



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

VUONNA 1968 VALMISTUNEEN OMAKOTI- TALON RISKIRAKENTEIDEN KARTOITUS JA RAKENTEIDEN FYSIKAALINEN TOIMINTA

TEKIJÄ: Eero Talja

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Eero Talja	
Työn nimi Vuonna 1968 valmistuneen omakotitalon riskirakenteiden kartoitus ja rakenteiden fysikaalinen toiminta	
Päiväys 13.5.2014	Sivumäärä/Liitteet 56/19
Ohjaaja(t) Pasi Haataja, lehtori, Harry Dunkel, lehtori	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Eero Talja	
Tiivistelmä	
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa vuonna 1968 valmistuneen omakotitalon riskirakenteet, rakennusvirheet ja niiden korjausmenetelmät. Lisäksi työhön on koottu esimerkkejä korjauskustannuksista. Tarkasteltavassa omakotitalossa on isot homevauriot alapohjassa ja seinärakenteissa. Suurimpia vaurion aiheuttajia on ollut toimimaton sade- ja salaojajärjestelmä, valesokkelirakenne, lattian korkeusasema maanpintaan verrattuna sekä maankallistukset. Työssä on selostettu mm. laskennallisesti, miksi vauriot ovat syntyneet ja miten ne tulisi korjata, hyvää rakennustapaa noudattaen.</p> <p>Työn alussa on selostettu vanhassa omakotitalossa esiintyviä riskirakenteita ja rakennusvirheitä, nämä kartoitettiin koko rakennuksesta, salaojajärjestelmästä aina vesikattoon saakka. Samassa yhteydessä on kerrottu hyvästä rakennustavasta. Tällä on pyritty johdattamaan lukijat mahdollisimman hyvin valittuun aiheeseen. Työn keskivaiheilla on kerrottu erilaisista korjausvaihtoehdoista ja korjauskustannuksista. Työn loppupuolella on esimerkkilaskuja rakenteiden fysikaalisesta toiminnasta, näillä laskelmilla on tarkoitettu osoittaa, miksi tietynlainen rakenne muodostuu riskirakenteeksi ajansaatossa tai rakennusvirheiden vuoksi. Lopuksi on johtopäätöksiä vanhan talon ostamisen kannattavuudesta ja opinnäytetyön onnistumisesta. Apuna rakenteiden kuvauksissa käytettiin kohteena olevasta vanhasta omakotitalosta otettuja valokuvia ja Progecad 2014 piirto-ohjelmalla piirrettyjä rakenneleikkauksia. Korjauskustannuslaskelmat laskettiin mm. erilaisilla kustannuslaskentaohjelmilla. Tietolähteinä olivat mm. RT-kortisto ja aiheeseen kuuluvaa kirjallisuus.</p> <p>Tämän rakennusmestarityön tuloksena saatiin kokonaisuus, joka on hyödyksi vanhan omakotitalon ostajille, omistajille ja muuten asiasta kiinnostuneille. Lisäksi työn laskuesimerkkien avulla, lukijat voivat laskea esim. omistamansa rakennuksen rakenteiden U-arvoja. Opinnäytetyö on onnistunut, jos lukijat ymmärtävät paremmin työn luettuaan riskirakenteiden muodostumisen sekä rakenteiden fysikaalisen toiminnan.</p>	
Avainsanat rakennus, riskirakenne, kosteusvaurio	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Management			
Author(s) Eero Talja			
Title of Thesis In 1968, upon completion, the building of homes, structures and the risk of errors, the resulting repair costs and structures, physical activity			
Date	2 June 2014	Pages/Appendices	56/19
Supervisor(s) Mr Pasi Haataja, Lecturer, Mr Harry Dunkel, Lecturer			
Client Organisation /Partners Eero Talja			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to list the risky structures, the construction defects and remedial methods of a detached house built in 1968 and to share information on of the moisture behavior of risky patterns and structures. The aim was to help the buyers and owners of old detached houses to have a better understanding of the risks when buying an old house. The work was commissioned by Eero Talja.</p> <p>First the risky structures, construction defects, repair methods and repair costs, as well as the moisture behavior of structures were studied and as data sources the construction related literature, the RT-card files and handouts were used. Repair costs were calculated with different cost calculation programs. The structures were photographed, as well as the detailed sections drawn with the help of the Progecad software. Good building practices were also taken into account.</p> <p>As a result of this thesis was an instruction, which is for the benefit of the buyers, owners of old detached houses. The list of risky structures will help the readers to check the condition and the need of repair of the house. The work will allow readers to calculate for example, the U-values of the structures. The thesis will prove to be successful, if readers have a better understanding of the work, as well as the risks in the structures.</p>			
Keywords building, risk structure, moisture damage			

ESIPUHE

Kiitokset Savonia-ammattikorkeakoulun lehtoreille Pasi Haatajalle ja Harry Dunkelille. Teidän vinkkien ja kokemuksen perusteella opinnäytetyöstäni tuli parempi kuin osasin kuvitella.

13.5.2014 Eero Talja

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
1.1	Työn tausta ja tavoitteet	7
1.2	Lyhenteet ja määritelmät.....	8
2	RISKIRAKENNE, RAKENNUSVIRHE JA HYVÄ RAKENNUSTAPA.....	12
3	KOSTEUDEN SIIRTYMINEN RAKENTEISSA.....	14
4	RISKIRAKENTEITA JA RAKENNUSVIRHEITÄ PIENTALOSSA	15
4.1	Vesikatto- ja yläpohjarakenteet.....	15
4.2	Seinäarakenteet	17
4.3	Alapohjarakenteet.....	21
4.4	Märkätilat	24
4.5	Muita riskirakenteita.....	26
5	RAKENTEIDEN KORJAUS JA KUSTANNUKSET.....	27
5.1	Yläpohjarakenteiden korjaus.....	27
5.2	Vesikaton uusimisen kustannukset	27
5.3	Seinäarakenteiden korjaus	28
5.4	Seinäarakenteiden korjauskustannukset.....	30
5.5	Alapohjarakenteiden korjaus.....	31
5.6	Alapohjarakenteiden korjauskustannukset	32
6	RAKENTEIDEN FYSIKAALINEN TOIMINTA.....	34
6.1	Veden kapilaarinen siirtyminen	34
6.2	Suhteellinen kosteus	37
6.3	Rakenteiden lämmönvastus ja U-arvo	40
6.4	Lämpötilan muutokset eri rakennekerroksissa.....	43
6.5	Kyllästyskosteudet rakenteissa.....	45
6.6	Vesihöyrynvastukset ja vesihöyrypitoisuudet rakenteissa	46
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	53
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	55
	LIITE 1 RAKENNUSMATERIAALIEN SUUNNITTELU LÄMPÖMINAISUUKSIA.....	57
	LIITE 2 RAKENNUSAINEIDEN NORMAALISET LÄMMÖNJOHTAVUUDET	60
	LIITE 3 TYÖSELITYS.....	64

LIITE 4 SPU ERISTEIDEN TEKNISET OMINAISUUDET.....	68
LIITE 5 RAKENNUSAINEIDEN VESIHÖYRYNVASTUKSIA.....	70
LIITE 6 RAKENNUSMATERIAALIEN VESIHÖYRYNVASTUKSIA JA LÄMMÖNJOHTAVUUKSIA	71
LIITE 7 RAKENNUSAINEIDEN VESIHÖYRYNVASTUKSIA.....	73
LIITE 8 RAKENNUSAINEIDEN VESIHÖYRYN LÄPÄISEVYYKSIÄ.....	74
LIITE 9 KUSTANNUSLASKELMA.....	75

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Tämän päivän Suomessa on tuhansia ihmisiä, jotka joutuvat elämään tai työskentelemään vaurioituneissa rakennuksissa, jossa on todettu esim. homeita. "Kosteuden ja homeen aiheuttamia ongelmia on kaikessa rakennuskannassa: valtion ja kuntien sekä yksityisten ihmisten omistamissa rakennuksissa, kerrostaloissa, omakotitaloissa, laitoksissa, toimistoissa ja muissa työpaikkarakennuksissa. Kosteus- ja homevaurioiden aiheuttamille epäpuhtauksille altistuu päivittäin 600 000 - 800 000 suomalaista." (Hometalkoot.fi.) Melkein jokainen työkäinen henkilö on lukenut aikakausi- ja sanomalehdistä tai nähnyt televisiosta vaurioituneisiin ja hometaloihin liittyvää uutisointia. Näin tämän asian niin, että asiasta olisi saatava lisää tietoa ja pyrkiä jakamaan sitä eteenpäin. Opinnäytetyön aiheeksi valitsin 1968-luvulla valmistuneen omakotitalon riskirakenteiden kartoituksen ja niistä aiheutuvien korjauskustannusten sekä fysikaalisen toiminnan tarkastelun. Tämän aiheen valitsin omakohtaisiin kokemuksiin perustuen ja koin aiheen todella mielenkiintoiseksi.

Opinnäytetyön tavoitteena on saada koottua tietokokonaisuus, vanhan talon ostajille, omistajille ja muillekin asiasta kiinnostuneille. Yksi keskeinen tavoite on jakaa tietoa kosteuskäyttäytymisestä rakennuksissa, että ihmiset ymmärtäisivät, mistä kosteusongelmat usein johtuvat ja mihin asioihin vanhoissa taloissa olisi syytä kiinnittää huomiota. Pyrin kertomaan riskirakenteista ja vaurion aiheuttajista mahdollisimman yksinkertaisella tavalla, jonka myös muu kuin rakennusalan ammattilainen pystyy ymmärtämään.

Opinnäytetyöni tarkastelun kohteena on tiiliverhoiltu ja kantavalla puurungolla oleva omakotitalo, jossa on maanvarainen alapohja. Talossa on todettu mm. laaja alapohjavaurio. Tarkoitukseni on ensimmäiseksi pureutua talossa esiintyviin riskirakenteisiin ja rakennusvirheisiin, käyn niitä rakenteittain läpi ja sen jälkeen selostan, miksi tietty rakenne on riskirakenne tai rakennusvirhe. Riskirakenteista johtuvista vauriosta, tulen esittämään suuntaa antavia korjauskustannuslaskelmia, että lukijoille tulisi jonkinlainen kokonaiskuva vanhan talon remonteista. Lopuksi kerron mm. laskennallisesti rakenteiden fysikaalisesta käyttäytymisestä. Apuna rakenteiden kuvauksissa käytin kohteesta otettuja valokuvia ja Progecad 2014 piirto-ohjelmalla piirtämiäni rakenneleikkauksia. Korjauskustannuslaskelmat laskin mm. erilaisilla kustannuslaskentaohjelmilla sekä Savonia-ammattikorkeakoulun lehtorin Pasi Haatajan laatimaa kustannusarviota apuna käyttäen. Erilaisia ohjelmia käytin sen vuoksi, että voin esitellä erilaisia mahdollisuuksia laskea kustannusarvioita. Talon ostajien olisi hyvä etukäteen miettiä, mitä "pikku remontit" tulevat maksamaan, ennen ostopäätöstä. Tietolähteinä käytin mm. RT-kortistoa ja aiheeseen kuuluvaa kirjallisuutta.

Vaurioituneiden rakennusten korjauskustannukset ovat todella suuret Suomen mittakaavassa, eli se olisi kaikkien edunmukaista, jos korjaukset tehtäisiin hyvää rakennustapaa noudattaen, eli maankäyttö- ja rakennuslakia, asetuksia, rakennusmääräyskokoelman määräyksiä sekä rakennusajankohdan ohjeita (RIL, RT-kortit) noudattaen, ettei vikoja ja vaurioita siirrettäisi tietoisesti tulevaisuuteen.

1.2 Lyhenteet ja määritelmät

Kuvissa olevia lyhenteitä ja määritelmiä:

AT = Autotalli

ET = Eteinen

K = Keittiö

MH = Makuuhuone

OH = Olohuone

PH = Pesuhuone


PKH = Pukuhuone

S = Sauna

VH = Vaatehuone

Värien merkitys:

 = Kosteus / Vesi

 = Lämpö

Talja 2014 = Kaavan tai rakennekuvan piirtäjän sukunimi sekä piirtovuosi.

Tekstiosuudessa olevia määritelmiä:

Hyvä rakennustapa	Tarkoittaa, että rakentamisessa on noudatettu maankäyttö- ja rakennuslakia, asetuksia, rakennusmääräyskokoelman määräyksiä sekä rakennusajankohdan ohjeita (RIL, RT-kortit) sekä materiaalien valmistajien suosituksia. Lisäksi määräykset ovat sitovia, jos niistä poiketaan ilman poikkeuslupaa, tällöin rakennustapa ei ole yleisesti ottaen hyväksyttävä.
Ilman kosteus	Tarkoittaa kosteuspitoisuutta, joka ilmoitetaan vesihöyryn määränä (g/m ³), vesihöyryn osapaineena (Pa) tai suhteellisena kosteutena (RH %). (Kosteus rakennuksissa. RT 05-10710, 1.)
Kate	Tarkoittaa pintarakennetta, joka riittävän kallistuksen omaavana suojaa alapuoliset rakenteet vesi- ja lumisateen aiheuttamalta kastumiselta ja haittaavalta vaikutukselta. (RakMK C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998.)
Kondensoituminen	tarkoittaa sitä, että ilmassa oleva vesihöyry tiivistyy nesteeksi, kiinteään aineen, esimerkiksi vesikatteen, pinnalle tai rakenteen sisään

ilmahuokosiin, kun ilman kosteus ylittää ilman lämpötilaa vastaavan kyllästyskosteuden.

(Kosteus rakennuksissa. RT 05-10710, 2.)

Kosteus	Tarkoittaa vettä, joka on kemiallisesti sitoutumatonta. vettä voi esiintyä kaasumaisessa, nestemäisessä tai kiinteässä olomuodossa. (RakMK C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998.)
Kyllästyskosteus	Tarkoittaa vesihöyryn määrä, joka ilman lämpötilan mukaan ilmassa voi vesihöyryn tiivistymättä nesteeksi enintään olla. Lämpöisessä ilmassa esiintyy enemmän vesihöyryä, kuin kylmässä. (Kosteus rakennuksissa. RT 05-10710, 1.)
Mikrobivaurio	Rakenteiden sisäpinnalla tai piilossa oleva kasvusto, joka voi olla home-, hiiva-, tai bakteerikasvusto. Mikrobivaurion voi todeta silmin nähdessä tai materiaalinäytteitä tutkimalla.
Märkätila	Tarkoittaa huonetilaa, jonka lattiapinta joutuu tilan käyttötarkoituksen vuoksi vedelle alttiiksi ja jonka seinäpinnoille voi roiskua tai tiivistyä vettä (esim.kylpyhuone, suihkuhuone, sauna). (RakMK C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998.)
Riskirakenne	Tarkoittaa, että rakenne on rakennettu tyypillisesti rakennusaikakauden määräysten, hyvää rakennustapaa noudattaen ja on yleisesti hyväksytty rakenne, joka on kuitenkin osoittautunut ajansaatossa toimimattomaksi.
Salaojajärjestelmä	Tarkoittaa salaojaputkien, salaojituserosten, salaojakaivojen, tarkastusputkien, ja kokoojakaivojen muodostamaa sekä tarvittaessa padotusventtiilillä tai pumppauksella varustettua järjestelmää rakennuksen pohjan tai vastaavan kuivattamiseksi. (RakMK C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998.)
Salaojituseros	Tarkoittaa maaperän kuivattamiseksi pintamaan alle tehtyä vettä johtavaa rakennetta tai karkearakeista maa-aineskerrosta, jota pitkin vesi voi siirtyä kuivatettavalta alueelta valumalla tai pumppaamalla. (RakMK C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998.)

Suhteellinen kosteus (RH %)	On ilmassa olevan vesihöyryn määrän suhde ilman lämpötilaa vastaavaan kyllästyskosteuteen.
Tuuletusväli	Tarkoittaa rakenteessa olevaa yhtenäistä ilmaväliä, jonka kautta rakennetta tuulettava ilmavirtaus kulkee ja jonka korkeus tai paksuus ilmavirran suuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa on enintään 200 mm. (RakMK C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998.)
Vesihöyry	Tarkoittaa vettä kaasumaisessa olomuodossa. (RakMK C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998.)
Vesihöyryn diffuusio	Tarkoittaa kaasuseoksessa (esim. ilma) vakio kokonaispaineessa tapahtuvaa vesihöyrymolekyylin liikettä, joka pyrkii tasoittamaan kaasuseoksen höyrypitoisuus tai höyryn osapaine-eroja. (RakMK C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998.)
Vesihöyrynvastus	Ilmoittaa tasapaksun ainekerroksen tai tällaisista muodostuvan tasapaksun kerroksellisen rakenteen pinnoilla eri puolilla vallitsevien vesihöyrypitoisuuksien tai vesihöyryn osapaineiden eron ja ainekerroksen tai rakenteen läpi jatkuvuustilassa pinta-alayksikköä kohti diffusoituvan vesihöyryvirran suhteen. (RakMK C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998.)

Laskukaavoissa esiintyviä lyhenteitä:

A = Kapilariteettikerroin ($kg/(m^2s^{0,5})$)

B = veden tunkeutumiskerroin ($m/s^{0,5}$)

F_A = Lohkon A osuus rakennusosan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta

F_B = Lohkon B osuus rakennusosan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta

G = Pintaan imeytyvän veden määrä (kg/m^2)

g_1 = kosteusvirta tiivistymisalueella

g_2 = kosteusvirta tiivistymisalueelta pois

m = kapilaarivastus (s/m^2)

RH = (relative humidity) Suhteellinen kosteus (%)

R_T = Kokonaislämmönvastuksen arvo

R'_T = Kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvo

R''_T = Kokonaislämmönvastuksen alaliikiarvo

t = Aika

T_S = Sisälämpötila

T_u = Ulkolämpötila

T_x = on lämpötila kohdassa x

U = Rakennusosan lämmönläpäisykerroin ($W/(m^2 \cdot K)$)

V_{maa} = Maan kosteuspitoisuus (g/m^3)

V_s = Sisäilman kosteuspitoisuus (g/m^3)

V_u = Ulkoilman kosteuspitoisuus (g/m^3)

ΣR = on koko rakenteen lämmönvastus

ΣR_x = on lämmönvastus sisäpinnasta kohtaan x ja

2 RISKIRAKENNE, RAKENNUSVIRHE JA HYVÄ RAKENNUSTAPA

Riskirakenne on tyypillisesti rakennusaikakauden määräysten ja hyvää rakennustapaa noudattaen tehty ja yleisesti hyväksytty rakenne, joka on kuitenkin osoittautunut ajansaatossa toimimattomaksi. Tämä on aiheuttanut rakenteille ennen aikaisen vaurioitumisen ja näin ollen nykytietämyksen mukaan rakenne luokitellaan riskirakenteeksi. Suomessa todetut riskirakenteet sijoittuvat pääosin ennen 1990-lukua toteutettuihin rakenteisiin, kuten valesokkelirakenteet, tasakatot, julkisivut ja salaoja- ja sadejärjestelmät, tässä muutaman mainitakseni. On kuitenkin huomioitava, että riskirakenteiden voi toimia vuosikausia, tästä johtuen ns. riskirakennetta voidaan suosia pitkään, ennen kuin ongelmat tulevat esille. Riskirakenne voi muodostua myös rakennusosien teknisen käyttöiän täytyessä. Teknisellä käyttöiällä tarkoitetaan rakennuksen käyttöönoton jälkeistä aikaa, jolloin rakenteiden, rakennusosien, laitteiden ja järjestelmien tekniset toimivuusvaatimukset täyttyvät. RT 18–10922 kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot julkaisussa on taulukko (tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot). Taulukossa teknisen rasitusluokan 1 kohdassa on esimerkiksi seuraavia arvoja, jotka kuvaavat rakenteelle laskettua käyttöikää vaikeissa olosuhteissa.

- salaojajärjestelmä 30 vuotta.
- maanvaraisen betonilaatan päällä oleva purueristys ja koolaus 20 vuotta.
- puuikkunat ja -ovet 30 vuotta.
- profiilipeltikate 30 vuotta.

Tarkasteltavassani rakennuksessa rasitusluokan 1 kriteerit täyttyvät ainakin seuraavilta osin, joita on kellarikerros, rinneratkaisu ja toimimaton salaojitus. Nämä em. käyttöiät kuvaavat mielestäni hyvin vuonna 1968 valmistuneen rakennuksen rakenteiden käyttöikä, eli rakennuksiin voi muodostua riskirakenteita, jos rakenteita ei korjata ja huolleta ennen käyttöiän loppumista.

Riskirakenteista johtuvia vaurioita on mm. home-, mikrobi- ja lahovauriot sekä näistä johtuvat sisäilmaongelmat. Riskirakenteissa olevat vauriot johtuvat yleensä liiallisesta rakenteessa olevasta kosteudesta. Kosteuden erilaisia siirtymä tapoja ovat: painovoimainen, kapilaarinen, diffuusio, konvektio sekä tuulenpaineesta johtuva siirtyminen. Nykypäivänä ymmärretään paremmin kosteuden aiheuttamat haitat ja jatkuvasti kehitellään uusia tuotteita, mutta nykypäivänkin tuotteista ja rakennustavoista voi ajansaatossa muodostua riskirakenteita.

Rakennusvirheellä tarkoitetaan rakennetta, joka on tehty vastoin aikakaudelle kuuluneita rakennusmääräyksiä ja hyvää rakennustapaa noudattaen. Rakennusvirheestä voi aiheutua suuria vaurioita rakenteeseen. Esimerkiksi vääränlainen salaojajärjestelmän korkeusasema voi aiheuttaa koko alapohjan kastumisen ja vaurioitumisen. Kyseessä voi olla välinpitämättömyys tai tietämättömyys, miten rakenne tulisi tehdä.

Hyvällä rakentamistavalla tarkoitetaan, että rakentamisessa on noudatettu rakennusaikana olemassa olevia määräyksiä, kuten rakennusasetuksia, rakennuslakia sekä rakentamismääräyskokoelmaa. Edellä mainittujen säädösten ajan tasalla pitämisestä vastaa ympäristöministeriö.

3 KOSTEUDEN SIIRTYMINEN RAKENTEISSA

Vesi voi siirtyä rakenteissa painovoimaisesti ja kapilaarisesti, ja vesihöyry voi siirtyä sekä diffuusion ja konvektion avulla.

Painovoimainen siirtyminen tarkoittaa sitä, että vesi pyrkii maanvetovoimasta johtuen kulkeutumaan alaspäin. Vaaka ja vinot pinnat aiheuttavat sivuttaissiirtymistä, mutta vesi kulkeutuu tästäkin huolimatta alaspäin. Painovoimaista siirtymistä käytetään hyväksi mm. salaoja-, vesi- ja viemäriputkissa sekä vesikattokouruissa. Painovoimaisesta siirtymisestä aiheutuvia haittoja on mm. vesikaton läpivientien vuotaminen.

Veden kapilaarinen siirtyminen tapahtuu huokoisessa materiaalissa, kuten sorassa jos se on kosketuksissa esimerkiksi pohjaveteen tai muuhun vapaaseen vesilähteeseen. Veden nousun mahdollistaa kapilaarisista voimista johtuva huokosalipaine. Huokosalipaineen suuruus riippuu materiaalin huokosten suuruudesta. Mitä suurempia huokokset ovat, niin sitä pienempi on huokosalipaine. Tämän vuoksi kapilaarisena katkona rakennusten alla käytetään nykyään karkeaa maa-ainesta kuten sepe-liä, ettei pohjavesi pääse siirtymään alapohjarakenteisiin. "Mitä pienempi raekoko, sitä korkeammalle vesi nousee. Raekoon pienetessä kymmenenteen osaan, kapilaarinousu kasvaa kymmenkertaiseksi. Kapilaarinousukorkeus maaperässä vaihtelee nolasta ylöspäin. Joissakin savissa sen sanotaan voivan nousta jopa sataan metriin."(Jääskeläinen 2009, 25.)

Kosteuserot pyrkivät tasoittumaan, tätä ilmiötä kutsutaan nimellä diffuusio. Jokaisella materiaalilla on vesihöyrynläpäisevyys kerroin, joiden avulla siirtyvän kosteuden määrää voidaan laskea. Esimerkiksi sisätiloissa on yleensä suurempi kosteus kuin ulkotiloissa, tällöin diffuusion suunta on sisätiloista ulospäin. "Kosteusvaurioiden kannalta ongelmallisin tilanne tulee jos rakenteen sisäpuolelta pääsee vesihöyryä diffuusiolla enemmän rakenteeseen kuin rakenteesta voi poistua. Tällöin kylmänä vuodenaikana rakenteeseen voi tiivistyä haitallisessa määrin kosteutta"(Sisäilmäyhdistys.fi.)

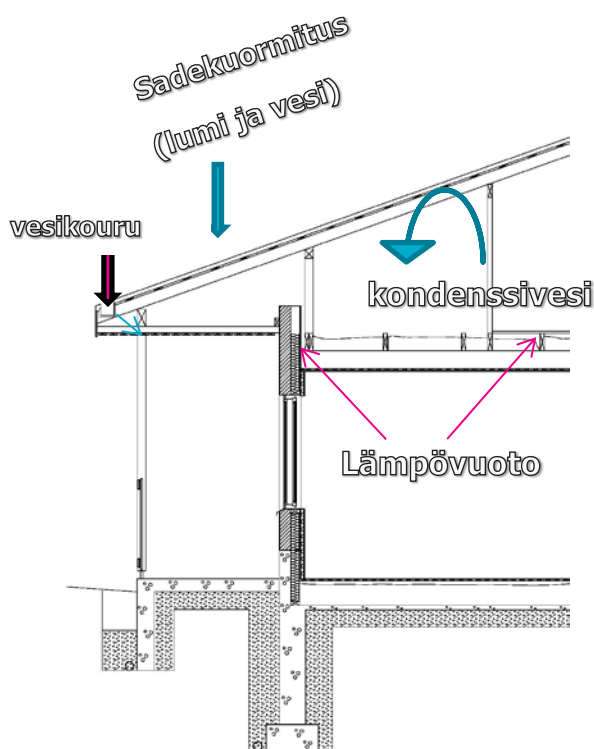
Konvektio tarkoittaa vesihöyryn siirtymistä ilmavirtausten mukana. Tällaisia ilmavirtauksia aiheuttaa mm. tuuli, ilmastointijärjestelmä ja lämpötilaerot. Esimerkiksi lämmin ilma pyrkii siirtymään sisätiloista ulospäin kylmään ilmaan päin, tällöin tapahtuu ilman jäähtymistä, jonka seurauksena ilmavirtauksen mukana siirtyvä vesihöyry saattaa tiivistyä rakenteiden sisälle tai pinnalle aiheuttaen rakenteiden kostumista. Toisaalta kylmän ilman virtaaminen sisätiloihin, voi aiheuttaa asumismukavuuteen vaikuttavan vedon tunteen. Kylmää ilmaa voi päästä virtaamaan sisätiloihin huonosti eristetyistä ovista ja ikkunoista sekä rakenteissa olevista vuotokohdista, kuten puutteellisesta eristyksestä johtuvista vuodoista.

4 RISKIRAKENTEITA JA RAKENNUSVIRHEITÄ PIENTALLOSSA

4.1 Vesikatto- ja yläpohjarakenteet

Ensimmäiseksi otan tarkastelun kohteeksi vesikaton ja yläpohjarakenteet. Vesikatteessa olevat vuotokohdat voi aiheuttaa suuria kosteusvahinkoja alapuolisille rakenteille, näin ollen vesikattorakenteiden kuntoa tulisi seurata aika ajoin, että mahdolliset vuotokohdat havaittaisiin, ennen kuin vaurioita alkaa syntyä. Seuraavaksi on luetteloitu tarkasteltavani kohteen riskirakenteita.

- Vanha loiva peltikate, joka on kiinnitetty nauloilla. Naulat ovat nousseet ajansaatossa irti pellistä. Katolla on myös vanhat harjapellit, joissa on puutteellinen tiivistys.
- Yläpohjan purueristys on puutteellinen. (kuva 1.)
- Vesikatossa on sisäpuoliset vesikourut.



KUVA 1. Seinä- ja yläpohjaleikkaus (Talja 2014)

- Ilmastointihormit sisältävät asbestia. Ne on johdettu tulisijalliseen tiilihormiin.
- Katon läpiviennit ovat puutteellisesti tiivistetty.
- Viemärin tuuletusputki on valurautainen ja eristämätön ullakkotilassa. (kuva 2.)



KUVA 2. Viemärin tuuletusputki ja puutteellinen läpiviennin tiivistys (Talja 2014-02-25)

- Rästäävät ovat liian lyhyet.
- Aluskate puuttuu. (kuva 3).



KUVA 3. Aluskatteeton kattorakenne (Talja 2014-02-25)

Peltikaton vuotokohdat, kuten läpivientien ja harjapelttien puutteellinen tiivistäminen sekä vanhojen kattopelttien kiinnitysnaulojen nouseminen irti vesikatteesta aiheuttaa sade- ja sulavesien kulkeutumisen alapuolisiin kattorakenteisiin sekä yläpohjassa olevaan purueristykseen. Tämä aiheuttaa mm. vesikaton alapuolisille ruodelaudoille kosteusrasituksen, josta johtuu rakenteiden homehtuminen ja lopuksi lahoaminen ajansaotassa. Kuvassa 3 on hyvin nähtävissä vesikaton vuodoista ja veden kondensoitumisesta aiheutuneita vauriota, ruodelaudat ovat kostuneet ja osittain lahonneet.

Aluskatteen puuttuminen mahdollistaa veden kondensoitumisen peltikatteen alapintaan, josta vesi tippuu alapuolisiin rakenteisiin. Kondensoituminen johtuu, siitä kun lämmintä sisäilmaa kulkeutuu

diffuusion avulla kylmiin peltikattorakenteisiin ja pellin alapintaan muodostuu kastepiste. Huonosti eristetty yläpohja mahdollistaa lämmön vuotamisen aina peltikattorakenteisiin asti. Kondensio voi olla sopivalla lämmön vaihtelulla runsasta. Tämä mahdollistaa alapuolisten rakenteiden vaurioitumisen.

Vuonna 1954 julkaistussa RT 857.11 kortissa on maininta veden kondensoitumisesta. ”Talvella kosteus tiivistyy peltikaton sisäpintaan, lämpimän ilman kohdatessa kylmän peltikaton” (Kate, sinkitty teräspelti pystysaumoin RT 857.11, 1). Sen aikaisen tietämyksen mukaan, kondensoituneen veden poistamiseksi on riittänyt, että vesikaton alapuolelle on järjestetty riittävä tuuletus sekä sisätiloista johtuva lämmön määrä on pyritty minimoimaan. Tämä tarkoittaa sitä, että aluskatteeton rakentaminen on ollut rakennusmääräysten mukainen.

Suomen rakentamismääräyskokoelman C2 osassa, joka on tullut voimaan 1.1.1999, löytyy seuraavanlainen ohjeistus aluskatteesta. ”Konesaumaton tai muutoin tiiviiksi saumaton peltikaton alapuolella käytetään aluskatetta tai kosteutta sitovaa alusrakennetta kuten yhtenäistä ruodelaudoitusta” (RakMK C2 Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998). Tämän ohjeistuksen perusteella voidaan päätellä, että aluskatteeksi käy myös umpilaudoitus tietynlaisissa kattorakenteissa. Huopakatoissa tämä on hyvinkin yleinen ratkaisu. Samaisessa Suomen rakentamismääräyskokoelmassa aluskate tuli pakolliseksi, ennen tätä julkaisua aluskatteesta ei ole ollut määräyksiä.

Pelti- ja tiilikatteissa on huomitoitava riittävä tuuletusrako aluskatteen ja varsinaisen katteen väliin. Otan yhden esimerkin. Kattoliiton julkaisussa toimivat katot 2013 on seuraavanlainen ohjeistus profiilipeltikatteelle. ”Kattotuolien kohdalle aluskatteen päälle asennetaan vähintään 30 mm korkeat tuuletusrimat.” (kattoliitto.fi). Suositelen lukijoita tutustumaan kattoliiton internetissä oleviin sivuihin, jos on jotain epäselvyyksiä kattorakenteista. Omasta mielestäni sivustoilla on käsitelty todella kattavasti erilaiset kattorakenteet, miten ne tulisi toteuttaa.

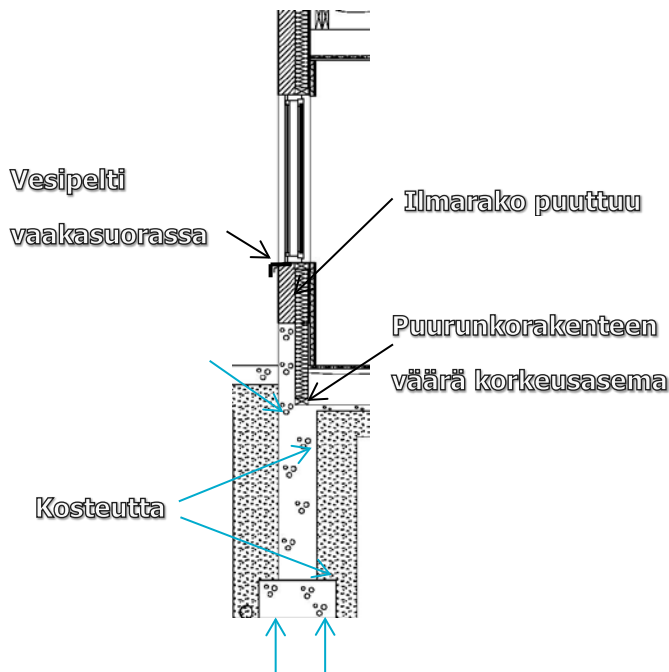
Myös Lyhyet räystäät ovat ongelma ja siksi ne eivät ole suositeltavia Suomen olosuhteissa. Ne eivät anna riittävää suojaa seinärakenteille. Vinosateella seiniin kohdistuu suuri kosteuskuormitus, jonka seurauksena sadevesi voi kapilaarisesti kulkeutua seinäeristeisiin asti, joka mahdollistaa seinärakenteiden vaurioitumisen.

Lisäksi ilmastointihormikin voi olla riskirakenne, jos siinä kulkee rasvakaasuja, kuten keittiön liesituulettimeen ilmastointiputki, joka on johdettu tiilihormiin. Tämä voi aiheuttaa tulipalovaaran.

4.2 Seinärakenteet

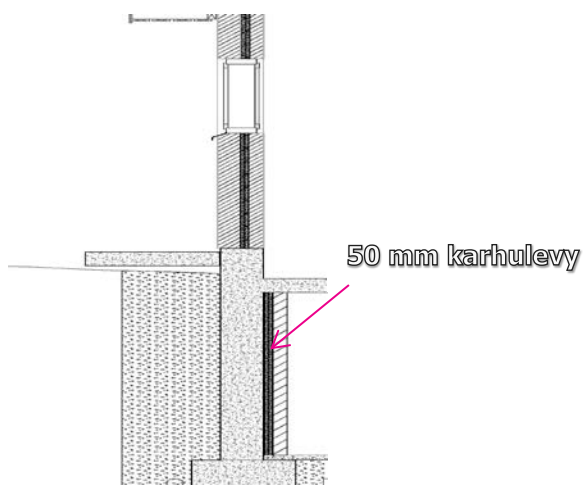
Seuraavaksi otan tarkastelun kohteeksi seinärakenteet. Seinärakenteissa voi ilmetä monenlaisia ongelmia, kuten puutteellinen tuuletus. Tämä voi aiheuttaa kosteuden tiivistymistä mm. julkisivumuurauksen ja kantavan puurungon väliin, jolloin seinärakenteiden homehtumien ja lahoamien on mahdollista. Kosteuden tiivistymisestä on esimerkkilaskuja työn loppupuolella. Kohteessa olevia riskirakenteita on lueteltu seuraavassa luettelossa.

- Julkisivumuurauksen takaa puuttuvat ilmarako, ilmareiät ja veden poistot.
- Ikkunoiden vesipellit ovat vaakasuorassa.
- Eristeet ovat suoraan julkisivumuurausta vasten ja eristeissä on ilmavuotoja.
- Puurunkorakenteet ovat ulko- ja väliseinissä suoraan lattiabetonia vasten. (kuva 4.)



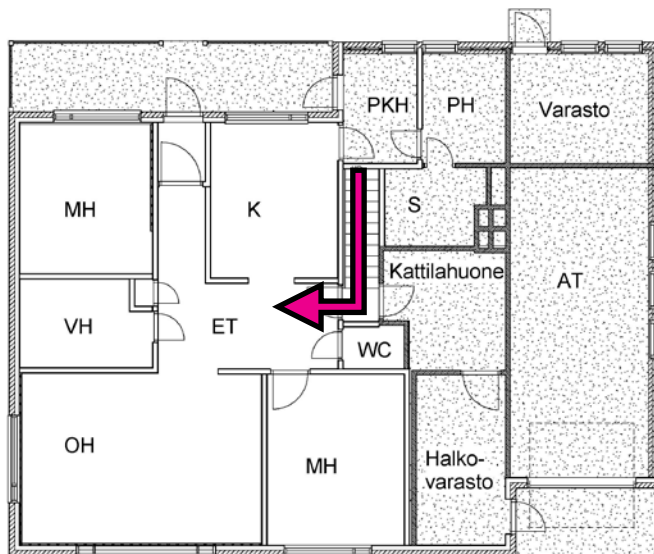
KUVA 4. Seinäleikkaus (Talja 2014)

- Puurunkorakenteet ovat osittain syvemmillä, kuin lattiavalu. (Pukuhuone ja pesutilat)
- Ulkoseinässä oleva muovipintainen paperi on ilmansulkukerroksena seinärakenteessa. Ilmansulkupaperi päättyy puualapohjarakenteen yläpintaan.
- Kellarin verhousmuurauksen (kalkkihiekkatiilen) ja betonisokkelin välissä on lämmön eristeenä 50 mm karhulevy. (kuva 5).



KUVA 5. Kellarinseinän periaateleikkaus (Talja 2014)

- Kellarista on suorakulku sisätiloihin.(kuva 6).

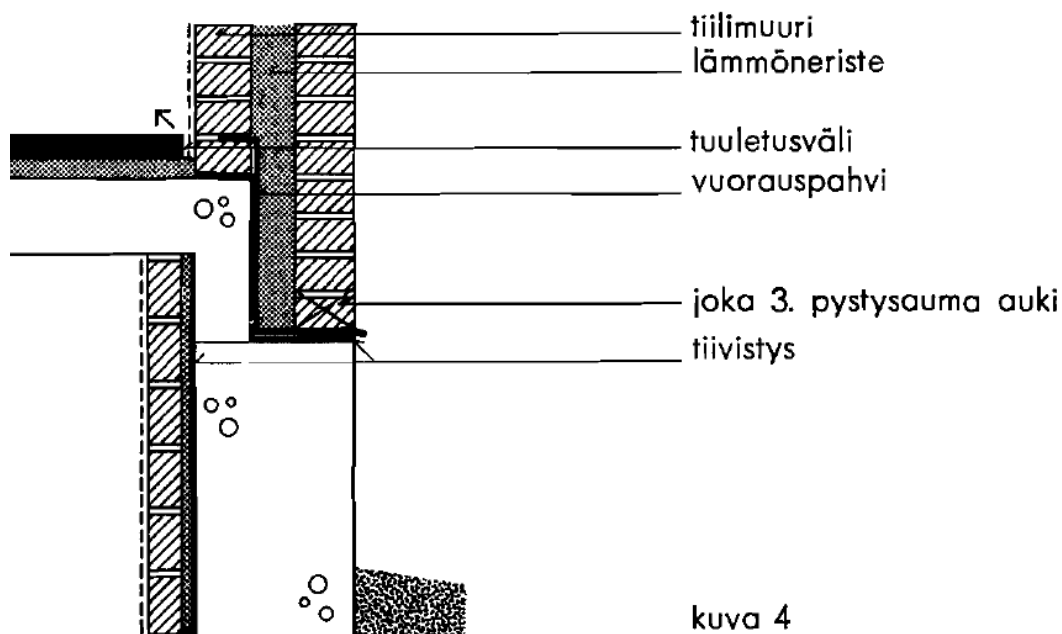


KUVA 6. Pohjakuva (Talja 2014)

Julkisivumuurauksen takaa puuttuva ilmarako aiheuttaa seinän kosteuskuormitusta, koska seinärakenteisiin kohdistuva vinosade sekä kapilaarisesti noussut kosteus ei pääse tuuletumaan pois. Vinosateen aiheuttama kosteus pystyy kapilaarisesti tunkeutumaan eristekerrokseen ja seinärakenteet vaurioituvat. Käsitellen vinosateen aiheuttamaa kosteuskuormitusta laskelmilla, kohdassa fysikaalinen toiminta.

Vuonna 1965 julkaistusta RT 823.161 kortissa olevista kuvista, voi todeta että ilmarakoa ei ole vaadittu julkisivumuurauksen taakse, mutta joka kolmas alimmaisen julkisivumuuraustiilen sauma on mainittu auki jätettäväksi.(kuva 7). Tämä sen vuoksi, että mahdollinen rakenteisiin johtunut vesi pääsee valumaan pois rakenteista. Tätä ei ole toteutettu tarkasteltavassani rakennuksessa, eli oman tulkintani mukaan rakennetta ei ole tehty hyvän rakennustavan mukaisesti. Tästä voi päätellä, että kyseessä on rakennusvirhe.

Pirinen (1999, 114) toteaa, että vielä vuonna 1987 ilmestynyt Rakentajan kalenteri kuitenkin esittelee tiilijulkisivuvuorauksen rakentamisen vanhaan rakennukseen ilman tuuletusrakoa. Vasta vuonna 1994 ilmestyneessä Rakentajan kalenterissa vastaavassa ohjeessa painotetaan tuuletusraon merkitystä. Tästä voidaan päätellä, että tuuletusraon tärkeys on ymmärretty vasta 90-luvun aikana. Tältä osin kehitys on ollut parempaan päin. Tuuletusraon puuttuminen tarkasteltavassani rakennuksessa on näin ollen ollut hyvän rakennustavan mukainen.



KUVA 7. Tiiliseinän kuivatus, RT 823.161 Tiiliseinän liittyminen perustukseen, v.1965.

Puurunkorakenteet ovat osittain syvemmällä, kuin lattiavalu (Pukuhuone ja pesutilat) Lattiarakenteen sisään ulottuva puuseinän alaosa kastuu seinän ulkoverhouksen tai maan pinnalta valesokkelin läpi tapahtuvien vesivuotojen takia. Lattian sisään upotetun seinän alaosa ei pääse kuivumaan. Sokkelissa ei ole lämpökatkoa, joten seinän alaosan kylmään ympäristöön voi tiivistyä kosteutta.

Seinissä oleva ilmansulkupaperi katkeaa lattia- ja seinän liittymään, näin ollen alapohjassa olevilla mikrobivauriolla on ilmayhteys sisäilmaan. Samoin kellarista on suora kulkuyhteys sisätiloihin, tämäkin mahdollistaa mikrobivaurioiden kulkeutumisen sisäilmaan.

Kellarin seinässä oleviin rakenteisiin aiheutuu todella suuri kosteuskuorma, jonka aiheuttajia on kapillaarinen veden nousu, sade- ja sulavedet sekä diffuusio. Kellarin seinässä olevat eristeet ja puurakenteet, kuten oven karmi ovat jatkuvasti märkiä, tästä johtuen rakenteet homehtuvat ja lahoavat ajansaatossa. Kuvassa 8 on nähtävissä pitkäaikaisen kosteuden aiheuttamia vaurioita.

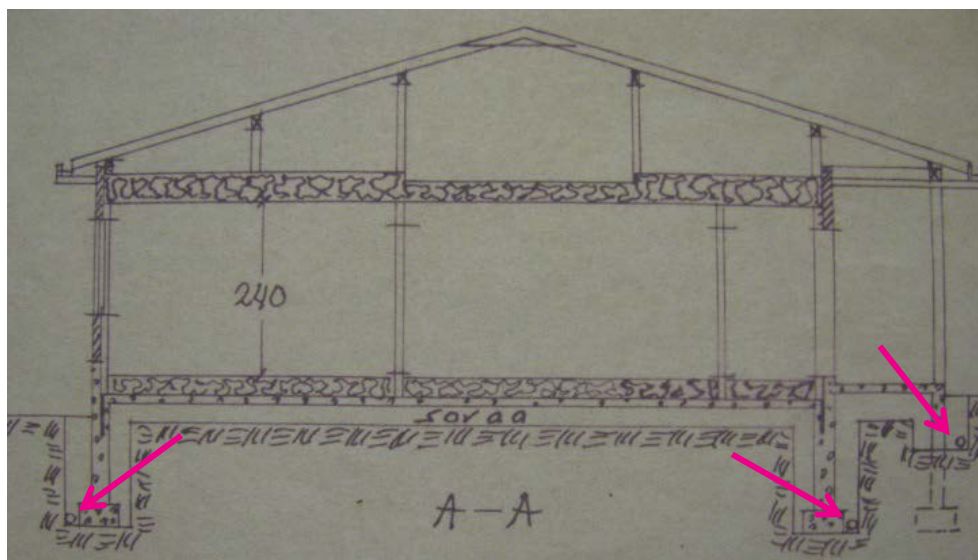


KUVA 8. Vaurioitunut oven puukarmi (Talja 2012-09-18)

4.3 Alapohjarakenteet

Alapohjarakenteiden rakennusvirheet ja huollon puuttuminen, kuten salaojien toimivuuden tarkastamisen laiminlyöminen, voi aiheuttaa alapohjarakenteiden vaurioitumisen. Salaojien toimivuus tulisi tarkastaa säännöllisesti esim. kolmen vuoden välein. Luetteloin seuraavaksi kohteessa olevia alapohjarakenteiden puutteita.

- Puutteellinen salaojavesijärjestelmä. Väärä salaojien korkeusasema, ilmenee alkuperäisistä kuvista. Tehty ruukkuputkista, jotka ovat ajansaatossa voineet sortua tai mennä tukkoon. (kuva 8.)



Kuva 8. Leikkaus A-A (Talja 2014-02-25)

- Puutteellinen sadevesijärjestelmä.
- Sadevesikaivot ja putket puuttuvat kokonaisuudessaan. Katolta tulevat vedet johdetaan syöksytorvia pitkin suoraan maahan tai muovikourua pitkin seinän välittömään läheisyyteen. (kuva 9).



Kuva 9. Puutteellinen sadejärjestelmä (Talja 2014-02-25)

- Perustuksen vedeneristys puuttuu (patolevy, bitumihuopa).
- Perustuksessa voi olla reikiä, josta vesi pääsee suoraan talon alle. Esim. vanhoista valumuoteista jääneitä puutappeja, jotka ovat lahonneet pois tai huonosti tiivistetty betoni, jossa on jäänyt ns. rotan koloja.
- kapilaarikatkon puuttuminen. Maa-aines alapohjan alla on soraa, eli hienorakeista maainesta.
- Routaeristykseen puuttuminen.
- Maan kallistukset ovat taloon päin.
- Rakennuksen etupihan ulkoseinästä 6 metrin etäisyydellä on noin 500 mm:n korkuinen pengerrys, joka korostaa maanpintojen kallistusten puutteellisuutta.(kuva 10).



Kuva 10. Etupihan pengerrys (Talja 2014)

- Maanpinta on korkeammalla, kun lattian pinta, väärä korkeusasema mm. puurakenteilla.
- Kasvillisuutta on liian lähellä sokkeliä.
- Raakavalun päällä on bitumisively.
- Puurakenteet ovat suoraan raakavalun päällä. Alajuoksu on poljettu betoniin.(kuva 11.)



Kuva 11. Alajuoksu ja bitumisively (Talja 2013-09-16)

- Raakavalun alla on mahdollisesti orgaanisia aineita, kuten puuta ja muuta moskaa.
- Alapohjan purueristeen ja lankkulattian välissä on noin 20–30 mm:ä korkea ilmatila.
- Lattialankun ja purueristeen välinen ilmatila on auki ulkoseinään saakka, jolloin ulkoseinien varsilla lattiat voivat olla hiukan muita lattioita kylmemmät, koska kyseisessä kohdassa seinärakennetta ei ole sisäpinnassa ilmansulkukerrosta.
- Toja-levy kiertää raakavalua. (kuva 12).



Kuva 12. Toja-levy (Talja 2012-10-09)

- Pohjavedenpinta on aika ajoin kellarin lattia- ja seinärakenteiden yläpuolella.
- Vanhat patteriputket, jotka kulkevat alapohjan purueristeissä ovat tulleet käyttöikänsä päähän.
- valesokkeli on tunnetusti riskirakenne.

Alapohjarakenteiden vaurioitumisen syynä on usein puutteellinen salaoja- ja sadevesijärjestelmä. Tämä mahdollistaa pohjaveden kapillaarisen nousun alapohjarakenteisiin, mikä aiheuttaa todella suuria vaurioita esim. lattiaeristyksenä olevaan puruun ja lattia- ja seinärakenteisiin. Salaojien toimimattomuus voi aiheuttaa myös pohjaveden nousun kellariin. Sadevesikaivojen puute mahdollistaa sadevesien valumisen suoraan perustus- ja seinärakenteisiin.

Toisaalta lattia- ja seinärakenteiden päällä olevaan bitumisveljyyteen voi muodostua kastepiste sopivissa lämpöolosuhteissa, jonka seurauksena purueristys ja lattia- ja seinärakenteet vaurioituvat. Lattiarakenteiden alla oleva purueristys on painunut, joka muodostaa ilmaraon 20–30 mm, tämä mahdollistaa mikrobivaurioiden leviämisen koko alapohjarakenteen alueelle.

Maan kallistukset ovat etupihalla seinään päin, mikä aiheuttaa sade- ja sulavesien kulkeutumisen talon vierustalle ja perustusrakenteisiin. Mielestäni kyseessä on rakennusvirhe, koska jo vuonna 1957 julkaistussa RT.817.11, perustus maanvaraisalapohjaisissa rakennuksissa, olevissa kuvissa on selkeästi kuvailtu maanpinta rakennuksesta pois päin kallistuvaksi. Puutteellinen perustusten vedeneristys

mahdollistaa kosteuden kulkeutumisen perustuksiin ja alapohjarakenteisiin. Lisäksi talon välittömässä läheisyydessä olevat kukkapenkit ja muu kasvillisuus aiheuttavat myös kosteuskuormitusta perustus- ja seinärakenteille esim. kukkien kastelun vuoksi.

Vanhat vesikiertoiset patteriputket ovat tulleet käyttöikänsä päähän, tästä aiheutuu vesivahingon mahdollisuus. Vanhat vesiputket voivat vuotaa pitkiäkin aikoja, ennen kuin ne huomataan. Tämä voi aiheuttaa suuria vaurioita alapohjarakenteisiin.

4.4 Märkätilat

Seuraavaksi tarkastelen märkätiloissa esiintyviä rakennusvirheitä ja puutteita. Märkätilojen oikeaoppinen rakentaminen on rakennuksen toimivuuden kannalta todella tärkeää.

- Puutteelliset lattiakallistukset.
- Seinälaatat menevät lattiarakenteiden sisälle. (kuva 13).



Kuva 13. Seinälaatoituksen rakennusvirhe (Talja 2012-08-22)

- Lattia akryylia ei ole nostettu seinälle.
- Lattialämmitysputket tulevat akryylipinnoitteen läpi. (kuva 14). "Märkätilan lattiaan saa tehdä vain läpivientejä, jotka ovat tarpeen viemäroinnin järjestämiseksi." (Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet: RIL 107–2012, 173).



Kuva 14. Lattialämmitysputket nousevat suoraan suihkun lattiasta (Talja 2014-02-27)

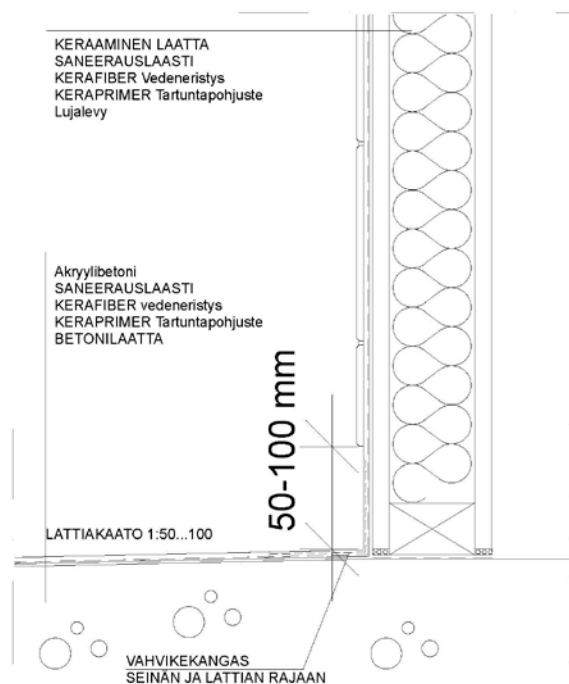
- Vedeneristys lattiassa on puutteellinen. (lämmitysputkien läpiviennit, seinän- ja lattianliittymä).
- Akryyli on halkeillut saunan puolelta.
- Ulkoseinässä on kosteuseristys ja kaksi muovikerrosta eri kohdissa rakenteita. (rakennusvirhe).
- Alun perin pesuhuoneen seinät ovat olleet kuusipaneelista.
- Suihkuputket kulkevat kylmän öljyvaraston seinän kautta.

Puutteelliset lattiakallistukset aiheuttavat suihku- ja pesuvesien kulkeutumisen pesuhuoneen seinien vierustoille, joka aiheuttaa puutteellisten vedeneristysten vuoksi alapuolisten lattiarakenteiden kastumisen.

Seinälaatoituksen virheellinen rakentaminen mahdollistaa myös veden kulkeutumisen seinä- ja lattiarakenteisiin. Kuvassa 13 on nähtävissä seinälaatoituksen rakennusvirhe. Seinissä pitäisi olla asiaan kuuluvat seinille nostot, eli seinälaatoitus ei saa jatkua lattiarakenteiden sisälle. Kuvassa 15 on nähtävissä oikeanlaisesti tehty seinälle nosto, eli akryylibetoni nousee seinälle 50 - 100 mm. "Ensiarvoisen tärkeää on, että lattian ja seinän vedeneristys on yhtenäinen. Märkätilan lattiapäällysteen ja seinäpinnoitteen on toimittava vedeneristykseenä tai lattiaan päällysteen alle ja seinään pinnoitteen taakse on tehtävä erillinen vedeneristys." (Märkätilan suunnitteluperiaatteet. RakMk C2. 1998.)

Alun perin suihkuseinät ovat olleet kuusipaneelista tehdyt, tämä on altistanut seinärakenteet suurelle kosteusrasitukselle, vaurioiden syntyminen seinärakenteisiin on todennäköisesti alkanut jo niiltä

ajoilta, kun seinissä ei ole ollut kunnollista vedeneristystä. Suihkutilojen alkuperäinen rakenne on to-
dettavissa liitteestä 3, jossa on taloon laadittu alkuperäinen työselitys.



Kuva 15. Pesuhuoneen seinälaatoituksen periaatekuva (Talja 2014)

4.5 Muita riskirakenteita

Muita riskirakenteita tarkastelen viimeiseksi, niitä voivat olla esim. puutteellinen palo-osastointi ja ilmanvaihto. Riittävä ilmanvaihto on hyvin tärkeää asumisviihtyvyyden vuoksi.

- Puutteellinen ilmanvaihto. Korvausilmaventtiilien vähyys.
- Vanha sähköjärjestelmä, jossa on vanhat johdotukset ja sähkökeskukset.
- Kattilahuoneen osastointi. Palo-ovena toimii pellitetty laakaovi. Katossa on yksikerros kipsilevyä.

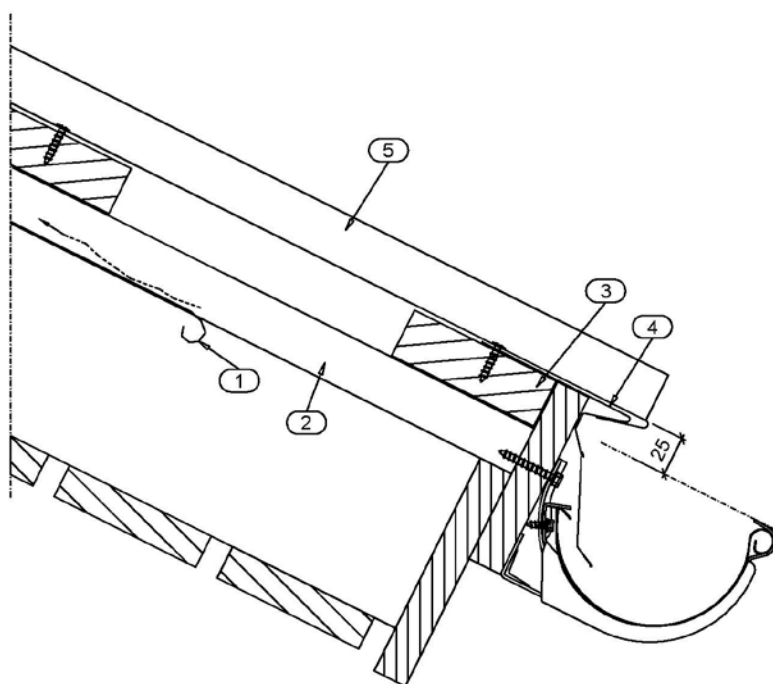
Korvausilmaventtiilien vähyys aiheuttaa sen, että liesituulettimen päällä ollessa korvausilmaa ei riittävästi ole, jolloin sisätilat tulevat voimakkaasti alipaineiseksi. Tämän vuoksi korvausilmaa alkaa virrata alapohja- ja seinärakenteista. Näin mikrobivaurioitunut ilma pääsee kulkeutumaan sisätiloihin esim. lattia- ja seinärakenteiden liittymistä sekä patteriputkien läpivienneistä.

Vanha sähköjärjestelmä on herkempi oikosuluille, kun nykyaikaiset järjestelmät. Tämä aiheuttaa tulipalon vaaran samoin kuin, kattilahuoneen puutteellinen palo-osastointi. Vanhat hapertuneet sähköjohdot eivät kestä taivuttelua ja vikavirtasuojakytkimien puuttuminen sekä puutteellinen maadoitus mahdollistaa sähköiskun saamisen laitevian sattuessa.

5 RAKENTEIDEN KORJAUS JA KUSTANNUKSET

5.1 Yläpohjarakenteiden korjaus

Vanhan peltikatteen uusiminen on suositeltavaa, koska siinä on vuotokohtia, aluskate puuttuu, räystät ovat liian lyhyet sekä vanhan aikaiset ja vesikourut aiheuttavat vesivuotoja. Samassa yhteydessä on suositeltavaa poistaa vaurioituneet kattorakenteet, kuten vanhat lahot ruodelaudat. Kannattaa myös muistaa, että vesikatto on viides julkisivu ja sen uusiminen nostaa talon jälleen myyntiarvoa. Esitän kuvassa 16 korjatun vesikattorakenteen leikkauskuvan.



1. ALUSKATE
2. PUURIMA, ESIM. 32*50
3. PUURUODE, k350mm yleensä asennusohjeen mukaan
4. RÄYSTÄSLISTA, RA1AEF
5. PYSTYSAUMAKATE, ESIM. CLASSIC SR35-475D

Kuva 16. Uuden vesikaton leikkauskuva (Talja 2014)

5.2 Vesikaton uusimisen kustannukset

Lasken suuripiirteisen korjauskustannuksen vesikaton uusimiselle. Käytin apuna internetistä löytyvää kustannuslaskuria. (Suomirakentaa.fi) Tarkoituksena on osoittaa korjauskustannusten suuruusluokka. Alla olevassa luettelossa on tehtävät toimenpiteet, mitkä laskennassa on otettu huomioon.

Vesikattoremontin kustannukset:

Katon pinta-ala: 210 m².

Kustannustaso: 3/5 tähteä. (Normaali hintataso)

Tehtävät toimenpiteet:

- peltikatteen purku
- ruoteiden asennus
- aluskatteen ja tuuletusriman asennus
- suora profiiliteräskate (8,7 €/m²)
- räystäslautojen asennus (sis. lautojen maalauksen, räystäät 20 % katon pinta-alasta)
- otsalautojen asennus
- palotikkaat/kpl
- lapetikkaat/kpl
- kattosilta
- lumiesteet
- räystäskourut
- syöksytorvet
- läpiviennit
- piipun pellitys
- vesikourut
- loiskekupit.

Laskelmissa käytetyt hinnat perustuvat Rakennustutkimus RTS Oy:n ylläpitämään hintaseurantaan, jonka perustana olevat tiedot kerätään omakotirakentajilta, urakoitsijoilta, materiaalivalmistajilta, viiranomaisilta ja rakennustarvikemyyjiltä. Hintataso: Joulukuu 2013.

Mat: 17136 €

Työ: 5433 €

Ylk: 7523 €

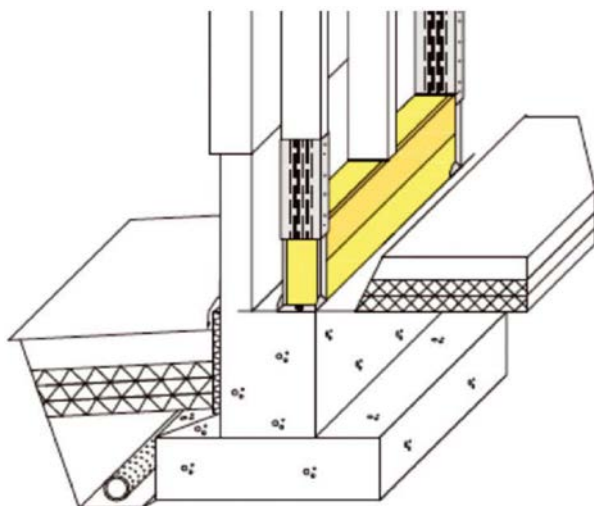
Yht: 30092 €

Vesikaton korjauskustannukset vanhassa talossa ovat suuremmat, koska työ- ja materiaalmäärät ovat suurempia. Vanhojen vesikattorakenteiden purku- ja korjaustyöt lisäävät työmäärää. Tein laskelmat käyttämällä kahta eri kustannustasoa, yllä oleva oli ns. normaalitaso ja toisessa laskelmassa kustannustaso oli huokein mahdollinen. Kummassakin laskelmassa oli samat tarvikkeet, mutta toisessa oli huokeampi tuntipalkka sekä materiaalit. Vesikaton korjauskustannus arviot olivat 20 000–30 000 euron luokkaa. Tästä voi päätellä, että vesikaton korjauskustannukset ovat kohtuullisen suuret vanhassa omakotitalossa. Laskelmien perusteella katoneliöhinta muodostuu n. 100–140 €/m² hintaiseksi, ja tähän vaikuttaa materiaalit, työn määrä ja kattovarusteet, joihin kuuluvat mm. lumiesteet ja kävelysillat.

5.3 Seinärakenteiden korjaus

Lähtökohtana on, että puiset ulko- ja väliseinärakenteet lähtevät tulevan betonivalun päältä, alaohjauspuun alle laitetaan esim. huopakaista. Puiset mahdollisesti vaurioituneet rakenteet uusitaan vä-

hintään 500 mm:n matkalta tulevan lattiapinnan tasosta katsottuna, niin että vaurioitunut rakenne poistetaan kokonaisuudessaan. Ulkoseinän valesokkelirakenne täytetään muuraamalla harkkoilla. Vä-liseinärakenteet nostetaan em. tavalla tai termokengillä, tulevan lattiapinnan tasolle. Valesokkelin korjauksen yhteydessä alapohjan ja seinäliittymä tiivistetään huolellisesti, etteivät mahdolliset alapohjassa olevat epäpuhtaudet pääse kulkeutumaan sisäilmaan. Kivirakenteet saa tiivistettyä luotettavammin, kuin termokenkä ratkaisussa olevan liitoslautarakenteen. Periaatteena on, ettei puurakenteita jää betonivalun sisälle. Kuvassa 17 on esitetty termokenkäjärjestelmän periaate.

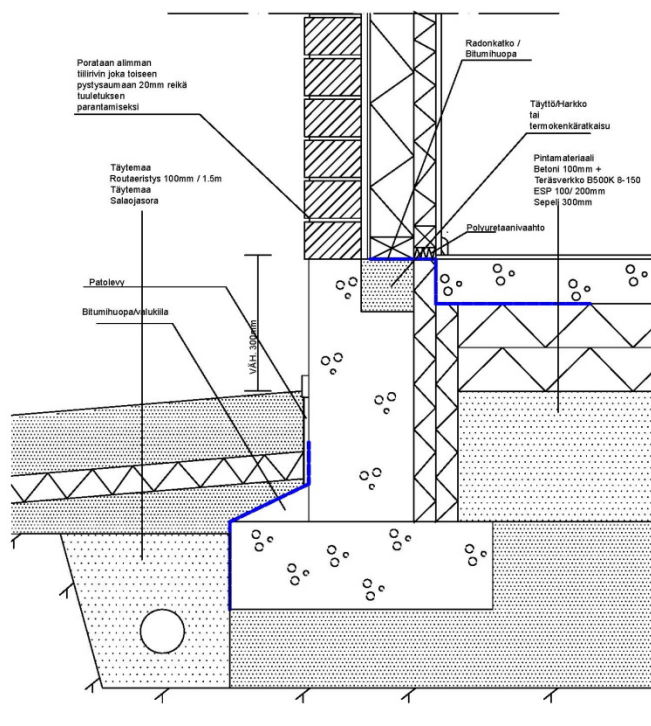


Kuva 17. Termokenkäjärjestelmä (Takotek)

Termokenkäjärjestelmä on tarkoitettu kantamattomien seinien korjaukseen, näin ollen ulkoseinien kengitys tehdään harkkorakenteella, koska puurunko on kantava tässä tapauksessa.

Tähänastisessa korjausmenetelmässä seinärungon alaosa on nostettu ylemmäs muuraamalla lekaharkko valesokkelin sisälle. Harkkomuurausmenetelmän useat työvaiheet nostavat kustannuksia, ja sen suorittaminen talvella pakkaskautena jäiseen sokkeliin on vaativa toimenpide. Lisäksi seinän lämmöneristyskyky heikkenee merkittävästi. Termokenkä-menetelmän U-arvo on selvästi parempi kuin harkkorakenteen. (Harkon U-arvo on 1,429 W/m²K ja Termorakenteen 0,283 W/m²K). Termokenkä ja Termopalkki muodostavat yhdessä uuden väliseinärakenteiden korjausmenetelmän. Kantavan seinärungon runkopuiden alaosaan asennetaan Termokenkä, joka on valmistettu metallista. Termopalkki on XPS-eristeestä valmistettu seinän alaosaan asennettava tehokas lämpöeriste ja samalla sisäseinälevyn alareunan ja jalkalistan kiinnitysalusta. (takotek.fi.)

Samassa yhteydessä kannattaa vaihtaa vanhat lasivillaeristeet uusiin, koska todennäköisesti vanhat lasivillaeristeet ovat lämpövuotojen mustaamat. Ulkoseinien lisäeristäminen on tässä vaiheessa perusteltua. Seinien eristyskoolaus kannattaa tehdä ristikkäin, näin ei pääse muodostumaan kylmäsiltoja rakenteisiin. Lisäeristämisessä kannattaa käyttää finnfoam-eristettä, jolloin saadaan paljon parempi U-arvo, kun esim. mineraalivillalla. Eristys periaatteena on, että eristys tapahtuu tiheämmästä eristeestä harvempaan ulospäin katsottuna. Tämä sen vuoksi, että rakenne toimii paremmin kosteusteknisesti. Kuvassa 18 on esitetty korjattu ulkoseinärakenne.



Kuva 18. Korjatun ulkoseinärakenteen periaatekuva (Talja 2014)

5.4 Seinärakenteiden korjauskustannukset

Käytän kustannuslaskuissa Kuopion Savonia-ammattikorkeakoulun lehtorin Pasi Haatajan kustannuslaskelmaa avuksi, joka on liitteessä 9.

Laskin suurpiirteisesti korjauskustannukset seinien purkutöille 700 mm. korkeudelle, valesokkelinkorjaukselle ja ulko- ja väliseinien korotukselle. Alla olevasta taulukosta 1 voi päätellä, että korjauskustannukset kasvavat todella suureksi laaja-alaisissa kosteus- ja homevauriossa, koska tämä on vain yksi osio korjauksesta. Laskelman perusteella arvioin seinärakenteiden korjauskustannuksiksi 250–300 € / jm. Se kannattaa muistaa, että ensimmäiseksi on syytä korjata vaurion aiheuttaja, ennen kuin ryhtyy korjaamaan vaurioituneita rakenteita.

Taulukko 1. Valesokkelin, ulko- ja väliseinien korotuksen korjauskustannuslaskelma (Talja 2014)

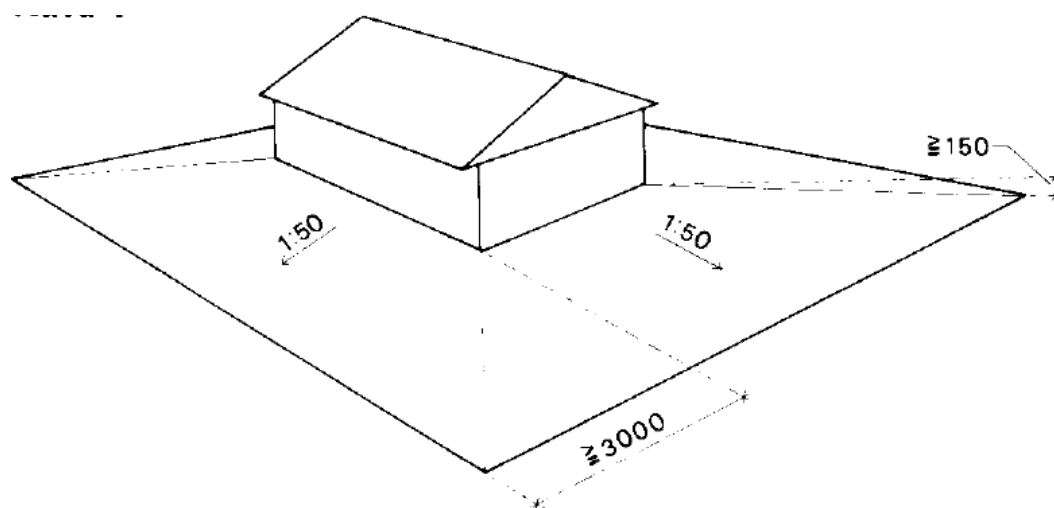
RAKENNUSOSA	Materiaalimenekki	Yksikkö	Materiaalikustannus €/yks.	Materiaalikustannus yhteensä	Työmenekki tth/yks.	Aputyön osuus %	Työtunnit yht.	Kustannus yhteensä (työ + materiaali)
Valesokkelirakenne								
Purkutytöt								
Sisäseinän levytyksen purkutyo 700mm		21	m2	- €	0,5	1	10,5	367,50 €
Seinärunon tuenta		70	jm	- €	0,6	1,2	42	1 470,00 €
Seinärunon alaosan purkaminen 300-400mm		28	m2	- €	1,2	1,3	33,6	1 176,00 €
Sokkelihalkaisuvillan poisto		30,4	jm	- €	0,7	1	21,28	744,80 €
Betonipintojen puhd. ja desinfiointi		30,4	jm	21	638,40 €	0,6	18,24	1 276,80 €
Kustannukset yhteensä							125,6	5 035,10 €
Rakentaminen								
Ulko + väliseinien alaosien harkkorotus 75 mm		70	jm	6,5	455,00 €	1,1	77	3 150,00 €
Lämmöneriste (SPU 30 mm)		30,4	jm	3	91,20 €	0,5	15,2	623,20 €
Uuden alajouksun asennus 50x100		70	jm	3,6	252,00 €	1,3	91	3 437,00 €
Seinälevytyksen uusiminen		21	m2	4,41	92,61 €	0,18	3,78	224,90 €
Seinien pintarakenteet		21	m2	3,73	78,33 €	0,1	2,1	151,83 €
Kustannukset yhteensä				969,14 €			36,81	7 586,93 €
								12 622,03 €

5.5 Alapohjarakenteiden korjaus

Ensimmäiseksi kannattaa kaivaa seinien vierustat auki ja asentaa uudet salaoja- ja sadevesijärjestelmät, että pohjarakenteet alkavat kuivumaan. Ei ole viisasta alkaa rakentaa uutta, jos vaurioiden aiheuttajia ei ensimmäiseksi eliminoida.

Sade- ja sulamisvedet on johdettava pois rakennuksen vierestä. Vähimmäiskaltevuus 1:20 3 m:n etäisyydelle sokkelista, korkeusero vähintään 0,15 m. Rakennuspohja on salaojitettava, eikä järjestelmään saa johtaa pintavesiä eikä katoilta valuvia vesiä, salaojittamatta jättäminen tulee erikseen selvityttää ja perustella. Salaojaputket asennetaan vähintään 0,4 m maanvastaisen lattiapinnan alapuolelle. Salaojaputkien kaltevuuden on oltava vähintään 1:200, normaalisti 1:100. (Rakennuspohjan kuivatus. RakMk C2. 1998.)

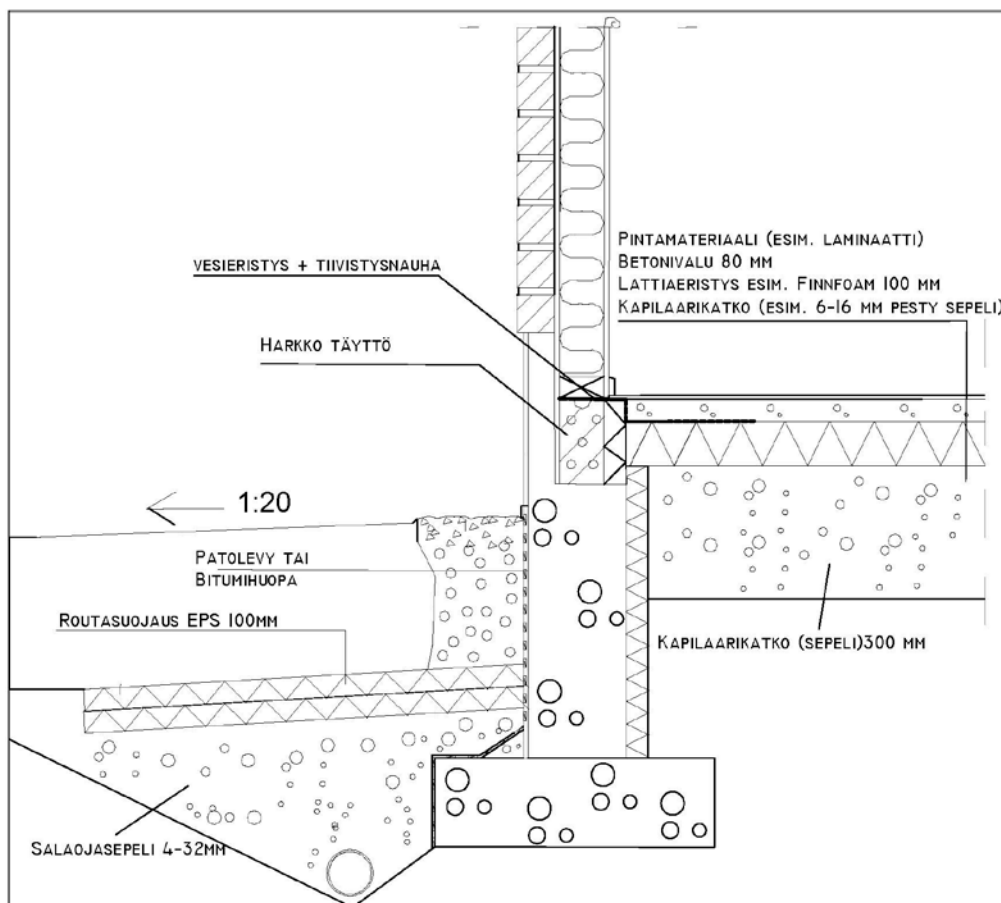
Kuvassa 19 on hyvin esitetty oikeaoppisesti tehdyt maankallistukset rakennuksesta pois päin.



Kuva 19. Maankallistukset (RT811.41)

Samassa yhteydessä asennetaan routaeristykset sekä perustuksen vesieristys. Perustuksessa voi olla reikiä, josta vesi pääsee suoraan talon alle. Esim. vanhoista valumuoteista jääneitä puutappeja, jotka ovat lahonneet pois tai huonosti tiivistetty betoni, jossa on jäänyt ns. rotan koloja. Mahdolliset reiät tukitaan esim. saneerauslaastilla. Yllä olevassa kuvassa 18 on esitetty oikeanlainen salaojan korkeusasema sekä perustusten vedeneristys.

Sisäpuoliset lattiarakenteet kannattaa purkaa kokonaisuudessaan, koska ne ovat home- ja lahovaurioituneet. Lattiapurueristeen poisto on helpointa suorittaa imuautolla, sillä jos purua ryhtyy lapioiden jätesäkkeihin, niin aikaa pitää varata todella runsaasti. Vanhat patteriputket ovat tulleet aikaansa päähän, niiden tilalle on järkevää asentaa lattialämmityspotket, koska talossa on uusi puulämmitteinen vesikiertojärjestelmä. Lattialämmitys tuo asumismukavuutta, kylmien lattioiden sijaan. Kuvassa 20 on esitetty korjattu lattiarakenne.



Kuva 20. Korjattu perustusleikkaus (Talja 2014)

5.6 Alapohjarakenteiden korjauskustannukset

Alapohjarakenteiden korjauskustannuksen suuruusluokka selviää alla olevasta laskelmasta, jonka laskin internetistä löytyvällä remonttioptimi laskurilla (rakentaja.fi). Laskelmassa on huomioitu vanhojen lattiarakenteiden purku ja uuden betonilaatan rakentaminen. Tämä on kuitenkin suuntaa antava laskelma, koska laskelmassa ei ole huomioitu esimerkiksi lattialämmitystä ja viemärointiä. Arvioin alapohjarakenteiden korjauskustannuksien olevan noin 130–160 €/m² hinnoissa, jos kyseessä on purueristeinen maanvarainen alapohja.

RemonttiOptimi

Remonttilaskuri

Yhteenveto: Nimeämätön kohde - Rakennekorjaus - Alapohja

Nykyinen alapohja:

1. Tuulettuva alapohja (rossilattia)
 2. Maanvarainen alapohja

Alapohjan eriste

1. Purueristys
 2. puru+mineraalivilla
 3. Mineraali- tms. villa
 4. Muu

Alapohjan kunto

1. Uusi
 2. Hyvä
 3. Tyydyttävä
 4. Välttävä
 5. Heikko

Muokattuasi kohteen perustietoja, tarkista myös työkohtaiset määrät. Syötä ensin kohteen oletusarvot ja sen jälkeen tarkemmat työkohtaiset määrät. Käytä oletustuntihintana €/h

Päivitä näkymä

Tulosta näkymä

Poista työt kustannusarviosta

Tallenna huoneen tiedot

Valitut työt - Alapohja

	Määrä	Yksikkö	Työt h	Työt	Tarvikkeet	Yhteensä
Purkutyöt, betonirakenteinen alapohja						
02. Alapohjan betonilaatan purku	80	m ²	40 h	1400 €	0 €	1400 €
Purkutyöt, betonirakenteinen alapohja(1)						
04. Maankaivu lapiolla 10 cm	80	m ²	56 h	1540 €	0 €	1540 €
Purkutyöt, puurakenteinen alapohja						
03. Lattialevytyksen tai ponttilaudoituksen purk	80	/m ²	40 h	1100 €	0 €	1100 €
Purkutyöt, puurakenteinen alapohja (1)						
04. Alapohjaeristeiden ja palkistojen purku	80	/m ²	83,2 h	2912 €	0 €	2912 €
Vanhan alapohjan oikaisu						
02. Oikaisu levyttämällä, ei tasoeroja	80	/m ²	12 h	420 €	617 €	1037 €
Uusi alapohjarakenne						
02. Maanvarainen betonialapohja (tb-laatta 80r	80	/m ²	24 h	840 €	2758,4 €	3598,4 €
Alapohjan pinnoitteet lasketaan Huonetilat-valikossa						
Kustannusarvio:			255,2 h	8212 €	3375,4 €	<u>11587,4 €</u>

Kuva 21. Alapohjan korjauskustannuslaskelma (Talja 2014)

6 RAKENTEIDEN FYSIKAALINEN TOIMINTA

6.1 Veden kapilaarinen siirtyminen

Seuraavaksi selostan tarkemmin kosteuskäyttäytymistä rakenteissa. Näillä laskuesimerkeillä haluan näyttää, miksi riskirakenteisiin liittyy melkein aina kosteus. Otan ensimmäiseksi tarkastelun kohteeksi veden kapilaarisen siirtymisen. Tässä käsittelemäni tiedot ovat Savonia-ammattikorkeakoulun luentoaineistoon perustuvaa tietoa.

Savonia-ammattikorkeakoulun lehtorin Harry Dunkelin opetusmateriaalin (2013,23) mukaan kapillaarista siirtymistä voi esiintyä myös vaakasuunnassa tai alaspäin. Näissä tapauksissa myös painovoima tai tuulenpaine vaikuttaa veden siirtymiseen. Esimerkiksi vesisateella, vesi voi imeytyä julkisivun rakenteisiin kapillaarivoimien vaikutuksesta tai samanaikaisesti myös tuulenpaineen ja painovoiman vaikutuksesta. Rakenteiden pintaan tiivistynyt vesi voi myös imeytyä kapillaarisesti materiaalien huokosiin. Myös perustusrakenteisiin voi kohdistua kapillaarista siirtymistä eri suunnista. Huokoskoot aiheuttavat huokosalipaine-eroja, jotka mahdollistavat veden kapilaarisen siirtymän myös pienempi-huokoisesta materiaalista suurempi-huokoiseen materiaaliin sekä päinvastoin suuremmasta pienempään. Tämä siirtymä tapahtuu materiaalin sisällä.

Veden kapilaariseen siirtymänopeuteen vaikuttaa huokosalipaineen suuruus sekä veden virtaukseen vaikuttavat kitkavoimat. Kitkavoimat kasvavat suuremmiksi, pienemmän huokoskoon omaavissa materiaaleissa. Myös virtausmatkan kasvaessa kitkavoimat suurenevät.

Merkitään syvyyttä kirjaimella X , veden kanssa kosketuksissa olevasta materiaalin pinnasta, johon asti huokokset ovat vedellä täyttyneet ajassa t , tällä tarkoitetaan veden tunkeutumissyvyyttä. Aikamäärään t ja veden tunkeutumissyvyyden X välillä on seuraavanlainen yhteys

$$t = m \cdot X^2 \quad (1)$$

m tarkoittaa kapilaarivastusta (s/m^2).

Ratkaistaan syvyys X ,

$$B = \sqrt{\frac{1}{m}} \quad (2)$$

$$X = B\sqrt{t} \quad (m) \quad (3)$$

B tarkoittaa veden tunkeutumiskerrointa, jonka yksikkö on ($m/s^{0,5}$).

Veden kanssa kosketuksissa olevasta pinnasta vesi imeytyy materiaaliin kapillaarisesti nopeudella

$$g = \frac{A}{2\sqrt{t}} \quad (kg/m^2s) \quad (4)$$

A tarkoittaa kapilariteettikerrointa eli veden imeytymiskerrointa, jonka yksikkö on ($kg/(m^2s^{0,5})$).

Imeytyneen veden määrä pinnassa ratkaistaan kaavalla.

$$G = A\sqrt{t} \quad (\text{kg/m}^2) \quad (5)$$

Tarkasteltavanani olevassa kohteessa on 130 mm:ä paksu julkisivumuuraus. Lasken seuraavassa, missä ajassa kapilaarinen siirtyminen on teoreettisesti mahdollista voimakkaalla vesisateella ja paljonko on pintaan imeytyneen veden määrä ($\text{kg/m}^2\text{h}$) on?

Taulukko2. Materiaalien kapilaarisuusominaisuuksia (Dunkel 2013,24.)

Materiaali	Kapillariteetti-kerroin A ($\text{kg/m}^2\text{s}^{0,5}$)	Veden tunkeutumiskerroin B ($\text{m/s}^{0,5}$)
Tiili (tiheys 1700 kg/m^3)	0,4	$1,4 \times 10^{-3}$
Tiili (tiheys 1900 kg/m^3)	0,1	$0,7 \times 10^{-3}$
Kevytbetoni	0,1	$0,4 \times 10^{-3}$
Betoni (vesisementtisuhte = 0,3)	0,01	$0,1 \times 10^{-3}$
Betoni (vesisementtisuhte = 0,5)	0,02	$0,2 \times 10^{-3}$
Betoni (vesisementtisuhte = 0,7)	0,03	$0,3 \times 10^{-3}$
Sementtilaasti	0,03	$0,5 \times 10^{-3}$
Kalkkilaasti	0,3	$1,0 \times 10^{-3}$
Puu (syiden suunnassa)	0,02	-
Puu (syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa)	0,004	-

Ensimmäiseksi valitsen veden tunkeutumiskertoimen muuratulle kalkkihiekkatiilelle (tiheys 1 900 kg/m^3), joka on $0,1 \times 10^{-3} (\text{m/s}^{0,5})$ (taulukko 2.)

$$t = m \cdot X^2 \quad (6)$$

Ratkaisen kaavasta ajan määritteen (t)

$$X = B\sqrt{t} \quad (7)$$

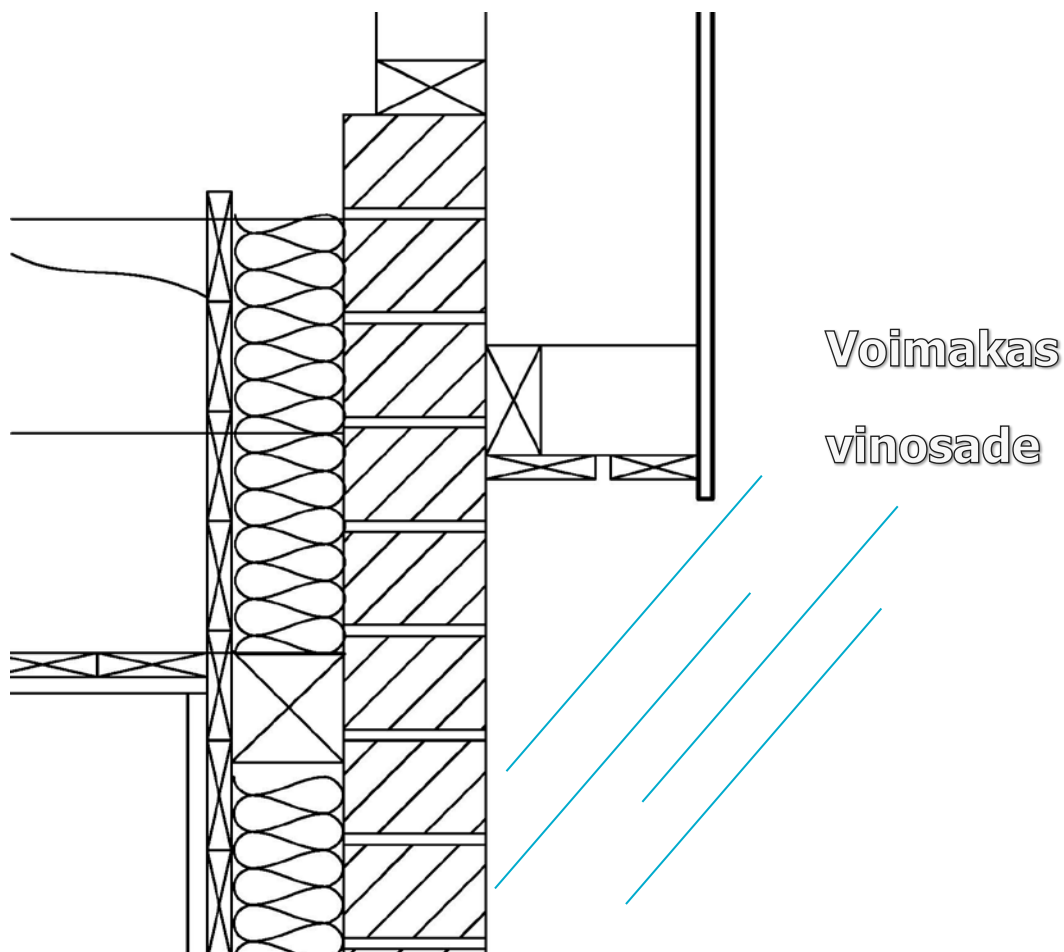
$$\sqrt{t} = \frac{X}{B} \Rightarrow ||()^2 \quad (8)$$

$$t = \frac{X^2}{B^2} \quad (9)$$

Seuraavaksi sijoitan arvot kaavaan.

$$t = \frac{0,130^2 m^2}{0,7 \cdot 10^{-3} m/s^{0,5}} = 34\,489,8 \text{ sekuntia} = 574,8 \text{ minuuttia} = 9,58 \text{ tuntia}$$

Veden kapilaariseen siirtymiseen tiiliseinän läpi menee aikaa 9 tuntia 35 minuuttia.



Kuva 22. Päätyräystääleikkaus (Talja 2014)

Seuraavaksi lasken pintaan imeytyneen veden määrän (kg/m^2).

$$\text{Kaava on seuraavanlainen: } G = A\sqrt{t} \quad (10)$$

jossa A on kapilaariteettikerroin eli veden imeytymiskerroin ($\text{kg}/(\text{m}^2\text{s}^{0,5})$). Imeytymiskerroin löytyy taulukosta 1.

$$t = 3\,600 \text{ sekuntia} = \text{tunti}(h)$$

$$A = 0,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\sqrt{s}} \quad (11)$$

$$G = 0,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\sqrt{s}} \times \sqrt{3\,600s} = 6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2h} \quad (12)$$

Laskusta selviää, että kahitiili, jonka tiheys on ($1\,900 \text{ kg}/\text{m}^3$) voi imeä vettä 6 kiloa seinäneliötä kohden tunnissa. Asia ei tietenkään ole näin yksiselitteinen, koska tiilien pinnassa tapahtuu haihtumista ja sade- ja tuuliolosuhteet vaihtelevat paljon. Jos ajatellaan teoriassa saatuja vastauksia, niin pitkäkestoisessa rankkasateessa ($6\,000 \text{ grammaa}/\text{m}^2/\text{h}$), tiilet voivat kastua läpi märäksi.

Edellisillä laskutoimituksilla voidaan osoittaa, että vinosateella kosteus pyrkii tunkeutumaan rakenteisiin.

Julkisivumuurauksen takaa puuttuva ilmarako on näin ollen riskirakenne. Ilmarako on sen takia julkisivuverhouksen takana, että mm. sateen aiheuttama kosteus pääsee tuulettumaan pois. Seinien lumeaminen talvella voi myös aiheuttaa seinärakenteiden kastumista.

6.2 Suhteellinen kosteus

Seuraavaksi tarkastelen suhteellista kosteutta, jota merkitään lyhenteellä (RH = relative humidity). Suhteellisella kosteudella tarkoitetaan ilmassa olevan kosteuden suhdetta kyllästyskosteuteen ja sen määrää kuvataan yleensä prosentteina. Suhteellista kosteutta voidaan tarkastella, joko vesihöyryn kyllästyspitoisuutena tai vesihöyryn kyllästyspaineena. Otan seuraavassa esimerkkilaskun rakennuksessa esiintyvistä suhteellisesta kosteudesta. Laskussa tarkastelen asiaa vesihöyrynkyllästyspitoisuuden kautta. Laskuissa käytän apuna Savonia-ammattikorkeakoulun Harry Dunkelien opetusmateriaalia. (Dunkel 2013, 10–11.)

Sisäilmassa olevaan kosteuspitoisuuteen vaikuttaa:

- Sisällä kehitetyn kosteuden määrä
- Ilmanvaihdon tehokkuus
- Ulkoilman kosteuspitoisuus

Sisäilman kosteuspitoisuuden pitkän aikavälin laskukaava:

$$v_s = v_u + \frac{G}{nV} \quad (13)$$

v_s = sisäilman kosteus (kg/m³)

v_u = ulkoilman kosteus (kg/m³)

G = sisätilan toiminnasta aiheutuva kosteusvirta (kg/h)

n = ilmanvaihtoluku (ilman vaihtuvuus/h)

V = huoneen tilavuus

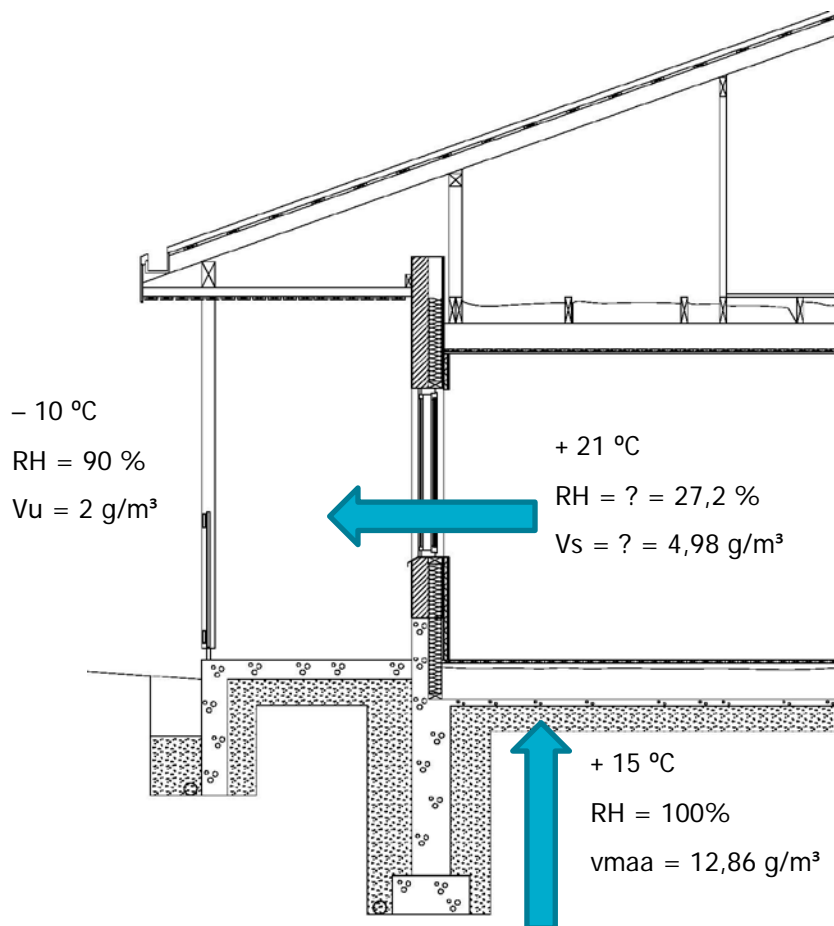
Arvioin kaavaan neljä jälkimmäistä termiä. Ihminen tuottaa kosteutta 1 – 3 l/vrk:ssa. Rakennuksessa oleilee keskimäärin 3 henkilöä, joiden kosteustuotto on 2 l/vrk/hlö. Rakennuksen pinta-ala on 95 m² ja tilavuus on 2,5 m x 95 m² = 237,5 m³. Painovoimainen ilmanvaihto vaihtaa sisätilan ilman kokonaisuudessaan 3 tunnin aikana, eli ilmanvaihtoluku saadaan 1/3 = 0,333.

Sijoitan luvut kaavaan.

$$\frac{G}{nV} = \frac{3 \cdot 2\,000\text{g}}{24\text{h}} \frac{1}{0,333 \frac{1}{\text{h}} \cdot 237,5\text{m}^3} = 3,16 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \quad (14)$$

Seuraavassa laskussa otan huomioon arviointiin perustuvan kosteuslisän, jonka suuruus oli $3,16 \text{ g/m}^3$. Pyöristän luvun vielä 3 g/m^3 laskennan selventämiseksi.

Laskennassa käytän kuvassa olevia arvoja. Vesihöyryn kyllästyspitoisuudet eri lämpötiloille löytyvät taulukosta 2.



Kuva 23. (Talja 2014)

V_u = Ulkoilman kosteuspitoisuus (g/m^3)

V_s = Sisäilman kosteuspitoisuus (g/m^3)

V_{maa} = Maan kosteuspitoisuus (g/m^3)

Lasken ensimmäiseksi sisällä olevan kosteuden määrän (V_s)

$$V_u = 90 \% \times 2,2 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = 1,98 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \quad (15)$$

$$V_s = V_u + \text{kosteuslisä, eli } V_s = 1,98 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} + \text{kosteuslisä } 3 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = 4,98 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \quad (16)$$

Seuraavaksi lasken sisätilassa olevan suhteellisen kosteuden (RH)

$$RH = \frac{4,98 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}{18,31 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}} \times 100\% = 27,2 \% \quad (17)$$

Maassa esiintyvän vesihöyryn kyllästyspitoisuuden arvon saa suoraan taulukosta 3, koska maaperän suhteellinen kosteus on 100 %.

Näistä arvoista voi päätellä suhteellisen kosteuden kulkusuunnan, kuvassa 23 esitetyillä arvoilla laskettuna. Kosteus pyrkii tasoittumaan, näin ollen kosteusvirta on pienempään arvoon päin. Kuvassa 16. olevat nuolet osoittaa kosteusvirran suunnan. Tästä voi päätellä, että maasta tuleva vesihöyry pyrkii nousemaan sisätiloihin. Tämä aiheuttaa oman lisänsä alapohjan kosteuskuormitukseen. Huonosti eristetty alapohja mahdollistaa raakavalun alla olevan maa-aineksen lämpenemisen, jolloin vesihöyrypitoisuus kasvaa.

Taulukko 3. Vesihöyryn kyllästyspitoisuuksia ja kyllästyspaineita eri lämpötiloissa (Dunkel 2013,7.)

t	v_k	p_{vK}	t	v_k	p_{vK}	t	v_k	p_{vK}
°C	g/m^3	Pa	°C	g/m^3	Pa	°C	g/m^3	Pa
-20	0,87	102	14	12,10	1602	48	75,67	11207
-19	0,95	111	15	12,86	1708	49	79,33	11786
-18	1,04	122	16	13,65	1820	50	83,14	12390
-17	1,14	135	17	14,49	1939	51	87,10	13020
-16	1,25	149	18	15,37	2064	52	91,21	13677
-15	1,38	164	19	16,30	2197	53	95,48	14362
-14	1,52	181	20	17,28	2337	54	99,92	15075
-13	1,67	200	21	18,31	2484	55	104,5	15818
-12	1,83	221	22	19,40	2640	56	109,3	16592
-11	2,01	242	23	20,54	2805	57	114,2	17397
-10	2,20	266	24	21,74	2979	58	119,4	18234
-9	2,40	292	25	23,00	3162	59	124,7	19105
-8	2,61	319	26	24,32	3355	60	130,2	20010
-7	2,84	348	27	25,71	3559	61	135,9	20951
-6	3,08	379	28	27,17	3773	62	141,9	21928
-5	3,33	412	29	28,70	3999	63	143,0	22943
-4	3,60	447	30	30,31	4237	64	154,3	23997
-3	3,89	485	31	31,99	4487	65	160,9	25090
-2	4,19	524	32	33,75	4750	66	167,7	26224
-1	4,51	566	33	35,60	5027	67	174,7	27401
0	4,85	611	34	37,54	5317	68	181,9	28620
1	5,21	658	35	39,56	5622	69	189,4	29884
2	5,58	708	36	41,68	5940	70	197,1	31194
3	5,98	762	37	43,89	6278	71	205,1	32551
4	6,40	818	38	46,21	6631	72	213,3	33956
5	6,84	878	39	48,63	7000	73	221,8	35410
6	7,31	941	40	51,16	7388	74	230,6	36915
7	7,80	1008	41	53,79	7793	75	239,6	37471
8	8,32	1079	42	56,54	8218	76	248,6	40082
9	8,87	1154	43	59,41	8663	77	258,5	41747
10	9,45	1234	44	62,40	9127	78	268,4	43468
11	10,06	1318	45	65,52	9614	79	278,6	45247
12	10,71	1408	46	68,77	10221	80	289,1	47084
13	11,38	1502	47	72,15	10657			

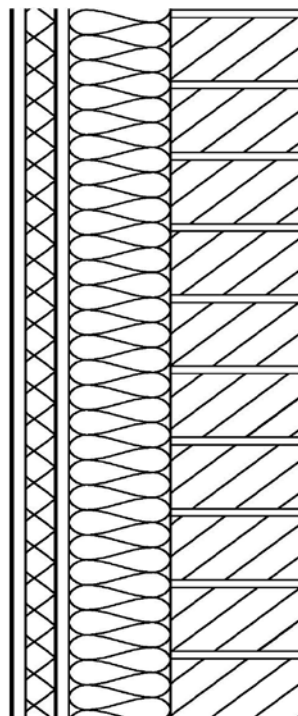
6.3 Rakenteiden lämmönvastus ja U-arvo

Seuraavaksi selvitän rakennuksessa olevan lisäeristetyin ulkoseinän kokonaislämmönvastuksen sekä U-arvon. Laskuista saaduilla tuloksilla esitän lämpötilan muutoksen rakenteessa. Kuvassa 17 esitän laskennassa käytetyt materiaalit. Laskennassa käytettyjä lämmönvastuskertoimia löytyy liitteestä 1 sekä materiaalien valmistajien sivuilta löytyy tuotetietoutta, kuten lämmönvastusarvoja. Alla olevassa taulukossa 4 on esitetty sisäpuolen ja ulkopuolen pintavastuksen arvo. Laskettaessa seinää arvoiksi valitaan $R_{si} = 0,13$ ja $R_{se} = 0,04$.

Taulukko 4. SISÄ- JA ULKOPUOLINEN PINTAVASTUS R_{si} JA R_{se} (Dunkel 2012, 55.)

Sisäpuolinen pintavastus $R_{si}, (m^2 \cdot K)/W$		Ulkopuolinen pintavastus $R_{se}, (m^2 \cdot K)/W$
	Lämpövirran suunta	
vaakasuora		vaakasuora
0,13		0,04
ylöspäin		ylöspäin
0,1		0,04
alaspäin		alaspäin
0,17		0,04

Seinärakenne on sisältä ulospäin lueteltuna seuraavanlainen:
 lastulevy 13 mm
 polyuretaanilevy 30 mm
 lastulevy 13 mm
 tuulensulkupaperi
 Runko + lasivilla 100 mm
 kahitiili 130 mm



Kuva 24. Seinäleikkaus (Talja 2014)

Yksittäisen ainekerroksen lämmönvastus lasketaan seuraavanlaista kaava käyttäen.

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

(18)

R = Lämmönvastus

d = Ainekerroksen paksuus (m)

λ = lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo ($W/(m^2 \cdot K)$)

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot löytyvät liitteistä 1–3.

$$R_{si} = 0,13 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{lastulevy} = \frac{0,013m}{0,10 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)} = 0,13 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{polyuretaanilevy} = \frac{0,03m}{0,023 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)} = 1,3 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{lastulevy} = \frac{0,013m}{0,10 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)} = 0,13 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{lasivilla} = \frac{0,1m}{0,060 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)} = 1,67 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{tiili} = \frac{0,13m}{0,95 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)} = 0,14 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{se} = 0,04 \frac{m^2 K}{W}$$

Edellä olevat arvot yhteenlaskettuna. Saadaan kokonaislämmönvastuksen arvo.

$$R_T = R_{si} + R_{lastulevy} + R_{polyuretaanilevy} + R_{lastulevy} + R_{lasivilla} + R_{tiili} + R_{se} = 3,54 \frac{m^2 K}{W} \quad (19)$$

R_T = Kokonaislämmönvastuksen arvo

Seuraavaksi tarkastelen ala- ja yläikiarvoa, joka lasketaan seinässä olevista erilaisista lohkoista. Ymmärrettävästi seinää tarkastellessa, joissain kohdin on puurunko ja vieressä on pelkkä eristys, kun ajatellaan seinän rakennetta kohtisuoraan katsottuna. Nämä lohkot antavat erilaiset lämmönjohtavuusarvot, joiden takia otan ne huomioon laskuissa. Näin saadaan vähän tarkempi tulos, tosin kyseessä on suhteellisen yksinkertainen rakenne, jolloin tuloksen tarkentuminen on vähäinen. Lasken kuitenkin ala- ja yläikiarvon esimerkin vuoksi. Seinän rakenne on kuvassa 24.

Lasken ala- ja yläikiarvon seinässä olevasta 600 mm x 600 mm alueesta. Ensimmäiseksi ajatellaan seinän kohtaa, mihin osuu puurunko. (Lohko A)

Ensimmäiseksi lasketaan lämmönjohtavuusarvot lohko A:n kohdalle.

$$R_{si} = 0,13 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{lastulevy} = \frac{0,013m}{0,10 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)} = 0,13 \frac{m^2 K}{W}$$

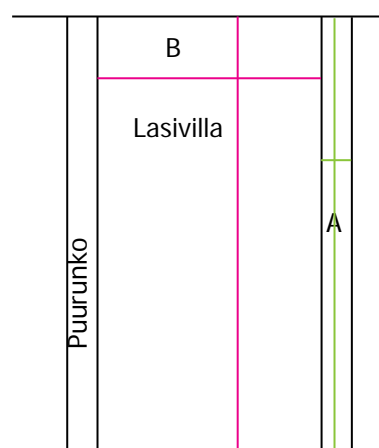
$$R_{polyuretaanilevy} = \frac{0,03m}{0,023 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)} = 1,30 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{lastulevy} = \frac{0,013m}{0,10 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)} = 0,13 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{puurunko} = \frac{0,1m}{0,12 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)} = 0,83 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{tiili} = \frac{0,13m}{0,95 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)} = 0,14 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{se} = 0,04 \frac{m^2 K}{W}$$



$$R'_{TA} = R_{si} + R_{lastulevy} + R_{polyuretaani} + R_{lastulevy} + R_{puurunko} + R_{tiili} + R_{se} = 2,7 \frac{m^2K}{W} \quad (20)$$

Lämmönjohtavuusarvot lohko B:n kohdalle.

$$R_{si} = 0,13 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{lastulevy} = \frac{0,013m}{0,10 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)} = 0,13 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{polyuretaanilevy} = \frac{0,03m}{0,023 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)} = 1,30 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{lastulevy} = \frac{0,013m}{0,10 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)} = 0,13 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{lasivilla} = \frac{0,1m}{0,060 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)} = 1,67 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{tiili} = \frac{0,13m}{0,95 \left(\frac{m \cdot K}{W}\right)} = 0,14 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{se} = 0,04 \frac{m^2K}{W}$$

$$R'_{TB} = R_{si} + R_{lastulevy} + R_{polyuretaanilevy} + R_{lastulevy} + R_{lasivilla} + R_{tiili} + R_{se} = 3,54 \frac{m^2K}{W} \quad (21)$$

R'_T = Kokonaislämmönvastuksen yläliikiarvo

F_A = Lohkon A osuus rakennusosan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta

F_B = Lohkon B osuus rakennusosan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta

Seuraavaksi lasketaan lohkojen suhteelliset pinta-alat.

$$F_A = \frac{50 \cdot 600 \text{ mm}}{600 \cdot 600 \text{ mm}} = 0,0833 \quad (22)$$

$$F_B = \frac{550 \cdot 600 \text{ mm}}{600 \cdot 600 \text{ mm}} = 0,9167 \quad (23)$$

Tämän jälkeen sijoitetaan kokonaislämmönvastusten arvot sekä lohkojen suhteellisen pinta-alan arvot yläliikiarvon laskentaan tarkoitettuun kaavaan:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{F_A}{R_{TA}} + \frac{F_B}{R_{TB}} = \frac{0,0833}{2,7 \frac{m^2K}{W}} + \frac{0,9167}{3,54 \frac{m^2K}{W}} = \frac{1}{0,29 \frac{m^2K}{W}} = 3,45 \frac{m^2K}{W} \quad (24)$$

R''_T = Kokonaislämmönvastuksen alaliikiarvo

U = Rakennusosan lämmönläpäisykerroin ($W/(m^2 \cdot K)$)

Ala liikiarvon laskeminen:

R''_A = lasivillaeristyksen ja puukerroksen yhdistetty vastus:

$$\frac{1}{R''_A} = \frac{F_{lasivilla}}{R_{lasivilla}} + \frac{F_{puurunko}}{R_{puurunko}} = \frac{\frac{550}{600}mm}{1,67 \frac{m^2K}{W}} + \frac{\frac{50}{600}mm}{0,83 \frac{m^2K}{W}} = \frac{1}{0,65 \frac{m^2K}{W}} = 1,54 \frac{m^2K}{W} \quad (25)$$

Seuraavaksi lasken kokonaislämmönvastuksen alalikiarvoa käyttäen.

$$R_{si} = 0,13 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{lastulevy} = \frac{0,013m}{0,10 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)} = 0,13 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{polyuretaanilevy} = \frac{0,03m}{0,023 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)} = 1,30 \frac{m^2K}{W}$$

$$R''_A = 1,54 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{lastulevy} = \frac{0,013m}{0,10 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)} = 0,13 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{tiili} = \frac{0,13m}{0,95 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)} = 0,14 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{se} = 0,04 \frac{m^2K}{W}$$

$$R''_T = R_{si} + R_{lastulevy} + R_{polyuretaanilevy} + R''_A + R_{lastulevy} + R_{tiili} + R_{se} = 3,41 \frac{m^2K}{W} \quad (26)$$

Saaduista ala- ja ylälikiarvoista saadaan lopullinen kokonaislämmönvastuksen arvo:

$$R_t = \frac{R'_T + R''_T}{2} = \frac{3,45 \frac{m^2K}{W} + 3,41 \frac{m^2K}{W}}{2} = 3,43 \frac{m^2K}{W} \quad (27)$$

Tästä kokonaislämmönvastuksen arvosta saadaan U-arvo laskettua seuraavanlaisesti.

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{3,43 \frac{m^2K}{W}} = 0,29 W/(m^2K) \quad (28)$$

Lämmönläpäisykerroin (U-arvo) on $0,29 W/(m^2K)$

6.4 Lämpötilan muutokset eri rakennekerroksissa.

Tarkastellaan edellisessä laskussa käytettyä seinärakennetta, jonka lämmönvastusarvot olivat

$$R_{si} = 0,13 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{lastulevy} = 0,13 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{polyuretaanilevy} = 1,30 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{lastulevy} = 0,13 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{lasivilla} = 1,25 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{tiili} = 0,14 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_{se} = 0,04 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_T = R_{si} + R_{lastulevy} + R_{polyuretaanilevy} + R_{lastulevy} + R_{lasivilla} + R_{tiili} + R_{se} = 3,54 \frac{m^2K}{W} \quad (29)$$

Lämpötilan laskennassa käytetään seuraavanlaista kaavaa

$$T_X = T_S - \frac{\sum R_x}{\sum R} (T_S - T_U) \quad (30)$$

jossa,

T_X on lämpötila kohdassa x ,

T_S ja T_U ovat sisä- ja ulkolämpötilat,

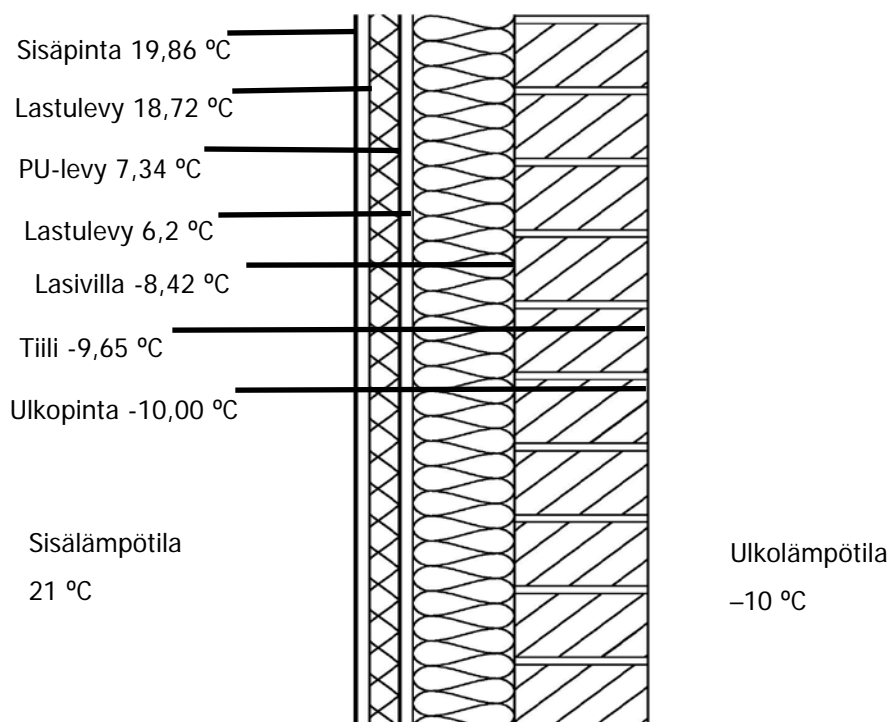
$\sum R_x$ on lämmönvastus sisäpinnasta kohtaan x ja

$\sum R$ on koko rakenteen lämmönvastus

Teen lämpötila eroista laskentataulukon, josta on helppo seurata lämpötilan muutosta rakenteessa.

Taulukko5. Lämpötilan muutos rakenteessa (Talja 2014)

Piste	$T_S - \frac{\sum R_x}{\sum R} (T_S - T_U)$	T_X
Sisätila		21 °C
Sisäpinta	$21 \text{ } ^\circ\text{C} - \frac{0,13}{3,54} (21 \text{ } ^\circ\text{C} - (-10 \text{ } ^\circ\text{C}))$	19,86 °C
Lastulevy	$19,86 \text{ } ^\circ\text{C} - \frac{0,13}{3,54} (21 \text{ } ^\circ\text{C} - (-10 \text{ } ^\circ\text{C}))$	18,72 °C
Polyuretaanilevy	$18,72 \text{ } ^\circ\text{C} - \frac{1,30}{3,54} (21 \text{ } ^\circ\text{C} - (-10 \text{ } ^\circ\text{C}))$	7,34 °C
Lastulevy	$7,34 \text{ } ^\circ\text{C} - \frac{0,13}{3,54} (21 \text{ } ^\circ\text{C} - (-10 \text{ } ^\circ\text{C}))$	6,2 °C
Lasivilla	$6,2 \text{ } ^\circ\text{C} - \frac{1,67}{3,54} (21 \text{ } ^\circ\text{C} - (-10 \text{ } ^\circ\text{C}))$	-8,42 °C
Tiili	$-8,42 \text{ } ^\circ\text{C} - \frac{0,14}{3,54} (21 \text{ } ^\circ\text{C} - (-10 \text{ } ^\circ\text{C}))$	-9,65 °C
Ulkopinta	$-9,65 \text{ } ^\circ\text{C} - \frac{0,04}{3,54} (21 \text{ } ^\circ\text{C} - (-10 \text{ } ^\circ\text{C}))$	-10 °C



Kuva 25. Lämpötilat rakenteissa (Talja 2014)

6.5 Kyllästyskosteudet rakenteissa

Seuraavaksi lasken arvot rakenteissa oleville kyllästyskosteuksille. Taulukosta 3 löytyvät lähtöarvot, mutta koska lämpöarvot eivät ole tasalukuja, niin minä interpoloin lämpötilaa vastaavat kyllästyskosteudet. Teen taulukon näistäkin arvoista, niin on helpompi todeta, miten kosteus käyttäytyy rakenteissa.

Taulukko 6. Kyllästyskosteuksien arvot rakenteessa (Talja 2014)

Piste	°C	Interpolointi	Kyllästyskosteus
Sisätila	21 °C		18,31 g/m ³
Sisäpinta	19,86 °C	$16,30 + 0,86(17,28 - 16,30)$	17,14 g/m ³
Lastulevy	18,72 °C	$15,37 + 0,72(16,3 - 15,37)$	16 g/m ³
Polyuretaanilevy	7,34 °C	$7,8 + 0,34(8,32 - 7,8)$	7,98 g/m ³
Lastulevy	6,2 °C	$7,31 + 0,2(7,8 - 7,31)$	7,4 g/m ³
Lasivilla	-8,42 °C	$2,4 + 0,58(2,61 - 2,4)$	2,52 g/m ³
Tiili	-9,65 °C	$2,2 + 0,35(2,4 - 2,2)$	2,27 g/m ³
Ulkopinta	-10 °C		2,2 g/m ³

Asiaa selventääkseni teen esimerkkilaskun miten kastepiste muodostuu. Kuvitellaan tilanne, jossa sisälämpötila on 21 °C ja sisätilan suhteellinen kosteus on 75 %:a. Mikä on kastelämpötila?

Ensimmäiseksi katsotaan taulukosta 2, 21 °C:sta vastaava kyllästysvesihöyrynpitoisuus, joka on 18,31 g/m³. Sen jälkeen lasketaan sisäilmassa oleva vesihöyrypitoisuus.

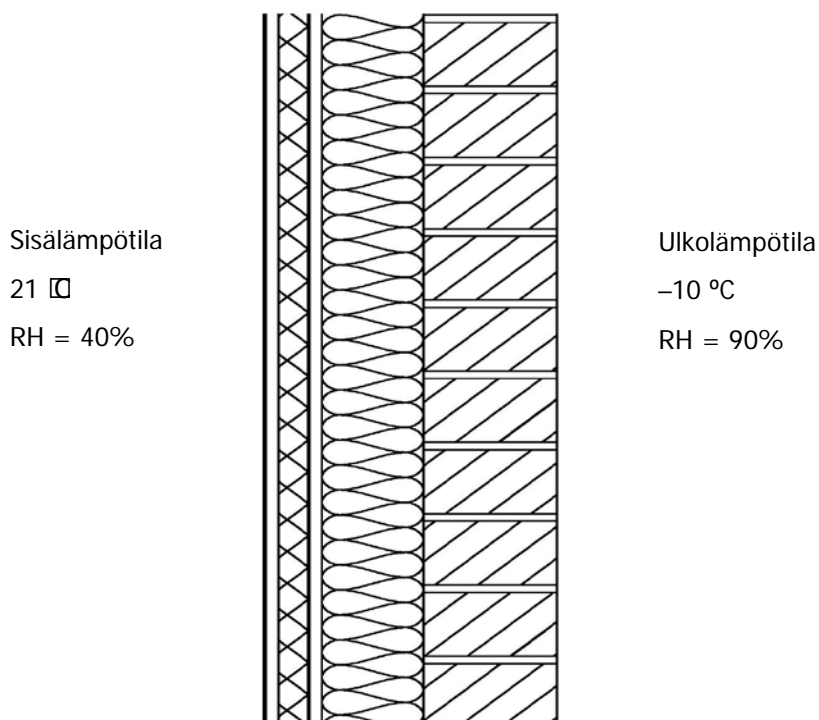
$$V_K = 0,75 \cdot 18,31 \text{ g/m}^3 = 13,73 \text{ g/m}^3 \quad (31)$$

Sitten katsotaan taulukosta 2, tätä arvoa vastaava lämpötila, joka on n. 16 °C:sta. Tämä arvo tarkoittaa, että kastelämpötila on 16 °C:a, jolloin esimerkiksi kastepiste muodostuu ikkunan sisäpintaan, kun ikkunanpinnan lämpötila laskee 16 °C:seen. Tällöin vesihöyry tiivistyy vedeksi ja ikkunanpinta kastuu.

6.6 Vesihöyrynvastukset ja vesihöyrypitoisuudet rakenteissa

Tarkastelen seuraavaksi edellä olevan lisäeristetyn ulkoseinän fysikaalista toimintaa vesihöyrypitoisuuksien kannalta. Vesihöyrynvastuksien arvoja löytyy liitteistä 5–7 ja vesihöyryn läpäisevyyksiä liitteestä 8.

Kuvitellaan kuvan 26 mukainen tilanne. Sisällä oleva lämpötila on 21 °C:a ja ulkopuolella oleva lämpötila on –10 °C:a.



Kuva 26. Suhteelliset kosteudet ja lämpötilat (Talja 2014)

Ensimmäiseksi lasken vesihöyrynvastuksen arvon kahitiilelle, koska vesihöyrynvastus arvoa ei löytynyt taulukoista, jotka ovat liitteessä 5. Vesihöyrynvastuksen arvon voi laskea, joko vesihöyryn pitoi-

suuden tai vesihöyryn osapaineen avulla. Vesihöyryn vastuksen laskentakaava vesihöyryn osapaineen avulla, $Z_p = \frac{d}{\delta_p}$, jossa d tarkoittaa kerroksen paksuutta (m) ja δ_p vesihöyryn läpäisevyyttä (10^{-12} kg/msPa). Vesihöyryn läpäisevyysarvo kahitiille löytyy liitteestä 8, joka on $15 \times 10^{-12} \text{ kg/msPa}$.

Vesihöyryn pitoisuuden ja vesihöyryn osapaineen välinen yhteys saadaan seuraavanlaisesta yhtälöstä $\delta_v = 461,4 \left(\frac{J}{\text{kgK}} \right) T \cdot \delta_p = 461,4 \left(\frac{J}{\text{kgK}} \right) \cdot (273\text{K} - 10^\circ\text{C}) \cdot \delta_p = 121,3 \cdot 10^3 \cdot 15 \times 10^{-12} = 1,82 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

(32)

$T =$ lämpötila (K+C°)

Saadulla vesihöyryn pitoisuuden avulla voidaan laskea vesihöyrynvastusarvo seuraavanlaisesti.

$$Z_{\text{kahitiili}(v)} = \frac{d}{\delta_v} = \frac{0,13}{1,82 \cdot 10^{-6}} = 71 \cdot 10^3 \text{ s/m} \quad (33)$$

Lasken vielä esimerkin vuoksi kahitiilen vesihöyryn vastuksen (z_p), vesihöyryn osapaineen avulla.

$$Z_{\text{kahitiili}(p)} = \frac{0,130\text{m}}{15 \times 10^{-12} \text{ kg/msPa}} = 8,7 \times 10^9 \text{ m}^2 \text{ sPa/kg} \quad (34)$$

Jos eo. vesihöyryn vastuksen osapainearvo halutaan muuttaa vesihöyryn vastuksen pitoisuusarvoksi, se tapahtuu seuraavanlaisesti.

$$z_v = \frac{z_p}{461,4 \left(\frac{J}{\text{kgK}} \right) T} = \frac{8,7 \times 10^9 \text{ m}^2 \text{ sPa/kg}}{121,3 \cdot 10^3} = 71 \cdot 10^3 \text{ s/m} \quad (35)$$

Seuraavaksi lasken vesihöyrynvastuksien arvot yhteen. Vesihöyryn vastusarvoja löytyy liitteistä 1 ja 5–7.

$$\text{Lastulevy } Z_{\text{lastu}} = 20 \times 10^3 \text{ s/m}$$

$$\text{Polyuretaanilevy } Z_{\text{levy}} = 150 \times 10^3 \text{ s/m}$$

$$\text{Lastulevy } Z_{\text{lastu}} = 20 \times 10^3 \text{ s/m}$$

$$\text{Lasivilla } Z_{\text{villa}} = 8 \times 10^3 \text{ s/m}$$

$$\text{Kahitiili } Z_{\text{kahi}} = 71 \times 10^3 \text{ s/m}$$

$$\text{Vesihöyrynvastukset yhteensä: } 269 \times \frac{10^3 \text{ s}}{\text{m}}$$

Saaduilla arvoilla voidaan laskea vesihöyrypitoisuudet rakenteille. Vesihöyrypitoisuuden kaava on

$$V_X = V_s - \frac{z}{\sum Z} (V_s - V_u), \text{ jossa} \quad (36)$$

$V_X =$ Kokonaisvesihöyrypitoisuus

$V_s =$ Vesihöyrypitoisuus sisätilassa

$V_u =$ Vesihöyrypitoisuus ulkotilassa

$z =$ Rakenteen vesihöyryvastus

ΣZ = Rakenteiden kokonaisvesihöyrynvastus

Lasketaan ensimmäiseksi sisätilan vesihöyrypitoisuus ja sen jälkeen ulkotilassa oleva vesihöyrypitoisuus.

$$V_s = 0,4 (RH) \cdot 18,31 \text{ g/m}^3 = 7,324 \text{ g/m}^3 \quad (37)$$

$$V_u = 0,9 (RH) \cdot 2,2 \text{ g/m}^3 = 1,98 \text{ g/m}^3 \quad (38)$$

Tämän jälkeen sijoitan luvut vesihöyrypitoisuuden laskentakaavaan. Selkeyden vuoksi teen laskennan taulukkomuodossa.

Taulukko7. Vesihöyrypitoisuudet rakenteessa (Talja 2014)

Piste	$V_x = V_s - \frac{Z}{\Sigma Z} (V_s - V_u)$	vesihöyrypitoisuus
Sisätila		7,324 g/m ³
lastulevy /polyuretaanilevy	$7,324 \text{ g/m}^3 - \frac{20}{269} \times 10^3 \text{ s/m} (7,324 - 1,98 \text{ g/m}^3)$	6,93 g/m ³
Polyuretaanilevy / lastulevy	$6,93 \text{ g/m}^3 - \frac{150}{269} \times 10^3 \text{ s/m} (7,324 - 1,98 \text{ g/m}^3)$	3,95 g/m ³
lastulevy/villa	$3,95 \text{ g/m}^3 - \frac{20}{269} \times 10^3 \text{ s/m} (7,324 - 1,98 \text{ g/m}^3)$	3,55 g/m ³
villa/Kahitiili	$3,55 \text{ g/m}^3 - \frac{8}{269} \times 10^3 \text{ s/m} (7,324 - 1,98 \text{ g/m}^3)$	3,39 g/m ³
Ulkopinta	$3,39 \text{ g/m}^3 - \frac{71}{109,7} \times 10^3 \text{ s/m} (7,324 - 1,98 \text{ g/m}^3)$	1,98 g/m ³

Saaduilla arvoilla voidaan laskea rakenteille suhteellisen kosteuden arvot(RH).

Taulukko 8. Suhteellisen kosteuden arvot(RH) rakenteessa (Talja 2014)

Piste	$RH = \frac{V_s}{V_u} \times 100\%$	Suhteellinen kosteus
Sisätila	$\frac{7,324}{18,31} \times 100\%$	40%
Sisäpinta	$\frac{7,324}{17,14} \times 100\%$	42,7%
lastulevy /polyuretaanilevy	$\frac{6,93}{16} \times 100\%$	43,3%
Polyuretaanilevy / las- tulevy	$\frac{3,95}{7,98} \times 100\%$	49,5%
lastulevy/lasivilla	$\frac{3,55}{7,4} \times 100\%$	48%
Lasivilla / kahitiili	$\frac{3,39}{2,52} \times 100\%$	134,5%
ulkopinta	$\frac{1,98}{2,2} \times 100\%$	90%

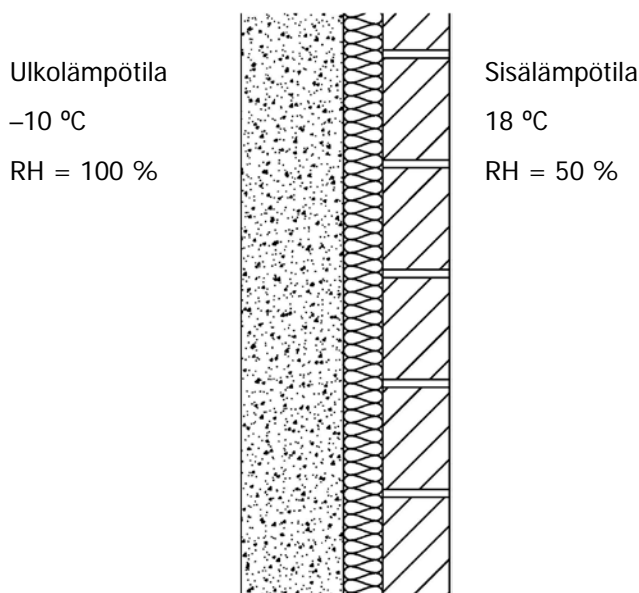
Edellä olevien laskujen perusteella lisäeristetty rakenne ei ole toimiva, ainakaan lasketuilla kosteus- ja lämpöarvoilla. Suhteellinen kosteus ei voi ylittää 100 % raja-arvoa, kun arvo ylittyy, rakenteen pinnalle saattaa tiivistyä kosteutta. Kosteus tiivistyy lasivillan ja kahitiilen väliin.

Tästä voidaan päätellä, että tuuletusrako eristyskerroksen ja julkisivuverhouksen välissä olisi perusteltu. Tuuletusraon kautta kosteus pääsisi tuulettumaan pois. Seuraavassa esimerkissä lasken tarkemmin kosteuden tiivistymistä.

Lasken toisen esimerkin kellarinseinän fysikaalisesta toiminnasta vesihöyrypitoisuuksien kannalta. Vesihöyrynvastuksien arvoja löytyy liitteistä 5–7.

Kellarinseinärakenne sisältää seuraavanlaiset kerrokset:

- Kahitiili 85 mm (Lappeellaan)
- Karhulevy (lasivilla) 50 mm
- Betoni 200 mm



Kuva 27. Kellarin seinäleikkaus (Talja 2014)

Kuvitellaan kuvan 27 mukainen tilanne. Kellarin sisällä oleva lämpötila on 18 °C ja ulkopuolella maan lämpötila on -10 °C.

Lämmönjohtavuusarvot seinärakenteille

$$R_{si} = 0,13 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{Tiili} = \frac{0,085m}{0,95 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)} = 0,09 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{karhulevy(lasivilla)} = \frac{0,05m}{0,045 \left(\frac{W}{m \cdot K}\right)} = 1,11 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{\text{betoni}} = \frac{0,2\text{m}}{1,2\left(\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}\right)} = 0,17 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{se}} = 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_T = R_{\text{si}} + R_{\text{tiili}} + R_{\text{karhulevy}} + R_{\text{betoni}} + R_{\text{se}} = 1,54 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad (39)$$

Lämpötilan muutokset, rakenteessa.

Taulukko 9. Lämpötilan muutokset rakenteessa (Talja 2014)

Piste	$T_S - \frac{\sum R_x}{\sum R}(T_S - T_U)$	T_x
Sisätila		18 °C
Sisäpinta	$18\text{ }^\circ\text{C} - \frac{0,13}{1,54}(18\text{ }^\circ\text{C} - (-10\text{ }^\circ\text{C}))$	15,64 °C
Tiili	$15,64\text{ }^\circ\text{C} - \frac{0,09}{1,54}(18\text{ }^\circ\text{C} - (-10\text{ }^\circ\text{C}))$	14 °C
Karhulevy	$14\text{ }^\circ\text{C} - \frac{1,11}{1,54}(18\text{ }^\circ\text{C} - (-10\text{ }^\circ\text{C}))$	-6,18 °C
Betoni	$-6,18\text{ }^\circ\text{C} - \frac{0,17}{1,54}(18\text{ }^\circ\text{C} - (-10\text{ }^\circ\text{C}))$	-9,27 °C
maata vasten oleva ulkopinta	$-9,27\text{ }^\circ\text{C} - \frac{0,04}{1,88}(18\text{ }^\circ\text{C} - (-10\text{ }^\circ\text{C}))$	-10 °C

Taulukko 10. Kyllästyskosteudet rakenteessa (Talja 2014)

Piste	°C	Interpolointi	Kyllästyskosteus
Sisätila	18 °C		15,37 g/m ³
Sisäpinta	15,64 °C	12,86 + 0,64(13,65 - 12,86)	13,37 g/m ³
Tiili	14 °C		12,1 g/m ³
Karhulevy	-6,18 °C	2,84 + 0,82(3,08 - 2,84)	3,04 g/m ³
Betoni	-9,27 °C	2,20 + 0,73(2,40 - 2,20)	2,35 g/m ³
maata vasten oleva ulkopinta	-10 °C		2,2 g/m ³

Seuraavaksi lasken kellarinseinä rakenteiden vesihöyrynvastuksien arvot. Vesihöyrynvastusta merkitään Z:lla.

Vesihöyrynvastukset:

Kahitiili 130 mm: $Z = 71 \times 10^3 \text{ s/m}$

Karhulevy 100 mm: $Z = 8 \times 10^3 \text{ s/m}$

Betoni 100 mm: $Z = 150 \times 10^3 \text{ s/m}$

$$Kahitiili Z_{kahi} = \frac{85}{130} \cdot 71 \times 10^3 = 46 \times 10^3 \text{ s/m}$$

$$Karhulevy Z_{levy} = \frac{50\text{mm}}{100\text{mm}} \cdot 8 \times 10^3 = 4 \times 10^3 \text{ s/m}$$

$$Betoni Z_{bet} = \frac{200\text{mm}}{100\text{mm}} \cdot 150 \times 10^3 = 300 \times 10^3 \text{ s/m}$$

$$\text{Vesihöyrynvastukset yhteensä: } 350 \times \frac{10^3 \text{ s}}{\text{m}}$$

Saaduilla arvoilla voidaan laskea vesihöyrypitoisuudet rakenteille. Vesihöyrypitoisuuden kaava on

$$V_x = V_s - \frac{z}{\sum Z} (V_s - V_u), \text{ jossa} \quad (40)$$

V_x = Kokonaisvesihöyrypitoisuus

V_s = Vesihöyrypitoisuus sisätilassa

V_u = Vesihöyrypitoisuus ulkotilassa

z = Rakenteen vesihöyryvastus

$\sum Z$ = Rakenteiden kokonaisvesihöyryvastus

Lasketaan ensimmäiseksi sisätilan vesihöyrypitoisuus ja sen jälkeen ulkotilassa oleva vesihöyrypitoisuus.

$$V_s = 0,50 (RH) \cdot 15,37 \text{ g/m}^3 = 7,685 \text{ g/m}^3 \quad (41)$$

$$V_u = 1,0 (RH) \cdot 2,2 \text{ g/m}^3 = 2,2 \text{ g/m}^3 \quad (42)$$

Tämän jälkeen sijoitan luvut vesihöyrypitoisuuden laskentakaavaan. Selkeyden vuoksi teen laskennan taulukkomuodossa.

Taulukko11. Vesihöyrypitoisuudet rakenteessa (Talja 2014)

Piste	$V_x = V_s - \frac{z}{\sum Z} (V_s - V_u)$	vesihöyrypitoisuus
Sisätila		7,685 g/m ³
Tiili / Karhulevy	$7,685 \text{ g/m}^3 - \frac{46}{350} \times 10^3 \text{ s/m} (7,685 - 2,2 \text{ g/m}^3)$	6,96 g/m ³
Karhulevy / Betoni	$6,96 \text{ g/m}^3 - \frac{4}{350} \times 10^3 \text{ s/m} (7,685 - 2,2 \text{ g/m}^3)$	6,9 g/m ³
Ulkotila	$6,9 \text{ g/m}^3 - \frac{300}{350} \times 10^3 \text{ s/m} (7,685 - 2,2 \text{ g/m}^3)$	2,2 g/m ³

Saaduilla arvoilla voidaan laskea rakenteille suhteellisen kosteuden arvot(RH).

Taulukko 12. Suhteellisen kosteuden arvot(RH) rakenteessa (Talja 2014)

Piste	$RH = \frac{V_s}{V_u} \times 100\%$	Suhteellinen kosteus
Sisätila	$\frac{7,685}{15,37} \times 100\%$	50 %
Sisäpinta	$\frac{7,685}{13,37} \times 100\%$	57,5 %

Tiili / Karhulevy	$\frac{6,96}{12,1} \times 100\%$	57,5 %
Karhulevy /betoni	$\frac{6,9}{3,04} \times 100\%$	227%
Ulkopinta	$\frac{2,2}{2,2} \times 100\%$	100%

Edellisestä laskennasta voidaan päätellä, että kastepiste muodostuu karhulevyn taakse betoninpin-taa vasten, koska suhteellinen kosteus ei voi ylittää 100 %:n raja-arvoa.

Kyseessä on näin ollen riskirakenne, joka tietyissä olosuhteissa voi aiheuttaa rakenteiden vaurioitu-mista, kuten lahoamista ja homehtumista.

Tarkastelen seuraavassa tiivistyvän veden määrää em. rakenteessa. Tiivistyvän veden määrän voi laskea kaavalla.

$g_1 - g_2$, jossa (43)

$$g_1 = \frac{\text{Kosteus ero}}{\text{Vesihöyrynvastus}} = \text{kosteusvirta tiivistymisalueella}$$

$$g_2 = \frac{\text{Kosteus ero}}{\text{Vesihöyrynvastus}} = \text{kosteusvirta tiivistymisalueelta pois}$$

Tarkastellaan 30 vuorokauden ajanjaksoa, eli muutetaan aika sekunneiksi.

$$30 \text{ vrk} = 30 \times 24 \times 60 \times 60 = 2\,592\,000 \text{ s} \quad (44)$$

Sijoitan luvut kaavaan.

$$g_1 = \frac{7,685 \text{ g/m}^3 - 3,04 \text{ g/m}^3}{(46+4) \times 10^3 \text{ s/m}} \times 2\,592\,000 \text{ s} = 240,8 \frac{\text{g}}{\text{m}^2} \quad (45)$$

$$g_2 = \frac{3,04 \text{ g/m}^3 - 2,2 \text{ g/m}^3}{300 \times 10^3 \text{ s/m}} \times 2\,592\,000 \text{ s} = 7,3 \frac{\text{g}}{\text{m}^2} \quad (46)$$

Tiivistyvän kosteuden määrä neliometrille on.

$$240,8 \frac{\text{g}}{\text{m}^2} - 7,3 \frac{\text{g}}{\text{m}^2} = 233,5 \frac{\text{g}}{\text{m}^2} \quad (47)$$

Lasketuilla arvoilla veden tiivistymistä tapahtuu. Tästä voidaan päätellä, että rakenne ei ole toimiva ja tästä syystä se voidaan luokitella riskirakenteeksi.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada lukijat ymmärtämään, minkälaisista rakenteista voi aiheutua kosteus- ja homevaurioita. Toisaalta työn tavoitteena oli saada lukijat miettimään kannattaako ostaa vanha rakennus, missä on tiedossa isoja remontteja vai olisiko kuitenkin viisainta rakentaa uusi. Henkilökohtainen mielipiteeni on, että jos rakennuksen ikä alkaa olla yli neljäkymmentä vuotta vanha, missä ei ole tehty minkäänlaisia peruseräparannuksia tai remontteja. Suosittelen, että rakennuksen korjaamisen järkevyyttä tarkastellaan teknisestä sekä taloudellisesta näkökulmasta ja tarkastelussa yhdeksi vaihtoehdoksi otetaan myös mahdollinen rakennuksen purkaminen, jos korjaaminen ei ole teknistaloudellisesti kannattavaa, koska jo pelkästään energiankulutus nykyaikaisiin rakennuksiin verrattuna on todella suuri ja kaikki rakenteet, kuten esimerkiksi ikkunat ja ovet ovat tulleet aikansa päähän.

Jos kuitenkin päätyy ostamaan esim. 1970-luvulla rakennetun vanhan omakotitalon, kannattaa kiinnittää erityisesti huomiota salaoja-, sadevesijärjestelmiin, pintamaiden muotoiluun, ikkunoiden, ovien ja vesikaton kuntoon. Lisäksi kannattaa kiinnittää huomiota, jos talossa haisee "mummolalle", yleensä tunkkaiselle tai muuten poikkeavalle. Tämä on yleensä merkki mikrobivauriosta. Suosittelisin kyselemään myyjältä mahdollisimman tarkasti talon historian, onko ollut vesivahinkoja tai muita kosteusongelmia sekä havaintoja rakenteellisista puutteista. Pitää muistaa, että vesivahingon korjaaminen onnistuu, jos sen tekevät ammattilaiset, oikeilla materiaaleilla ja rakennustavoilla. Niin sanottu jokapaikanhöylä saattaa korjata vaurioituneet rakenteet virheellisesti ja suuremmat ongelmat ovat edessä tulevaisuudessa. Lisäksi kannattaa ehdottomasti vaatia kuntotarkastuksen tai kuntotutkimuksen tekeminen ennen ostopäätöstä. Henkilökohtaisesti suosittelisin kuntotutkimuksen teettämistä, jossa rakenteita tutkitaan mm. poraamalla näyttereikiä ja ottamalla näytteitä. Mikäli havainnot antavat viitteitä vaurioista, suositeltavaa olisi lähettää näytteet lisätutkittavaksi laboratorioon asian varmistamiseksi. Harvemmin kuitenkaan myyjäosapuoli haluaa, että rakenteita "hajotetaan" ja tämän vuoksi kyseeseen tulee kuntokartoitus.

Kuntokartoitus tehdään rakenteita särkemättä, lähinnä aistinvaraisten tutkimusten perusteella sekä pintakosteusmittarilla mittaamalla rakenteiden kosteusarvoja. Hyvän pätevyyden omaava kuntokartoittaja löytää rakennuksista riskirakenteet ja toimimattomat ratkaisut.

Toivottavasti tämä opinnäytetyö löytää lukijansa ja herättää tietynlaista varovaisuutta vanhoja taloja kohtaan. Tarkoitukseni ei ole pelotella vanhojen talojen omistajia, sillä on hyviäkin vanhoja rakennuksia olemassa. Asioilla on aina kaksipuolta.

Opinnäytetyössäni onnistuin mielestäni hyvin kuvailemaan riskirakenteita sekä rakennuksen fyysikaalista toimintaa. Asioita mistä olisi voinut kertoa enemmän, löytyy lukematon määrä, koska kyseessä on valtavan laaja aihealue. Jälkikäteen ajateltuna yksi suuri osa-alue olisi ollut homeet ja niistä aiheutuvat terveyshaitat. Onneksi nykyaikana internetistä löytyy paljon hyvää tietoa myös em. aiheesta.

Olen mielestäni onnistunut hyvin työssäni, jos lukijat saavat jotain uutta tietoa riskirakenteista ja rakennusten kosteuskäyttäytymisestä.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

DUNKEL, Harry. 2013 Kosteus_ver_1_34 [opetusmoniste]. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

Hometalkoot.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-02-27] Saatavissa: <http://www.hometalkoot.fi/>

Polku: hometalkooti.fi talkoouutiset. kosteus- ja homevauriokorjaaminen.

JÄÄSKELÄINEN, Raimo. 2011. Geotekniikan perusteet. 3. painos. Jyväskylä:

Tammertekniikka/Amk-Kustannus Oy

KATE, SINKITTY TERÄSPELTI, PYSTYSAUMOIN. RT 857.11. [online]. Helsinki: Rakennustieto. 1954. [viitattu 2013-03-14] Saatavissa:

https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.savonia-amk.fi:2443/kortistot/tuotteet/RT_6169.html.stx

Kattoliitto. toimivat katot [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-05-02] Saatavissa:

http://www.kattoliitto.fi/files/504/Toimivat_Katot_2013_reduced_size_.pdf

KIIINTEISTÖN TEKNISET KÄYTTÖIÄT JA KUNNOSSAPITOJAKSOT. RT 18-10922 [online]. Helsinki: Rakennustieto Oy. Kesäkuu 2008. [viitattu 2014-05-02] Saatavissa:

<https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.savonia-amk.fi:2443/kortistot/tuotteet/102598.html.stx>

KOSTEUS RAKENNUKSISSA. RT 05-10710. [online]. Helsinki: Rakennustieto Oy. Marraskuu 1999. [viitattu 2013-03-25] Saatavissa:

https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.savonia-amk.fi:2443/kortistot/tuotteet/RT_7876.html.stx

MÄRKÄTILAN SUUNNITTELUPERIAATTEET. Suomen Rakentamismääräyskokoelma C2. määräykset ja ohjeet 1998. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. [Viitattu: 2013-03-12].

Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1918-c2.pdf>

Ovi, paloluokiteltu, a- ja b1-luokan. RT 872.51. [online]. Helsinki: Rakennustieto. 1951. [viitattu 2013-03-14] Saatavissa:

https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.savonia-amk.fi:2443/kortistot/tuotteet/RT_7656.html.stx

PERUSTUS MAANVARAISALAPOHJAISISSA RAKENNUKSISSA. RT 817.11. [online]. Helsinki: Rakennustieto. 1957. [viitattu 2014-04-04]

Saatavissa: <https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.savonia-amk.fi:2443/kortistot/rt/fi/index/rt-arkisto.html.stx>

PIRINEN, Juhani. 1999. Pientalojen kosteuden hallinta eri vuosikymmeninä. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.

RAKENNUSPOHJAN KUIVATUS. Suomen Rakentamismääräyskokoelma C2. määräykset ja ohjeet 1998. Helsinki:Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. [Viitattu: 2013-03-12]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1918-c2.pdf>

RAKENNUSTEN VEDEN- JA KOSTEUDENERISTYSOHJEET: RIL 107–2012. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

Rakentaja.fi[verkkoaineisto].[viitattu 2014-05-02] Saatavissa: <http://www.rakentaja.fi/>

Polku: rakentaja.fi kustannusarviot. remontin kustannusarvio-ohjelma. siirry ohjelmaan.

Rakentaja.fi[verkkoaineisto].[viitattu 2014-04-10] Saatavissa: <http://www.rakentaja.fi/>

Polku: rakentaja.fi kustannusarviot. tee Remontin kustannusarvio.

SALAOJAT, PERUSTUSTEN TIILIPUTKI. RT 811.41 [online]. Helsinki: Rakennustieto. 1971. [viitattu 2014-04-04]

Saatavissa: <https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.savonia-amk.fi:2443/kortistot/rt/fi/index/rt-arkisto.html.stx>

Sisäilmayhdistys.fi[verkkoaineisto].[viitattu 2014-02-28] Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/>

Polku: sisailmayhdistys.fi terveelliset tilat-tietojärjestelmä. kosteustekninen toiminta. kosteuden siirtyminen.

Spu.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-05-27] Saatavissa: <http://www.spu.fi/>

Polku: spu.fi suunnittelu. tekniset ominaisuudet.

suomirakentaa.fi[verkkoaineisto].[viitattu 2014-03-11] Saatavissa: <http://www.suomirakentaa.fi/>

Polku: suomirakentaa.fi kustannuslaskurit.

Takotek.fi[verkkoaineisto].[viitattu 2014-03-11] Saatavissa: <http://www.takotek.fi/>

Polku: takotek.fi asennusohje.

TIILISEINÄN LIITTYMINEN PERUSTUKSEEN. RT 823.161. [online]. Helsinki: Rakennustieto. 1965. [viitattu 2013-03-14] Saatavissa:

https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.savonia-amk.fi:2443/kortistot/tuotteet/RT_804.html.stx

LIITE 1 RAKENNUSMATERIAALIEN SUUNNITTELU LÄMPÖMINAISUUKSIA

Taulukko 12. Rakennusmateriaalien suunnittelu lämpöominaisuuksia (Dunkel 2012,40–43.)

Aine,tarvike	Kuiva tiheys ρ kg/m ³	lämmön- johtavuus suunnitteluarvo λ_U (W/(m*K))	vesihöyryn vastuskerroin	
			kuiva	μ märkä
asfaltti	2100	0,70	50000	50000
bitumi	puhdas	1050	50000	50000
	mattona, levynä	1100	50000	50000
betoni	Keskitiheä	1800	100	60
		2000	100	60
		2200	120	70
	tiheärunkoinen	2400	130	80
	raudoitettu (1% harjaterästä)	2300	130	80
	raudoitettu (2% harjaterästä)	2400	2,50	130
lattia päällysteet	kumi	1200	10000	10000
	muovi	1700	10000	10000
	alushuopa, solukumi tai -muovi	270	10000	10000
	alushuopa, huopa	120		20 15
	alushuopa, villa	200		20 15
	alushuopa, korkki	<200		20 10
	laatat, korkkia	>400		40 20
	tekstiili päällysteinen matto	200		5 5
	linoleum	1200		1000 800
kaasut	ilma	1,23	1	1
	hiilidioksidi	1,95	1	1
	argon	1,7	1	1
	rikki heksafluoridi	6,36	1	1
	krypton	3,56	1	1
	xenon	5,68	1	1
lasi	kalkkipohjainen (myös float lasi)	2500	00	00
	kvartsilasi	2200	00	00
	lasimosaiikki	2000	00	00
vesi	jää, -10 °C	920	-	-
Metallit	alumiini (kuparia 3-5 %)	2800	160	00 00
	pronssi	8700	65	00 00
	messinki	8400	120	00 00
	kupari	8900	380	00 00
	valurauta	7500	50	00 00
	lyijy	11300	35	00 00
	teräs	7900	50	00 00
	ruostumaton teräs	7900	30-17	00 00
	sinkki	7200	110	00 00
kiinteät muovit	akryyli	1050	10000	10000
	polykarbonaatti	1200	5000	5000

	PTFE (polytetrafluorietyyleeni)	2200	0,25	10000	10000
	PVC, jäykkä	1390	0,17	50000	50000
	PMMA (akrylaatti)	1180	0,18	50000	50000
	polyasettaatti	1410	0,30	100000	100000
	polyamidi	1150	0,25	50000	50000
	polyamidi 6.6 jossa 25% lasikuitua	1450	0,30	50000	50000
	polyeteeni HD (high density)	980	0,50	100000	100000
	polyeteeni LD (low density)	920	0,33	100000	100000
	polystyreeni	1050	0,16	100000	100000
	polypropeeni	910	0,22	10000	10000
	polypropeeni, jossa 25% lasikuitua	1200	0,25	10000	10000
	polyuretaani	1200	0,25	6000	6000
	epoksihartsi	1200	0,20	10000	10000
	fenolihartsi	1300	0,30	100000	100000
	polyesterihartsi	1400	0,19	10000	10000
kumi	luononkumi	910	0,13	10000	10000
	neopreeni	1240	0,23	10000	10000
	butyyli	1200	0,24	200000	200000
	vaahtokumi	60-80	0,06	7000	7000
	kova kumi (eboniitti) kiinteä	1200	0,17	00	00
	EPDM	1150	0,25	6000	6000
	polyisobutyleeni	930	0,20	10000	10000
	polysulfidi	1700	0,40	10000	10000
	butadieeni	980	0,25	100000	100000
tiivistys- ja eristysaineet	siliga (piioksidi)geeli kuivana	720	0,13	00	00
	silikoni	1200	0,35	5000	5000
	silikoni, täytteenä	1450	0,50	5000	5000
	silikoni, vaahto	750	0,12	10000	10000
	Uretaani/polyuretaani (lämpökatko)	1300	0,21	60	60
	polyvinyyli (joustava)	1200	0,14	100000	100000
	elastinen vaahto, joustava	60-80	0,05	10000	10000
	polyuretaani vaahto	70	0,05	60	60
	polyeteenivaahto	70	0,05	100	100
kipsi	kipsi	600	0,18	10	4
	kipsi	900	0,30	10	4
	kipsi	1200	0,43	10	4
	kipsi	1500	0,56	10	4
	kipsilevy	700	0,21	10	4
	kipsilevy	900	0,25	10	4
laastit ja rappaukset	kipsi eristys laasti	600	0,18	10	6
	kipsilaasti	1000	0,40	10	6
	kipsilaasti	1600	0,57	10	6
	kipsi, hiekka	1600	0,80	10	6
	kalkki, hiekka	1600	0,80	10	6
	sementti, hiekka	1800	1,0	10	6
maa		1200-			
	savi tai siltti	1800	1,	50	50
		1700-	5		
	hiekkä ja sora, moreeni	2200	2,0	50	50

kivilajit	luonnollinen kiteinen ka	2800	3,5	10000	10000
	luonnollinen kerroksellinen kal- lioperä	2600	2,3	250	200
	luonnollinen kerroksellinen kalliop- rä, kevyt huokoinen, esim. laava	1500	0,85	30	20
		1600	0,55	20	15
	basaltti gneissi	2700-			
		3000	3,5	10000	10000
	graniitti marmori	2400-			
		2700	3,5	10000	10000
	liuskekivi	2500-			
	kalkkikivi, erittäin pehm kalkkikivi,	2700	2,8	10000	10000
	pehmeä kalkkikivi, keskikova	2800	3,5	10000	10000
	kalkkikivi, kova kalkkikivi, erittäin	2000-			
	kova hiekkakivi	2800	2,2	1000	800
	luonnon hohkakivi keinotekoinen eä	1600	0,85	30	20
	kivi	1800	1,1	40	25
		2000	1,4	50	40
		2200	1,7	200	150
	2600	2,3	250	200	
	2600	2,3	40	30	
	400	0,12	8	6	
	1750	1,3	50	40	
Tiilet (katolla)	Poltetut savitiilet	2000	1,0	40	30
	Betonitiilet	2100	1,5	100	60
Tiilet (muut)	Keramiikka/posliini	2300	1,3		00
	Muovi	1000	0,20	10000	10000
Puu		450	0,12	50	20
		500	0,13	50	20
		700	0,18	200	50
D					
puupohjaiset levyt	vaneri	300	0,09	150	50
	vaneri	500	0,13	200	70
	vaneri	700	0,17	220	90
	vaneri	1000	0,24	250	110
	sementtilastulevy	1200	0,23	50	30
	lastulevy	300	0,10	50	10
	lastulevy	600	0,14	50	15
	OSB	650	0,13	50	30
	Puukuitulevy, mukaan lukien MDF	250	0,07	5	3
	Puukuitulevy, mukaan lukien MDF	400	0,10	10	5
	Puukuitulevy, mukaan lukien MDF	600	0,14	20	12
	Puukuitulevy, mukaan lukien MDF	800	0,18	30	20

LIITE 2 RAKENNUSAINEIDEN NORMAALISET LÄMMÖNJOHTAVUUDET

Taulukko 1. Rakennusaineiden normaaliset lämmönjohtavuudet (Lämmöneristys Suomen RakMK c4 2003, 10–11, 14–15.)

Aine, tarvike	Kuiva- tiheys ρ kg/m ³	Lämmön- johtavuus λ_{10} W/(m · K)	Kosteus- pitoisuus W_n % kuiva- painosta	Normaalinen lämmön- johtavuus λ_n W/(m · K)	Alaviite- huomautus
LÄMMÖNERISTEET					
korkkilevy (paisutettu)	150	0,035	3	0,045	1)
			3	0,050	2)
	200	0,040	3	0,050	1)
			3	0,055	2)
lastuvillalevy	150—350	0,070	8	0,080	3)
			8	0,10	4)
puukuitulevy, bitumipitoinen	350	0,055	10	0,065	5)
puukuitulevy, huokoinen	300	0,045	10	0,055	5)
mineraalivillalevy ja matto 8)	10—300	0,045	0,5	0,055	1)
			0,5	0,060	2)
				0,070	6)
				0,10	7)
solumuovilevy, paisutettua polystyreeniä	30—60	0,033	2	0,041	1)
			2	0,045	2)
				0,050	6)
				0,060	7)
	17—29,9	0,037	2	0,045	1)
			2	0,050	2)
				0,055	6)
				0,065	7)
	13—16,9	0,041	2	0,050	1)
			2	0,055	2)
				0,065	6)
solumuovilevy, suulakepuristus- menetelmällä valmistettu, polystyreeniä	22—45	0,030	2	0,037	1)
2			0,041	2) tai 6)	
			0,045	7)	
			0,050	9)	
ponneaineena CFC 12 x)					
muu ponneaine	22—45	0,037	2	0,045	1)
			2	0,050	2) tai 6)
				0,055	7)
				0,060	9)

1) Eristys on suojattu kohdassa 4.2.4 kuvattujen vaatimusten mukaan.

2) Eristyksen toinen puoli on kiinni tiiviissä pinnassa ja toisella puolella on muu ilmapäli tai tila kuin kohdassa 4.2.4 tarkoitettu ylä- tai ryömintätalaisen alapohjan ilmapäli.

Aine, tarvike	Kuiva- tiheys	Lämmön- johtavuus	Kosteus- pitoisuus	Normaalinen lämmön- johtavuus	Alaviite- huomautus
	ρ kg/m ³	λ_{10} W/(m · K)	W_n % kuiva- painosta	λ_n W/(m · K)	
solumuovi, polyuretaania ponneaineena CFC 11 x)	30—60	0,026	2	0,030	3) ja 10)
			2	0,033	1)
			2	0,037	2) tai 6)
			2	0,045	7)
		0,019	2	0,024	11)
ponneaineena pentaani	30—60	0,030	2	0,033	3) ja 10)
			2	0,037	1)
			2	0,041	2) ja 6)
			2	0,050	7)
		0,024	2	0,030	11)
solulasilevy	180 150 130	0,060 0,055 0,050		0,070	12)
				0,065	12)
				0,060	12)
kevytsora yläpohjissa	250—320 300—330	0,09 0,10	0,5	0,10	3)
			0,5	0,11	3)
maanvaraisissa alapohjissa	250—320	0,09	6	0,13	6)
routaeristeenä	250—320	0,09	30	0,17	7)
koneellisesti puhallettavat kuitueristeet yläpohjassa xx)					
lasivilla	18—50	0,050	0,5	0,060	1)
kivivilla	30—60	0,050	0,5	0,060	1)
puukuitueriste	30—60	0,050	12	0,060	1)

- 3) Eristys on molemmilta puoliltaan kiinni tiiviissä pinnassa (esim. betoni, tiiliverhous, tiivis levy, muovikalvo, eristyspaperi tms. pitävästi saumattuna).
- 4) Eristyksen toinen puoli on kiinni tiiviissä pinnassa ja toisella puolella on ilmaväli tai -tila.
- 5) Suojaustavasta riippumatta kuivana pysyvissä rakenteissa.
- 6) Sokkelihalkaisussa tai sokkelin sisäpuolisena pystyeristeenä maata vasten tai lämmittämättömän tilan maanvastaisessa alapohjassa tai maanvastaisessa alapohjassa suoraan perusmaan päällä.
- 7) Perusmuurin tai kellarin seinän ulkopuolisena eristeenä maata vasten tai maakerrosten välissä.
- 8) Kuidun keskipaksuus on enintään 6 µm, kun $\rho = 10...30 \text{ kg/m}^3$, muulloin enintään 15 µm.
- 9) Kattorakenteessa vedeneristyksen yläpuolella.
- 10) Eriste on paisutettu eristetilassa ja täyttää sen kokonaan.
- 11) Eriste on paisutettu vähintään 50 µm paksujen metallikerrosten väliin ja on molemmin puolin kauttaaltaan näihin kiinni liimautunut.
- 12) Eristelevyt on saumattu esim. bitumilla.
- x) CFC-tuotteiden valmistus on kielletty, mutta näitä tuotteita on vanhoissa rakenteissa.
- xx) Puhallettavaan eristyspaksuuteen sisältyy painumavara, joka on mineraalivillalla 5 % ja puukuitueristeellä 20 % suunnitellusta eristyspaksuudesta.

Aine, tarvike	Kuiva- tiheys	Lämmön- johtavuus	Kosteus- pitoisuus	Normaalinen lämmön- johtavuus	Alaviite- huomautus
	ρ kg/m ³	λ_{10} W/(m · K)	W_n % kuiva- painosta	λ_n W/(m · K)	
RAKENNUSLEVYJÄ					
kuitusementtilevy	1800	0,40	2	0,60	
	800	0,13	4	0,19	
	600	0,12	4	0,18	
kipsilevy	800	0,20		0,21	
	900	0,22		0,23	
puukipsilevy	1200	0,24		0,25	
sementtilastulevy	1100	0,21	7	0,23	
lastulevy	600	0,13	9	0,14	
puukuitulevy					
kova	1000	0,12	8	0,13	
puolikova	800	0,10	9	0,11	
vaneri					
koivuvaneri	700	0,15	8	0,16	
sekavaneri	600	0,13	8	0,14	
kuusivaneri	500	0,12	8	0,13	
SEKALAISIA RAKENNUS- AINEITA JA TARVIKKEITA					
asfaltti	2200			0,7	
betoni	2000		2	1,2	
	2300		2	1,7	
betonireikäkivet muurattuna	1400	0,42	3	0,55	
betonitäyskivet muurattuna	2000	0,70	2	1,2	
bitumi	1000			0,13	
kalkkihiekkatiilet muurattuina	1900	0,70	3	0,95	
rappauslaastit					
sementtilaasti	2000	0,70	2	1,2	
kalkkisementtilaasti	1800	0,65	2	1,0	
kalkkilaasti	1700	0,50	2	0,90	
poltetut tiilet muurattuina					
reikätiilet	1500	0,50	1	0,60	
	1300	0,45	1	0,50	
	1700	0,60	1	0,70	
täystiilet	1500	0,55	1	0,65	
	1300	0,50	1	0,60	
puu, mänty, kuusi	450	0,10	14	0,12	
metalleja					
kupari (puhdas)	8900			370	
alumiini (puhdas)	2700			220	
duralumiini (kuparia 3-5 %)	2700			160	
messinki	8400			120	
sinkki	7100			110	
tina	7300			65	
rauta, teräs	7900			50	
lyijy	11300			35	
ruostumaton teräs	7900			17	

Aine, tarvike	Kuiva- tiheys	Lämmön- johtavuus	Kosteus- pitoisuus	Normaalinen lämmön- johtavuus	Alaviite- huomautus
	ρ kg/m ³	λ_{10} W/(m · K)	W_n % kuiva- painosta	λ_n W/(m · K)	
muovit					
akryyli	1050			0,20	
polykarbonaatti	1200			0,21	
PTFE	2200			0,23	
PVC, jäykkä	1390			0,18	
PVC, 40 % pehmenin	1200			0,14	
polyetyleeni HD	980			0,40	
polyetyleeni LD	920			0,32	
polystyreeni	1050			0,18	
polyasetaatti	1410			0,30	
fenoliharts	1600			0,5	
polypropyleeni	910			0,22	
EPDM	1150			0,20	
PMMA (akrylaatti)	1180			0,18	
polyuretaani	1200			0,25	
polyamidi	1130			0,25	
epoksiharts	1200			0,23	
silikoni	1200			0,30	
kumit					
polyisobutyleeni	920			0,13	
butyyli	1200			0,24	
polysulfidi				0,19	
neopreeni	1240			0,23	
lasi	2500			1,0	
tiivistys- ja eristysaineet					
nailon	1140			0,23	
uretaani (nestemäinen)				0,36	
silikonivaaho				0,12	
vinyyli (joustava)				0,12	
polyetyleenivaaho	36			0,06	
maa-aineksia					
savi tai siltti	1500			1,5	
hiekkä, sora, moreeni	2000			2,0	
kivilaatuja					
basaltti	2800			3,5	
kalkkikivi	2300			2,5	
graniitti	2700			2,8	
hiekkakivi	2300			2,0	
luonnon hohkakivi	400			0,08	
vesi, 10 °C				0,6	
jää, 0 °C				2,2	
jää, -10 °C				2,5	
lumi, pehmeä	200			0,12	
lumi, tiivistetty	500			0,70	

LIITE 3 TYÖSELITYS

Alkuperäinen työselitys

Työselitys ~~XXXXXXXXXXXXXXXX~~ omakotitalon rakennustyötä varten.

Talo rakennetaan ~~XXXXXXXX~~ rakennuskieltoalueen IV osan 15 korttelin tontille n:o 6. Rakennustyössä noudatetaan voimassaolevia rakennuslakeja, asetusta sekä rakennus- ja paloviranomaisten antamia ohjeita ja määräyksiä.

Maankaivu.

Peruskuopat kaivetaan piirustuksen osoittamalla tavalla routarajan alapuolelle tai noin 180 sm syvyyteen. Peruskuopista tuleva liika maa jota ei tarvita tontin ja pihamaan tasaukseen on kuljettava rakennuspaikalta pois lähemmin rakennuttajan osoittamaan paikkaan.

Perustukset ja sokkelit.

Perusanturat ja sokkelit tehdään rakennepiirustuksen mukaan säästö ja teräsbetonista. Betoniin laitettavien säästökivien tulee olla puhtaita kaikesta liasta ja on ne kasteltava ennen betoniin laittamista. Kun betonilaudoitukset on purettu ja peruskuopat siivottu rakennusjätteistä, niin täytetään sokkelin ympärys molemminpuolin soralla. Sora sulotetaan tiiviiseen joko veden avulla tai junttaamalla. Jos maa on kosteaa ja vettä läpäisemätöntä, nälätetään perusanturoiden ympäri salaojat \varnothing 3" ruukkuputkista. Salaojat laitetaan jokapaikasta pohjavesikaivoon viettäväksi. Salaojaputkien liitokset ympäröidään bitumihuopakaistaleillä karhea puoli putkeen päin. Pohjavesi ja hajoituskaivot tehdään kunnan viranranomaisten hyväksymällä tavalla 100 sm betonirenkaista. Parveke ja autotallin sisäänajo luiska tehdään teräsbetonista. Täytepohjat tehdään tiiviiseen juntatun sorakerroksen päälle raudoitettusta betonista noin 6 sm vahviseksi. Talouskellarin permanto ja portaat tehdään raudoitettusta betonista teräslatalla hierrettyin pinnoin. Kellarin verhomuuraukset tehdään kalkkihiekkatiilestä kantilleen muuraten. Verhomuurauksen ja betonisokkelin väliin lämpöeristeeksi laitetaan 5 sm Karhulevy.

Kosteuseristys.

Kellarin permanto ja seinät, täytepohjat, ohuen sokkelin sisäsiivu ja sokkelin päällyys eristetään kosteudelta kaksinkertaisella bitumisiivelyllä. Yksi kylmä ja yksi kuumasively.

Seinät ja runkotyö.

Rakennuksen ulkoseinät tehdään piirustuksen osoittamalla tavalla normaalikoisista kalkkihiekkatiilistä puhtaaksi muurattuna noin 12 mm saumoin. Seinät saumataan saumaraudalla jo muuraustyön yhteydessä ja saumat painetaan noin 3-4 mm tiilenpintaa syvemmälle. Pystysaumot saumataan tiilen tasoon. Muurauslaastina käytetään muuraussementtiä tehtaan ohjeiden mukaan.

Sisäseinät tehdään puurunkorakenteisena seuraavasti: sokkelin päälle laitetaan 2 x 4" lankut. Alajuoksunen päälle naulataan 2 x 4" lankuista pystykoolaus, paitsi nurkille 4 x 6", väliseinäliitoksiin 4 x 6", reikien pieliin 4 x 4" ja kantavien seinien kohdalla 4 x 4" parrut. Kaikki pystykoolaukset laitetaan 60 sm välimatkoin kk. mitattuna. Pystykoolauksen päälle tuleva yläjuoksu tehdään 4 x 4" parrusta. Lastulevyä vastaan tulevat parrut ja lankut tulee olla täysikanttisia ja suorina. Täytteeksi seinän väliin laitetaan 10 sm karhulevy. Karhulevyn päälle muovi tiivistys paperi ja seinät tehdään 12 mm K sokopanlevyistä noin 8 mm avosaumoin. Autotallin, kalustovajan ja halkovajan sisäseinät tehdään kalkkihiekkatiilestä kantilleen muurattuna ja saumataan samoin kuin ulkoseinät. Näissä tiloissa seinän väliin lämpöeristeeksi laitetaan 5 sm karhulevy. Seinät sidotaan toisiinsa 4 mm kalvanoiduilla rauta sinkkilöillä noin 5 kpl. m².

Saunan, pesu ja pukuhuoneen seinät ja laipiot tehdään 3/4 x 4" pp. laudoista vaakalauoituksin. Lauoituksen päälle laitetaan alumiini paperi n:o 2 kirkaspuoli sisään päin. Alumiini paperin päälle laitetaan 3/4 x 2" rimoista naulausjuoksut ja seinät ja laipiot päällystetään 3/4 x 4" kuusipanellilla. Saunan lauteet, puku ja pesuhuoneen penkit tehdään 1,1/4" höylätyistä haapalauodoista.

Laipiovasat tehdään 2 x 8" lankuista ja laitetaan ne 60 sm välimatkoin kk. mitattuna. Kattotuolit tehdään 2 x 5" lankuista ja laitetaan ne noin 80 sm välein. Kattotuolit tuetaan ullakolla 4 x 4" ja 2 x 4" tavarasta tehdyillä tukirakenteilla piirustuksen osoittamalla tavalla. Rakennuksen päädyt ullakon kohdalla tehdään piirustuksen osoittamalla tavalla kerämipintaisesta 7 mm vahvuisesta minerit levystä.

Vesikatto.

Vesikaton aluslaudoitus tehdään $7/8 \times 4$ " pp.laudoista noin 4" välein. Räystäiden alukset ja parvekkeen katot tehdään $7/8 \times 4$ " ympärihöylätyistä laudoista noin 1,5 sm avosaumoin. Laudat valtataan tumman ruskealla valtilla ennen kiinnittämistä. Kiinnitys kuparinauloilla. Vesikouru upotetaan räystään sisään piirustuksen osoittamalla tavalla. Räystäkourun etureuna vahvistetaan 1×1 " kulmaraudalla joka hitsataan kiinni räystäskoiukkuihin. Vesikurun pelti kierretään kulmaraudan alle. Vesikourua peittävä räystäslista tehdään 7 mm vahvuista ja 30 sm levyisestä valkoisesta mineritlevystä. Nurkille tehdään syöksytorvet normaaliin tapanna kalvanoidusta 5 kgNpellistä. Syöksytorvien alle maahan tehdään teräsbetonista noin 1 m pituiset roskekivet.

Vesikatto tehdään 4,5 kg:n kalvanoidusta kattopellistä tuplasaumoin. Alhaalta savupiipulle ja paloluukulle tehdään palotikkaat $1,5 \times 1,5$ " kulmaraudasta, askeleet $5/8$ " \varnothing raudasta palotarkastus määräysten mukaisesti.

Laipiot.

Laipiot tehdään altanaulaamalla $3/4 \times 4$ " pp.laudoista ja laudoituksen alle laitetaan pinkopahvi. Täytteeksi laipiolle laitetaan kuivaa kutterin purua tai sahajauhoa. Ullakon palopermanto tehdään täysisärmäisistä $7/8 \times 4$ " sahapintalaudoista. Täytteen vahvuus noin 35 sm. Asuinhuoneiden laipiot päällystetään huoneen levyisillä kestopinta Ura laatoilla avosaumoin. Kiinnitys tehtaan ohjeiden mukaan. Kattilahuoneen, halkovajan, autotallin ja kalustovajan laipiot päällystetään 12 mm kipsonit levyillä.

Savupiippu ja lämmityslaitteet.

Savupiippu maurataan hyväksipoltetuista punaisista tiilistä kalkkilaastilla. Savupiippu rapataan kalkkilaastilla sileäksi. Savupiipun päähän katolla valetaan teräsbetonilaatta. Saunaan asennetaan jatkuvalämmitteinen rautainen kiuas ja pesuhuoneeseen noin 80 l ruostumaton teräs muuripata. Talo varustetaan vesikeskuslämmityksellä. Vesi, viemäri ja keskuslämmitys sekä sähkötyöt tehdään erikseen alan liikkeiden tekemien suunnitelmien mukaan.

Ovet ja ikkunat.

Ovet ja ikkunat tehdään erikospuurustuksen mukaan kuivista mänty-puista. Karmit sovitetaan hyvin seinille ja seinän ja karmin välinen riveusauma tilkitään huolellisesti hyvillä tilkkeillä. Karmit öljytään ennen paikoilleen asentamista. Riveusauma karmin ympäriltä ulkoa peitetään 2 x 2 sm myykilistalla. Ikkunanpenkit pellitetään normaaliin tapean kalvancoidulla pellillä. Ulko-ovet varustetaan hyvillä Solifer kuulasaranoilla, päällepentavilla abloi lukoilla, vetimillä, abloi ovensulkijalla, ovipysäyttäjällä aukkipiorenkaineen sekä ruostumattomilla potkulevyillä. Sisäovet varustetaan Solifer kuulasaranoilla ja upotettavilla parioven lukoilla, v:n ovi vessan lukolla, kattilahuoneen ovet itsestään sulkevilla palo-oven saranoilla ja abloi lukoilla ja autotallin ovet vahvoilla takosaranoilla.

Ikkunan pokat varustetaan hyvillä kulmarauodoilla, saranoilla, upotettavilla ikkunalukoilla ja tuuletusikkunat ikkunatuilla tai Y säpeillä. Ikkunat lasitetaan 3 mm konelasilla. Lasit kiinnitetään pokiin kitilla ja puulistoilla.

Keittiökalusteet ja komerot.

Keittiökalusteet ja komerot tehdään puusepän työnä ja mitat otetaan paikanpäällä. Keittiön komeroisto toinen hyllykomeroksi ja tainen jääkaappikomeroiksi. Kaapistot tehdään laipioon asti. Vaatekomerot sisustetaan rakennuttajan hyväksymällä tavalla riippuvaate ja liinavaatekomoeroiksi. Eteisen komero sisustetaan siivouskomeroksi. Vaatehuoneen peräseinälle tehdään hyllyt makuuvaatteita varten. Vaatehuoneeseen laitetaan riippuvaatetanko ja hattuhylly päällysvaatteita varten ja lattialle kenkätelineet.

Permannot.

Permannot tehdään 2 x 4" korokkeiden varaan kuivista ja pontatuista 1,1/4 x 3" permantolautoista pontista naulaten. Täytteeksi permantoihin laitetaan kuivaa kutterin lastua tai sahajauhoa. Jalkalistat ja ovi sekä ikkunavuorit tehdään normaaliin tapaan höylätystä listatavarasta.

Maalaustyöt.

Ulkopuoliset puosat maalataan tummanruskealla puunsuoja-aineella Visalla tai vastaavalla. Betonisokkeli maalataan tumman harmaaksi sok-

LIITE 4 SPU ERISTEIDEN TEKNISET OMINAISUUDET

Spu eristeiden tekniset ominaisuudet (Spu.fi.)

SPU Eristeet, PIR Tuotteilla CE-merkintä	Ominaisuudet	Tuotteet
Solurakenne	Umpisoluisuus yli 90 %	
Lämmönjohtavuus EN ISO 10456, EN 13165 suunnitteluarvo λ_U = ilmoitettu arvo λ_D (normaaliolosuhteissa)	0,023 W/mK, diffuusiotiivis pinnoite	SPU AL SPU P SPU Vintti-lita SPU Sauna-Satu SPU R SPU Pientalotuotteet
	0,022 W/mK, diffuusiotiivis pinnoite	SPU SP
	Diffuusioavoin pinnoite 0,025 W/mK , paksuus yli 120 mm 0,026 W/mK , paksuus 80–120 mm 0,027 W/mK , paksuus alle 80 mm	SPU FR SPU B SPU H
	0,034 W/mK (laskettu arvo kipsi-PU-yhdistelmälle)	SPU Anselmi 40 (PU = PUR)
	0,031 W/mK (laskettu arvo kipsi-PU-yhdistelmälle)	SPU Anselmi 70 (PU = PUR)
Tiheys	32–38 kg/m ³ , tuotteen mukaan	
Vedenimeytyminen EN 12087	≤ 1,5 til. -%	
Vesihöyrynläpäisevyys - pinnoittamaton eriste	0,1–1,2 * 10 ⁻¹² kg/msPa	

Puristuslujuus EN 826	≥ 100 kPa	
Vetolujuus EN 1607		
Lämpölaajenemiskerroin	$5-8 * 10^{-5} / ^\circ\text{C}$	
Palokäyttäytyminen EN 13501-1, EN 13823, EN ISO 11925-2	B-s1, d0	SPU FR SPU Anselmi (kipsilevypinnoite)
	E	Diffuusiotiivis alumiinilaminaatti SPU AL Pinnoittamaton levy SPU H
	F	Betoniteollisuuden erikoislaminaatti SPU P Diffuusiotiivis alumiiniton pinnoite SPU R Diffuusiotiivis alumiiniton pinnoite SPU RF Bitumilaminaatti SPU B
Lämmönkesto (normaalituotteet)	-40 ... +100 °C, lyhytaikainen +250 °C	
- syttymislämpötila	Yli +400 °C, liekillä n. +300 °C	
Radonin läpäisevyys	≈ 0 %	Diffuusiotiivis pinnoite SPU AL, SPU P, SPU R

LIITE 5 RAKENNUSAINEIDEN VESIHÖYRYNVASTUKSIA

Taulukko 3. Rakennusaineiden vesihöyrynvastuksia (Dunkel 2013, 14–15.)

Aine	paksuus mm	Z_p $10^9 \text{m}^2 \text{sPa/kg}$	Z_v 10^3s/m	Z_v^* 10^3s/m
Kipsilevy	13	n. 0,75	1,6...4,5	4
Lastulevy	12	1,7...4,2		
Huokoinen puukuitulevy	13	n. 0,5	2,5...3,5	3
Bitumilla kyllästetty huokoinen kuitulevy	15	0,6...1,0		
Kovalevy	3,2	0,5...0,8	2,5...3,5	3
Vaneri	13		15...80	50
Ilma	100		4	4
Betoni	100		30...1000	150
Puu	100		30...500	400
Siporex	100		10...50	30
Poltettu tiili	130			32
Mineraalivilla	100		4...12	8
Solypolystyreeni	100			70...110
Solupolyuretaani poly- eteenikalvo	100			600...7500
polyeteenikalvo	0,09	n.200 n.345		
polyeteenikalvo	0,15	n.450 n.700		
polyeteenikalvo	0,2			>2000
polyeteenikalvo	0,3			3500
bitumivuorauspaperi (130g/m ²) muovitiivistyspa- peri		500...10000 500...1000		18,5 180
Kattohuopa Bitumi- kerros Protan Maale- ja		2,5...4		750
-akrylilates	μm 100...200	1,0...1,4	5...120	
-PVA latex	100...120	9,5...16		
-alkydi	90...120	4,7...8,0		
-kloorikautsu	40...50	11,5...16		
-polyuretaani	30...40	6...9		
-PVC	30...40	0,7...0,8		
-Silikaatti Ardulan 8+9	80...100			
Kiilto keragum				24,4
Linoleum Muovimatto (PVC)				59,1
	2..3mm	55...80	200 500	

* laskentaan soveltuva tyypillinen arvo

LIITE 6 RAKENNUSMATERIAALIEN VESIHÖYRYNVASTUUKSIA JA LÄMMÖNJOHTAVUUKSIA

Rakennusmateriaalien vesihöyrynvastuksia ja lämmönjohtavuuksia (Dunkel 2013, liite 3.)

Rakennusmateriaalien vesihöyrynvastuksia ja lämmönjohtavuuksia (lähtöarvot tummennettu)

Materiaali	Paksuus λ (mm)	W/m °C	$Z_v \cdot 10^3$ (s/m)		$\delta_v = d/Z_v$ $\cdot 10^{-6}$ (m ² /s)		$\delta_p = \delta_v / 135000$ $\cdot 10^{-12}$ (kg/m s Pa)		$Z_p = d/\delta_p$ $\cdot 10^9$ (m ² s Pa/kg)		Huom.
			min	max	min	max	min	max	min	max	
Lastulevy	10		20		0.50000		3.70370		2.70		1)
Puukuitulevy, kova	3.5		15		0.23333		1.72840		2.03		1)
Puukuitulevy, puolikova	10		8	15	1.25000	0.66667	9.25926	4.93827	1.08	2.03	1)
Puukuitulevy, huokoinen	12		3	4	4.00000	3.00000	29.62963		0.41		1)
Puukuitulevy, bitumi	13		5	15	2.60000	0.86667	19.25926	6.41975	0.68	2.03	1)
Polyeteenikalvo	0.2		2000		0.00010		0.00074		270		1)
PVC-matto, normaali	2		500	2000	0.00400	0.00100	0.02963	0.00741	67.50	270	1)
PVC-matto, erit. tiivis	2		10000		0.00020		0.00148		1350		1)
Muovipint. korkkilaatta	3		5000		0.00060		0.00444		675		1)
Tekstiilimatto	2		5	10	0.40000	0.20000	2.96296	1.48148	0.68	1.35	1)
Alkydimaali	0.05		25	75	0.00200	0.00067	0.01481	0.00494	3.38	10.13	1)
Akrylaattilateksimaali	0.05		5	20	0.01000	0.00250	0.07407	0.01852	0.68	2.70	1)
Kipsilevy	13	0.15	5.56		2.34000		17.33333		0.75		2)
Lastulevy	13	0.15	13.33	31.85	0.97500	0.40814	7.22222	3.02326	1.80	4.30	2)
Huokoinen puukuitulevy	13	0.055	3.70		3.51000		26.00000		0.50		2)
Puolikova ja kova puukuitulevy	3.2	0.13	3.70	5.93	0.86400	0.54000	6.40000	4.00000	0.50	0.80	2)
Bitumikyll. puukuitulevy	15		4.44	7.41	3.37500	2.02500	25.00000	15.00000	0.60	1.00	2)
Polyeteenimuovikalvo	0.15		0	2555.56	0.00006		0.00043		345		2)
Polyeteenimuovikalvo	0.2		0	3333.33	0.00006		0.00044		450		2)
Polyeteenimuovikalvo	0.3		0	5185.19	0.00006		0.00043		700		2)
Kattohuopa	2		3703.70	7407.41	0.00054	0.00003	0.00400	0.00020	500	10000	2)
Bitumikerros	1	0.18	3703.70	7407.41	0.00027	0.00014	0.00200	0.00100	500	1000	2)
PVC-matto	2		407.41	592.59	0.00491	0.00338	0.03636	0.02500	55	80	2)
Akrylaattililleteksimaali	0.15		18.52	29.63	0.00810	0.00506	0.06000	0.03750	2.50	4.00	2)
Alkydimaali	0.1		70.37	118.52	0.00142	0.00084	0.01053	0.00625	9.50	16.00	2)
Kloorikautsumaali	0.04		34.81	59.26	0.00115	0.00068	0.00851	0.00500	4.70	8.00	2)
PVC-maali	0.04		44.44	66.67	0.00090	0.00060	0.00667	0.00444	6.00	9.00	2)
Lähteet											

1) Nevander, L.E., Elmarsson, B. 1994. Fukt handbook. Praktik och teori. Svensk Byggtjänst.

2) Björkholz, D. 1997. Lämpö ja kosteus, rakennusfysiikka. 2. painos. Rakennustieto Oy.

3) Paukku, E. 1999. Lattiapäällysteiden kosteusominaisuuksia. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Talonrakennustekniikka Diplomityö.

4) Lindberg, R. et al. 2002. Kosteusvirtä-tutkimus. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Talonrakennustekniikka Julkaisu 120.

Materiaali	Paksuus (mm)	λ W/m °C	$Z_v \cdot 10^3$ (s/m)		$\delta_v = d/Z_v$ $\cdot 10^{-6}$ (m ² /s) min	$\delta_v = d/Z_v$ $\cdot 10^{-6}$ (m ² /s) max	$\delta_p = \delta_v / 135000$ $\cdot 10^{-12}$ (kg/m s Pa)		$\delta_p = \delta_v / 135000$ $\cdot 10^{-12}$ (kg/m s Pa) max	$Z_p = d/\delta_p$ $\cdot 10^9$ (m ² s Pa/kg)		Huom.
			min	max			min	max		min	max	
Graniitti					0.05		0.37				1)	
Hiekkakivi					2	3	14.81	22.22			1)	
Julkisivutiili					2.7	5.5	20.00	40.74			1)	
Kalkkihiekkakivi					0.6	1.3	4.44	9.63			1)	
Kevytsoraharkko, 650 kg/m ³					3		22.22				1)	
Puukuitulevy, 700 kg/m ³	13			21	0.6		4.44				1)	
Puukuitulevy, 800 kg/m ³	13			52	0.25		1.85				1)	
Lastulevy, 700 kg/m ³	13			26	0.5		3.70				1)	
Lastulevy, 800 kg/m ³	13			130	0.1		0.74				1)	
Mineraalivilla, 15 kg/m ³					15	24	111.11	177.78			1)	
Mineraalivilla, 200 kg/m ³					8	12	59.26	88.89			1)	
Solulasi					0.004		0.03				1)	
Korkki, paisutettu					1		7.41				1)	
Polyuretaani, PUR					0.2	1	1.48	7.41			1)	
Sahanpuru					8	20	59.26	148.15			1)	
Asfaltti					0.0001		0.00074				1)	
Betoni **		1..2			0.27	1.35	2	10			2)	
Kevytsorabetoni, 700...500 kg/m ³		0.2...0.28			2.7	5.67	20	42			2)	
Kalkkihiekkatiili, 1800 kg/m ³		0.5...1.0			1.35	2.7	10	20			2)	
Punatiili, 1800...1200 kg/m ³		0.5...1.0			1.35	5.67	10	42			2)	
Kuusi, mänty		0.14			0.135	0.405	1	3			2)	
Mineraalivilla, 200...17 kg/m ³		0.037...0.055			11.475	16.875	85	125			2)	
Solupolystyreeni, 60...15 kg/m ³		0.037...0.050			0.162	0.945	1.2	7			2)	
Solupolyuretaani, 60...37 kg/m ³		0.024...0.045			0.0135	0.162	0.1	1.2			2)	
Bitumikyli. huok.kuitulevy	13			6.4	2.025	3.105	15	23			2)	
Lastulevy	13	0.15		32	0.405	0.945	3	7			2)	
Huokoinen puukuitulevy	13	0.055		4.8	2.7	5.4	20	40			2)	
Puulikova puukuitulevy	13			21.9	0.594	0.9585	4.4	7.1			2)	
Kova puukuitulevy		0.13			0.567	0.8235	4.2	6.1			2)	
Kipsilevy		0.15			1.35	2.7	10	20			2)	
**Betoni K30, RH 55%:					0.208		1.54074				4)	
**Betoni K30, RH 75%:					0.266		1.97037				4)	
**Betoni K30, RH 86%:					0.287		2.12593				4)	
**Betoni K30, RH 93%:					0.271		2.00741				4)	

1) Nevander, L.E., Elmarsson, B. 1994. Fukt handbok. Praktik och teori. Svensk Byggtjänst.

2) Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus, rakennusfysiikka. 2. painos. Rakennustieto Oy.

3) Paukku, E. 1999. Lattiapäällysteiden kosteusominaisuksia. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Talonrakennustekniikka Diplomitö.

4) Lindberg, R. et al. 2002. Kosteusvirta-tutkimus. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Talonrakennustekniikka Julkaisu 120.

Lähteet

LIITE 7 RAKENNUSAINEIDEN VESIHÖYRYNVASTUKSIA

Vesihöyrynvastuksia 23 °C:n lämpötilassa (RIL 107–2012, 34.)

Tuote tai materiaalikerros	Vesihöyrynvastus			
	$Z_p \cdot 10^9$ m ² sPa/kg	$Z_v \cdot 10^3$ s/m	μ -	s_d m
Kalvomaiset höyrynsulut				
Muovitiivistyspaperi 0,2 mm	15–50	110–370	15000–50000	3,0–10
Hygrokalvot 0,05 – 0,4 mm ¹⁾	15–500	110–3700	60000–250 000	3,0–100
RH < 90 %	0,50–250	3,7–1800	2000–120 000	0,10–50
RH ≥ 90 %				
Höyrynsulkumuovi (LDPE) 0,2 mm	100–500	730–5900	100000–500000	20–100
Höyrynsulkumuovi (LDPE) 0,4 mm, verkkovahvistettu	200–1000	1500–12000	200000–500000	40–200
Alumiinipaperi 0,4 mm	50	370	25000	10
Alumiinimuovilaminaatti 0,4 mm	2000	15000	1000000	400
Vedeneristemassa 0,3–1 mm	3,0–30	22–220	600–20000	0,6–6,0
Kosteussulkusively, kaksinkertainen n. 0,1 mm	20	150	40000	4,0
Kumibitumikermi 3 mm	800–1500	5900–11000	53000–100000	160–300
Kumibitumikermi 3 mm, alumiinilaminoitu	2000–4000	15000–29000	130000–260000	390–780
Muovimatto (PVC) 3 mm	55–80	400–590	3600–5300	11–16
Teräsohutlevy 1 mm ²⁾	10000	73000	2000000	2000
Muita höyrynsulkuna tai sen osana käytettyjä tuotteita ja materiaalikerroksia				
EPS-eriste 30 mm	3,0–9,0	22–66	20–60	0,60–1,8
XPS-eriste 30 mm	23	170	150	4,5
Polyuretaanieriste (PUR tai PIR) 30 mm, paperipintainen	6,0–28	44–200	40–180	1,2–5,6
Polyuretaanieriste (PUR tai PIR) 30 mm, alumiinilaminaattipintainen	4000	29000	26000	800
Keraaminen laatta 150x150x6, saumattu	10	73	250	2,0
Kipsilevy 13 mm	0,45	3,3	6,9	0,090
Kuitusementtilevy 12 mm	3,3	24	54	0,65
Havuvaneri 12 mm	14	100	230	2,8
Filmivaneri 12 mm	63	460	1000	12
Lastulevy 12 mm	2,5	18	41	0,50
Kosteutta kestävä lastulevy 12 mm	9,0	66	150	1,8
OSB-levy 12 mm	10	73	160	1,9
Puu (mänty, kuusi) 12 mm	5,0	37	83	1,0
Poltettu tiili, muurattu 130 mm	11	77	16	2,1
Kalkkihiekkatiili, muurattu 130 mm	13	96	20	2,6
Kevytbetoniharkko, muurattu 200 mm	10	74	10	2,0
Kevytsorabetoniharkko, muurattu 200 mm	8,0	59	8,0	1,6
Betoni 200 mm	140–210	1000–1600	140–210	28–42
Ontelolaatta 265 mm	33	240	25	6,6
Tasoite 3 mm	0,15	1,1	10	0,030

¹⁾ Suhteellisen kosteuden mukaan muuttuva vesihöyrynvastus.
²⁾ Teräsohutlevyn vesihöyrynvastuksen arvot on arvioitu.

LIITE 8 RAKENNUSAINOIDEN VESIHÖYRYN LÄPÄISEVYYKSIÄ

Rakennusainoiden vesihöyryyn läpäisevyyksiä (Dunkel 2013, 14.)

Aine	tiheys kg/m ³	δ_p 10 ⁻¹² kg/msPa
Ilma		185
Betoni	2300	2...10
S-laasti	2000	2...10
KS-laasti	1800	6,5...17
K-laasti	1700	15...20
Kaasubetoni	650...400	15...42
Kevytsorabetoni	700...500	20...42
Kalkkihiekkatiili	1800	10...20
Punatiili	1800...2000	10...42
Kuusi, mänty	500	1...3
Lastuvillalevy	500...250	35...100
Mineraalivilla	200...17	85...125
Solupolystyreeni	60...15	1,2...7
Solupolyuretaani	60...37	0,1...1,2
Kuitusementtilevy	1600...1300	2...5
Bitumilla kyllästetty huokoinen kuitulevy	350...270	15...23
Lastulevy	750...600	3...7
Huokoinen puukuitulevy	350	20...40
Puolikova puukuitulevy	800...600	4,4...7,1
Kova puukuitulevy	1050...800	4,2...6,1
Kipsilevy	770	10...20

LIITE 9 KUSTANNUSLASKELMA

Kustannuslaskelma (Haataja 2014.)

Kustannuslaskelma		KOR2011 = korjausrakentamisen kustannuksia 2011 (ISBN 978-951-682-986-2)							ROK2011 = rakennusosien kustannuksia 2011 (ISBN 978-951-682-986-5)		Toimeksiantaja:
Kustannustietolähteet											
RAKENNUSOSA	Materiaali- menekki	Yksikkö	Materiaali- kustannus €/yks.	kustannus	Materiaali kustannus yhteensä	Työmenekki tth/yks.	Aputyön osuus %	Työtunnit yht.	Kustannus yhteensä (työ + materiaali)		
Purkutytöt											
Sisäseinän levytyksen purkutyö 700mm	7,50	m2			0,00	0,50	1,00	3,75	131,25		
Sokkelin päällä olevan leukapalkin piikk. 40 mm	10,60	m2			0,00	0,95	1,00	10,07	352,45		
Seinärunгон tuenta	10,60	jm			0,00	0,60	1,20	7,63	267,12		
Seinärunгон alaosan purkaminen 300-400mm	10,60	m2			0,00	1,20	1,30	16,54	578,76		
Sokkelihalkaisuvillan poisto	11,50	jm			0,00	0,70	1,00	8,05	281,75		
Betonipintojen puhd. ja desinfiointi	10,60	jm	21,00		222,60	0,60	1,00	6,36	445,20		
Kustannukset yhteensä								52,40	2056,53		
Rakentaminen											
Asennettujen Spu-levyjen asenn. tarkastus	7,50	erä	7,00		52,50	0,20	1,00	1,50	105,00		
Seinien alaosien harkkorotus 75 mm	10,60	jm	6,50		68,90	1,10	1,20	13,99	558,62		
Lämmöneriste (SPU 30 mm)	10,60	jm	3,00		31,80	0,50	1,00	5,30	217,30		
Uuden alajouksen asennus 50x100	10,60	m2	3,60		38,16	1,30	1,00	13,78	520,46		
Seinälevytyksen uusiminen	7,50	m2	4,41		33,08	0,18	1,10	1,49	85,05		
Seinien pintarakenteet	7,50	m2	3,73		27,98	0,10	1,00	0,75	54,23		
Kustannukset yhteensä								36,81	1540,66		
Kalusteiden irroitus ja siirto	1,00	erä			0,00	8,00	1,00	8,00	280,00		
Jalkalistojen purku	47,00	jm			0,00	0,04	1,00	1,88	65,80		
Lattian pintamateriaalin poisto	57,20	m2			0,00	0,20	1,00	11,44	400,40		
Betonioinnan jyrshintä	57,20	m2			0,00	0,40	1,00	22,88	800,80		
Puhdistus ja imurointi	57,20	m2			0,00	0,06	1,00	3,43	120,12		
Kustannukset yhteensä								47,63	1667,12		
Rakentaminen (kantavuuden lisäys+tiivistykorjaus)											
Mahd. lattiahalkeamien korjaus	10,00	jm	3,50		35,00	0,20	1,00	2,00	105,00		
Rajakohtien tiivistys	30,50	jm	3,50		106,75	0,40	1,00	12,20	533,75		
Alapohjan polyyreetaani-injektointi	7,50	m2	755,00		5662,50	0,00	0,00	0,00	5662,50		
Lattian tasointu n. 1-3 mm	57,20	m2	11,80		674,96	0,10	1,00	5,72	875,16		
Lattian pintamateriaalien asennus	57,20	m2	26,18		1497,50	0,20	1,00	11,44	1897,90		
Jalkalistojen uusiminen	47,00	jm	2,17		101,99	0,20	1,00	9,40	430,99		
Työaikainen Siivous ja puhdistus	1,00	erä			0,00	5,00	1,00	5,00	175,00		
Kustannukset yhteensä								45,76	9680,30		
3 TYÖMAAPALVELUT											
Tilan osastoiti (pölytiivieys)	1	erä	160		160,00	21,00	1,20	25,20	1042,00		
Tilan alipaineistus	1	erä	160		648,00	8,00	1,20	9,60	984,00		
Remontin purkujätekuustannukset	1	erä	300						500,00		
Kustannukset yhteensä								34,80	2526,00		
Materiaalikustannus yhteensä					9139,11	Työ+materiaali yhteensä			17470,60		
KOKONAISHINTA YHTEENSÄ ILMAN URAKOISIJAN KATETTA											
Riskivaraus 10%									1747,06		
Urakoitsijan kate mukana tuntihinnassa									Työtunnit yht. 217		
Yleiskustannus materiaaleista 12 %									1096,69		
Käyttö- ja yht. kustannukset (sis. Työnjohto, työmaatilat, yms.)									2620,59		
KOKONAISHINTA SISÄLTÄÄ KATTEEN JA RISKIVARAUKSEN											
									28439,33		