



Kosteusteknisesti toimivia korjaus- rakentamisen periaateratkaisuja

Jyri Nieminen | Ilpo Kouhia | Tuomo Ojanen |
Antti Knuuti



Kosteusteknisesti toimivia korjausrakentamisen periaateratkaisuja

Jyri Nieminen, Ilpo Kouhia, Tuomo Ojanen & Antti Knuuti

ISBN 978-951-38-8079-8 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

VTT Technology 144

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (verkkojulkaisu)

Copyright © VTT 2013

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT

PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

02044 VTT

Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

VTT

PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)

FI-02044 VTT

Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland

P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

Kosteusteknisesti toimivia korjausrakentamisen periaateratkaisuja

Jyri Nieminen, Ilpo Kouhia, Tuomo Ojanen & Antti Knuuti.

Espoo 2013. VTT Technology 144. 131 s. + liitt. 8 s.

Tiivistelmä

Tässä hankkeessa selvitettiin, millaisilla korjausrakenteiden periaateratkaisuilla 1950-, 1960- ja 1970-lukujen kerros-, rivi- ja pientalotalojen tyyppirakenteet voidaan korjata. Tavoitteena oli lämmönläpäisykertoimien (U-arvojen) puolitus alkuperäisestä ja kosteusteknisen toimivuuden varmistus ainakin alkuperäisen rakenteen tasolle.

Korjausratkaisujen kosteustekninen toimivuus varmistettiin laskennallisin simuloinein. Laskenta antaa yleiskäsityksen ratkaisun kuivumiskyvystä ja materiaalivaihteluihin liittyvistä riskeistä. Laskennan lisäksi arvioitiin laskennan ulkopuolelle jäävien tekijöiden vaikutusta kosteustekniseen toimivuuteen ja siihen liittyviin riskeihin.

Detaljiratkaisuilla on suuri vaikutus rakenteiden toimivuuteen.

Korjaustapausten energiatehokkuuden kannattavuutta arvioitiin elinkaarikustannuslaskennan avulla. Tuloksissa on paljon vaihtelua riippuen siitä, mitä lisätöitä lisälämmöneristäminen edellyttää kohteessa, ja siten kohteet ovat varsin yksilöllisiä.

Kiinteistönpidolla voidaan merkittävästi vaikuttaa tarvittavien korjausten ajoitukseen ja laajuuteen. Aktiivinen kunnossapito voi pidentää kiinteistön eri osien käyttöikää, ja suuret korjaukset voidaan tehdä hyvin ennakoituina.

Lähtökohtana korjausrakentamisessa on vanhassa rakenteessa mahdollisesti havaittujen kosteusvaurioiden tai kosteusperäisten sisäilmaongelmien syiden ja seurausten selvitys ja poisto. Kohteeseen valittavien ratkaisujen toimivuus tulee varmistaa erikseen kokonaisuus huomioiden, ja tästä vastaavat suunnittelijat omien suunnittelualueidensa osalta. Rakenteiden ja rakennedetaljien mitoitus tulee tehdä kohdekohtaisesti suunnitellen esimerkiksi tässä esitettyjen periaatteiden mukaan. Vastuu suunnittelusta ja toteutettavasta korjausratkaisusta yksittäisessä hankkeessa on rakennushankkeeseen ryhtyvällä. Urakoitsijan vastuista sovitaan sopimusasiakirjoissa.

Asiasanat

Korjausrakentaminen, kosteus, energiatehokkuus, lisälämmöneristäminen, kustannukset, kerrostalot, pientalot

Alkusanat

VTT:ssä käynnistettiin vuonna 2011 ympäristöministeriön rahoittama tutkimushanke ”Kosteusteknisesti turvalliset korjausrakentamisen malliratkaisut” (KORMA), jonka tavoitteena oli koota tyypillisimmät 1950-, 1960- ja 1970-lukujen talotyypit rakennus- ja julkaisuineen ja julkaista niihin soveltuvia korjausrakentamisen periaateratkaisuja ja -suunnitelmia. Energiatieteiden osalta tavoitteeksi oli asetettu rakenteiden lämpöhäviöiden pienentäminen vähintään 50 %:lla alkuperäisen rakenteen suunnitellusta arvosta. Esitettujen korjausrakentamisen periaateratkaisujen tulee olla kosteusteknisesti toimivia, ja niiden energiataloudellisuuden parantamisen kustannusvaikutukset on osoitettu esimerkkilaskelmin.

Korjausten lähtökohtana on useimmiten rakenteen jonkin osan vaurioituminen, joten rakennuksen kunnon selvittäminen on tehtävä ennen korjauksen suunnittelun aloittamista. Rakennushankkeeseen ryhtyvän käyttämän suunnittelijan on aina varmistettava erikseen tässä esitettujen korjausten periaateratkaisujen soveltuminen kuhunkin kohteeseen.

Ympäristöministeriössä projektista vastasivat rakennusneuvos Erkki Laitinen ja yli-insinööri Katja Outinen.

Työ tehtiin VTT:ssä, hankkeesta vastasi asiakaspäällikkö Jyri Nieminen, ja muut hankkeeseen osallistuneet olivat erikoistutkijat Ilpo Kouhia ja Tuomo Ojanen sekä tutkija Antti Knuuti.

Projektille perustettiin ohjausryhmä, joka kokoontui 15.12.2011 ja 28.5.2013 välisenä aikana yhteensä 14 kertaa. Ohjausryhmän puheenjohtajana toimi Erkki Laitinen ja ohjausryhmään kuuluivat

Erkki Laitinen, ympäristöministeriö
Katja Outinen, ympäristöministeriö
Jyrki Kauppinen, ympäristöministeriö
Juhani Pirinen, Kosteus- ja home-talkoot / ympäristöministeriö
Pertti Metiäinen, Valvira
Risto Mykkänen, ATT Helsingin Kaupunki
Kimmo Ruokoniemi, SATO
Jani Kempainen, Talonrakennusteollisuus ry
Jari Virta, Kiinteistöliitto
Harri Mäkinen, Suomen Talokeskus Oy
Pekka Korhonen, Vahanen Oy
Tiina Suonio, Rakennustuoteteollisuus RTT ry

Aimo Heimala, Finnmap Consulting Oy
Kimmo Lylykangas, Arkkitehtuuritoimisto Kimmo Lylykangas Oy
Pekka Leskinen, VVO
Matti-Pekka Koistinen, VVO.

Tekijät haluavat kiittää ohjausryhmää annetusta asiantuntemuksesta ja ohjauksesta.

Espoo, 30.10.2013

Tekijät

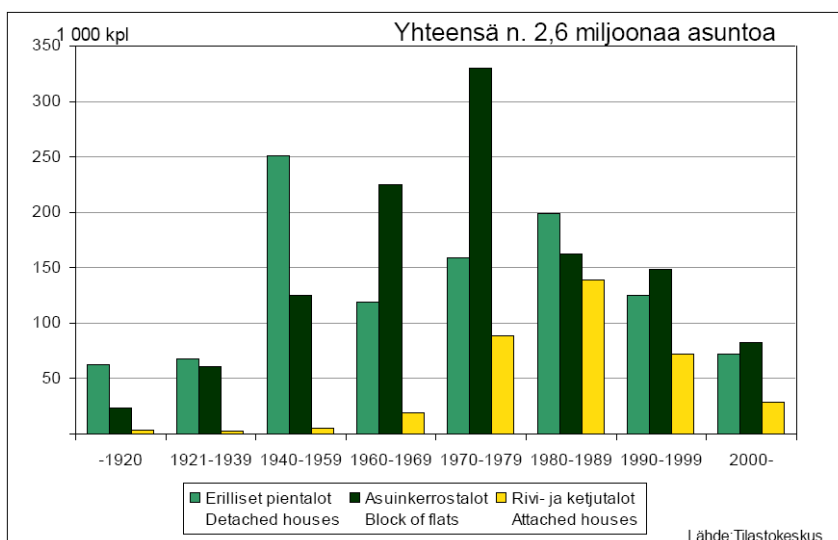
Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Alkusanat.....	4
1. Johdanto	8
2. Tarkasteltava rakennuskanta ja niiden tyypirakenteet.....	12
3. Rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden laskenta.....	14
3.1 Laskennallinen simulointi	14
3.2 Ilmastotiedot ja kosteuskuormitukset	15
3.3 Tarkastelujen lähtöoletukset ja sisältö	15
3.4 Materiaaliominaisuudet	17
3.5 Homekasvun tarkastelu VTT:n homemallilla	17
4. Lisälämmöneristettävien rakenteiden riskiarvio	21
4.1 Rakenteiden toimivuuteen vaikuttavat tekijät.....	21
4.2 Toimivuus ja riskitasojen arviointi	22
4.3 Rakennusosien tyypillisimmät kosteusriskit.....	23
4.3.1 Liitosrakenteet	23
4.3.2 Alapohjat ja maanvastaiset rakenteet	30
4.3.3 Ulkoseinät	30
4.3.4 Yläpohjat	31
5. Korjausratkaisujen toimivuuden ja riskien arviointi.....	32
5.1 Lisälämmöneristämistavan valinnan vaikutus kosteusriskeihin	32
5.2 Kerrostalojen periaaterakenteiden lisälämmöneristysratkaisut	33
5.2.1 Betonisandwichrakenteen korjaus	33
5.2.2 Muuratut tiiliseinärakenteet.....	51
5.2.3 Betoni- tiiliseinärakenteet	58
5.2.4 Loiva katto.....	61
5.2.5 Kevytsoeristeinen katto	65
5.2.6 Räystäs- ja perustusleikkaukset	66
5.3 Pientalojen periaaterakenteiden lisälämmöneristysratkaisut	69
5.3.1 Purueristetyin seinän energiatehokkuuden parantaminen.....	69

5.3.2	Tuuletettu, sahanpurueristeinen alapohja	73
5.3.3	Tuuletettu, sahanpurueristeinen yläpohja.....	76
6.	Lisälämmöneristämisen elinkaarikustannukset	79
6.1	Tausta.....	79
6.2	Elinkaarikustannusten laskenta.....	80
6.2.1	Laskentamenetelmä.....	80
6.2.2	Investointikustannukset.....	81
6.2.3	Energiakustannukset	82
6.2.4	Jäännösarvo.....	82
6.2.5	Elinkaaritaloudellinen vertailu nykyarvona.....	83
6.2.6	Elinkaaren pituus	84
6.2.7	Laskentakorko	85
6.2.8	Herkkyysanalyysi.....	85
6.3	Energiatehokkuuden parantamisen kannattavuus	87
6.3.1	Laskentatulokset.....	87
6.3.2	Herkkyystarkastelut.....	90
7.	Kosteusteknisen toimivuuden varmistaminen	97
7.1	Korjaustyön edellyttämät selvitykset	97
7.2	Korjaustavan valinta	98
7.3	Rakennusten kunnossapito	100
7.4	Tuuletettu vai tuulettamaton rakenne.....	101
7.5	Lisälämmöneristämisen vaikutus rakennuksen ulkonäköön	102
7.6	Korjaustyön hankinta	108
7.7	Kosteudenhallinta korjausprosessissa	111
8.	Käyttöönotto, käyttö, ja huolto ja kunnossapito.....	121
9.	Tulokset ja johtopäätökset.....	125
10.	Yhteenveto	128
	Lähdeluettelo.....	130
Liitteet		
	Liite 1: Esimerkkejä korjausten kustannuksista	
	Liite 2: Esimerkkejä korjausten kustannuksista	

1. Johdanto

Suomessa rakennettiin 1960–1970-luvuilla noin 1 250 000 asuntoa, kuva 1. Rakentamisessa siirryttiin paikalla rakentamisesta elementtirakentamiseen. Tavoitteena oli vastata voimakkaan muuttoliikkeen ja kaupungistumisen aiheuttamaan asuntotarpeeseen etenkin kerrostaloasuntojen osalta. Rakennusten energiatehokkuus ja rakentamisen laatu olivat heikkoja erityisesti tämän päivän näkökulmasta arvioiden, mutta tuolloin oli ensisijaisesti kyse akuutin asuntopulan määrällisten tarpeiden toteuttamisesta. Tuon ajan rakennuskanta on nyt korjausvaiheessa. Etenkin halvan energian aikana 1960- ja 1970-luvuilla rakennettu kerrostalokanta on varsin energiatehotonta, eli muun kunnossapidon lisäksi myös samassa yhteydessä tehtäville energiakorjauksille on huomattava tarve.



Kuva 1. Suomen asuntokanta [1].

Korjausrakentamisella on suuri merkitys Suomen pyrkimykseen saavuttaa sitoumukset, joilla hillitään ilmastonmuutosta. Korjausrakentaminen kokonaisuutena on tehokas keino vähentää energiankulutusta ja pienentää rakennusten energiankäytöstä aiheutuvia päästöjä.

Rakennuksilla on tärkeää olla kunnossapitosuunnitelma (PTS), joka sisältää mm. kiinteistönpitoon kuuluvat ylläpito- ja korjaustoimenpiteet karkeine aikatauluineen. Korjaussuunnitelmat perustuvat tehtäviin kuntoarvioihin ja kuntotutkimuksiin. Ulkovaipan kunnon heiketessä aikaa myöten vaihtoehtoisina suunnitelman mukaisina toimintamalleina voi olla esimerkiksi julkisivun elinkaaren jatkaminen paikkauskorjauksilla tai julkisivun käyttäminen elinkaarensa loppuun, minkä jälkeen peruskorjaus on välttämätön. Peruskorjauksessa julkisivupinta puretaan ja ulkoseinät rakennetaan lämmöneristyskerroksesta ulospäin kokonaan uudestaan. Vaihtoehtona on myös julkisivun lisälämmöneristäminen. Lisälämmöneristysratkaisun edellytyksenä on se, että julkisivun kunto on riittävä, jotta se voidaan jättää paikalleen sellaisenaan tai käyttämällä mahdollisesti lisäkiinnikkeitä sisempiin rakennekerroksiin. Lisälämmöneristysvaihtoehdossa rakennuksen julkisivuun asennetaan uusi julkisivupinta.

Rakenteiden rakennusfysikaalinen toimivuus ja säilyvyys riippuvat erityisesti rakenteiden kosteudenhallinnasta sekä rakennustyön että käytön aikana. Rakennusten ulkovaipparakenteet joutuvat tulevaisuudessa toimimaan entistä vaikeammassa tilanteessa. Ilmastonmuutos vaikuttaa ulkoilman kautta rakenteisiin kohdistuviin kosteuskuormiin ja rakenteiden kuivumiskykyyn. Parantuva energiatehokkuus pienentää lämpöhäviöitä, jolloin rakennuksen ulko-osat ovat lähellä ulkoilman olosuhteita, eikä turhia lämpöhäviöitä voi hyödyntää ylimääräisten kosteuskuormien kuivaamiseen. Suurin vaikuttava tekijä on kuitenkin rakentamisen laatu, josta korjausrakentamisen osalta on vasta vähän tutkittua tietoa.

Korjausrakentamisen prosessin tärkein vaihe on rakennusta koskevien lähtötehtojen selvitys, johon kuuluvat mm. rakennuksen korjaushistorian tunteminen sekä rakenteiden ja laitejärjestelmien kunnon ja ulkovaipan ilmanpitävyyden luotettava selvittäminen. Näiden ja kiinteistön omistajan tavoitteiden pohjalta voidaan laatia korjaussuunnitelmat ja käynnistää korjausrakentaminen suunnitelmien mukaisesti. Kiinteistön kunnon selvittäminen on tärkeä osa korjauksen valmistelua ennen korjauksen suunnittelun aloittamista. Korjausrakentamisessa korostuvat rakennushankkeeseen ryhtyvän, pääsuunnittelijan, erityisalojen suunnittelijoiden, projektin johtajan ja työmaan vastaavan mestarin toiminta ja vastuut. Jotta korjausrakentamisen prosessi olisi sujuva, on käytettävien ratkaisujen oltava toistettavia (kokemusten karttuminen), helposti asennettavia ja tuotteistettuja (työmaan sujuvuus).

Taulukko 1 esittää rakennuksen ulkovaipan osien lämmöneristävyydelle asetetut tavoitteet ja vaatimukset.

Projektissa *Kosteusteknisesti turvalliset korjausrakentamisen malliratkaisut (Korma)* korjausrakentamisen rakenneratkaisujen vaurioherkkyyttä tarkasteltiin rakenteen kosteustilan ja kuivumiskyvyn perusteella. Lämpötilan, kosteuden ja niiden vaikutusajan perusteella saatavan kuormitustiedon avulla arvioitiin rakenteen toimivuutta homeen ja mikrobien kasvun, lahon ja korroosion suhteen. Lähtökohtana oli, että rakennetta tai materiaaleja ei päästetä kastumaan missään vaiheessa.

Lisälämmöneristämisen vaikutukset rakenteiden ulkonäköön vaihtelevat tapauksittain. Tässä asetettu tavoite puolittaa rakenteen U-arvo alkuperäisen rakenteen suunnitteluarvosta ei välttämättä vaikuta rakennuksen ulkonäköön juuri lainkaan. Esimerkiksi lämmöneristeen uusiminen nykyaikaisella eristetuotteella ei välttämättä

1. Johdanto

kasvata vaadittavaa lopullista eristepaksuutta merkittävästi, ja julkisivun toteutuksesta riippuen rakenteen kokonaispaksuus voi pysyä alkuperäisenä. Sen sijaan lisälämmöneristämisen yhteydessä voidaan rakennuksen arkkitehtonista ilmettä haluttaessa muuttaa, millä voidaan parantaa rakennuksen yleisilmettä ja arvoa. Esimerkkejä korjausrakentamisen vaikutuksesta julkisivun ulkonäköön esitetään eri aikakausien ja eri talotyyppien osalta.

Taulukko 1. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet [2]. Kahden ensimmäisen sarakkeen arvot ovat RIL:n esittämiä ohjearvoja, loput (1976 alkaen) perustuvat Suomen rakentamismääräyskokoelman määräyksiin.

	Rakennusluvun vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-
Lämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,40	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Maavarainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ryömintätilainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
Ikkuna	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0
Puolilämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,60	0,45	0,40	0,38	0,26	0,26
Maavarainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,36	0,34	0,24	0,24
Ryömintätilainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,30	0,28	0,26	0,26
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Yläpohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Ovi	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	1,8	1,8	1,4	1,4
Ikkuna	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	1,8	1,8	1,4	1,4

Rakenteiden lisälämmöneristämisen menetelmät tunnetaan, mutta hyvin lisälämmöneristettyjen rakenteiden toimivuudesta ja elinkaarivaikutuksista on yhä epätietoisuutta. Projektin tavoitteena on julkaista korjausrakentamista varten toimivia periaateratkaisuja liitos- ja detaljratkaisuihin. Projektin osatavoitteet ovat:

- 1) Energiatavokkaan korjausrakentamisen kosteusteknisen toimivuuden arviointi. Tavoitteena on rakennusosien (ulkoseinä, ylä- ja alapohja) lämpöhäviöiden pienentäminen vähintään 50 %.
- 2) Tyypillisimpien 1950-, 1960- ja 1970-lukujen kerros-, rivi- ja pientalotalojen tyyppirakenteet (ulkovaipparakenteet: ulkoseinä, ylä- ja alapohja sekä ikkunat ja ovet) ja niiden kosteusturvalliset korjausratkaisut, joilla saavutetaan rakennusosien huomattava lämmityksen energiansäästö.

- 3) Selvittää erilaisten korjausratkaisujen toimivuuden periaatteet ja asettaa vaatimukset korjausrakentamisen suunnittelulle ja toteutukselle kosteusteknisen toimivuuden varmistamiseksi.
- 4) Selvittää valittujen korjauskohteiden avulla korjausratkaisujen elinkaarikustannukset kahdessa tapauksessa:
 - Korjausrakentaminen liittyy muuhun välittömään korjaustarpeeseen.
 - Korjaustoimenpiteet tehdään energiakorjauksena ja samalla ennakoina korjaustoimenpiteinä esimerkiksi julkisivujen ylläpitokorjausten sijaan.

Tavoitteena on myös löytää elinkaarikustannuksiltaan järkeviä kokonaisratkaisuja:

- 5) Laatia toimivista korjausratkaisuista tyyppipiirustukset liitos- ja detaljiratkaisuineen (rakennusosien liitokset, julkisivun vedenpitävyys, läpiviennit, tikkaat, ikkuna- ja oviliitokset, maata vasten olevat rakennusosat, vedeneristäminen).

2. Tarkasteltava rakennuskanta ja niiden tyyppirakenteet

Taulukko 2 esittää talojen tyypilliset rakenneratkaisut 1950–1970-luvuilla.

Taulukko 2. Talojen tyypilliset rakenteet eri vuosikymmenillä.

	Kerrostalot	Rivitalot	Pientalot
1950-luku	Tiilirakenne, paikalla rakennettu, harjakatto	Tiilirakenne, paikalla rakennettu, harjakatto	Puurakenne, harjakatto
1960-luku	Betonielementtirakenne, kuorimuuuri tai sandwichelementti, tasakatto	Betonielementtirakenne, kuori- tai sandwichelementti, puurakenne puu- tai tiiliverhouksella, tasakatto tai loiva harjakatto	Puurakenne puu- tai tiiliverhouksella, harkkorakenne, tasakatto tai loiva harjakatto
1970-luku	Betonielementtirakenne, sandwichelementti, kuorimuuuri, tasakatto	Betonielementtirakenne, kuori- tai sandwichelementti, harkkorakenne, puurakenne puu- tai tiiliverhouksella, tasakatto tai loiva harjakatto	Puurakenne puu- tai tiiliverhouksella, harkkorakenne, tasakatto tai loiva harjakatto

Kerrostalot rakennettiin aina 1950-luvun lopulle asti paikalla rakennettuina ja yleisin rakennusaine ulkoseiniin oli tiili. Ulkoseinärakenteet ovat kaksikuorisia, ja kuorien välissä on mitä erilaisimpia lämmöneristysaineita aina koksikuonaa myöten. Välipohjat ovat betonilaattoja, joiden päällä voi olla puurakenteinen koolattu lattia.

1950-luvun lopulla betonielementtitekniikka alkoi yleistyä ja paikalla rakentamisesta siirryttiin vähitellen elementtirakentamiseen. Betonielementit olivat joko kuori- tai sandwichelementtejä. Kuorielementtitaloissa varsin yleinen julkisivumateriaali on tiili joko puhtaaksi muurattuna tai rapattuna. 1960-luvun loppupuolella kerrostalorakentaminen oli siirtynyt miltei kokonaan elementtitekniikkaan.

1970-luvun kerrostalot ovat miltei yksinomaan betonisandwichrakenteita. Myös välipohjat ja yläpohjan kantavat rakenteet ovat elementeistä rakennettuja. Tyypillisesti elementtitaloissa on ns. tasakatot. Tasakatoissa on tyypillisesti sadeveden viemärointi rakennuksen läpi, niissä on loiva kallistus viemärikaivoon päin, eikä

niissä ole ulkonevia räystääitä. Kerrostalojen parvekeseinät voivat olla puurakenteisia, ja niiden liitokset betonirakenteisiin ovat tyypillisiä ilmanpitävyyden ongelma-kohtia.

1950-luvun rivitalot ovat pääosin kerrostalojen tapaan paikalla rakennettuja tiilitaloja. Kattorakenteet ovat yleisesti puurakenteisia harjakattoja. Kattorakenteen kantava rakenne on yleisesti betonilaatta, jonka varaan puurakenteiset korotuskanteet on tuettu.

1960-luvulla puurakenteiset rivitalot yleistyivät ja ulkoseinien verhouksmateriaali on joko puuta tai tiiltä. Kattomuoto on joko loiva harjakatto tai tasakatto.

1970-luvun rivitalojen vallitseva rakennusmateriaali on puuta, julkisivuverhousten ollessa joko puuta tai tiiltä.

1950-luvun alkupuolen pientalot ovat pääosin ns. rintamamiestaloja, jotka ovat 1½-kerroksisia puurakenteisia taloja. Yleisesti 100 mm:n runkovälien lämmöneristys on sahanpurua tai kutterinlastua.

1960-luvulla etenkin pientalojen vallitseva arkkitehtuuri muuttui ns. tasakattoiseksi tai loivaksi harjakattoiseksi, 1-kerroksiseksi. Vallitseva materiaali on puuta ja ulkoverhous on joko puuta tai tiiltä. 1960-luvulla puutalojen elementtitekniikka ja rakennusosien esivalmistus alkoi yleistyä.

1970-luvun pientalojen rakenteet ovat 1960-luvun kaltaisia. 1970-luvun puolivälin aikaan pientalojen puurakenteisten ulkoseinien runkopaksuus kasvoi 120 tai 140 mm:iin aiemmin yleisestä 100 mm:stä (vrt. taulukko 1).

3. Rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden laskenta

Rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden arvioinnissa käytettiin apuna laskennallisia simulointiohjelmia. Korjausrakenteiden toimivuus ja niiden riskit arvioitiin yhdistämällä laskentatulosten antama kuva asiantuntijoiden näkemyksiin perustuviin kosteusriskeihin eri tapauksissa. Korjausrakenteen toimintaa verrattiin alkuperäisen korjattavan rakenteen vastaavaan. Vähimmäistavoitteena oli, että kosteusteknisen toimintavarmuuden tulisi säilyä tai parantua korjauksessa.

Jos alkuperäisessä rakenteessa on havaittu kosteusvaurioita, on niiden alkuperäisen selvitettävä, niiden syyt poistettava ja korjausrakenteen toimivuus on varmistettava korjauksen suunnittelussa niin, ettei samantyyppinen vaurio voi uusiutua. Riittävä selvitys edellyttää yleensä kuntotutkimuksen teettämistä. Sen suositusten perusteella esimerkiksi kastuneet ja mikrobiologisesti tai muutoin vaurioituneet eristeet ja rakenteet tulee poistaa ja korjaus tehdään suunnittelijan määräämässä laajuudessa.

3.1 Laskennallinen simulointi

Laskennallinen tarkastelu kuvaa **ideaalisen rakenneleikkauksen toimintaa** valituissa lämpötila- ja kosteusrasitusoloissa ja niillä materiaaliominaisuuksilla, joita rakenteen kerroksiin on asetettu. Laskennalla voidaan vertailla eri vaihtoehtojen toimivuutta samoissa oloissa ja pitkään jatkuvan sisä- ja ulkopuolisen kosteusrasituksen aikana. Alkuperäisen, kosteusteknisesti toimivan rakenteen ja uusien korjausrakenteiden vertailu antaa tietoa korjauksen vaikutuksista toimintavarmuuteen. Pelkkä laskennallisesti todettu toimivuus ei riitä osoittamaan rakenteita turvallisiksi. Tämän lisäksi on arvioitava rakenteiden riskejä kohteessa ja riskien vaikutuksia toimivuuteen.

Laskennalla voitaisiin kuvata rakenteellisia epäideaalisuuksia ja virheitä, jotka tulee asettaa oletettuina ominaisuuksina rakenteeseen. Tämä ei kuitenkaan kuvaa kuin yhtä valittua ja ominaisuuksiltaan oletettua virhetilannetta, mikä ei olennaisesti anna lisää tietoa rakenteen toimivuudesta. Tässä tarkastelussa kuvattiin vain ideaalisten rakenteiden toimintaa. Lisävarmuutta toimivuuteen saatiin kohtuullisen korkeaksi asetetun alkukosteuden edellyttämästä lisäkuivumiskyvystä. Hyväkään

kuivumiskyky ei estä virheiden aiheuttamia vaurioita. Toteutuksen yhteydessä on aina huolellisesti varmistettava, että materiaalit ja rakenteet eivät kastu työn, kuljetuksen tai varastoinnin aikana.

Laskennallisen selvityksen täydentämiseksi tarvitaan asiantuntijankemystä arvioimaan hankekohtaisesti toisaalta laskennan tulosten kriittisyyttä ja toisaalta laskennan ulkopuolelle jäävien tekijöiden vaikutusta kosteustekniseen toimivuuteen ja muihin kohteeseen liittyviin riskeihin.

Selvitys tehtiin laskennallisesti käyttäen lämpö- ja kosteusteknisen toimivuuden simulointiin WUFI 5.1 Pro -ohjelmaa [3]. Ohjelmalla voidaan ratkaista 1-ulotteisen rakenneleikkauksen kosteustekninen toimivuus tunneittain muuttuvissa ulko- ja sisäilman olosuhteissa.

3.2 Ilmastotiedot ja kosteuskuormitukset

Laskennassa käytettiin uusittuja kosteusteknisen mitoituksen ilmastotietoja, jotka ovat tuulettumattomille rakenteille Vantaan 2007 ja tuuletetuille Jokioisten 2004 vuosisäätietoja. Vantaan säätiedosto kuvaa paremmin viistosateen vaikutusta pintaan ja Jokioisten säätiedosto leudon ja kostean vuoden vaikutusta tuuletetun rakenteen toimivuuteen. Säätiedioissa esitetään ilman lämpötila, suhteellinen kosteus, sade- ja tuulitiedot sekä auringon säteilytiedot tuntiarvoina. Useimmissa tapauksissa leuto ja sateinen vuosi kuvaa suurinta kosteusteknisen toimivuuden riskitilannetta rakenteille.

Sisäilman olosuhteet asetettiin standardin EN15026 [4] mukaisesti normaalia kosteuskuormaa vastaavaksi. Tässä sisäilman lämpötila on vakio +20 °C silloin, kun ulkoilman lämpötila on alle +10 °C. Kun ulkoilman lämpötila muuttuu +10 °C:sta +20 °C:seen, kasvaa sisäilman lämpötila lineaarisesti +10 °C:sta +25 °C:seen. Tätä korkeammilla ulkoilman lämpötiloilla sisäilman lämpötila on vakio +25 °C.

Kun ulkoilman lämpötila on alle -10 °C, on sisäilman suhteellinen kosteus 30 % RH. Sisäilman suhteellinen kosteus kasvaa tästä lineaarisesti RH 60 %:iin ulkoilman lämpötilan kasvaessa -10 °C:sta +20 °C:seen. Sisäilman suhteellinen kosteus on maksimissaan 60 % RH.

Esitetty kosteuskuormitus vastaa kuivien asuintilojen sisäilman kosteutta ja sisältää lisäksi jonkin verran varmuutta.

Kaikkien materiaalikerrosten alkukosteus oletettiin 80 % RH suhteellista kosteutta vastaavaan tasapainokosteuteen, joka vastaa karkeasti työmaaolosuhteissa saateelta suojattuina olevien materiaalien kosteutta.

3.3 Tarkastelujen lähtöoletukset ja sisältö

Alkuperäiset rakenteet oletettiin tarkastelussa suunnitelmien mukaiseksi. Ne eivät välttämättä vastaa kaikilta osin suunniteltuja, ja korjauksen tavoitteena onkin parantaa niiden toimintaa. Heikentynyt sisäpuolinen lämmöneristys ei yleensä tuo ylimääräistä riskiä kosteustekniseen toimivuuteen, joten suunnitelmien mukainen

toteutus näiltä osin vastaa korkeimman riskin tilannetta. Sisäpuolisten kerrosten mahdolliset muut vauriot on selvittävä ennen korjaukseen ryhtymistä ja korjaustoimet on suunniteltava nämä huomioon ottaen. Siten laskennassa tarkasteltiin vain oletuksen mukaisesti toteutettuja alkuperäisiä rakenteita ja vain joissain tapauksissa tehtiin näihin riskeihin liittyviä lisätarkasteluja.

Rakenteet oletettiin tarkasteluissa ilmatiiviiksi, jolloin rakenteiden kautta tai niiden läpi ilmavirtausten mukana kuljettava kosteus ei aiheuta kosteusriskiä. Rakenteiden kautta tapahtuviin ilmavuotoihin liittyvät riskit liittyvät koko (korjatun) rakennuksen toimintaan, sen ulkovaipan ilmatiivyyteen, korkeuteen, eri kerrosten väliseen ilmatiivyyteen, ilmanvaihtojärjestelmän toimintaan ja asetettujen painesuhteiden ylläpitoon. Ilmavirtaukset erityisesti sisäilmasta rakenteiden kautta ulos aiheuttavat pitkäkestoisina merkittävän kosteusriskin, mutta niiden vaikutusten analysointi rakenteiden toimivuuden yhteydessä ei ole tarpeenmukaista. Ylimääräinen kosteuskuormitus otetaan huomioon laskennassa käytetyn korkean alkukosteuden avulla.

Lisäksi oletettiin, että rakenteiden sisään ei pääse tunkeutumaan nestemäistä vettä tai lunta. Kuormittavia tekijöitä ovat sisä- ja ulkoilman kosteus, ulkopintaan kohdistuva viistosade ja rakenteen alkukosteus.

Tyypillisesti pahin kosteuskuormitus on varjossa olevalla rakenteella, johon kohdistuu viistosade vuotuisen voimakkaimman sateen suunnasta. Seinärakenteet suunnattiin suurimman viistosateen suuntaan: Vantaan ilmastossa etelään ja Jokioisten ilmastoa käytettäessä lounaaseen.

Viistosateen aiheuttama kuormitus riippuu erityisesti rakenteen korkeudesta. WUFI-ohjelmassa on käyttäjän vapaasti määrittävissä olevien parametrien lisäksi neljä eritasoista oletusta viistosateen kuormituksesta: korkean rakennuksen alaosa (< 10 m), matala rakennus (< 10 m), korkean rakennuksen keskiosa (10–20 m) ja korkean rakennuksen yläosa (> 20 m). Sadekuorman yhtälössä tuulen nopeuden kerroin on näissä tapauksissa vastaavasti 0,05, 0,07, 0,10 ja 0,20. Tarkasteltaessa kerrostalon korjausratkaisuja on tarkastelussa käytetty suurinta sadekuorma-oletusta (korkean rakennuksen yläosa), jollei muuta mainita. Oletus lisää tarkastelun varmuutta suuressa osassa tapauksia. Pientalojen rakenteiden analysoinnissa käytetään matalan rakennuksen sadekuormitusta.

Laskennassa tarkasteltu sateen aiheuttama kuormitus kuvaa rakenteen ulkopintaan kohdistuvaa viistosateen vaikutusta. Laskennassa ei oteta huomioon myrskytuulen aiheuttamaa sateen tunkeutumista rakenteen sisään, mikä on aina toimivuuden virhetilanne. Tällaiset pääasiassa rakennedetaljien (tuuletusaukot, tuuletusvälin rakenteet, pellitykset jne.) suunnitteluun ja toteutukseen liittyvät riskitekijät on arvioitava erikseen ja niihin on varauduttava mm. rakennuksen sijainnin aiheuttamat erityisolosuhteet huomioiden. Rakenteiden kuivumiskyvyn mitoitusta satunnaisten virhetilanteiden mukaan ei ole mahdollista tehdä luotettavasti.

Auringon säteilyä tai taivaan vastasäteilyä ei laskennassa otettu huomioon, jollei sitä ole erikseen mainittu.

3.4 Materiaaliominaisuudet

Laskennassa käytetyt materiaaliominaisuudet ovat laskentaohjelmassa [3] annettuja, ja lämmönjohtavuuden osalta käytettyjä arvoja on uusien materiaalien osalta jonkin verran parannettu. Materiaaliominaisuudet on koottu kattavasti mm. kansainvälisessä yhteistyössä tehdyissä hankkeissa [5]. **Taulukko 3** esittää laskennassa käytettyjen uusien ja vanhojen rakenteiden materiaalien lämmönjohtavuuden ja vesihöyryn läpäisykertoimien arvot. Uusien lämmöneristeiden osalta valittiin kohtuullisen hyvää nykytasoa kuvaavat ominaisuudet. Vanhojen lämmöneristeiden osalta käytetyt lämmönjohtavuudet ovat suhteellisen korkeat, mikä lisää tarkastelun varmuutta, koska kriittinen rajapinta vanhan ja uuden eristeen välillä on tämän oletuksen seurauksena mahdollisimman alhainen.

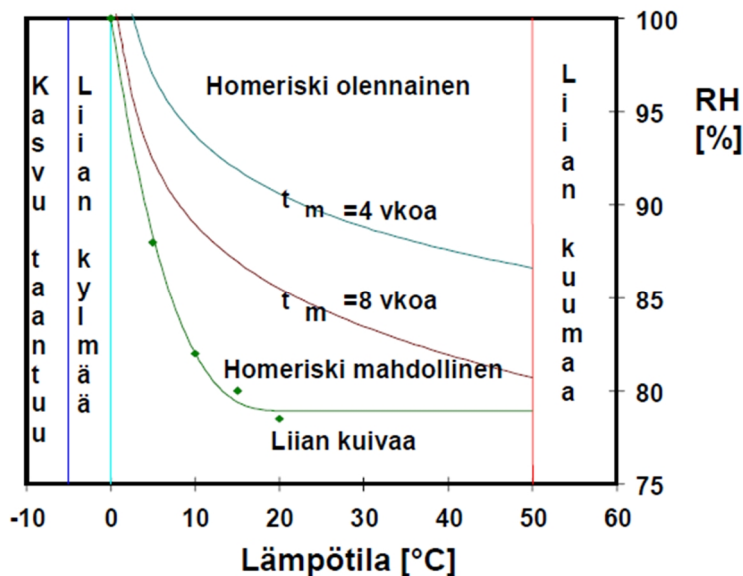
Taulukko 3. Kosteusteknisen toimivuuden laskennassa käytetyt materiaalien lämmönjohtavuudet ja niiden vesihöyryn läpäisyominaisuudet.

Materiaalikerros	Lämmönjohtavuus kuivalle materiaalille W/Km	Vesihöyryn diffuusiovastus- kerroin kuivassa tilassa μ [-]
Betoni, vanha ja uusi	1,7	180
Mineraalivilla, vanha	0,040	3,4
Mineraalivilla, uusi	0,035	1,3
EPS, vanha	0,040	50
EPS, uusi	0,035	50
Sahanpuru	0,055	8, f(RH)
Tuulensuojavilla	0,040	3
Puu	0,12	200–10, f(RH)
Kipsituulensuojalevy	0,21	8,3
Tiilimuuraus	0,60	10

3.5 Homekasvun tarkastelu VTT:n homemallilla

Laskennallinen tarkastelu tehdään 1-dimensioiselle rakenneleikkaukselle. Rakenteen simulointilaskenta alkaa lokakuun 1. päivästä ja jatkuu valitun tarkastelujakson ajan saman mitoitusvuoden sääoloja käyttäen. Tyypillisesti käytettiin viiden vuoden tarkastelujaksoa. Tuloksena saatiin rakenteen kriittisimpien kohtien lämpötila- ja kosteusolosuhteiden arvot tunneittain. Näiden perusteella voitiin edelleen arvioida kriittisten kohtien toimintaa.

Homeen kasvu on ensimmäisiä merkkejä, joita liika kosteus aiheuttaa rakenteissa. Homeen kasvua voidaan arvioida laskennallisesti käyttämällä tulosten jälkikäsitellyssä VTT:ssä kehitettyä homemallia [6] (kuva 2), johon on yhdistetty tyypillisten rakennusmateriaalien homehtumisherkkyttä kuvaava luokitus [7].



Home-indeksi	Luokitusperusteet
0	Ei kasvua, pinta puhdas
1	Mikroskoopilla havaittava kasvu, Paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma
2	Mikroskoopilla havaittava kasvu, useita rihmastopesäkkeitä muodostunut
3	Silmin havaittava kasvu, rihmaston peitto alle 10 % alasta (alkavaa itiöiden muodostusta) TAI Mikroskoopilla havaittava kasvu, peitto alle 50 %
4	Silmin havaittava kasvu, rihmaston peitto noin 10–50 % alasta TAI Mikroskoopilla havaittava kasvu, peitto yli 50 %
5	Silmin havaittava kasvu, paikoin runsas tai rihmaston peitto yli 50 % alasta
6	Erittäin runsas kasvu, rihmaston peitto lähes 100 %

Kuva 2. VTT:n homemalli.

Homemallin avulla homeen kasvua voidaan arvioida laskennallisesti. Kriittisiksi kohdiksi valittujen pintojen olosuhteiden perusteella voitiin laskea näille kohdille homeen kasvun tasoa kuvaava homeindeksi [0, 6].

Homeindeksin arvo 1 kuvaa ensimmäistä mikroskoopilla havaittavaa alkavaa homekasvua ja taso 3 ensimmäistä paljain silmin havaittavaa kasvua tai kun mikroskooppihavainnoissa on yli 50 % homepeittoa pinnalla.

Homeen kasvu riippuu kasvualustan homeutumisherkkyydestä. Materiaaleja on luokiteltu neljään eri ryhmään niiden homeutumisherkkyyden mukaan:

1. luokka: **Erittäin herkkä**. Herkin taso vastaa käsittelemätöntä männyn pinta-puuta.
2. luokka: **Herkkä**. Homeutumisherkkyydsluokka herkkä vastaa tyypillisesti puupohjaisia tai paperipintaisia tuotteita, höylättyä kuusta ja kipsilevyä.
3. luokka: **Kohtalaisen kestävä** vastaa sementti- ja muovipohjaisten materiaalien sekä mineraalivillatuotteiden homeutumisherkkyyttä.
4. luokka: **Kestävä**. Hometta vastustava taso 4 vastaa lasi-, metalli- yms. pintoja sekä materiaaleja, jotka on käsitelty homeen kasvua estävillä tuotteilla.

Tyypillisesti laskennassa käytettiin luokan 2 (herkkä) oletusta silloin, kun rakenteen kriittisen kohdan läheisyydessä oli puuta, puupohjaisia tai paperipintaisia materiaaleja. Muissa tapauksissa käytettiin luokan 3 (kohtalaisen kestävä) oletusta.

Laskennallinen homeindeksi alenee kuivien ja kylmien jaksojen aikana, mikä kuvaa homeen taantumaa. Homeindeksin laskennallisen taantumisen kertoimena käytettiin laskennassa kerrointa 0,25. Tämä kuvaa homeindeksin laskennallista alentumisnopeutta kasvulle epäedullisissa oloissa verrattuna erittäin herkän puun vastaavaan arvoon.

Kosteusteknisen toimivuuden arvioinnissa kiinnitetään huomio rakenteen kuivumiseen asetetusta alkukosteudesta sekä kuivumisen aikaiseen kosteuden uudelleenjakautumiseen rakenteen eri kerroksissa. Rakenteiden tulee olla kuivuvia alkutilanteeksi asetetusta kaikkien materiaalikerrosten 80 % RH alkukosteudesta, eikä rakenteeseen saa muodostua rakentamisen tai käytön aikana sellaista pitkä-aikaista, paikallista kosteuskertymää, joka johtaisi esimerkiksi homeen kasvuun.

Homekasvun kriittiset raja-arvot

Homekasvun kriteereitä arvioitaessa on otettava huomioon tarkastelukohdan sijainti sisäilmaan nähden. Tarkastelu kohdistuu rakenteen kriittisille pinnoille, joita ovat tyypillisesti vanhan rakenteen ja sen ulkopuolisten korjauskerrosten rajapinta sekä uloimman lämmöneristekerroksen ja sen ulkopuolisen kerroksen rajapinta.

Rakenteiden sisäpinnan ja sisäilmaan kosketuksissa olevien osien kriteerinä käytetään homeindeksille vaatimustasoa < 1 , eli mitään laskennallisesti mahdollista homeen kasvua ei sallita näillä pinnoilla.

Ulkopinnan lähellä olevien kerrosten rajana on usein taso 3. Ulkoilman olosuhteet johtavat herkästi homeen kasvumahdollisuuteen rakenteen ulkopinnassa, joka ole suoraan kosketuksiin sisäilman kanssa. Rakenteen ulko-osien lievän homekasvun aiheuttama riski sisäilmalle on siten huomattavasti pienempi kuin sisäilmaan rajoittuvien rakenneosien. Tätä riskiä voidaan verrata ulkoilman aiheuttamaan riskiin sisäilmalle. Homeindeksille laskennassa saadun arvon lisäksi rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden arvioinnissa on kiinnitettävä huomio rakenteiden ja sen eri materiaalikerrosten kuivumiskykyyn.

Jos laskennallinen homeindeksi saavuttaa rakenteen ulkopinnassa tason 3 usean vuoden jälkeen, ei tilanne välttämättä vielä merkitse toimimatonta rakennetta, jos rakenteet ovat alkutilasta hyvin kuivuvia eikä paikallista kosteuskertymää esiinny ja jos rakenteet toimivat alkuperäistä (toimivaa) rakennetta paremmin (laskennallinen homeindeksin kehitys on hitaampi). Esimerkkinä on suljettu, rapattu rakenne, johon ei pääse tuuletusvirtauksen mukana homeitiöitä tai ravinteita, eikä rakenteen läpi sisäilmaan ole merkittäviä ilmavuotoja. Tällöin juuri näkyvälle tasolle laskennallisesti päätyvän homekasvun sisäilmavaikutukset ovat olemattomat.

Korjausrakentamisen tarkasteluissa käytetään vertailukohtana vanhaa, toimivaa rakennetta ja sen kriittisille kohdille laskettuja homeindeksin tasoja. Vaatimuksena on, että korjausrakenteelle laskennallisesti arvioitu homehtumisriski on pienempi tai korkeintaan samaa tasoa toimivan vanhan rakenteen kanssa.

On huomattava, että homeen kasvu sinällään ei johda rakenteiden vaurioitumiseen. Sen olennaisin merkitys on sisäilmaan mahdollisesti kohdistuva riski. Rakenteen eri kerrosten pinnoille laskettua homeindeksiä ei siten voida suoraan käyttää ehdottomana raja-arvona, vaan kokonaisuus ratkaisee arvioitaessa korjausratkaisujen toimivuutta ja turvallisuutta.

4. Lisälämmöneristettävien rakenteiden riskiarvio

4.1 Rakenteiden toimivuuteen vaikuttavat tekijät

Laskennallinen analyysi rakenteiden kosteusteknisestä toimivuudesta rajoittuu ideaalisiin rakenteisiin. Laskenta ei tuo esiin läheskään kaikkia korjausratkaisuun liittyviä riskitekijöitä. Laskennallisen selvityksen täydentämiseksi tarvitaan asiantuntijanäkemyistä arvioimaan toisaalta laskennan tulosten kriittisyyttä ja toisaalta laskennan ulkopuolelle jäävien tekijöiden vaikutusta kosteustekniseen toimivuuteen ja siihen liittyviin riskeihin.

Rakenteissa todetut vauriot, niiden syyt ja seuraukset on otettava huomioon korjausratkaisuja suunniteltaessa ja toteutettaessa. Vanhat viat eivät välttämättä korjaannu paikkaamalla rakenne korjauksen periaateratkaisulla. Ongelmien syyt on selvitettävä ja poistettava ensin, jotta korjausratkaisusta voidaan saada tarkoituksenmukainen. Vaurioitumisen syyt voivat olla muualla kuin siinä rakenteessa, jossa ongelmat esiintyvät.

Tässä piilee periaateratkaisujen riski: mikään esimerkkirakenne ei välttämättä sovellu kaikkiin kohteisiin tai poista kohteessa jo havaittuja kosteusvaurioita. Suunnittelijan on aina varmistettava valittujen ratkaisujen soveltuvuus kohteeseen.

Uudet rakenteet riskialttiissa kokonaisuudessa eivät ole kestävä ratkaisu. Hyväkään rakenne ei voi toimia turvallisesti, jos esimerkiksi rakennuksen painesuhteet eivät ole hallinnassa. Sisäilman ylipaine ja siitä aiheutuvat ilmavuodot eivät poistu vain rakenteita uusimalla, vaan korjauksessa on varmistuttava rakennusvaipan tarpeenmukaisen ilmatiiviyden toteutumisesta ja suunniteltava myös mahdolliset ilmanvaihdon korjaustoimet siten, että sisäilma on pääsääntöisesti alipaineinen. Ilmanvaihdon toimivuus on korjaustoimenpiteiden jälkeen aina varmistettava.

Poistoilmanvaihdon tapauksessa on varmistettava korvausilman riittävyys esimerkiksi asentamalla raitisilmaventtiileitä ja tulo-poistoilmajärjestelmässä järjestelmä on tasapainotettava siten, että painesuhteet ovat toimivat (lievästi alipaineinen sisäilma). Myös energiatehokkuuden parantamisen suunnitteluun on kiinnitettävä huomiota (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13: 2§ ja 11§) [24]. Jollei tasapainotusta tai riittävää korvausilman saantia ole varmistettu, voi rakennuksen ilmatiiviyden

parantuminen johtaa hallitsemattomiin vuotoilmareitteihin rakenteiden kautta. Tämä voi johtaa siihen, että rakenteiden epäpuhtauksia ja mahdollista mikrobikasvustoa kulkeutuu sisäilmaan, jolloin sen laatu heikkenee ja pahimmillaan voi riskinä olla tilojen käyttäjien terveyden vaarantuminen. Hyvin toimivat korjausrakenteet eivät pelkästään riitä varmistamaan korjausrakentamisen tuloksen onnistumista, vaan suunnittelijan on osattava ottaa huomioon kaikki rakennuksen toimivuuteen vaikuttavat tekijät hyvän sisäilmaston varmistamiseksi.

Kuormitusolosuhteiden muutos liittyy rakennuksen käyttötapaan ja siihen, voiko sen olosuhteissa tapahtua kosteuskuormitukseen vaikuttavia muutoksia valittujen rakenneratkaisujen elinaikana.

Rakennelleikkauksen toimivuuden laskennallinen selvitys antaa yleiskäsityksen ratkaisun kuivumiskyvystä ja materiaalivalintoihin liittyvistä riskeistä. Jos vettä pääsee tunkeutumaan rakenteeseen, aiheutuu siitä kaikille rakenteille huomattava riski. Detaljiratkaisujen suunnittelussa on otettava huomioon erityisesti veden pääsyn estäminen rakenteisiin. Tuulettuvissa rakenteissa on varmistuttava veden ja lumen kulkeutumisen estämisestä, mahdollisen ylimääräisen veden johtamisesta ulos rakenteesta ja tuuletuskyvystä. Rakenneosien vääränlainen keskinäinen sijoittelu voi johtaa liitoskohtien kylmäsiltoihin ja paikallisen kosteusriskin kasvuun.

Detaljeihin liittyvien riskitekijöiden ja -kohtien kartointu parantaa mahdollisuuksia välttää näistä aiheutuvia ylimääräisiä kosteuskuormia hyvän suunnittelun ja toteutuksen avulla. Korjausrakentamisessa voidaan esimerkiksi soveltaa uudisrakenteissa hyväksi havaittuja läpivientidetalleja, kun suunnitelmissa otetaan huomioon materiaalien yhteensopivuus korjauskohteessa.

Jos rakenteen toimivuus riippuu yhdestä rakenneosasta tai materiaalikerroksesta, on kyseisen osan tai materiaalin vaurioituminen ulkoisen syyn tai ikääntymisen seurauksena mahdollinen riski koko rakenteen toimivuudelle. Tähän liittyy arvio riskin todennäköisyydestä, seurauksista, havaittavuudesta ja korjausmahdollisuudesta sekä huollon ja kunnossapidon tarve rakennuksen käyttöiän aikana.

Rakenneratkaisuilla on erilainen herkkyys esimerkiksi alkukosteustasojen osalta. Vanhan rakenteen korkea alkukosteus tai rakentamisen yhteydessä kastuneet uudet materiaalikerrokset voivat muodostaa merkittäviä riskitekijöitä. Alkukosteuksien tasojen ja työmaan kosteushallinnan varmistaminen on otettava tässä huomioon. Samoin korjaussuunnittelun yhteydessä tulee suunnitella myös työmaan sää- ja olosuhdesuojaus sekä työmaan kosteudenhallintasuunnitelma. Liian suuri alkukosteus on syytä kuivata ennen korjaustöitä. On myös selvitettävä kostumisen syy ja poistettava se, jotta ongelmat eivät toistu. Pääsääntöisesti kaikkien ulkovaipparakenteen materiaalien tulisi olla vähintään ilma-kuivia, eli niiden alkukosteuden tulee olla pienempi kuin tasapainokosteus 80 % ilman suhteellisessa kosteudessa.

4.2 Toimivuus ja riskitasojen arviointi

Kosteusteknisen toimivuuden laskennallisen tarkastelun tulosten ja eri riskejä kartoittavan asiantuntija-arvion yhdistelmänä saadaan kuva rakenteisiin liittyvästä kokonaisriskistä.

Näiden yhdistäminen yksiselitteisesti rakenteiden toimivuuden arviointiin on yleisellä tasolla lähes mahdoton tehtävä, koska korjauskohteissa tulee aina ottaa huomioon kohteen erityispiirteet.

Tässä hankkeessa arvio tehdään ilman yksittäisen kohteen tietoja. Joitain suuntaa antavia asiantuntemukseen ja kokemuksiin perustuvia ohjeita ja arvioita voidaan esittää helpottamaan korjausrakenteiden valintaa ja suunnittelua.

Suunnittelijan ja urakoitsijan tulee tehdä tai teettää riskiarvio kohdekohtaisesti siten, että se kattaa rakentamisen aikaiset rakennuksen, sisäympäristön ja rakenteiden turvallisuuteen, terveyteen ja kosteustekniseen toimivuuteen liittyvät riskitekijät. Riskien kartoitus parantaa edellytyksiä varautua kohteen erityisoloihin ja esimerkiksi suojausten erityisvaatimuksiin.

4.3 Rakennusosien tyypillisimmät kosteusriskit

Kuvassa 3 on esitetty rakennusten tyypilliset kosteuden lähteet ja kosteusvaurioiden aiheuttajat. Sadeveden tai lumen sulamisvesien pääsy rakenteisiin, rakennuskosteus, vedeneristysten puutteet ja vesivahingot aiheuttavat valtaosan rakennusten kosteusvaurioista.



Kuva 3. Kosteuden lähteet.

4.3.1 Liitosrakenteet

Läpivientien tiiveydellä on sekä rakennuksen ilmanpitävyyden että sadeveden rakenteeseen tunkeutumisen kannalta suuri merkitys, kuvat 4 ja 5. Olemassa

olevien läpivientien osalta joudutaan tiivistämisessä usein käyttämään erilaisia massoja ja kittejä. Mahdollisissa uusissa läpivienneissä sekä lisälämmöneristysrakenteessa tulisi käyttää suunnittelijan hyväksymiä läpivientiratkaisuja. Erilaisia soveltuvia läpivientikappaleita on olemassa esimerkiksi sähköläpivienteihin. Suurempien läpivientien, kuten ilmanvaihtoputkistojen, viemärituuletusputkien, antennien, kiinnityspollareiden yms., ilman- ja sateenpitävyyden varmistamiseen on kehitetty läpivientiosia.

Läpivientikappaleita on kiinteitä, liimattavia, mekaanisesti kiinnitettäviä, joustavia sekä tiivisteellisiä joustavia malleja. Katon vedeneristyksen läpivientien toimivuus on erityisen tärkeää, ja edellä mainittuun tarkoitettuja läpivientiosia voidaan soveltuvin osin käyttää myös muiden rakenneosien läpivienneissä, kun varmistutaan suunnittelullisilla ratkaisuilla käytettävän ratkaisun toimivuus. Erityisen tärkeää on varmistua materiaalien yhteensopivuudesta.

Lisälämmöneristämisessä ja julkisivun uusimisessa on olennaista liitosratkaisun ilmatiiviyys ja sadevedenpitävyys. Räystäsrakenteissa, ikkuna- ja oviliittymissä, sisäänkäyntikatosten kattorakenteiden räystäissä ja liittymissä rakennukseen sekä julkisivutasosta ulkonevien perustusten yläreunoissa on käytettävä suojapellityksiä vähintäänkin suojaamaan muita tiivistysmenetelmiä. Loivien kattojen räystäiden myrskypellit ovat oleellisia. Rakennusten pellitysten tulee olla sellaisia, että ne ohjaavat sadeveden julkisivun ulkopuolelle. Esimerkiksi sisänurkassa olevan ikkunan pellityksen tulee olla muotoiltu siten, ettei vesi ohjaudu julkisivuun.



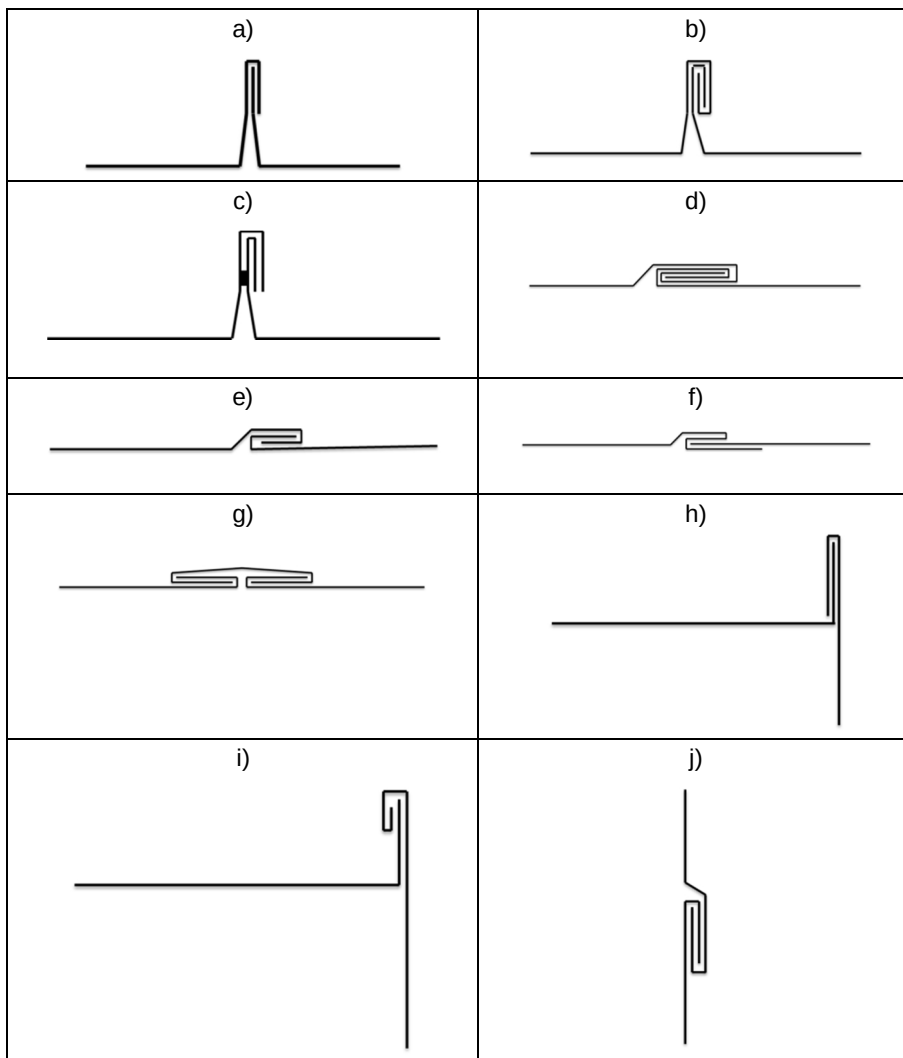
Kuva 4. Tuuletetun alapohjan saumojen tiivistäminen betonivalulla. Menetelmän riskejä ovat työn laadun varmistaminen ja massan ja elementtien ja massan tartunta elementteihin ja tartunnan puutteesta syntyvät raot.



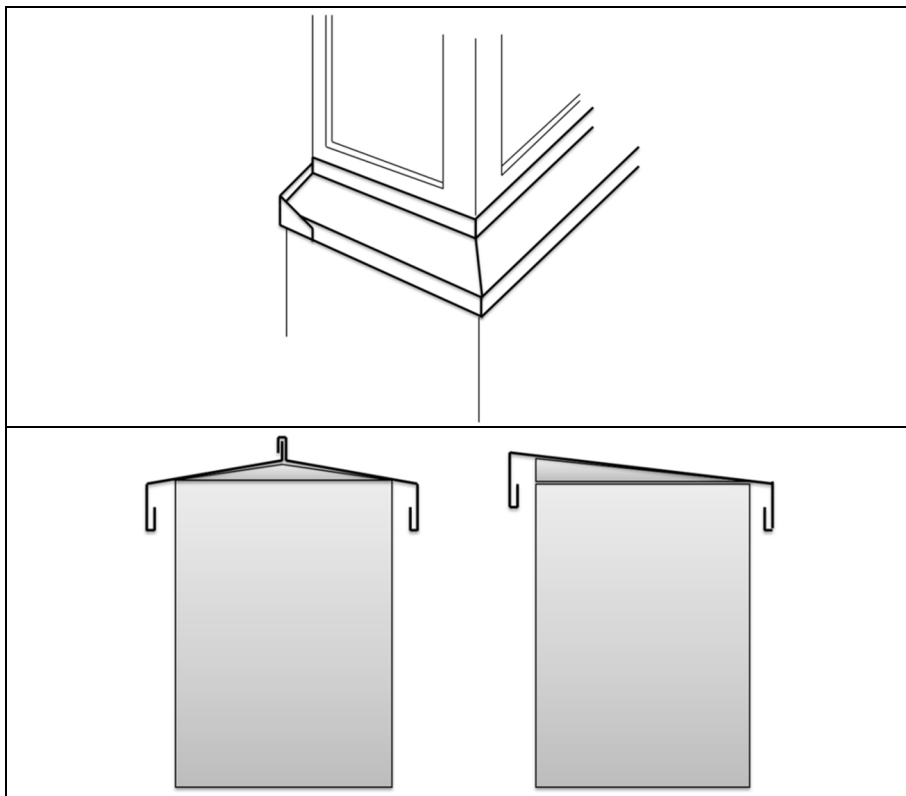
Kuva 5. Suurten läpivientien tiivistäminen läpivientikappaleilla.

Tuuletetuissa julkisivuissa rakenneosien liitokset eivät saa sulkea tuuletusrakoa. Julkisivuun avautuvien tuuletusaukkojen tulee olla sellaisia, ettei sadevesi pääse tunkeutumaan rakenteeseen aukkorakenteesta eikä sen liittymistä.

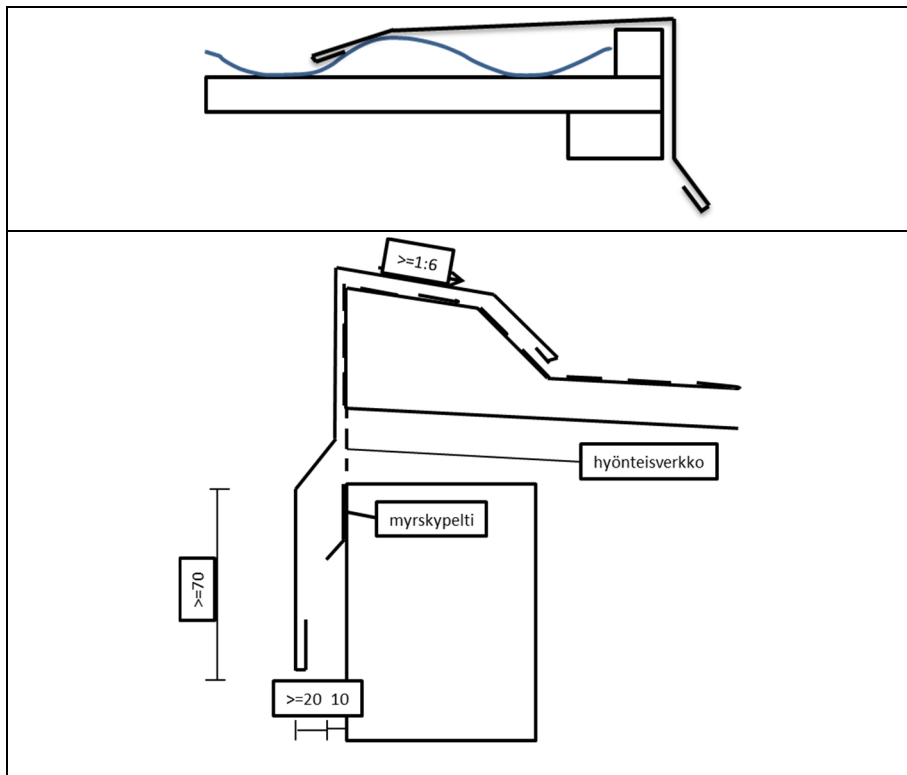
Suojapellityksillä on ensiarvoisen tärkeä tehtävä (olla estämässä tai) estää sadeveden tunkeutuminen rakenteisiin. Suojapellityksissä tulee käyttää oikeita, sovelluskohteeseen sopivia liitostapoja. Kuvissa 6–9 on esitetty erilaisia pellityksiä, pellitysten liitostapoja ja niiden sovelluskohteita.



Kuva 6. Erilaisia peltisaumojia. a) Yksinkertainen pystysauma. Käyttökohteina mm. suojapellitysten jatkosaumat. b) Kaksinkertainen pystysauma. Käyttökohteina ovat katteiden saumat sekä pystypintojen saumat. Saumaratkaisussa käytetään yleensä tiivistystä. c) Hitsattu pystysauma. Käyttökohteina ovat ruostumattomasta teräksestä tehdyt pellitykset. d) Kaksinkertainen hakasauma. Käyttökohteina mm. peltikattojen peltirivien jatkosaumat. e) Yksinkertainen lukkosauma. Käyttökohteina esimerkiksi syöksytorvien jatkokset. f) Penaalisauma. Käyttökohteita mm. peltilistojen ja -verhousien jatkokset. g) Listasauma. Käyttökohteita esimerkiksi pystypintojen pellitysten saumat myös sisätiloissa. h) Yksinkertainen kulmasauma. Pellitysten kulmasaumamat, esimerkiksi savupiippujen pystysaumamat. i) Yksinkertainen reunasauma. Käytetään pellitysten kulmasaumoissa esimerkiksi päätyräystään listoissa. j) Yksinkertainen hakasauma. Käyttökohteita mm. pystypintojen jatkosaumat.



Kuva 7. Ikkunan kulmapellitys esimerkiksi erkkerikulmassa (yllä) ja muurin tai kaiteen suojapellityksiä (alla).



Kuva 8. Ulkonevan päätyräystään räystäslista (yllä) ja bitumikermeillä vedeneristetytyn katon räystääspellitys (alla).



Kuva 9. Esimerkkejä suojapellityksistä. Yllä sisäänkäyntikatoksen räystääspellityksen nurkka, keskellä nurkkapilasterin suojapellitys (vasen) ja läpivientejä kallistettuna ulospäin julkisivusta (oikea) sekä alla ikkunapellin pään liittyminen julkisivuun (vasen) ja ulkonevan julkisivun suojapellitys peltiverhouksen alapuolella (oikea).

4.3.2 Alapohjat ja maanvastaiset rakenteet

Perustusten ja alapohjarakenteiden tyypilliset ongelmat liittyvät kosteuteen. Rakenteiden kastuminen johtuu rakennuksen vierusten puutteellisista pintavesijärjestelyistä, salaojen puuttumisesta tai tukkeutumisesta tai alapohjan alustan virheellisestä täyttemateriaalista johtuvasta kapillaarisesta vedennoususta. Puutteita on myös perusmuurien ja osittain maanpinnan alapuolella olevien seinien suojauksessa ulkopuoliselta vedeltä. Piharakentaminen ja pohjarakentamisen puutteet, istutukset tms. ovat voineet muuttaa pihan kuivana pidon ratkaisuja esimerkiksi kallistusten suhteen rakennuksen käyttöaikana.

Kerrostalojen alimman kerroksen tilat ovat usein säilytystiloja tai varastoja, jotka voivat olla joko osaksi tai kokonaan maan alla. Pientalojen kellareissa on usein sauna-, varasto- tai askartelutiloja. 1950-luvun taloissa on useimmiten tehty kellaritilojen käyttötarkoituksen muutos esimerkiksi juuri saunatiloiksi. Tilojen käyttötarkoituksen muuttaminen esimerkiksi sauna-, kokous- tai kerhotiloiksi edellyttää yleensä myös huoneilman lämpötilatason nostamista uutta käyttöä vastaavalle tasolle.

Huonetilojen sisäpintojen pinnoittaminen sisäpuolelta vanhan, usein kostean rakenteen päälle voi johtaa kosteusvaurioihin. Pinnoittaminen tulee tehdä vain kuivan rakenteen päälle. Rakenteiden kosteus voi myös ylläpitää korkeata kosteutta tiloissa. Rakenteiden sisäpuolinen lisälämmöneristäminen voi johtaa lisälämmöneristysrakenteiden kosteusvaurioihin ja homeen ja mikrobien kasvuun rakenteessa. Äärimmäisissä tapauksissa varastotilojen lattioille on voinut nousta vettä puutteellisten sadevesijärjestelyjen tai pohjaveden hetkellisen nousun takia.

4.3.3 Ulkoseinät

Ulkoseinärakenteiden merkittävimmät kosteusriskit ovat sadeveden tai lumen sulamisvesien pääsy rakenteisiin tai imeytyminen julkisivumateriaaleihin sekä sääsuojauksen puutteet julkisivuja purettaessa. Sadevesien pitkäaikainen ajoittainenkin pääsy lämmöneristysrakenteisiin johtaa väistämättä kosteus-, home- tai laho-ongelmiin. Rakenteen sisäkerrosten ilmanpitävyys on vanhassa rakennuskannassa usein riittämätön, jolloin paine-erojen vaikutuksesta esimerkiksi homeitiöiden pääsy huoneilmaan on mahdollista.

Sisätilojen riittämätön ilmanvaihto tehostaa mikrobeille ja itiöille herkistymistä. Siksi ulkovaipan korjaustoimenpiteiden yhteydessä on syytä kiinnittää erityistä huomiota ulkovaipan ilmanpitävyyden parantamiseen ja ilmanvaihdon toimivuuden varmistamiseen. Kun rakenteita korjataan, painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaatteet muuttuvat. Ilmanvaihdon suunnittelu uutta tilannetta vastaavaksi on liitettävä korjaussuunnitteluun.

Veden imeytyminen itse julkisivumateriaaliin ja lämpötilamuutoksista johtuva jäätyminen ja sulaminen voivat rapauttaa julkisivumateriaalia (esimerkiksi poltetut tiilet). Samalla julkisivun kestävyys erilaisten kiinnitysten kannalta heikkenee. Esimerkiksi betonisandwichrakenteiden ulkokuoret eivät silloin kestä lisälämmöneristysrakenteiden kiinnittämistä. Lisäksi betonin karbonatisoitumisesta johtuva betoni-

raudoitusten korroosio heikentää betonin kestävyyttä. Ongelmat ovat suurimmillaan silloin, kun betonikerros ei suojaa riittävästi raudoitusta.

4.3.4 Yläpohjat

VTT:n tekemien yläpohjien kosteustutkimusten [8, 9] perusteella noin 30 % ennen vuotta 1985 rakennetuista loivista katoista on kärsinyt jonkinasteisista kosteusongelmista. Käytännössä kaikkien vanhan rakennuskannan loivien kattojen vedeneristykset on vähintään kerran uusittu. Myös kattojen lämmöneristävyyttä on parannettu, mutta korjausten pääasiallinen tavoite oli varmistaa katon toimivuus ja vedeneristeen kestävyys. Jo tehdyt korjaukset ovat kohdistuneet liikuntasaumojen, katon ylösnostojen ja läpivientien uusimiseen vedenpitävyyden ja katteiden käyttöolosuhteiden parantamiseksi. Samalla uudet katteet, erityisesti kumibitumikermi, ovat lisänneet vedeneristyksen kestävyyttä ulkopuolisia mekaanisia rasituksia vastaan.

Yläpohjarakenteiden korjaustekniikoita ja uusia tuotteita korjausratkaisujen toimivuuden varmistamiseksi kehitettiin erityisesti 1980-luvun lopun ja 1990-luvun alun kehityshankkeissa [10]. Näissä selvityksissä saatuja kokemuksia voidaan hyödyntää yläpohjien lisälämmöneristämässä. Esimerkiksi loivien kattojen tuulettujen lämmöneristeiden käyttö lisääntyi voimakkaasti jo 1980-luvun lopulla rakenneperiaatteesta saatujen hyvien kokemusten perusteella. Tätä eristysratkaisua on myöhemmin käytetty juuri yläpohjien lisälämmöneristämisen ratkaisuna.

Harjakattojen keskeisin riski liittyy ullakkotilojen puutteelliseen tuulettumiseen ja yläpohjan huonosta ilmanpitävyydestä johtuvaan kostean sisäilman virtaamiseen ullakkotiloihin. Harjakattoisen yläpohjan lisälämmöneristäminen voi entisestään pienentää ullakkotilan tuulettumista ja hidastaa rakenteiden kuivumista. Harjakatot ovat yleensä vanhoja loivia kattoja varmatoimisempia, mutta niidenkin detaljirakenteiden toteutuksella on suuri merkitys katon sateenpitävyyteen.

5. Korjausratkaisujen toimivuuden ja riskien arviointi

Laskennallisessa tarkastelussa yhdistettiin eri tapauksia siten, että muuten samankaltaisten rakenteiden tapauksissa tarkastelu tehtiin ensisijaisesti pahinta riskitilannetta kuvaaville tapauksille. Esimerkiksi tiili- ja betonikuorirakenteiden tapauksissa tarkastelut tehtiin olettaen ohuin annettu sisäkuoren paksuus. Tämä edustaa kyseisen rakenteen pahinta riskiä, koska sisäpuolen kerroksen vesihöyryn vastus on ohuimmalla sisäkuorella pienin. Näiden tarkastelujen tulokset pätevät (ylimääräistä varmuutta sisältäen) vastaaville rakenteille, joissa on tarkasteltua paksumpi sisäkuori.

Laskennassa on joissain tapauksissa tarkasteltu korjausratkaisuja, joissa on kuvissa esitettyä suuremmat lämmöneristyspaksuudet. Tällöin toimiviksi havaitut, ulkopuolelta eristetyt rakenteet ovat toimivia myös pienemmillä lämmöneristepaksuuksilla, kun lämmöneristeen tyyppi ja korjaustapa ovat muuten samat.

Kaikissa laskentatapauksissa valittiin korjausrakenteiden kriittiset kohdat (materiaalien rajapinnat), joiden kosteusolosuhteet ja homeen kasvuedellytykset selvitettiin tarkasti. Kriittisiä pintoja ovat tyypillisesti vanhan rakenteen ja sen ulkopuolisten korjauskerrosten rajapinta sekä uloimman lämmöneristekerroksen ja sen ulkopuolisen kerroksen rajapinta. Kaikissa laskentatapauksissa selvitettiin näiden kohtien homeutumisen riski ja lisäksi tapauskohtaisesti erikseen mainittujen muiden mahdollisten kriittisten pintojen riski.

5.1 Lisälämmöneristämistavan vaikutus kosteusriskeihin

Tässä työssä tarkasteltiin vain ulkopuolista (lisä)lämmöneristämistä, jossa uusi lämmöneristyskerros asennetaan aina höyryn/ilmansulun tai sitä vastaavan kerroksen ulkopuolelle. Joissain tapauksissa toteutuksen niin vaatiessa uuden lämmöneristekerroksen asennus voidaan tehdä myös sisäkautta.

Sisäpuolinen lämmöneristäminen johtaa useissa tapauksissa ratkaisuihin, joiden kosteusteknistä toimivuutta ei voida taata. Vaikka itse rakenneleikkaus vaikuttaisi toimivalta, voivat erilaiset detaljit, kuten väliseinät ja -pohjat yms., vaikuttaa rakenteen ilma- ja höyrytiivyyteen niin, että rakennusvaippaan muodostuu kosteuskertymän mahdollistavat olosuhteet. Sisäpuolista korjauseristämistä ei voida suositella yleisenä

ratkaisuna, ja erityistapauksissa toteutettaessa sen toimivuus on selvitettävä rakennusdetaljit, rakennuksen ilmatiivys, painesuhteiden hallinta yms. tekijät huomioiden.

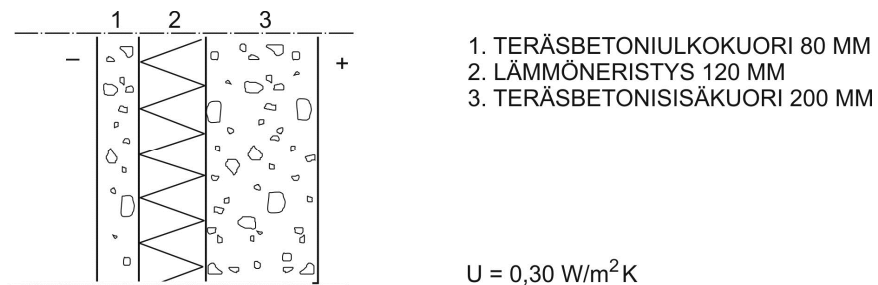
5.2 Kerrostalojen periaaterakenteiden lisälämmöneristysratkaisut

Kerrostalojen pääasialliset seinärakenteet tarkastelukaudella eli 1950–1970-luvuilla olivat betonisandwichrakenne ja tiilimuurattu rakenne.

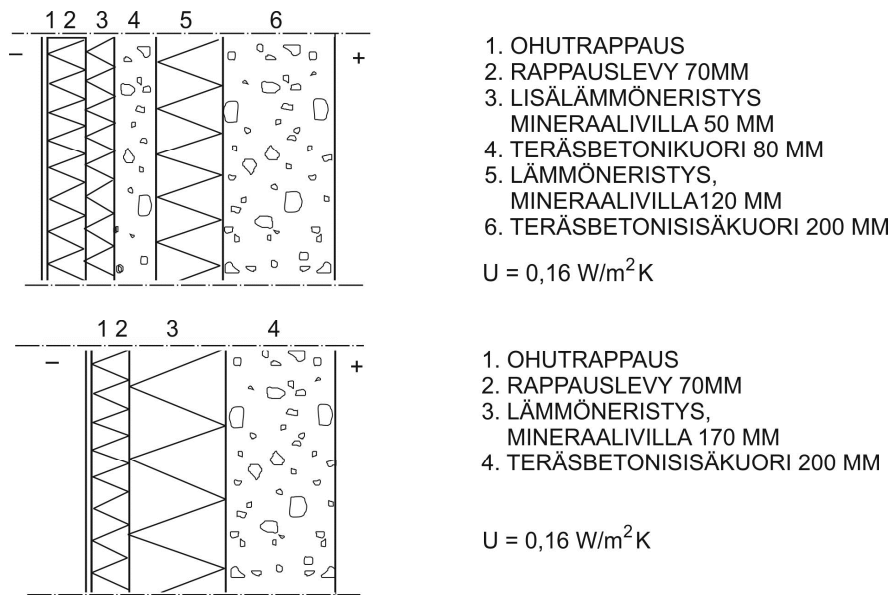
5.2.1 Betonisandwichrakenteen korjaus

Korjausratkaisut

Kuva 10 esittää tarkasteluun valitun alkuperäisen betonisandwichrakenteen. Korjauksessa vanha rakenne voidaan eristää ulkopäin tai sen ulkokuori ja lämmöneristekerros puretaan ja vanhan sisäkuoren ulkopuolelle asennetaan uusi lämmöneristekerros (kuva 11). Jälkimmäinen tapaus on tyypillisempi, koska korjaus perustuu usein ulkokuoren vaurioitumiseen, joka edellyttää vanhojen rakenneosien purkamista. Näiden korjausratkaisujen toteutukseen liittyviä tekijöitä ja riskejä on käsitelty tarkemmin rakenteiden asiantuntija-arvion yhteydessä.

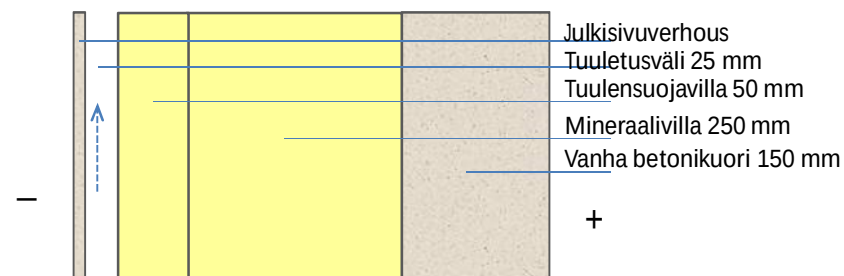


Kuva 10. Korjattava betonisandwichseinärakenne.



Kuva 11. Tuulettamattomat korjausratkaisut. Vanha rakenne on ulkopuolelta lisälämmöneristetty ja rapattu (yllä). Alla tapaus, jossa vanha ulkokuori ja lämmöneristekerros on purettu ja korvattu ulkopinnasta rapatulla lämmöneristekerroksella.

Korjatun rakenteen toteutus perustuu usein ulkopinnastaan rapattuun, tuulettamattomaan ratkaisuun. Tällöin kosteusteknisen toimivuuden haasteet ja vaatimukset kohdistuvat rappauksen ominaisuuksiin ja tämän toteutuksen onnistumiseen. Rapattujen rakenteiden lisäksi selvityksessä tarkasteltiin myös kosteusteknisesti varmpaa tuulettua ratkaisua (kuva 12). Seuraavaksi esitetään eri tapausten tarkastelun tulokset.



Kuva 12. Tuulettettu korjausrakenne.

Materiaaliominaisuudet

Taulukko 4 esittää eri materiaalikerrokset ja niiden vesihöyryn läpäisyominaisuudet rappauserroksia lukuun ottamatta. Valittujen rappausten ominaisuudet esitetään erikseen rappaustapausten kuvauksessa.

Taulukko 4. Materiaalikerrokset ja niiden vesihöyryn läpäisyominaisuudet [3].

Materiaalikerros	Kerros-paksuus, mm	Vesihöyryn diffuusio-vastuskerroin μ [-]	Vesihöyryn diffuusiovastus (ekvivalenttina ilmakerroksen paksuutena) S_d , m
Betoni	150	203	30,4
Mineraalivilla, vanha	100	3,4	0,34
Mineraalivilla, uusi	70	1,3	0,1
EPS	70	50	3,5
Tuulensuojavilla + sääsuojakerros	50	3	0,25

Rappaustapaukset

Rappauserroksen ominaisuudet vaikuttavat olennaisesti rakenteen kuivumiskykyyn ja viistosateen aiheuttamaan kosteuskuormitukseen. Kriittinen kohta tuuletamattomien korjausrakenteiden toimivuudessa on rappauksen ja lämmöneristeen rajapinta, joten koko rappauserroksen nopea kastuminen sateen vaikutuksesta ja hidas kuivumiskyky voivat johtaa tässä tarkastelukohdassa pitkäaikaisiin korkeisiin kosteuspitoisuuksiin. Rappauksen ominaisuuksien merkityksen arvioimiseksi valittiin tarkasteluun erilaisia rappaustapauksia.

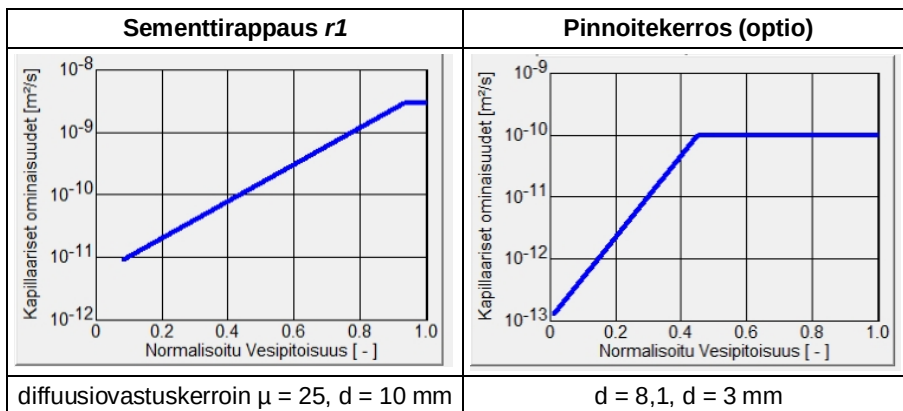
Perustapauksena oli 10 mm ohutrappaus, jonka eri kerrosten ominaisuudet ovat samanlaiset. Ohutrappaukseksi valittiin sementtipohjainen rappaus tai mineraalirappaus [3]. Koska havaittiin, että sementtirappauserros kastui nopeasti viistosateen vaikutuksesta, tehtiin lisätarkastelu asettamalla sen ulkopintaan 3 mm paksuinen lisäkerros, joka tehokkaasti katkaisi kapillaarisen kosteudensiirron rakenteeseen päin (pintakerroksen ominaisuudet [11]). Kuva 13 esittää sementtirappauksen ja sille käytetyn pintakerroksen ominaisuudet. Sementtipohjainen ohutrappaus ilman pintakerrosta kuvaa julkisivun ominaisuuksien ja sateen suojauksen kannalta pahinta tilannetta.

Toisena ohutrappauksena selvityksessä käytettyä mineraalirappausta (paksuus 10 mm) ei tarkasteltu pinnoitettuna, koska rappauksen omat ominaisuudet riittivät rajoittamaan rappauksen kapillaarista kastumista (kuva 14).

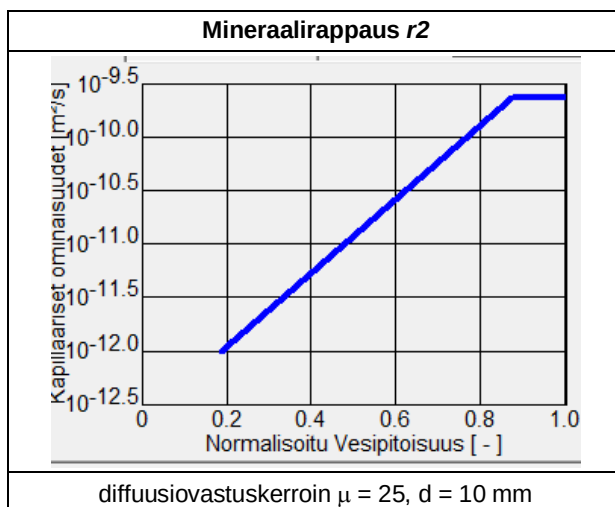
Lisäksi tarkasteltiin kolmikerrosrappaustapausta. Kolmesta kerroksesta koostuvan rappauksen kokonaispaksuus oli 20 mm, ja rappauksen eri kerroksilla oli erilaiset kapillaariset ominaisuudet (kuva 15).

Ohutrappauksissa sementtirappaus merkittiin laskennassa koodilla *r1*, pinnoitettu sementtirappaus *r1_pinn*, yksikerroksinen mineraalirappaus koodilla *r2* ja kolmikerrosrappaus koodilla *r4*. Ohutrappauksen vesihöyryn läpäisevyys oli huomattavasti korkeampi kuin kolmikerrosrappauksen, mutta pinnoittamattomana sementtirappauksen kapillaarinen suojaus oli heikko.

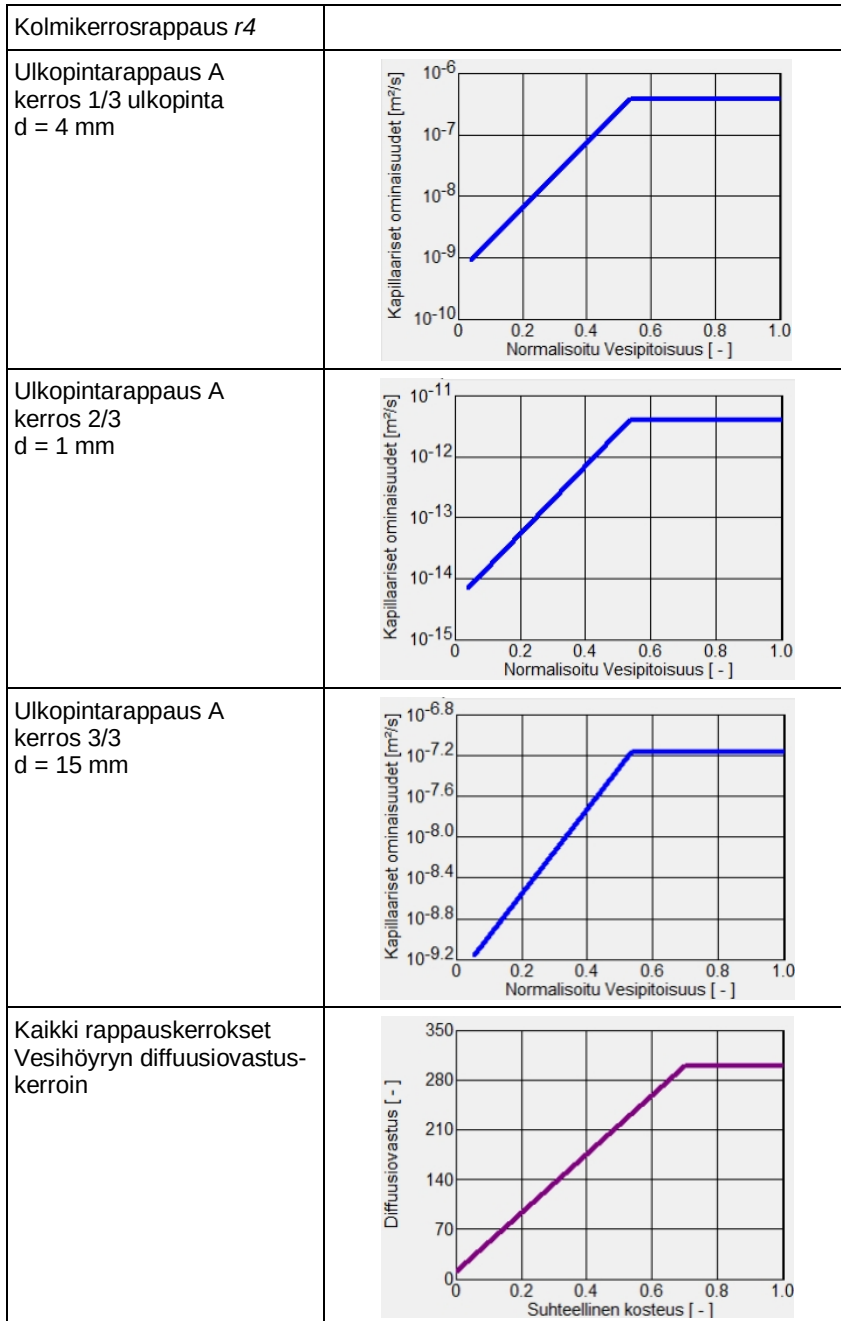
Tavoitteena oli selvittää tyypillisten rappauksen ominaisuuksien vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimivuuteen ja erityisesti uloimman kriittisen rajapinnan kosteusolosuhteisiin.



Kuva 13. Kapillaariset ominaisuudet ja vesihöyryn diffuusiovastuskerroin yksikerroksiselle sementtirappaukselle *r1* (vasen) ja sen pintakerrokselle /3, 11/ (oikea).



Kuva 14. Kapillaariset ominaisuudet ja vesihöyryn diffuusiovastuskerroin yksikerroksiselle mineraalirappaukselle *r2* [3, 11].



Kuva 15. Laskennassa käytetyn kolmikerrosrappauksen eri kerrosten kapillaariset ominaisuudet (kolme yllä olevaa) ja vesihöyryn diffuusiovastuskerroin (alin kuva).

Tarkastelujen lähtöoletukset ja sisältö

Rakenteet oletettiin tarkasteluissa ilmatiiviiksi, jolloin rakenteen läpi ilmavirtausten mukana kuljettava kosteus ei aiheuta kosteusriskiä. Lisäksi oletettiin, että rakenteiden sisään ei pääse tunkeutumaan nestemäistä vettä muuta kuin kapillaarisesti materiaalikerrosten läpi. Kuormittavia tekijöitä ovat sisä- ja ulkoilman kosteus, viistosade ja rakenteen alkukosteus. Viistosade asetettiin näillä rakenteilla vastaamaan yli 20 m korkean rakennuksen yläosaan kohdistuvaa kuormitusta.

Tyypillisesti pahin kosteuskuormitus on varjossa olevalla rakenteella. Auringon säteilyä tai taivaan vastasäteilyä ei ole laskennassa otettu huomioon, jollei tapausten käsittelyn yhteydessä ole muuta mainittu. Tapauksissa, joissa säteily on huomioitu, on rakenteen pinnan absorptiokerroin asetettu vastaamaan pienintä mahdollista tapausta, esimerkiksi rappautapauksissa pinta on oletettu uudeksi valkoiseksi rappaukseksi, jonka säteilyn absorptiokerroin on 0,20. Oletus pitää sisällään varmuutta ja se antaa kuvan säteilyn vaikutuksesta kosteustasoihin.

Laskentatulokset lisälämmöneristettyjen betonisandwichrakenteiden tapauksissa

Taulukko 5 esittää tässä tarkastellut laskentatapaukset tilanteessa, jossa vanhan rakenteen ulkopintaan asennetaan lämmöneristys, joka rapataan.

Taulukko 5. Laskentatapaukset betonisandwichrakenteen korjaukselle silloin, kun vanha rakenne on ulkopuolelta lisälämmöneristetty ja rapattu.

Tapaus	Lämmöneriste	Ulkokuori	Muuta
BS_Alkup.	120 mm mineraalivilla (MW)	Betonikuori	Alkuperäinen rakenne
Korjatut rakenteet: Alkuperäinen rakenne + lisälämmöneristekerrokset + rappaus			
Tapaus	Lisälämmöneriste	Rappaus	Muuta
BS_mw70_r1	50 mm + 70 mm MW	yksikerros sementti	
BS_mw70_r1_pinn	50 mm + 70 mm MW	yksikerros sementti + pinnoite	
BS_mw70_r2	50 mm + 70 mm MW	yksikerros mineraali	
BS_mw70_r4	50 mm + 70 mm MW	Kolmikerrosrappaus	
BS_mw70_r4_S02	50 mm + 70 mm MW	Kolmikerrosrappaus	Auringon säteilyn absorptiokerroin 0,20
BS_eps70_r1	50 mm + 70 mm EPS	yksikerros sementti	
BS_eps70_r2	50 mm + 70 mm EPS	yksikerros mineraali	
BS_eps70_r4	50 mm + 70 mm EPS	Kolmikerrosrappaus	

Kriittisiä rajapintoja tässä korjaustapauksessa olivat rappauksen ja eristeen rajapinta sekä vanhan rakenteen uloimman betonikuoren sisäpinta.

Laskennassa tarkasteltujen lisälämmöneristystapausten tulokset esitetään seuraavassa. Tapaustunniste *BS* viittaa vanhan betonisandwich rakenteen säilyttämiseen ja lisälämmöneristämiseen, *EPS70* ja *mw70* uuden eristeen materiaaliin ja paksuuteen, *r1* ja *r4* rappauksen tyyppiin. *BS_Alkup* on vanhan rakenteen tunnus.

Kuva 16 esittää tarkastellun rakenneleikkauksen kokonaiskosteuden muutoksen viiden tarkasteluvuoden aikana alkukosteuden ollessa 80 % RH kaikissa materiaali-kerroksissa.

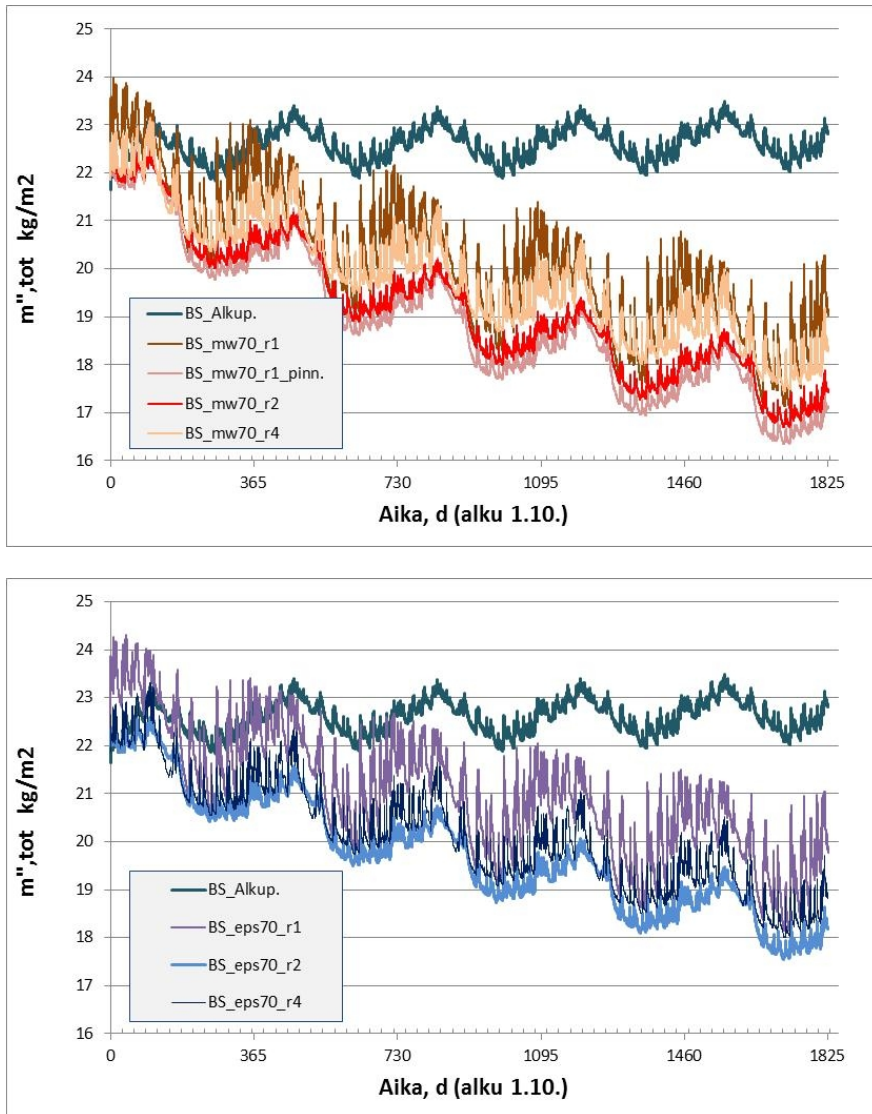
Vanhan rakenteen kosteustaso ei olennaisesti alentunut tarkastelujakson aikana, mutta korjattujen rakenteiden kosteudet alenivat kaikissa tapauksissa. Kosteuden muutos jatkui vielä viimeisen tarkasteluvuoden aikana. Pitkäaikainen, vuositasolla jatkuva rakenteen kuivuminen viittaa hyvään kosteustekniseen toimivuuteen kuivumiskyvyn osalta.

EPS-eristetyillä rakenteilla oli jonkin verran hitaampi kuivumisnopeus kuin mineraalivillaeisteillä, koska EPS-kerros hidastaa diffuusiomuotoista kosteuden kuivumista rakenteesta. EPS-eristeen tapauksessa rappaus *r1* johti suurempiin vuotuisiin kosteumääriin rakenteessa, koska kolmikerrosrappaus *r4* esti rakenteen kastumisen samalla tavoin viistosateen vaikutuksesta. Rappauksella *r2* kuivuminen oli hieman nopeampaa kuin kolmikerrosrappauksen *r4* tapauksessa.

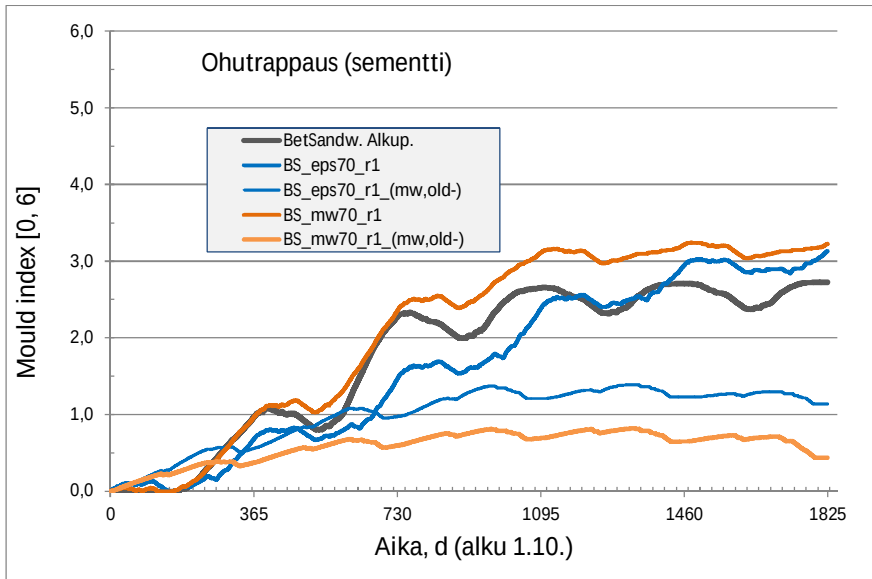
Mineraalivillaeisteillä ero rappauksen *r1* ja *r4* välillä oli samansuuntainen, mutta pienempi kuin EPS-lämmöneristeellä. Kun ohutrappaus oli pinnoitettu kapillaarista kosteuden siirtymistä vastustavalla ja hyvin diffuusiota läpäisevällä pinnoitteella (*BS_mw70_r1_pinn*), oli rakenteen vuotuinen kosteustaso alimmillaan ja kuivuminen nopeinta. Yksikerroksisella mineraalirappauksella *r2* rakenteen kuivumiskyky oli jokseenkin yhtä hyvä kuin pinnoitetun rappauksen tapauksessa.

Jatkuvasti alkukosteudesta laskeva kosteustaso viittaa hyvään kosteustekniseen toimivuuteen myös verrattuna alkuperäiseen rakenteeseen. Pelkkä kosteustason alentuminen ei riitä varmistamaan turvallista kosteusteknistä toimivuutta. Kosteuden jakautuminen rakenteessa voi aiheuttaa paikallisesti sellaiset olosuhteet (kosteustaso, lämpötila ja vaikutusaika), jotka voivat johtaa esimerkiksi homeen kasvuun. Toimivuus varmistettiin siksi myös kriittisten rakennekohtien tarkastelulla.

Kuva 17 esittää pinnoittamattomien ohutrappaustapausten kriittisten kohtien (rappauksen ja eristeen rajapinta sekä vanhan rakenteen uloimman betonikuoren sisäpinta) olosuhteiden perusteella lasketut homeindeksin arvot. Vaikka rakenteiden kosteustasojen muutos vaikutti toimivalta, saivat homeindeksin arvot alkuperäistä rakennetta vastaavat tai hieman korkeammat arvot tällä rappaustapauksella. Vanhan rakenteen kosteustasot johtivat selvästi alkuperäistä pienempään homeen kasvuun lisälämmöneristämisen jälkeen. Lisälämmöneristäminen parantaa vanhan rakenteen kosteustasoja ja vähentää olennaisesti kosteus- ja homeeriskejä vanhan rakenteen osalta. Pinnoittamattoman ohutrappauksen tapauksessa homeen kasvuriski säilyy alkuperäisen rakenteen tasolla, mutta kriittinen kohta siirtyy rappauksen ja eristeen rajapintaan.



Kuva 16. Kokonaiskosteudet alkuperäisen vanhan rakenteen ja lisälämmöneristettyjen korjausrakenteiden leikkauksissa viiden vuoden laskennallisen tarkastelujakson aikana, kun alkukosteus kaikissa kerroksissa oli 80 % RH tasapainotilaa vastaava. Ylemmässä kuvassa mineraalivillaeeristeiset ja alemmassa EPS-eristeiset korjausrakenteet.



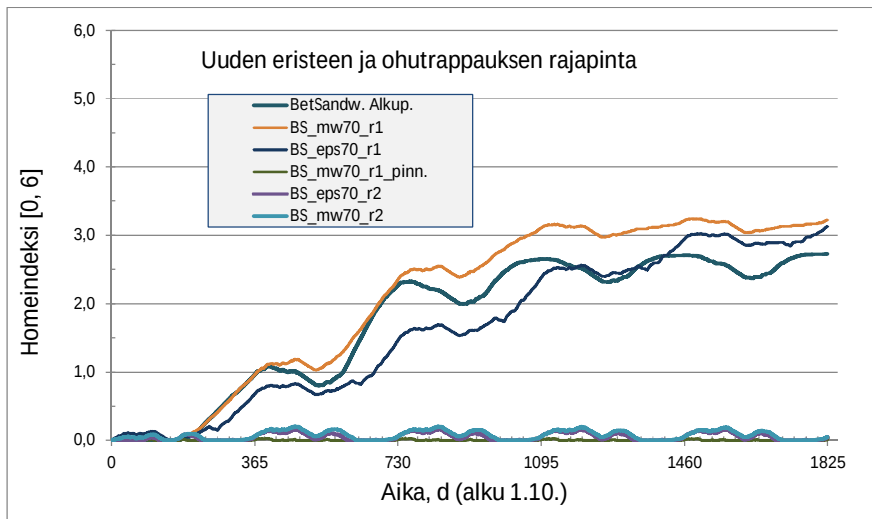
Kuva 17. Laskennallinen homeindeksin kehitys rakenteen kriittisissä kohdissa (rappauksen ja eristeen rajapinta sekä vanhan rakenteen uloimman betonikuoren sisäpinta (mw,old-)) lisälämmöneristetyin korjausrakenteen tapauksessa, kun ulkopinnan rappaus on yksikerroksinen sementtirappaus ilman suojaavaa pintakerrosta.

Ulkopinnan viereisten kerrosten homeindeksin taso noin 3 ei vielä merkitse sitä, että rakenne olisi toimimaton. Homeen kasvuriski on samaa luokkaa kuin alkuperäisessä rakenteessa, mutta sen esiintymiskohta korjatussa rakenteessa on aiempaa useamman kerroksen päässä sisäilmasta. Siten sen riski aiheuttaa sisäilmaongelmia on alkuperäistä pienempi. Tätä riskiä voidaan kuitenkin pienentää valitsemalla rappauskerroksen kosteudenläpäisyominaisuudet sopiviksi.

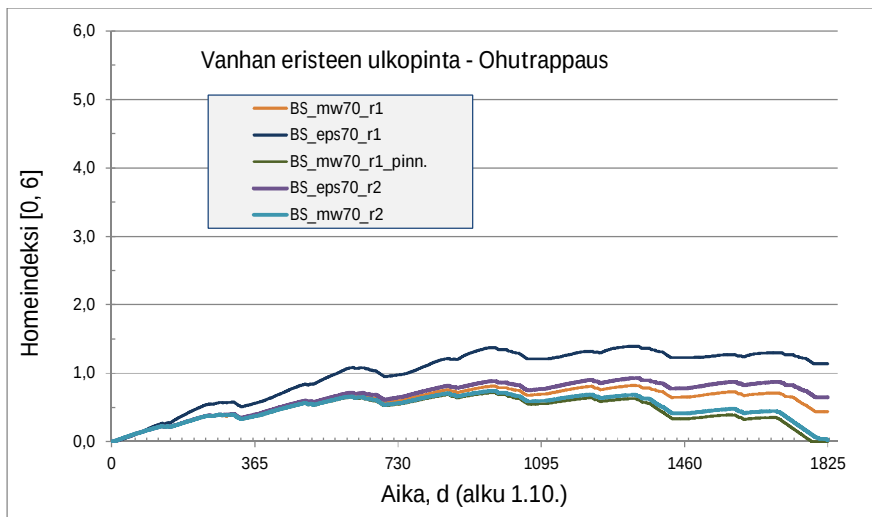
Pinnoitetun sementtirappauksen (*r1_pinn.*) ja mineraalirappauksen *r2* homeindeksit jäivät turvalliselle tasolle sekä rappauksen ja eristeen rajapinnassa (kuva 18) että vanhan eristeen ja betonikuoren rajapinnassa (kuva 19). Näissä tapauksissa (*r1_pinn.* ja *r2*) homeindeksi jäi viiden vuoden aikana tasolle 1 tai sen alle, ts. riski homeen kasvusta oli merkityksetön laskennallisesti tarkastellussa ideaalisen tilanteen rakenneleikkauksissa. Pinnoittamattoman rappauksen *r1* tapauksessa homeindeksi oli alkuperäisen rakenteen kanssa samalla tasolla.

Kolmikerrosrappauksen tapauksissa (kuva 20) tulos oli sama, eli rakenteessa ei ollut homeen kasvuriskiä.

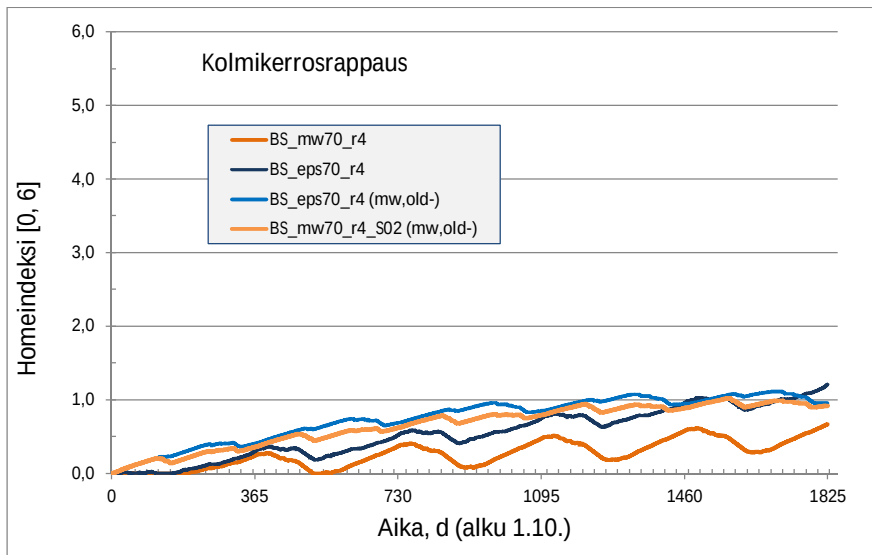
Myös auringon säteily kuivattaa rappautta. Auringonsäteily ei olennaisesti vaikuta alkuperäisen betonirakenteen toimintaan (BS_mw70_r4_S02), koska betonin ulko-kuoren termisen massan ja korkean kosteuskapasiteetin takia olosuhteet säilyvät rakenteen tässä kohtaa lähellä tilannetta, jossa auringon säteily ei kohdistu pintaan.



Kuva 18. Laskennallinen homeindeksin kehitys kriittisessä kohdassa rappauksen ja lämmöneristeen rajapinnalla lisälämmöneristetyin korjausrakenteen tapauksessa. Ulkopinnan ohutrappauksen (sementtirappaus) pinnassa on kapillaariselta kosteuden siirtymiseltä suojaava kerros (BS_mw70_r1_pinn.) tai rappauksena on mineraalirappaus r2.



Kuva 19. Laskennallinen homeindeksin kehitys kriittisessä kohdassa uloimman betonikuoren ja vanhan lämmöneristeen rajapinnalla lisälämmöneristetyin korjausrakenteen tapauksessa. Ulkopinnan ohutrappauksen (sementtirappaus) pinnassa on kapillaariselta kosteuden siirtymiseltä suojaava kerros (BS_mw70_r1_pinn.) tai rappauksena on mineraalirappaus r2.



Kuva 20. Laskennallinen homeindeksin kehitys rakenteen kriittisessä kohdassa rappauksen ja eristeen rajapinnalla. Lisälämmöneristetty korjausrakenne, jossa on kolmikerrosrappaus *r4*. Auringon säteilyn absorptiokerroin 0,20 tapauksessa BS_mw70_r4_S02. Tapaukset (mw,old-) kuvaavat vanhan lämmöneristeen ja ulomman betonikuoren rajapintaa.

Yhteenveto lisälämmöneristysrakenteen toimivuudesta

Johtopäätöksenä betonisandwichrakenteen ulkopuolisesta lisälämmöneristysratkaisusta rapattuna voidaan todeta, että vanhan rakenteen kosteustekninen toiminta muuttuu alkuperäistä turvallisemmaksi, kun lämmöneristeenä on mineraalivilla tai EPS. Toteutus 70 mm paksulla uudella lämmöneristekerroksella ja rappauksella on toimiva, kun otetaan huomioon vaatimukset rappauksen ominaisuuksista. Olennaista on, että alkuperäisen rakenteen kosteus pääsee kuivumaan uusien eriste- ja rappauskerrosten kautta. Betoniin verrattuna EPS:n vesihöyryn läpäisevyys on suuri, joten se ei muodosta merkittävää estettä rakenteen kuivumiselle. Riskinä voi olla tilanne, jossa kosteutta tunkeutuu eristetilään, mutta tämä tilanne on riski kaikilla rakenneratkaisuilla.

Tulosten perusteella ohutrappaus on hyvä suojata kapillaarista veden tunkeutumista hidastavalla kerroksella, jos rappauksen omat ominaisuudet eivät ole tähän riittävät. Kolmikerrosrappausten erilaiset kerrokset rajoittavat yleensä kapillaarista kosteudensiirtoa riittävästi.

Alkukosteuksien pitää olla kohtuullisella tasolla ennen uuden rakennekerroksen asennusta. Vanhan betonirakenteen ulkokuoren kosteuden tulee olla 80 % RH tasapainokosteutta vastaavalla tasolla tai kuivempi. Korkeamman kosteuden tapauksessa uuden rakenteen riittävä kuivumiskyky tulee varmistaa.

Vanha sisäkuori ja uusittu lämmöneristekerros rapattuna

Tässä tapauksessa vanha ulkokuori ja lämmöneristekerros on purettu ja korvattu ulkopinnasta rapatulla lämmöneristekerroksella. Tarkastelussa käytettiin 300 mm paksuista lämmöneristekerrosta, joka sisältää kosteusteknisen toimivuuden osalta huomattavaa varmuutta verrattuna tavoitteen mukaiseen 50 % parannukseen alkuperäisestä U-arvosta.

Rappauksina käytettiin samoja yksi- ja kolmikerrosrappauksia kuin ulkopuolelta lisälämmöneristettyjen korjausrakenteiden tapauksissa. Ohutrappauksen toimintaa tarkasteltiin lisäpinnoituksen tapauksessa. Lisäksi tarkasteltiin tuuletetun rakenteen toimintaa (kuva 12).

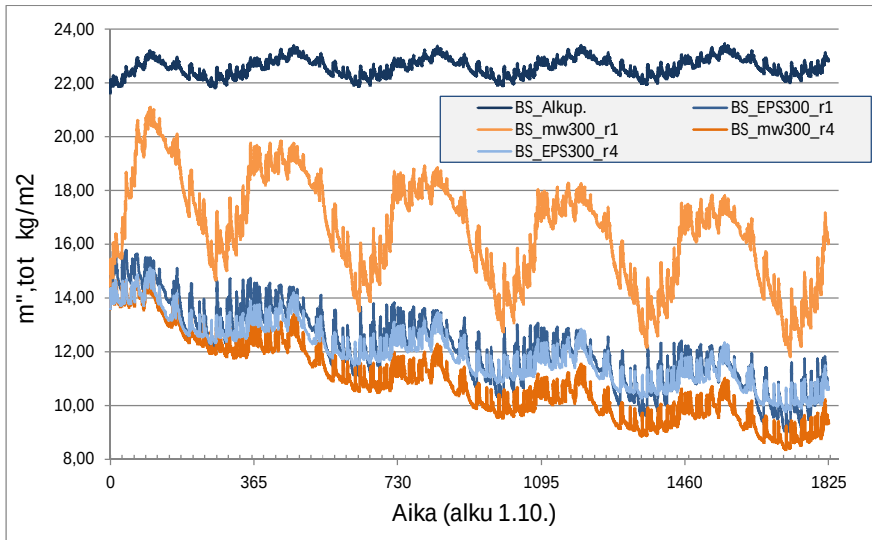
Taulukko 6 esittää tarkastellut laskentatapaukset tilanteessa, jossa vanhasta rakenteesta säilytetään sisäkuori ja sen ulkopuolelle asennetaan lämmöneristys, joka rapataan.

Taulukko 6. Laskentatapaukset betonisandwichrakenteen korjaukselle silloin, kun vanhasta rakenteesta säilytetään vain sisäkuori.

Tapaus	Lämmöneriste	Ulkokuori	Muuta
BS_Alkup.	120 mm mineraalivilla (MW)	Betonikuori	Alkuperäinen rakenne
Korjatut rakenteet: Alkuperäinen sisäkuori + lisälämmöneristekerrokset + rappaus			
Tapaus	Lisälämmöneriste	Rappaus	Muuta
BS_300 mw_r1	300 mm MW	yksikerros sementti	
BS_300 mw_r1_pinn	300 mm MW	yksikerros sementti + pinnoite	
BS_300 mw_r2	300 mm MW	yksikerros mineraali	
BS_300 mw_r4	300 mm MW	Kolmikerrosrappaus	
BS_300 eps_r1	300 mm EPS	yksikerros sementti	
BS_300 eps_r2	300 mm EPS	yksikerros mineraali	
BS_300 eps70_r4	300 mm EPS	Kolmikerrosrappaus	

Kuva 21 esittää kokonaiskosteudet eri rakennetapausten leikkauskohdissa ja kuva 22 lisäksi pinnoituksen vaikutuksen ohutrappauksella ja tuuletetun rakenteen kosteustason muutoksen.

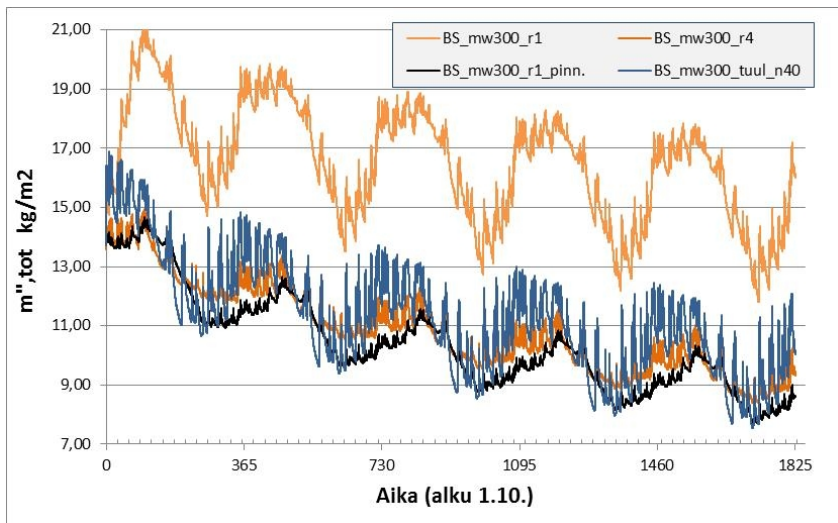
Kun sekä rappaus että lämmöneristekerros olivat kosteutta hyvin läpäiseviä, vaihteli rakenteen kokonaiskosteus vuoden aikana huomattavasti enemmän kuin muissa tapauksissa ja lisäksi kuivuminen oli muita tapauksia hitaampaa. Kolmikerrosrappaus esti rakenteen merkittävän kastumisen sateen vaikutuksesta mineraalivillaeristeen tapauksessa. EPS-lämmöneristeen tapauksessa ero yksi- ja kolmikerrosrappauksen välillä oli hyvin pieni.



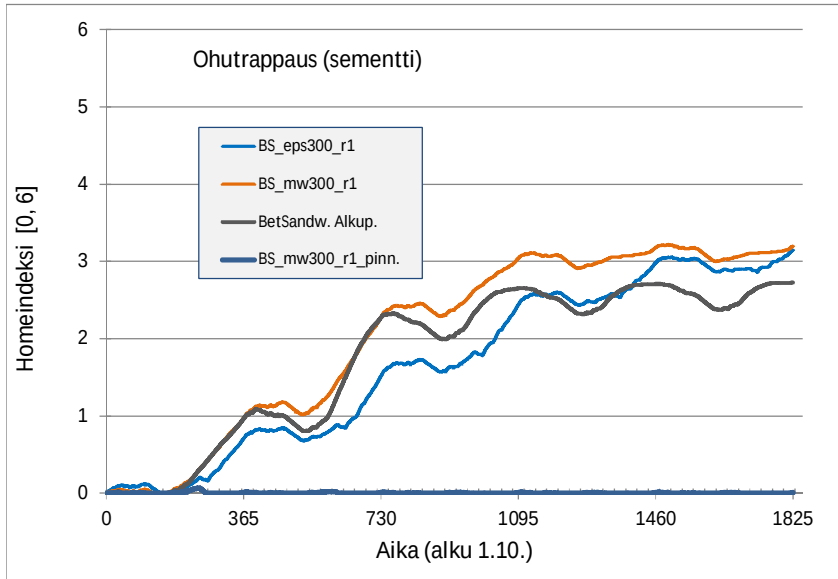
Kuva 21. Kokonaiskosteudet alkuperäisen vanhan rakenteen ja korjausrakenteiden leikkauksissa viiden vuoden laskennallisen tarkastelujakson aikana. Korjauksessa vanhan rakenteen ulkokuori ja lämmöneristekerros on purettu ja korvattu ulkopinnasta rapatulla 300 mm paksuisella lämmöneristekerroksella. Rappauksena on yksi- (*r1*) tai kolmikerrosrappaus (*r4*).

Ohutrappauksen suojaus pinnoitteella [12] paransi mineraalivillaeristeisen rakenteen toimintaa huomattavasti (kuva 22). Kokonaiskosteuden vuotuinen vaihtelualue ja kokonaismuutos olivat samaa luokkaa kuin kolmikerrosrappauksen tapauksessa. Tuulettun rakenteen kosteustaso vaihteli voimakkaasti ulkoilman kosteuden vaihdellessa, mutta kokonaistaso oli jokseenkin samankaltainen edellisten tapausten (*r1_pinn.* ja *r4*) kanssa.

Kuva 23 esittää laskennallisen homeindeksin kehityksen rakenteen kriittisessä kohdassa rappauksen ja eristeen rajapinnalla ohutrappauksen sovelluksissa. Jollei rappauksella ole suojattu pinnoitteella, ovat laskennallisen homeindeksin arvot korjausrakenteiden kriittisissä kohdissa samaa luokkaa tai hieman korkeampia kuin alkuperäisen rakenteen kriittisessä kohdassa. Pinnoite poistaa homehtumisriskin laskentatapauksessa jokseenkin kokonaan ja homeindeksi jää tasolle 0. Tulokset ovat lisäksi jokseenkin yhtenevät ulkopuolelta lisälämmöneristetyin ja rapatun (*r1*) rakenteen tulosten kanssa.

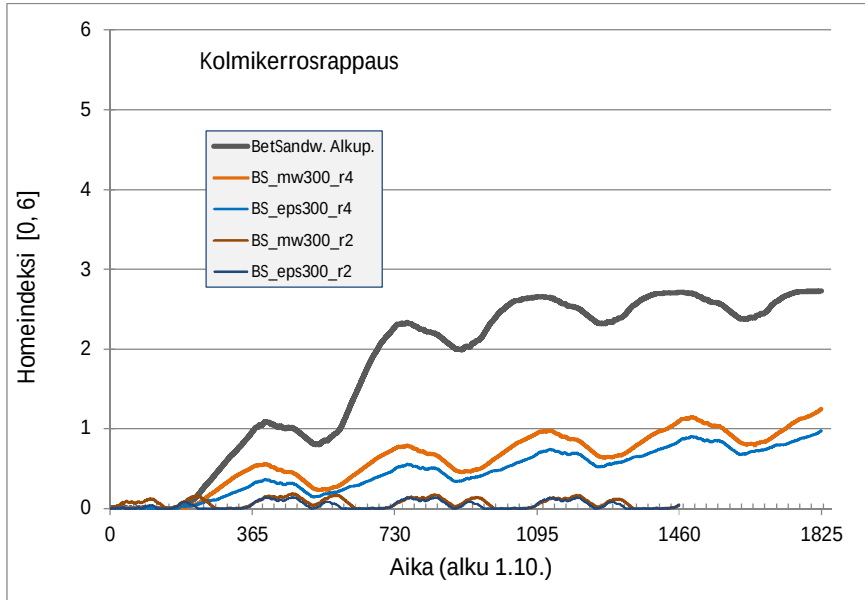


Kuva 22. Kokonaiskosteutet korjausrakenteiden leikkauksissa. Korjauksessa vanhan rakenteen ulkokuori ja lämmöneristekerros on korvattu ulkopinnasta rapatulla 300 mm lämmöneristekerroksella, jossa on ohutrappaus (r1) pinnoitteella (pinn.) tai ilman. Lisäksi esitetään tuuletetun (40 1/h ilmanvaihto tuuletustilassa) rakenteen kokonaiskosteutet kehitys (tuul_n40).

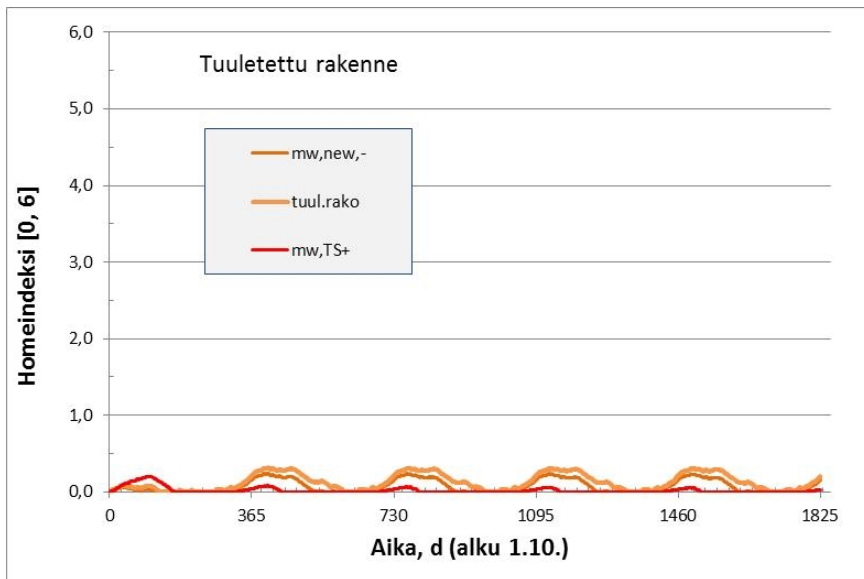


Kuva 23. Laskennallinen homeindeksin kehitys rakenteen kriittisessä kohdassa rappauksen ja eristeen rajapinnalla. Korjauksessa vanhan rakenteen ulkokuori ja lämmöneristekerros on korvattu ulkopinnasta rapatulla 300 mm lämmöneristekerroksella, jossa on ohutrappaus (r1) pinnoitteella (pinn.) tai ilman.

Kuvassa 24 on laskennallisen homeindeksin kehitys rakenteen kriittisessä kohdassa rappauksen ja eristeen rajapinnalla kolmikerrosrappauksen sovelluksissa. Tällöin homeindeksi jää tasolle 1, mikä edustaa kosteusteknisesti turvallista toimintaa. Tuuletetun rakenteen tapauksessa kriittisten kohtien homeindeksi jäi tason 1 alapuolelle, mikä edustaa kosteusteknisesti turvallista toimintaa, kuva 25.



Kuva 24. Laskennallinen homeindeksin kehitys rakenteen kriittisessä kohdassa rappauksen ja eristeen rajapinnalla. Korjauksessa vanhan rakenteen ulkokuori ja lämmöneristekerros on korvattu ulkopinnasta rapatulla 300 mm lämmöneristekerroksella, jossa on kolmikerrosrappaus (*r4*) tai mineraalirappaus (*r2*).



Kuva 25. Laskennallinen homeindeksin kehitys tuulettedun rakenteen kriittisissä kohdissa: tuuletusraossa (tuul.rako), uuden eristeen ulkopinnassa (mw,new,-) ja tuulensuojapinnoitteen sisäpinnassa (mw,TS+).

Yhteenveto tapauksista, joissa on vanha sisäkuori ja uusittu lämmöneristekerros

Selvityksen perusteella rakenteet voidaan toteuttaa kosteusteknisesti toimivina käyttäen 300 mm paksuista mineraalivilla- tai EPS-lämmöneristettä ja siihen soveltuvaa rappausta. Tätä ohuempi lämmöneristekerros lisää toimintavarmuutta, kun muut toimivuuteen vaikuttavat tekijät otetaan toteutuksessa huomioon selvityksen tulosten mukaisesti.

Kuten ulkopuolisissa lisälämmöneristämistapauksessa, myös tässä tapauksessa rappauserroksella tulisi olla veden imeytymistä ulkopinnasta kapillaarisesti sisäänpäin estävä kerros siirtyvää sadekuormitusta vastaan. Liika kapillaarinen kosteuskuormitus voidaan katkaista esimerkiksi kolmikerrosrappausten eri kerrosten, ohutrappausten pinnoitteen tai ohutrappausten omilla sopivilla kosteudensiirto-ominaisuuksilla. Tapauksen analysoinnissa käytettiin voimakasta viistosadekuormitusta (korkean rakennuksen yläosa), joten tarkastellut tilanteet sisältävät varmuutta keskimääräiseen ulkopuoliseen kosteuskuormitukseen nähden. Lisäksi auringon säteily parantaa kosteusteknistä toimintaa käytännössä nyt tarkasteltuihin tapauksiin verrattuna.

Vanhan rakenneosan alkukosteus on tässä tapauksessa harvoin kriittinen, koska vanhasta rakenteesta jää vain yleensä suhteellisen kuivana säilynyt sisäkuori.

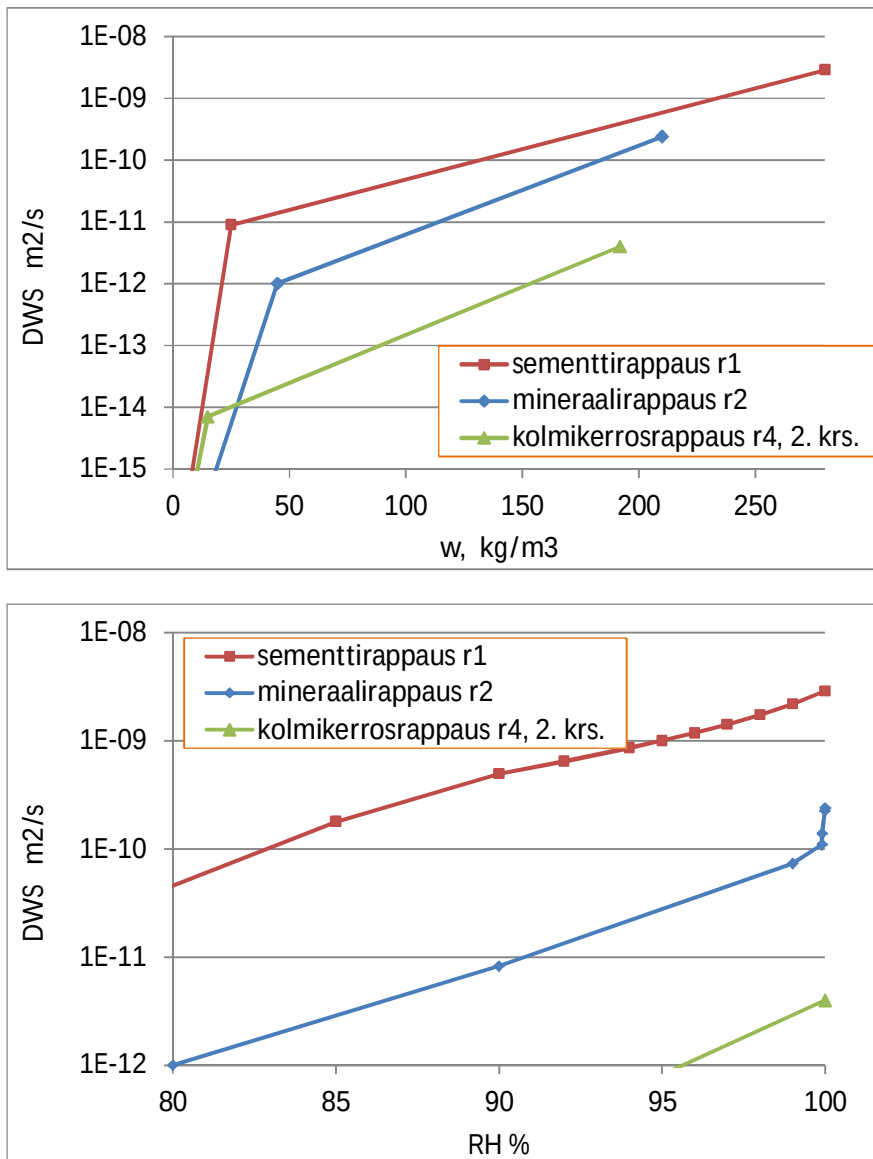
Tuulettedun rakenteen toimintavarmuus on rapattuihin verrattuna ylivoimainen. Se on suositeltava ratkaisu silloin, kun se on toteutuksena mahdollinen ja taloudellisesti perusteltu.

Päätelmiä rappaukselta vaadittavista ominaisuuksista

Kuva 26 esittää laskennassa käytettyjen kolmen eri rappauksen kapillaarisia kosteudensiirto-ominaisuuksia kosteuspitoisuuden ja suhteellisen kosteuden funktiona [5]. Tulosten perusteella rapaus *r1* (sementtirapaus) johti useissa tapauksissa korkeisiin kosteuspitoisuuksiin rappauksen ja lämmöneristeen rajapinnassa. Vaikka kyseisen rappauksen vesihöyrynläpäisevyys on korkea ja siten sen kuivumiskyky on hyvä, ei tämä yksin riitä takaamaan turvallista kosteusteknistä toimintaa rakenteelle.

Ohutrappauksella *r2* (mineraalirapaus) ja kolmikerrosrappauksella *r4* on kapillaarista kosteudensiirtoa rajoittavia ominaisuuksia, jotka osaltaan suojaavat rakenteen kastumiselta viistosateen aikana. Kun rakenteen kastuminen tapahtuu kapillaarisesti rappauksen kautta, ei rakenteeseen pääse vapaata vettä, mutta sen kriittinen rajapinta rappauksen ja eristeen välissä saa pitkäksi aikaa suuria suhteellisen kosteuden arvoja. Tämä voi johtaa esimerkiksi homeen kasvuriskiin. Kapillaarista kosteudensiirtoa rajoittava rapauskerros pienentää rakenteen kostumista ja homeen kasvuriskiä.

Materiaaliominaisuuksien perusteella heikosti rakennetta suojaavan rappauksen *r1* kapillaariset siirto-ominaisuudet ovat 20–30-kertaiset rappaukseen *r2* verrattuna lähes koko suhteellisen kosteuden alueella. Kolmikerrosrappauksen kerroksista osalla on vielä huomattavasti rapausta *r2* alempia kapillaarisuusarvoja. Ehdottomien raja-arvojen asettaminen pelkästään näiden tulosten perusteella on vaikeaa. Suosituksena voidaan antaa rappauksen kapillaariselle kosteudenjohtavuudelle maksimitaso noin $1\text{e-}10\text{ m}^2/\text{s}$, kun suhteellinen kosteus on alle 98 % RH ja kapillaarisesti kylläisessä tilassa suositusarvo on korkeintaan $3\text{e-}10\text{ m}^2/\text{s}$.



Kuva 26. Rappausten kapillaarinen absorptio kosteuspitoisuuden (yllä) ja suhteellisen kosteuden funktiona (alla).

Muut kosteusteknisen toimivuuden riskit

Rapatuilla rakenteilla suurimmat riskit liittyvät ulkopuolisen veden tunkeutumiseen rakenteen sisään. Tämän voi aiheuttaa väärin suunniteltu tai toteutettu läpivienti,

puutteellinen suojapellitys ikkunoissa tai rappauksen vaurioituminen pinnaltaan kosteutta paremmin läpäiseväksi tai kokonaan paikallisesti esimerkiksi mekaanisen vaurion tai rappauksen ikääntymisen vuoksi niin, että sadevesi voi päästä suoraan lämmöneristekerrokseen.

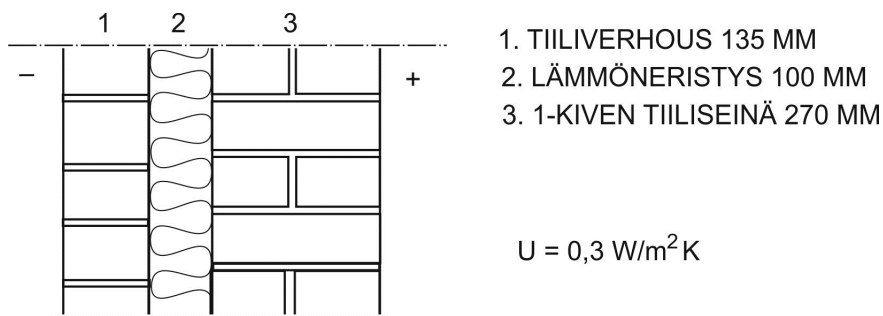
Rappauksen kunnon ja sen liitos- ja läpivientidetallien toimivuuden varmistaminen edellyttää rappauksen tarkistusta määrääjoin. Pääosin silmämääräiseen arviointiin perustuva tarkistus on ohjeistettava käyttö- ja huolto-ohjeessa. Tarkistusten tulosten perusteella voidaan rappausrakenteen heikot kohdat havaita ja korjata ennen ongelmien syntymistä.

Läpiviennit voidaan toteuttaa uudisrakentamiseen tarkoitetuilla ratkaisuilla. Läpivientiratkaisun valinta riippuu myös valitusta korjaustuotteesta. Esimerkiksi rappausuotevalmistajien esittämiä läpivientiratkaisuja on syytä noudattaa mm. vastuukysymysten selkeyttämiseksi.

5.2.2 Muuratut tiiliseinärakenteet

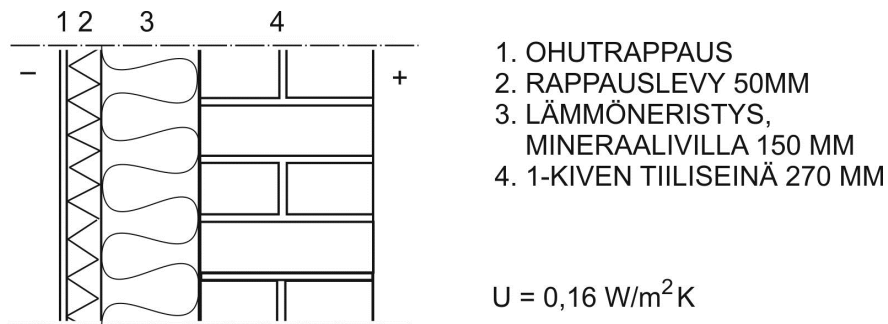
Lämmöneristetyt muuratut rakenteet

Tarkastelussa alkuperäisessä rakenteessa (kuva 27) on 270 mm tiilimuuraus sisäkuorena, 100 mm mineraalivillalämmöneristekerros, mahdollisesti tuuletusrako 30 mm ja ulkokuorena tiiliverhoilu 135 mm.



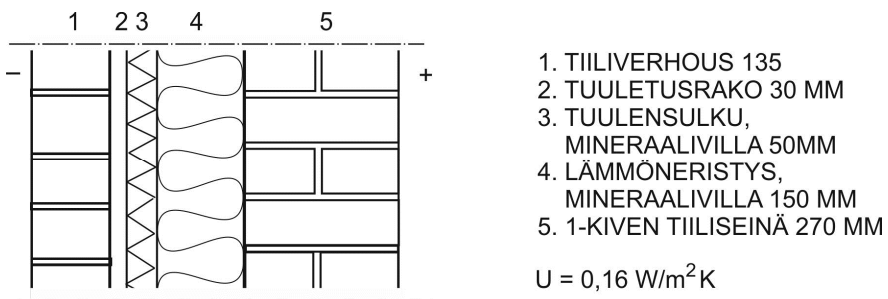
Kuva 27. Lämmöneristetty ½-kiven tiiliseinä.

Korjausrakenteena esitetään tapaus, jossa ulkokuori ja vanha lämmöneristys on poistettu ja korvattu uudella mineraalivillaaeristeellä 120 mm + 50 mm (rappausvillaa) ja pintarappauksella (kuva 28). Korjausrakenteen tarkastelu tehtiin kahdella eri pintarappausstapauksella: toisessa käytettiin yksikerroksista mineraalirappausta r2 ja toisessa kolmikerroksista rappausta r4.



Kuva 28. Tuulettumaton lisälämmöneristetty tiiliseinä, josta ulkoverhous on purettu ja korvattu ohutrappauksella.

Tuuletetussa korjausrakenteessa on 30 mm tuuletusrako ja sen ulkopuolella 85 mm tiilinen moduulikiviulkokuori (kuva 29). Ulkoverhous on alttiina viistosateelle, mutta suojaa sisäpuolista rakennetta sateelta.



Kuva 29. Tuuletettu tiiliseinä, josta vanha julkisivu on purettu ja lisälämmöneristetty rakenne on verhottu uudella tuuletetulla tiilijulkisivulla.

Taulukko 7 esittää tarkasteltujen tiiliseinien laskentatapausten merkintätavan.

Taulukko 7. Laskentatapaukset tiiliseinärakenteiden korjauksissa ja niiden tulosten merkintätapa.

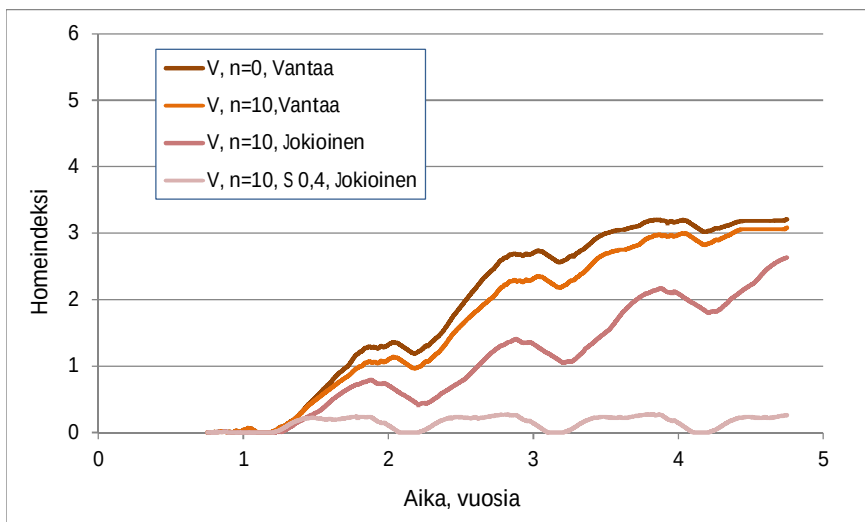
Tapaus	Lämmöneriste	Tuuletus	Muuta
V, n = 0, Vantaa	100 mm mineraalivilla (MW)	n = 0 1/h	Vanha, alkuperäinen rakenne, Vantaan sää
V, n = 10, Vantaa	100 mm mineraalivilla (MW)	n = 10 1/h	Vanha, alkuperäinen rakenne, Vantaan sää
V, n = 10, Jokioinen	100 mm mineraalivilla (MW)	n = 10 1/h	Vanha, alkuperäinen rakenne, Jokioisten sää
V, n = 10, S 0,4, Jokioinen	100 mm mineraalivilla (MW)	n = 10 1/h	Vanha, alkuperäinen rakenne, Jokioisten sää, aur.sät.absorptiok. 0,40
Kuvan 28 mukaisesti korjatut rakenteet:			
Tapaus	Lämmöneriste	Rappaus	Muuta
U, mw200_r2	200 mm MW	yksikerros mineraali	
U, mw200_r2_ini65%	200 mm MW	yksikerros mineraali	Alkukosteus 65 % RH tasapainotilassa
U, mw200_r4	200 mm MW	Kolmikerrosrappaus	
U, mw200_r4_ini65%	200 mm MW	Kolmikerrosrappaus	Alkukosteus 65 % RH tasapainotilassa
Kuvan 29 mukaisesti korjatut rakenteet:			
Tapaus	Lämmöneriste	Tuuletus	Muuta
U_n20	200 mm MW	n = 20 1/h	
U_n20_ (puu)	200 mm MW	n = 20 1/h	Oletus, että julkisivu on puuverhoiltu

Kuva 30 esittää homeindeksin kehittymisen vanhassa rakenteessa Vantaan ja Jokioisten sääoloissa tuulettamattomien ($n = 0$ 1/h) ja lievästi tuuletettujen ($n = 10$ 1/h) rakenteiden tapauksissa. Lisäksi kuvassa esitetään auringon säteilyn vaikutus homeutumiseen, kun auringon säteilyn absorptio tiilipintaan on 0,40 (vaalea pinta).

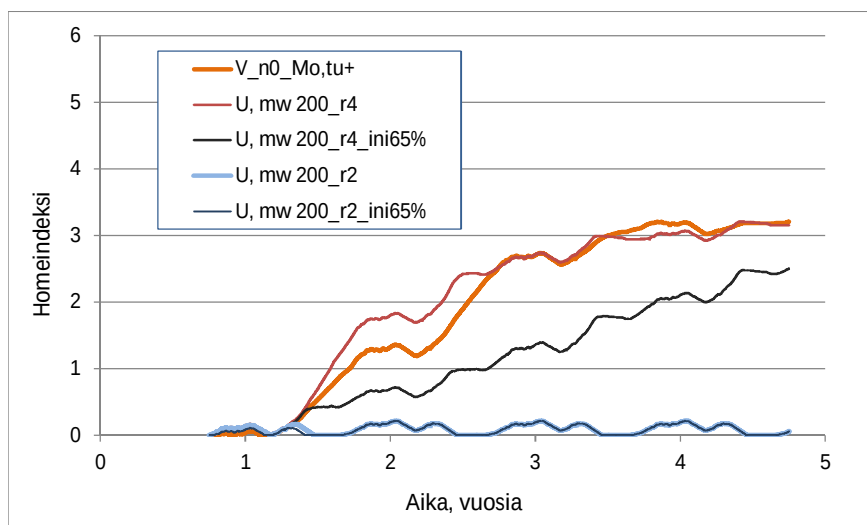
Tuuletuksen lisääminen paransi tilannetta vain hieman: homeindeksi oli $n = 0$ 1/h ja $n = 10$ 1/h -tapauksissa lähes samaa luokkaa. Jokioisten ilmasto ja lievä tuuletus johtivat pienempään homeen kasvuun kuin Vantaan sää. Jos rakenteeseen osui auringon säteily, pysyi laskennallinen homeindeksi tuuletetulla rakenteella koko tarkastelujakson ajan selkeästi turvallisella tasolla.

Kuva 31 esittää homeindeksin kehittymisen rapattujen korjausrakenteiden kriittisessä kohdassa rappauksen ja lämmöneristeen rajapinnalla Vantaan sääoloissa. Vertailukohtana on vanha, tuulettamaton rakenne. Kun käytettiin kolmikerrosrappausta (r_4 , kuva 24), sai laskennallinen homeindeksi jokseenkin samansuuruiset arvot kuin tuulettamaton vanha vertailurakenne. Jos sisäpuolisen tiilimuurauksen alkukosteus oli 65 % RH, hidastui homeindeksin kasvu hieman, mutta suunta oli sama kuin alkuperäisen rakenteen tapauksessa. Käytettäessä ohutrappausta (r_2 , kuva 31) pysyi homeindeksi koko tarkastelujakson selkeästi turvallisella tasolla.

Tiilirakenteiden tapauksessa lämmöneristeen ulkopintaan tulevan rappauksen tulee olla riittävän hyvin vesihöyryä läpäisevä, jotta tiilimuurauksesta tuleva kosteus voi kuivua rakenteesta haittaa aiheuttamatta. Tässä tapauksessa rappauksen r_2 vesihöyrynvastus $S_d = 0,25$ m varmisti riittävän kuivumiskyvyn. Kolmikerrosrappauksen r_4 vesihöyrynvastusarvo $S_d = 6$ m oli liian korkea käytettäväksi tiili-seinän korjauksen yhteydessä, vaikka betonikuoren tapauksessa se toimi hyvin.



Kuva 30. Tiilimuuratun seinärakenteen homeindeksin kehitys tuulettamattomassa ja tuulettetussa ($n = 10$ 1/h) tilanteessa Vantaan (V) ja Jokioisten (J) sääoloissa. Lisäksi tapaus, jossa auringon säteilyn absorptiokerroin pinnalle oli 0,40.



Kuva 31. Laskennallinen homeindeksi tuulettamattoman vanhan rakenteen tiiliverhouksen sisäpinnassa (Mo,tu+) ja kuvan 28 mukaisten rapattujen korjausrakenteiden lämmöneristeiden ulkopinnassa, kun sisäpuolen tiilimuurausten alkukosteus on joko 80 % RH (-) tai 65 % RH (in65%) tasapainotilaa vastaava.

Kuva 32 esittää tuulettettujen rakenteiden kriittisten kohtien homeindeksin arvot. Korjauksessa rakenteessa tuuletus oli varmistettu ja sille käytettiin arvoa $n = 20 \text{ 1/h}$. Lasketut homeindeksit olivat vanhalla ja uudella rakenteella jokseenkin samat. Mineraalivillaeristeen kylmän pinnan arvot jäivät turvalliselle tasolle, ja ilmaraon sekä tiiliverhouksen arvot saivat korkeampia arvoja. Tuulettetun ratkaisun toimivuus on tulosten perusteella yhtä turvallinen kuin vanhan tuulettetun rakenteen toiminta.

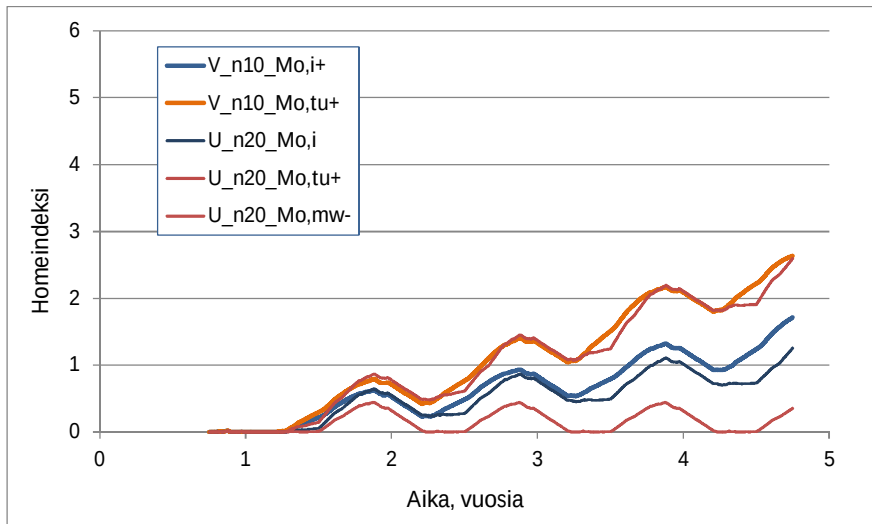
Edellä esitettyjen tarkasteluiden lisäksi tehtiin vertailulaskelma, jossa tuulettettu korjausrakenne oletettiin puujulkisivuiseksi. Tuuletusraon (30 mm) ilmanvaihtokerroin oli sama 20 1/h kuin tiiliverhotussa tapauksessa. Kuva 33 esittää lasketut homeindeksit tässä korjaustapauksessa, vertailukohtana vanha rakenne. Korjausrakenteen homehtumisherkkyys asetettiin tässä tapauksessa luokkaan herkkä, ts. puupohjaisille materiaaleille soveltuvaksi.

Puuverhouksen kosteuskapasiteetti ja kapillaarinen kosteudensiirto on tiiliverhousta pienempi, mikä on luultavasti syynä keskimäärin alempiin suhteellisen kosteuden arvoihin rakenteen tuuletusvälissä ja siihen rajoittuvissa pinnoissa. Tämä johti puuverhouksen tapauksessa tiiliverhousta alempaan laskennalliseen homeindeksiin.

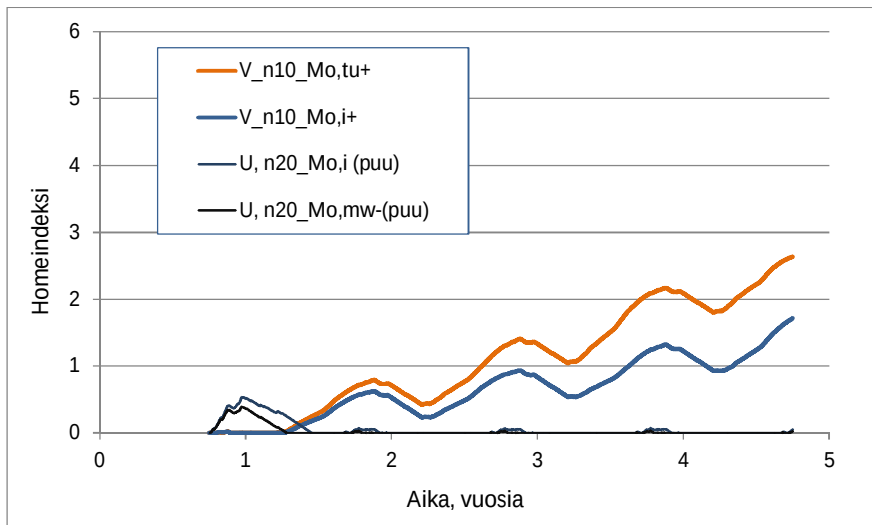
Yleensä rakenteiden varmuus homehtumista vastaan lisääntyy, kun lämmöneristeen ulkopuolisten rakenneosien materiaalit eivät ole herkkiä homehtumaan. Luvussa 3.5 käsitellään tarkemmin materiaalien homehtumisherkkyttä. Homehtumisherkkyysluokka *herkkä* vastaa tyypillisesti puupohjaisia tai paperipin-

taisia tuotteita, höylättyä kuusta ja kipsilevyä ja luokka *kohtalaisen kestävä* vastaa sementti- ja muovipohjaisia materiaaleja sekä mineraalivillatuotteita.

Tuloksen perusteella kosteusteknisesti mahdollisimman turvallinen tuuletettu julkisivuratkaisu on sellainen, jossa julkisivuverhous katkaisee tehokkaasti säärasituksen, eikä siihen sitoudu merkittäviä määriä kosteutta, joka tulisi kuivata pois tuuletuksen avulla. Toimintavarmuutta parantaa, jos tuuletusraon viereiset materiaalit ovat mahdollisimman hyvin homehtumista vastustavia, ts. niiden homehtumisherkkyysluokka on *kohtalaisen kestävä*.



Kuva 32. Laskennallisen homeindeksin vertailu vanhan (V) ja kuvan 29 mukaisen korjausrakenteen (U) tapauksissa, kun molemmat rakenteet ovat tuulettuvia. Homeindeksin arvot esitetty kohdille tuuletusrako (Mo,i), tuuletusraon sisäpinta (Mo,i+), uloimman tiilen sisäpinta (tu+) ja mineraalivillan ulkopinta (Mo,mw-).



Kuva 33. Laskennallisen homeindeksin vertailu vanhan (V) ja puujulkisivuisen korjausrakenteen (puu) tapauksissa, kun molemmat rakenteet ovat tuulettuvia. Homeindeksin arvot on esitetty kohdille tuuletusrako (Mo,i), tuuletusraon sisäpinta (Mo,i+), uloimman tiilen sisäpinta (tu+) ja mineraalivillan ulkopinta (Mo,mw-).

Muurattu 1½ tiilen ulkoseinä

Tässä rakenteessa sisäkuori on 1½ tiilen paksuinen ja sen ulkopuolinen eristekerros on tyypillisesti ohut. Rakenteen korjaustapana esitetään vanhan ulkopinnan (rappauksen) ja lämmöneristeen poistoa ja sen korvaamista 70 mm mineraalivillaeistyksellä, joka rapataan ulkopinnastaan.

Kosteusteknisen toimivuuden kannalta rakenne on jokseenkin identtinen edellä esitetyn yhden kiven (270 mm tiilimuuraus) seinärakenteen kanssa. Tämän korjauksena tarkasteltiin tapausta, jossa oli uutta mineraalivillaeistettä 120 mm + 50 mm ja pintarappaus. Tämä korjaustapa todettiin kosteusteknisesti turvallisesti ja toimivaksi.

Koska 1,5 kiven tiiliseinän vesihöyrynsiirtovastus on suurempi kuin yhden kiven, on sisäilman aiheuttama kosteuskuormitus rakenteeseen hieman pienempi kuin ohuemmalla tiilirakenteella. Korjauksena esitetty 70 mm lämmöneristekerros muuttaa rakenteen lämpötilakenttää vähemmän kuin 170 mm eriste. Lämpöhäviöt korjatun rakenteen läpi ovat edelleen melko korkeat, mikä edistää jonkin verran kosteuden kuivumista rakenteesta. Siten esitetty ulkopuolelta lisälämmöneristetty ja rapattu korjausrakenne on kosteusteknisesti ainakin yhtä turvallinen kuin yhden kiven tiiliseinän korjausrakenne, eikä sen toimivuuden tarkastelun laskentatuloksia ole syytä esittää erikseen.

Korjausrakenteena 1,5 kiven tiiliseinälle voitaisiin käyttää samaa lämmöneristepaksuutta (120 mm + 50 mm) ulkopinnastaan rapattuna kuin ohuemman rakenteen

tapauksessa. Laskennan perusteella kosteustekninen toimivuus on jokseenkin samanlainen ohuemman rakenteen kanssa.

Tiilikerroksen kosteuskapasiteetti on suuri, joten sen korkea alkukosteustaso voi lisätä puutteellisen kosteusteknisen toimivuuden riskiä. Tässä rakennetapauksessa on erityisesti varmistettava, että paksun tiilikerroksen alkukosteus ennen korjausta on riittävän alhainen, alle 80 % RH tasapainotilaa vastaava. Tämä taso voi ylittyä, jos rakenne on päässyt kastumaan käytön tai korjauksen aikana.

Muuten tähän rapattuun korjausrakenteeseen liittyvät riskit ovat samoja kuin ohuemman tiiliseinän rapatulla korjausrakenteella.

Muut kosteusteknisen toimivuuden riskit ja toimivuuden edellytykset tiilirakenteilla

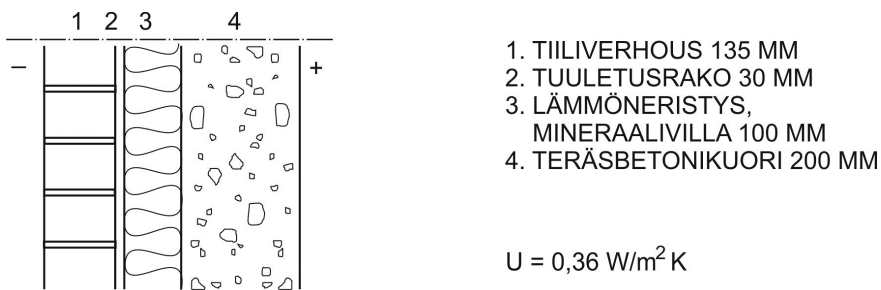
Rapatuilla rakenteilla riskit ja niihin liittyvät tarkastus- ja huoltotoimet ovat samat kuin edellä betonisandwichrakenteen rapatuissa korjaustapauksissa. Sisäilmasta rakenteeseen tulevat kosteuskuormat ovat korkeammat betonisandwichrakenteilla, mikä on otettava huomioon korjausratkaisuissa.

Tiilijulkisivun uusiminen edellyttää ilmastoon sopivien, pakkasta ja jäätymis- ja sulamissyklejä riittävästi kestävien tuotteiden käyttöä.

Tuuletettujen rakenteiden tuuletuksen on oltava koko rakenteen kattavaa siten, ettei rakenteeseen jää tuulettamattomia katvealueita.

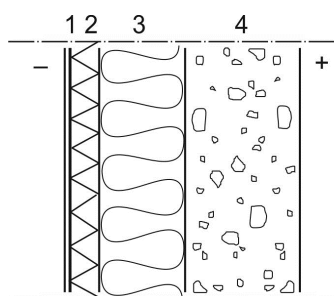
5.2.3 Betoni- tiiliseinärakenteet

Rakenteessa on betoninen 120 mm sisäkuori, 100 mm mineraalivillaaeristys ja (lievästi) tuuletettu tiiliverhous, kuva 34. Tämä korjataan poistamalla tiiliverhous ja eristys, asentamalla uusi lämmöneristekerros (110 mm mineraalivillaa ja 50 mm rappausvillaa) ja tekemällä pintarappaus. Rakenteen U-arvo puolittuu, kun vanha eristemateriaali korvataan uudella, jonka lämmönjohtavuus on olennaisesti vanhaa pienempi ja eristepaksuutta kasvatetaan.



Kuva 34. Lievästi tuuletettu betoni-tiiliseinärakenne.

Osittain tuuletettu rakenne muutetaan korjauksessa tuulettamattomaksi rakenteeksi (kuva 35), mikä periaatteessa kasvattaa kosteusteknisen toimivuuden riskejä.



1. OHUTRAPPAUS
2. RAPPAUSLEVY 50 MM
3. LÄMMÖNERISTYS,
MINERAALIVILLA 150 MM
4. TERÄSBETONIKUORI 200 MM

$$U = 0,19 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

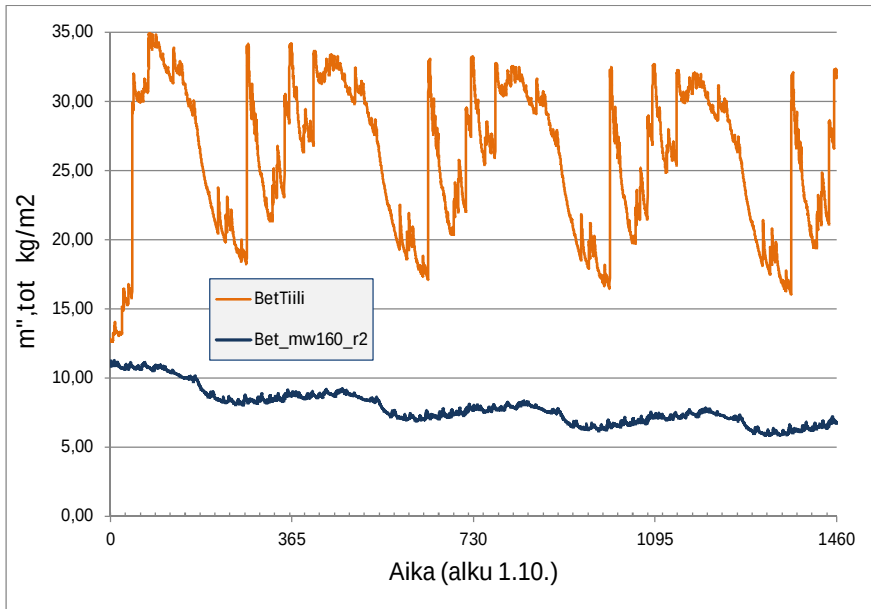
Kuva 35. Tuulettumaton lisälämmöneristetty rakenne, josta vanha julkisivu on purettu ja korvattu rappauksella.

Korjausrakenteen tarkastelu tehtiin kahdella eri pintarappaustapauksella: toisessa käytettiin yksikerroksista mineraalirappausta r_2 ja toisessa kolmikerrosrappausta r_4 . Vanhan rakenteen tuuletusvälin ilmanvaihtokertoimeksi asetettiin $n = 10 \text{ 1/h}$. Laskenta tehtiin Jokioisten säätiedoilla ja materiaalikerrokset oletettiin homeutumista vastustaviksi (medium resistant). Taulukko 8 esittää tarkastellut laskentatapaukset.

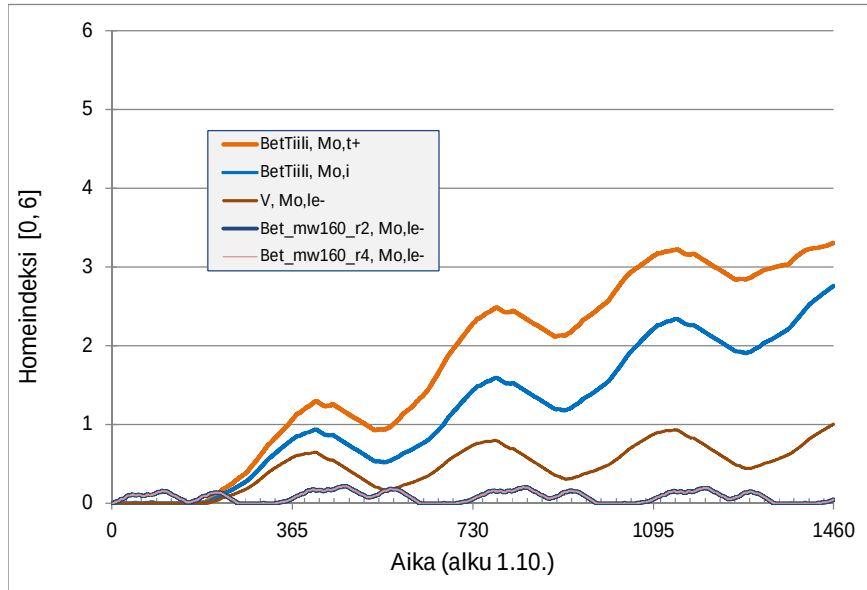
Taulukko 8. Laskentatapaukset betoni-tiiliseinärakenteiden korjauksissa.

Tapaus	Lämmöneriste	Ulkopinta	Muuta
BetTiili	100 mm mineraalivilla (MW)	Tiili	Vanha, alkuperäinen rakenne
Bet_mw160_r2	160 mm mineraalivilla (MW)	Rappaus, mineraali	Kuvan 35 mukainen korjausrakenne
Bet_mw160_r4	160 mm mineraalivilla (MW)	Kolmikerrosrappaus	Kuvan 35 mukainen korjausrakenne

Kuva 36 esittää vanhan ja uuden rakenteen kosteus määrän muutoksen laskentajakson aikana ja kuva 37 homeindeksin laskennalliset arvot rakenteiden kriittisissä kohdissa. Korjattujen rakenteiden kokonaiskosteus oli aleneva toisin kuin alkuperäisen rakenteen, ja rapattujen korjausrakenteiden kriittisen kohdan homeindeksit jäivät maksimissaan tasolle 0,2 laskentajakson aikana, kun vanhalla rakenteella tuuletusraon homeindeksi lähestyi tasoa 3 ja lämmöneristeen homeindeksi saavutti tason 1. Korjausrakenne on vanhaa paremmin toimiva ja laskennan perusteella kosteusteknisesti turvallinen.



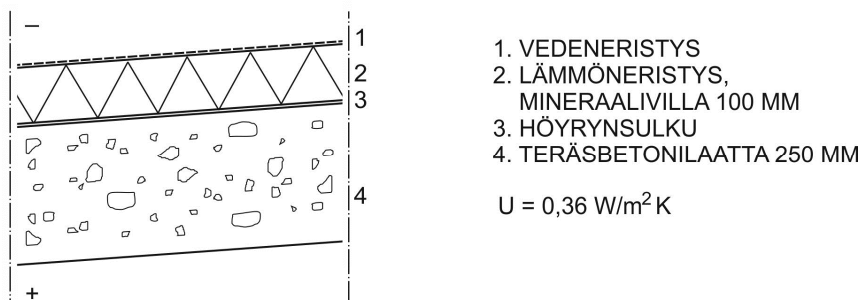
Kuva 36. Kokonaiskosteuden muutos alkuperäisellä rakenteella (BetTiili) ja korjausrakenteella (Bet_mw160_r2) tarkastelujakson aikana.



Kuva 37. Lasketut homeindeksit vanhan rakenteen ja korjattujen rakenteiden kriittisissä kohdissa. Homeindeksin arvot on esitetty kohdille tuuletusrako (Mo,i), tiilen sisäpinta (t+) ja lämmöneristeen ulkopinta (Mo,le-).

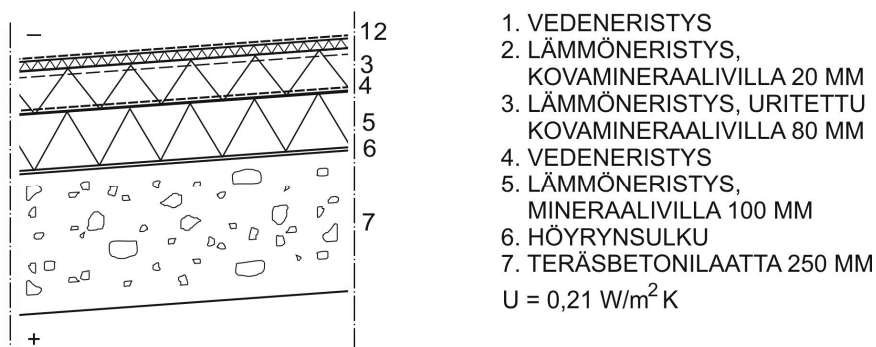
5.2.4 Loiva katto

Katto (kuva 38) koostuu 250 mm betonilaatasta, sen päällä olevasta höyrynsulusta, 120 mm kovasta mineraalivillaeristyksestä ja vesikatteesta. Katto on tuulettamaton.



Kuva 38. Tuulettumaton loiva katto.

Korjausrakenteena on lisälämmöneristys vanhan katteen päälle, vanhan katteen poisto ja lisälämmöneristys tai lisälämmöneristys uravilloilla, jotka tuuletetaan ulkoilmaan. Katteena on samankaltainen tiivis bitumikate kuin vanhassa rakenteessa. (Kuva 39.)



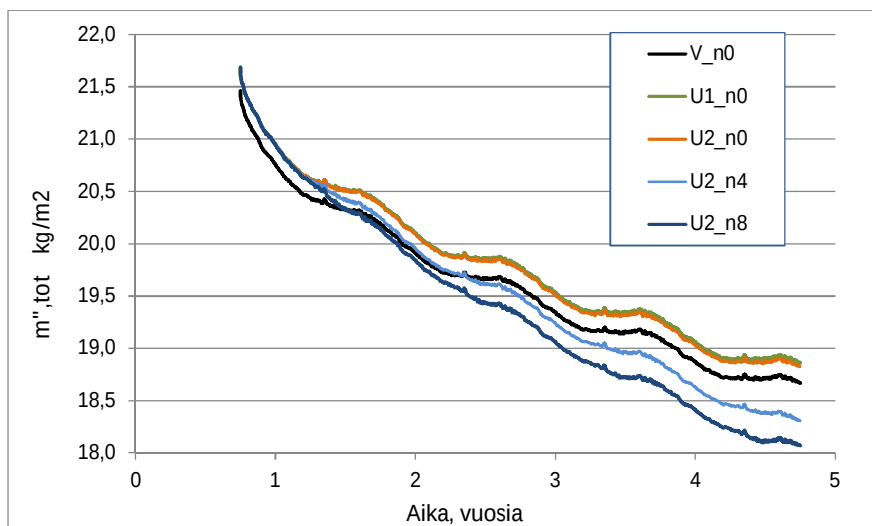
Kuva 39. Lisälämmöneristetty, tuuletusurien kautta tuuletettu loiva katto.

Uritetun lämmöneristeen kautta tapahtuva tuuletus riippuu mm. virtausreitien pituudesta, vapaasta virtausaukkojen pinta-alasta, muista virtausvastuksista virtausreitillä ja painesuhteista virtausaukkojen kohdissa. Urien oletettiin olevan 15 mm x 20 mm kokoiset 120 mm jaolla, jolloin urituksen vapaa virtausala vastaa 2,5 mm korkuista yhtenäistä rakoa eristeessä. Urituksen ilmanvaihdolle käytettiin kahta arvoa: 4 1/h ja 8 1/h. Kun kattolapteen tuuletusvälin pituus on 10 m, edellyttää 8-kertainen ilmanvaihto noin 2 cm/s virtausnopeutta urissa, mikä on useissa tapauksissa helposti saavutettavissa. Taulukko 9 esittää tarkastellut laskentatapaukset.

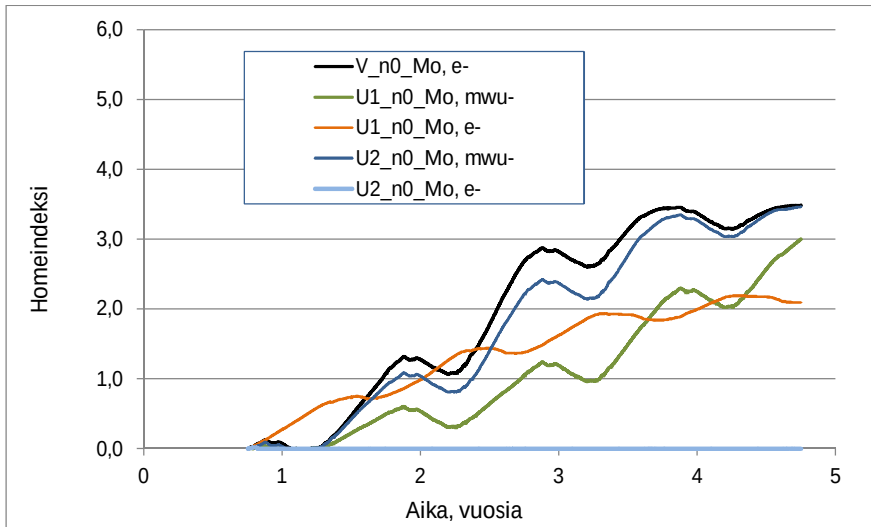
Taulukko 9. Laskentatapaukset betoni-tiiliseinärakenteiden korjauksissa.

Tapaus	Lämmöneriste	Tuuletus	Ulkopinta	Muuta
V_n0	100 mm mineraalivilla (MW)	n = 0	Veden- eristyskate	Vanha, alkuperäinen rakenne
U1_n0	100 mm + 80 mm uritettu + 20 mm (MW)	n = 0	Veden- eristyskate	Kuvan 39 mukainen korjausrakenne. Vanha vesikate jätetty rakenteen sisään.
U2_n0	100 mm + 80 mm uritettu + 20 mm (MW)	n = 0	Veden- eristyskate	Kuvan 39 mukainen korjausrakenne, mutta vanha vesikate poistettu.
U2_n4	100 mm + 80 mm uritettu + 20 mm (MW)	n = 4	Veden- eristyskate	Kuvan 39 mukainen korjausrakenne, mutta vanha vesikate poistettu.
U2_n8	100 mm + 80 mm uritettu + 20 mm (MW)	n = 8	Veden- eristyskate	Kuvan 39 mukainen korjausrakenne, mutta vanha vesikate poistettu.

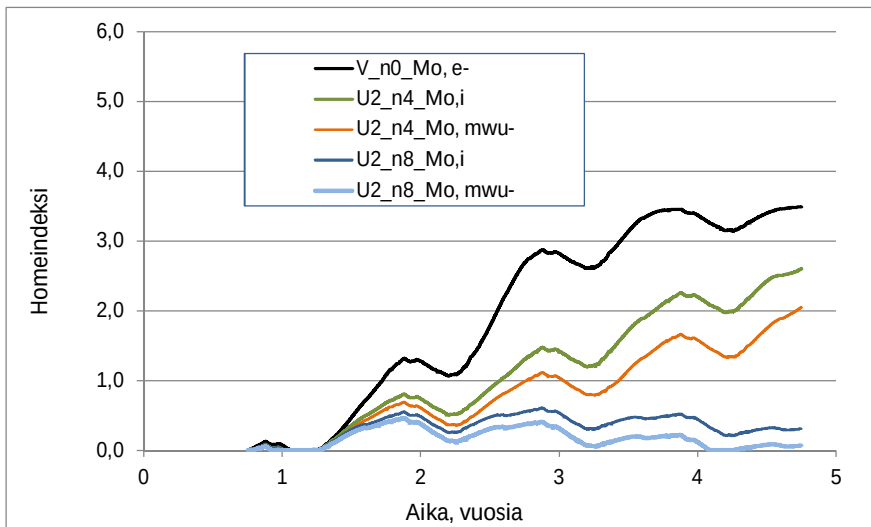
Kuva 40 esittää eri tapauksien kosteus määrän muutoksen rakenneleikkauksessa laskentajakson aikana. Kuva 41 esittää tuulettamattomien rakenteiden kriittisten kohtien laskennallisen homeindeksin, kun materiaalit on asetettu homeluokkaan *kohtalaisen kestävä*. Vastaavasti kuva 42 esittää lasketut kriittisten kohtien homeindeksit tuuletettujen kattorakenteiden tapauksissa.



Kuva 40. Rakenneleikkauksen kokonaiskosteudet vanhalla ja korjatuilla rakenteilla. Tapauksessa U1 vanha vesikate on jätetty rakenteeseen, tapauksessa U2 vanha vesikate on poistettu ja katto on tuuletettu villan urien kautta.



Kuva 41. Laskennallinen homeen kasvu vanhan (e) tai uuden (mwu) lämmöneristeen ulkopinnoilla vanhan (V) ja korjatun uuden rakenteen (U1, vanha vesikate jäljellä; U2, vanha vesikate poistettu) tapauksissa, kun rakenne ei ole tuulettuva.



Kuva 42. Laskennallinen homeen kasvu vanhan (e) tai uuden (mwu) lämmöneristeen ulkopinnoilla ja tuuletusilmatilassa i. Vanhan (V) ja korjatun, urien kautta tuuletetun rakenteen (U2, vanha vesikate poistettu) tapauksissa. Tuuletusurien ilmanvaihtokerroin on 4 1/h tai 8 1/h.

Tulosten perusteella tuulettamattomissa korjausrakenteissa homeen kasvuriski on samaa luokkaa kuin alkuperäisessä rakenteessa. Toimivuuden kannalta kriittinen kohta riippuu korjauksen tavasta. Jos vanha vesikate poistetaan, on homeen kasvuriski uuden katteen alapuolella jokseenkin sama kuin vanhassa rakenteessa. Jos rakenteessa säilytetään vanha vesikate, pienenee riski hieman alkuperäiseen verrattuna. Tällöin kriittisiä kohtia ovat molempien bitumikatteiden alapinnat. Olenainen riski aiheutuu vanhassa rakenteessa mahdollisesti olevasta ylimääräisestä kosteudesta, jonka kuivuminen hidastuu entisestään. Kun vanhan lämmöneristeen lämpötila on lisälämmöneristetyssä rakenteessa aiempaa korkeampi, kasvaa myös ylimääräisen kosteuden aiheuttama homeen kasvuriski.

Tuuletetussa tapauksissa vanha vesikate on poistettava, jotta tuuletuksen tuoma kuivumiskyky voidaan hyödyntää alkuperäisen lämmöneristysten kuivattamiseksi. Ilmanvaihtokerroin noin 8 tai enemmän riitti tarkastelutilanteessa pitämään kriittisten kohtien homeindeksin alle tason 1, ts. riskittömällä tasolla. Mikä tahansa tuuletusilmanvaihto parantaa rakenteen toimintaa, kunhan sen toteutus ei lisää veden tunkeutumisriskiä rakenteeseen. Tavoitetaso $n = 8 \text{ l/h}$ on yleensä helposti toteutettavissa.

Koska pienikin tuuletus parantaa rakenteen kosteusteknistä toimintavarmuutta, on korjausrakenne suositeltavaa tehdä tuuletuksi esimerkiksi uravilloituksen avulla. Tällöin on varmistettava, että villaurien päät ovat yhteydessä ulkoilmaan. Tuuletusaukot on tehtävä siten, että viistosade tai lumi ei pääse tunkeutumaan rakenteeseen tätä kautta tuulen painevaikutusten takia.

Muut kosteusteknisen toimivuuden riskit ja toimivuuden edellytykset

Liika alkukosteus tulee kuivata vanhasta rakenteesta ennen korjausta ja mahdollisesti vaurioituneet lämmöneristyskerrokset on uusittava. Jos vanhan rakenteen kosteustaso voi olla liian korkea, on vanha vesikate syytä poistaa ennen uuden lisälämmöneristeen ja vesikatteen asentamista.

Loivien kattojen tuulettamiseen on perinteisesti käytetty alipainetuulettimia. Kosteaa rakenteen kuivuminen pelkkien alipainetuulettimien kautta on hidasta ja voi kestää jopa vuosikymmeniä. 1980-luvulla otettiin käyttöön uritetut villarakenteet, joiden tarkoituksena on tehostaa katon tuulettumista tuuletusurien kautta.

Uritetun villarakenteen kuivuminen perustuu tuuletusilman lämpenemiseen tuuletusurassa, jolloin sen kyky kuljettaa kosteutta kasvaa. Auringon lämmittämässä katossa ilman lämpötila urassa voi olla yli $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Tuuletusilma pystyy aurinkoisen kesäpäivän aikana kuivattamaan kosteutta katosta $0,5 \text{ litraa}$ yhden metrin levyiseltä kaistalta keskimääräisellä tuuletusilmavirralla.

Kuivumispotentialiaali riippuu tuuletusilmamääristä [10]. Urasta mitatut tuuletusilmavirran nopeudet ovat olleet $0,01\text{--}0,1 \text{ m/s}$. Tuuletus kasvattaa rakenteen lämpöhäviötä tuulettamattomaan rakenteeseen verrattuna lähinnä lähellä räystästä olevilla alueilla. Tuuletusjärjestelyjen (uran pinta-ala alle $0,001 \text{ m}^2$) voidaan arvioida lisäävän katon kokonaislämpöhäviötä $0\text{--}5 \%$ katon eristyspaksuudesta riippuen. Tuulettaminen edellyttää hyvää eristystyötä, jotta eristysvirheet eivät vaikuta rakenteen lämpötekniiseen toimivuuteen.

Kattorakenteiden käytön aikainen kosteusrasitus riippuu ilmastosta, rakennuksen sijainnista, korkeudesta, muodosta sekä rakennevalinnoista, rakennuksen käyttötarkoituksesta ja sisäilmastosta. Kosteus kulkeutuu sisäilmasta rakenteisiin vesihöyryn osapaine-eron aiheuttamana vesihöyryn diffuusiona tai ilmapvirtausten mukana. Kosteaa sisäilma voi virrata kattorakenteeseen sisäpuolisen ylipaineen vaikutuksesta.

Koneellinen poistoilmanvaihto ei yksinään riitä varmistamaan rakennuksen kaikkien osien alipainetta. Paineoloihin vaikuttavat rakennusvaipan ilmatiiviys ja vuotoreittien sijainti, tilan korkeus ja lämpötilaeron aiheuttama noste sekä tuulen painevaikutukset. Esimerkiksi hataran rakennuksen ylimmissä kerroksissa voi pakkaskaudella olla sisäilman ylipainetta, mikä aiheuttaa ilmavuotoa rakenteisiin päin. Käytännössä tilapäistä ja paikallista sisäilman ylipaineisuutta esiintyy lähes poikkeuksetta kaikissa rakennuksissa, mutta tyypillisesti vasta pitkään (viikkoja) vallitseva ylipaine aiheuttaa olennaisen riskin rakenteille. Riski riippuu mm. ilmanvuotoreittien sijainnista ja sisäilman kosteuskuormista.

Loiva, tuulettamaton kattorakenne voi toimia siten, että se kostuu sisäilman kosteuden vaikutuksesta talvella ja kuivuu sisäilmaan kesällä auringon lämmön vaikutuksesta. Kosteus ei silloin välttämättä aiheuta välitöntä kosteusvauriota, joka ilmenisi esimerkiksi vuotoina sisälle.

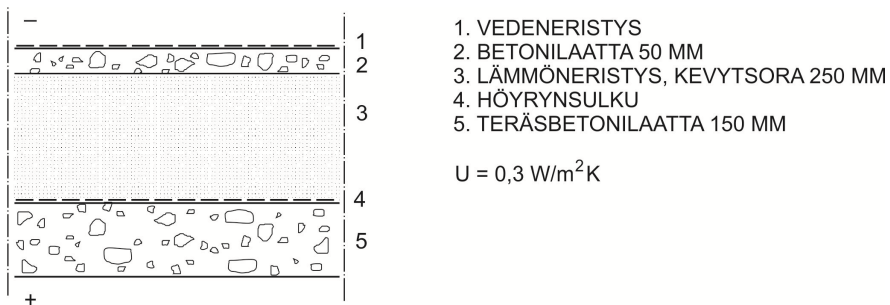
Erillisen höyrynsulkukerroksen (samalla ilmansulku) käyttö kermikatteisessa rakenteessa on suositeltava rakenteiden pitkäaikaisen kestävyys turvaamiseksi. Höyrynsulun asentaminen edellyttää suurta huolellisuutta, jotta höyrynsulun jatko-saumata liittymisen katon läpivienteihin saadaan tiiviiksi.

Lämmöneristeet kiinnitetään kantavaan rakenteeseen yleensä pistemäisesti kiinnikkeillä. Siksi höyrynsulkumateriaalin tulee olla kestävä, jotta se ei repeile kiinnikeasennusten yhteydessä. Kun katon höyryn- ja ilmansulkukerros on kunnollisesti toimiva, katto voidaan tuulettaa esimerkiksi uritetun lämmöneristyskerroksen avulla. Tuuletus kuivattaa rakenteeseen höyryn- ja ilmansulun vähäisten puutteiden johdosta pääsevän kosteuden.

Kermikatteen korjauksen suunnittelussa voidaan käyttää apuna tuotevalmistajien suosittelemia rakenneperiaatteita ja detaljiratkaisuja. Suunnittelija kuitenkin aina päättää, mitä ratkaisuja kohteessa voidaan käyttää.

5.2.5 Kevytsoraeristeinen katto

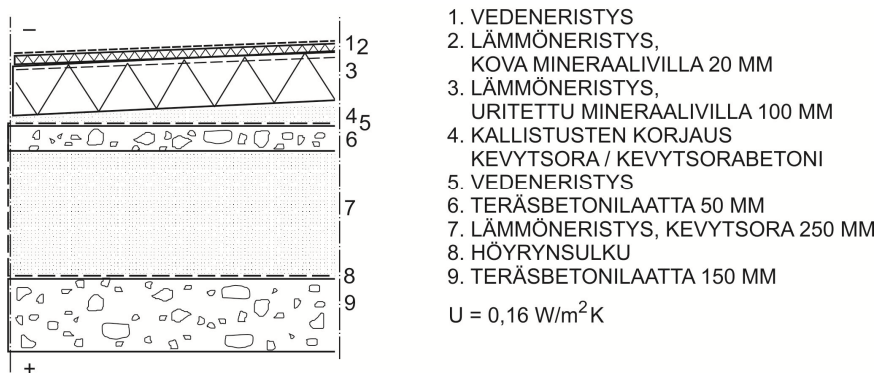
Kevytsoralla lämmöneristetyin loivan katon (kuva 43) toimivuus perustuu lämmöneristyskerroksen tuuletukseen. Tuuletusilma virtaa kevytsorakerroksesta hitaasti, jolloin se lämmitessään pystyy sitomaan kosteutta lämmöneristyskerroksesta ja kuljettamaan sen ulos rakenteesta. Kevytsorakerrokseen asennetut ilmanvaihtokanavat tai muut asennukset ovat rakenteen toimivuuden riski. Ne voivat pienentää paikallisesti rakenteen tuulettumista ja samalla vaikuttaa rakenteen kuivana pysymiseen.



Kuva 43. Kevytsoralla lämmöneristetty loiva katto.

Mikäli kevytsorakatto on kastunut katteen vesivuotojen vaikutuksesta, on rakenne korjattava vaihtamalla lämmöneristys. Kastunut kevytsorakerros pystyy pidättämään vettä, mikä hidastaa merkittävästi tuuletukseen perustuvaa kuivumista. Kuiva rakenne voidaan lisälämmöneristää vedeneristyksen päälle, kuva 44.

Mikäli rakenteessa on kosteusmittausten perusteella pieniä määriä kosteutta, lisälämmöneristäminen kohottaa alkuperäisen rakenteen lämpötiloja talvella ja tehostaa kuivumista. Kevytsorakatossa on usein ilmanvaihtokanavia ja muita talotekniikan asennuksia, jotka vaikuttavat myös ilman liikkeeseen lämmöneristyskerroksessa. Kuivumismahdollisuuksien varmistaminen on siksi tärkeä osa korjauksen suunnittelua.



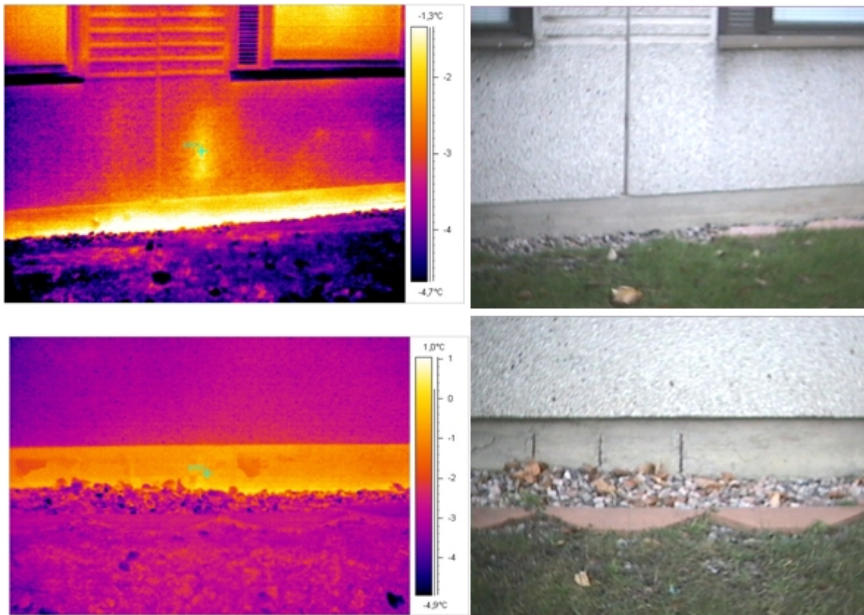
Kuva 44. Lisälämmöneristetty kevytsorakatto. Lisälämmöneristämisen yhteydessä sisäpuolisella vedenpoistolla varustetun katon kallistuksia voidaan parantaa vedenpoiston tehostamiseksi.

5.2.6 Räystä- ja perustusleikkaukset

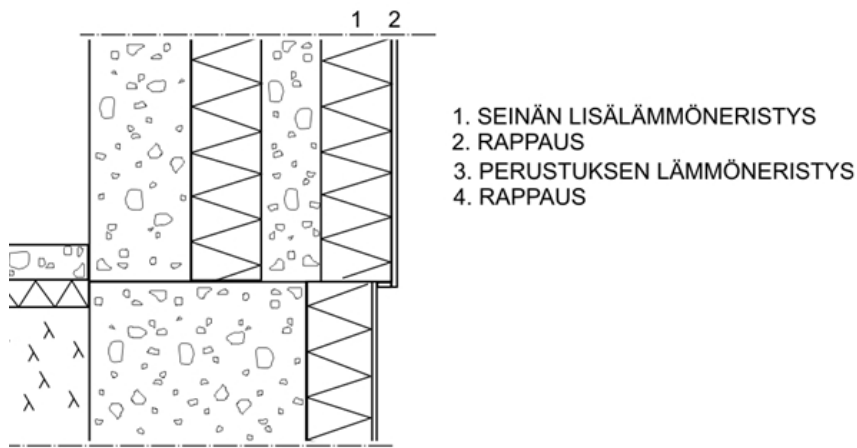
Rakennusosien ja detaljien liitosratkaisut muuttuvat lisälämmöneristämisen yhteydessä. Suunnittelijan tulee suunnitella tapauskohtaisesti rakennusosien ja detaljien

liitosratkaisut. Tässä voidaan käyttää apuna materiaali- ja tuotevalmistajien antamia suosituksia ja ohjeita. Tämä koskee erityisesti rapattuja julkisivuja ja loivan katon vedeneristyksen toteuttamista.

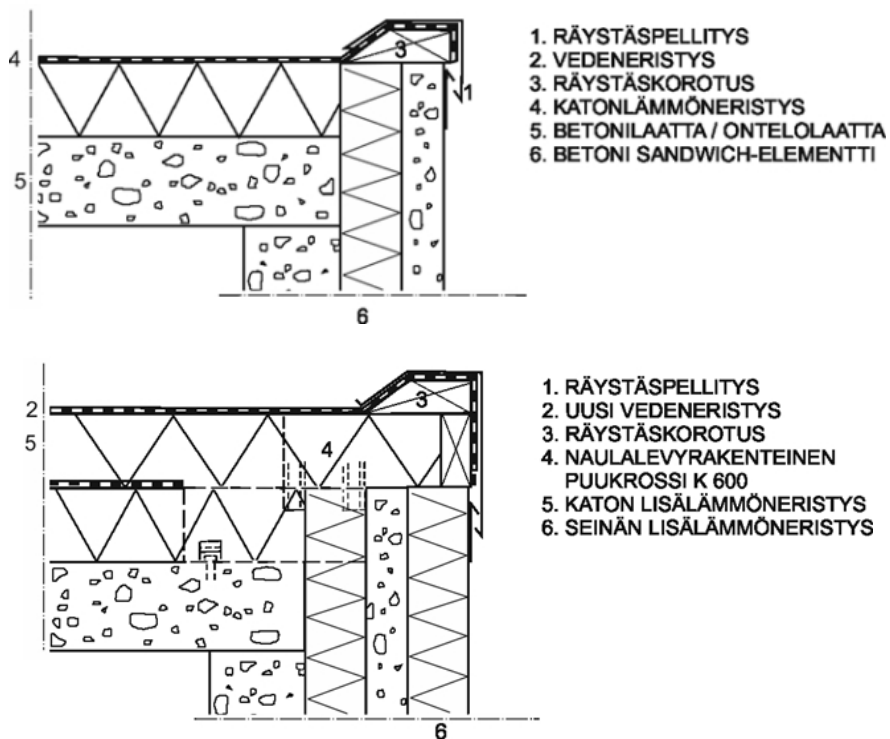
Vanhan betonirakennuskannan perustuksen ja ulkoseinän liitoskohdassa voi olla huomattavia kylmäsiltoja, kuva 45. Siksi ulkoseinien lisälämmöneristämisen yhteydessä kannattaa harkita myös peruutusten lisälämmöneristämistä, vaikka maanpäällisessä sokkelirakenteessa ei olisikaan vaurioita. Kuvissa 45–47 on esimerkkejä räystäs- ja perustusleikkausten rakentamisesta lisälämmöneristyksen yhteydessä.



Kuva 45. 1970-luvun kerrostalon perustus on vaurioitunut ja sen betoniraudoitteet ovat paikoin paljastuneet. Ulkoseinän lisälämmöneristämisen yhteydessä myös perustusrakenne kannattaa lisälämmöneristää, koska rakenne on joka tapauksessa korjattava.



Kuva 46. Lisälämmöneristetyin ulkoseinän ja perustuksen liitosratkaisu. Tämä on periaatepiirros ja rakenteet on suunniteltava aina kohdekohtaisesti.



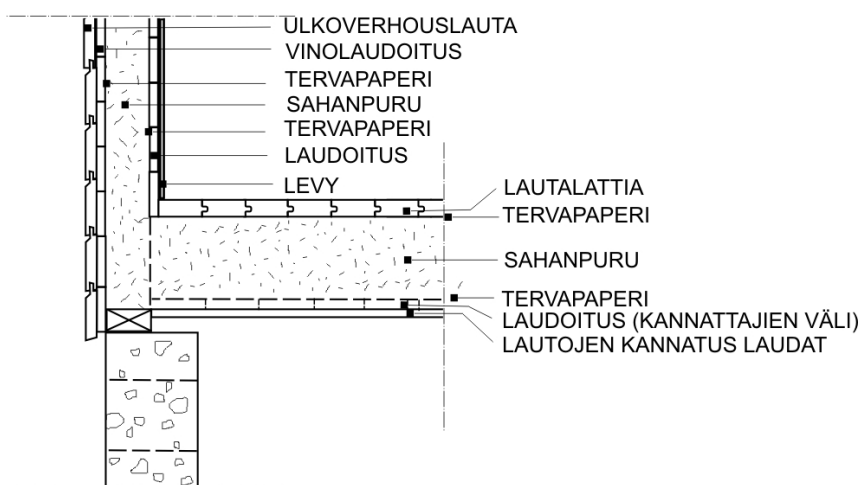
Kuva 47. Loivan katon räystäsratkaisu (yläkuva) ja lisälämmöneristämisen yhteydessä tehtävä lisärakenne. Tämä on periaatepiirros ja rakenteet on suunniteltava aina kohdekohtaisesti.

5.3 Pientalojen periaaterakenteiden lisälämmöneristysratkaisut

5.3.1 Purueristetyin seinän energiatehokkuuden parantaminen

Vanha sahanpurueristeinen seinärakenne on tyypillisesti tuulettamaton, ja sen ulkopinnassa on tervapaperi, vinolaudoitus ja julkisivulaudoitus, kuva 48. Rakenteet ovat kosteusteknisesti yleensä varsin toimivia.

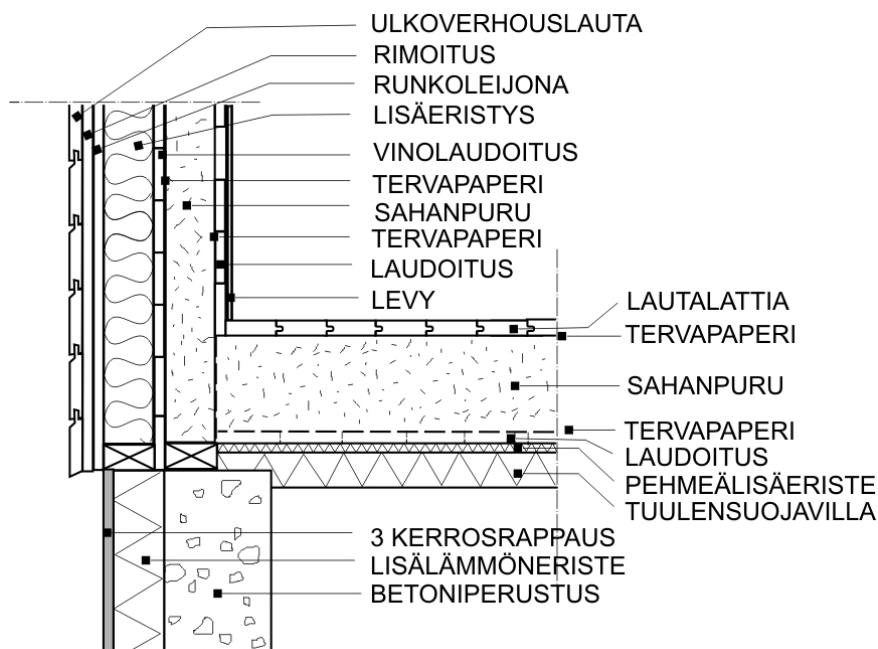
40- 50-LUVUN PUUTALO ALKUPERÄINEN RAKENNE



Kuva 48. Pientalon purueristeinen ulkoseinä ja ryömintätällainen alapohja.

Vanhaa sahanpuruseinää ei tule korjata ulkopuolen tuulettamattomalla eristerapauksella. Ylimääräiset kosteuskuormat saattavat tällaisessa tapauksessa aiheuttaa kosteuskertymiä lämmöneristeeseen, mikä voi helposti johtaa homeen kasvuun ja mahdolliseen puuosien lahoon. Hallitsemattomat kosteusvirtaukset vanhan sisäpuolisen rakenteen kautta ovat ilmeinen riski, koska rakenteen riittävää höyry- ja ilmatiiviyttä ei saada varmistettua tavanomaisessa korjauksessa. Tuulettamaton korjausrakenne lisäksi tässä tapauksessa olennaisesti kosteusriskiä.

Sahanpurueristeisen seinärakenteen suositeltuina korjaustapoina on tässä esitetty kaksi tuuletettua rakennetta: Toisessa asennetaan koolaus ja 50 mm mineraalivilllaeristys vanhan rakenteen ulkopuolelle, tuulensuojaksi asennetaan huokoinen kuitulevy 25 mm ja tämän ulkopuolella 23 mm tuuletusväli ja ulkoverhouslaudoitus. Toisessa tapauksessa rakenteen sahanpurueristys vaihdetaan ulkoa päin mineraalivillallaan ja lisätään 25 mm huokoinen kuitulevy tuulensuojaksi. Tämän ulkopuolelle tulee 23 mm tuuletusväli ja ulkoverhouslaudoitus. Molemmissa tapauksissa uudesta rakenteesta tulee tuulettuva (kuva 49).



Kuva 49. Pientalon purueristeisen seinän ja alapohjan lisälämmöneristäminen. Tämä on periaatepiirros ja rakenteet on suunniteltava aina kohdekohtaisesti.

Laskennan perustapauksen oletuksena on, että rakenteen sisäverhouksena on kipsilevy, verhouslaudoitus ja tervapaperi. Sisä- ja ulkopuolinen tervapaperi oletettiin samoiksi ja vesihöyrynvastukseltaan suhteellisen pieneksi ($S_d = 0,41\text{--}0,12\text{ m}$, kun RH on 0–100 %).

On mahdollista, että sahanpuru on vanhassa rakenteessa painunut niin, ettei sitä ole joka kohdassa rakennetta. Tämä vaikuttaa hieman uuden rakenteen sisäpuolen kosteudensiirtovastukseen, mutta suurin merkitys on rajapinnan lämpötilakentän muutoksella. Alkuperäistä heikommin sisäpuolelta eristetty rakenne johtaa kriittisen rajapinnan lämpötilatason kasvuun, joten tämän pinnan kosteusriski pienenee alkuperäiseen rakenteeseen verrattuna. Lisäksi ulkopuolinen lämmöneristys tasaa tällaisen eristämättömän kohdan kylmäsilta vaikutuksia ja pienentää sisäpinnan kondenssiriskiä.

Suurin riski liittyy sisäpinnan vesihöyryn läpäisyominaisuuksiin. Alkuperäisessä rakenteessa sisäpuolen laudoitus muodostaa merkittävän vastuksen vesihöyryn diffuusiolle. Tämän perustapauksen lisäksi tehtiin laskennallinen tarkastelu tapaukselle, jossa sisemmän tervapaperin sisäpuolella on vain maalattu kipsilevy, mutta purukerros vastaa alkuperäistä. Tällöin sisäilman aiheuttama kosteuskuormitus rakenteeseen kasvaa perustapaukseen verrattuna ja vanhan rakenteen ulkopinnan lämpötila on mahdollisimman alhainen, ts. se edistää kosteuden mahdollista kerääntymistä rakenteeseen.

Laskennassa rakennuksen korkeus oli pientaloa vastaava, alle 10 m. Ulkoilmastona käytettiin Jokioisten 2004 ilmastoa ja seinä oli suunnattu voimakkaimman viistosateen suuntaan lounaaseen. Tuuletetuissa tapauksissa tuuletusvälin ilmanvaihtokertoimeksi asetettiin $n = 20$ 1/h. **Taulukko 10** esittää tarkastellut laskentatapaukset.

Taulukko 10. Laskentatapaukset betoni-tiiliseinärakenteiden korjauksissa.

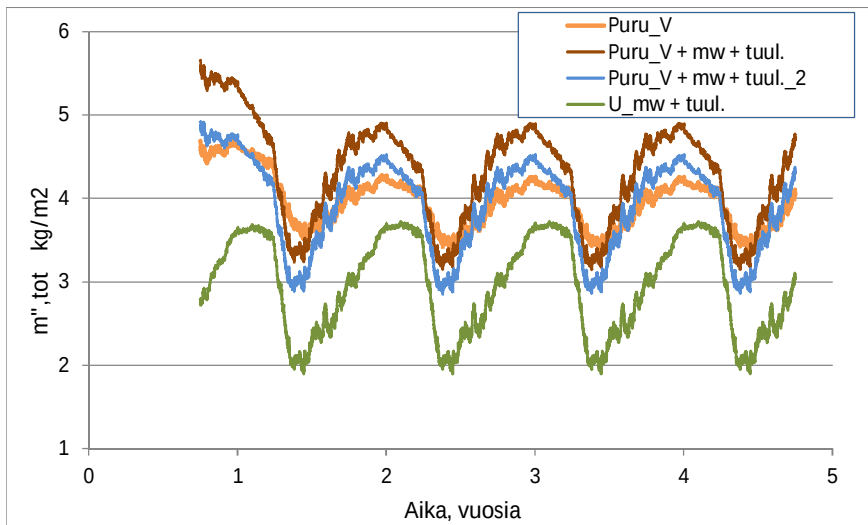
Tapaus	Lämmöneriste	Tuuletus	Muuta
Puru_V	Sahanpuru 100 mm	$n = 0$	Vanha, alkuperäinen rakenne
Puru_V+mw+tuul.	Puru_V + 50 mm MW + 25 mm huok. tuulensuojalevy	$n = 20$	Kuvan 49 mukainen korjausrakenne.
Puru_V+mw+tuul._2	Puru_V + 50 mm mw + 25 mm huok. tuulensuojalevy	$n = 20$	Kuvan 49 mukainen korjausrakenne. Vanhassa rakenteessa vain kipsilevy sisäverhouksena.
U_mw+tuul.	Uusittu eriste: 100 mm MW + 25 mm huok. tuulensuojalevy	$n = 20$	Sahanpuru vaihdettu mineraalivillaan, tuuletettu rakenne. Vanhassa rakenteessa vain kipsilevy sisäverhouksena.

Kuva 50 esittää tarkastellun rakenteen eristekohdan leikkauksen kokonaiskosteuden muutoksen alkutilanteesta (80 % RH tasapainotilanne). Kaikki rakenteet ovat kuivuvia, ja niiden lähtötasot riippuvat materiaalikerrosten kosteuskapasiteetista. Voimakkain suhteellinen kuivuminen oli korjatulla rakenteella, jossa purukerroksen ulkopuolelle oli asennettu uusi eristekerros. Sisäpuolisen laudoituskerroksen puutumisen hidasti kuivumista, mikä näkyi voimakkaimmin kokonaan mineraalivillalla eristetyssä korjaustapauksessa.

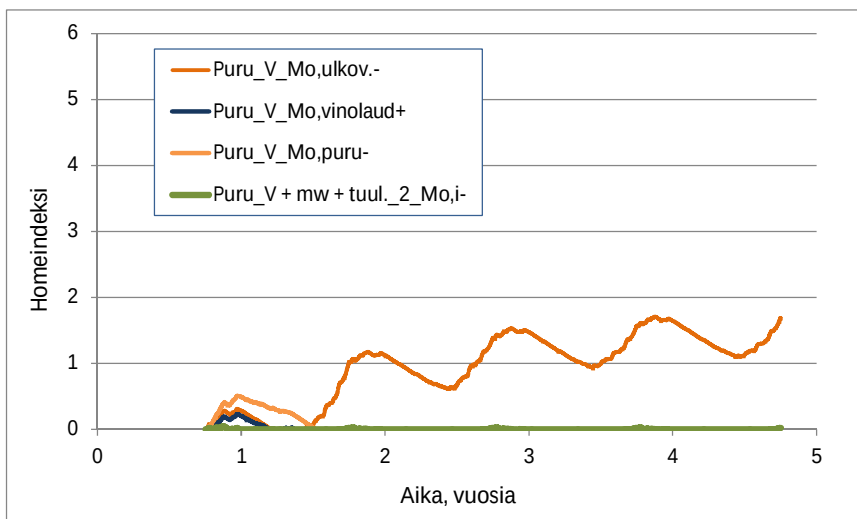
Kuva 51 esittää vanhan puruseinän ulkopuolen eri kerroksille laskettuja homeindeksin arvoja. Laskennassa käytettiin homehtumisen herkkyyssuokkaa *herkkä*. Vain ulkoverhouksen ulkopinnalla oli homeen kasvua, joka ylitti tason yksi. Tämä vastaa mikroskoopilla tehtyjä homeen kasvun havaintoja pinnoittamattomalla puupinnalla.

Korjatuilla rakenteilla julkisivun sisäpuolisia kriittisiä kohtia ovat tuuletusrako, tuulensuojan sisäpinta ja vanhan rakenteen purukerroksen ja tervapaperin rajapinta. Näille lasketut homeindeksin arvot eivät olennaisesti poikenneet nollassa, ts. alkuvaiheen kuivuminen oli turvallisempaa kuin alkuperäisen rakenteen tapauksessa. Näiden homekasvun tuloksista on esitetty vain yksi (*Puru_V+mw+tuul._2*), jossa homeen kasvuedellytykset laskennan alussa antoivat hieman nollassa poikkeavan tuloksen. Tehty riskitapauksen lisätarkastelu, jossa rakenteen sisäverhouksen lautakerros puuttui, ei myöskään johtanut homeen kasvuun rakenteen kriittisillä pinnoilla tarkastelussa käytetyissä kuormitusoloissa.

Laskennallisen tarkastelun ja siinä käytettyjen oletusten perusteella nyt tarkastellut korjatut, ulkopuolelta eristetyt ja tuuletetut rakenteet vaikuttavat kosteusteknisesti yhtä turvallisilta kuin alkuperäinen sahanpurueristeinen rakenne.



Kuva 50. Rakenneleikkauksen kokonaiskosteus eri tapauksissa.



Kuva 51. Vanhan, korjaamattoman purueristeisen seinärakenteen homekasvun laskennallinen ennuste rakenteen eri kerrosten kriittisillä rajapinnoilla: Ulkoverhouksen ulkopinta (ulkov.-), vinolaudoituksen sisäpinta (vinolaud+) ja sahanpurun kylmä pinta (puru-) sekä yhden korjatun rakenteen tapauksessa tuuletusvälin kylmä pinta (Puru_V+mw+tuul._2_Mo,i-).

Muut kosteusteknisen toimivuuden riskit sahanpurueristeisen seinän korjausrakenteilla

Vaikka korjausrakenteet ovat tuuletettuja, tulee sisäpuolen kosteuskuormien olla kohtuullisella tasolla. Puutteellinen ilmanvaihto tai muut syyt, jotka aiheuttavat sisäilman korkeita kosteuksia, voivat aiheuttaa liian korkeita kosteuskuormia rakenteille.

Sisäpuolen ilmatiiviyden toteutus on varmistettava sille tasolle, että sisäilmassa voidaan ylläpitää pääsääntöinen alipaine ja estää pitkäaikaiset sisäilman vuotovirtaukset ulos rakenteen kautta. Hataran (huono ilmatiiviyys) rakenteen lisälämmöneristämisen sisältää kohonneita kosteusriskejä, eikä sen lämpötekniinen toimivuus välttämättä parane suunnitellulla tavalla. Siksi rakennusvaipan ja erityisesti korjattavan rakenteen ilmatiiviyys tulisi korjata sellaiselle tasolle, että turhat ilmauodot voidaan estää.

Sahanpurueristys voi olla painunut niin, ettei vanhassa rakenteessa ole joka kohdassa lainkaan lämmöneristystä. Tämä on otettava huomioon korjauksen suunnittelussa. Koska sahanpurulla lämmöneristettyjen rakennusten ilmanvaihto on painovoimainen, on korjaustoimenpiteiden yhteydessä varmistuttava ilmanvaihdon toimivuudesta myös korjauksen jälkeen.

5.3.2 Tuuletettu, sahanpurueristeinen alapohja

Vanhan alapohjarakenteen materiaalikerrokset ovat sisätilasta alaspäin lukien: lattiaaudoitus 25 mm, tervapaperi, sahanpurueriste 125 mm, tervapaperi ja eristeen kannatusaudoitus 20 mm (kuva 48).

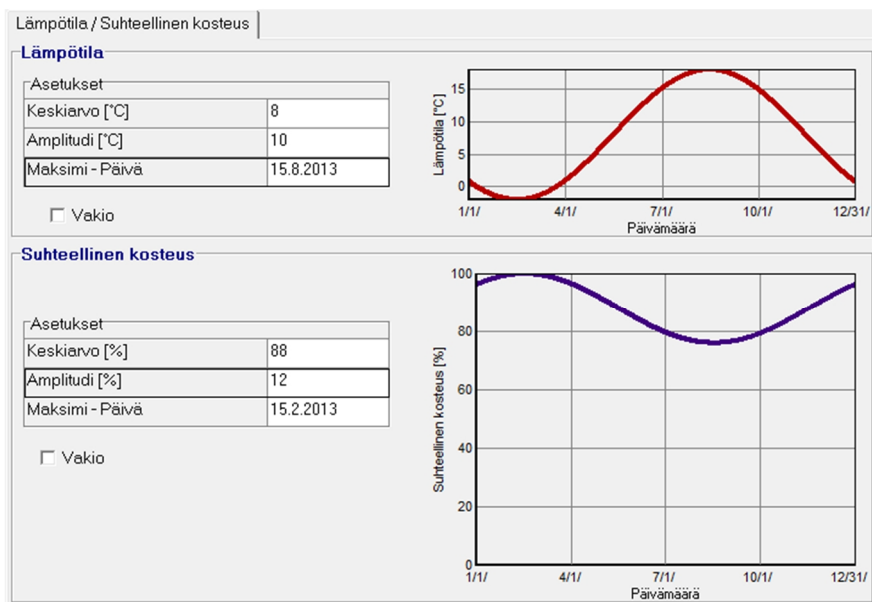
Korjauksessa tämä rakenne lämmöneristetään alapuolelta 75 mm mineraalivillalevyillä siten, että uuden lämmöneristeen alapintaan ei tule herkästi homehtuvia materiaaleja (puuta tai puupohjaisia tuotteita).

Tuuletetun alapohjan olosuhteet ovat tapauksesta riippuvia. Esimerkiksi toteutunut tuuletusmäärä, sisäilmasta ja erityisesti maaperästä tuleva kosteus voivat vaihdella kohteen ja ajankohdan mukaan paljon. Tässä tapauksessa olosuhteet asetettiin sellaisiksi, että puupohjaiset materiaalit ovat homehtumisen rajoilla.

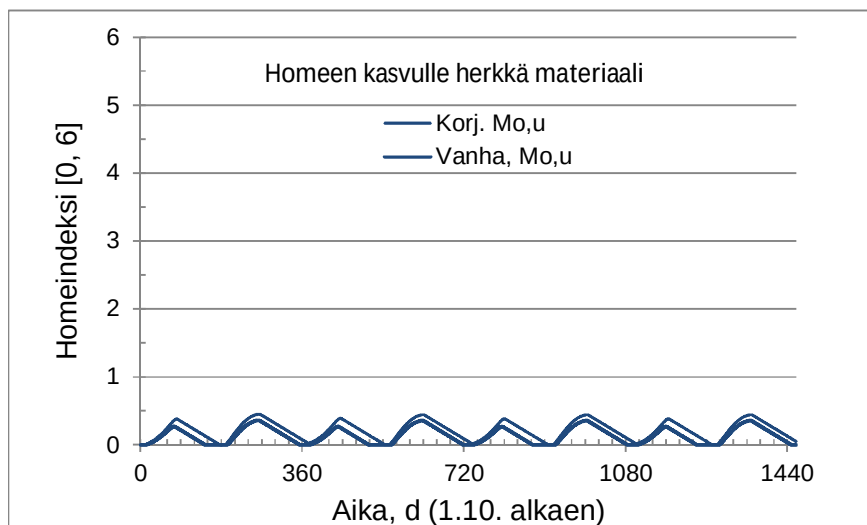
Kuva 52 esittää asetettuja tuuletustilan olosuhteita. Lämpötila vaihteli vuoden aikana sinikäyrän muotoisesti keskilämpötilan ollessa +8 °C ja amplitudin 10 °C, ja maksimi oli elokuun 15. päivä. Suhteellinen kosteus vaihteli vastaavasti keskiarvon ollessa 88 % RH ja amplitudin 12 % RH, maksimin ajankohta oli helmikuun 15:s.

Kuva 53 esittää ulkopinnalle lasketut homeindeksin arvot vanhan ja korjatun rakenteen tapauksessa. Tässä oletettiin, että myös korjatun rakenteen alapinnalla olisi homeherkkyyssuokkaan *herkkä* kuuluvia materiaaleja (puuta tai puupohjaisia materiaaleja). Lämmöneristystason parantamisen vaikutus rakenteen alapinnan homeindeksitasossa näkyy lähes olemattomana muutoksena. Siten tehty lämpötekniinen parannus ei lisää homehtumisriskiä rakenteessa.

Kun korjatun rakenteen alapinnan materiaalien homehtumisherkkyyssuokka oli *kohtalaisen kestävä* (sementti- ja muovipohjaiset materiaalit, mineraalivillatuotteet), ei laskennallinen homekasvu poikennut nolasta asetetuissa tarkasteluolosuhteissa. Korjauksessa voidaan materiaalivalinnoilla pienentää rakenteen homehtumisriskiä.

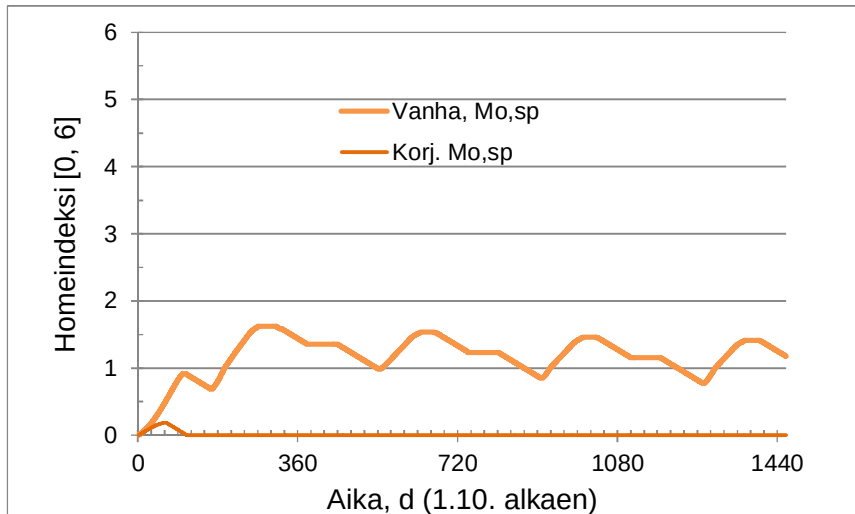


Kuva 52. Laskennassa tuulettulle alapohjalle käytetty oletus lämpötilan ja suhteellisen kosteuden vuotuisesta vaihtelusta.



Kuva 53. Vanhan ja korjatun rakenteen laskennallinen homeindeksi tuulettun alapohjan alapinnassa, kun molemmissa tapauksissa materiaalin homehtumisherkkyysluokka on *herkkä*.

Kuva 54 esittää sahanpurueristeen ulkopinnalle lasketut homeindeksin arvot vanhan ja korjatun rakenteen tapauksessa. Sahanpuru oletettiin homeherkkyyssluokkaan *herkkä* kuuluvaksi. Vanhan rakenteen homeindeksin kasvu tasolle noin 1,6 johtui korkeasta alkukosteudesta, joka kuivuessaan alaspäin kohotti rajapinnan kosteutta ensimmäisen vuoden aikana. Korjatussa rakenteessa ulkopinnan avoin lämmöneristekerros paransi rakenteen kuivumiskykyä, eikä sahanpurun alapinnalla ollut laskennallisesti edes alkavaa homehtumisriskiä.



Kuva 54. Vanhan ja korjatun rakenteen laskennallinen homeindeksi vanhan sahanpurueristeen alapinnassa (homehtumisherkkyyssluokka on *herkkä*).

Tuuletetun alapohjan alapuolinen lisälämmöneristäminen voidaan tehdä kosteusteknisesti toimivaksi ja materiaalivalinnoin voidaan pienentää alapohjan homeenkasvuriskiä.

Muut kosteusteknisen toimivuuden riskit sahanpurueristeisen alapohjan korjausrakenteilla

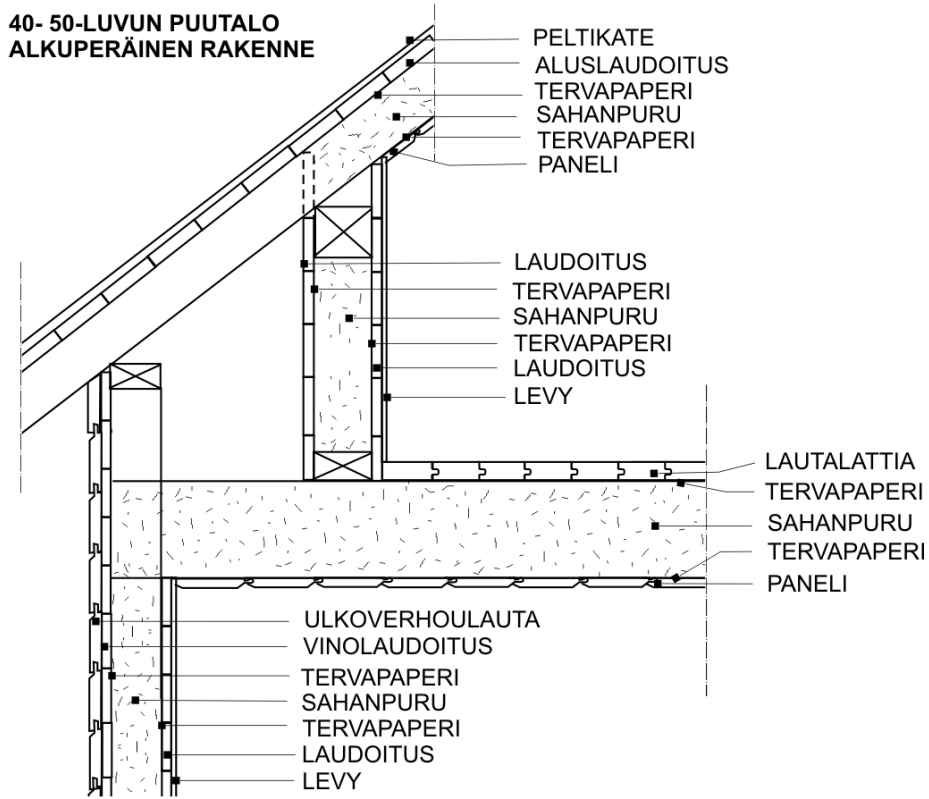
Jos vanhan alapohjan tuuletusvälin puolella on merkittävästi homeetta, on ilmeistä, että sitä voi kehittyä myös uuden, korjatun rakenteen pintaan. Alapohjan kosteuskuormat on saatettava sellaiselle tasolle, etteivät ne aiheuta merkittävää homehtumisriskiä rakenteeseen.

Maaperästä tuleva kosteusvirtaus on rajoitettava esimerkiksi alapohjan maapinnan lämmöneristämällä. Samalla on suositeltavaa eristää perustusten pystyseinämät, mikä voidaan tehdä rakenteen sisäpuolelta. Näin tuuletetun alapohjan lämpötilataso kohoaa hieman ja lämpötilaero maahan nähden vähentää diffuusista kosteusvirtausta maaperästä tuuletusväliin. Korjauksen yhteydessä kaikki orgaaninen aines tulee poistaa tuuletustilan pohjalta, jottei se edistäisi homeen kasvua tilassa.

Jos alapohjan maapohjan pinnalla on ajoittain vapaata vettä, on vedenpoisto ja kosteussuojaus suunniteltava ja toteutettava kokonaan uudelleen kosteusteknisesti turvallisten olosuhteiden varmistamiseksi.

5.3.3 Tuuletettu, sahanpurueristeinen yläpohja

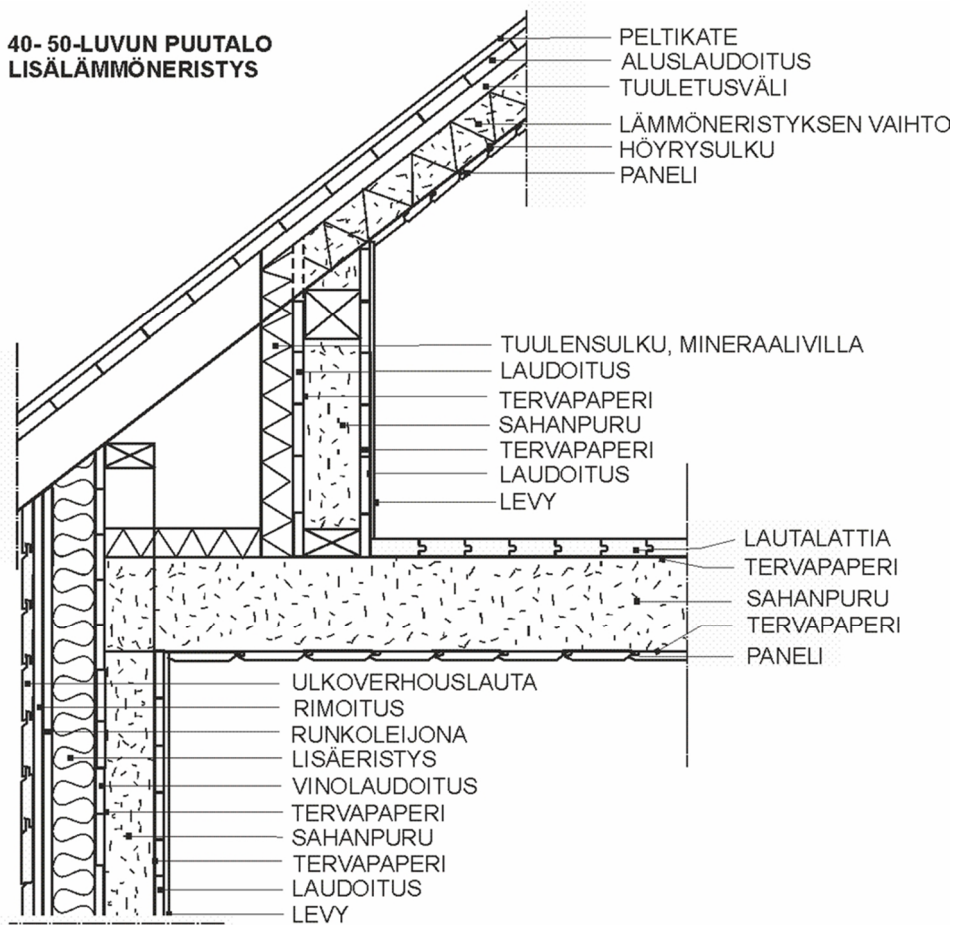
Tämän rakenteen (kuva 55) korjauksessa vaihdetaan sahanpurueristeet uusiin mineraalivillalevyihin (kuva 56). Käytännössä eristepaksuus säilyy samana, mutta rakenteen lämmönläpäisykerroin paranee uuden materiaalin huomattavasti sahanpurua pienemmän lämmönjohtavuuden takia.



Kuva 55. Purueristeinen pientalon yläpohja.

Lämmöneristeiden vaihdon yhteydessä varmistetaan tuuletusraon yhtenäisyys ja sen riittävä ja tarkoituksenmukaisesti suojattu yhteys ulkoilmaan. Mahdollinen aluskate asennetaan siten, että se johtaa kondenssivedet rakennuksen ulkopuolelle. Katto on korjattu aluskatteen alapuolelta tuuletetuksi.

Rakenteen sisäpuolelle asennetaan höyryn/ilmansulku, jonka detaljit on suunniteltava ja voitava toteuttaa siten, että se muodostaa yhtenäisen kerroksen ilman vuotovirtauksia vastaan. Riskitekijänä ovat esimerkiksi väliseinärakenteet, joiden kautta ilmavuotoja voi tapahtua yläpohjaan. Näiden detailjien toimivuus on varmistettava aina tapauskohtaisesti.



Kuva 56. Pientalon purueristeisen yläpohjan energiakorjaus vinon katto-osan lämmöneristeitä vaihtamalla ja vaakaosien ulkopuolisella lisälämmöneristyksellä. Katon kalteva osa korjataan tuulettuvaksi. Tämä on periaatepiirros ja rakenteet on suunniteltava aina kohdekohtaisesti.

Korjatun, tuuletetun kattorakenteen toiminta on yhtä varmaa ja siihen liittyvät samat riskit kuin yleensä tuuletettujen rakenteiden toimintaan. Sen laskennallinen tarkastelu vanhan rakenteen mahdollistamilla lämmöneristepaksuuksilla ei tuota tietoa toimivuuden riskeistä.

Kosteusteknisen toimivuuden riskit

Riskit ovat samoja kuin yleensä tuuletettujen yläpohjien tapauksessa. Vesivuodot tai sateen tai lumen merkittävä tunkeutuminen rakenteen tuuletusaukkojen kautta rakenteeseen on estettävä. Veden kondensoitumisen estäminen katteen alapuolelle on estettävä rakenteellisesti tai rakenne on suojattava toimivan aluskatteen avulla.

Merkittävät ja pitkäaikaiset ilmapuodot sisäilmasta rakenteeseen on estettävä varmistamalla rakenteen riittävä ilmatiiviys ja rakennuksen painesuhteiden hallinta. Diffuusinen kosteudensiirtyminen sisäilmasta rakenteeseen rajoitetaan höyrynsulun avulla.

6. Lisälämmöneristämisen elinkaarikustannukset

Tarkastelussa olevat kohteet ovat esimerkitapauksia. Koska elinkaarikustannukset kohdistuvat vain tarkasteltavaan rakennukseen, toimenpiteiden kustannukset ovat hankekohtaisia; kustannustarkasteluiden tarkoitus on valottaa sitä, miten erikäisten ja erilaisten rakennusten korjausten yhteydessä tehtävien energiatehokkuutta parantavien toimenpiteiden kustannukset muodostuvat. Tapauksista ei voi vetää johtopäätöstä, että energiatehokkuuden parantaminen olisi tai ei olisi aina kustannustehokasta esimerkitapausten kaltaisissa kohteissa. Rakennukset ovat uniikkeja ja elinkaaren eri vaiheissa. Mikäli kannattavuuden perusteella halutaan hakea poikkeusta luvan hakemisen yhteydessä, kustannusten tarkastelu tehdään hankekohtaisesti ja kyseisen rakennuksen ominaispiirteiden mukaisesti.

Tutkimuksessa hyödynnettävää elinkaarikustannuslaskentaa, mukaan lukien herkkyystarkastelut, on mahdollista soveltaa vaihtoehtoisilla lähtöarvoilla. Laskentamenetelmä on kuvattu luvussa 6.2. Elinkaarikustannuslaskennan tarkasteluajaksi on valittu 30 vuotta. Tämä ei kuvaa rakenteiden käyttöikää, johon tutkimuksessa ei oteta kantaa. Tarkoituksena on sen sijaan yhtenäistää energiatehokkuuden parantamisen lisäkustannusten tarkastelutapaa, kun oletuksena on sijoituksen arvon nollaantuminen 30 vuodessa.

Elinkaarikustannuslaskennan tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä on monia, ja jo-kaista kustannusta ja kustannukseen vaikuttavaa tekijää on mahdollista huomioida, etenkin tarkasteluajan ollessa pitkä. Elinkaarikustannuslaskennan lopputuloksia on siis tulkittava harkiten.

6.1 Tausta

Rakennuksen elinkaarikustannukset ovat yksi merkittävimmistä tekijöistä remonttien laajuudesta päätettäessä. Laskennan avulla on mahdollista tarkastella korjausvaihtoehtojen elinkaaren aikaisia kustannuksia ja investoinnin taloudellista kannattavuutta. Menetelmä kannustaa valitsemaan energiatehokkaita ja -taloudellisia ratkaisuja – mikä vaihtoehtoisista sijoituksista on pitkällä aikavälillä kannattavin. Elinkaarikustannustarkastelu tarjoaa suunnittelijoille ja myös asiakkaille perustelua energiatehokkuusinvestoinneille, mikä kannustaa energiatehokkuutta parantavien

rakenteiden ja laitteiden asentamiseen. Tämä ”lisäinvestointien” kannattavuus on mahdollista osoittaa tapauskohtaisilla elinkaaritaloudellisilla laskelmilla.

Käytännössä laskenta toteutetaan kahden tai useamman vaihtoehdoisen korjaustoimenpiteen elinkaarikustannusten vertailuna. Investoinnin edullisuutta tarkasteltaessa oletetaan, että valitulla tarkasteluajanjaksolla toimintaympäristössä ei tapahdu sellaisia muutoksia, joita ei voida tunnistaa ja ennustaa nykyhetkellä. Energiatehokkaat rakenteet, laitteet ja asennukset yhdessä oikeaoppisen käytön, huollon ja kunnossapidon kanssa realisoituvat rakennuksen elinkaaren matalampina käyttökustannuksina. Lämmitysjärjestelmien kannattavuus on vahvasti riippuvainen muun muassa laatuvaatimuksista ja käyttöajoista [12].

Elinkaarikustannuslaskennan tavoitteena on esittää suuruusluokkia korjaustyön yhteydessä toteutettavien lisälämmöneristystöiden elinkaarikustannuksista. Koska elinkaarikustannukset kohdistuvat vain tarkasteltavaan rakennukseen, toimenpiteiden kustannukset ovat hankekohtaisia. Maankäyttö- ja rakennuslaki ei edellytä elinkaarikustannusten laskentaa.

6.2 Elinkaarikustannusten laskenta

6.2.1 Laskentamenetelmä

Perinteiset investointilaskennan menetelmät toimivat elinkaarikustannuslaskelmien taustalla, mutta elinkaarikustannuslaskelmissa huomioidaan myös yksityiskohtaisempia tietoja, kuten laitteiden tai järjestelmien energiankulutus, huoltotarve, ikääntymisen vaikutus sekä muut elinkaaren aikana aiheutuvat kustannukset. Lisäerona investointilaskentaan on kannattavuusehto: elinkaarikustannuslaskennan tulos eli suositus on elinkaarikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto [13].

Järjestelmän elinkaarenaikaiset kustannukset muodostuvat investointi-, energia-, huolto- ja kunnossapitokustannuksista (kaava 1).

Kaava 1. Elinkaarikustannusten muodostuminen, kustannusten nykyarvo.

$$LCC_{TOT} = K_i + K_e + K_h + K_k$$

LCC_{TOT} = Kustannusten nykyarvo

K_i = Investointikustannus

K_e = Energiakustannusten nykyarvo

K_h = Huoltokustannusten nykyarvo (säännölliset laitehuollot)

K_k = Kunnossapitokustannusten nykyarvo (epäsäännölliset, laitteiden uusimiset)

Elinkaarikustannuslaskenta tarkastelee tuotejärjestelmän koko elinkaarta aina valmistuksesta käytöstä poistamiseen asti. Pitkällä aikavälillä edullinenkin investointi voi osoittautua kannattamattomaksi, mikä saattaa johtua esimerkiksi energia-, huolto- ja kunnossapitokustannusten muutoksista [13].

Selvityksessä on tarkasteltu merkittävimpiä elinkaarikustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ja niiden vaikutuksia, kuten alkuinvestointikustannuksia ja energiakustan-

nuksia. Huolto- ja kunnossapitokustannuksilla ei ole merkitystä energiatehokkuuden parantamisen (EP), energiatehokkuuden parantamisen mukaan lukien yläpohjan energiatehokkuuden parantaminen (EP+YP) ja julkisivukorjauksen (JK) välisissä kannattavuustarkasteluissa, koska kustannukset ovat jokaisessa tapauksessa yhtä suuret.

6.2.2 Investointikustannukset

Tarkastelussa olevien viiden eri rakennuksen korjauskustannukset on esitetty alla (**Taulukko 11**). Taulukkoihin on koottu julkisivukorjauksen (JK) kustannukset ilman energiatehokkuuden parantamista (EP) ja energiatehokkuuden parantamiseen korjaustyön yhteydessä liittyvät kustannukset. Energiatehokkuuden parantamiskustannuksiin lasketaan vain ne kustannukset, jotka aiheutuvat energiatehokkuuden parantamisesta muun luvanvaraisen korjauksen yhteydessä. Rivitalo-esimerkissä myös sokkelin lisäeristys ja rappaus on laskettu kokonaisuudessaan energiatehokkuuden parantamisen kustannukseksi, vaikka se tehdään ilman korjaustarvetta ja on näin ollen vapaaehtoinen toimenpide, jota ei pidä laskea säännösten mukaisessa tilanteessa näihin kustannuksiin. Taulukossa 11 olevien kohteiden esitetyt kustannukset ovat arviokustannuksia, jotka perustuvat aiemmin toteutetuista korjauskohteista saatuihin tietoihin, arvioihin toimenpiteiden kustannuksista ja asiantuntijalausuntoihin.

Taulukko 11. Esimerkkitalojen julkisivujen korjaamisen suuntaa antavat kustannukset ja energiatehokkuuden parantamisen kustannukset korjaamisen yhteydessä sekä vaikutukset energiankulutukseen. Lähtöarvot perustuvat toteutuneisiin korjaushankkeisiin ja asiantuntijalausuntoihin. JK tarkoittaa julkisivukorjausta, EP energiatehokkuuden parantamista ja YP yläpohjan energiatehokkuuden parantamista. Kustannusten kertyminen on esitetty liitteessä 1.

Talo ja ulkoseinän rakenne	Lämmitysenergia (MWh)	Kustannukset (€)
Taloyhtiö 1972 - Lisälämmöneristetty betonisandwich	796 JK	131 614
	715 EP	243 809
	675 EP+YP	254 349
Taloyhtiö 1972 – Julkisivun uusiminen	796 JK	571 764
	715 EP	686 117
	675 EP+YP	696 657
Kerrostalo 1952 - Lisälämmöneristetty 1½-kiven tiiliseinä	144 JK	78 343
	99 EP	120 528
Yksikerroksinen rivitalo 1976 –Lisälämmöneristetty rakenne puuverhouksella	62 JK	18 253
	57 EP	35 712
	54 EP+YP	38 490
1,5-kerroksinen pientalo 1952 –Lisälämmöneristetty rakenne puuverhouksella	34 JK	14 787
	28 EP	27 900

Mikäli luvanvarainen hanke sisältää myös sokkelin korjauksen, energiatehokkuuden parantamisen kustannus muodostuu lisälämmöneristeestä ja sen lisäämisestä

aiheutuvasta ylimääräisestä työstä. Pinnoitus on osa korjauskustannuksia, jotka olisivat olemassa muutenkin. Esimerkki kuvaa hyvin kustannustarkastelun herkyttä oikeiden kustannusten tunnistamisessa.

Liitetiedoissa (liite 2) on lisäksi esimerkki VVO:n korjauskohteesta. Kerrostalo on rakennettu vuonna 1969 ja se on peruskorjattu vuonna 2007. Liitetietoihin on kerätty muun muassa kuvaus peruskorjauksen laajuudesta ja toteutuneet kustannus- ja energiakulutustiedot.

6.2.3 Energiakustannukset

Rakennuksen käytönaikaiset energiakustannukset muodostuvat energian tarpeesta (energian tarve x energian hinta) ja mahdollisista perusmaksuista. Energian tarpeella ja energian hinnalla ja sen tulevaisuuden kehityksellä on suuri merkitys tarkastelukohteiden elinkaarikustannuksiin. Energian verollinen hinta ja sen kehitys esitetään taulukossa 12. Kaukolämmön hinta vaihtelee liittymän tilausvesivirran mukaan. Kaukolämmön kokonaishinta riippuu palvelun tarjoajan kokonaistarjouksesta. Sähköenergian hinta on myös riippuvainen tarjotusta kokonaispaketista. Tässä projektissa käytetään tyyppikuluttajahinnoittelua, jolloin perusmaksut oletetaan muuttumattomiksi ja ne sisältyvät kokonaishintaan.

Taulukko 12. Lähtöhinnat arvioituina tyyppikuluttajan yksikköhintoina (€/kWh) ja energiamaksujen kehitys vuodessa (%/a).

Energialähde	Kokonaishinta ¹⁾ €/kWh	Energian hintakehitys %/vuosi
Pientalo, suora sähkölämmitys ²⁾	0,125	+2,0 %, 2,6 %, 4,0 %
Kerrostalo, kaukolämpö ³⁾	0,069	+2,0 %, 2,6 %, 4,0 %

1) Kiinteät maksut oletetaan korjaamattomassa ja korjatussa rakennuksessa samaksi, eli tehontarve tai tilausvesivirta ei muutu. Kiinteät maksut on otettu huomioon energian hinnassa.

2) Energiamarkkinavirasto 1.1.2013, luvut perustuvat ainoastaan julkisiin hintoihin.

3) <http://www.energia.fi/tilastot/kaukolammon-hinnat-tyyppitaloissa-eri-paikkakunnilla>.

6.2.4 Jäännösarvo

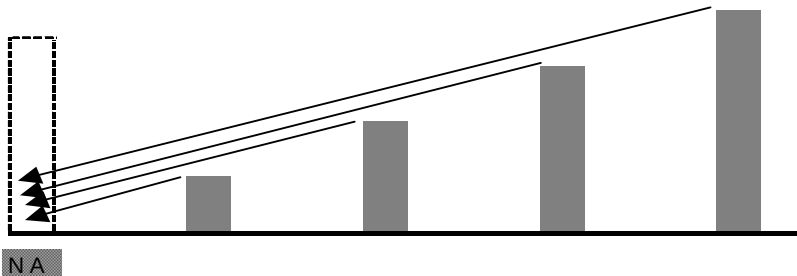
Jäännösarvo tarkoittaa investoinnin arvoa investointiajanjakson lopulla. Arvo voi olla myös negatiivinen. Taloteknisten järjestelmien jäännösarvoksi asetetaan yleensä nolla, koska investoinnin pitoaika on pitkä ja pitoajan jälkeen diskontattuna jäännösarvon nykyarvo on pieni. Jäännösarvo huomioidaan yleensä, jos laskentajakso on lyhyempi kuin käyttöikä ja vaihtoehtojen välillä on selkeitä eroja maksimikäyttöiässä [13]. Esimerkiksi eristeiden kohdalla voi olla perusteltua huomioida jäännösarvo, koska rakenteet säilyvät pitkiä aikoja kunnossa eli säilyttävät arvoaan. Energiatsehokkuuden parantamisen jäännösarvon tarkkaa määrää on vaikea arvioida, joten se on lähtökohtaisesti jätetty laskelmista pois.

6.2.5 Elinkaaritaloudellinen vertailu nykyarvona

Julkisivun korjaus on pitkäaikainen investointi, ja tarkasteluajan pituus voi vaihdella paljon. Tarkasteluajavälin pituudesta johtuen muuttuvia tekijöitä on monia, mikä hankaloittaa elinkaarikustannuslaskentaa ja luo siihen samalla myös epätarkkuutta. Esimerkiksi rakennuksen energiakustannuksien markkinakehityksen tai säännöllisten huoltokustannusten (ei tarkastelussa mukana) tarkkaan ennakkointiin liittyy epävarmuutta.

Pidemmällä tarkasteluvälillä on olennaista huomioida rahan nykyarvo, sillä tulevaisuuden kustannukset ovat nykyhetkeen verrattuna pienemmät. Tämä perustuu siihen, että reaaliarvoltaan samansuuruinen maksusuoritus on saajalleen arvokkaampi nyt kuin vasta vuosien päästä. Eri ajankohtina syntyvät tuotot ja kustannukset eivät sellaisinaan ole keskenään suoraan vertailukelpoisia. Vasta vuosien päästä tapahtuva suoritus on mahdollista saada nykyhetken kanssa vertailukelpoiseksi diskonttaamalla. Mitä suurempi on pääomalle vaadittu reaalikorko, sitä pienempi on diskontatun suorituksen arvo [15].

Nykyarvomenetelmä on yleensä käytössä kustannuksia laskettaessa, varsinkin kun tarkastelussa on pidempiaikainen investointi. Ennen laskemista tuotot ja vuotuiset kustannukset diskontataan arviointihetkeen (kuva 57).



Kuva 57. Nykyarvomenetelmän periaate; tulevaisuuden tuotot ja kustannukset diskontataan arviointihetkeen [15].

Elinkaarikustannusten laskeminen suoritetaan kaavojen 2–4 mukaisesti.

Kaava 2. Energiakustannusten nykyarvo.

$$K_e = E \cdot H_e \cdot \frac{(1 + r_e)^n - 1}{r_e \cdot (1 + r_e)^n}$$

K_e = Energiakustannusten nykyarvo

E = Vuotuinen energian kulutus (MWh/a)

H_e = Energian hinta nykyhetkellä (€/MWh)

r_e = Energiakustannusten laskentakorko (%/100)

n = Tarkasteluajan pituus (a)

Kaava 3. Huoltokustannusten nykyarvo.

$$K_h = H \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{r \cdot (1+r)^n}$$

K_h = Tasasuuruisten vuotuisten huoltokustannusten nykyarvo

H = Vuotuinen huoltokustannus (€/a)

r = Laskentakorko (%/100)

n = Tarkasteluaajan pituus (a)

Kaava 4. Kunnossapitokustannuksen nykyarvo. Kaavalla on mahdollista laskea myös jäännösarvon nykyarvo (pitoajan lopussa).

$$K_k = H_k \cdot \frac{1}{(1+r)^i}$$

K_k = Yksittäisen kunnossapitokustannuksen nykyarvo

H_k = Yksittäinen kunnossapitokustannus (€)

r = Laskentakorko (%/100)

i = Tarkasteltava vuosi nykyhetkestä lukien, johon kyseinen kustannus liittyy

6.2.6 Elinkaaren pituus

Elinkaaren pituus eli pitoaika tarkoittaa elinikää, joka kuluu tarkastelussa olevien rakenteiden käyttöönotosta niiden uudistamiseen, poistoon tai hajottamiseen. Investointilaskelmissa pitoaika tarkoittaa investoinnin arvioitua elinikää ottaen huomioon sen taloudellisen ja teknisen vanhentumisen. Taloudellisella pitoajalla, jota tulee hyödyntää investointilaskelmissa, viitataan käyttöaikaan, jonka aikana hyödykettä käytetään.

Tulevaisuuden tapahtumien ennustamiseen liittyy aina epävarmuutta, sillä on mahdoton arvioida tarkalleen, kuinka esimerkiksi energian hinnat kehittyvät, jotka vastaavat tulevaisuudenpäätöksistä tai minkälainen ympäristö milloinkin vallitsee. Tämän vuoksi ei taloudellisia laskelmia laadittaessa ole mielekästä valita elinkaaren pituudeksi liian pitkää aikaa, vaan laskenta-aikana on perusteltua käyttää taloudellista pitoaikaa eli aikaväliä remontin valmistumisesta ensimmäiseen peruskorjaukseen tai uusimiseen [13].

Elinkaaren pituutta on vaikea arvioida etukäteen, koska siihen vaikuttaa olennaisesti muun muassa huollon laatu: pitoaika voi olla merkittävästi lyhyempi tai pidempi kuin fyysisen kestävyysennuste. Fyysinen ikä voikin olla moninkertainen taloudelliseen ikään verrattuna. Lisäksi teknologian vanhentumisen vuoksi laitteen taloudellinen pitoaika saattaa olla lyhyempi kuin laitteen maksimipitoaika. Erityisesti taloteknisissä järjestelmissä taloudellinen pitoaika on tavallisesti maksimikäyttöaikaa lyhyempi [15].

Taloudellisesti toteutettavalla ratkaisulla tarkoitetaan ratkaisua, joka on elinkaarikustannustarkastelun perusteella kustannustehokas. Näitä edellytyksiä sovelletaan teknisten vaatimusten täyttämiseksi.

Taloudellisessa tarkastelussa käytetään soveltuvin osin samoja muuttujia kuin kansallisten vaatimustasojen yleisessä arvioinnissa käytettävässä kustannusoptimaalisuuslaskennassa; tarkastelujaksona käytetään asuinrakennuksissa 30:tä vuotta ja muissa rakennuksissa 20:tä vuotta, jos tarkasteltavan rakennusosan tai järjestelmän tai sen osan normaali elinkaari ei ole tätä lyhyempi [23]. Tässä hankkeessa elinkaarikustannuslaskennan pitoajaksi on määritelty 30 vuotta.

6.2.7 Laskentakorko

Elinkaaren kustannuksia arvioitaessa on huomioitava ajan vaikutus rahan arvoon, koska inflaation vaikutuksesta se alenee jatkuvasti. Laskentakorkokantaa määritettäessä eli *arviota* tehtäessä on tarkkailtava myös tuottovaatimusta, joka on sidoksissa maailmantalouden tilanteeseen.

Nimelliskorko tarkoittaa koron määrää suhteessa pääomaan (tuottovaade) laskentajakson aikana, jossa ei ole huomioitu inflaatiota. Inflaatio kuvaa tuotteiden ja palvelujen hinnannousua. Koska tuotteiden ja palvelujen hinnat kehittyvät eri tavoin, huomioidaan inflaation määrittelyssä kaikkien tuotteiden hintavaihtelujen keskiarvot. Keskiarvoista heijastuvat myös mahdolliset tuoteryhmien laatutasojen kehitykset.

Elinkaarikustannuslaskennan reaalikoroksi on määritelty Kosteusteknisesti turvalliset korjausrakentamisen malliratkaisut -hankkeen ohjausryhmän päätöksen (ohjausryhmän kokous 5.3.2013) mukaisesti 1 %. Nimelliskorko 4 % perustuu Valtiokonttorin suositusten (1997–2012) keskiarvoon pyöristettynä lähimpään kokonaislukuun [16]. Laskelmissa käytetty 1 %:n reaalikorkokanta on hyvin alhainen, eikä ”normaalia” laskentakorkoa käytettäessä kymmenien vuosien kuluttua tulevilla säästöillä ole merkittäviä vaikutuksia laskennalliseen kannattavuuteen.

6.2.8 Herkkyysanalyysi

Elinkaaritaloudellisiin laskelmiin sisältyy epävarmuutta, sillä laskelmissa joudutaan aina ennakoimaan tulevaisuutta – usein varsin pitkällekin. Laskelmia tehtäessä useat lopputuloksen kannalta keskeiset muuttujat ovat tuntemattomia, ja asiantuntijat pyrkivät arvioimaan niitä parhaalla mahdollisella tavalla. Osa ennusteista onkin vain asiantuntijoiden parhaita arvauksia. Esimerkiksi julkisivuremontin lopullinen hinta riippuu rakenteiden ominaisuuksista, neuvottelutaidoista ja tarjouksista. Muita muuttuvia epävarmuustekijöitä ovat seuraavat:

- Energian hintakehitystä on vaikea arvioida.
- Energiakulutuksen arviointi tarkasti on hankalaa.
- Kustannusten allokointi sisältää usein tulkinnanvaraa.
- Laskenta-ajanjakson pituuden määrittäminen (erilaisia lähtökohtia).

- Rakenteiden todellinen käyttöikä on aina arvio.
- Laskentakorko voi perustua joko nimelliskorkoon tai reaalkorkoon.
- Virheet lähtöarvoissa.

Tulevaisuuden ennustamisen vaikeuden vuoksi on usein tehtävä oletuksia, koska luvut ja/tai laadullinen tieto saattavat uupua tai lähtöarvot ovat epäluotettavia. Myös tiedon ja oletusten valintaan liittyy epävarmuutta. Rakenteiden käyttöikää määriteltäessä tehdään oletuksia rakenteiden käytöstä ja huollosta; ilman huoltoa rakenteet saattavat kestää vain vuosia, kun taas hyvin pidettynä vuosikymmeniä [14].

Laskelmien epävarmuustekijöitä voidaan tarkastella herkkyyssanalyysillä tai todennäköisyyksillä. Herkkyystarkastelulla pyritään selvittämään, mitkä tekijät vaikuttavat milläkin tavalla lopputulokseen. Herkkyyssanalyysin avulla voidaan selvittää laskelmien ja tulosten herkkyyttä laskennassa käytettäviä lähtötietoja (yhtä tai useampaa) muuttamalla. Tyypillisiä herkkyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat investointikohteen pitoaika, korkotasot, energian hintamuutokset sekä tulevaisuuden käyttäjät ja kiinteistön, rakenteiden ja laitteiden kestävyys.

Elinkaarilaskelmien herkkyyttä voidaan tutkia esimerkiksi etsimällä lähtötiedoista sellaisia arvoja, joilla investointi on juuri ja juuri kannattava tai joilla investointivaihtoehtojen kannattavuusjärjestys muuttuu. Jokaisen muutoksen jälkeen tutkitaan, millainen vaikutus sillä on investoinnin kannattavuuteen. Olennaista on pyrkiä havaitsemaan epäedullisimmat arviointivirheet, joiden löytymisen jälkeen arvioitavan kohteen kannattavuutta voidaan tarkastella yhä kriittisemmin. Taloudellisen riskin vuoksi on keskeistä tutkia juuri epäedullisesti vaikuttavia arviointivirheitä.

Epävarmuuden lisäksi investointeihin liittyy riski, joka tulee erottaa epävarmuudesta. Riskien uskotaan olevan tunnettuja, asiasta ollaan varmempia ja riskien sattumistodennäköisyyden oletetaan olevan tiedossa, kun taas epävarmuuden tuomia tapahtumia ja niiden toteutumisajankohtia on mahdoton aavistaa. "Koska investointi on lähes aina pitkävaikutteinen tapahtuma, on sekä riskiin että varsinkin epävarmuuteen varauduttava tekemällä vaihtoehtoisia laskelmia", kuten Saari toteaa [15].

Pulakka ym. [13] ovat arvioineet, että esimerkiksi 15 vuoden elinkaarella elinkaarikustannuslaskennan tarkkuustaso on $\pm 10\%$ ja 25–30 vuoden elinkaarella $\pm 25\%$. Vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa käyttäjän toiminnan jatkuvuus, energiakustannusten kehittyminen, huolto- ja kunnossapitokustannusten reaalinen kehitys, käyttäjän toiminnan vaikutukset sekä ennakoimattomat, vaurioista aiheutuneet kunnossapitotarpeet.

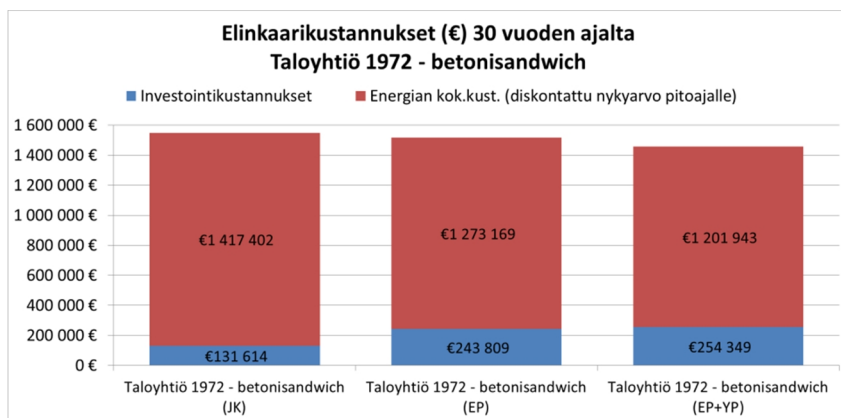
Edellä mainittujen seikkojen vuoksi elinkaarikustannuksiin vaikuttavia kustannuksia on selvitetty seuraavin herkkyystarkasteluin:

- pitoaika 20 tai 40 vuotta (lähtöarvo 30 vuotta)
- energian hinta +2,0 %, 2,6 % ja 4,0 %
- energiatehokkuuden investointikustannus -15 %
- energiatehokkuuden investointikustannus +15 %
- energiantarve -10 %.

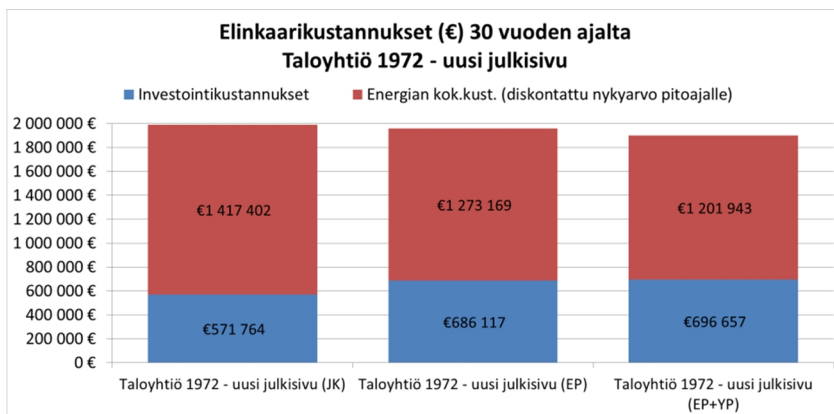
6.3 Energiategohokkuuden parantamisen kannattavuus

6.3.1 Laskentatulokset

Elinkaarikustannuslaskennan periaatteiden mukaan edullisin vaihtoehto on kannattavin. Tarkasteluajanhetken (3/2013) mukaisilla lähtöarvoilla ja Kosteusteknisesti turvalliset korjausrakentamisen malliratkaisut -hankkeen ohjausryhmän määrittelemillä (ohjausryhmän kokous 5.3.2013) lähtöoletuksilla laskettuna energiatehokkuuden parantaminen (EP) rakennusosaan kohdistuvan korjaustyön yhteydessä osoittautui kannattavaksi muissa paitsi yhdessä kohteessa (kuvat 58a–e).

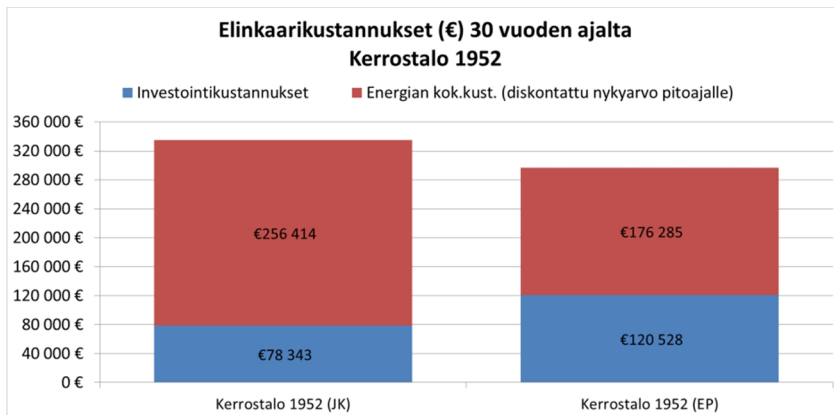


Kuva 58a. Elinkaarikustannukset (€) 30 vuoden ajalta. Taloyhtiö 1972 – betonisandwich -kohteen lämmitystapana on kaukolämpö. JK tarkoittaa julkisivukorjausta, EP energiatehokkuuden parantamista ja YP yläpohjan energiatehokkuuden parantamista.

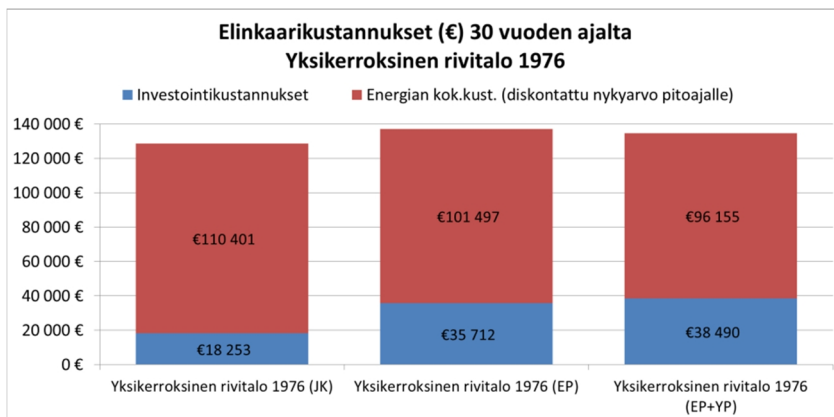


Kuva 58b. Elinkaarikustannukset (€) 30 vuoden ajalta. Taloyhtiö 1972 – uusi julkisivu -kohteen lämmitystapana on kaukolämpö. JK tarkoittaa julkisivukorjausta, EP energiatehokkuuden parantamista ja YP yläpohjan energiatehokkuuden parantamista.

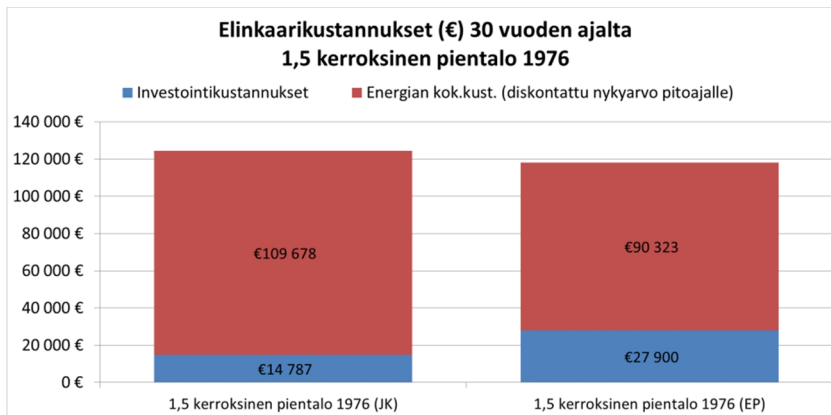
6. Lisälämmöneristämisen elinkaarikustannukset



Kuva 58c. Elinkaarikustannukset (€) 30 vuoden ajalta. Kerrostalo 1952 -kohteen lämmitystapana on kaukolämpö. JK tarkoittaa julkisivukorjausta ja EP energiatehokkuuden parantamista.



Kuva 58d. Elinkaarikustannukset (€) 30 vuoden ajalta. Yksikerroksinen rivitalo 1976 -kohteen lämmitystapana on kaukolämpö. JK tarkoittaa julkisivukorjausta, EP energiatehokkuuden parantamista ja YP yläpohjan energiatehokkuuden parantamista.



Kuva 58e. Elinkaarikustannukset (€) 30 vuoden ajalta. 1,5 kerroksinen pientalo 1976 -kohteen lämmitystapana on suorasähkö. JK tarkoittaa julkisivukorjausta ja EP energiatehokkuuden parantamista.

Kannattavinta energiatehokkuuden parantaminen (EP) on tarkastelukohteessa "Kerrostalo 1952 – lisälämmöneristetty rakenne", jossa elinkaarikustannukset ovat 11 % matalammat kuin julkisivukorjauksen elinkaarikustannukset. Tämä johtuu siitä, että Kerrostalo 1952 -kohteen energiatehokkuuden parantamisella (EP) on mahdollista saavuttaa suurimmat energiankulutuksen säästöt. Muiden tarkastelukohteiden elinkaarikustannusten ero (prosenttiluku) julkisivuremontin ja energiatehokkuuden parantamisen (EP) välillä on pienempi:

- "Taloyhtiö 1972 – lisälämmöneristetty betonisandwich" -2 %
- "Taloyhtiö 1972 – julkisivun uusiminen" -2 %
- "1,5 kerroksinen pientalo 1976 – lisälämmöneristetty rakenne puuverhouksella" -5 %.

"Yksikerroksinen rivitalo 1976 – lisälämmöneristetty rakenne puuverhouksella" -kohteen energiatehokkuuden parantamisen (EP) elinkaarikustannukset ovat +7 % korkeammat kuin julkisivukorjauksen elinkaarikustannukset.

Mikäli energiatehokkuuden parantamisen (EP) yhteydessä parannetaan lisäksi yläpohjan energiatehokkuutta (EP+YP), muuttuu kannattavuus suhteessa pelkkään energiatehokkuuden parantamiseen (EP):

- "Taloyhtiö 1972 – lisälämmöneristetty betonisandwich" -6 %
- "Taloyhtiö 1972 – julkisivun uusiminen" -5 %
- "Yksikerroksinen rivitalo 1976 – lisälämmöneristetty rakenne puuverhouksella" +5 %.

Elinkaarikustannuslaskelmissa energiatehokkuuden parantamisen (EP ja EP+YP) jäännösarvoksi ei annettu lainkaan arvoa. Jos jäännösarvolle annetaan arvoa,

paranee energiatehokkuuden parantamisen kannattavuus, mutta ei merkittävästi. Suurin yksittäinen kannattavuuteen vaikuttava tekijä on energiankulutus, joten kannattavuuslaskelmien olennaisin riski kohdistuu energianhinnan kehittymiseen seuraavien 30 vuoden aikana. Pöyryn [14] tutkimuksessa on ennustettu kaukolämmön hinnan kohoavan vuoteen 2020 mennessä noin 20 prosentilla. Sähkön hintakehityksen arvellaan olevan maltillisempaa, koska sähköntuotantokapasiteetti tulee lähivuosina lisääntymään tuuli- ja ydinvoiman johdosta. Toisaalta sähköveron kiristyminen vuonna 2014 aiheuttanee sähkön hinnalle kasvupaineita.

Viiden vertailukohteen elinkaarikustannusten erot (julkisivukorjaus/energiatehokkuuden parantaminen/energiatehokkuuden parantaminen mukaan lukien yläpohja) ovat pieniä. Pulakka ym. [13] ovat arvioineet, että elinkaarikustannuslaskennan tarkkuustaso 15 vuoden elinkaarella on $\pm 10\%$ ja 25–30 vuoden elinkaarella $\pm 25\%$. Tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa käyttäjän toiminnan jatkuvuus, energiakustannusten kehittyminen, huolto- ja kunnossapitokustannusten reaalinen kehitys, käyttäjän toiminnan vaikutukset sekä ennakoimattomat vaurioista aiheutuvat kunnossapitotarpeet. Jokaista kustannusta ja kustannukseen vaikuttavaa tekijää on mahdoton huomioida, etenkin tarkasteluajan ollessa pitkä. Elinkaarikustannuslaskennan lopputuloksia on siis tulkittava harkiten.

Rakennukset ovat uniikkeja ja eri elinkaaren vaiheissa. Tällöin myös korjaussuunnitelmat ja kannattavuusarviot on tehtävä tapauskohtaisesti. Tutkimuksen tulosten perusteella, kun vertailukohteiden keskinäiset erot ovat pieniä, ei voi tehdä päätelmiä energiatehokkuuden parantamisen yleisestä kannattavuudesta muissa kuin tarkastelukohteissa.

Energiatehokkuuden parantaminen on mahdollista tehdä myös vaiheittain. Toisin sanoen rakennukseen eri vaiheissa tehtävien korjausten yhteydessä tehtävät energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet on mahdollista suunnitella yhdellä kertaa, mutta toteuttaa ne samassa tahdissa kuin rakennuksen korjaukset muutenkin tehtäisiin. Vaiheittain korjaaminen on Suomessa tyypillisempää kuin koko rakennuksen korjaaminen kerralla. Vanhojen rakennusten käyttötarkoituksen muutokset ovat tyypillisin tilanne, joissa koko rakennus korjataan kerralla. Myös vuokrataloyhtiöissä tehdään kattavia korjauksia jonkin verran.

6.3.2 Herkkyystarkastelut

Elinkaarikustannuksiin vaikuttavia kustannuksia on selvitetty seuraavin herkkyystarkasteluin:

- pitoaika 20 tai 40 vuotta (lähtöarvo 30 vuotta)
- energian hinta +2,0 %, 2,6 % ja 4,0 %
- energiatehokkuuden investointikustannus -15 %
- energiatehokkuuden investointikustannus +15 %
- energiantarve -10 %.

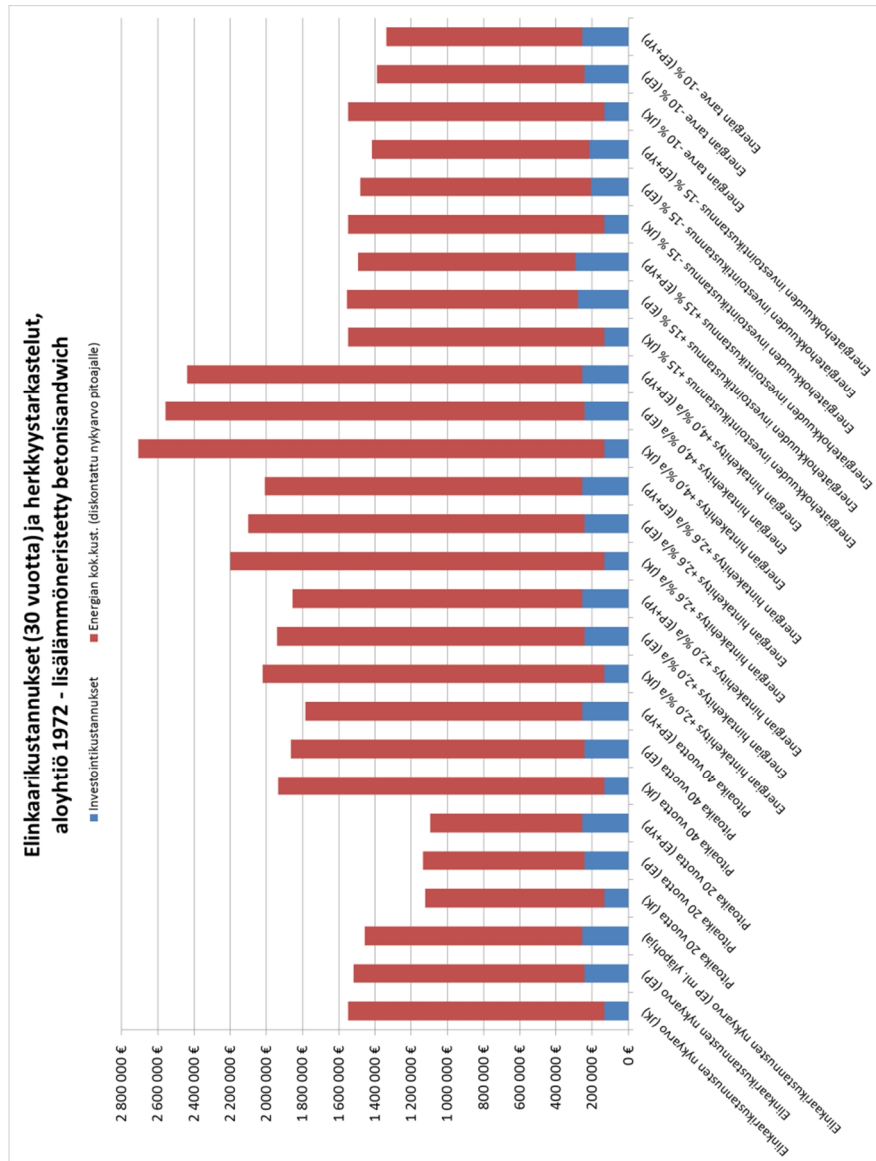
Herkkyystarkastelun tulokset on esitetty kuvissa 59–63. Korjatut rakenteet, kuten eristemateriaalit, kestävät tarkastelu aikaa (30 vuotta) pidemmän ajan, joten on

perusteltua tarkastella myös pidempiä pitoaikojen vaikutuksia sijoituksen kannattavuuteen. Investointi energiatehokkuuden parantamiseen (EP ja EP+YP) muuttuu sitä kannattavammaksi, mitä pidempää pitoaikaa laskelmissa käytetään.

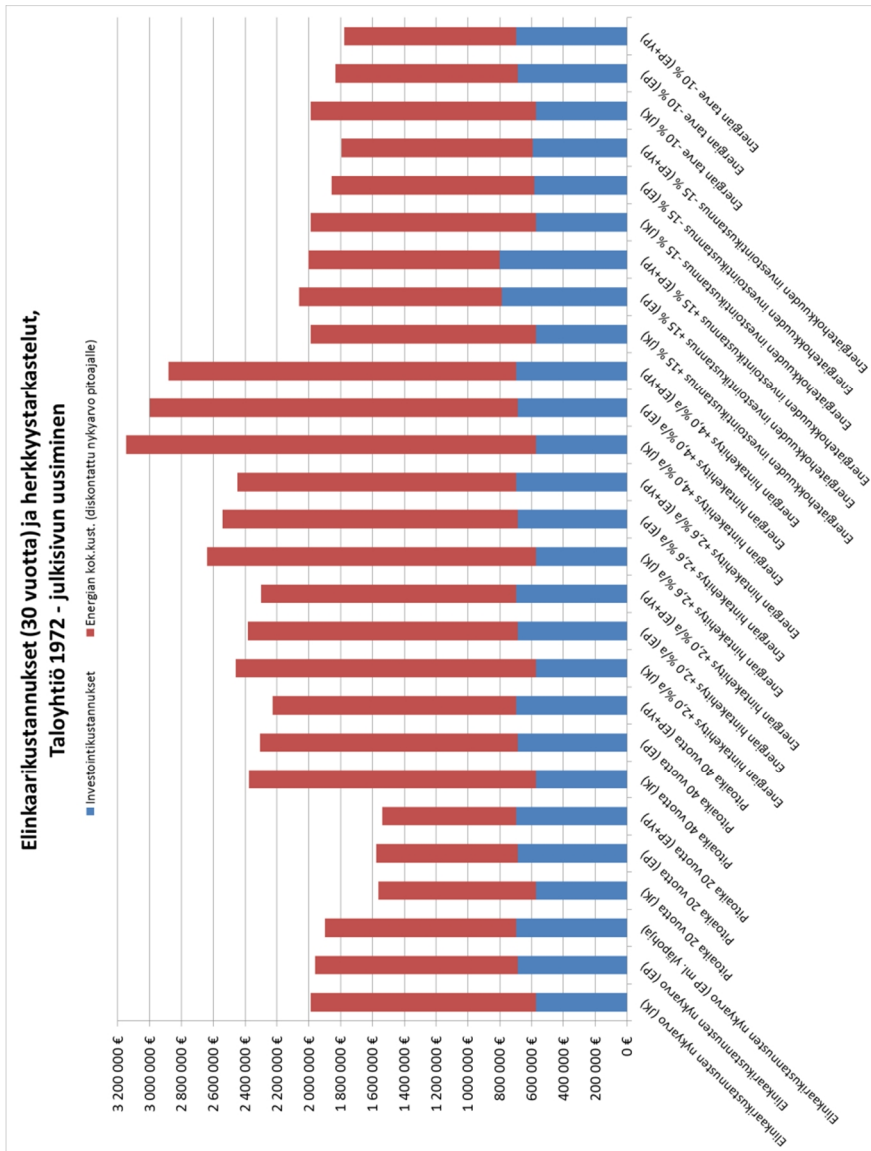
Energian hinnan kohoaminen tekee energiatehokkuuden parantamisesta (EP) yhä kannattavampaa verrattuna julkisivukorjaukseen (JK). Kokonaiselinkaarikustannusten lähtökohdasta tarkastelukohteiden kannattavuuserot ovat kuitenkin pieniä.

Jos energiatehokkuuden parantamisen (EP) investointikustannukset kohoavat (+15 %), ovat enää kohteet "Kerrostalo 1952" ja "1,5-kerroksinen pientalo 1976" elinkaarikustannuksiltaan julkisivukorjausta (JK) edullisempia. Energiatehokkuuden parantaminen, mukaan lukien yläpohjan energiatehokkuuden parantaminen (EP+YP), sen sijaan tekee lisäksi kohteesta "Taloyhtiö 1972 – lisälämmöneristetty betonisandwich" kannattavan. Energiatehokkuuden parantamisesta (EP) aiheutuvien investointikustannusten madaltuminen (-15 %) parantaa tarkastelukohteiden kannattavuutta, joskaan "Yksikerroksinen rivitalo 1976" ei vielä tällöinkään ole kannattava.

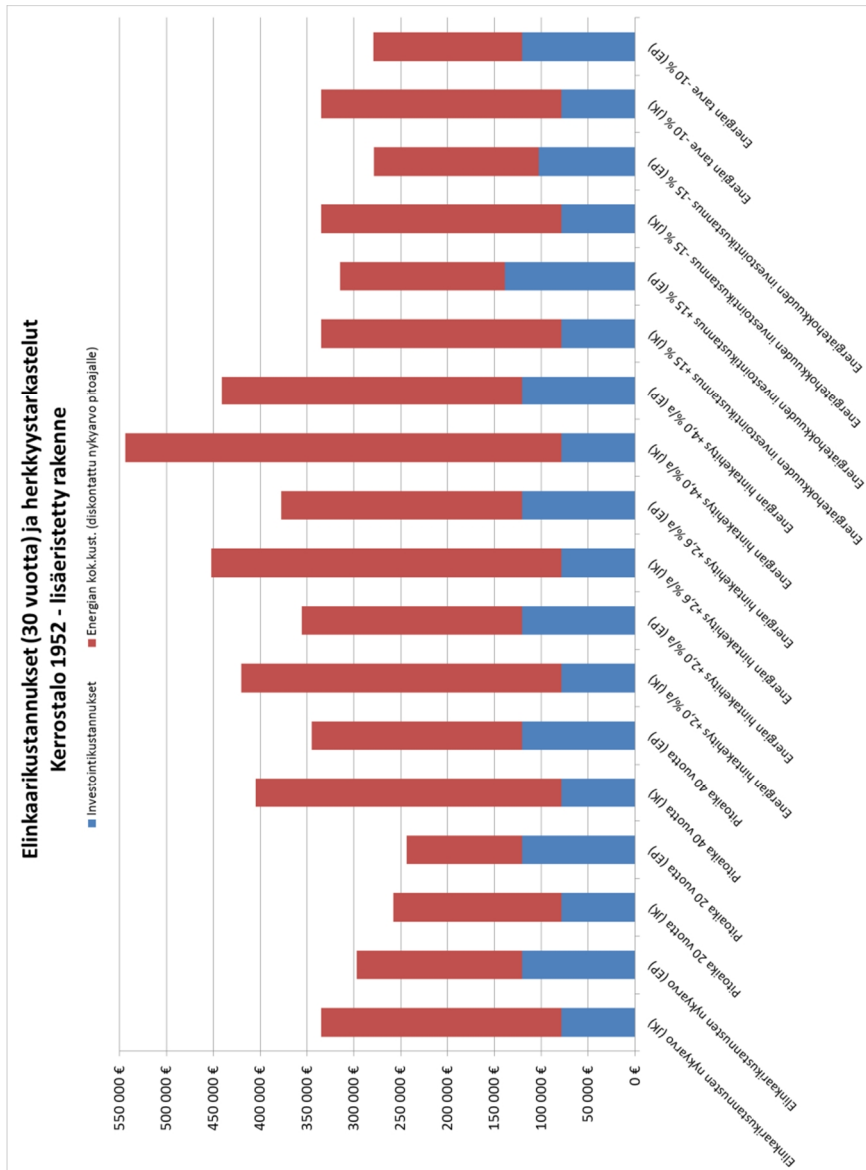
Energian tarpeen vähentyessä (-10 %) kasvaa energiatehokkuuden parantamisen kannattavuus (EP ja EP+YP). Tällöin myös tarkastelussa olleiden ratkaisujen mukaisesti "Yksikerroksinen rivitalo 1976" -kohteen energiatehokkuutta kannattaa parantaa.



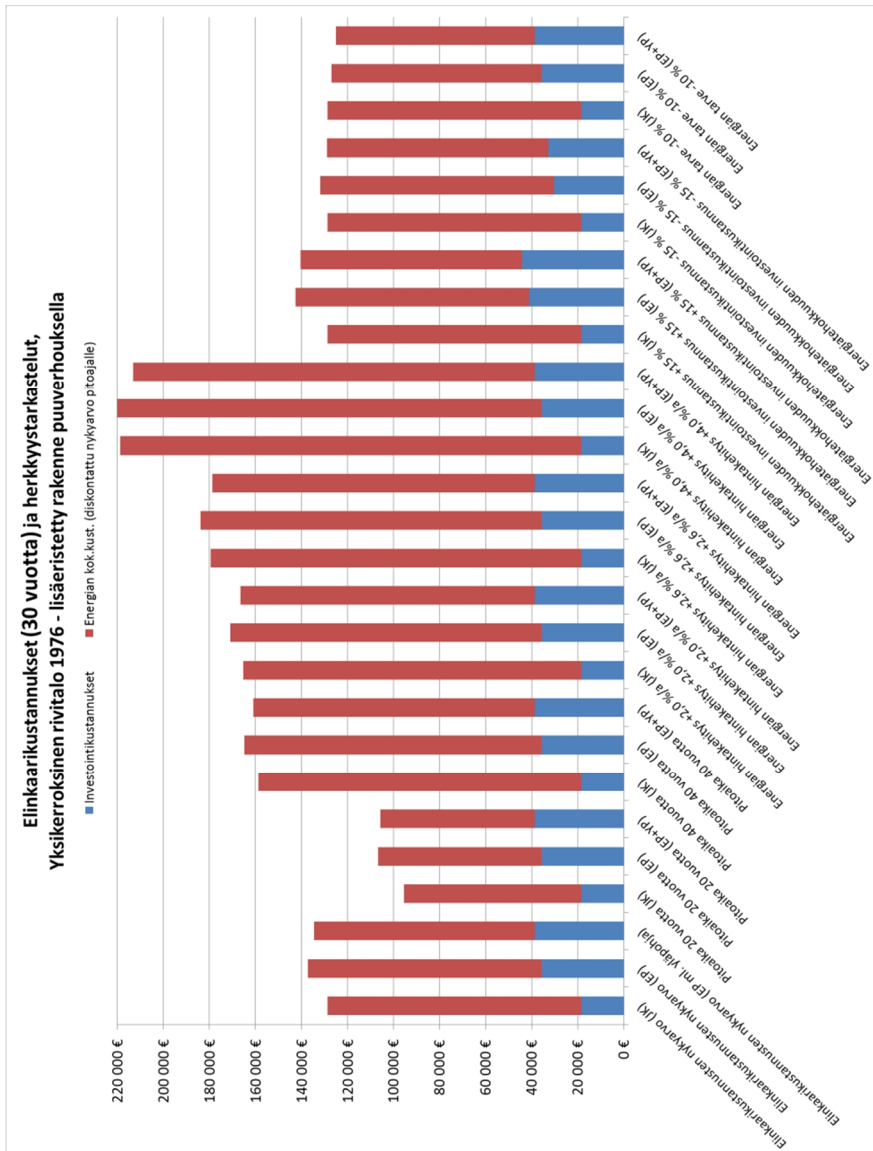
Kuva 59. Herkkyystarkastelut, Taloyhtiö 1972 – lisälämmöneristetty betonisandwich. Lämmitystapana kaukolämpö. JK tarkoittaa julkisivukorjausta, EP energiatehokkuuden parantamista ja YP yläpohjan energiatehokkuuden parantamista.



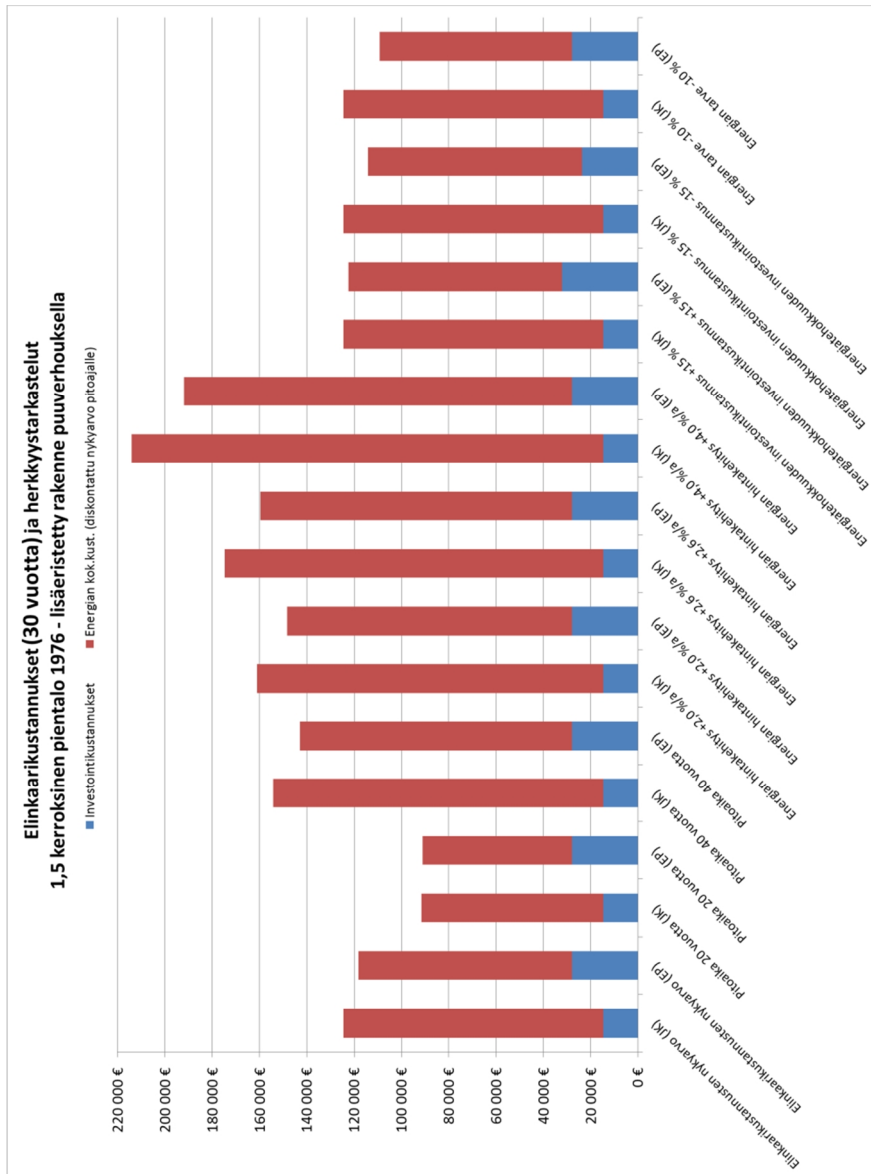
Kuva 60. Herkkyystarkastelut, Taloyhtiö 1972 – julkisivun uusiminen. Lämmitystapana kaukolämpö. JK tarkoittaa julkisivukorjausta, EP energiatehokkuuden parantamista ja YP yläpohjan energiatehokkuuden parantamista.



Kuva 61. Herkkyystarkastelut, Kerrostalo 1952 – lisälämmöneristetty rakenne. Lämmitystapana kaukolämpö. JK tarkoittaa julkisivukorjausta ja EP energiatehokkuuden parantamista.



Kuva 62. Herkkyystarkastelut, Yksikerroksinen rivitalo 1976 – lisälämmöneristetty rakenne puuverhouksella. Lämmitystapana kaukolämpö. JK tarkoittaa julkisivukorjausta, EP energiatehokkuuden parantamista ja YP yläpohjan energiatehokkuuden parantamista.



Kuva 63. Herkkyystarkastelut, 1,5-kerroksinen pientalo 1976 – lisälämmöneristetty rakenne puuverhouskella. Lämmitystapana suorasähkö. JK tarkoittaa julkisivukorjausta ja EP energiatohokkuuden parantamista.

7. Kosteusteknisen toimivuuden varmistaminen

7.1 Korjaustyön edellyttämät selvitykset

Kuntoarvio on asiantuntija-arvio rakennuksen kunnosta arviointiajankohtana. Kuntoarvio on silmäääräinen ja aistinvarainen menetelmä rakennuksen kunnan arvioimiseksi tulevia korjaustarpeita varten. Vaikka kuntoarvio on oleellinen osa rakennuksen ylläpitoa, se ei ole riittävä toimenpide esimerkiksi julkisivujen lisälämmöneristysmenetelmien valinnan tueksi. Kuntoarvion yhteydessä laaditaan kunnossapitosuunnitelmaehdotus (PTS-ehdotus). Ehdotuksen korjausperusteiden ja niiden ajoitusten hyväksytty (esim. taloyhtiön yhtiökokous) versio on kunnossapitosuunnitelma, joka siis sisältää kiinteistön omistajan näkemyksen korjaustavoista ja korjausten kohdentamisesta ja ajoituksesta.

Kuntotutkimuksessa asiantuntija tutkii lisälämmöneristettävän rakennusosan siten, että kyseisen osa-alueen kunto, vauriomekanismit, soveltuvat korjausmenetelmät ja korjausten suositeltava ajankohta saadaan selville riittävällä tarkkuudella korjausratkaisujen valitsemiseksi. Julkisivujen korjauksissa kuntotutkimus on syytä tehdä etenkin silloin, kun rakennuksen ulkovaippa lisälämmöneristetään. Vaikka ulkoseinien lisälämmöneristysratkaisut tyypillisesti kiinnitetään ulkoseinän kantavaan rakenteeseen, kiinnitetään lisälämmöneristys joskus myös esimerkiksi betonisandwichelementin ulkokuoreen. Jotta voidaan varmistua ratkaisun toimivuudesta, on ulkokuoren tekninen kunto ja soveltuvuus kiinnitysalustaksi selvitettävä kuntotutkimuksella.

Rakenteista on kuntotutkimuksen yhteydessä syytä tehdä kosteusmittauksia mahdollisten piilevien kosteusvaurioiden selvittämiseksi. Olemassa olevan rakenteen kosteudenmittauksen menetelmiä ovat pintakosteuden mittaukset, rakenteen suhteellisen kosteuden mittaus sekä näytepalojen ottaminen rakenteesta ja niiden kosteuspitoisuuden määrittäminen painoprosentteina kuivapainosta. Kuivapaino määritetään punnitsemalla näytteet kuivauksen jälkeen.

Pintakosteuden mittaaminen ei välttämättä kerro rakenteen kosteustilaa. Rapattuista rakenteista voidaan selvittää julkisivun eri osien kosteuseroja noin 50 mm syvyyteen saakka. Betonisandwichrakenteesta saadaan selville ainoastaan elementin ulkokuoren kosteudenvaihtelut, jotka voivat samalla indikoida ulkokuoren

raudoituksen korroosion mahdollisuutta. Rakenteen todellinen kosteus voidaan sitten määrittää esimerkiksi näytteistä.

Suhteellisen kosteuden mittausta rakenteeseen poratuista rei'istä kertoo rakenteen senhetkisen kosteustilan mittaussyvyydellä. Suhteellisen kosteuden mittausta soveltuu esimerkiksi ilmaa läpäisevien lämmöneristyskerrosten kosteuden arviointiin.

Puurakenteiden kosteudesta saa melko luotettavan kuvan vastusmittauksella. Puun kosteuspitoisuuden ja suhteellisen kosteuden yhteys eri lämpötiloissa tunnetaan huomattavasti paremmin kuin muilla rakennusmateriaaleilla. Mittaus edellyttää osittaista puurakenteita peittävien kerrosten purkamista.

Kosteusmittausten ongelmana on niiden kohdistaminen oikeille alueille. Todennäköisiä kosteita alueita ovat ulkoseinän alaosat ja sokkelihalkaisulla varustetut perustukset, ikkunoiden, julkisivuihin tehtyjen kiinnitysten ja läpivientien ympärystät, nurkat ja kulmaukset ja etenkin näiden yläosat sekä julkisivun erilaiset saumarakenteet ja räystäsrakenteet. Loivien kattojen ongelma-alueita ovat katon ylänostot ja liikuntasaumot sekä kattokaivojen ympäristät. Yksikerros- ja kermikatteissa voi kuitenkin olla katon huollon tai muun katolla liikkumisen aiheuttamia katevaurioita sekä myös jään aiheuttamia vaurioita etenkin rakenteissa, joiden kaltevuudet ovat liian loivia.

Tuulettumattomien rakenteiden ulkopuolisen lämpökuvauksen avulla voidaan kartoittaa julkisivun ilmavuotokohtia ja sopivan sään vallitessa myös pintakerrosten kosteita alueita. Menettely ei ole tarkka, ja se soveltuu lähinnä hyvin kosteiden betonielementtirakenteiden ja täystiilirakenteiden arviointiin. Toimenpide voi onnistua vain vähintään vuorokauden pituisen tyynen ja pilvisen sään aikana, kun lämpötilaero sisä- ja ulkoilman välillä on yli 20 °C.

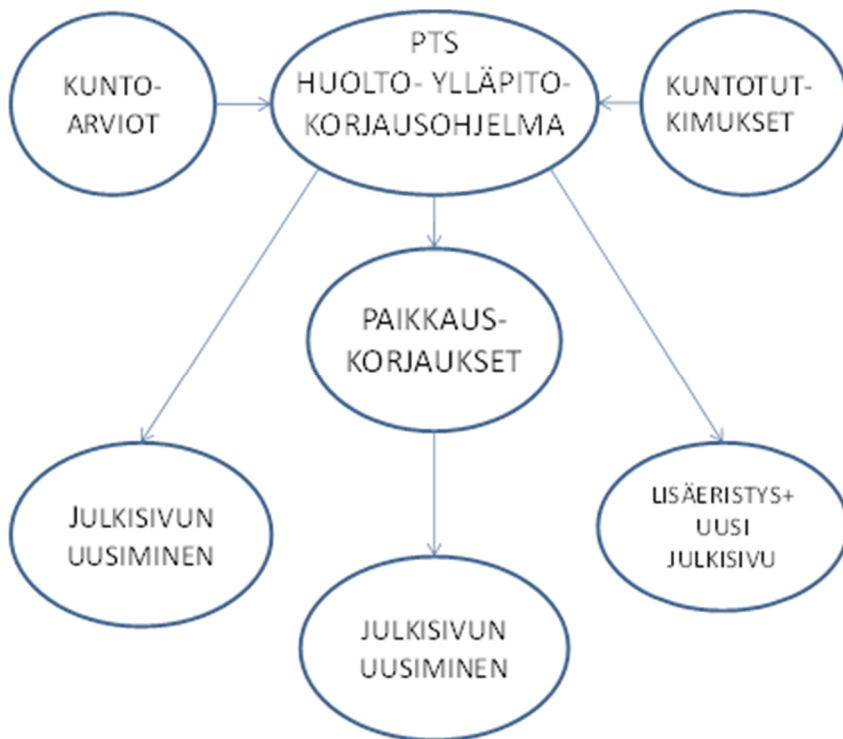
7.2 Korjaustavan valinta

Korjaustavan valinnan tulee perustua rakennuksen kunnossapitosuunnitelmaan (PTS), joka sisältää mm. kiinteistönpitoon kuuluvat ylläpito- ja korjaussuunnitelmat aikatauluineen, ja usein julkisivun kuntoa tarkentavaan kuntotutkimukseen. Esimerkiksi julkisivujen osalta suunnitelma sisältää periaatepäätökset siitä, käytetäänkö julkisivut elinkaarensa loppuun ja uusitaan vasta, kun se on välttämätöntä. Julkisivujen elinkaarta voidaan pidentää edellä mainitussa tapauksessa kohdenne-tuilla paikkakorjauksilla.

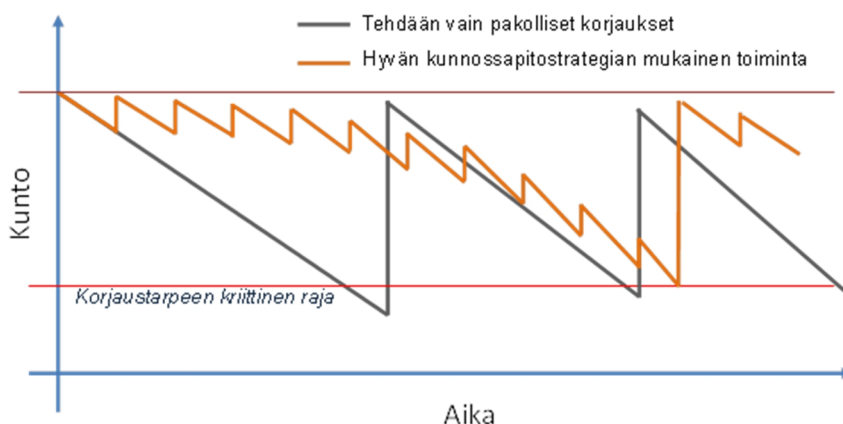
Peruskorjauksessa vanha julkisivupinta puretaan ja ulkoseinät rakennetaan lämmöneristyskerroksesta ulospäin kokonaan uudestaan. Vaihtoehtona on myös vanhan julkisivun lisälämmöneristäminen purkamatta vanhoja rakenteita. Lisälämmöneristysratkaisun edellytyksenä on se, että julkisivun kunto on riittävä, jotta se voidaan jättää paikalleen sellaisenaan tai käyttämällä mahdollisesti lisäkiinnikkeitä sisempiin rakennekerroksiin. Lisälämmöneristysvaihtoehdossa rakennuksen julkisivuun asennetaan uusi julkisivupinta. Lisälämmöneristysvaihtoehtoon liittyy usein myös ikkunoiden aseman siirto ulommas tai ikkunoiden vaihto. Rakenneseinien liittymät, kuten ikkunoiden, ovien, rakennukseen liittyvien katosten ja parvekkeiden liittymät, joudutaan tekemään uudelleen.

Kuva 64 esittää kiinteistönpidon päätöksentekoon vaikuttavat tekijät ja toimintaperusteet. Useissa tapauksissa kohdennetut korjaukset ja hyvä kiinteistönpito lisäävät rakennuksen käyttöikää merkittävästi ennen pakollisia peruskorjauksia. Hyvä kiinteistönpito edellyttää jatkuvaa ylläpitoa ja pieniä paikkakorjauksia, joilla ylläpidetään rakennuksen toimintaa ja parannetaan rakennusosien käyttöikää ja joiden avulla voidaan ennakoida tulevat merkittävät korjaustarpeet.

Kuva 65 hahmottaa eroja hyvin hoidetun ja vain pakollisiin korjauksiin keskittyvän kiinteistönpidon vaikutuksista rakennuksen ja rakennusosien tai -järjestelmien kuntoon. Jos ylläpito ja kunnossapitotoimet laiminlyödään, peruskorjaustarve voi tulla lyhyenkin käyttöajan jälkeen ja monesti ilman, että siihen voidaan huolella valmistautua. Hyvä kunnossapito ennakoi suuret korjaukset, pidentää rakennusosien käyttöikää ja ylläpitää kiinteistön kuntoa ja arvoa.



Kuva 64. Kiinteistönpidon kunnossapito- ja korjausstrategian pelkistetty kuvaus.



Kuva 65. Periaatteellinen kuvaus hyvän ja heikon kunnossapidon vaikutuksesta rakennuksen kuntoon.

7.3 Rakennusten kunnossapito

Asiantuntijoiden laatiman kunnossapitosuunnitelman pohjalta taloyhtiön käsittelemä kunnossapitosuunnitelma (PTS) kuvaa kiinteistön omistajan (taloyhtiön) näkemystä siitä, kuinka taloyhtiötä tullaan tulevaisuudessa hoitamaan, korjaamaan ja kehittämään. Järjestelmällisen kiinteistönpidon avulla on mahdollista pitää rakennuksen rakenteet ja tekniset järjestelmät kunnossa, mikä voi realisoitua rakenteiden ja laitteiden elinkaarien pituuden kasvuna ja energiankulutuksen pienentymisenä.

Tehokkaan kiinteistönpidon apuväline on kiinteistön huoltokirja, jossa on koottuna muun muassa laitteiden ja rakenteiden käyttöohjeet, tekniset käyttöiät ja huolto- ja kunnossapito-ohjeet huoltoaikatauluineen. Asuintalon huoltokirjan käyttö -ohjekortissa (KH 90-00268) esitetään, miten huoltokirjaa voidaan käyttää kiinteistönhoidon, huollon ja kunnossapidon sopimusasiakirjana, suoritusohjeena ja valvonnan apuna. Käyttö- ja huolto-ohje on pakollinen uudisrakentamisessa ja rakennuslupaa vaativissa korjaushankkeissa (Maankäyttö- ja rakennuslaki 958/2012).

Järjestelmällinen ja suunnitelmallinen kunnossapito auttaa pitämään kiinteistönhoitokustannukset hallinnassa. Korjausten aikataulutusta ja suunnittelua varten on olemassa muun muassa selainpohjaisia sovelluksia, kuten NCC:n As Oy Korjauskalenteri Taloyhtiön kunnossapitoon. Lisämääräyksiä ja ohjeita rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeesta löytyy Suomen rakentamismääräyskokoelmasta (RakMk A4) ja maankäyttö- ja rakennuslaista (958/2012) [20–23].

Rakennustieto on julkaissut Asuinkiinteistön kuntoarvio -ohjekortin (KH 90-00294) [22], jossa käydään läpi kaikki kiinteistön kunnan ja korjaustarpeiden kannalta keskeiset osa-alueet, kuten rakenteet, rakennustekniikka ja kiinteistön tilat; LVI-järjestelmät; sähkö- ja tietojärjestelmät; hissit, tilaajan määrittelemällä tavalla; energiatalous; sisäolot, turvallisuus, terveellisyys ja ympäristövaikutukset sekä kiinteistönhoidon kehitystarpeet.

Kiinteistön kunnossapitosuunnitelma (PTS) sisältää seuraavien kymmenen vuoden kunnossapito- ja korjaustyöt arviokustannuksineen. Suunnitelman ja pitkän tähtäimen suunnitelman pohjalta on mahdollista laatia korjausohjelma, jossa huomioidaan kaikki tarkasteluajana suoritettavat korjaustoimenpiteet ja tehtävät, kuten perusparannukset ja -korjaukset sekä kunnossapito- ja korjaustoimenpiteet. Korjaushankkeen suunnittelussa selvitetään edellä mainittujen kohtien pohjalta muun muassa korjaustoimenpiteiden sisältö ja laajuus, korjausvaihtoehdot ja niiden keskinäinen paremmuus, aikataulut, kustannukset ja rahoitustavat.

7.4 Tuuletettu vai tuulettamaton rakenne

Rakenteet voidaan jakaa niiden tuuletustavan perusteella tuuletettuihin, tuuletamattomiin ja lievästi tuuletettuihin rakenteisiin.

Rakentamismääräyskokoelman (osa C4 [17]) mukaan tuulettuva ilmakerros on rakennusosassa oleva ilmapäli, jonka kautta tuulettava ilmapvirtaus kulkee rakennusosan reunalta toiselle. Tuulettuva ilmakerros on joko lievästi tuulettuva tai hyvin tuulettuva riippuen ilmapäliin johtavien aukkojen suuruudesta.

Ilmakerros on lievästi tuulettava, kun ilmakerrokseen johtavien aukkojen yhteenlaskettu pinta-ala on seuraavissa rajoissa:

- enemmän kuin $500 \text{ mm}^2/\text{m}$, mutta enintään $1500 \text{ mm}^2/\text{m}$ pystysuorassa rakenteessa olevan pystysuoran ilmakerroksen pituusyksikköä kohti
- enemmän kuin $500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$, mutta enintään $1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ vaakasuoran ilmakerroksen pinta-alayksikköä kohti.

Esimerkiksi 3 m korkean seinärakenteen normaalikokoisista reikätiilistä muuratun julkisivun aukkojen pinta-ala voi lievästi tuuletetussa tapauksessa olla $1500\text{--}4500 \text{ mm}^2$ välillä, mikä vastaa rakenteen leveysmetriä kohden 1–3 pystysuoran jättämistä auki seinän ala- ja yläpäässä.

Määritelmä on asetettu lämpötekniikan toimivuuden ja ilmapälin lämmönsiirtovastuksen kannalta, mutta se antaa kuvan myös tuuletuksen merkityksestä kosteuden kuivumiseen. Tuulettuvissa rakenteissa ilmapälin ilmanvaihtokerroin on useita kymmeniä kertoja tunnissa, ja se tehostaa ja varmistaa kuivumista. Lievästi tuulettuvissa rakenteissa tuuletus riittää rakenteeseen tulevien pienten kosteuskuormien poistamiseen.

Useimmissa tapauksissa tuulettamat rakenteet ovat kosteusteknisesti toimintavarmempia kuin tuulettamattomat. Siten tuulettamattomien tulisi käyttää korjausrakenteissa silloin, kun se on mahdollista. Olemassa olevien tuulettamattomien rakenteiden muuttaminen korjauksessa tuulettamattomiksi edellyttää korjausrakenteiden toimivuuden tarkkaa selvitystä. Jos olemassa oleva rakenne on tuulettamattomana toiminut hyvin siihen tulevissa kosteuskuormituksissa, voi sen toimivuus vaarantua, jos kosteuden kuivumista rakenteesta heikennetään. Lähtökohtana tulisi olla tuulettamattomien korjausrakenne, jollei rakenteen toimintaperiaatteen muuttamiseen ole perusteluita ja sen toimivuus ole varmistettu.

Tuulettettu korjausrakenne ei kuitenkaan ole yksiselitteisesti aina ainoa toimiva tai edes paras ratkaisu. Tuulettamattomalla korjausrakenteella voidaan parantaa rakenteen muita ominaisuuksia, esimerkiksi ilmatiiviyttä ja suojausta sääoloja vastaan, tai sen materiaalit ovat homehtumista paremmin vastustavia kuin esimerkiksi alkuperäisen tuuletetun ratkaisun. Tällöin tuulettamaton rakenne voi olla hyvin perusteltu korjausratkaisu.

7.5 Lisälämmöneristämisen vaikutus rakennuksen ulkonäköön

Julkisivun uusiminen tai lisälämmöneristäminen vaikuttaa miltei poikkeuksetta rakennuksen ulkonäköön. Mikäli julkisivu uusitaan siten, että seinien lämmöneristypaksuutta lisätään tai mikäli julkisivuun asennetaan lisälämmöneristys, julkisivupinta siirtyy aiempaa ulommaksi. Seinäpaksuuden muutos riippuu valitusta lisälämmöneristystasosta ja mm. julkisivun pinnoitustavan valinnasta. Esimerkiksi tiilikuoren vaihtaminen rapattuun julkisivuun keventää lisälämmöneristyksen aiheuttamaa rakennepaksuuden kasvua.

Kun seinärakenteiden paksuutta kasvatetaan, lyhenevät räystäät julkisivupintaan nähden. Samoin ikkunat ja mahdollisesti perustukset jäävät julkisivupintaan nähden sisemmäksi. Jos rakennuksen ulkonäkö halutaan säilyttää ennallaan, tulee korjaustoimien kohdistua myös ikkuna-, perustus- ja räystäärakenteisiin.

Julkisivun uusimisen tai lisälämmöneristyksen asennuksen yhteydessä voidaan vaikuttaa rakennuksen ulkonäköön myös suunnittelun keinoin. Arkkitehtuuriin voidaan vaikuttaa ulkopinnan laadun, värien ja ulkopinnan muotoilun avulla. Kuvissa 66–70 esitetään korjauksen vaikutuksia kerrostalon ulkonäköön. Osalle rakennuksista on saatu uudet ilmeet julkisivujen pintojen eritasoisuudella, parvekkeiden uudelleen rakentamisella ja väreillä.



Kuva 66. Peruskorjausta odottava rakennus (yllä) ja sama rakennus korjauksen lopussa (alla).

7. Kosteusteknisen toimivuuden varmistaminen



Kuva 67. Vanha rakennus yllä ja rakennus peruskorjauksen jälkeen alla.



Kuva 68. 1970-luvun kerrostalo ennen peruskorjausta (yllä) ja peruskorjauksen jälkeen (alla).



Jakomäen kerrostalot, peruskorjaus
Louhikkotie 20 a ennen ja nyt

Arkkitehtitoimisto Erat Oy

Kuva 69. 1970-luvun kerrostalo, jonka ulkonäkö on korjauksessa muuttunut merkittävästi. Talo ennen peruskorjausta (yllä) ja peruskorjauksen jälkeen (alla).



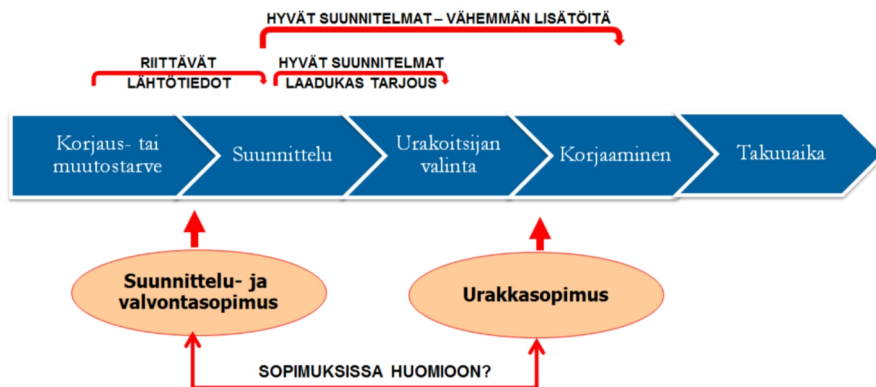
Kuva 70. 1940-luvun omakotitalo ennen peruskorjausta (yllä) ja havainnekuva suunnitellusta peruskorjauksesta (alla). (Lähde: Arkkitehtuuritoimisto Kimmo Lylykangas Oy.)

7.6 Korjaustyön hankinta

Korjaustyön hankinta edellyttää tarvittavien selvitysten teettämistä, jotta korjaustyön laajuus voidaan arvioida ja työlle asettaa tavoitteet. Korjaustyön organisointi riippuu valitusta työn toimitustavasta. Kerrostalon ilmastomuutos – KIMU -projektissa [18] tarkasteltiin korjaushankkeen toteutustapoja asunto-osakeyhtiöiden kannalta. Yleensä taloyhtiöiden korjaushankkeet toteutetaan pääurakkamuotoisina, jolloin taloyhtiö siirtää vastuun hankkeen tehtävien suorittamisesta urakoitsijalle toteutussuunnittelun jälkeen. Tällöin suunnittelu ja rakentaminen ostetaan erillisillä sopimuksilla.

Pääurakkamuodon heikkoutena on muun muassa sen monivaiheisuus, joka altistaa korjaushankkeen useille riskeille. Pääurakkamuotoisessa toteutustavassa suunnittelija ei yleensä tiedä tulevaa urakoitsijaa eikä voi hyödyntää urakoitsijan kustannustietoutta ja tuotantotapoja. Pääurakkamuodon etuna on kuitenkin urakkamuodon tunnettuus muihin urakkamuotoihin verrattuna.

Korjaushankkeen toteutustapa eli urakkamuoto määräytyy yleensä sen perusteella, siirtääkö rakennuttaja hankkeen tehtävien suoritusvastuun urakoitsijalle hankesuunnitteluvaiheessa, sen jälkeen vai toteutussuunnittelun jälkeen. Kuvan 71 periaatepiirroksessa on kuvattu pääurakkamuotoisen hankkeen periaatteelliset vaiheet.



Kuva 71. Esimerkki pääurakkamuotoisesta hankkeesta, jossa suunnittelu ja urakointi hankitaan erillisillä sopimuksilla. (Lähde: Korjaushanke haltuun -pikaopas, Kiinteistöliitto [25].)

Asunto-osakeyhtiö tilaajana eli rakennuttajana [25]:

- määrittää, mitä halutaan tehdä
- organisoii hankkeen (eri osapuolten roolit, kuka tekee mitään)

- vastaa suunnittelusta: valitsee hankkeelle pätevän projektinjohtajan, suunnittelijan, urakoitsijan ja valvojan kilpailutuksen kautta
- nimeää hankkeeseen sen vaativuutta vastaavan pätevän turvallisuuskoordinaattorin
- huolehtii tilaajavastuulain mukaisten velvollisuuksien täyttämisestä
- vastaa esimerkiksi suunnittelijalle antamistaan tiedoista ja tarvittavien viranomaislupien hakemisesta (ks. tarkemmin jäljempänä tilaajan velvollisuudet korjaushankkeessa)
- taloyhtiön johdon (hallitus, isännöitsijä) tehtävänä on valvoa sopimusosapuolten (projektinjohtaja, suunnittelija, valvoja) toimintaa ja huolehtia tarvittavien päätösten tekemisestä yhtiössä sekä järjestää hankkeen aikainen tiedottaminen.

Projektinjohtaja:

- vastaa rakennuttamistehtävien suorittamisesta ja päätösten valmistelusta tilaajalle, joka tekee lopulliset päätökset.

Pääurakoitsija:

- vastaa urakkasopimuksen mukaisen työsuorituksen aikaansaamisesta sovitussa ajassa tilaajalle – vastuu perustuu siis urakkasopimukseen
- vastaa täysin aliurakoitsijoiden toimista suhteessa tilaajaan.

Suunnittelija ja valvoja:

- vastaa konsulttisopimuksen perusteella tilaajalle oman työsuorituksensa asianmukaisuudesta.

Hankesuunnitteluvaiheen periaatteellinen vaiheistus on esitetty kuvassa 72 [19]. Hankesuunnittelun avulla selvitetään korjaushankkeen sisältö siten, että taloyhtiö voi pyytää yksilöidyt tarjouspyynnöt joko pelkästä suunnittelusta tai suunnittelusta ja toteutuksesta.

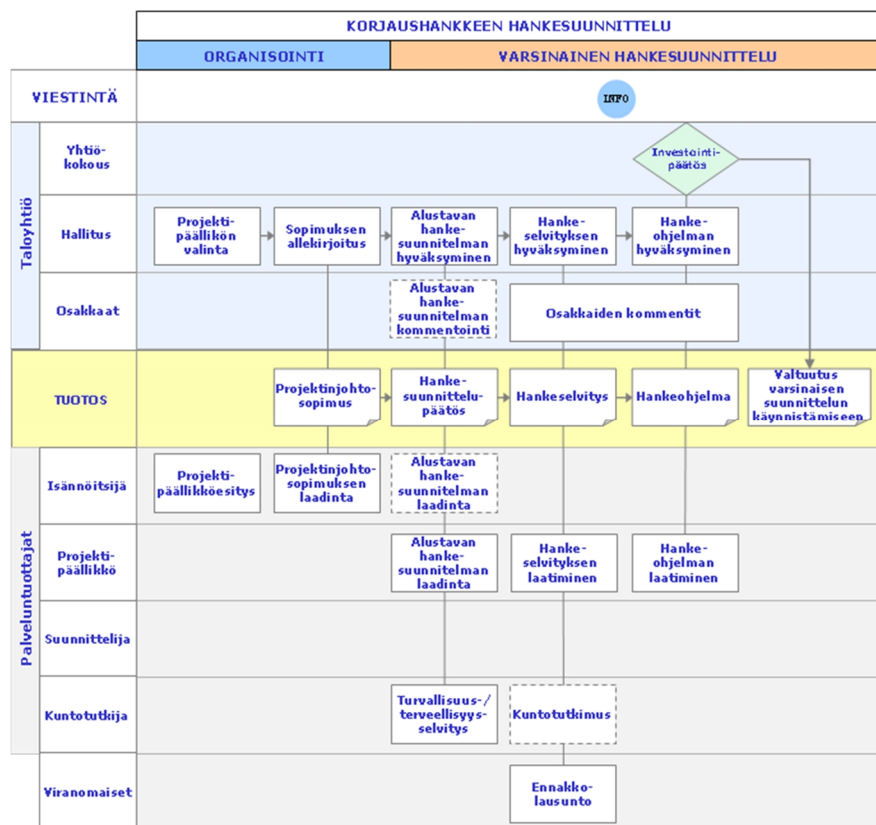
Hankesuunnittelun päävaiheita ovat hankkeen organisointi, hankeselvityksen laadinta ja päätösten kirjaaminen hankeohjelmaksi. Hankeselvitysvaiheen tehtäviin kuuluvat kiinteistön perustietojen kokoaminen, nykytilan selvitys, soveltuvien korjausvaihtoehtojen ja toteutustapojen selvitys ja vertailu, hankeaikataulun tekeminen, rahoitusvaihtoehtojen ja mahdollisten avustusten selvittäminen sekä arvio riskeistä ja turvallisuusasioista.

Hankeselvitysvaiheeseen kuuluu myös rakennuslupaedellytysten selvittäminen rakennusvalvontaviranomaisilta ja osakkaiden tahtotilan selvittäminen.

Korjaustyölle valitaan pääsuunnittelija ja etenkin laajoissa korjauksissa myös mahdollinen energiakonsultti erillisen tarjouspyyntömenettelyn tai rakennuttajan suoran tilauksen kautta. Lisäksi hankkeen onnistuminen edellyttää tilaajan oma-valvontaa suunnittelusta toteutukseen ja käyttöönottoon. Hankesuunnitelmassa tulee esittää laadunvarmistuksen perusteet ja tarkastuspisteet. Julkisivujen lisä-

7. Kosteusteknisen toimivuuden varmistaminen

lämmöneristämässä oleellisen tärkeää on varmistaa erilaisten detaljirakenteiden toteutuksen laatu.



Kuva 72. Hankesuunnittelun periaatteellinen vaiheistus [19].

Korjaustyön suunnitteluvaiheessa on syytä valita korjauksessa käytettävät tuoteratkaisut, joista voidaan poiketa vain tilaajan hyväksynnällä. Rakennuttaja tai kohteen energiakonsultti laatii energiatalouteen liittyvän tarjouspyyntömateriaalin.

Molemmissa esitetyissä toteutusmalleissa on kuitenkin jo tarjouspyyntövaiheessa esitettävä vaatimukset toteutukselle ja sen laadun valvonnalle. Suurissa korjaushakkeissa tulisi esittää ainakin seuraavat asiat jo tarjouspyynnöissä:

- toteutusorganisaatio
- osallistuvien yritysten kokemus ja referenssit energiakorjausten toteutuksesta
- laadunvarmistusmenettelyt
- työmaan johto
- työmaan kosteudenhallintasuunnitelma
- käyttöönottotarkastukset.

7.7 Kosteudenhallinta korjausprosessissa

Korjausprosessin keskeinen tavoite on tuottaa toimiva lisälämmöneristysratkaisu. Rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden varmistaminen on toimivuuden edellytys. Rakenteiden kosteustekninen suunnittelu perustuu kosteusriskien tunnistamiseen, niiden vaikutuksen rajoittamiseen ja rakenteen kosteusteknisen varmuuden (kuivumiskyvyn) varmistamiseen. Periaatteena on, että rakenteeseen tulevan kosteuden tulee tuulettua siitä pois ilman, että se aiheuttaa kosteusvaurioriskiä.

Seuraavassa on esitetty lisälämmöneristystyömaan kosteudenhallintasuunnitelman laatimisen peruseriaatteen. Samassa yhteydessä on syytä suunnitella myös sää- ja olosuhdesuojaus sekä materiaalien suojauksen varastoinnin ja asennuksen aikana. Suojauksessa on otettava huomioon mm. suojauksen sadetta vastaan, myrskytuulen aiheuttama sateen ja lumen tunkeutuminen suojaukseen sekä suojausten rikkoutumisriskin ehkäisy, suojauksen maaperästä nousevaa kosteutta vastaan sekä suojauspaikan maan kallistusten ja pintavesien virtausten vaikutus kastumisriskiin.

Kosteudenhallintasuunnitelma on oleellinen osa projektin laadunvarmistusta (ks. esim. RATU S-1232, 2013 Rakennustyömaan sääsuojauksen). Suojauksen tavoitetaso on oltava osa tarjouspyyntöasiakirjoja. Suunnitelmassa määritetään urakoitsijan toimenpiteet ja seurantatavat, joilla hallitaan korjausrakentamisen kosteusriskejä. Rakennustyömaan kosteudenhallinnan tavoitteena on estää kosteusvaurioiden synty, varmistaa, että korjattavat rakenteet pysyvät kuivina tai kuivuvat tavoitekosteustilaansa ilman aikatauluviivytyksiä, sekä vähentää rakenteiden kuivatustarvetta ja materiaalihukkaa.

Kosteudenhallinta koostuu ennakkosuunnittelusta, työmaan toimenpiteistä, dokumentoinnista ja valvonnasta. Kosteudenhallintasuunnitelma tehdään yksilöllisesti kullekin työmaalle. Suunnitelmaa laadittaessa kiinnitetään erityistä huomiota rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen, kuivatustarpeeseen, materiaalien kosteuden sietokykyyn sekä kosteusteknisesti kriittisten rakenneosien toteuttamiseen.

Kosteudenhallintasuunnitelma on pääurakoitsijan laatima projektikohtainen suunnitelma. Sivu-urakoitsijat ovat velvollisia osallistumaan suunnitelman laatimiseen. Suunnitelmaan tulee sisällyttää ainakin seuraavat asiat:

1. kosteusriskien kartoitus
2. kosteusmittausuunnitelma
3. työmaaolosuhteiden hallinnan suunnittelu
4. kosteudenhallinnan organisointi, seuranta ja valvonta.

Kosteusriskien kartoituksessa tarkastetaan kohteen rakennus- ja rakennesuunnitelmat ja kartoitetaan kosteusteknisesti kriittiset rakenteet, tuotteet ja materiaalit. Tavoitteena on selvittää, onko kohteessa sellaisia rakennusratkaisuja, joilla on vaikutusta lisälämmöneristystyön toteutukseen ja mahdollisiin kosteusriskeihin. Samalla voidaan eliminoida mahdolliset rakennusfysikaaliset suunnitteluvirheet. Kosteudenhallintasuunnitelmassa yleisesti huomioitavia kohtia ovat mm.

- pintavesien ohjaaminen ja kuivatusjärjestelmät

- salaojitus
- perustusrakenteet
- alapohjarakenteet
- maanpaineseinät
- julkisivut ja niiden detaljirakenteet
- parvekkeiden rakennedetaljit ja liitokset
- vesikatot
- pihakannet
- märkätilat
- vesijohdot ja viemärit.

Rakennesuunnitelmien tavoitteena on estää liiallisen kosteuden pääsy rakenteisiin. Suunnittelussa ja toteutuksessa on kuitenkin otettava huomioon myös ylimääräisen kosteuden poistumistiet ja rakenteiden kuivattamisen mahdollisuus. Kosteusriskien kartoituksessa arvioidaan riskejä eri rakenteiden mahdollisista kosteusongelmista. Kartoituksessa kootaan luettelo kosteusteknisesti kriittisistä ja riskialttiista rakenteista, joiden suunnitteluun ja toteutukseen työmaalla voi liittyä kosteusteknisiä ongelmia tai joissa myöhemmin on riski kosteusvaurioiden synnylle. Luettelon perusteella työnjohto voi valvonnassaan kiinnittää huomiota näiden rakenneyksityiskohtien toteutukseen ja suojaukseen kosteudelta.

Rakennusmateriaalit ja rakenteet voivat sisältää rakennuskosteutta eli valmistuksen jäljiltä materiaaliin jäänyttä kosteutta. Materiaalien kosteustaso ei kuitenkaan saa kasvaa varastoinnin, kuljetuksen ja asennustöiden aikana. Ylin hyväksyttävä alkukosteustaso on korkeintaan 80 % RH tasapainotilassa hygroskooppisesti sitoutunut kosteus määrä, mutta pyrkimys on selvästi tätä alempiin kosteuksiin. Jos materiaalit kastuvat, niiden kosteus ylittää tämän tason huomattavasti. Kaikki ylimääräinen kosteus tulee kuivata asennettavista materiaaleista ennen asennusta, tai ne on vaihdettava kuiviin.

Kosteuden vaikutukset rakenteisiin ja materiaaleihin riippuvat materiaalien ja rakenteiden kosteudenkestävyydestä ja kuivumisominaisuuksista. Suurimmasta osasta rakenteita rakennuskosteus kuivuu aiheuttamatta rakenteelle tai sen ympäristölle ongelmia. Joissakin rakenteissa kosteuden poistuminen voi kuitenkin olla liian hidasta suhteessa rakenteen kosteudensietokykyyn. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi huonosti tuulettuvat kevyet ulkoseinärakenteet, joissa tuulensulun vesihöyrynläpäisevyys on pieni.

Kosteudenmittaussuunnitelman tarkoituksena on varmistaa, että korjattavaan tai säilytettävään rakenteeseen ei jää haitallista kosteutta. Alkuperäisen rakenteen mittauksessa voidaan käyttää ainetta rikkovia menetelmiä. Uusitun julkisivun kosteuden mittauksessa on syytä käyttää ainetta rikkomattomia menetelmiä tai rakennusvaiheessa rakenteisiin asennettavia ja sinne jätettäviä kosteusantureita. Suunnitelmassa esitetään mittausaikataulu ja mittauspisteet. Kosteudenhallintasuunnitelmassa tulee myös esittää hyväksyttävät kosteustasot ja mittausmenetelmä.

Työmaalla olevat rakennusmateriaalit tulee suojata asianmukaisesti myös maakosteudelta, esimerkiksi huolehtimalla riittävästä tuuleutuksesta ja eristämällä

rakennusmateriaalit maasta, jotta kosteus ei pääse nousemaan maasta rakennusmateriaaleihin.

Työmaaolosuhteiden hallinnan suunnittelun tarkoituksena on määritellä toimenpiteet, joilla estetään rakenteiden ja rakennusmateriaalien työmaa-aikainen kastuminen sekä luodaan kohteeseen optimaaliset olosuhteet alkuperäisten rakenteiden kuivattamiseksi. Kosteudenhallinta edellyttää rakenteiden ja materiaalien sääsuojauksen toteutusta ja tarvittaessa rakenteiden kuivatuksen järjestämistä ja kuivatuksen onnistumisen todentamista ennen kuin rakenteet pinnoitetaan. Suojaustarve voidaan jaotella seuraavasti [20]:

- Ulkona peitettynä varastoitavat
 - o Betonituotteet
 - o Metallituotteet
 - o Muovipohjaiset lämmöneristeet
- Kosteudelta ja auringolta suojattavat
 - o Muuraustuotteet
 - o Runkopuutavara
 - o Julkisivutuotteet
 - o Talotekniikan putket
 - o Mineraalivillaeristeet
- Kylmävarastossa (kontissa) varastoitavat
 - o Ikkunat ja ovet
 - o Arvokas talotekniikka, laitteet, valaisimet, kaapelit
- Lämpimässä ja kuivassa varastoitavat
 - o Pintatuotteet kuten parketit, tapetit, maalit, tasoitteet
 - o Kalusteet, varusteet, hanat, kodinkoneet.

Kosteudenhallinnan organisointi, seuranta ja valvonta ovat osa pääurakoitsijan laadunvarmistussuunnitelmaa. Sopimusasiakirjoissa sovitaan eri osapuolten tehtävät ja vastuut kosteudenhallinnan osalta. Kosteudenhallinta perustuu rakennuksesta tehtyyn kosteusriskien kartoitukseen sekä korjauskohteessa käytettävien tuoteratkaisujen asentamisesta annettuihin ohjeisiin suositeltavine asennusolosuhteineen. Kosteudenhallinta edellyttää, että poikkeusolosuhteet, vesivahingot, kosteudenmittausten tulokset sekä työmaa-aikataulusta ja tehdyistä suunnitelmista poikkeamiset dokumentoidaan. Vastuu kosteudenhallinnasta tulisi antaa työmaan suunnittelussa määrätyille henkilöille.

Kosteudenhallintaan liittyviä käytännön ohjeita ovat mm. seuraavat [20]:

- Työmaamontun kuivatus
 - o Tarvittaessa työnaikaiset pumpput
 - o Salaojitus ja pohjan kuivatuskerrokset tehdään ensimmäiseksi
 - o Tarkasta, että pohja kuivaa sateella, kaadot oikein, salaojat toimivat

- Materiaalien varastointitilat kuntoon, pressut yms.
- Betonin, muurausten ja tasoitteiden kuivamisajat lasketaan/arvioidaan rakennesuunnittelijan kanssa
- Keskity runkotyön nopeuteen, suojaa työvaiheet vedenohjaimilla ja pressuilla
- Tee vesikatto päälle heti ja suojaa aukot (ikkunat ja ovet mielellään paikalleen tai muovisuojaus)
- Aloita kuivatus (lämmöt päälle) ja vedä hetki henkeä tai tee ulkotöitä
- Kuivatuksessa lämpö ja ilmanvaihto tärkeää, pakkasilman lämmittäminen ja sisään siirtäminen kuivaa tehokkaasti
- Käytä tarvittaessa kuivaimia ja lämpöpuhaltimia nurkissa
- Betonilattia ei kuiva, jos pintakalvoa hierretä rikki
- Betonin raekoko mahdollisimman suuri ja vesisementtisuhde pieni, kuivaa nopeammin
- Tasoitetyöt, kun runko on kuiva, tee kerralla pois ja kuivata uudestaan
- Laatoitustöistä tulee kosteutta sisään, kuivata
- Työmailla sattuu usein vesivahinkoja:
 - o Putkiliitosten vuotoja
 - o Vesimittarin tai putkien jäätymisiä
 - o Ämpäreiden kaatumisia
- Ennaltaehkäise vuotoja olemalla huolellinen
- Kuivaa vuodot heti
- Henkilökunnan ohjeistus ja perehdyttäminen vesivahingon varalta: miten toimia heti, kun havaitaan vesivahinko tai sen riski.

Taulukko 13 kuvaa, miten toimivuus varmistetaan prosessin eri vaiheissa. Alkuperäisten rakenteiden kosteusriskit tulee kartoittaa.

Taulukko 13. Kosteusteknisen toimivuuden varmistaminen rakenteiden ulkopuolissa lisälämmöneristämässä.

Rakentamisen vaihe	Toimenpiteet, vaikutusmahdollisuudet, keinot yms.
Tavoite-asetanta, kilpailutus	Kosteudenhallintasuunnitelman vaatiminen (vrt. Oulun Rakennusvalvonta) Suunnittelun ja toteutuksen laatukriteerit kilpailuttamista varten Lämmöneristävyyden ja ilmanpitävyyden varmistaminen sekä sadeveden pääsyn estäminen rakenteeseen Kuivumiskyvyn ja kosteusteknisen toimintavarmuuden säilyttäminen tai parantaminen alkuperäiseen verrattuna Kosteusteknisen toimivuuden tavoitearvot: ilmapuotoluku, rakennekerrosten kosteudensiirto-ominaisuudet Rakennuksen vaipan ja taloteknisten järjestelmien toimivuus yhdessä: tarvittavat selvitykset ja mittaukset
Suunnittelu	Rakennetyyppien suunnittelu rakennusfysikaalisesti toimiviksi käytännössä toteutettavin ratkaisuin Detaljisuunnittelu viistosateiden kannalta Tuuletetut julkisivut: tuuletuksen toimivuus, tuulensuojaus, sääsuojaus, veden tunkeutumisen estäminen sisäpuolisiin rakenteisiin, veden viemä-rönti ulos haittaa aiheuttamatta, ulkoverhouksen toimivuus Rapattu, tuulettumaton julkisivu: rappauksen ja sen alustan vesihöyrynlä-päisyominaisuudet verrattuna kuivumiskykyvaatimuksiin, toimivuuden muut kriteerit, kuten korroosioriski, kestävyys iskuja tai muita kuormia vastaan, aukotusten viimeistely veden tunkeutumista vastaan Sisäpuolisten kosteuskuormien, alkukosteuksien ja mitoitukseen mukaan otettavan lisävarmuuden arviointi ja näiden perusteella asetettava kuivu-miskykyvaatimus Ulkopuoliset kosteuskuormat suunnittelun mukaisessa tilanteessa ja riskit ylimääräisistä kuormista ulkoa arvioidaan Kesäkondenssin riskin arviointi vähintään rakennuksissa, joissa on tarve sisäilman lämpötilojen hallintaan jäähdytyksen avulla Suunnitteluratkaisulla varmistetaan, että tavoitearvot saavutetaan ja sekä ulko- että sisäpuolinen kosteuden siirtyminen ja hallitsematon ilmanvirtaus minimoidaan rakenteellisin keinoin ja materiaalivalinnoin Rakenteen toimivuuden varmistaminen kosteusteknisellä simuloinnilla vähintään silloin, kun suunnitteluratkaisusta ei ole tarvittavia ohjeita toimi-vuuden varmistamiseksi Energiakorjausten yhteydessä annetaan ohjeistus sisäpuolisten korjaus-toimenpiteiden kuten märkätilojen uusimisen suunnittelussa käytettävistä hyväksi koetuista ratkaisuista kosteusteknisen toimivuuden lisävarmistami-seksi (suihkukaapit, vedeneristykseen laatuvaatimukset) Sää- ja olosuohdesuojauksen suunnittelu ja suojaustehtävien vastuuttaminen Detaljiratkaisut työmaadokumentteihin Rakennustyöselityksessä yksilöidään käytettävät tuotteet ja tarvikkeet, jotta kosteudenhallintasuunnitelman tavoitteet voidaan toteuttaa Suunnittelukokouksissa käydään läpi kosteustekninen toiminta ottaen huomioon myös lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän toiminta

7. Kosteusteknisen toimivuuden varmistaminen

	Varmistetaan se, että rakennesuunnitteluun ei mene rakennusfysikaaliselta toimivuudeltaan epäilyttäviä ratkaisuja (erityisesti jos korkeita tiloja). Mikäli käytetään vesihöyryä sitovia eristeitä, kuten selluvillaa, varmistetaan että rakenne toimii oikein Linjasaneerausten yhteydessä putkivetojen ja läpivientien suunnittelu siten, että mahdolliset ulkovaipparakenteiden kostumiseen johtavat vuodot havaitaan heti
Rakentamisen valmistelu	Tarjousasiakirjojen esittely, jotta tarjouspyyntöasiakirjojen sisältö on ymmärretty oikein Laadunvarmistuksen vaatimukset Työturvallisuuteen liittyvät vaatimukset
Rakentaminen	Toteutuksen ohjeistus Korjaustyön valvonta: suunnitelmien noudattaminen, huolellinen työn toteutus Työn laadun varmistaminen hyväksyntämenettelyillä Työmaan tiedonkulun varmistaminen: tiedonkulku työmaalla molempiin suuntiin ja esille tulevien ongelmien ratkaisu yhteistyössä suunnittelijoiden kanssa Julkisivun sateenpitävyyden varmistaminen suunnitelmien mukaisella toteutuksella Työmaakokoukset: • Suunnitteludetajit ja niiden käytännön toteutus • Asennusten ja lopputuloksen valvonta ja hyväksyntä
Käyttöönotto	Työn tuloksen silmämääräinen tarkastus erityisesti detajien toteutuksen osalta. Käyttöönottokokeet: • Ulkovaipan ilmanpitävyys • Lämpökuvaus tai savukokeet • Ilmanvaihdon tasapainotus painesuhteiden hallitsemiseksi • Korkeiden tilojen painesuhteiden tarkastus
Käyttö ja ylläpito	Varmistetaan, että lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät toimivat suunnitellulla tavalla Määräaikaiset silmämääräiset tarkastukset Vaurioitumisen ja toimivuuden seuranta ja vaurioiden ja virheiden välitön korjaaminen Huoltotoimenpiteinä kittausten, kiinnikkeiden, maalausten yms. tarkistukset ja tarvittaessa huoltokorjaukset jo ennen vaurioitumista Rapattujen tuulettamattomien julkisivujen vaurioitumisen seuranta, tarkastukset, pellitysten toimivuuden varmistus, detajien tiivistysten korjaukset

Kuvissa 73–77 esitetään muutamia käytännön suojaustoteutuksia korjausrakentamisen aikana. Rakennustyömaan suojaus sateelta ja tuulelta on tärkeää kaikkina vuodenaikoina. Myös rakennusmateriaalit tulisi suojata hyvin sateelta, maaperän kosteudelta ja pintavesiltä.



Kuva 73. Rakennuksen sääsuojaus on kattava, mutta materiaalien suojauksesta ei ole huolehdittu.



Kuva 74. Rivitalon kattokorjauksessa koko katto on sääsuojattu. Osa materiaaleista on varastoitu sääsuojan alle, osa suojattuina ulos.



Kuva 75. Koulurakennuksen suojaus korjausvaiheessa (vasen kuva) ja rakennuksen korjattu osa (oikeanpuoleinen kuva).



Kuva 76. Kerrostalon kattosuojauksen rakentamisvaihe.



Kuva 77. Tarkoituksenmukainen suojaus parvekesaneeraustyömaalla.

8. Käyttöönotto, käyttö ja huolto ja kunnossapito

Rakennuksen ulkovaippaan kohdistuvan korjaustarpeen ja korjausten ajoituksen perustana tulee olla riittävä rakenteen kunnon arviointi. Kuntotutkimuksella voidaan selvittää rakenteen kunto erityisesti kerrostalojen korjauksissa. Kuntotutkimuksella arvioidaan rakenteen tila, jotta pystytään arvioimaan rakenteen jäljellä oleva käyttöikä. Näiden tietojen avulla voidaan hankesuunnittelussa ajoittaa korjaukset oikein ja korjauksen suunnittelu voidaan toteuttaa kuntoa vastaavalla laajuudella. Kun rakenteen kunto tunnetaan, rakenne voidaan hyödyntää joko sen teknisen elinkaaren loppuun tai korjata esimerkiksi energiakorjausten yhteydessä ennakoivana korjauksena tai välttämättömien ylläpitokorjausten yhteydessä.

Kuntoarvio ja -tutkimus voivat antaa tuloksena tiedon siitä, että raudoitusten ja etenkin ulkokuoren kunto edellyttää korjauksia. Tuloksista tulisi selvittää arvioitu aikajänne, jona aikana ulkokuoren kunto huononee purkukuntoon. Tällöin kiinteistön omistaja joutuu tekemään periaatepäätöksen siitä, tehdäänkö kohteessa lisälämmöneristystyyppinen korjaus vai käytetäänkö julkisivut teknisen elinkaaren loppuun, jolloin julkisivun purkamiseen perustuva korjaus on toimenpiteenä raskaampi.

Rakennuksen määräaikaisissa tarkastuksissa tulee selvittää eri rakennusosien käyttöolosuhteissa tapahtuneet muutokset riskivaikutuksineen. Taulukko 14 esittää toimenpiteitä, joiden avulla voidaan vähentää rakenteiden kosteusriskejä.

Taulukko 14. Kosteusriskien kartoitus ja välttäminen.

Tarkastuskohta	Kosteusriskien kartoitus ja toimenpiteet lisälämmöneristysten yhteydessä
Piharakenteet	Maan kallistus ulospäin perustusrakenteista on varmistettava samoin kuin perustusrakenteiden ulkopuolisten täyttöjen maa-aineksen laatu. Pihakansien liittyminen rakennuksen rakenteisiin on selvítettävä tapauskohtaisesti, sillä vanhojen rakennekuvien antamat tiedot eivät välttämättä pidä paikkaansa.
Salaojat	Salaojien toimimattomuus on yksi perustusrakenteiden kosteusvaurioiden syntyminen syistä. Salaojat tarkistetaan kuvaamalla ja niiden toimivuus tarvittaessa vesikokeella. Samalla arvioidaan, onko salaojakerroksen sorastus tarkoituksenmukainen ja riittävän läpäisevä. Tarvittaessa salaojakerros uusitaan maa-aineksella, joka läpäisee vettä ja jossa veden kapillaarinen nousu on vähäistä. Anturan läheisyydessä kapillaarisen veden nousun katkaisevaa maa-ainesta tulee olla vähintään 0,2 m. Salaojaputkea ympäröivän salaojituserroksen tulee olla putken alla ja sivuilla vähintään 0,1 m ja päällä vähintään 0,2 m. Kellarin seinää vasten olevan kerroksen tulee olla vähintään 0,2 m.
Kellarien seinät, perustusrakenteet ja maanpaine-seinät	Maata vasten olevat seinät on syytä lisälämmöneristää ulkopuolelta lämmöneristeillä, joiden vesihöyrynläpäisevyys on pieni. Lisälämmöneristys suojataan vedeneristeellä ja sen ulkopuolisella patolevyllä ja patolevyä vasten olevalla vettä läpäisevällä 0,2 m maakerroksella. Lisälämmöneristämisen jälkeen vanha rakenne pyrkii kuivumaan sisäilmaan. Siksi seinän pitää antaa kuivua hyvin tuuletettuun tilaan ennen mahdollista uudelleenpinnoittamista.
Maanvaraiset alapohjat	Pääsääntöisesti maanvaraisia lattiarakenteita ei kannata purkaa lisälämmöneristämistä varten. Jos rakenteissa on kosteusvaurioita ja purkaminen on välttämätöntä, maanvaraisen laatan ja lämmöneristysten alla tulee olla vähintään 0,2 m kapillaarisen veden nousun katkaisevaa soraa tai sepeliä (raekoko 6–30 mm). Laatta tulee lämmöneristää kauttaaltaan, jotta rakennuksen keskellä maan lämpötila ei kohoa laatan lämpötilan tasolle. Laatan alla olevat putket tulee eristää niin, etteivät ne lämmitä maaperää. Laattaa ei saa valaa kiinni seinärakenteeseen. Rakennetta ei suositella päällystettävän tiiviillä kosteusherkällä materiaalilla. Rakennuskosteuden on poistuttava riittävästi ennen lattian päällystämistä. Jos lattiaan tulee lattialämmitysputkia, kosteusmittauspisteet tulee merkitä etukäteen.
Ryömintätilaiset alapohjat	Ryömintätilainen alapohja tulee lisälämmöneristää alapuolelta. Ryömintätilan maanpinta kallistetaan perustuksiin ja salaojiin päin ja varmistetaan, että tilaan ei jää vettä kerääviä painanteita. Lammi- koiden syntyminen ryömintätilaan estetään sepelikerroksella (0,2 mm), joka samalla vähentää maaperän kosteustuottoa ryömintätilan ilmaan. Ryömintätilan tuuletus varmistetaan (ilmanvaihto 1...2 l/h). Ryömintätilan korkeuden olisi oltava vähintään 0,8 m, jotta ryömintätilan tarkastus on mahdollista. Ryömintätilassa ei saa olla rakennusjätettä eikä lahoavaa orgaanista ainetta.

Ulkoseinät	Sadeveden pääsy ulkoseinärakenteisiin on ylivoimaisesti merkittävin kosteusvaurioiden aiheuttaja. Lisälämmöneristuksen yhteydessä säilytettävän rakenteen kosteustila on syytä tarkastaa kosteusmittauksin. Ulkoseiniin rajoittuvien märkätilojen vedeneristysten tila ja korjaustarpeet on myös syytä kartoittaa. Jos vanha julkisivu jätetään lisälämmöneristuksen alle, sen on päästävä kuivumaan lisälämmöneristysrakenteen läpi. Jos julkisivu puretaan, on rakennuksen ulkovaipan ilmanpitävyyttä parannettava vanhan rakenteen ulkopinnoilta. Uuden julkisivun läpivientien ja muiden detaljirakenteiden tarkastukset on lisättävä tarjouspyyntöihin ja urakkaohjelmaan. Työaikaisen kastumisen estämiseksi materiaalit ja seinärakenteet tulee suojata kuljetuksen, varastoinnin ja asennuksen aikana.
Loiva, tuulettu-maton katto	Katon lämmöneristuksen kosteustila tulee tarkastaa kosteusmittauksin sisäpuolisten vedenpoistojen, liikuntasauvojen ja katon ylösnostojen läheisyydestä. Bitumikermikatteella varustettu loiva katto voidaan lisälämmöneristää vanhan katteen päälle, jos alkuperäinen rakenne on kuiva. Vanhan lämmöneristyskerroksen alipainetuulettimet poistetaan. Lisälämmöneristys voidaan tehdä lämmöneristuksen urien kautta tuuletettavana rakenteena, millä varmistetaan rakennuskosteuden kuivuminen. Kastunut lämmöneristys tulee uusia, ja samalla rakenteen höyryn- ja ilmansulkukerrosta voidaan tiivistää. Syyt kastumiseen tulee selvittää ja korjata.
Loiva tuuletettu katto	Loivat tuulettut kattorakenteet ovat tyypillisesti puurakenteita. Nämä rakenteet on syytä uusia harjakattoisiksi lisälämmöneristämisen yhteydessä. Uusimisen yhteydessä rakenteiden ilman- ja höyrynsulun kunto tulee selvittää.
Loiva lämmöneristuksen urituksen kautta tuuletettu katto	Laajoissa katoissa tuuletusurat on yhdistetty kokoajanavilla alipainetuulettimiin. Katto lisälämmöneristetään vanhan katteen päältä ja samalla alkuperäisen rakenteen alipainetuulettimia korotetaan.

Kiinteistön omistaja on vastuussa rakennuksen kunnosta ja taloudellisesta käytöstä. Kiinteistön omistajan päätehtäviin kuuluu tietää rakennustensa kunto ja toimia rakennuttajana sekä uudis- että korjaushankkeissa. Rakennusten ylläpidon ja kiinteistönhoidon tavoitteena on pyrkiä pitämään rakennus ja asunnot hyvässä teknisessä kunnossa ja ylläpitoon liittyvä peruskorjausväli mahdollisimman pitkänä. Tämä edellyttää rakennuksen hoidon ja huolto- ja ylläpitokorjausten pitkän tähtäimen suunnittelua, jotta tulevat laajemmat korjaustoimet voidaan ennakoida riittävän ajoissa. Rakennusten ylläpidossa tärkeitä tekijöitä ja toimintoja ovat seuraavat:

- Huolto otetaan huomioon rakennuksen ja peruskorjauksen suunnittelussa.
- Taloyhtiön hallitus sitoutuu pitkäjänteiseen rakennuksen ylläpitoon.
- Kunnossapito on jatkuvaa ja suunnitelmallista.
- Rakennuksen huollossa ja kunnossapidossa pyritään pitkäaikaisiin sopimuksiin, jotka kilpailutetaan erityisesti laadun, osaamisen, toiminnan joustavuuden ja hinnan perusteella.

- Rakennusosien tulevat korjaustarpeet kartoitetaan 5–10 vuoden ajalle riittävän usein toistettavilla kuntoarvioilla ja -tarkastuksilla.
- Rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen otetaan huomioon pitkän tähtäimen korjaussuunnittelussa.
- Rakennuksen sisäilmasto-ongelmiin puututaan heti niiden ilmettyä.

Rakennusten sisäilmasto-ongelmista on tullut yksi keskeisistä ennen aikaisten korjausten syistä. Ongelmat johtuvat valtaosaltaan rakenteiden kosteusvaurioista, joiden korjaamisessa keskitytään usein vain akuutin ongelman poistamiseen tai sen rajoittamiseen. Pientalojen kosteusriskeille alttiita rakenteita ja niiden kosteusriskien tunnistamista varten on laadittu opetusmateriaalia Kosteus- ja hometalkoot -hankkeessa [19].

9. Tulokset ja johtopäätökset

Tässä hankkeessa selvitettiin, millaisilla korjausrakenteiden periaateratkaisuilla voidaan korjata 1950-, 1960- ja 1970-lukujen kerros-, rivi- ja pientalotalojen tyyppirakenteet, jotta rakenteiden toimivuus ja energiatehokkuus olisivat korjauksen jälkeen tarkoituksenmukaiset. Tavoitteena oli lämmönläpäisykertoimien (U-arvojen) puolitus alkuperäisestä ja kosteusteknisen toimivuuden varmistus ainakin alkuperäisen rakenteen tasolle.

Esimerkiksi 1950-luvun kerrostalot olivat useimmiten tiilestä paikalla rakennettuja. Sen jälkeen alkoi yleistyä elementtitekniikka: aluksi betonielementit olivat joko kuori- tai sandwichelementtejä ja 1970-luvulla miltei yksinomaan betonisandwich-rakenteita, joissa parvekeseinät olivat usein puurakenteisia. Lämmöneristemateriaalit olivat vanhemman ikäluokan kerrostaloissa vaihtelevia, mutta 1960-luvun rakennuksissa käytettiin jo tyypillisesti mineraalikuitueristeitä.

Rivitalot olivat 1950-luvulla pääosin paikalla rakennettuja tiilitaloja. 1960-luvulta alkaen puurakenteiset rivitalot yleistyivät ja ulkoseinien verhouksmateriaali oli joko puuta tai tiiltä.

1950-luvun alkupuolen pientalot ovat pääosin 1½-kerroksisia puurakenteisia ns. rintamamiestaloja, joissa 100 mm:n rungon lämmöneristeenä oli sahanpurua tai kutterinlastua. 1960-luvulla mineraalivilla alkoi yleistyä lämmöneristeenä, ja 1970-luvun puolivälin aikaan pientalojen puurakenteisten ulkoseinien tyypillinen runkopaksuus oli 120–150 mm.

Tässä työssä tarkasteltiin vain ulkopuolista lisälämmöneristämistä, jossa uusi lämmöneristyskerros asennetaan höyryn/ilmansulun tai sitä vastaavan kerroksen ja rakenteeseen mahdollisesti jäävän vanhan lämmöneristekerroksen ulkopuolelle. Ulkopuolinen lisälämmöneriste voidaan tehdä yhtenäisenä kerroksena, eikä vanha rakenne aiheuta sen läpäiseviä kylmäsiltoja. Lisäksi vanhan rakenteen kylmäsiltojen vaikutukset lieventyvät, esimerkiksi sisäpinnan lämpötilat tasoittuvat ja sisäpinnan kosteusriskit pienenevät alkuperäiseen verrattuna. Tällaisen korjausrakenteen kriittinen kohta ulkopinnan viereisten rajakerrosten lisäksi on vanhan ja uuden rakenteen rajapinta, jonka toimivuus on huomioitu esitetyissä korjausratkaisuissa.

Tyyppirakenteille esitettiin niille soveltuvat korjauksen periaateratkaisut. Korjausratkaisuissa lämmöneristyskerroksen lisääminen paransi rakenteen U-arvoa ainakin 50 % alkuperäiseen suunnitteluratkaisuun verrattuna. Korjausratkaisujen kosteustekninen toimivuus varmistettiin laskennallisilla simuloinneilla. Simuloinnissa rakenteen

toimintaa arvioitiin useiden vuosien jakson ajan käyttäen ulkoilman oloina kosteusteknistä toimintaa varten valittuja mitoitussäätiöitä. Kriteereinä käytettiin rakenteen kuivumiskykyä ja homeen kasvuriskiä rakenteen kriittisillä rajapinnoilla. Vertailukohtana oli alkuperäinen toimiva rakenne.

Laskennallinen analyysi rakenteiden kosteusteknisestä toimivuudesta rajoittui ideaalisiin rakenteisiin, eli tarkastelussa ei otettu huomioon mahdollisten virheiden vaikutusta toimivuuteen. Laskenta antaa yleiskäsityksen ratkaisun kuivumiskyvystä ja materiaalivalintoihin liittyvistä riskeistä. Tarkastelut tehtiin olettaen varmuutta kuormitusoloihin: seinärakenteet oli suunnattu pahimman viistosateen suuntaan, auringon säteilyä ei otettu huomioon ja alkukosteustaso oletettiin korkeaksi. Laskenta ei kuitenkaan tuo esiin kaikkia korjausratkaisuun tai korjausrakentamisen toteutukseen liittyviä riskitekijöitä.

Laskennan lisäksi arvioitiin laskennan ulkopuolelle jäävien tekijöiden vaikutusta kosteustekniseen toimivuuteen ja siihen liittyviin riskeihin. Tällaisia riskitekijöitä ovat mm. detaljien toimivuus erilaisissa säärasituksissa, korjattavan rakenteen alkukosteuksien mahdollisten kosteusvaurioiden havaitseminen sekä kuivatus ja poisto, kokonaisuuden huomiointi ja mm. ilmanvaihdon ja tarkoituksenmukaisten painesuhteiden hallinta korjatussa rakenteessa, jossa riskinä on korvausilman vuoto vanhojen rakenteiden kautta sisäilmaan. On huomattava, että mikään periaaterakenneratkaisu ei välttämättä sovellu kaikkiin kohteisiin tai poista kohteessa jo havaittuja kosteusvaurioita. Suunnittelijan on aina varmistettava valittujen ratkaisujen soveltuvuus kohteeseen.

Tyypillisesti korjausrakenne voidaan tehdä tuulettamattomaksi, jos alkuperäisenkin rakenne on tuulettamaton. Esimerkiksi tuulettamattoman betonisandwich-rakenteen korjaukseen soveltuu rapattu eristerakenne. Rappauksen ominaisuudet vaikuttavat rakenteen kuivumiskykyyn ja kapillaarisen kosteuden siirto-ominaisuudet rakenteen paikalliseen kostumiseen viistosateella.

Tuulettuvien rakenteiden kuivumiskyky on tyypillisesti tuulettamattomia parempi. Tuulettuvat rakenteet ovat suositeltavia silloin, kun rakenteeseen tulevat kosteuskuormat voivat olla korkeat, esimerkiksi kun höyryn/ilmansulkukerros ei riittävästi rajoita kosteuden siirtymistä sisäilmasta rakenteeseen tai rakenne on alttiina voimakkailla viistosateilla. Ratkaisuissa on otettava huomioon käytettyjen materiaalien homehtumisherkkyys, joka vaikuttaa korjausratkaisujen toimivuuden edellytyksiin. Erityisesti ulkopinnan lähellä ja kosteudelle alttiissa rakenneosissa on hyvä suosia homehtumista vastustavia materiaaleja.

Detalji ratkaisulla on suuri vaikutus rakenteiden toimivuuteen. Jos vettä pääsee tunkeutumaan rakenteeseen, aiheutuu siitä kaikenlaisille rakenteille huomattava riski. Työssä esitettiin periaateratkaisut liitos- ja läpivientiratkaisuille ja tuuletukselle. Tuulettuvissa rakenteissa on varmistuttava, ettei rakenteeseen pääse kulkeutumaan vettä tai lunta tai että se johdetaan rakenteesta ulos siten, ettei siitä aiheudu haittaa rakenteelle.

Korjaustapausten energiatehokkuuden kannattavuutta arvioitiin elinkaarikustannuslaskennan avulla. Usein lisälämmöneristäminen parantaa sisäympäristön termistä viihtyisyyttä, joten sen hyötyjä ei voida arvioida pelkästään energiansäästön

kautta. Näitä muita hyötyjä ei arvioitu tässä tutkimuksessa, sillä ne ovat täysin tapauskohtaisia eikä niille voida helposti esittää yhteismitallista vertailua.

Elinkaarikustannusten laskenta perustui tarkasteluajanhetken (3/2013) mukaisiin lähtöarvoihin ja ohjausryhmän asettamiin lähtöolettamuksiin. Tutkimuksen tarkastelukohteet olivat esimerkkitapauksia. Koska elinkaarikustannukset kohdistuvat vain tarkasteltavaan rakennukseen, toimenpiteiden kustannukset ovat talokohtaisia. Tulokset ovat suuntaa antavia, eikä niiden perusteella voi tehdä päätelmiä energiatehokkuuden parantamisen yleisestä kannattavuudesta muissa kuin tutkimuksen tarkastelukohteissa. Rakennukset ovat uniikkeja ja elinkaaren eri vaiheissa. Tällöin myös korjaussuunnitelmat ja kannattavuusarviot on tehtävä tapauskohtaisesti.

Elinkaarikustannuslaskennan tarkasteluajaksi valittiin 30 vuotta. Tämä ei kuvaa rakenteiden käyttöikää, johon tutkimuksessa ei ole otettu kantaa. Tarkoituksena on ollut yhtenäistää energiatehokkuuden parantamisen lisäkustannusten tarkastelutapaa, kun oletuksena on sijoituksen arvon nollaantuminen 30 vuodessa.

Rakennusosaan kohdistuvan energiatehokkuuden parantamisen korjaustyö osoittautui elinkaarikustannuslaskennan lähtökohdasta tarkasteltuna kannattavaksi muissa paitsi yhdessä tapauksessa. Valituissa esimerkkitapauksissa energiatehokkuuden parantaminen oli kannattavinta vuoden 1952 kerrostalokohteessa. Tuloksissa on paljon vaihtelua riippuen siitä, mitä lisätöitä lisälämmöneristäminen edellyttää kohteessa. Elinkaarikustannuslaskennan tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä on monia, ja jokaista kustannusta ja kustannukseen vaikuttavaa tekijää on mahdoton huomioida, etenkin tarkasteluajan ollessa pitkä. Elinkaarikustannuslaskennan lopputuloksia on siis tulkittava harkiten.

10. Yhteenveto

Korjausrakentamisella on suuri merkitys Suomen pyrkimykseen saavuttaa tavoitteet, jotka on asetettu ilmastomuutoksen hillitsemiseksi. Korjausrakentamiseen vaikuttaminen on tehokas keino pienentää rakennusten energiankäytöstä aiheutuvia päästöjä.

Suomessa on 1960–1970-luvuilla rakennettu noin 1 250 000 asuntoa. Rakennusten energiatehokkuus ja rakentamisen laatu olivat tuolloin tyypillisesti heikkoja, ja tämä rakennuskanta alkaa nyt olla korjausvaiheessa. Energiakorjausten yhdistäminen rakennusten muuhun peruskorjaukseen on päästövaikutusten lisäksi perusteltua sisäilman termisten olosuhteiden parantumisen ja energiakustannusten säästöjen kannalta.

Rakenteiden rakennusfysikaalinen toimivuus ja säilyvyys riippuvat erityisesti rakenteiden kosteuden hallinnasta. Vanhojen rakenteiden lämmönläpäisykertoimien parantaminen muuttaa niiden lämpötilaoloja, ja uudet rakennekerrokset vaikuttavat kosteuden siirtymiseen rakenteissa. Lisälämmöneristämisen kosteustekniset vaikutukset ja rakenteiden toimivuus on varmistettava niiden suunnittelussa, toteutuksessa ja käytön aikana. Ilmastomuutoksen tuoma kosteuden ulkopuolinen lisäkuormitus on otettava huomioon korjausrakenteiden suunnittelussa.

Lisähaasteena korjausrakentamisessa on se, että korjaukseen ryhtymisen eräänä tyypillisenä syynä ovat vanhassa rakenteessa havaitut kosteusvauriot tai kosteusperäiset ongelmat sisäilmassa. Korjauksessa näiden vaurioiden ja ongelmien syyt ja seuraukset on ensisijaisesti poistettava, vasta sitten voidaan parantaa energiatehokkuutta. Korjaukseen valitun rakenneratkaisun tulee olla kosteustekniseltä toimintavarmuudeltaan vähintään alkuperäistä tasoa.

Tavoitteena ”Kosteusteknisesti turvalliset korjausrakentamisen malliratkaisut” (KORMA) -projektissa oli esittää periaateratkaisuja tyypillisille, peruskorjaukseen tuleville 1950-, 1960- ja 1970-lukujen kerros-, rivi- ja pientalotalojen tyypirakenteille. Energiatehokkuuden parantamiselle asetettuna tavoitteena oli rakennusosien (ulkoseinä, ylä- ja alapohja) lämpöhäviöiden pienentäminen vähintään 50 %, ts. lämmönläpäisykertoimien (U-arvojen) puolitus alkuperäisestä.

Lisälämmöneristämisen vaikutukset rakenteiden ulkonäköön riippuvat alkupe-
räisestä rakenteesta ja sille valitusta korjaustavasta. Asetettu tavoite puolittaa rakenteen U-arvo alkuperäisestä ei välttämättä vaikuta rakennuksen ulkonäköön juuri lainkaan. Esimerkiksi lämmöneristeen uusiminen nykyaikaisella eristetuotteella

ei kasvata vaadittavaa lopullista eristepaksuutta merkittävästi, ja julkisivun toteutuksesta riippuen rakenteen kokonaispaksuus voi pysyä alkuperäisenä. Sen sijaan lisälämmöneristämisen yhteydessä voidaan rakennuksen arkkitehtonista ilmettä haluttaessa muuttaa, millä voidaan parantaa rakennuksen yleisilmettä ja arvoa.

Hankkeessa analysoitiin laskennallisesti erityyppisten korjausrakenteiden kosteusteknisen toimivuuden periaatteet ja asetettiin vaatimukset korjausrakentamisen suunnittelulle ja toteutukselle kosteusteknisen toimivuuden varmistamiseksi. Toimivuuden kriteereinä käytettiin rakenteen kuivumiskykyä ja sen kriittisten kohtien homeutumisriskiä. Korjausratkaisuille esitettiin yleistason ratkaisut niiden rakennedetaljien toteutukseen mm. rakennusosien liitosten, julkisivun vedenpitävyyden, läpivientien, tikkaiden ja ikkuna- ja oviliitosten kannalta. Lisäksi arvioitiin korjausratkaisujen energiatehokkuutta parantavien toimien elinkaarikustannuksia.

Merkittävin rakentamisen lopputulokseen vaikuttava tekijä on rakentamisen laatu, josta korjausrakentamisen osalta on vasta vähän tutkittua tietoa. Rakentamisen laatuun vaikuttaa olennaisesti korjausprosessin hallinta. Alkutilanteessa tärkeintä on rakennusta koskevien tietojen ja korjaushistorian tunteminen ja tarvittavien lisäselvitysten ja kuntotutkimusten teettäminen, jotta tiedon pohjalta voidaan laatia tarkoituksenmukainen korjaussuunnitelma ja viedä korjaushanke läpi suunnitelmien mukaisesti.

Korjausrakentamisessa korostuvat rakennushankkeeseen ryhtyvän, suunnittelijoiden, projektin johtajan ja työmaan vastaavan mestarin toiminta ja vastuut. Jotta korjausrakentamisen prosessi olisi sujuva, on käytettävien ratkaisujen oltava toistettavia (kokemusten karttuminen), helposti asennettavia ja ratkaisuiksi tuotteistettuja (työmaan sujuvuus).

Tämän tutkimuksen tuloksena esitetään periaateratkaisuja eri ikäkausien rakennusten korjausrakenteiksi. Periaateratkaisut ovat tyypillisissä korjaustapauksissa kosteusteknisesti toimivia niille esitettyjen detaljiratkaisujen kanssa, ja korjausten energiatehokkuuden parantaminen on myös elinkaarikustannusten kannalta perusteltua.

Rakennus on kokonaisuus, joten yksittäisen rakenteen tai rakennusosan vaikutus kokonaisuuteen on tunnettava, jotta korjausrakenteiden toimivuus voidaan varmistaa kaikissa tapauksissa. Korjausrakentamisen luonteesta johtuen kohteeseen valittavat ratkaisut on syytä suunnitella erikseen kokonaisuus huomioiden. Rakennedetaljien mitoitus tulee tehdä kohdekohtaisesti suunnitellen esimerkiksi tässä esitettyjen periaatteiden mukaan. Samoin kustannustarkastelut pätevät tässä tehdyin oletuksin, mutta kohdekohtaisia eroja aiheutuu mm. toteutusten vaatimien poikkeavien ratkaisujen, rakennuksen sijainnin ja rakennusalan suhdanteiden takia.

Energiatehokkuuden parantaminen on mahdollista tehdä myös vaiheittain. Toisin sanoen rakennukseen eri vaiheissa tehtävien korjausten yhteydessä tehtävät energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet on mahdollista suunnitella yhdellä kertaa, mutta toteuttaa ne samassa tahdissa kuin rakennuksen korjaukset muutenkin tehtäisiin.

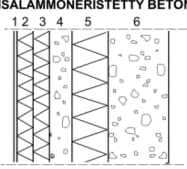
Lähdeluettelo

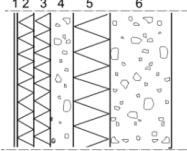
1. Suomen asuntokanta. <http://www.stat.fi/>.
2. Ympäristöministeriön asetus 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Perustelumuistion 27.2.2013 laskentaliite.
3. WUFI (Wärme und Feuchte instationär – Transient Heat and Moisture) 5.1 Pro software, The Fraunhofer Institute for Building Physics IBP. 2009.
4. EN15026. Hygrothermal performance of building components and building elements – Assessment of moisture transfer by numerical simulation. ICS 91.080.01. 2007.
5. Kumaran, M.K. IEA Annex 24 Final Report. Task 3: Material Properties. Leuven, 1996. 135 p.
6. Viitanen, H. Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material and wooden structures. Effect of humidity, temperature and exposure time. The Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, 1996.
7. Ojanen, T., Peuhkuri, R., Viitanen, H., Lähdesmäki, K., Vinha, J. & Salminen, K. Classification of material sensitivity. New approach for mould growth modeling. Proceedings of the 9th Nordic Symposium on Building Physics, NSB 2011, Tampere, Finland, 29 May – 2 June 2011. Pp. 867–874.
8. Kauppi, A., Nieminen, J. & Saarimaa, J. Mineraalivillaeristeisten tasakattojen toimivuus ja korjausmenetelmät. Tiedotteita 671. VTT, Espoo 1987. 67 s. + liitt. 47 s.
9. Nieminen, J. Yläpohjarakenteiden lisäeristäminen ja kuivatus. Tiedotteita 869. VTT, Espoo 1988. 97 s. + liitt. 50.
10. Nieminen, J. & Kouhia, I. Hyvin eristetyn loivan katon toimivuus ja vaatimukset. VTT Tiedotteita 1979. VTT, Espoo 1999. 37 s. + liitt. 3 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1979.pdf>.
11. http://www.baumit.de/upload/Technik/TMSDCE/DE/TM/01Oberputze_und_Farben/EdelPutz_Leicht_MF_ce14.pdf.
12. Motiva. Pientalon lämmitysjärjestelmät, 2009. Viitattu 5.3.2013. Saatavilla: www.motiva.fi/files/2701/Pientalon_lammitysjarjestelmat.pdf.
13. Pulakka, S., Heimonen, I., Junnonen, J.M. & Vuolle, M. Talotekniikan elinkaarikustannukset. VTT Tiedotteita 2409. VTT, Espoo 2007. 58 s. + liitt. 3 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2409.pdf>.

14. Pöyry. Kaukolämmön asema Suomen energiajärjestelmässä tulevaisuudessa. Energiateollisuus ry:n julkaisu 8/2011. Pöyry, Helsinki 2011. Viitattu 5.3.2013. Saatavilla: http://energia.fi/sites/default/files/kaukolammon_asema_suomen_energiajarjestelmassa_tulevaisuudessa_poyrypdf.pdf.
15. Saari, A. Elinkaarikustannusten laskenta. 2004. Viitattu 13.3.2013. Saatavilla: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/environ2/rem/elinkaarikustannukset.doc>.
16. Valtionkonttorin www-sivut. Nimelliskorko. 2012. Viitattu 5.2.2013. Saatavilla: <http://www.valtiokonttori.fi/kasikirja/public/download.aspx?ID=84519&GUID=%7B4FCE3350-4980-44C1-86C1-3BE9EF0A8C13%7D>.
17. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Osa C4. Lämmöneristys. Ohjeet. Ympäristöministeriö 2003.
18. Kerrostalon ilmastomuutos – Kimu. <http://www.teeparannus.fi/parhaatkaytanot/tutkimusjakehitys/kimu/>.
19. Virta, J. & Ojajarvi, M. Taloyhtiön korjaushanke – hallinto ja viestintä. Hometalkoot. Kiinteistöalan Kustannus Oy, Helsinki 2009. <http://hometalkoot.mcasiakas.net/oppaat>.
20. Asunto-osakeyhtiölaki. Oikeusministeriö ja Edita Publishing Oy, Helsinki 2010.
21. KH 90-00268. Asuintalon huoltokirjan käyttö. Rakennustietosäätiö, Helsinki 1999.
22. KH 90-00294. Asuinkiinteistön kuntoarvio suoritusohje. Rakennussäätiö, Helsinki 2001.
23. Maankäyttö- ja rakennuslaki 958/2013.
24. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13.
25. Korjaushanke haltuun -pikaopas, Kiinteistöliitto. Saatavilla: http://issuu.com/kiinteistoliitto/docs/korjaushanke_haltuun_kirja_61fb8752ae831f.

Liite 1: Esimerkkejä korjausten kustannuksista

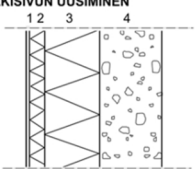
Energiankulutukset ja energiatehokkuuden parantamisen kustannukset ovat suuntaa antavia. Arvot perustuvat toteutuneisiin korjaushankkeisiin ja asiantuntijalausuntoihin.

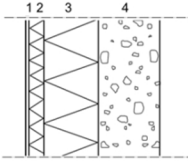
LISÄLÄMMÖNERISTETTY BETONI-SANDWICH 123456  1. OHUTRAPPAUS 2. RAPPAUSVILLA 3. LISÄLÄMMÖNERISTYSTY MINERAALIVILLALLA 50 MM 4. BETONIKUORI 80 MM 5. LÄMMÖNERISTYSTY 120 MM 6. BETONISISÄKUORI 200 MM U = 0,16 W/m²K Yläpohjan lisälämmöneristys esitetty kuvassa 44. Rakennuksen kuvaus: - Taloyhtiö 1972 - Nettoala 1740 m² - Ulkoseinän pinta-ala 1190 m² - Yläpohjan pinta-ala 500 m²	
Rakennuksen kuvaus: - Taloyhtiö 1972 - Nettoala 1740 m² - Ulkoseinän pinta-ala 1190 m² - Yläpohjan pinta-ala 500 m²	Lämmityksen kokonaisenergia: - Ennen lisälämmöneristämistä 796 MWh - Energiatehokkuuden parantaminen 715 MWh - Energiatehokkuuden parantaminen mukaan lukien yläpohja 675 MWh
Kustannukset €/netto-m²	Julkisivun korjaus Energiatehokkuuden parantaminen (yläpohjan energiatehokkuuden parantamisesta aiheutuvat kulut sulkeissa)
Julkisivukorjaus, paikkaus ja pinnoitus	47
Julkisivun lämpörappaus, lisäkustannus	19
Sokkelin lisälämmöneristys + rappaus	8
Räystäiden korjaus 190 €/m	13
Väilliset kustannukset 30 %	14 12
Yläpohjan energiatehokkuuden parantaminen	(17)
Alv. 24 %	15 12 (17)
Yhteensä	76 64 (86)

LISÄLÄMMÖNERISTETTY BETONI-SANDWICH 123456  1. OHUTRAPPAUS 2. RAPPAUSVILLA 3. LISÄLÄMMÖNERISTYSTY MINERAALIVILLALLA 50 MM 4. BETONIKUORI 80 MM 5. LÄMMÖNERISTYSTY 120 MM 6. BETONISISÄKUORI 200 MM U = 0,16 W/m²K Yläpohjan lisälämmöneristys esitetty kuvassa 44. Rakennuksen kuvaus: - Taloyhtiö 1972 - Nettoala 1740 m² - Ulkoseinän pinta-ala 1190 m² - Yläpohjan pinta-ala 500 m²	Lämmityksen kokonaisenergia: - Ennen lisälämmöneristämistä 796 MWh - Energiatehokkuuden parantaminen 715 MWh - Energiatehokkuuden parantaminen (mukaan lukien yläpohja) 675 MWh
---	--

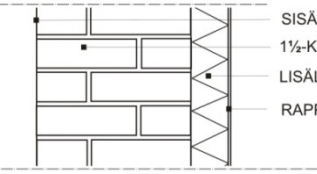
Liite 1: Esimerkkejä korjausten kustannuksista

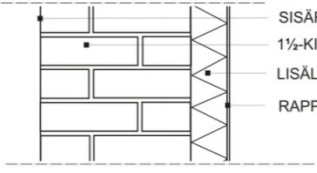
Kustannukset €	Julkisivun korjaus	Energiatehokkuuden parantaminen (yläpohjan energiatehokkuuden parantamisesta aiheutuvat kulut sulkeissa)
Julkisivukorjaus, paikkaus ja pinnoitus	81780	
Julkisivun lämpörappaus, lisäkustannus		33060
Sokkelin lisälämmöneristys + rappaus		13920
Räystäiden korjaus 190 €/m		22620
Välilliset kustannukset 30 %	24360	20880
Yläpohjan energiatehokkuuden parantaminen		(8500)
Alv. 24 %	25474	21715 (23755)
Yhteensä	131614	112195 (122735)

JULKISIVUN UUSIMINEN  1. BETONISISÄKUORI 200 MM 2. RAPPÄUVILLA 50 MM 3. LÄMMÖNERISTYS 170 MM 4. BETONISISÄKUORI 200 MM U = 0,16 W/m²K Yläpohjan lisälämmöneristys esitetty kuvassa 44.			
Rakennuksen kuvaus: - Taloyhtiö 1972 - Nettoala 1740 m² - Ulkoseinän pinta-ala 1190 m² - Yläpohjan pinta-ala 500 m²		Lämmityksen kokonaisenergia: - Ennen lisälämmöneristämistä 796 MWh - Energiatehokkuuden ja ilmanpitävyyden parantaminen 715 MWh - Energiatehokkuuden (mukaan lukien yläpohja) ja ilmanpitävyyden parantaminen 675 MWh	
Kustannukset €/netto-m ²	Julkisivun korjaus	Energiatehokkuuden parantaminen (yläpohjan energiatehokkuuden parantamisesta aiheutuvat kulut sulkeissa)	
Julkisivun purku	102		
Alustan tasoitus ja ilmanpitävyyden parannus			
Lämpörappaus (110 mm) ml. aukkodetaljit	102		
Lisälämmöneristys 110 mm		20	
Sokkelin lisälämmöneristys + rappaus		8	
Räystäiden korjaus 190 €/m		13	
Välilliset kustannukset 30 %	61	12	
Yläpohjan energiatehokkuuden parantaminen		(17)	
Alv. 24 %	64	13 (17)	
Yhteensä	329	66 (87)	

JULKISIVUN UUSIMINEN  1. BETONISISÄKUORI 200 MM 2. RAPPÄUVILLA 50 MM 3. LÄMMÖNERISTYS 170 MM 4. BETONISISÄKUORI 200 MM $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ Yläpohjan lisälämmöneristys esitetty kuvassa 44.		
Rakennuksen kuvaus: - Taloyhtiö 1972 - Nettoala 1740 m² - Ulkoseinän pinta-ala 1190 m² - Yläpohjan pinta-ala 500 m²	Lämmityksen kokonaisenergia: - Ennen lisälämmöneristämistä 796 MWh - Energiatehokkuuden ja ilmanpitävyyden parantaminen 715 MWh - Energiatehokkuuden (mukaan lukien yläpohja) ja ilmanpitävyyden parantaminen 675 MWh	
Kustannukset €	Julkisivun korjaus	Energiatehokkuuden parantaminen (yläpohjan energiatehokkuuden parantamisesta aiheutuvat kulut sulkeissa)
Julkisivun purku Alustan tasoitus ja ilmanpitävyyden parannus	177480	
Lämpörappaus (110 mm) ml. aukkodetaljit	177480	
Lisälämmöneristys 110 mm		34800
Sokkelin lisälämmöneristys + rappaus		13920
Räystäiden korjaus 190 €/m		22620
Välilliset kustannukset 30 %	106140	20880
Yläpohjan energiatehokkuuden parantaminen		(8500)
Alv. 24 %	110664	22133 (24173)
Yhteensä	571764	114353 (124893)

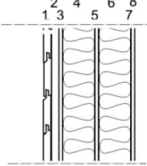
Liite 1: Esimerkkejä korjausten kustannuksista

LISÄERISTETTY RAKENNE  SISÄRAPPAUS 1½-KIVEN TIILISEINÄ LISÄLÄMMÖNERISTYS RAPPAUS / TIILIKUORI		
Rakennuksen kuvaus: - Kerrostalo 1952 - Nettoala 810 m² - Ulkoseinän pinta-ala 690 m²	Lämmityksen kokonaisenergia: - Ennen lisälämmöneristämistä 144 MWh - Energiatohokkuuden parantaminen 99 MWh	
Kustannukset €/netto-m²	Julkisivun korjaus	Energiatohokkuuden parantaminen
Julkisivun korjaus	60	
Lämpörappaus (100 mm)		20
Ikkunapellit		
Sokkelin lisälämmöneristys + rappaus		12
Välilliset kustannukset 30 %	18	10
Alv. 24 %	19	10
Yhteensä	97	52

LISÄERISTETTY RAKENNE  SISÄRAPPAUS 1½-KIVEN TIILISEINÄ LISÄLÄMMÖNERISTYS RAPPAUS / TIILIKUORI		
Rakennuksen kuvaus: - Kerrostalo 1952 - Nettoala 810 m² - Ulkoseinän pinta-ala 690 m²	Lämmityksen kokonaisenergia: - Ennen lisälämmöneristämistä 144 MWh - Energiatohokkuuden parantaminen 99 MWh	
Kustannukset €	Julkisivun korjaus	Energiatohokkuuden parantaminen
Julkisivun korjaus	48600	
Lämpörappaus (100 mm)		16200
Ikkunapellit		
Sokkelin lisälämmöneristys + rappaus		9720
Välilliset kustannukset 30 %	14580	8100
Alv. 24 %	15163	8165
Yhteensä	78343	42185

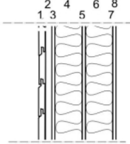
Liite 1: Esimerkkejä korjausten kustannuksista

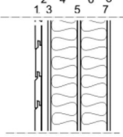
LISÄERISTETTY RAKENNE PUUVERHOUKSELLA 2 4 6 8 1 3 5 7 1. LAUTAVEROUS 23 MM 2. ILMARAKO / KOOLAUS 23 MM 3. TUULENSUOJALEVY 12 MM 4. LISÄLÄMMÖNERISTYS MINERAALIVILLA / RUNKO 100 MM 5. TUULENSUOJALEVY 12 MM 6. LÄMMÖNERISTYS MINERAALIVILLA / RUNKO 100 MM 7. HÖYRYSULKU 8. SISÄVERHOUSLEVY 12 MM U = 0,18 W/m² K				
Rakennuksen kuvaus: - Yksikerroksinen rivitalo 1976, 4 as. - Pääjulkisivut: Puuverhous - Päädyt: tiiliverhous (ei toimenpiteitä) - Nettoala 320 m², julkisivu 227 m²	Lämmityksen kokonaisenergia: - Ennen lisälämmöneristämistä 62 MWh - Energiatehokkuuden parantaminen 57 MWh - Energiatehokkuuden parantaminen (mukaan lukien yläpohja) 54 MWh			
Kustannukset €/netto-m²	Julkisivun korjaus	Energiatehokkuuden parantaminen (yläpohjan energiatehokkuuden parantamisesta aiheutuvat kulut sulkeissa)		
Telinekustannus	5			
Puurakenteisen julkisivun purku	5			
Puurakenteisen julkisivun uusiminen	15			
Maalaus	10			
Lisäkoolaus + lisälämmöneristys 100 mm		7		
Uusi tuulensulkulevy		5		
Sokkelin lisälämmöneristys + rappaus		16		
Aukkodetaljien rakentaminen	5	5		
Ikkunapellit		5		
Välilliset kustannukset 15 %	6	6		
Yläpohjan energiatehokkuuden parantaminen, puhallusvilla 200 mm		(7)		
Alv. 24 %	11	11 (12)		
Yhteensä	57	55 (63)		

LISÄERISTETTY RAKENNE PUUVERHOUKSELLA  1. LAUTAVEROUS 23 MM 2. ILMARAKO / KOOLAUS ; 3. TUULENSUOJALEVY 12 4. LISÄLÄMMÖNERISTYS MINERAALIVILLA / RUNI 5. TUULENSUOJALEVY 12 6. LÄMMÖNERISTYS MINERAALIVILLA / RUNI 7. HÖYRYSULKU 8. SISÄVERHOUSLEVY 12 U = 0,18 W/m² K	
Rakennuksen kuvaus: - Yksikerroksinen rivitalo 1976, 4 as. - Pääjulkisivut: Puuverhous - Päädyt: tiiliverhous (ei toimenpiteitä) - Nettoala 320 m², julkisivu 227 m²	Lämmityksen kokonaisenergia: - Ennen lisälämmöneristämistä 62 MWh - Energiatehokkuuden parantaminen 57 MWh - Energiatehokkuuden parantaminen (mukaan lukien yläpohja) 54 MWh

Liite 1: Esimerkkejä korjausten kustannuksista

Kustannukset €	Julkisivun korjaus	Energiatohokkuuden parantaminen (yläpohjan energiatohokkuuden parantamisesta aiheutuvat kulut sulkeissa)
Telinekustannus	1600	
Puurakenteisen julkisivun purku	1600	
Puurakenteisen julkisivun uusiminen	4800	
Maalaus	3200	
Lisäkoolaus + lisälämmöneristys 100 mm		2240
Uusi tuulensulkulevy		1600
Sokkelin lisälämmöneristys + rappaus		5120
Aukkodetaljien rakentaminen	1600	1600
Ikkunapellit		1600
Välilliset kustannukset 15 %	1920	1920
Yläpohjan energiatohokkuuden parantaminen, puhallusvilla 200 mm		(2240)
Alv. 24 %	3533	3379 (3917)
Yhteensä	18253	17459 (20237)

LISÄERISTETTY RAKENNE PUUVERHOUSKELLA  1. LAUTAVEROUS 23 MM 2. ILMARAKO / KOOLAUS 23 MM 3. TUULENSUOJALEVY 12 MM 4. LISÄLÄMMÖNERISTYS MINERAALIVILLA / RUNKO 100 MM 5. TUULENSUOJALEVY 12 MM 6. LÄMMÖNERISTYS MINERAALIVILLA / RUNKO 100 MM 7. HOYRYSULKU 8. SISÄVERHOUSLEVY 12 MM U = 0,18 W/m² K		
Rakennuksen kuvaus: - 1,5 kerroksinen pientalo 1976 - Puuverhous - Nettoala 225 m², julkisivu 215 m²	Lämmityksen kokonaisenergia: - Ennen lisälämmöneristämistä 34 MWh - Energiatohokkuuden parantaminen 28 MWh	
Kustannukset €/netto-m²	Julkisivun korjaus	Energiatohokkuuden parantaminen
Telinekustannus	8	
Puurakenteisen julkisivun purku	8	
Puurakenteisen julkisivun uusiminen	15	
Maalaus	10	
Lisäkoolaus + lisälämmöneristys 100 mm		7
Uusi tuulensulkulevy		5
Sokkelin lisälämmöneristäminen + rappaus		19
Aukkodetaljien rakentaminen	5	5
Ikkunapellit		5
Välilliset kustannukset 15 %	7	6
Alv. 24 %	13	11
Yhteensä	66	58

LISÄERISTETTY RAKENNE PUUVERHOUKSELLE  1. LAUTAVEROUS 23 MM 2. ILMARAKO / KOOLAUS 23 MM 3. TUULENSUOJALEVY 12 MM 4. LISÄLÄMMÖNERISTYS MINERAALIVILLA / RUNKO 100 MM 5. TUULENSUOJALEVY 12 MM 6. LÄMMÖNERISTYS MINERAALIVILLA / RUNKO 100 MM 7. HÖYRYSULKU 6. SISÄVERHOUSLEVY 12 MM U = 0,18 W/m² K			
Rakennuksen kuvaus: - 1,5 kerroksinen pientalo 1976 - Puuverhous - Nettoala 225 m², julkisivu 215 m²	Lämmityksen kokonaisenergia: - Ennen lisälämmöneristämistä 34 MWh - Energiatohokkuuden parantaminen 28 MWh		
Kustannukset €	<table> <tr> <th>Julkisivun korjaus</th> <th>Energiatohokkuuden parantaminen</th> </tr> </table>	Julkisivun korjaus	Energiatohokkuuden parantaminen
Julkisivun korjaus	Energiatohokkuuden parantaminen		
Telinekustannus	<table> <tr> <td>1800</td> <td></td> </tr> </table>	1800	
1800			
Puurakenteisen julkisivun purku	<table> <tr> <td>1800</td> <td></td> </tr> </table>	1800	
1800			
Puurakenteisen julkisivun uusiminen	<table> <tr> <td>3375</td> <td></td> </tr> </table>	3375	
3375			
Maalaus	<table> <tr> <td>2250</td> <td></td> </tr> </table>	2250	
2250			
Lisäkoolaus + lisälämmöneristys 100 mm	<table> <tr> <td></td> <td>1575</td> </tr> </table>		1575
	1575		
Uusi tuulensulkulevy	<table> <tr> <td></td> <td>1125</td> </tr> </table>		1125
	1125		
Sokkelin lisälämmöneristäminen + rappaus	<table> <tr> <td></td> <td>4275</td> </tr> </table>		4275
	4275		
Aukkodetaljien rakentaminen	<table> <tr> <td>1125</td> <td>1125</td> </tr> </table>	1125	1125
1125	1125		
Ikkunapellit	<table> <tr> <td></td> <td>1125</td> </tr> </table>		1125
	1125		
Välilliset kustannukset 15 %	<table> <tr> <td>1575</td> <td>1350</td> </tr> </table>	1575	1350
1575	1350		
Alv. 24 %	<table> <tr> <td>2862</td> <td>2538</td> </tr> </table>	2862	2538
2862	2538		
Yhteensä	<table> <tr> <td>14787</td> <td>13113</td> </tr> </table>	14787	13113
14787	13113		

Liite 2: Esimerkkejä korjausten kustannuksista

KERROSTALO 1969 (Lähde: VVO, vuosi 2013)

Sijainti:	Vantaa
Valmistunut:	1969
Asukkaita:	66 kpl
Asuinala:	4725
Kerroksia:	1+7 kpl
Porrashuoneita:	5 kpl

PERUSKORJAUS 2007

Julkisivut uusittu (päätyjen muuraus, pitkät sivut ohutrappaus), lisälämmöneristys 70mm (alkup. 70mm mineraalivilla)
Parvekkeet: raskas paikkakorjaus, suojapinnoitus ja lasitus
Ikkunat uusittu: MSE, U=1,1 W/m ² /K (alkup. 2-lasiset vm. 1969), Uo:t uusittu
Asuntojen pinnat ja kalusteet uusittu, kylpyhuone vedeneristetty
Vesijohdot ja viemärit uusittu
Ilmanvaihto: koneel. Poisto: koneet uusittu + lisätty korvausilmaventtiilit
Sähköjärjestelmä ja tele/antennijärjestelmä uusittu

Huom: Yläpohjan lämmöneristys erittäin heikko, parantaminen ei mahdollinen katon rakenteita purkamatta, tehdään kun katteen käyttöikä loppu (ennuste 2024-2025).

KUSTANNUKSET

Peruskorjaus yhteensä:	5 500 000 € (n. 1 165 €/as-m ²)
Julkisivun osuus:	Noin 700 000 € (n. 150 €/as-m ²)
Ikkunoiden ja ulko-ovien osuus:	Noin 300 000 € (63 €/as-m ²)

ENERGIANKULUTUSTIEEDET	2005	2006	2007	2008	2009
Lämmönkulutus (MWh)	907	823	852	793	789
Ominaislämpö (kWh/Rm ³)	47,4	42,9	44,5	41,4	41,2
Normeerattu lämpö (MWh)	942	866	908	886	806
Lämpöindeksi (kWh/Rm ³)	49,2	45,2	47,4	46,2	42,1
Vedenkulutus (m ³)	8572	5008	9125	8960	8016
Veden ominaiskulutus (l/Rm ³)	447	261	476	468	418
Veden ominaiskulutus (l/as,vrk)	118	69	126	123	129
Sähkönkulutus (kWh)	68 119	80 973	115 245	113 442	125 116
Sähkön ominaiskulutus (kWh/Rm ³)	3,6	4,2	6	5,9	6,5

Nimeke	Kosteusteknisesti toimivia korjausrakentamisen periaateratkaisuja
Tekijä(t)	Jyri Nieminen, Ilpo Kouhia, Tuomo Ojanen & Antti Knuuti
Tiivistelmä	Tässä hankkeessa selvitettiin, millaisilla korjausrakenteiden periaateratkaisulla 1950-, 1960- ja 1970-lukujen kerros-, rivi- ja pientalotalojen tyypirakenteet voidaan korjata. Tavoitteena oli lämmönläpäisykertoimien (U-arvojen) puolitus alkuperäisestä ja kosteusteknisen toimivuuden varmistus ainakin alkuperäisen rakenteen tasolle. Korjausratkaisujen kosteustekninen toimivuus varmistettiin laskennallisin simuloinnein. Laskenta antaa yleiskäsityksen ratkaisun kuivumiskyvystä ja materiaalivalintoihin liittyvistä riskeistä. Laskennan lisäksi arvioitiin laskennan ulkopuolelle jäävien tekijöiden vaikutusta kosteustekniseen toimivuuteen ja siihen liittyviin riskeihin. Detaljiratkaisulla on suuri vaikutus rakenteiden toimivuuteen. Korjaustapausten energiatehokkuuden kannattavuutta arvioitiin elinkaarikustannuslaskennan avulla. Tuloksissa on paljon vaihtelua riippuen siitä, mitä lisätoimia lisälämmöneristäminen edellyttää kohteessa, ja siten kohteet ovat varsin yksilöllisiä. Kiinteistönpidolla voidaan merkittävästi vaikuttaa tarvittavien korjausten ajoitukseen ja laajuuteen. Aktiivinen kunnossapito voi pidentää kiinteistön eri osien käyttöikää, ja suuret korjaukset voidaan tehdä hyvin ennakoituina. Lähtökohtana korjausrakentamisessa on vanhassa rakenteessa mahdollisesti havaittujen kosteusvaurioiden tai kosteusperäisten sisäilmaongelmien syiden ja seurausten selvitys ja poisto. Kohteeseen valittavien ratkaisujen toimivuus tulee varmistaa erikseen kokonaisuus huomioiden, ja tästä vastaavat suunnittelijat omien suunnittelualueidensa osalta. Rakenteiden ja rakennedetaljien mitoitus tulee tehdä kohdekohtaisesti suunnitellen esimerkiksi tässä esitettyjen periaatteiden mukaan. Vastuu suunnittelusta ja toteutettavasta korjausratkaisusta yksittäisessä hankkeessa on rakennushankkeeseen ryhtyvällä. Urakoitsijan vastuista sovitaan sopimusasiakirjoissa.
ISBN, ISSN	ISBN 978-951-38-8079-8 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp) ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (verkkojulkaisu)
Julkaisu aika	Joulukuu 2013
Kieli	Suomi
Sivumäärä	131 s. + liitt. 8 s.
Projektin nimi	Kosteusteknisesti turvalliset korjausrakentamisen malliratkaisut
Toimeksiantajat	Ympäristöministeriö
Avainsanat	Korjausrakentaminen, kosteus, energiatehokkuus, lisälämmöneristäminen, kustannukset, kerrostalot, pientalot
Julkaisija	VTT PL 1000, 02044 VTT, Puh. 020 722 111

Kosteusteknisesti toimivia korjausrakentamisen periaateratkaisuja

ISBN 978-951-38-8079-8 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (verkkojulkaisu)

