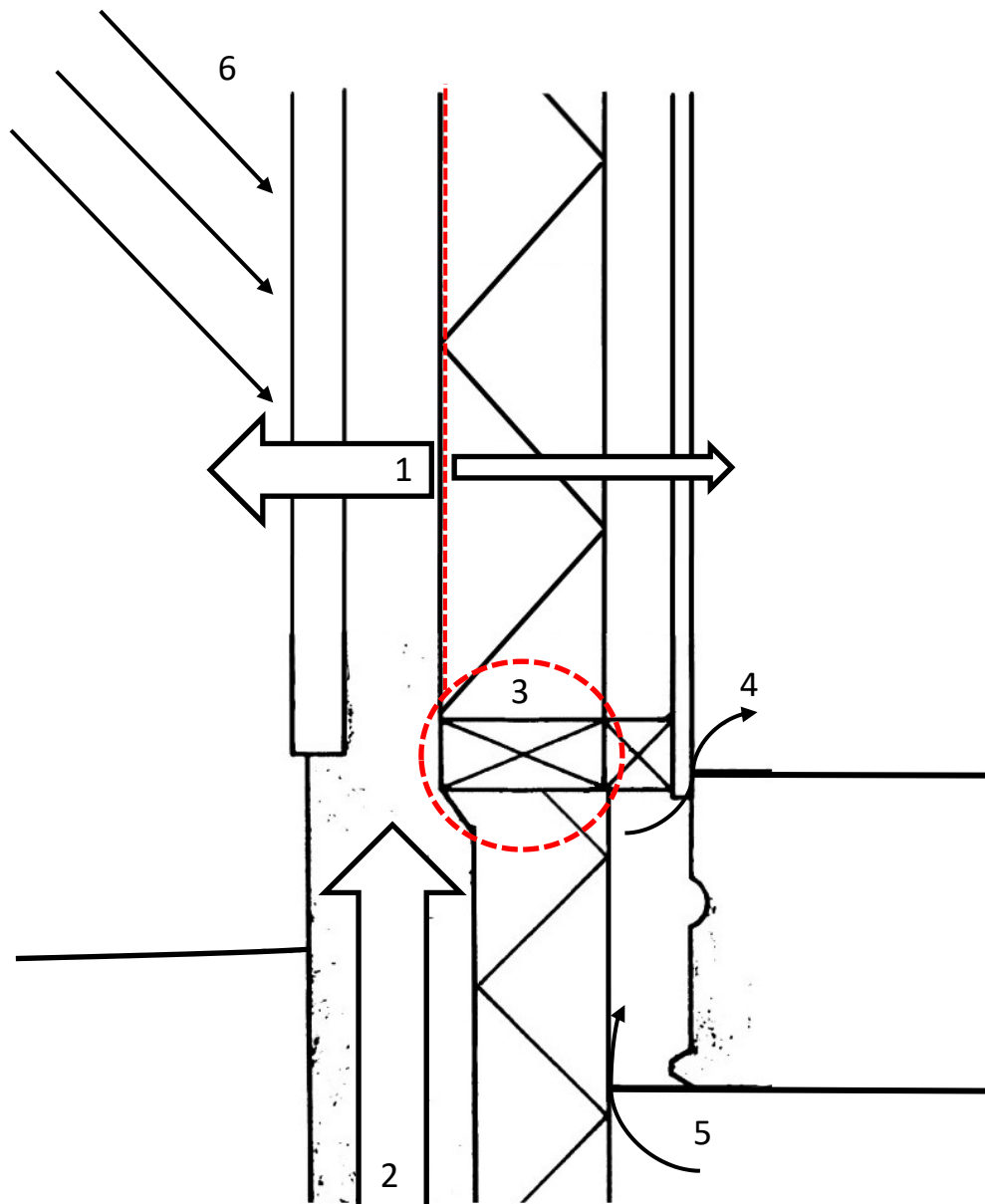
Kapillaarisesti sokkelirakenteeseen imeytyvän kosteuden määrä on laskennallisesti kolme kertaa rakenteiden kuivumiskyvyn verran. Laskennassa on oletettu kosteuden nousevan sokkelin alapinnasta, vaikka maaperän sekä sade- ja pintavesien kosteusrasitus esiintyy huomattavasti ylempänä. Kapillaarinen kosteus siirtyy diffuusiolla sekä kapillaarisesti kuorielementissä kiinni oleviin rakenteisiin, erityisesti maata lähinnä olevaan alaohjauspuuhun. Kapillaarinen veden nousu on laskelmien ja havaintojen perusteella merkittävin kosteusvaurion aiheuttaja ulkoseinärakenteessa.

Laskennassa on arvioitu rakenteen toimintaa kesä- ja talviolosuhteissa. Laskentaan valitut ulkoilman lämpö- ja kosteusarvot ovat arvio vuodenajan keskimääräisistä lukemista. Rakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä voidaan arvioida tarkemmin käyttäen laskennassa apuna olosuhteiden seurantamittauksia. Lisäksi rakenteen kosteusteknistä toimintaa voidaan tarkastella laajemmalla ajanjaksolla.



Kuva 23. Ulkoseinärakenteen kosteustekninen toiminta talvella.

1. Osa rakenteen läpi diffuusiolla siirtyvästä kosteudesta tiivistyy kuorielementin sisäpintaan.
2. Kuorielementin sisäpinnassa kiinni olevat puu- ja eristerakenteet kastuvat
3. Kapillaarinen kosteus nousee maaperästä kuorielementtiä pitkin
4. Kosteus siirtyy kuorielementistä alaojhauspuuhun kapillaarisesti sekä diffuusiolla
5. Koneellisen poistoilmanvaihdon aikaansaama alipaine luo konvektiovirtauksia rakenteen epätiiviyyskohdista sisätiloihin. Ilman lämmitessä virtauksella on rakennetta kuivattava vaikutus.
6. Konvektiovirtaukset kuljettavat kosteaa ilmaa ryömintätilasta rakenteeseen.
7. Viistosateet kastelevat rakennetta ja hidastavat diffuusiota kuorielementissä.



Kuva 24. Ulkoseinärakenteen kosteustekninen toiminta kesällä.

1. Kastunut kuorielementti kuivuu diffuusiolla sisään ja ulospäin.
2. Kapillaarinen kosteus nousee maaperästä kuorielementtiä pitkin
3. Kosteus siirtyy kuorielementistä alaohjauspuuhun kapillaarisesti sekä diffuusiolla
4. Koneellisen poistoilmanvaihdon aikaansaama alipaine luo konvektiovirtauksia rakenteen epätiiviyyskohdista sisätiloihin. Rakenteen huokosilman ja sisäilman välinen vesihöyrynpitoisuusero kuivattaa rakennetta.
5. Konvektiovirtaukset kuljettavat kosteaä ilmaa ryömintätilasta rakenteeseen.
6. Viistosateet kastelevat rakennetta ja hidastavat diffuusiota kuorielementissä.

8 KORJAUSTOIMENPITEET

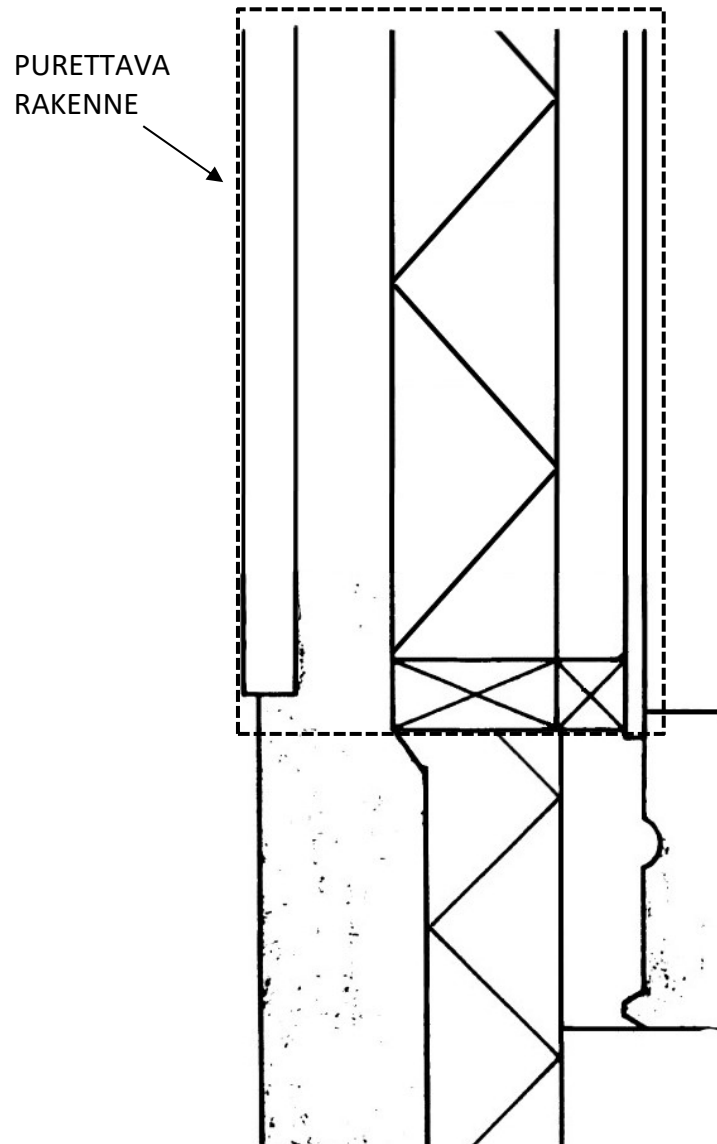
Soveltuvan korjausmenetelmän valinnassa tulee ottaa huomioon rakenteen tavoiteltava käyttöikä, korjaustoimenpiteen vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimintaan sekä toimenpiteeseen liittyvät riskit. Korjaustoimenpiteiden tavoiteltava käyttöikä suhteutetaan kiinteistön peruskorjauksella tavoiteltavaan käyttöikään. Kiinteistön peruskorjauksessa tavoitellaan 30 - 50 vuoden käyttöikää. Korjaustoimenpiteiden suunnittelutehtävän vaativuusluokka on vaativa, sillä vaurioiden korjaus vaatii useiden rakenneosien kosteusteknistä parantamista ja korjattavat vauriot ovat laajoja.

8.1 Ulkoseinärakenne

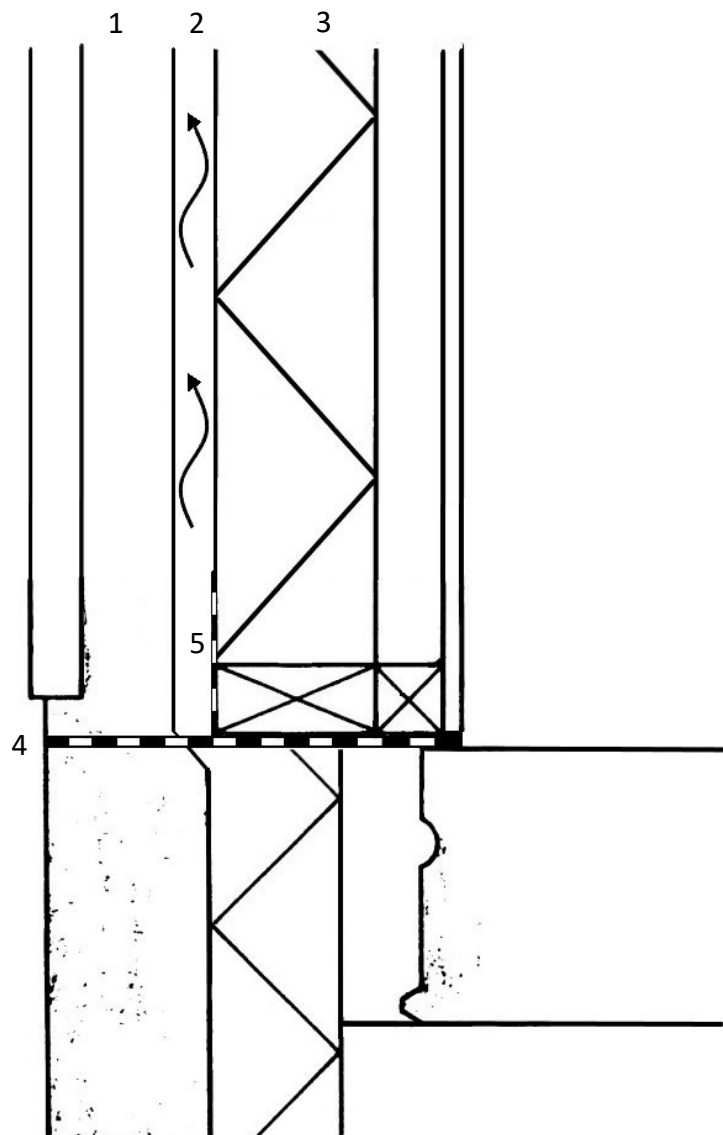
Ulkoseinärakenteen korjausvaihtoehtoja on kaksi. Rakenteen osittainen tai perusteellinen purkaminen. Molemmissa korjausvaihtoehdoissa on tehtävä korjaustoimenpiteitä sekä ulkopuolisiin kuivatusrakenteisiin että alapohjarakenteisiin.

8.1.1 Ulkoseinärakenteen osittainen purkaminen

Ulkoseinärakenne puretaan sokkelista ylöspäin (kuva 26). Sokkeli leikataan irti ulkoseinärakenteesta ja vanhat rakenteet puretaan. Sokkeli kuivatetaan ja sen päälle asennetaan kapillaarikatko. Uusi seinärakenne asennetaan vanhan sokkelin päälle. Uuden seinärakenteen tuulensuojalevyn alaosaan tehdään vedeneristys ja tuuletusvälin alaosaan porataan vedenpoistoreiät. Vanhoissa rakenteissa mahdollisesti olevien epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan estetään rakenneliitosten tiivistyskorjauksilla. Riskejä korjausmenetelmässä ovat rakenteiden liitosten epätiivelyskohdat, liittyvän rakenteen vaurioituminen sekä korjatun rakenteen kastuminen liittyvän rakenteen toimimattomuuden vuoksi. Korjausmenetelmän onnistumisen edellytyksenä on sokkelin rakenneteknisen toiminnan varmistaminen.



Kuva 25. Havainnekuva ulkoseinärakenteen osittaisesta purkamisesta.

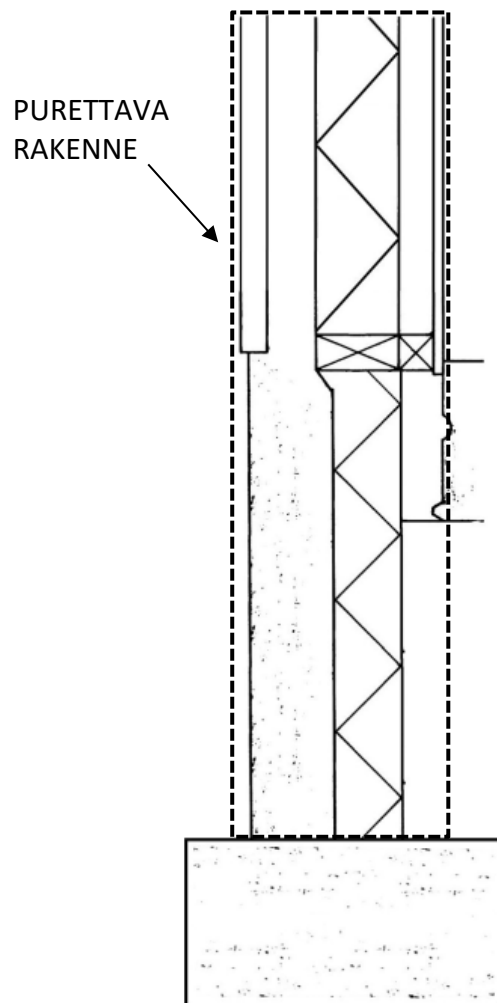


Kuva 26. Havainnekuva ulkoseinärakenteen osittaisesta uusimisesta.

1. Julkisivuverhoilu/kuorielementti
2. Tuuletusväli
3. Sisäpuoliset rakenteet
4. Kapillaarikatko uuden ja vanhan rakenteen väliin
5. Kosteuseristys

8.1.2 Ulkoseinärakenteen perusteellinen purkaminen

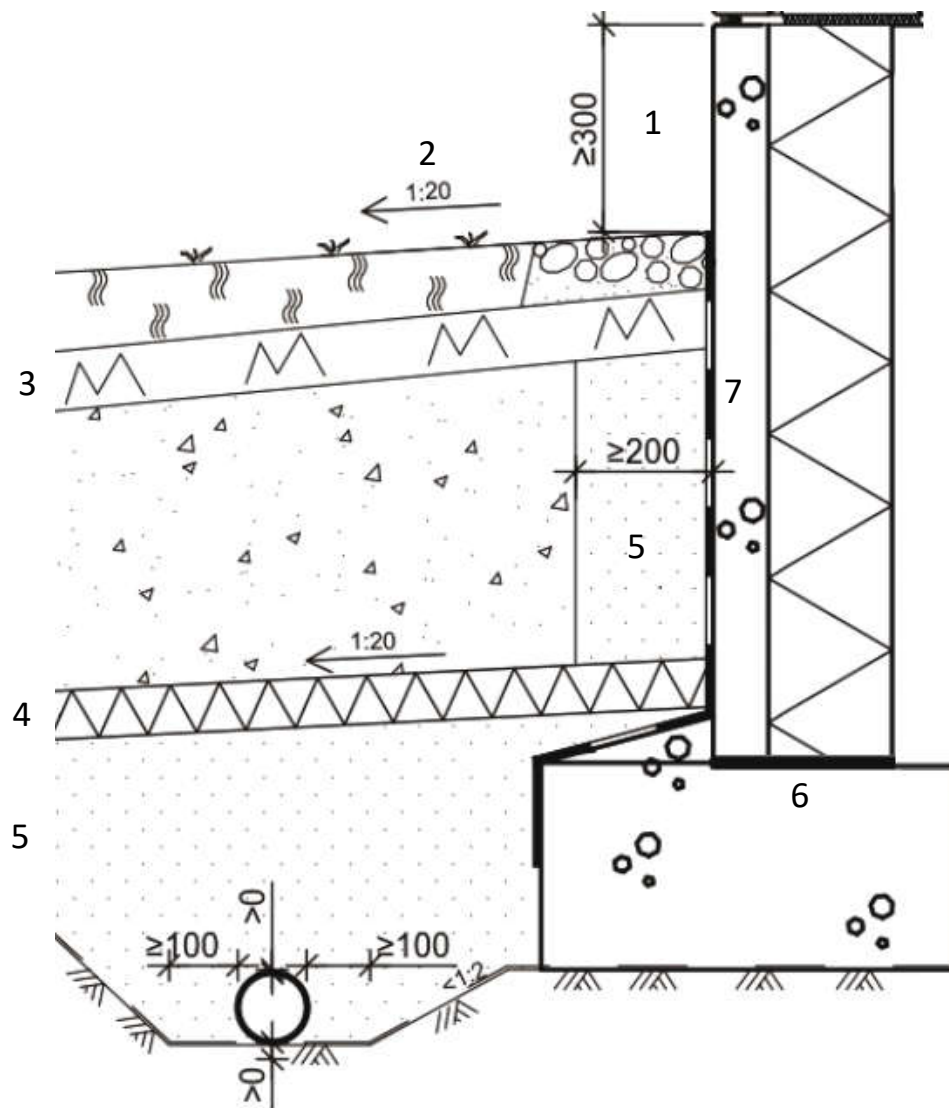
Ulkoseinärakenteen perusteellinen purkaminen (kuva 27). Ulkoseinä rakenne puretaan perusteellisesti sokkeli mukaan lukien. Korjaus mukailee kosteusteknisiltä vaatimuksilta kuvassa 26 esitettyä korjausratkaisua. Vanhoissa rakenteissa mahdollisesti olevien epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan estetään rakenneliitosten tiivistyskorjauksilla. Riskejä korjausmenetelmässä on rakenteiden liitosten epätiiveyshkohdat, liittyvän rakenteen vaurioituminen sekä korjatun rakenteen kastuminen liittyvän rakenteen toimimattomuuden vuoksi.



Kuva 27. Havainnekuva ulkoseinärakenteen perusteellisesta purkamisesta.

8.2 Ulkopuoliset kuivusrakenteet

Ulkoseinärakenteen ulkopuolisen kosteusrasituksen vähentämiseksi rakennuksen kuivusrakenteita parannetaan (kuva28). Rakennusten salaojitus on arvioitu kuntotutkimuksessa monin paikoin toimimattomaksi, jonka vuoksi putkiston uusiminen on tarpeellista. Sokkelin vedeneristäminen estää sade- ja pintavesien imeytymisen maaperästä rakenteeseen. Salaojituskerrokset tulee sekä putkiston ympärille että sokkelia vasten.



Kuva 28. Ulkopuoliset kuivatusrakenteet.

1. Maan pinnan ja lattia korkeusero on oltava vähintään 300 mm
2. Maan pinta viettää pois rakennuksesta 5 cm metrin matkalla
3. Vettä pidättävä maakerros
4. Routaeristys viettää pois rakennuksesta 5 cm metrin matkalla
5. Salaojituskerrokset
6. Kapillaarikatko anturan ja sokkelin väliin
7. Vesieriste ja perusmuurilevy

8.3 Alapohjarakenne

Ryömintätilan kosteusrasitusta vähennetään tuuletuksen tehostamisella. Orgaaniset ja muut jätteet poistetaan ryömintätilasta. Ryömintätilan mikrobivaurioitunutta maa-ainesta poistetaan vähintään 200 mm ja pohja tasoitetaan veden lammikoitumisen estämiseksi. Maapohja eristetään 200 mm sorapatjalla, joka samalla vähentää maaperästä ryömintätilaan haihtuvaa kosteutta.

9 TUTKIMUSTULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kiinteistössä todetut laajat kosteus- ja mikrobivauriot ovat aiheutuneet useasta kosteusteknisestä puutteesta ulkoseinä- ja maanvastaisissa rakenteissa. Rakennusfysikaalisissa laskelmissa suurimman kosteusrasituksen ulkoseinä-rakenteeseen aiheuttaa kapillaarisesti nouseva kosteus. Ulkopuolisten kuivatusrakenteiden sekä sadevedenohjauksen puutteista johtuen maaperän kosteus ja sadevedet ovat ajoittain kosketuksessa sokkeliin. Sokkeli on osa yhtenäistä ulkoseinän kuorielementtiä, jolloin rakenteessa ei ole kapillaarikatkoa. Tämä mahdollistaa kosteuden nousun ulkoseinä-rakenteeseen ja siirtymisen kuorielementissä kiinni oleviin puu- ja eristerakenteisiin.

Rakenteen diffuusiokäyttäytymisessä todettiin kosteuden tiivistymistä kuorielementin sisäpintaan talviolosuhteissa $0,3 \text{ g/m}^2$ viikossa. Laskelmien perusteella rakenteen kuivumiskyky diffuusiolla on kesäolosuhteissa $28,9 \text{ g/m}^2$ viikossa. Rakenne alkaa kuivumaan keväällä, jolloin lämpötilat ovat pääsääntöisesti yli $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ja ilman kosteus alhainen. Tällöin myös rakenteen mikrobivaurioituminen on mahdollista, kun rakenteeseen jäänyt kosteus sulaa. Rakenteen kastumis- ja kuivumisajanjaksojen pituudella on suuri merkitys vaurioitumiseen. Pitkä kastumisajanjakso vaatii pidemmän kuivumisajan. Diffuusion aiheuttaman kosteusrasituksen vaurioalue kattaa koko ulkoseinän pinta-alan. On todennäköistä, että rakennuksen elinkaaren aikana on ollut ajanjakso, jolloin rakenteeseen talvella tiivistynyt kosteus ei ole kevään aikana kuivunut riittävän nopeasti aiheuttaen mikrobivaurion kuorielementin vastaisiin rakenteisiin.

Kosteus- ja mikrobivaurioiden korjaustoimenpiteet koskevat ulkopuolisia kuivatusrakenteita sekä ulkoseinä ja alapohjarakenteita. Kiinteistön kosteusteknisen toiminnan parantaminen edellyttää kaikkien edellä mainittujen rakennusosien korjaamista tai parantamista. Vaihtoehtoja ulkoseinä-rakenteen korjaustavalle on kaksi: rakenteen osittainen tai perusteellinen purkaminen. Korjaustavoissa olennaisinta on poistaa mikrobivaurioitunut materiaali, estää kapillaarisen kosteuden nousu sokkelirakenteesta ulkoseinä-rakenteeseen sekä parantaa seinärakenteen diffuusiokäyttäytymistä.

Pääosa kiinteistön rakennusosista on 36 vuotta vanhoja. Tämän vuoksi peruskorjattavien rakenteiden teknisen käyttöiän mukainen korjaustarve on lähivuosina ajankohtainen. Kiinteistön kosteusvauriokorjaukset sekä peruskorjaushankkeen korjaustarpeet muodostavat yhdessä erittäin korkean korjausasteen, jonka vuoksi on aiheellista arvioida kiinteistön korjaamisen kannattavuutta.

10 POHDINTA

Työn tavoitteena oli selvittää ulkoseinärakenteen kosteustekninen toiminta, vaurioiden syntymekanismi sekä valita soveltuvien korjausmenetelmä poistamaan vaurioiden aiheuttama haitta rakennuksen käyttäjille. Kohteeseen tehtyjen kuntotutkimusten, aiheeseen liittyvän kirjallisuuden sekä kosteusfysikaalisten laskelmien avulla rakenteen todennäköisin vaurion aiheuttaja saatiin selvitettyä. Viistosateiden vaikutuksen huomiointi laskennassa olisi tuonut lisäinformaatiota rakenteen kosteustekniseen käyttäytymiseen, mutta ei olisi arviolta vaikuttanut työn lopputulokseen merkittävästi. Laskelmat eivät anna absoluuttisia tuloksia rakenteen kosteusteknisestä käyttäytymisestä, mutta osoittavat missä suhteessa eri kosteusfysikaaliset ilmiöt rakenteeseen vaikuttavat.

Korjaustavan valinnassa vaihtoehtoja oli niukasti vanhan rakenteen korkean vaurioasteen sekä kosteusteknisten puutteiden takia. Korjaustapa- vaihtoehtoista perusteellinen uusiminen on todennäköisesti kannattavampi vaihtoehto, sillä alapohjarakenteisiin kohdistuvien korjaustoimenpiteiden toteuttaminen on helpompaa, jos sokkelirakenne puretaan.

Työn teoriaosuus mielestäni kattaa käsiteltävän aiheen riittävästi. Vaikka teoriaosuus on työssä melko laaja, lopputulokseen tarvittava tiedon määrä on todellisuudessa suhteellisen vähäinen. Teoriaosuudessa esille tuodut asiat ovat kuitenkin olennaista esittää tuloksen oikeellisuuden todentamiseksi. Korjaustoimenpiteiden kustannusten arviointi rajattiin pois työstä, jotta työn laajuus ei kasva liian suureksi. Kustannusten arviointi saattaa olla järkevä toteuttaa vasta kosteusvaurioiden korjaussuunnittelijan laatimien alustavien suunnitelmien pohjalta.

Työ on opettanut minulle, kuinka paljon kuntotutkimuksen sisältö vaikuttaa kiinteistön jatkokäytön suunnitteluun. Asiantuntemukseni rakenteiden kosteusteknisen toiminnan ja kosteusvauriokorjausten osa-alueilla on kehittynyt työn ansiosta.

LÄHTEET

Asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017. Haettu 16.4.2020 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782>

Björkholtz D. (1987). *Lämpö ja kosteus: rakennusfysiikka*. Helsinki: Rakentajain Kustannus.

KH 90-00403 (2008). *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

KH 90-00535 (2013). *Asuinkiinteistön kuntoarvio*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Laakso L. (2003). *Kiinteistön teknisen elinkaaren hallinta*. Haettu 27.3.2020 osoitteesta <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK040602.pdf>

Lindberg R. (n.d.a). *Rakennusosien rakennusfysikaalinen toiminta*. Haettu 6.4.2020 osoitteesta <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK040302.pdf>

Lindberg R. (n.d.b) *Rakennusmateriaalien käyttäytyminen ja maanvastaiset rakenteet*. Haettu 6.4.2020 osoitteesta <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK050302.pdf>

Pitkäranta M., Laamanen P. (2016). *Kosteus- ja sisäilmatekninen kunto-tutkimus*. Helsinki: Ympäristöministeriö.

RIL 107-2012 (2012). *Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.

RT 05-10710 (1999). *Kosteus Rakennuksissa*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Siikanen U. (2017). *Rakennusfysiikka, perusteet ja sovelluksia*. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Sisäilmayhdistys ry. (2008). Haettu 7.2.2020 osoitteesta <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuslahteet>

Sosiaali- ja Terveysministeriö (2009). *Asumisterveysopas*. Helsinki: Sosiaali ja Terveysministeriö.

Weijo I., Lahdensivu J., Turunen T., Ahola S., Sistonen E., Vornanen-Winqvist C., Annala P. (2019). *Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus*. Helsinki: Ympäristöministeriö.