

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Rakennustekniikka  
Rakennesuunnittelu

Johannes Ahokainen

# **ASUINRAKENNUKSEN JÄÄHDYTYKSEN KOS- TEUSTEKNISET VAIKUTUKSET ULKOSEINÄRA- KENTEISIIN JA ASUMISTERVEYTEEN**

Opinnäytetyö 2012

## TIIVISTELMÄ

Johannes Ahokainen

Asuinrakennuksen jäähdytyksen kosteustekniset vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen, 43 sivua, 12 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikka, Rakennustekniikka

Rakennesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö, 2011

Ohjaajat: Lehtori (DI) Timo Lehtoviita Saimaan AMK, RKM, Rakter. Hannele Rämö Asumisterveysliitto Aste ry.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia tyypillisten suomalaisten asuinrakennusten ulkoseinärakenteiden kosteusteknistä toimivuutta kesäolosuhteissa, kun rakennusta jäähdytetään. Tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa laskennallisesti riskirakenteita ja määrittää jäähdytystä varten ohjeellinen sisälämpötila.

Laskelmat perustuvat yksiulotteiseen diffuusiovirtaan jatkuvuustilassa. Homeen kasvun mahdollistavien tekijöiden arvioinnissa on käytetty VTT Rakennustekniikan ns. alkuperäistä homemallia, joka on männyn pintapuun homeenkasvua kuvaava laskennallinen malli.

Laskelmien toteuttamiseksi opinnäytetyössä laadittiin taulukkolaskentaan pohjautuva laskenta-alusta. Laskenta-alustaan syötetään ulkoseinärakenteen dimensiot, materiaalitiedot ja sisä- ja ulkoilmaolosuhteet, minkä perusteella saadaan taulukkomuotoinen lämpötila- ja kosteusjakauma. Lämpötila- ja kosteusjakautuman pohjalta määritetään homeenkasvun alkamiseen kuluva aika rakenteen eri kerroksissa.

Tarkasteltavat ulkoseinärakenteet jaoteltiin rakennusfysikaalisen toimintatavan mukaan. Laskelmat suoritettiin yleisellä tasolla käyttäen materiaaleille tavanomaisia lämpö- ja kosteusteknisiä materiaalitietoja. Laskelmien tulokset esitettiin tekijän määrittelemien laskuesimerkkien avulla.

Laskelmien perusteella jäähdytyksen ohjeelliseksi sisälämpötilaksi saatiin 24 °C. Ohjeellisen sisälämpötilan noudattaminen poistaa ulkoseinärakenteen homerisikin tai pienentää homeenkasvun alkamisen todennäköisyyden erittäin pieneksi. Homeriskiä ei synny ulkoseinärakenteisiin, joiden kosteustekninen toimivuus ei ole riippuvainen diffuusiovirran suunnasta. Tällaisia rakenteita ovat esimerkiksi yksiaineiset massiivirakenteet ja jälleenrakennuskauden purueristeinen ulkoseinärakenne. Homeriski on suurimmillaan kerroksellisissa ulkoseinärakenteissa, joissa on höyrynsulku tai sitä vastaava kerros sisäpinnan läheisyydessä ja sisälämpötila on alhainen, tällöin sillä saattaa olla merkitystä myös asumisterveyteen.

Asiasanat: Jäähdytys, asuinrakennus, ulkoseinä, diffuusio, osapaine, kosteus, vesihöyry, home, asumisterveys

## ABSTRACT

Johannes Ahokainen

Affect of residence air-conditioning on external walls' hygrothermal conditions and housing health, 43 pages, 12 appendices

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Technology, Civil and Construction Engineering

Thesis, 2011

Instructors: Lecturer (DI) Timo Lehtoviita Saimaan AMK, Housing health advisory officer Hannele Rämö Asumisterveysliitto Aste ry

The purpose of this thesis was to research hygrothermal conditions on external walls during cooling in summer. The review contains typical external walls of Finnish residences. One intension was to define a guideline for room temperature on summertime. This research is based only on calculations.

The calculations consider the transmission of water vapour by diffusion. The Technical Research Centre of Finland (VTT) has studied the mould growth on the surface of pine blocks. The study contains a formula for analyzing mould growth and it is used in this thesis.

A Spreadsheet computer application was used on calculations. The spreadsheet template calculates the temperature and humidity distribution in external wall and the starting time for mould growth. The specifications of each external wall were typed on the template and the results and conclusion are reported on the final page of each calculation. The material values represent the common values for each material.

Increase of the room temperature reduces the appearance of hygrothermal conditions which are beneficial for mould growth. The Recommendable inner temperature during cooling is 24 °C. If inner temperature is 24 °C it is very unlikely that mould grow starts in typical Finnish external wall. For those external wall types which hygrothermal action does not depend on the direction of diffusion there is no risk of mould growth. The risk is maximal in a structure containing only one thin and diffusion resistant layer near the inner parts of the structure and the room temperature is low.

Keywords: Air-conditioning, residence, external wall, diffusion, humidity, water vapour, mould, housing health

## SISÄLTÖ

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| 1 JOHDANTO .....                                         | 6  |
| 2 SISÄILMASTO JA ASUMISTERVEYS .....                     | 7  |
| 2.1 Jäähdytyksen aiheuttamat muutokset sisäilmassa ..... | 7  |
| 2.2 Jäähdytys ja sisäilmastotekijät .....                | 8  |
| 3 LASKENTAMENETELMÄ .....                                | 16 |
| 3.1 Rakenteen lämpötila .....                            | 16 |
| 3.1.1 Lämpöenergian siirtyminen .....                    | 16 |
| 3.1.2 Materiaalien lämmönjohtavuus .....                 | 17 |
| 3.1.3 Rakenteen lämpötilajakauma .....                   | 18 |
| 3.2 Rakenteen kosteus .....                              | 19 |
| 3.2.1 Ilman kosteus .....                                | 19 |
| 3.2.2 Vesihöyryn osapaine .....                          | 19 |
| 3.2.3 Osapainelaki .....                                 | 21 |
| 3.2.4 Vesihöyryn diffuusio rakenteen läpi .....          | 21 |
| 3.2.5 Vesihöyrynvastus ja -läpäisevyys .....             | 21 |
| 3.2.6 Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin .....            | 22 |
| 3.2.7 $S_d$ -arvo .....                                  | 22 |
| 3.2.8 Rakenteen kosteusjakauma .....                     | 22 |
| 3.3 Homeen kasvun laskennallinen mallintaminen .....     | 23 |
| 3.4 Tulosten esittäminen .....                           | 24 |
| 4 ULKOSEINÄRAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNINEN TOIMINTA .....    | 25 |
| 4.1 Suunnittelun lähtökohta .....                        | 25 |
| 4.2 Ulkoseinärakenteet toimintaperiaatteittain .....     | 25 |
| 4.2.1 Höyrynsululliset rakenteet .....                   | 25 |
| 4.2.2 Ilmansululliset rakenteet .....                    | 26 |
| 4.2.3 Kiviaineiset kerrosrakenteet .....                 | 26 |
| 4.2.4 Massiivirakenteet .....                            | 26 |
| 5 LASKENNAN OLETUKSET JA RAJAUKSET .....                 | 27 |
| 5.1 Laskentamenetelmä .....                              | 27 |
| 5.2 Suomen jäähdytyskauden ilmasto-olosuhteet .....      | 28 |
| 5.2.1 Ulkoilman lämpötila .....                          | 28 |
| 5.1.2 Ulkoilman kosteus .....                            | 33 |
| 5.3 Sisäilmasto-olosuhteet .....                         | 35 |
| 5.4 Materiaaliominaisuudet .....                         | 36 |

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 6 ULKOSEINÄRAKENTEIDEN TOIMINTA JÄÄHDYTYSKAUDELLA ..... | 37 |
| 5.3 Höyrynsulullinen ulkoseinärakenne .....             | 37 |
| 5.5 Ilmansulullinen ulkoseinärakenne.....               | 38 |
| 5.4 Kiviaineinen kerroksellinen ulkoseinärakenne .....  | 38 |
| 5.6 Massiivirakenteet.....                              | 39 |
| 7 YHTEENVETO.....                                       | 39 |

## LIITTEET

Liite 0 Esimerkkilaskelmia yksikkömuunnoksista

Liite1...11 Ulkoseinärakenteiden diffuusiovirtalaskelmat

# 1 JOHDANTO

Asuinrakennusten jäähdytys on lisääntynyt Suomessa kuluneen viidentoista vuoden aikana merkittävästi. Ilmalämpöpumppujen markkinointi ja suhteellisen edullinen hankintahinta ovat herättäneet kuluttajien mielenkiinnon. Ilmalämpöpumppuja markkinoidaan energiaa säästävinä lisälämmönlähteinä, jäähdytyslaitteina, ilman suodattimina ja monilla muilla asumismukavuuteen pohjautuvilla perusteilla.

Asuinrakennusten jäähdytys toteutetaan pääasiallisesti ilmalämmönvaihtimilla, joissa lämpöenergiaa sitoutuu sisäilmasta kylmäaineeseen. Lämpöpumpuista puhuttaessa sisälämmönvaihdinta kutsutaan usein sisäyksiköksi. Sisäyksikön läpi virtaavan ilman laatu muuttuu ja siten vaikutetaan sekä suoraan että välillisesti rakennuksen sisäilmastoon. Muuttuvia tekijöitä ovat ilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja epäpuhtaudet.

Sisäilmaston koneellinen muuttaminen lämpimänä vuodenaikana vaikuttaa asuinrakennusten ulkoseinärakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan. Asuinrakennusten seinärakenteiden rakennusfysikaalisessa suunnittelussa ei perinteisesti ole huomioitu jäähdytystä. Lämpö- ja kosteusteknisen suunnittelun lähtökohtana on ollut, että asuinrakennusta lämmitetään kylminä vuodenaikoina ja kesällä olosuhteet ovat luonnontilassa. Lämpimällä ajanjaksolla rakennusta jäähdytettäessä olosuhteet ovat perinteiseen suunnittelutilanteeseen nähden vastakkaiset: sisällä on viileämpää kuin ulkona.

Kosteus siirtyy ulkoseinärakenteessa kapillaarisesti sekä konvektion ja diffuusion vaikutuksesta. Opinnäytetyön tavoite on arvioida laskennallisesti käänteisen vesihöyryn diffuusiovirran vaikutusta tyypillisten asuinrakennusten ulkoseinärakenteisiin jäähdytyskaudella. Laskelmat perustuvat vesihöyryn osapaine-eron aiheuttamaan yksiulotteiseen diffuusiovirtaan jatkuvuustilassa. Homeen kasvuun liittyviä tekijöitä on pyritty arvioimaan VTT:n ns. alkuperäisen homemallin pohjalta.

## 2 SISÄILMASTO JA ASUMISTERVEYS

### 2.1 Jäähdytyksen aiheuttamat muutokset sisäilmassa

Asuinrakennusten jäähdytyksessä käytetään pääasiassa ilmalämpöpumppuja. Ilmalämpöpumppujärjestelmä koostuu sisä- ja ulkoyksiköstä. Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö on ilmavirtaan perustuva lämmönvaihdin, joka on varustettu erityyppisillä ilman suodattimilla. Rakennuksen sisäilmaa kierrätetään sisäyksikön läpi, jolloin sen ominaisuudet muuttuvat. Sisäyksikön lämmönvaihtimen lämpötila on tyypillisesti noin +2...+8 C ja se säilyy käytön aikana lähes vakiona. Sisäilman virratessa kylmän lämmönvaihtimen läpi sitoutuu siitä energiaa suljetussa kierrossa olevaan kylmäaineeseen. Ulkoyksikön tarkoitus on luovuttaa sitoutunut energia ulkoilmaan.

Sisäilman energiasisällön muuttuessa muuttuvat myös sen lämpötila ja vesihöyrypitoisuus. Osa ilman sisältämästä vesihöyrystä tiivistyy kylmän lämmönvaihtimen pinnalle, mistä se johdetaan ulos rakennuksesta. Vesihöyrypitoisuuden alenemisen seurauksena laskee sisäilman suhteellinen kosteus. Sisäyksikössä viilentynyt ja kuivunut sisäilma puhalletaan takaisin viilennettävään tilaan, jossa se sekoittuu käsittelemättömään ilmaan. Ilman kierto jatkuu järjestelmän säätelynä kunnes haluttu sisälämpötila on saavutettu. Jäähdytettäessä muuttuvat siis sisäilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja rakennuksen sisäiset ilmavirrat.

Ilmalämpöpumpun sisäyksikön esisuodattimien tarkoitus on estää huoneilman sisältämän pölyn kertyminen lämmönvaihtimeen. Lisäksi joissain laitteissa on sähkötoimisia pienhiukkassuodattimia ja hajun poistoon tarkoitettuja erikoissuodattimia. Lämmönvaihtimeen saattaa kertyä epäpuhtauksia useiden vuosien kuluessa. Suodattimien säännöllinen ja huolellinen puhdistus vähentää lämmönvaihtimeen pääsevän epäpuhtauden määrää merkittävästi, mikä vähentää lämmönvaihtimen homehtumisriskiä. Ilmalämpöpumpun sisäyksikön läpi virtaa satoja kuutioita ilmaa tunnissa. Siihen perustuu ilmalämpöpumpun tehokas il-

mansuodatus, mutta toisaalta vaarana on lämmönvaihtimen homehtumisen yhteydessä tehokas epäpuhtauksien leviäminen sisäilmaan. Suodattimien huolellisella puhdistamisella saadaan sisäilman hiukkaspitoisuus alenemaan ja parannettua sisäilman laatua. Jos puhdistaminen laiminlyödään, voi seurauksena olla sisäilman laadun heikentyminen.

Sisäilman jäähdytys muuttaa ulkovaipan rakenteisiin kohdistuvaa vesihöyryn diffuusiovirtaa. Muuttuvia tekijöitä ovat diffuusiovirran suuruus ja suunta. Asuinrakennusta jäähdytettäessä diffuusiovirran suunta muuttuu, normaalista tilanteesta poiketen, ulkoa sisälle päin. Seurauksena voi olla suhteellisen kosteuden nousu rakenteen tietyissä kerroksissa, mikä altistaa rakenteen homeenkasvulle.

Homekasvuston syntymisen edellytyksenä on riittävän korkea lämpötila, ravinteet ja kosteus. Lisäksi olosuhteiden on jatkuttava määrätyn ajanjakson verran. Kesäaikana rakenteen lämpötila on riittävän korkea homeen kasvun kannalta. Kesäkauden lämpötiloissa homeen kasvun alkamiseen tarvittava aika on suhteellisen lyhyt verrattuna talviaikaan. Jos vesihöyryn diffuusiovirta nostaa rakennekerrosten suhteellista kosteutta riittävästi ja riittävän pitkään, on rakenteen homehtuminen mahdollista. Rakenteiden homehtumista ei yleisesti ottaen voi sallia, vaikka homevauriosta aiheutuneeseen sisäilmaongelmaan vaikuttaa muun muassa rakenteiden tiiviys. Yleinen oletama on, että homekasvuston aiheuttamat päästöt siirtyvät sisäilmaan, jos niitä esiintyy rakenteissa. Jäähdytyksen aiheuttaman käänteisen vesihöyryn diffuusiovirran takia voidaan olettaa, että sillä on vaikutus ulkoseinärakenteiden homehtumisriskiin.

## **2.2 Jäähdytys ja sisäilmastotekijät**

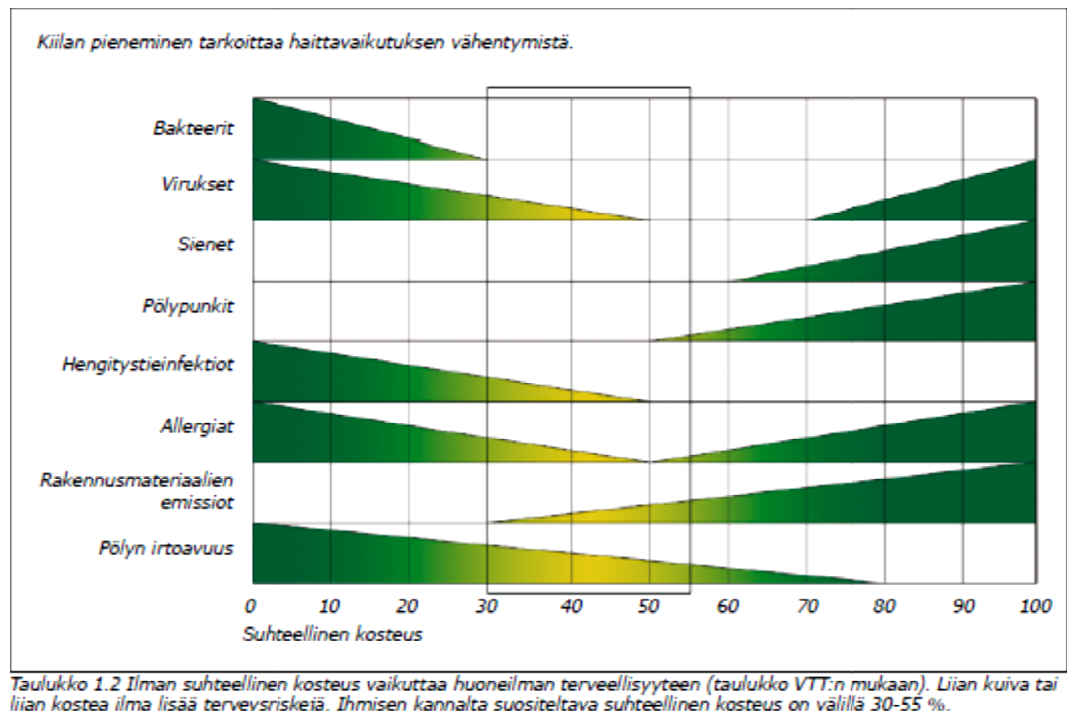
Asunnon ja muiden oleskelutilojen terveellisyyteen ja viihtyisyyteen vaikuttavat fysikaaliset olot sekä kemialliset ja mikrobiologiset epäpuhtaudet. Fysikaaliset olot muodostuvat sisäilman lämpötilasta ja kosteudesta, melusta, ilman laadusta, säteilystä ja valaistuksesta. (Asumisterveysopas 2008.)

Ihmisen kokemaan lämpöaistimukseen vaikuttavat huoneilman lämpötila, lämpösäteily, ilman virtausnopeus, kosteus, vaatetus ja toiminnan laatu (Asumister-

veysopas 2008). Lämpöaistimus syntyy ihmisen kehon ja ympäristön välisestä lämpöenergian siirrosta. Lämpöenergian siirtymismuodot ovat johtuminen, konvektio ja säteily. Ympäristö vaikuttaa kehoon kaikilla lämmönsiirtymisen muodoilla ja lisäksi aineen olomuodon muutoksien kautta. Aineen olomuodon muutoksessa sitoutuu tai vapautuu lämpöenergiaa, mikä voidaan havaita esimerkiksi iholta haihtuvan kosteuden viilentävänä vaikutuksena.

Sisäilman kosteus vaikuttaa lämpöaistimukseen, vaikka varsinaista kosteutta tuntevaa aistia ei ole. Etenkin hyvin korkeat ja alhaiset suhteellisen kosteuden arvot ovat aistittavissa tuntemuksina iholla, limakalvoilla ja hengityselimissä. Kosteaa ja lämmin ilma aistitaan yleensä epäpuhtaampana (tunkkaisempana) kuin kuiva ja viileä ilma. Ulkoilman suhteellinen kosteus on Suomessa lähes aina melko korkea. Kesällä on myös sisällä kosteaa, mutta talvella suhteellinen kosteus saattaa lämmitetyissä tiloissa laskea 10...20 %:iin. Alhainen suhteellinen kosteus saattaa aiheuttaa limakalvojen kuivumista ja sen mukanaan tuottaa ärsytysoireilua. Ilman suhteellisella kosteudella on myös välillisiä vaikutuksia. Alhainen suhteellinen kosteus lisää ilman pölyisyyttä ja staattista sähköisyyttä sekä heikentää paperi- ja tekstiilikuitujen lujuutta. Korkea suhteellinen kosteus vähentää pölyisyyttä, sillä ilmassa leijuvat hiukkaset muodostavat tällöin suurempia partikkeleita, jotka laskeutuvat ilmasta pinnoille. Korkea kosteus voi lisätä eräiden materiaalien epäpuhtauspäästöjä. Suhteellisella kosteudella on vaikutusta mikrobien kasvuun ja leviämiseen. Huonepölypunkit viihtyvät ja lisääntyvät yli 50 %:n suhteellisessa kosteudessa. Bakteerien ja homesienten lisääntymisraja vaihtelee lajista riippuen ja on yleensä 60...70 %. Erityisen haitallista voi olla sisäilman kosteuden kondensoituminen kylmille pinnoille. (LVI 05-10417 2007.)

Kuvasta 1 ilmenee sisäilman suhteellisen kosteuden ihannealue.

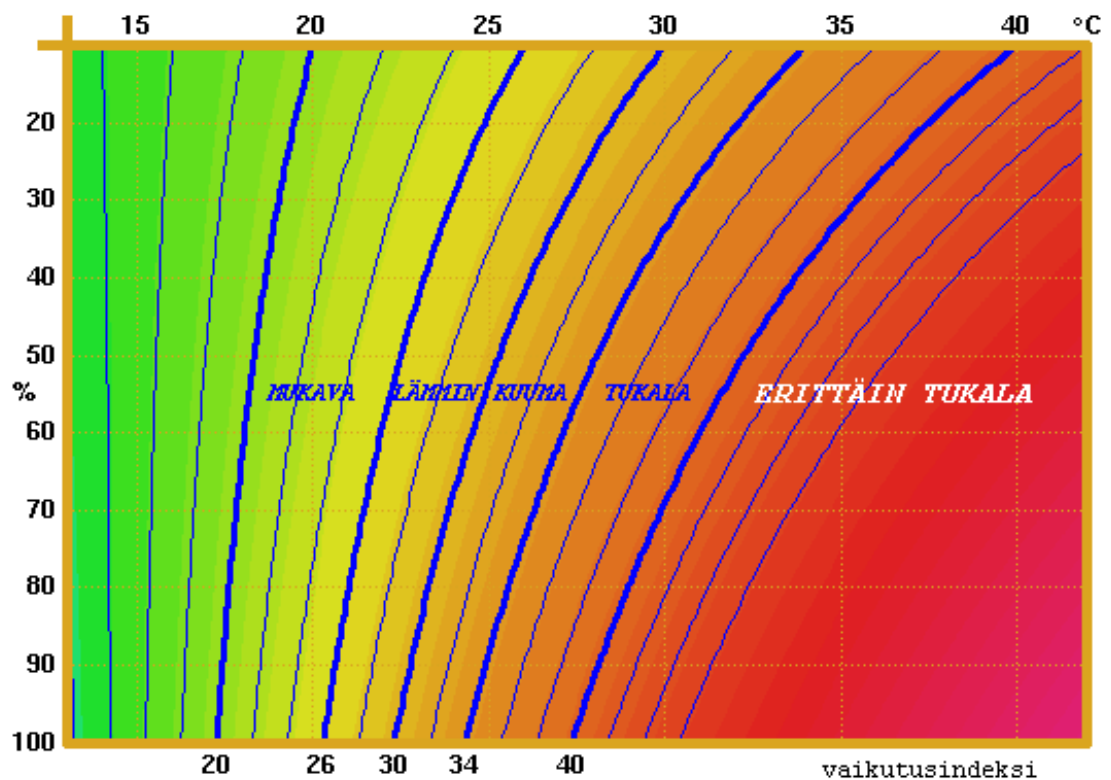


Kuva 1. Yhteenveto ilman kosteuden vaikutuksista.(Puuinfo Oy 2009).

Sisäilman kosteuden tulisi olla noin 30—55 %.

Ilman suhteellisella kosteudella on merkittävä vaikutus lämpötilan kokemiseen. Korkea ilman kosteus korostaa lämpötilan vaikutusta lämpöaistimuksessa. Sama lämpötila tuntuu kuumemmalta, jos ilman kosteus on korkea.

Kuvassa 2 on esitetty ihmisryhmän kokema lämpötilan viihtyisyys ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden yhteisvaikutuksena.



Kuva 2 Lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikutus kesäolosuhteissa. (Ilmatieteen laitos 2011)

Kuvan 2 kaavio on laadittu ihmisryhmän koeolosuhteissa määritettyjen kokemusten perusteella (Ilmatieteen laitos 2011). Kuviosta käy ilmi ilman suhteellisen kosteuden vaikutus lämpöaistimukseen. Kesällä pelkkä ilman kuivatus voi muuttaa lämpöaistimuksen lämpimästä mukavaan. Kuvion perusteella ilma, jonka suhteellinen kosteus on 45 % ja lämpötila noin 23 °C, on mukavan ja lämpimän rajalla. Toisaalta ilma, jonka suhteellinen kosteus on yli 60 % ja lämpötila 25 °C, on testiryhmän mukaan koettu kuumaksi.

Lämpöolot vaikuttavat suoraan viihtyvyyteen. Pitkäaikainen veto ja viileys voivat aiheuttaa terveyshaittoja. Lattian alhainen pintalämpötila voi olla lapsille ja aikuisillekin haitallinen. Haitan suuruus riippuu vaatetuksesta, lattiamateriaalin lämmönjohtavuudesta, kylmistä lattian suuntaisista virtauksista ja altistuksen kestosta. Seinä- ja kattopintojen viileys ei yleensä aiheuta terveyshaittaa. Suuret lämpötilaerot laajoilla seinäpinnoilla voivat kuitenkin aiheuttaa lämpösäteilyn epäsymmetrisyyttä. (Asumisterveysohje 2003.)

Huonelämpötilan valinnassa käytetään ns. operatiivista lämpötilaa, joka vastaa lämpöaistimusta, kun ihminen on tasalämpöisessä ja vedottomassa huoneessa. Operatiivisen lämpötilan avulla otetaan huomioon muun muassa lämpösäteilyn ja konvektion vaikutus.

Operatiivinen lämpötila on sellaisen tasalämpöisen tilan lämpötila, jossa säteily ja konvektio-lämpövirtojen yhteisvaikutus on sama kuin tarkasteltavassa tilassa. Se on lähellä ilman lämpötilan ja keskimääräisen säteilylämpötilan keskiarvoa. Käytännössä operatiivinen lämpötila määritetään pallolämpömittarilla, koska keskimääräisen säteilylämpötilan määrittäminen mittaamalla vaatii erikoismittarin. Pallolämpötila on halkaisijaltaan 150 millimetrinen mustan pallon keskipisteeseen sijoitetun lämpömittarin lukema. Pallolämpötila ja operatiivinen lämpötila ovat samat ilman keskinopeuden ollessa noin 0,1 m/s. (LVI 70-40027 1993.) Operatiivista lämpötilaa käytetään huonelämpötilan määrittämiseen usein silloin, kun huoneessa on ilmanlämpötilaan nähden suuria lämpötilaltaan poikkeavia pintoja kuten ikkunoita (Asumisterveysohje 2003). Operatiiviselle huonelämpötilalle on annettu ohjearvoja sisäilmaluokitus 2008:ssa.

Sisäilmastoluokituksen tarkoitus on toimia rakennusalan toimijoiden apuna, kun pyrkimys on rakentaa terveellisiä ja viihtyisiä rakennuksia. Luokitus antaa hyvän sisäilmaston tavoite- ja suunnitteluarvot sisäilmastotekijöille. Sisäilmastoluokituksessa rakennuksen sisäilmasto on jaoteltu kolmeen luokkaan: S1, S2, S3. Luokkien kuvaukset ovat parhaasta huonoimpaan: yksilöllinen, hyvä ja tyydyttävä. (LVI 05-10440 2008.)

Taulukossa 1 on operatiivinen lämpötila sisäilmastoluokittain.

Taulukko 1.3.1 Lämpötilan tavoitearvot.

|                                             | S1                               | S2                                                                                                              | S3                                                     |
|---------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Operatiivinen lämpötila $t_{op}$ [°C]       |                                  |                                                                                                                 |                                                        |
| $t_u \leq 10$ °C                            | 21,5*                            | 21,5                                                                                                            | 21                                                     |
| $10 < t_u \leq 20$ °C                       | $21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)^*$ | $21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)$                                                                                  | $21 + 0,4 \times (t_u - 10)$                           |
| $t_u > 20$ °C                               | 24,5*                            | 24,5                                                                                                            | 25                                                     |
| Sallittu poikkeama tavoitearvosta [°C]      | $\pm 0,5$                        | $\pm 1,0$                                                                                                       | $\pm 1,0$                                              |
| Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]  | $t_{op} + 1,5$                   | $t_u \leq 10$ °C: $t_{op} + 1,5$<br>$10 < t_u \leq 20$ °C:<br>$23 + 0,4 \times (t_u - 10)$<br>$t_u > 20$ °C: 27 | $t_u \leq 15$ °C: 25<br>$t_u > 15$ °C: $t_{u\max} + 5$ |
| Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C] | 20                               | 20                                                                                                              | 18                                                     |
| Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjästä]       |                                  |                                                                                                                 |                                                        |
| • toimi- ja opetustilat                     | 95 %                             | 90 %                                                                                                            | –                                                      |
| • asunnot                                   | 90 %                             | 80 %                                                                                                            | –                                                      |

\* S1-luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila/huoneistokohtaisesti aseteltavissa välillä  $t_{op} \pm 1,5$  °C. Jos samassa huoneessa on useita henkilöitä, käytetään lämpötilan tavoitetasona taulukossa esitettyjä tavoitearvoja.

Taulukko 1 Huonelämpötilan tavoitearvot.(LVI 05-10440 2008).

Suure  $t_u$  tarkoittaa ulkolämpötilan 24 tunnin liukuvaa keskiarvoa lähimmällä säähavaintopaikalla (LVI 05-10440 2008). Ulkolämpötilan ollessa yli 20 °C sisäilmastoluokissa S1 ja S2 sisäilman operatiivisen lämpötilan tavoitearvo on 24,5 °C.

Vedon tunne aiheutuu keskimääräistä suuremmasta lämmönsiirrosta iholta. Vedon tunteeseen vaikuttavat lämpötila, lämpösäteily ja ilman liike. Ihminen aistii herkemmin vetoa, jos huoneen lämpötila on alle optimitason. Tällöin vetoaistimukseen ei tarvita huomattavaa ilman liikettä. Toisaalta lämpötilan ollessa selvästi optimiarvon yläpuolella ilmapvirtaus tehostaa lämmönsiirtoa ja ennen kaikkea haihtumista iholta, mikä parantaa viihtyisyyttä. Ilman keskinopeuden kasvaessa lämmön siirtyminen tehostuu ja vedon tunne syntyy herkemmin. Samoin vaikuttaa ilman liikkeen vaihtelu. Mitä suurempi vaihtelu on, sitä helpommin vedon tunne syntyy. (LVI 70-40027 1993.) Huonelämpötilalla tarkoitetaan tässä tapauksessa operatiivista lämpötilaa.

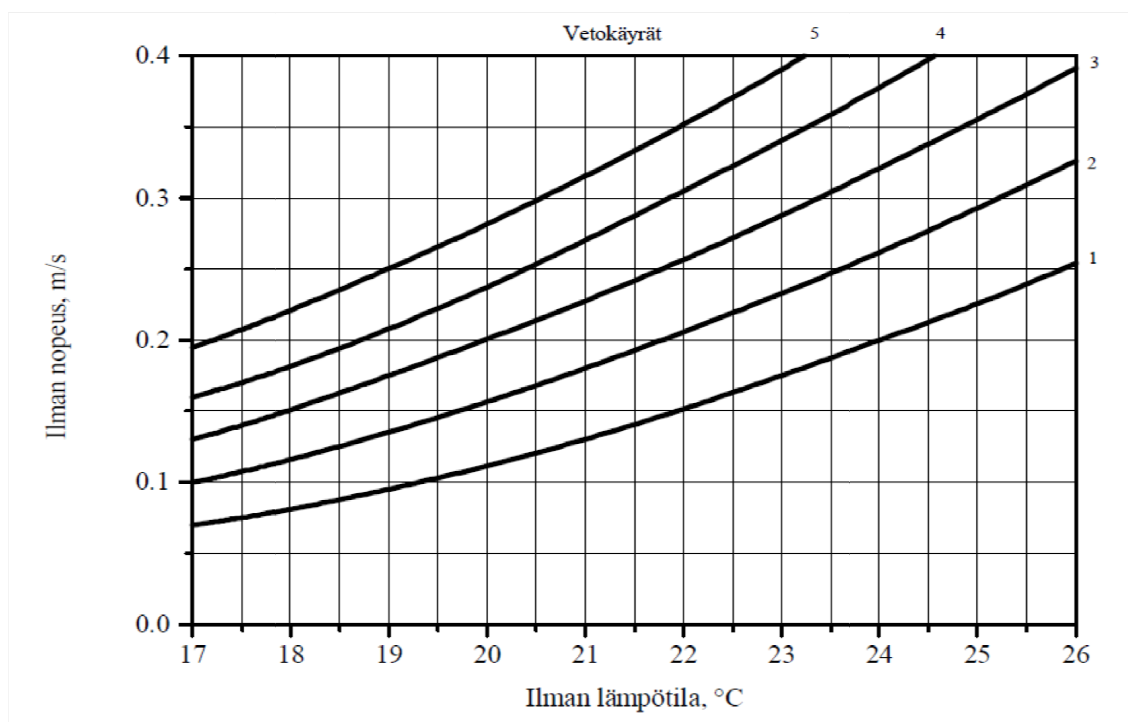
Taulukosta 2 ilmenee ilman liikenopeuden tavoitearvot sisäilmaluokituksen mukaisesti.

| Suure                            | Ilman liikenopeus<br>m/s |       |             |
|----------------------------------|--------------------------|-------|-------------|
|                                  | S1                       | S2    | S3          |
| $t_{\text{ilma}} = 21\text{ °C}$ | <0,14                    | <0,17 | 0,2 (talvi) |
| $t_{\text{ilma}} = 23\text{ °C}$ | <0,16                    | <0,20 |             |
| $t_{\text{ilma}} = 25\text{ °C}$ | <0,20                    | <0,25 | 0,3 (kesä)  |

Taulukko 2 Ilman liikenopeuden suositusarvot. (LVI 05-10440 2008).

Suure  $t_{\text{ilma}}$  tarkoittaa liikkuvan ilman lämpötilaa (LVI 05-10440 2008).

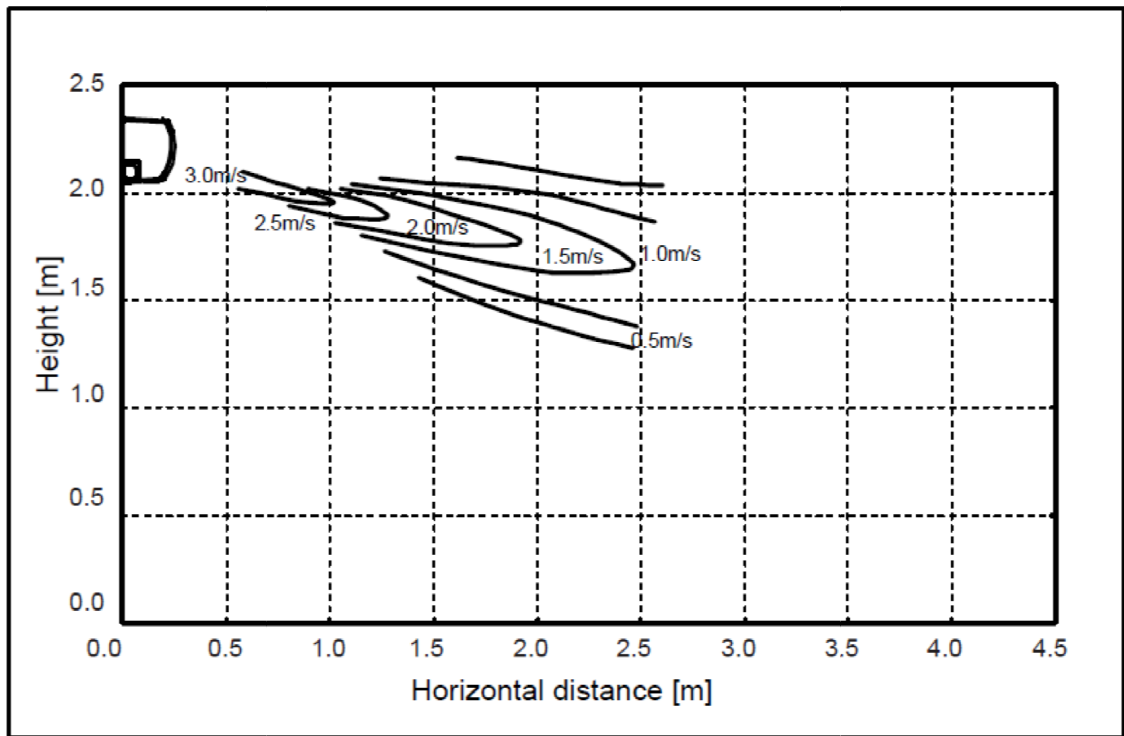
Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 liitteessä 1 on esitetty kuvaaja ilman liikenopeuden ja lämpötilan yhteisvaikutuksesta. Kuvasta 3 ilmenee ns. vetokäyrät, jotka on numeroitu yhdestä viiteen (RaKMk D2 liite 1.2010).



Kuva 3 Ilman liikenopeuden ja lämpötilan yhteisvaikutus. (RaKMk D2 liite 1. 2010)

Viihtyisyys lisääntyy vetokäyrän numeron muuttuessa pienemmäksi.

Kuvassa 4 on kaavioesitys erään - tyyppillisesti pientaloon soveltuvan - ilmalämpöpumpun sisäyksikön aiheuttamasta ilmavirran nopeudesta etäisyyden funktiona, kun laitetta käytetään jäähdytykseen.



Kuva 4 Ilman virtausnopeus jäähdytyskäytössä. (Toshiba Super Daiseikai PKVP-E/PAVP-E Engineering Data Book 2009).

Kuvasta 4 nähdään ilman liikenopeus ilmalämpöpumpun sisäyksikön läheisyydessä. Jäähdytyskäytössä ilmavirta suunnataan vaakasuuntaan. Sisäyksikön läheisyydessä ilman liikenopeuden tavoitearvot ylittyvät.

Jäähdytyksen tarkoituksena tehdä sisäilmaston lämpöoloista miellyttävät. Ilmalämpöpumpuilla saadaan sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus tarvittaessa alenemaan, mikä lisää lämpöolojen viihtyisyyttä ja parantaa asumisterveyttä. Sisäyksiköiden sijoituksessa tulee huomioida vaikutus lämpöolojen tasaisuuteen ja ilman liikenopeuteen, jotta viileän ilman puhalluksesta ei aiheudu terveyshaittoja ja vetoisuuden tunnetta.

### **3 LASKENTAMENETELMÄ**

#### **3.1 Rakenteen lämpötila**

##### **3.1.1 Lämpöenergian siirtyminen**

Lämpöenergian siirtymismuodot ovat johtuminen, säteily ja ainevirtaus eli konvektio (Björkholtz 1997).

Lämpöenergia mallinnetaan ainehiukkasten eli partikkelien liike-energiaksi. Mitä korkeampi lämpötila on sitä enemmän partikkeleilla on liike-energiaa. Liikkueen partikkelit törmäilevät toisiinsa ja samalla siirtyy energiaa. Lämpöenergian siirtymismuoto on tällöin johtuminen.

Konvektiossa partikkelit siirtyvät aineen virtauksen mukana paikasta toiseen ja samalla siirtyy lämpöenergiaa. Lämpöenergia siirtyy konvektiolla esimerkiksi ilman tai veden virratessa. (RT 05-10710 1999.)

Lämpösäteily on kuumasta tai lämpimästä kappaleesta, esimerkiksi auringosta tai tulisijasta, lähtevää sähkömagneettista infrapunasäteilyä, joka useimmissa aineissa absorboituu ja muuttuu pääosaltaan lämmöksi. (RT 055.30 1976.)

Lämpötilaero seinärakenteen sisä- ja ulkopuolen välillä muodostaa potentiaalieron. Potentiaaliero saa aikaan lämpövirran, jonka suunta on suuremmasta potentiaalista pienempään. (Björkholtz 1997.)

### 3.1.2 Materiaalien lämmönjohtavuus

Tiiviissä ulkoseinärakenteessa lämpöenergia siirtyy pääasiassa johtumalla. Siirtyvän lämpöenergian määrä ajan yksikköä kohden on riippuvainen materiaalista. Materiaalin lämmönjohtavuus on tätä ilmiötä kuvaava suure. Lämmönjohtavuuden tunnus on  $\lambda$  ja yksikkö on W/mK. Lämmönjohtavuuden käänteinen suure on lämmönvastus, joka kuvaa materiaalin kykyä vastustaa lämpöenergian siirtymistä.

Käytännössä materiaalin lämmönjohtavuus määritetään koejärjestelyllä, jossa mitataan koekappaleen läpi kulkeva lämpövirta tietyllä lämpötilaerolla ja tietyissä olosuhteissa. Mitattu lämpövirta koostuu kaikista lämmönsiirtymismuodoista. Pääasiassa kysymyksessä on johtuminen. Lämpövirran mittaaminen on haasteellista ja mittaustulokset ovat epätarkkoja. Erityyppiset materiaalit vaativat erilaiset mittausjärjestelyt.

Tuloksien lähtökohtana on vertailutaso, jonka Euroopassa määrittelee IRRM (Institute of reference materials and measurements). Mittauslaitteistot kalibroidaan hyväksytyillä materiaaleilla, joiden ominaisuudet ovat tiedossa. Kalibroinnin jälkeen laitteistolla tehdään koekappaleen mittaukset. Koska lämmönjohtavuuden arvoon vaikuttaa, missä olosuhteissa mittaukset on suoritettu, ilmoitetaan tulokset tietyin viittauksin. (Vinha ym. 2005.)

Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot voidaan johtaa ilmoitetuista arvoista, jotka perustuvat tuotteesta tehtyihin mittauksiin. Jos suunnittelun mukaiset olosuhteet poikkeavat ilmoitettujen arvojen olosuhteista, tiedot on muunnettava suunnittelun mukaisiin olosuhteisiin sopiviksi. Materiaaleille, joille ei ole saatavilla mittaustuloksia, suunnitteluarvot voidaan katsoa taulukoista. (SFS-EN ISO 10456 +AC 2009.)

Ilmoitetun lämmönjohtavuuden  $\lambda_D$  arvot perustuvat yleensä 10 °C keskilämpötilassa suoritettuihin mittauksiin ja niiden tilastolliseen käsittelyyn (RakMk C4 luonnos 2012).

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4, lämmöneristys, vuoden 2012 luonnoksessa on otettu käyttöön lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo  $\lambda_U$ . Suunnitteluarvo  $\lambda_U$  vastaa aiemmin käytössä ollutta  $\lambda_d$ -arvoa ja korvaa ns. normaalisen lämmönjohtavuuden arvon, jota on aiemmin käytetty rakentamismääräyskokoelman mukaisissa lämpöteknisissä laskelmissa. Suunnitteluarvo  $\lambda_U$  sisältää mittaustulosten hajonnan sekä lämpötilan, kosteuspitoisuuden ja ikääntymisen vaikutukset lämmönjohtavuuteen. Rakenteen U-arvon laskemiseksi on lisäksi otettava huomioon asennuksen epäideaalisuudet, ilmanläpäisy, säännölliset kylmäsilat ja mahdolliset ilmaraot. Edellä mainitut tekijät huomioidaan lopullisessa U-arvossa korjaustermillä  $\Delta U$ . Lopullista U-arvoa,  $U_c$ , käytetään rakennusosien määräysten mukaisuuden osoittamiseen ja rakennuksen energiankulutustaloksiin. (RakMk C4 luonnos 2012.)

### 3.1.3 Rakenteen lämpötilajakauma

Lämpötilajakauman laskennassa rakenteen eri kerrokset mallinnetaan vastuksina, jotka vastustavat lämpövirtaa. Lämpötila muuttuu rakenteen paksuuden funktiona. Kerroksellisen rakenteen eri materiaalien lämpötilojen kuvaajat yhtyvät murtoviivaksi. Lämmönvastus lasketaan kaavalla 1. (Rafnet-ryhmä 2004.)

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

Kaavan muuttuja  $d$  on rakennekerroksen paksuus metreinä.

Rakenteen lämpötilajakauma määritetään kaavalla 2. (Rafnet-ryhmä 2004.)

$$t_x = t_s - \frac{\sum R_x}{R_t} (t_s - t_u) \quad (2)$$

Lämpötilajakauman laskemiseksi tarvitaan lähtötiedoiksi sisä- ja ulkolämpötila ja materiaaliakohtaiset lämmönjohtavuudet. Niistä määritetään lämpötilaero, kokonaislämmönvastus ja lämmönvastus rakenteen tietyssä kohdassa. Kokonaislämmönvastus on kerroksien lämmönvastusten summa lisättynä pintavastuksil-

la. Pintavastus kuvaa lämpötilan muutosta ilman ja kiinteän aineen välillä. (Björkholtz 1997.)

### 3.2 Rakenteen kosteus

#### 3.2.1 Ilman kosteus

Ilma on kuivan ilman ja vesihöyryn seos. Kuiva ilma sisältää noin 78 tilavuusprosenttia typpeä, 21 % happea ja yhden prosentin argon-kaasua. (Björkholtz 1997.)

Ilman kosteudella tarkoitetaan ilman sisältämän vesihöyryn määrää. Ilman kosteudesta puhuttaessa on erotettava kaksi eri käsitettä: absoluuttinen kosteus ja suhteellinen kosteus. Absoluuttinen ilman kosteus ilmoittaa ilman sisältämän vesihöyryn massan ja tilavuuden suhteen. Suhteellinen ilman kosteus on prosenttiosuus ilman sisältämästä kyllästysvesihöyrypitoisuudesta. Kyllästysvesihöyrypitoisuus tarkoittaa suurinta mahdollista ilman sisältämää vesihöyrymäärää. Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus on riippuvainen lämpötilasta. Sama absoluuttinen kosteus eri lämpötiloissa merkitsee siis erisuuria suhteellisen kosteuden arvoja. Ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus, ilmoitettuna osapaineen avulla, voidaan laskea kaavalla 3. (Björkholtz 1997.)

$$p_{vk} = 101,325 \times 10^3 \times e^{(70,4347 - \frac{7362,7}{T} + 6,95208 \times 10^{-3} \times T - 9 \times \ln(T))} \quad (3)$$

Koska laskentakaava on empiirinen, voi eri lähteistä saaduilla arvoilla olla hieman eroja. Kaavassa ilman lämpötilan yksikkö on K.

#### 3.2.2 Vesihöyryn osapaine

Ilma on seoskaasu, jonka kokonaispaine on sen sisältämien kaasujen paineiden summa.

$$p_{ilma} = p_{typpi} + p_{happi} + p_{argon} \dots + p_{vesihöyry} = p_{kuivailma} + p_{vesihöyry} \quad (4)$$

Vesihöyrykaasun paineen osuutta ilman paineesta kutsutaan vesihöyryn osapaineeksi.

Osapaineen suuruus määräytyy sen mukaan, kuinka suuri on yksittäisen kaasun ainemäärä systeemin tilavuudessa tietyssä lämpötilassa. Vesihöyryä voidaan käsitellä ideaalikaasuna, jolle pätee kineettisen kaasuteorian mukainen kaava 5. (Björkholtz 1997.)

$$pV = nRT = \frac{m}{M} RT \quad (5)$$

Tilavuutta voidaan tarkastella yhtä tilavuusyksikköä kohden. Suure  $m$  on vesihöyryn massa. Vesihöyryn moolimassa,  $M$ , on 0,01802 kg/mol. Lämpötilan ilmoittamiseen käytetään termodynaamista lämpötila-asteikkoa. Suure  $R$  on yleinen kaasuvakio 8,3143 J/molK. (Björkholtz 1997.) Vesihöyryn osapaineelle saadaan kaava 6.

$$p_{\text{vesihöyry}} = \frac{mRT}{M_{\text{vesihöyry}}V} = \rho \frac{RT}{M_{\text{vesihöyry}}} = \rho T \cdot 461,392896 \text{ J/kgK} \quad (6)$$

$$[p_{\text{vesihöyry}}] = \frac{\frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot \text{K}}{\frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot \text{m}^3}} = \frac{\text{J}}{\text{m}^3} = \frac{\text{Nm}}{\text{m}^3} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \quad (7)$$

Kaavasta 6 nähdään vesihöyrypitoisuuden eli tiheyden ja osapaineen yhteys. Mitä suurempi on tiheys eli vesihöyrypitoisuus ja lämpötila, sitä suurempi on vesihöyryn osapaine. Vesihöyryn osapaine tietyssä lämpötilassa on aina muunnettavissa tiheydeksi. Diffuusiovirtalaskelmat voidaan suorittaa joko osapaineen tai tiheyden avulla, mutta niitä ei tule sekoittaa keskenään. Laskelmissa tarvittavat lähtötiedot on joko etsittävä tai muunnettava valinnan mukaiseksi. Liitteessä numero 0 on esitetty laskentaesimerkkejä yksiköiden muunnoksiin liittyen. Tässä opinnäytetyössä laskelmat on suoritettu vesihöyryn osapaineiden avulla tekijän henkilökohtaisen mieltymyksen takia.

### 3.2.3 Osapainelaki

Englantilainen kemisti ja fyysikko John Dalton keksi vuonna 1802 ns. kaasujen osapainelain. Kaasuseoksessa yksittäisten kaasujen pitoisuuserot pyrkivät tasoittumaan siten, että kaasuseos on homogeeninen. Ilma on seoskaasu, jossa yksittäisen vesihöyrykaasun pitoisuuserot pyrkivät tasoittumaan. Tämän tyypistä kaasumolekyylien siirtymistä kutsutaan diffuusioksi. Vesihöyryn diffuusion liikkeelle paneva voima on vesihöyryn osapaine-ero, joka muodostaa potentiaalieron kaasuseokseen. Diffuusion suunta on suuremmasta potentiaalista pienempään. (RT 05-10710 1999.) Asuinrakennuksen sisäilmaa ja sitä ympäröivää ulkoilmaa voidaan käsitellä yhtenäisenä seoskaasuna, jossa pitoisuuserot tasoittuvat ulkovaipan rakenteiden läpi.

### 3.2.4 Vesihöyryn diffuusio rakenteen läpi

Ulko- ja sisäilman vesihöyryn osapaineiden ollessa eri suuret, alkavat pitoisuuserot tasoittua rakenteen läpi. Ulkoseinärakenne pyrkii vastustamaan tasoittumista. Jatkuvuustilassa kosteusvirta asettuu tasapainoon aiheuttaen rakenteeseen tietyt kosteusolot. Kosteusolot ovat riippuvaisia rakenteen kerroksien lämpötiloista ja rakennekerroksien kyvystä vastustaa vesihöyryn kulkeutumista.

### 3.2.5 Vesihöyrynvastus ja -läpäisevyys

Vesihöyrynläpäisevyys kuvaa nimensä mukaisesti materiaalin kykyä läpäistä vesihöyryn diffuusiovirtaa. Vesihöyrynvastus kuvaa, kuinka hyvin materiaali vastustaa diffuusiovirtaa. Vesihöyrynvastus määritellään vesihöyrynläpäisevyyden avulla kaavan 8 mukaisesti. (Björkholtz 1997.)

$$Z_p = \frac{d}{\delta_p} \quad (8)$$

Materiaalin vesihöyrynläpäisevyys on  $\delta_p$  osapaineen avulla lausuttuna. Kerroksen paksuus on  $d$ .

### 3.2.6 Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin

Diffuusiovastuskerroin on ilman vesihöyrynläpäisevyyden suhde materiaalin läpäisevyyteen (SFS-EN 12086).

$$\mu = \frac{\delta_{ilma}}{\delta_{materiaali}} \quad (9)$$

Seisovan ilman vesihöyrynläpäisevyytenä voidaan käyttää arvoa  $195 \times 10^{-12}$  kg/(msPa). (RIL 107-2000, 19). Yhtälöstä voidaan johtaa vesihöyrynvastus kaava 9 apuna käyttäen seuraavasti.

$$Z_p = \frac{d}{\delta_{p,materiaali}} = \frac{d}{\frac{\delta_{p,ilma}}{\mu}} = \frac{d\mu}{\delta_{p,ilma}} \quad (10)$$

### 3.2.7 S<sub>d</sub>-arvo

S<sub>d</sub>-arvo on yksi tapa ilmoittaa materiaalin vesihöyrynvastus. S<sub>d</sub>-arvolla ilmoitetaan yleensä ohuiden kerrosten vesihöyrynvastus. S<sub>d</sub>-arvon määrittelee kaava 11. (SFS-EN 12086.)

$$S_d = \mu d \quad (11)$$

S<sub>d</sub>-arvo kuvaa materiaalin vesihöyrynvastusta vastaavan seisovan ilmakerroksen paksuutta. S<sub>d</sub>-arvon yksikkö on metri.

### 3.2.8 Rakenteen kosteusjakauma

Kosteusjakauman laskennassa käytetään samaa vastusajattelua kuin lämpötilajakauman määrittämisessä. Osapainejakauma määritetään kaavalla 12. (Rafnet-ryhmä 2004.)

$$p_{vx} = p_{vs} - \frac{\sum Z_{px}}{\sum Z_p} (p_{vs} - p_{vu}) \quad (12)$$

Lämpötilajakauman perusteella lasketaan rakenteelle vesihöyryn kyllästyskäyrä. Vesihöyryn kyllästyskäyrä on riippuvainen rakenteen kunkin kohdan lämpötilasta. Suhteellisen kosteuden kuvaajan muodostaa osapainejakauman ja vesihöyrynkyllästyskäyrän suhde.

$$\varphi_x = \frac{p_{vx}}{p_{kx}} \quad (13)$$

Kosteusjakauma on lähtökohtana tiivistymis- ja homeriskin arvioinnille.

### 3.3 Homeen kasvun laskennallinen mallintaminen

Homeen kasvun laskennallista mallintamista on tutkittu Tampereen teknillisen yliopiston ja Valtion teknisen tutkimuskeskuksen tutkimushankkeessa ”Rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden ja homeriskin laskennallinen arviointi.” Laskentamalli on johdettu vakio-olosuhteissa tehdyillä laboratorioskokeilla. Kokeet on tehty pienillä männyn ja kuusen pintapuukappaleilla. Laskentamallissa homeen kasvu otollisia olosuhteita kuvataan kaavalla 14.

$$RH_{crit} = \begin{cases} -0,00267t^3 + 0,160t^2 - 3,13t + 100, & \text{kun } t \leq 20^\circ\text{C} \\ RH_{min} = 80\%, & \text{kun } t > 20^\circ\text{C} \end{cases} \quad (14)$$

Suhteellisen kosteuden ollessa käyrän rajojen alapuolella homeen kasvu pysähtyy tai hidastuu merkittävästi. Yli 20 °C lämpötiloissa kriittinen suhteellisen kosteuden raja-arvo on 80 %.

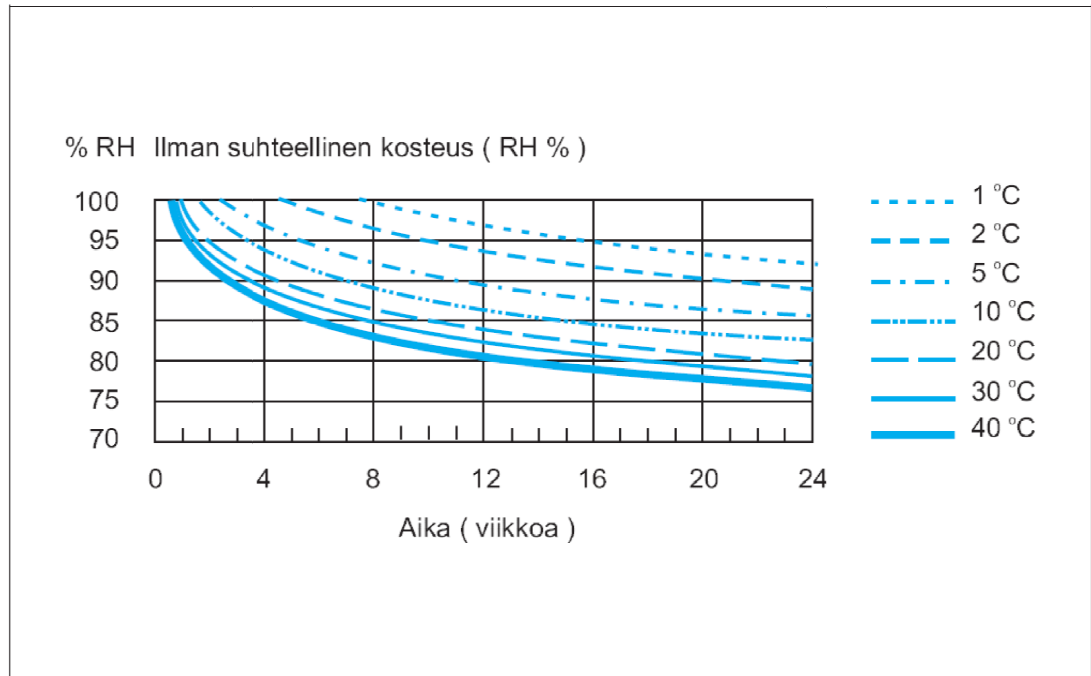
Homeen kasvun alkamisen tarvitsemaa aikaa kuvataan kaavalla 15.

$$t_m = e^{(-0,68 \ln t - 13,9 \ln RH + 0,14W - 0,33SQ + 66,02)} \quad (15)$$

Kaavan tuloksena saadaan homeen kasvun alkamisaika viikkoina. Tekijä W on 0, kun tarkasteltava materiaali on mäntyä. Tekijä SQ on 0, kun materiaali on sahapintainen. Kaava 15 yksinkertaistuu kaavan 16 muotoon.

$$t_m = e^{(-0,68 \ln t - 13,9 \ln RH + 66,02)} \quad (16)$$

Kuvassa 5 on esitetty homeen kasvun kriittinen aika männyn pintapuussa eri lämpötiloissa ja suhteellisessa kosteudessa. (RT 05-10710. 1999 ).



Kuva 5 Homeen kasvun alkamiseen vaikuttava kriittinen aika

Kuvasta 5 voidaan havaita homeenkasvun alkamisen tarvitseman ajan merkittävä lyheneminen suuressa ilmankosteudessa. Lämpötilan vaikutus on pienempi verrattuna suhteelliseen kosteuteen. Suuressa ilman kosteudessa homeen kasvu voi alkaa jo yhden viikon keston kuluttua.

### 3.4 Tulosten esittäminen

Tuloksena laskennallisista tarkasteluista saadaan rakenteen lämpötila- ja kosteusjakauma määrätyissä sisä- ja ulkoilmaolosuhteissa. Rakenteen jäähdytyskauden kosteusteknistä käyttäytymistä kuvataan rakennekohtaisilla havainnollistavilla esimerkkilaskelmilla. Esimerkkilaskelmista tehdään laskelmien loppuun yhteenveto.

## **4 ULKOSEINÄRAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNINEN TOIMINTA**

### **4.1 Suunnittelun lähtökohta**

Ulkoseinärakenteiden rakennusfysikaalisten suunnittelun lähtökohta on perinteisesti ollut, että sisällä on korkeampi lämpötila kuin ulkona. Diffuusiovirran suunta on tällöin sisältä ulospäin, joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. Lämpötilan laskiessa rakenteen ulkopintaan päin siirryttäessä pienenee myös vesihöyryn kyllästysosapaine. Tästä syystä kerrosrakenteen kerroksien vesihöyrynvastus suunnitellaan vähenemään ulospäin mentäessä, jotta diffuusion vaikutuksesta siirtyvä kosteus pääsee purkautumaan ulkoilmaan. Vesihöyryn läpäisessä hyvin seinärakenteen ulko-osat ei vesihöyryn osapaine pääse nousemaan lähelle kyllästysosapainetta.

### **4.2 Ulkoseinärakenteet toimintaperiaatteittain**

#### **4.2.1 Höyrynsululliset rakenteet**

Höyrynsulullisen ulkoseinärakenteen osia ovat sisäverhous, höyrynsulku, eriste, tuulensuoja, tuuletusväli ja ulkoverhous. Kosteustekninen tarkastelu voidaan rajata käytännössä sisäverhouksen ja tuulensuojan välille. Tuuletusvälissä oletetaan vallitsevan samat olosuhteet kuin ulkoilmassa. Ohuella sisäverhouksella ei ole suurta vaikutusta lämpötila- ja osapainejakaumaan. Osapainejakauman suurin muutos on höyrynsulkukerroksen kohdalla, minkä seurauksena talviolosuhteissa uloimpien kerrosten osapaine saadaan riittävän alhaiseksi. Höyrynsulku sijaitsee ulkoseinärakenteen lämpimän sisäpinnan läheisyydessä ja se on tyypillisimmin ohut muovikalvo. Höyrynsulkukalvojen  $S_d$ -arvot vaihtelevat noin 30:stä 100:aan metriin riippuen tuotteesta. Höyrynsulullisen ulkoseinärakenteen perusperiaatteena on ollut, että sisäosien vesihöyrynvastuksen tulisi olla viisinkertainen ulko-osiin verrattuna (RakMk C3 1998). Käytännössä suhde on reilusti suurempi käytettäessä muovikalvoja, jotka omaavat suuren vesihöyrynvastuksen. Uusimmat tutkimukset osoittavat, että suhde 5:1 ei ole kaikissa tapauksissa riittävä. Suhde on riippuvainen pääasiassa rakenteessa käytetystä tuulen-

suojasta. (Vinha 2007). Höyrynsulullisen rakenteen yhteydessä käytetään yleensä ei-hygroskooppista eristemateriaalia.

#### **4.2.2 Ilmansululliset rakenteet**

Ilmansululla varustettu rakenne on diffuusiovirralla avoin rakenne. Ilmansulku on vesihöyryn diffuusiota läpäisevä kerros, jolla on kuitenkin riittävä vesihöyrynvastus, ettei kosteusvirta muodostu rakenteelle haitallisen suureksi. Ilmansulku-kerroksena käytetään yleensä erityyppisiä rakennuspapereita. Rakennuspapereiden  $S_d$ -arvot ovat yleensä kahdesta kymmeneen metriin. Ilmansulullisissa rakenteissa käytetään usein hygroskooppista eristemateriaalia esimerkiksi sahanpurua, selluvillaa ja pellavaeristettä. Ilmansulullinen rakenne mahdollistaa kuivumisen sekä sisään että ulospäin. Hygroskooppinen materiaali kykenee varastoimaan kosteutta ja siitä syystä rakenne reagoi viiveellä kosteusolojen muutoksiin.

#### **4.2.3 Kiviaineiset kerrosrakenteet**

Kiviaineisissa kerrosrakenteissa ei ole varsinaista ilman- tai höyrynsulkukalvoa. Kiviaineisen kerroksellisen ulkoseinärakenteen kerrokset ovat sisäkuori, eriste ja ulkokuori tai -verhous. Osassa rakenteista on tuuletusväli ja tuulensuoja. Kiviaineinen sisäkuori toimii kosteusteknisesti ilman- ja höyrynsulkuna.

#### **4.2.4 Massiivirakenteet**

Massiiviset ulkoseinärakenteet ovat ns. kosteudelle avoimia rakenteita. Rakenne koostuu pääasiassa yhdestä materiaalista, jolla on tietyt lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet. Vesihöyrynvastus kasvaa lineaarisesti sisäpinnasta ulkopintaan. Materiaalin lämmönjohtavuus ja vesihöyrynvastus mahdollistaa sopivan lämpötilajakauman, ettei osapainejakauma tavoita kyllästyskäyrää riittävällä marginaalilla. Massiivirakenteella on usein kyky varastoida kosteutta ja kosteuden kuivuminen on mahdollista sekä sisä- että ulkoilmaan. Esimerkkejä tyypillisistä massiivirakenteista ovat hirsiseinät, täystiiliseinät ja höyrykarkaistut kaasu- ja betoniseinät.

## 5 LASKENNAN OLETUKSET JA RAJAUKSET

### 5.1 Laskentamenetelmä

Homeen kasvun alkamiselle määritetyt aikatekijät kuvaavat männyn pintapuun homehtumista laboratorio-olosuhteissa. Puupinnalle syntyvän kasvuston tarvitsema aika vakio-olosuhteissa on lähtökohtana homeen kasvun mallinnuksessa Tampereen teknillisen korkeakoulun ja VTT:n tutkimushankkeessa. Sahatulle mäntypuupinnalle syntyvän homekasvuston alkamisaika on lyhyempi kuin esimerkiksi kiviainespohjaisella materiaalilla. Menettelyllä päädytään todellisuutta suurempaan riskiarvioon, jos materiaali on muuta kuin sahattua mäntypuuta.

Rakennekerrosten materiaaliarvot oletetaan laskelmissa muuttumattomiksi. Todellisuudessa materiaalin lämmönjohtavuus ja vesihöyrynvastus ovat riippuvaisia lämpötilasta ja kosteuspitoisuudesta.

Kosteus- ja lämpötilajakaumien määrittäminen perustuu muuttumattomiin olosuhteisiin rakenteen eri puolilla ja vesihöyryn diffuusioon. Menetelmä ei huomioi kosteuden muita siirtymismuotoja kuten konvektiota sekä kapillaarista ja painovoimaista siirtymistä. Sadeveden imeytyminen rakenteeseen on yksi esimerkki kosteuden kapillaarisesta siirtymisestä. Kapillaarisen siirtymisen merkitys on erityisen suuri tuulettumattomissa rakenteissa, joissa ei ole varsinaista rakenteesta erillään olevaa ulkoeristystä. Diffuusiolla kosteus siirtyy rakenteessa suhteellisen hitaasti ja määrät ovat pieniä verrattuna esimerkiksi konvektiolla tapahtuvaan kosteuden siirtymiseen. Laskentamenetelmän oletus muuttumattomista olosuhteista jättää huomioimatta muun muassa lämpökapasiteetin vaikutuksen. Rakenteen lämpökapasiteetin eli varauskyvyn takia lämpötilojen muutokset rakenteessa tapahtuvat viiveellä.

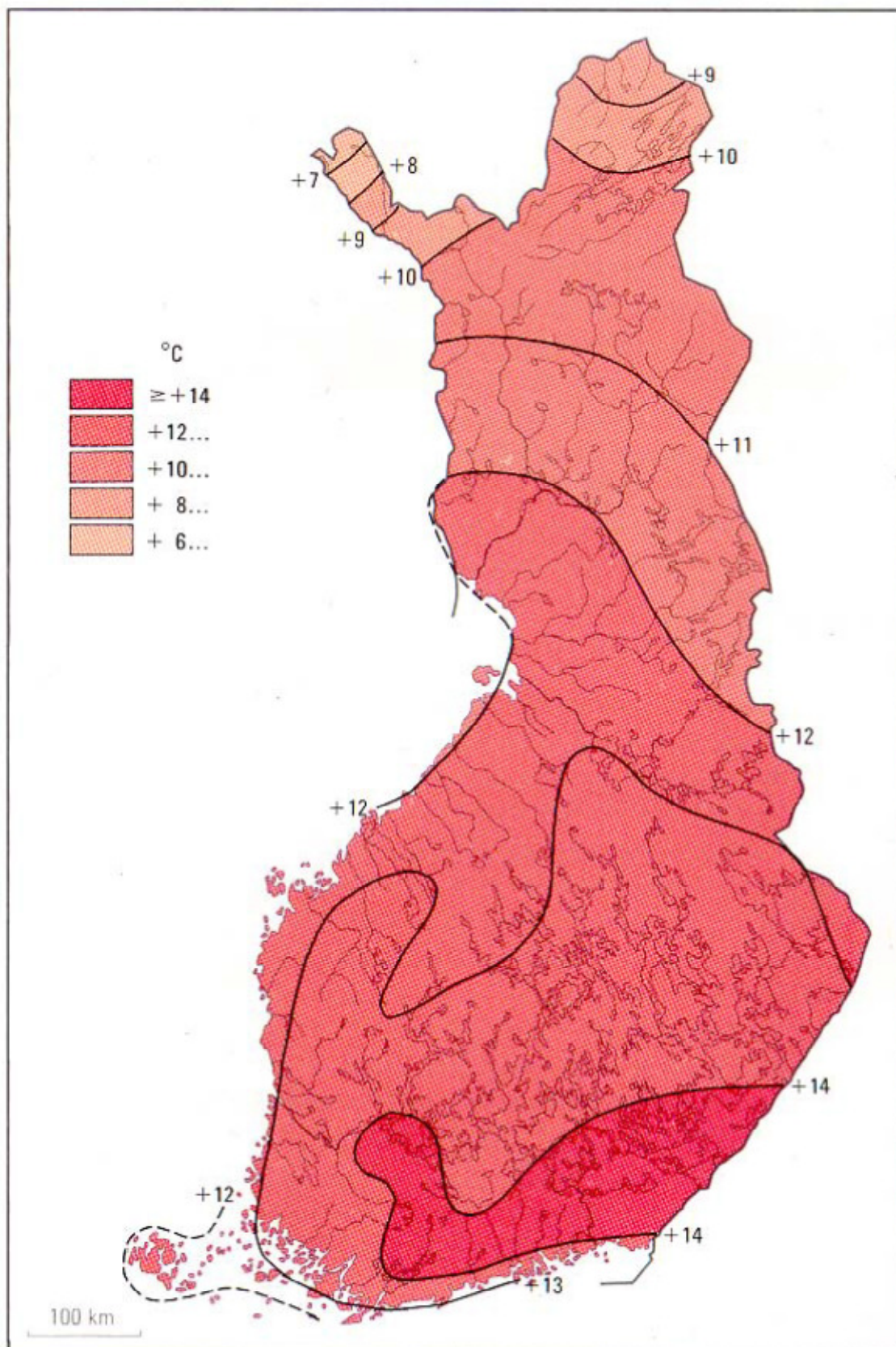
## **5.2 Suomen jäähdytyskauden ilmasto-olosuhteet**

### **5.2.1 Ulkoilman lämpötila**

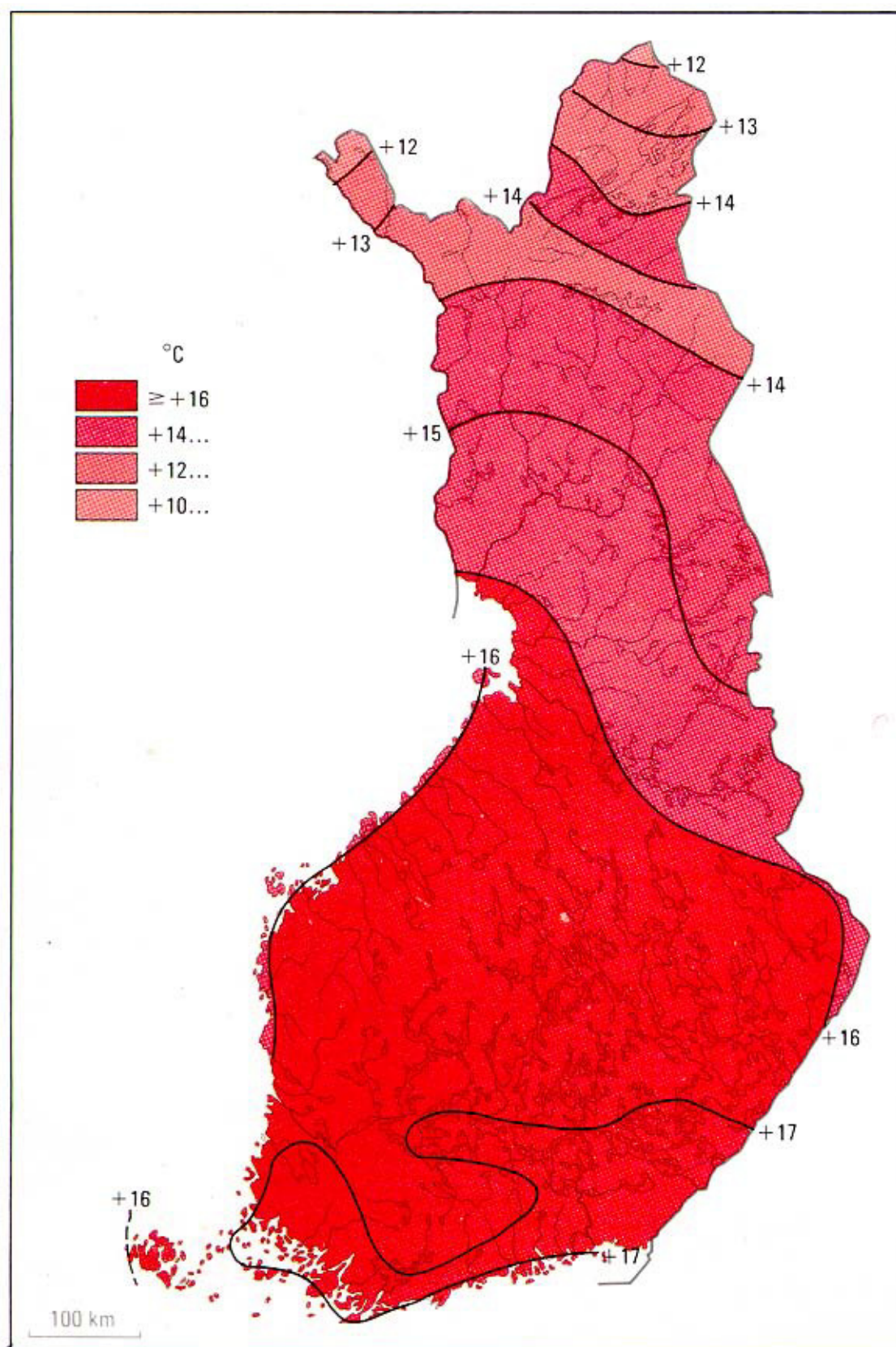
Suomessa ilman lämpötilavaihtelut eri vuodenaikoina ovat erittäin selväpiirteisiä mutta epäsäännöllisiä. Lämpötila riippuu ensi sijassa auringon säteilystä, mutta myös monet paikalliset tekijät, kuten maanpinnan peitteen laatu, esimerkiksi lumi, ruoho tai hiekka, maaston muodot ja vesistöt vaikuttavat alueen lämpötilaan. (RT 05-10426 1990.)

Lämpöolojen tärkeimpinä kuvaajina pidetään keskilämpötiloja. Kuukauden keskilämpötila on kuukauden päivien keskilämpötilojen keskiarvo. Vuorokauden keskilämpötila lasketaan havaintojen keskiarvona. Synoptisilla asemilla havaintoja tehdään 8 kappaletta kahden tunnin välein. Ilmastoasemilla havaintoja tehdään kolme kertaa vuorokaudessa klo 08, 14 ja 20. Keskilämpötilan laskemisessa käytetään lisäksi vuorokauden minimilämpötilaa (Kolkin keskiarvokaavat). Minimi- ja maksimilämpötilan mittauksessa käytetään erityisiä ääriarvomittareita. Lämpimin hetki sattuu yleensä 2—3 tuntia keskipäivän jälkeen. (RT 05-10426 1990.)

Kuvista 6 ja 7 ilmenee vertailukauden 1931—1960 kesä- ja heinäkuun keskilämpötilat (RT 05-10426 1990).



Kuva 6 kesäkuun keskilämpötila (RT 05-10426 1990)



Kuva 7 Heinäkuun keskilämpötila (RT 05-10426 1990).

Etelä-Suomessa keskilämpötila on korkeimmillaan heinäkuussa: +17 °C astetta. Tästä voidaan päätellä, ettei asuinrakennusten ylikuumeneminen ei johdu ainoastaan ulkoilman lämpötilasta.

Asuinrakennuksen jäähdytys tapahtuu poistamalla lämpökuormien vaikutus rakennuksen sisältä. Asuinrakennuksen sisäilmaan tulevasta ja siitä poistuvasta lämpöenergiasta voidaan ajatella muodostettavan tase tietyllä ajanjaksolle. Jos tase on positiivinen sisälle päin siirtyvän lämpöenergian suhteen, rakennus ylikuumenee ajan kuluessa. Jäähdytysjärjestelmän teho mitoitetaan energiataaseen perusteella siten, että poistuvan lämpöenergian määrä on riittävällä marginaalilla suurempi kuin sisään tulevan. Ajanjaksona voidaan käyttää esimerkiksi 24:ää tuntia. Mikäli rakennuksen ilmanvaihto ei riitä poistamaan sisäilman ylimääräistä lämpökuormaa, joudutaan rakennukseen asentamaan jäähdytyslaitteisto miellyttävän sisäilmaston takaamiseksi. Jäähdytyslaitteistoa saatetaan joutua käyttämään voimakkaiden lämpökuormien takia, vaikka ulkoilman lämpötila olisi suhteellisen alhainen. Valoaukkojen läpi tuleva auringon säteily on yleensä suurin yksittäinen lämpökuorma. Varjostusrakenteiden tekeminen onkin yksi tehokkaimmista passiivisista jäähdytysmuodoista. Ulkoilman sisältämä energia siirtyy rakennuksen sisälle tehokkaimmin ilmanvaihdon avulla; ulkovai-pan läpi johtumalla siirtyvän lämpöenergian merkitys rakennuksen ylikuumenemisessä on varsin pieni.

Rakenteille haitallisen diffuusiovirran edellytys on, että vesihöyryn osapaine on ulkona suurempi kuin sisällä. Tämä tarkoittaa käytännössä, että ulkolämpötilan tulee olla suurempi kuin sisällä. Kuukauden keskilämpötiloja ei voida käyttää homeriskin arvioimiseen, koska sisäilman lämpötila on korkeampi, eikä väärään suuntaan synny diffuusiovirtaa. Tämä ei poista mahdollisuutta, ettei kuukautta lyhyemmillä ajanjaksoilla voisi syntyä haitallista diffuusiovirtaa riittävän pitkään. Korkeassa suhteellisessa kosteudessa ja lämpötilassa homeenkasvu voi alkaa jo viikon kuluttua.

Viikon hellejakso on yhdellä paikkakunnalla yleinen, muttei kuitenkaan joka-kesäinen. Kahden viikon helleputki on jo harvinainen, kun sellainen sattuu keskimäärin kerran 10 vuodessa. Poikkeuksellisesta hellejaksosta voidaan puhua

vasta, kun helle kestää vähintään kolme viikkoa. Näin on käynyt vuoden 1961 jälkeen vain vuosina 2003 ja 2010. (Ilmatieteen laitos 2011.) Kuvasta 8 ilmenee pisimmät yhtämittaiset hellejaksot 1961—2010. (Ilmatieteen laitos 2011.)

| Pisimmät yhtämittaiset hellejaksot (yli 25 astetta) |                    |                     |               |           |                             |
|-----------------------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------|-----------|-----------------------------|
| Havaintoasema                                       | Jakson alku<br>pvm | Jakson loppu<br>pvm | Pituus<br>vrk | Vuosi     | Jakson korkein<br>lämpötila |
| Porvoo                                              | 14.7.              | 4.8.                | 22            | 2003      | 31,2                        |
| Heinola                                             | 14.7.              | 4.8.                | 22            | 2003      | 31,3                        |
| Orimattila                                          | 14.7.              | 4.8.                | 22            | 2003      | 30,4                        |
| Utti                                                | 3.7.               | 23.7.               | 21            | 2010      | 32,3                        |
| Anjala                                              | 3.7.               | 23.7.               | 21            | 2010      | 33,1                        |
| Utti                                                | 14.7.              | 3.8.                | 21            | 2003      | 31,6                        |
| Anjala                                              | 14.7.              | 3.8.                | 21            | 2003      | 31,3                        |
| Haapavesi                                           | 13.7.              | 2.8.                | 21            | 2003      | 31,3                        |
| Porvoo                                              | 4.7.               | 23.7.               | 20            | 2010      | 32,0                        |
| Helsinki Kumpula                                    | 4.7.               | 23.7.               | 20            | 2010      | 31,6                        |
| Espoo                                               | 4.7.               | 23.7.               | 20            | 2010      | 31,5                        |
| Heinola                                             | 3.7.               | 22.7.               | 20            | 2010      | 33,0                        |
| Vihti                                               | 3.7.               | 22.7.               | 20            | 2010      | 31,6                        |
| Puumala                                             | 3.7. / 20.7.       | 22.7. / 8.8.        | 20            | 2010/2003 | 33,9 / 32,3                 |
| Lahti                                               | 3.7.               | 22.7.               | 20            | 2010      | 33,4                        |
| Salo                                                | 3.7.               | 22.7.               | 20            | 2010      | 32,1                        |
| Vantaa                                              | 4.7.               | 22.7.               | 19            | 2010      | 31,9                        |
| Hämeenlinna                                         | 3.7.               | 19.7.               | 17            | 2010      | 32,5                        |
| Hyvinkää                                            | 3.7.               | 19.7.               | 17            | 2010      | 32,0                        |
| Joutsa                                              | 3.7.               | 19.7.               | 17            | 2010      | 32,2                        |
| Lohja                                               | 3.7.               | 19.7.               | 17            | 2010      | 31,1                        |
| Jokioinen                                           | 3.7.               | 19.7.               | 17            | 2010      | 32,0                        |
| Mikkeli                                             | 4.7.               | 19.7.               | 16            | 2010      | 32,7                        |
| Virolahti                                           | 20.7.              | 5.8.                | 16            | 2003      | 30,4                        |
| Ilomantsi                                           | 24.6.              | 9.7.                | 16            | 1972      | 32,0                        |

Päivitetty 1.10.2010

Kuva 8. Pisimmät yhtämittaiset hellejaksot (Ilmatieteen laitos 2011)

Pisimmillään hellejaksot kestävät noin 22 vuorokautta. Homeriskin arvioimisen kannalta ei ole mielekästä valita ajanjaksoa, joka toistuu kerran kymmenessä vuodessa. Laskentamenetelmän epäideaalisuudet tekevät laskelman arviosta todellisuutta pahemman. Olosuhteiden kestoa ei ole syytä liioitella ja näin lisätä laskelman epätodenmukaisuutta. Rakenteessa haitallisten olosuhteiden kestäessä seitsemästä kymmeneen vuorokautta merkitsee tämä ulkoseinärakenteelle homehtumisriskiä. Hellejaksot ovat onneksi lyhyitä, mikä pienentää homeriskin muodostumisen mahdollisuutta. Kuvasta 9 nähdään huippuhellejaksojen pisin kesto.

### Huippuhellejaksot, kun päivän ylin lämpötila oli vähintään 30 °C

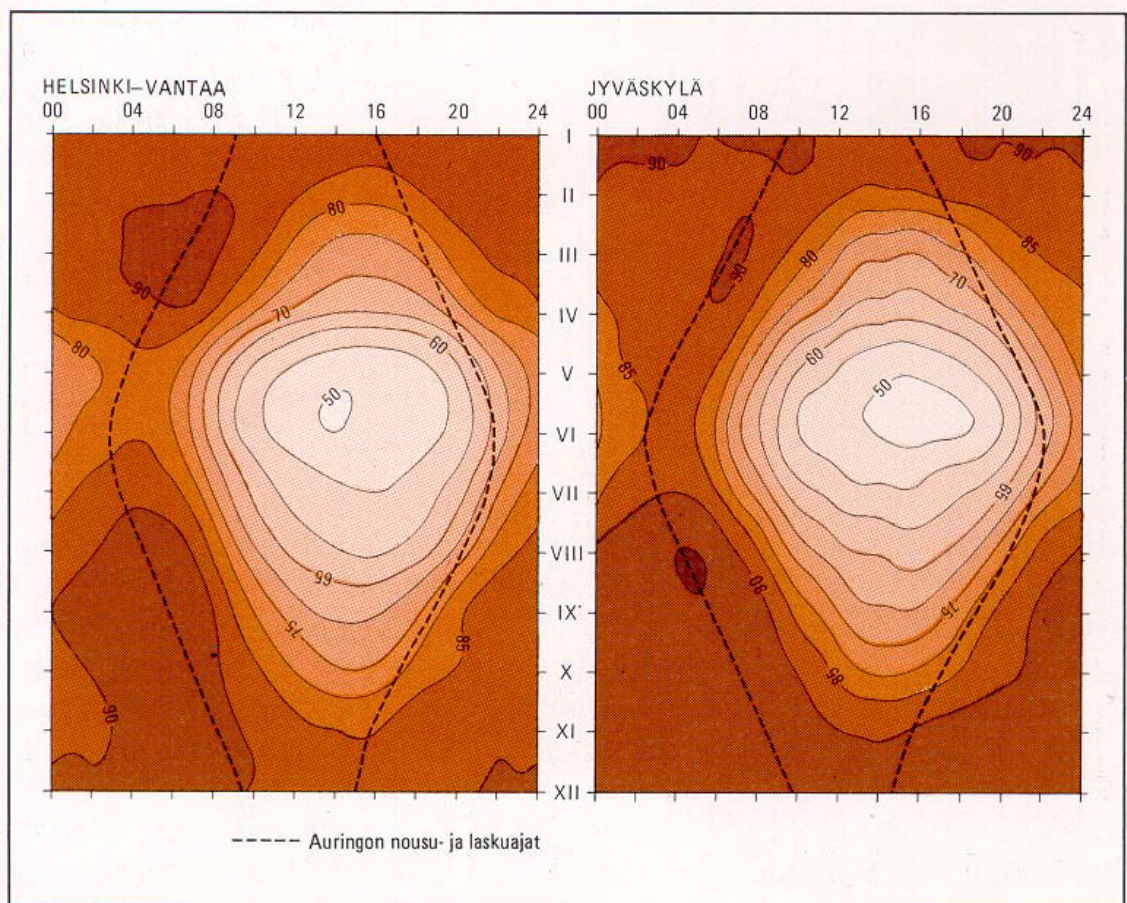
| Havaintoasema   | Yhtäjaksoisesti yli 30<br>astetta -hellejaksot | Pituus<br>vrk | Ylimmän lämpötilan<br>vaihteluväli |
|-----------------|------------------------------------------------|---------------|------------------------------------|
| Utsjoki Kevo    | 27.6. - 3.7.1972                               | 7             | 30,3...32,4                        |
| Oulu            | 30.6. - 6.7.1972                               | 7             | 30,5...31,6                        |
| Puumala         | 11.7.-16.7.2010                                | 6             | 31,2...33,9                        |
| Lahti           | 11.7.-16.7.2010                                | 6             | 30,3...33,4                        |
| Utti            | 11.7.-16.7.2010                                | 6             | 31,3...33,1                        |
| Anjala          | 11.7.-16.7.2010                                | 6             | 30,0...32,3                        |
| Ivalo           | 2.7. - 7.7.1972                                | 6             | 30,4...31,4                        |
| Turku           | 14.7. - 18.7.2003                              | 5             | 30,1...31,6                        |
| Kruunupyä       | 7.6. - 11.6.2011                               | 5             | 30,0...32,5                        |
| Helsinki-Vantaa | 27.7. - 30.7.1994                              | 4             | 30,5...32,1                        |
| Turku           | 5.8. - 8.8.1975                                | 4             | 30,0...31,8                        |
| Turku           | 12.6. - 15.6.1977                              | 4             | 30,7...32,0                        |
| Jokioinen       | 12.6. - 15.6.1977                              | 4             | 30,2...30,9                        |
| Jokioinen       | 27.7. - 30.7.1994                              | 4             | 30,5...32,3                        |
| Lahti           | 12.6. - 15.6.1977                              | 4             | 30,1...30,9                        |
| Lahti           | 13.7. - 16.7.1994                              | 4             | 30,2...31,7                        |
| Lahti           | 27.7. - 30.7.1994                              | 4             | 31,2...32,2                        |
| Utti            | 31.7. - 3.8.1963                               | 4             | 30,0...32,8                        |
| Utti            | 12.6. - 15.6.1977                              | 4             | 30,3...30,8                        |
| Utti            | 13.7. - 16.7.1994                              | 4             | 30,4...31,4                        |
| Utti            | 27.7. - 30.7.1994                              | 4             | 30,3...32,8                        |
| Utti            | 7.7.-10.7.2006                                 | 4             | 30,5...31,0                        |
| Kauhava         | 15.7.- 18.7.2003                               | 4             | 30,6...31,5                        |

Kuva 9 Huippuhellejaksojen kesto. (Ilmatieteen laitos 2011)

Huippuhellejaksot toistuvat erittäin harvoin ja ovat kestoltaan neljästä seitsemään vuorokautta. Huippuhellejaksojen harvinaisen esiintymisen takia homeris-kin arvioiminen näissä olosuhteissa on epämielekästä. Ilmastomuutoksen ja 2000-luvulla esiintyneiden ennätyskuumien kesien takia huippuhellejaksot on otettu arviointiin mukaan. Huippuhellejakson maksimikesto, noin viikko, on täl- löin arvion pohjana.

#### 5.1.2 Ulkoilman kosteus

Ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus muuttuvat vuorokauden ajan mu- kaan ja kuukausittain. Kuvassa 10 on esitetty ilman suhteellisen kosteuden vaihtelu vuorokauden ajan ja kuukauden mukaan. (RT 05-10410 1989.)



Kuva 10 Ilman suhteellisen kosteuden vaihtelu (RT 05-10410 1989)

Kuviosta nähdään, että kesäkuukausina ilman suhteellinen kosteus muuttuu yhden päivän aikana 80 prosentista jopa 50 prosenttiin. Auringon säteilyn aiheuttama lämpötilan nousu laskee suhteellisen kosteuden arvoa. Suhteellinen kosteus on pienin keski- ja iltapäivällä. Ilman sisältämän absoluuttisen kosteuden arvo muuttuu vuodenajasta riippuen, mikä näkyy kuukausittaisessa suhteellisen kosteuden vaihtelussa. Kesällä haihdunta on suurta ja ilmaan sitoutuu kosteutta vesihöyrynä. Kesällä ilmaan sitoutunut absoluuttinen kosteus nostaa ilman suhteellista kosteutta syksyllä ja talvella lämpötilan laskiessa. Talvella kosteutta on kiinteässä olomuodossa lumena ja jäänä. Keväällä lämpötilan noustessa ja ilman absoluuttisen kosteuden ollessa pieni, on ilman suhteellinen kosteus matalimmillaan.

Laskentamenetelmää on perinteisesti käytetty lämmityskauden vesihöyryn diffuusiovirran haitallisuuden arviointiin. Talvikuukausina ulkoilman suhteellisen kosteuden vuorokautinen vaihtelu on pienempi kuin kesällä ja menetelmä on

tällöin tarkempi. Lämmityskauden mitoittavat ääriolosuhteet toteutuvat kylminä talvikuukausina, jolloin auringon säteilyn vaikutus on vähäinen ja olosuhteet säilyvät tasaisina.

Laskentamenetelmä ei mahdollista ns. dynaamista laskentaa, joka huomioisi suhteellisen kosteuden vuorokautisen vaihtelun. Ulkoilman kosteuden suhteen on tehtävä arvio, jonka oletetaan säilyvän vakiona. Kesällä ulkoilman suhteellinen kosteus on tyypillisesti 60...75 % (Björkholtz 1997). Ulkoilman suhteellisen kosteuden arvoa 60...75 % käytetään laskelmissa. Ulkolämpötilan ollessa lähellä 30 astetta käytetään vaihteluvälin ala-arvoja, muutoin 75 %.

### **5.3 Sisäilmasto-olosuhteet**

#### **5.3.1 Sisälämpötila**

Asuinrakennusta jäähdytettäessä ilmanlämpöpumpulla sisäilman lämpötilan säätömahdollisuus on tyypillisesti 16 – 30 °C. Käytännössä alle 20 °C sisälämpötila koetaan liian kylmäksi, joten sitä ole huomioitu laskelmissa. Laskelmissa sisälämpötilana käytetään 20 – 24 °C. Jäähdytetty 24 °C sisälämpötila on miellyttävä suhteellisen kosteuden alenemisen takia.

#### **5.3.2 Sisäilman suhteellinen kosteus**

Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö kondensoi sisäilmasta vettä jäähdytyskäytössä. Sisäyksikön lämmönvaihtimen pintalämpötila on tyypillisesti 2 – 8 °C. Yksiköstä ulos puhallettavan ilman absoluuttinen kosteus on likimain sama kuin kosteuspitoisuus, joka vastaa lämmönvaihtimen pinnan lämpötilan mukaista kyllästyskosteuspitoisuutta. Sisäyksikössä kuivunut sisäilma sekoittuu huoneilmaan. Huoneilman suhteellinen kosteus asettuu tasapainoon riippuen rakennuksen sisäisistä kosteuslähteistä ja ilmanvaihdosta. Ilmanvaihdolla sisäilmaan tuodaan kosteutta ulkoilmasta. Ulkoilman kosteuspitoisuus vaihtelee vuorokauden- ja vuodenajan mukaan.

Laskelmiin sisäilman suhteellisen kosteuden arvoksi on arvioitu 45 %. Arvio perustuu opinnäytetyön tekijän omakohtaisiin kokemuksiin ja mittauksiin. Arvio on pyritty tekemään siten, että ulkoseinärakenteeseen kohdistuva diffuusiovirta on suurimmillaan ja mahdollisen homeriskin todennäköisyys on myös suurin. Mitä pienempi on sisäilman suhteellinen kosteus ja lämpötila, sitä suurempi on vesihöyryn osapaine-ero rakenteen yli. Olosuhteet homeenkasvulle syntyvät tällöin helpommin.

#### **5.4 Materiaaliominaisuudet**

Laskenta-alustaan, joka on tehty tätä opinnäytetyötä varten, syötetään ulkoseinärakenteiden materiaalitiedot. Materiaalitiedoilla mallinnetaan ulkoseinärakenteen lämpötila- ja kosteusjakaumien laskemiseksi. Materiaalitietojen lähteinä olen käyttänyt SFS-EN ISO 10456 + AC standardia, RIL- 107-2000 julkaisua ja Tampereen teknillisen yliopiston talonrakennustekniikan tutkimus raporttia nro 129.

Rakennusmateriaalien materiaalitiedot poikkeavat hieman lähteestä riippuen. Suuruusluokka säilyy kuitenkin samana, mikä on laskelmien todenmukaisuuden kannalta oleellista. Poikkeuksena ovat höyrynsulkumuovit, joiden vesihöyrynvastuksien suhteen on suuria eroja tuotekohtaisesti. Sd-arvo voi vaihdella 30 metristä 100 metriin. Muissa ulkoseinärakenteen kerroksissa erot eivät ole merkittävän suuria. Esimerkiksi tuulensuojakerroksen diffuusiovastuskertoimen vaihtelu 5...10 tai mineraalivillan lämmönjohtavuuden pienet erot eivät vaikuta kosteusteknisiin laskelmiin oleellisesti.

## 6 ULKOSEINÄRAKENTEIDEN TOIMINTA JÄÄHDYTYSKAUDELLA

### 5.3 Höyrinsulullinen ulkoseinärakenne

Höyrinsulullisen ulkoseinärakenteen kokonaisvesihöyrynvastus muodostuu pääasiassa ohuesta ja tiiviistä höyrinsulkukerroksesta. Tuulensuojamateriaalien ja mineraalivillojen vesihöyrynvastus on höyrinsulkuun nähden pieni. Eristekerroksella ja sen paksuudella ei ole suurta merkitystä suuren vesihöyrynläpäisevyyden takia. Vesihöyry pääsee kulkeutumaan suuren läpäisevyyden ansiosta helposti höyrinsulun kylmään ja tiiviiseen pintaan. Tilanne on rakenteen suhteellisen kosteuden ja vesihöyryn tiivistymisen kannalta huonoin mahdollinen. Tarkasteltavista ulkoseinärakenteista höyrinsulullisessa rakenteessa suhteellinen kosteus nousee voimakkaimmin diffuusion vaikutuksesta ja siten olosuhteet homeen kasvulle syntyvät helpoiten.

Rakenteen suhteellisen kosteuden nousuun voidaan rakenteellisesti hieman vaikuttaa tuulensuojan, eristeen ja höyrinsulun tiiveyttä muuttamalla. Valitsemalla tuulensuojaksi ja eristeeksi tiiviimpi materiaali ja höyrinsuluksi läpäisevämpi materiaali, voidaan suhteellisen kosteuden nousua jarruttaa ulko-olosuhteiden muuttuessa kuumemmaksi ja kosteammaksi. Höyrinsulkumuovin läpäisevyys vaikuttaa edellä mainituista eniten.

Normaaleissa kesäolosuhteissa ei perinteiseen höyrinsululliseen puurunkoiseen ulkoseinärakenteeseen synny homehtumisriskiä, jos sisälämpötila pidetään sopivana 23—24 °C asteessa. Haitallinen vesihöyryn diffuusio voi syntyä kestoaltaan riittävän pitkäksi, jos rakennusta jäähdytetään tarpeettoman paljon. Alle 23 °C asteen lämpötilat eivät ole suositeltavia. Diffuusiovirta voi nostaa tällöin rakenteen kosteuden homeenkasvun kannalta riittävän korkeaksi suhteellisen matalassa ulkolämpötilassa, mikä tarkoittaa vaikuttavan ajanjakson pidentymistä ja siten homeriskin kasvua.

## **5.5 Ilmansulullinen ulkoseinärakenne**

Ilmansulkua käytetään höyrynsulun asemesta yleensä, kun eristemateriaali on hygroskooppinen. Ilmansulun höyrynsulkua merkittävästi alempi vesihöyrynvastus rajoittaa rakenteen suhteellisen kosteuden nousua. Alhaisellakaan sisälämpötilalla ei normaalina kesänä synny homeenkasvulle otollisia olosuhteita. Alhaisella sisälämpötilalla homeenkasvu mahdollistuu ainoastaan huippuhellejaksoilla, jos ulkoilman suhteellinen kosteus on erittäin korkea. Silloinkin olosuhteiden tulisi olla kestoaltaan noin viikon, yleensä huippuhellejaksot kestävät 4—6 vuorokautta. Sisälämpötilan ollessa sopiva, 24 °C, ei rakenteeseen synny homeeriskii.

Jälleenrakennuskaudelle tyypillinen sahanpurueristeinen ulkoseinärakenne toimii kosteusteknisesti lähes massiivipuorakenteen tavoin. Rakenne on ilmansulullinen kerroksellinen ulkoseinärakenne, mutta sahanpurueristeen kosteustekninen toiminta on lähellä umpipuuta. Rakenteessa ei ole diffuusiota estäviä kerroksia ja se on ns. hengittävä rakenne. Vesihöyry voi diffundoitua rakenteen läpi, nostamatta sen kerroksien suhteellista kosteutta. Homeenkasvulle suotuisat olosuhteet eivät synny rakenteeseen suurellakaan osapaine-erolla. Rakenteeseen ei synny homeeriskii.

## **5.4 Kiviaineinen kerroksellinen ulkoseinärakenne**

Kiviaineisen kerroksellisen ulkoseinärakenteen kosteusteknisen toiminnan kannalta tärkeimpiä tekijöitä on tuulettuvuus ja käytetty eristemateriaali. Kiviaineinen sisäkuoren ulkopinta on rakenteen suhteellisen kosteuden nousun kannalta kriittinen kerros. Jos rakenne on tuulettuva, määrää eristetyyppi pääasiassa kosteusteknisen toiminnan. Muovipohjaiset umpisolurakenteiset eristemateriaalit omaavat riittävästi vesihöyrynvastusta ja takaavat siten ettei diffuusiiovirran takia suhteellinen kosteus nouse haitallisesti rakenteen kylmässä osassa. Hyvin vesihöyryä läpäisevät mineraalivillaeristeet päästävät vesihöyryn kulkeutumaan rakenteen kylmiin osiin, mikä tarkoittaa rakenteen suhteellisen kosteuden nousua.

Tuulettuvissa kiviaineisissa kerrosrakenteissa homeriski muodostuu samalla tavalla kuin höyrynsulullisessa rakenteessa, jos eristemateriaali on hyvin vesi-höyryä läpäisevä. Sopivalla sisälämpötilalla homeenkasvun vaatima vaikuttava ajanjakso saadaan pitenemään niin suureksi, ettei se todellisuudessa toteudu. Homeriski muodostuu ainoastaan teoreettisessa tapauksessa. Käytettäessä muovipohjaisia umpisolurakenteisia eristeitä, ulkoseinärakenteeseen ei synny homeriskiä.

Tuulettamattoman ulkoseinärakenteet ulkokuoren vesihöyrynvastus pienentää kriittisen kerroksen suhteellisen kosteuden nousua. Homeenkasvulle otolliset olosuhteet eivät toteudu todellisissa ulkoilmaolosuhteissa.

## **5.6 Massiivirakenteet**

Massiivirakenteisen ulkoseinän materiaaleja ovat puu, tiili, kevytsora ja höyry-karkaistu kaasubetoni. Massiivirakenteet ovat kosteudelle avoimia hengittäviä rakenteita, joissa ei ole vesihöyryn diffuusion estävää kerrosta. Seinärakenne on käytännössä identtinen keskilinjan suhteen. Rakenteet toimivat talviolosuhteissa, joissa vallitseva osapaine-ero on suurempi kuin jäähdytyskaudella. Massiivirakenne toimii identtisyden takia molempiin suuntiin yhtäläisesti, joten rakenteeseen ei synny homeriskiä kesäkaudellakaan.

## **7 YHTEENVETO**

Ulkoseinärakenteen suhteellinen kosteus nousee voimakkaimmin tuulettuvassa villatyypisellä eristeellä toteutetussa kerrosrakenteessa. Suhteellisen kosteuden nousun kannalta kriittinen kerros on lähellä rakenteen viileää sisäpintaa. Sisäkuorella tai -verhouksella ei ole suurta lämmönvastusta, joka nostaisi rakenteen sisäosien lämpötilaa. Sisäosien lämpötila on lähes sama kuin sisäilman lämpötila. Laskelmissa lämpötila nousi kriittisen kerroksen kohdalla sisäilmaan nähden alle yhden asteen. Kriittisen kerroksen kyllästysosapaine on riippuvainen siis lähes yksinomaan sisäilman lämpötilasta.

Laskelmissa ulkoseinärakenteen suhteellinen kosteus nousi haitallisen suureksi silloin, kun eriste- ja tuulensuojakerroksella ei ollut riittävää vesihöyryn vastusta suhteessa sisäosien vesihöyryn vastukseen. Käytännössä tämä tarkoittaa vil-lamaisia eristeitä tuuletetussa rakenteessa. Poikkeuksena mainittakoon dif-fuusiota läpäisevällä ilmansulkukalvolla toteutetut rakenteet. Ilmansulullisen ra-kenteen kosteusjakauma on samankaltainen kuin höyrynsulullisessa rakentees-sa. Osapaine-eron tulisi olla erittäin suuri, jotta suhteellinen kosteus nousisi hai-tallisesti. Normaalisti höyrynsululla tai sisäkuorella on riittävästi vesihöyrynvas-tusta, että kyseisen kerroksen ulkopinnassa suhteellinen kosteus alkaa nousta merkittävästi osapaine-eron kasvaessa rakenteen yli.

Ulkoseinän rakenteellisilla muutoksilla voidaan vaikuttaa homeriskiin suhteelli-sen vähän. Rakenteiden ensisijainen rakennusfysikaalinen suunnittelu tehdään talviolosuhteiden perusteella, joten rakennekerroksien ominaisuuksia voi muut-taa vain rajatusti. Helpoin ja tehokkain tapa estää rakenteen suhteellisen kos-teuden nousu on pienentää vallitsevaa osapaine-eroa ja sen kestoa. Tämä to-teutuu, kun rakennusta jäähdytetään maltillisesti. Suositeltava sisälämpötila on 24 °C. Sisälämpötilan ollessa 24 °C tarkasteltavissa rakenteissa haitalliset ul-koilmaolosuhteet olivat lähellä huippuhellejaksoja, joiden kesto on lyhyt ja tois-tuvuus harvinaista. Homeenkasvun tarvitsema aika saatiin siten todellisten olo-suhteiden keston ulottumattomiin ja homeriski poistettua kokonaan tai muutet-tua erittäin epätodennäköiseksi.

Suurin homeriski syntyy, kun sisälämpötila pidetään riskirakenteessa erittäin al-haisena normaaleissa kesäolosuhteissa. Tavanomaiset kesäolosuhteet ovat kestoaltaan homeenkasvun kannalta riittävän pitkiä. Ulkolämpötilan ollessa 23—24 °C astetta yhtämittainen kesto voi olla 20—30 vuorokautta ja ehto homeen-kasvu tarvitsemasta ajasta täyttyy siten helpoiten.

## **KUVAT**

Kuva 1 Yhteenveto ilman kosteuden vaikutuksista. s.7

Kuva 2 Lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikutus kesäolosuhteissa, s.8

Kuva 3 Ilman liikenopeuden ja lämpötilan yhteisvaikutus, s.11

Kuva 4 Ilman virtausnopeus jäähdytyskäytössä,s.12

Kuva 5 Homeen kasvun alkamiseen vaikuttava kriittinen aika, s.21

Kuva 6 kesäkuun keskilämpötila, s.26

Kuva 7 Heinäkuun keskilämpötila, s.27

Kuva 8. Pisimmät yhtämittaiset hellejaksot, s.29

Kuva 9 Huippuhellejaksojen kesto, s.30

Kuva 10 Ilman suhteellisen kosteuden vaihtelu, s.31

## **TAULUKOT**

Taulukko 1 Huonelämpötilan tavoitearvot, s.10

Taulukko 2 Ilman liikenopeuden suositusarvot, s.11

## LÄHTEET

Asumisterveysohje. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriö

Asumisterveysopas. 2008. Sosiaali- ja terveysministeriö. Vammala: Vammalan kirjapaino

Björkholtz, D.1997. Rakennusfysiikka lämpö ja kosteus. Helsinki: Rakennustieto.

C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Kosteus. Määräykset ja ohjeet 1998.  
<http://www.finlex.fi/data/normit/1918-c2.pdf>  
(Luettu 16.1.2012)

C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Lämmöneristys. Ohjeet 2012 luonnosversio.  
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=131110&lan=fi>  
(Luettu 27.12.2011)

Ilmatieteen laitos  
<http://ilmatieteenlaitos.fi/tietoa-helteen-tukaluudesta> (Luettu 15.11.2011)

Ilmatieteenlaitos  
<http://ilmatieteenlaitos.fi/helletilastot> (Luettu 12.11.2011)

LVI 05-10440. 2008. Sisäilmastoluokitus 2008

LVI 70-40027. 1993. Epätasaiset lämpöolot ja veto

Peuhkuri, R. ym. 2009. Rakennusmateriaalien homeenkestävyys ja sen mallintaminen pysyvissä kosteusrasitusoloissa. Teoksessa Vinha, J. & Lähdesmäki, K. Rakennusfysiikka 2009. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, 239-248

Puuinfo Oy. 2009. Puuhallin suunnittelu Esisuunnittelu ja arkkitehtoniset valinnat

Rafnet-ryhmä. 2004. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille Kosteus

RIL 107-2000. 2000. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet

RT 05-10410.1989. Ilmasto, kosteus, sade ja lumi.

RT 05-10710.1999. Kosteus rakennuksissa

RT 05-10426.1990. Ilmasto, lämpötila

RT 055.30. 1976. Ilmasto, säteily

SFS-EN ISO 10456 +AC.2009. Rakennusaineet ja –tuotteet. Lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet. Taulukoidut suunnitteluarvot ja menetelmät ilmoitetun lämpöteknisen arvon ja suunnitteluarvon määrittämiseksi.

SFS-EN 12086. 1997. Lämmöneristetuotteet rakentamiskäyttöön. Vesihöyrynläpäisevyyden määrittäminen.

Vinha, J. Puurunkoisten ulkoseinärakenteiden kosteustekninen toiminta Suomen ilmasto-olosuhteissa. 2007. Teoksessa Vinha J. & Korpi M. Rakennusfysiikka 2007. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, 89-100

Vinha, J., Valovirta, I., Korpi M., Mikkilä, A., Käkelä, P. 2005. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. Tampereen teknillisen yliopiston julkaisuja Tutkimusraportti 129.

Toshiba Super Daiseikai PKVP-E/PAVP-E. Engineering Data Book. 2009. Japan: Toshiba Carrier Corporation.

|                            |                                                        |                                                       |         |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu |                                                        | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         | Liite 0 |
| Rakennustekniikka          |                                                        | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |         |
| Rakennesuunnittelu         |                                                        | Diffuusiovirtalaskelmissa käytettävien yksiköiden     | -       |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                        | muunnoksia                                            |         |
| <b>Merkinnät:</b>          |                                                        |                                                       |         |
| Tunnus                     |                                                        | Yksikkö                                               |         |
| p                          | Paine                                                  | Pa                                                    |         |
| p <sub>v</sub>             | Vesihöyryn osapaine                                    | Pa                                                    |         |
| p <sub>vk</sub>            | Vesihöyryn kyllästysosapaine                           | Pa                                                    |         |
| v                          | Vesihöyrypitoisuus                                     | kg/m <sup>3</sup>                                     |         |
| v <sub>k</sub>             | Kyllästysvesihöyrypitoisuus                            | kg/m <sup>3</sup>                                     |         |
| d                          | Ainekerroksen paksuus                                  | m                                                     |         |
| δ                          | Vesihöyryn läpäisevyys yleensä                         | -                                                     |         |
| δ <sub>p</sub>             | Osapaineen avulla lausuttuna                           | kgm/(m <sup>2</sup> Pa)                               |         |
| δ <sub>v</sub>             | Vesihöyrypitoisuuden avulla lausuttuna                 | m <sup>2</sup> /s                                     |         |
| δ <sub>p,ilma</sub>        | Ilman vesihöyryn läpäisevyys                           | kgm/(m <sup>2</sup> Pa)                               |         |
| δ <sub>v,ilma</sub>        | Ilman vesihöyryn läpäisevyys                           | m <sup>2</sup> /s                                     |         |
| Z                          | Vesihöyryn vastus yleensä                              | -                                                     |         |
| Z <sub>p</sub>             | Osapaineen avulla lausuttuna                           | m <sup>2</sup> sPa/kg                                 |         |
| Z <sub>v</sub>             | Vesihöyrypitoisuuden avulla lausuttuna                 | s/m                                                   |         |
| μ                          | Diffuusiovastuskerroin                                 | -                                                     |         |
| S <sub>d</sub>             | vesihöyryn diffuusiota vastaavan ilmakerroksen paksuus | m                                                     |         |
| φ                          | Ilman suhteellinen kosteus                             | -                                                     |         |
| RH                         | Ilman suhteellinen kosteus                             | %                                                     |         |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                       |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu                                                                                                                                                                                                                                                             | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         | 2(4) |
| Rakennustekniikka                                                                                                                                                                                                                                                                      | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |      |
| Rakennesuunnittelu                                                                                                                                                                                                                                                                     | Diffuusiovirtalaskelmissa käytettävien yksiköiden     |      |
| Opinnäytetyö 2011                                                                                                                                                                                                                                                                      | muunnoksia                                            |      |
| <p><b>Kaavoja:</b></p> $p_v = v \cdot T \cdot 461,392896$ $v = p_v / (T \cdot 461,392896)$ $\mu = (\delta_{p,ilma}) / (\delta_{p,materiaali}) = (\delta_{v,ilma}) / (\delta_{v,materiaali})$ $Z_p = d / (\delta_{p,materiaali})$ $S_d = \mu \cdot d$ $S_d = \delta_{p,ilma} \cdot Z_p$ |                                                       |      |

|                            |                                                       |      |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         | 3(4) |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |      |
| Rakennesuunnittelu         | Diffuusiovirtalaskelmissa käytettävien yksiköiden     |      |
| Opinnäytetyö 2011          | muunnoksia                                            |      |

**Esimerkki 1:**

Vesihöyryn osapaine on 1340 Pa ja lämpötila on 24 °C. Kuinka paljon on vesihöyrypitoisuus?

$$p_v = 1340 \text{ Pa} \quad t = 24 \text{ °C} \quad T = 297,15 \text{ K}$$

$$v = p_v / (T * 461,392896) = 0,0097737 \text{ kg/m}^3 \approx 9,8 \text{ g/m}^3$$

**Esimerkki 2:**

Ilman lämpötila on 30 °C ja vesihöyrypitoisuus 23 g/m<sup>3</sup>. Mikä on vesihöyryn osapaine?

$$v = 23,0 \text{ g/m}^3 = 0,023 \text{ kg/m}^3$$

$$t = 30 \text{ °C} \quad T = 303,15 \text{ K}$$

$$p_v = v * T * 461,392896 \approx 3217 \text{ Pa}$$

**Esimerkki 3:**

Kipsilevyn diffuusiovastuskerroin on n. 10. Mikä on 12 mm paksun kipsilevyn vesihöyryn vastus ilmoitettuna osapaineen avulla?

$$\mu = 10 \quad d = 12 \text{ mm} = 0,012 \text{ m} \quad \delta_{p,ilma} = 1,95E-10$$

$$\mu = (\delta_{p,ilma}) / (\delta_{p,materiaali}) \quad , \text{ josta } \delta_{p,materiaali} = \delta_{p,ilma} / \mu = 1,95E-11$$

Sijoitetaan  $\delta_{p,materiaali}$  kaavaan :  $Z_p = d / (\delta_{p,materiaali})$

$$Z_p = 0,61538462 * 10^9 \text{ kg m}^2\text{sPa/kg}$$

|                            |                                                       |      |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         | 4(4) |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |      |
| Rakennesuunnittelu         | Diffuusiovirtalaskelmissa käytettävien yksiköiden     | -    |
| Opinnäytetyö 2011          | muunnoksia                                            |      |

**Esimerkki 4:**

Höyrynsulkumuovin (paksuus 0,3 mm)  $S_d$ -arvo on 100 m. Mikä on vesihöyrynvastus ilmoitettuna osapaineen avulla?

**Tapa 1:**

$$S_d = 100 \text{ m} \quad d = 0 \text{ mm} = 0,0003 \text{ m}$$

$$S_d = \mu * d \quad , \text{josta} \quad \mu = S_d / d = 333333$$

(Esimerkin 3 mukaisesti:)

$$\mu = 333333 \quad d = 0 \text{ mm} = 0 \text{ m} \quad \delta_{p,ilma} = 1,95E-10$$

$$\mu = (\delta_{p,ilma})/(\delta_{p,materiaali}) \quad , \text{josta} \quad \delta_{p,materiaali} = \delta_{p,ilma}/\mu = 5,85E-16$$

Sijoitetaan  $\delta_{p,materiaali}$  kaavaan :  $Z_p = d / (\delta_{p,materiaali})$

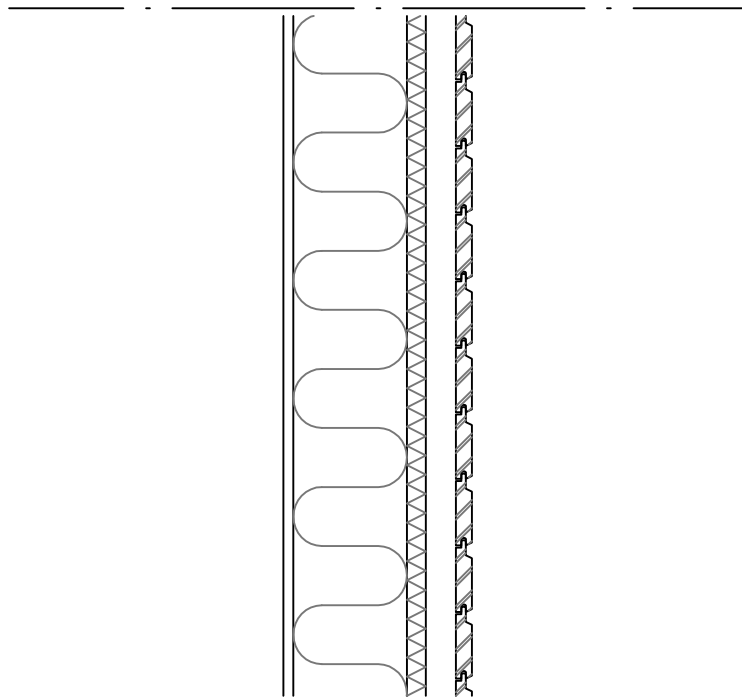
$$Z_p = 512,820513 * 10^9 \text{ kg m}^2\text{sPa/kg}$$

**Tapa 2:**

$$S_d = 100 \text{ m} \quad d = 0 \text{ mm} = 0,0003 \text{ m} \quad \delta_{p,ilma} = 1,95E-10$$

$$S_d = \delta_{p,ilma} * Z_p \quad , \text{josta} \quad Z_p = S_d / \delta_{p,ilma} = 512,820513 * 10^9 \text{ kg m}^2\text{sPa/kg}$$

|                            |                      |         |
|----------------------------|----------------------|---------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Kerrosrakenne        | Liite 1 |
| Rakennustekniikka          | Puurunkoinen seinä   |         |
| Rakennesuunnittelu         | Höyrynsulku          | US 11   |
| Opinnäytetyö 2011          | Mineraalivillaeriste |         |



1:10

#### SISÄPUOLI

|                                               |            |    |
|-----------------------------------------------|------------|----|
| 1. Sisäverhous                                | 9...13     | mm |
| 3. Muovikalvo                                 | 0,15...0,3 | mm |
| 4. Mineraalivilla                             | 150...200  | mm |
| 5. Tuulensuojalevy                            | 9...25     | mm |
| 6. Tuuletusväli                               | 20...40    | mm |
| 7. Ulkoverhous ( esim. puu- tai tiiliverhous) |            | mm |

#### ULKOPUOLI

U-arvo n. 0,16... 0,23. W/m²K

|                            |                                                        |       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset          | 2(6)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 12 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                        |       |

## SISÄLTÖ

1. Rakennekerrokset
2. Olosuhteet
3. Pintavastukset
4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli
5. Tulokset

|                            |                                                       |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         | 3(6)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |       |
| Rakennesuunnittelu         | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskel- | US 12 |
| Opinnäytetyö 2011          | ma                                                    |       |

1. Rakennekerrokset

|                            |                                                        |       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset          | 4(6)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 12 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                        |       |

#### 4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli

\*  $x=0$  rakenteen sisäpinnassa, positiivinen suunta ulospäin

|                   | $x$    | $R_x$ | $T_x$              | $Z_{px}$ | $p_{vx}$ | $p_{kx}$ | $\phi_x$ | Huom.               | $t_m$ |
|-------------------|--------|-------|--------------------|----------|----------|----------|----------|---------------------|-------|
| Sisäilma          | -1     | -     | 24,0               | -        | 1342,43  | 2990,21  | 0,45     |                     |       |
| Pintavastus       | 0      | 0,13  | 24,2               | 0        | 1342,43  | 3019,53  | 0,44     |                     |       |
| Kipsilevy         | 0,013  | 0,20  | 24,3               | 6,67E+08 | 1344,81  | 3035,93  | 0,44     |                     |       |
| Muovikalvo 0,3 mm | 0,0133 | 0,20  | 24,3               | 5,13E+11 | 3176,96  | 3035,93  | 1,00     | $t > 20$ , RH > 0,8 | 6     |
| Mineraalivilla 1  | 0,0233 | 0,47  | 24,6               | 5,14E+11 | 3177,14  | 3097,99  | 1,00     | $t > 20$ , RH > 0,8 | 5,9   |
| Mineraalivilla 2  | 0,0933 | 2,36  | 27,0               | 5,14E+11 | 3178,42  | 3564,22  | 0,89     | $t > 20$ , RH > 0,8 | 27    |
| Mineraalivilla 3  | 0,1633 | 4,26  | 29,3               | 5,14E+11 | 3179,70  | 4090,41  | 0,78     |                     |       |
| Huok.Kuitulevy    | 0,1883 | 4,76  | 29,9               | 5,15E+11 | 3181,99  | 4240,27  | 0,75     |                     |       |
| Tuuletusväli      | 0,2283 |       |                    |          |          |          |          |                     |       |
| Ulkoverhouslauta  | 0,2503 |       |                    |          |          |          |          |                     |       |
| -                 |        |       |                    |          |          |          |          |                     |       |
| -                 |        |       |                    |          |          |          |          |                     |       |
| Pintavastus       |        | 0,04  | 30,0               |          |          |          |          |                     |       |
| Ulkoilma          |        | 4,80  | 30,0               | 5,15E+11 | 3181,99  | 4252,47  | 0,75     |                     |       |
| Rakenteen U-arvo: | U=     | 0,208 | W/m <sup>2</sup> K |          |          |          |          |                     |       |

[ $t_m$ ]= päivä

$\sum Z_p =$

5,149E+11

|                            |                                                        |       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset          | 5(6)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 12 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                        |       |

## 5. Tulokset

Höyrynsulun ulkopinnassa rakenteen suhteellinen kosteus nousee voimakkaimmin jäähdytyksen aiheuttaman diffuusion vaikutuksesta. Diffuusiovirran haitallisuus rakenteelle on sitä suurempi mitä suurempi on vesihöyryn osapaine-ero rakenteen yli , kriittisen kerroksen lämpötila ja vaikuttava ajanjakso. Alhainen tai matala sisälämpötila\* mahdollistaa rakenteeseen korkean suhteellisen kosteuden pidemmäksi ajaksi kuin jos sisälämpötila pidetään sopivana.

\*Sisälämpötila:  
Alhainen <20°C  
Matala 20..22°C  
Sopiva 23..24°C

### Esimerkki 1:

Sisälämpötila on alhainen 20 °C ja suhteellinen kosteus 45 %. Ulkolämpötilan ollessa 24 °C ja suhteellisen kosteuden 75 %, nousee rakenteen suhteellinen kosteus höyrynsulun ulkopinnassa 94 prosenttiin. Vastaavassa kohdassa rakennetta lämpötila on 20,2 °C. Homeenkasvun alkamisen tarvitsema aika on tällöin n. 15 vuorokautta. Kaksi viikkoa kestävä hellejakso on harvinainen eikä toistu joka vuosi. Homehtuminen on epätodennäköistä  
Kesällä ulkoilman suhteellinen kosteus vaihtelee kesäaikana 65...75 %. Välin ala-arvoilla laskettuna olosuhteiden vaikuttavan ajan kesto on niin pitkä ettei vät ne toteudu todellisuudessa.

### Esimerkki 2:

Olosuhteet sisällä ja ulkona säilyvät muutoin samana paitsi ulkolämpötila nousee yhden asteen. Suhteellinen kosteus höyrynsulun ulkopinnassa nousee tiivistymispisteeseen ( 100%) ja lämpötila on 20,2 °C. Homeenkasvun alkamisen tarvitsema aika pienenee n. viikkoon. Viikon kestävä hellejakso on yleinen, joten alhaisella sisälämpötilalla kyseiseen rakenteeseen syntyy todellinen homehtumisriski.

### Esimerkki 3:

Muutetaan esimerkin 2 olosuhteita sisäilman lämpötilan osalta: sisälämpötila nostetaan 24 °C. Höyrynsulun ulkopinnassa rakenteen suhteellinen kosteus on tällöin 79 %, joka on homeen kasvun raja-arvon (80%) alapuolella. Homeenkasvu pysähtyy tai hidastuu olemattomiin. Sisälämpötilan nostolla esimerkin 2 todellinen homehtumisriski voidaan välttää.

|                            |                                                        |       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset          | 6(6)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 12 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                        |       |

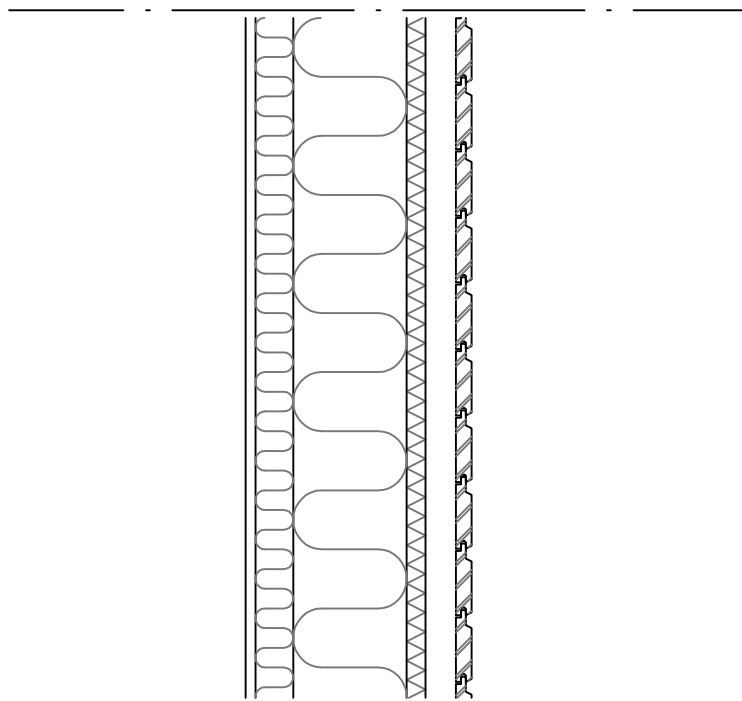
**Esimerkki 4:**

Sisälämpötila on 24 °C suhteellinen kosteus 45 %. Kuinka korkea ulkolämpötilan tulee olla jotta rakenteeseen syntyy todellinen homeriski? Ulkoilman suhteellinen kosteus on korkea 75 %. Höyrynsulun ulkopinnassa saavutetaan tiivistymispiste ulkolämpötilan ollessa 30 °C . Rakenteen lämpötila on n. 24,3 °C ja homeenkasvun alkaisi n. kuuden päivän keston jälkeen. Huippuhellejakson (lämpötila yli 30 °C) pisin koskaan mitattu pituus on 7 vuorokautta, ja ne toistuvat erittäin harvoin. Ulkolämpötiloissa yli 25 °C olosuhteet rakenteessa ovat sellaiset, että homeenkasvun alkamisen tarvitsema kesto ei toteudu todellisuudessa.

**Yhteenveto:**

Jos rakennuksen sisäilman lämpötila pidetään sopivana 23...24 °C, ei rakenteeseen synny vesihöyryn diffuusiovirran aiheuttamaa homeriskiä. Alhainen tai matala sisälämpötila voi aiheuttaa ulkoseinärakenteen homehtumisen alkamisen.

|                            |                            |         |
|----------------------------|----------------------------|---------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Kerrosrakenne              | Liite 2 |
| Rakennustekniikka          | Puurunkoinen seinä         |         |
| Rakennesuunnittelu         | - höyrynsulku, sisäkoolaus | US 12   |
| Opinnäytetyö 2011          | - mineraalivillaeriste     |         |



1:10

#### SISÄPUOLI

|                                               |            |    |
|-----------------------------------------------|------------|----|
| 1. Sisäverhous                                | 9...13     | mm |
| 2. Mineraalivilla                             | 50         | mm |
| 3. Muovikalvo                                 | 0,15...0,3 | mm |
| 4. Mineraalivilla                             | 100...150  | mm |
| 5. Tuulensuoja                                | 9...25     | mm |
| 6. Tuuletusväli                               | 20...40    | mm |
| 7. Ulkoverhous ( esim. puu- tai tiiliverhous) |            | mm |

#### ULKOPUOLI

U-arvo n. 0,16...0,23 W/m²K

|                            |                                                        |       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset          | 2(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 12 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                        |       |

## SISÄLTÖ

1. Rakennekerrokset
2. Olosuhteet
3. Pintavastukset
4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli
5. Tulokset

|                                                                                                                        |                                                       |                          |                                  |    |                |                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|----|----------------|-----------------------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu                                                                                             | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         |                          |                                  |    |                | 3(5)                  |
| Rakennustekniikka                                                                                                      | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |                          |                                  |    |                |                       |
| Rakennesuunnittelu                                                                                                     | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskel- |                          |                                  |    |                | US 12                 |
| Opinnäytetyö 2011                                                                                                      | ma                                                    |                          |                                  |    |                |                       |
| 1. Rakennekerrokset                                                                                                    |                                                       |                          |                                  |    |                |                       |
| * " Monitorointipisteitä voidaan lisätä tarkastelemalla yksittäistä kerrosta useammassa osassa. Esim. 100mm=(50+50)mm" |                                                       |                          |                                  |    |                |                       |
|                                                                                                                        | d                                                     | λ                        | Z <sub>p</sub> · 10 <sup>9</sup> | μ  | S <sub>d</sub> |                       |
| 1 Kipsilevy                                                                                                            | 0,013                                                 | 0,18                     | 0,7                              | 10 |                | [d]=m                 |
| 2 Mineraalivilla                                                                                                       | 0,05                                                  | 0,04                     | 0,3                              | 1  |                | [λ]=mK/W              |
| 3 Muovikalvo 0,3 mm                                                                                                    | 0,0003                                                | 1000000                  | 512,8                            | 0  | 100            |                       |
| 4 Mineraalivilla 1                                                                                                     | 0,075                                                 | 0,037                    | 0,4                              | 1  |                | [Z <sub>p</sub> =     |
| 5 Mineraalivilla 2                                                                                                     | 0,075                                                 | 0,037                    | 0,4                              | 1  |                | m <sup>2</sup> sPa/kg |
| 6 Huok. Kuitulevy                                                                                                      | 0,025                                                 | 0,05                     | 0,6                              | 5  |                |                       |
| 7 Tuuletusväli                                                                                                         | 0,04                                                  |                          | 0,0                              |    |                | [S <sub>d</sub> =m    |
| 8 Ulkoverhouslauta                                                                                                     | 0,022                                                 |                          | 0,0                              |    |                |                       |
| 9 -                                                                                                                    |                                                       |                          | 0,0                              |    |                |                       |
| 10 -                                                                                                                   |                                                       |                          | 0,0                              |    |                |                       |
| yhteensä                                                                                                               | 0,3003                                                |                          | 515,2                            |    |                |                       |
| 2. Olosuhteet                                                                                                          |                                                       |                          |                                  |    |                |                       |
| Sisällä:                                                                                                               | T <sub>sisä</sub> = 24 °C                             | φ <sub>sisä</sub> = 0,45 | p <sub>v, sisä</sub> = 1342,43   |    |                | ΔT= 6                 |
| Ulkona:                                                                                                                | T <sub>ulko</sub> = 30 °C                             | φ <sub>ulko</sub> = 0,7  | p <sub>v, ulko</sub> = 2969,86   |    |                | Δp= 1627,43           |
| *diffuusiovirran suunta: Ulkoa sisäänpäin                                                                              |                                                       |                          |                                  |    |                |                       |
| 3. Pintavastukset                                                                                                      |                                                       |                          |                                  |    |                |                       |
| Sisäpinta:                                                                                                             | R <sub>si</sub> = 0,13                                |                          |                                  |    |                |                       |
| Ulkopinta                                                                                                              | R <sub>se</sub> = 0,04                                |                          |                                  |    |                |                       |

|                            |                                                        |       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset          | 4(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 12 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                        |       |

#### 4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli

*\*  $x=0$  rakenteen sisäpinnassa, positiivinen suunta ulospäin*

|                   | $x$    | $R_x$ | $T_x$ | $Z_{px}$ | $p_{vx}$ | $p_{kx}$ | $\phi_x$ | Huom.               | $t_m$ |
|-------------------|--------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|---------------------|-------|
| Sisäilma          | -1     | -     | 24,0  | -        | 1342,43  | 2990,21  | 0,45     |                     |       |
| Pintavastus       | 0      | 0,13  | 24,1  | 0        | 1342,43  | 3013,07  | 0,45     |                     |       |
| Kipsilevy         | 0,013  | 0,20  | 24,2  | 6,67E+08 | 1344,54  | 3025,83  | 0,44     |                     |       |
| Mineraalivilla    | 0,063  | 1,55  | 25,5  | 9,23E+08 | 1345,35  | 3273,49  | 0,41     |                     |       |
| Muovikalvo 0,3 mm | 0,0633 | 1,55  | 25,5  | 5,14E+11 | 2965,41  | 3273,49  | 0,91     | $t > 20$ , RH > 0,8 | 23    |
| Mineraalivilla 1  | 0,1383 | 3,58  | 27,5  | 5,14E+11 | 2966,62  | 3678,10  | 0,81     | $t > 20$ , RH > 0,8 | 109   |
| Mineraalivilla 2  | 0,2133 | 5,61  | 29,5  | 5,15E+11 | 2967,84  | 4125,56  | 0,72     |                     |       |
| Huok. Kuitulevy   | 0,2383 | 6,11  | 30,0  | 5,15E+11 | 2969,86  | 4242,95  | 0,70     |                     |       |
| Tuuletusväli      | 0,2783 |       |       |          |          |          |          |                     |       |
| Ulkoverhouslauta  | 0,3003 |       |       |          |          |          |          |                     |       |
| -                 |        |       |       |          |          |          |          |                     |       |
| -                 |        |       |       |          |          |          |          |                     |       |
| Pintavastus       |        | 0,04  | 30,0  |          |          |          |          |                     |       |
| Ulkoilma          |        | 6,15  | 30,0  | 5,15E+11 | 2969,86  | 4252,47  | 0,70     |                     |       |

Rakenteen U-arvo:  $U = 0,163 \text{ W/m}^2\text{K}$

*\*Esimerkkien jakaumat saa näkyviin syöttämällä excel-tiedoston kenttiin esimerkkikohtaiset olosuhteet.*

[ $t_m$ ]= päivä

$\sum Z_p =$

5,152E+11

|                            |                                                        |       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset          | 5(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 12 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                        |       |

#### **Esimerkki 1:**

Sisälämpötila on alhainen (20 °C) suhteellinen kosteus on 45%. Ulkoilman lämpötila on 24 °C ja suhteellinen kosteus korkea 75%. Rakenteessa höyrinsulun ulkopinnan suhteellinen kosteus on 90% ja lämpötila 21 °C. Tällöin homeenkasvun alkamisen tarvitsema aika on n. 30 vuorokautta. Ajanjakso on pitkä eikä toteudu todellisuudessa.

#### **Esimerkki 2:**

Olosuhteet säilyvät muuten samoina, mutta nostetaan ulkolämpötilaa yhdellä asteella (25 °C). Kriittisen kerroksen (höyrinsulku) suhteellinen kosteus nousi 94 prosenttiin ja lämpötila 21,3 °C. Homeenkasvun alkamisen tarvitsema aika lyheni 16 vuorokauteen. Kahden viikon yhtämittainen hellejakso on harvinainen eikä toistu joka vuosi. Homeen kasvun alkamisen riski on olemassa, mutta epätodennäköinen.

#### **Esimerkki 3:**

Nostetaan sisälämpötilaa 4:llä asteella alhaisesta sopivaksi (24 °C). Ulkoilman olosuhteet ovat samat kuin esimerkissä 2 ( $T_{\text{ulko}}=25^{\circ}\text{C}$ , RH=75%). Rakenteen korkein suhteellinen kosteus on 78%, mikä tarkoittaa ettei homeenkasvulle suotuisat olosuhteet toteudu.

#### **Esimerkki 4:**

Olosuhteet sisäilmassa ovat kuten esimerkissä 3 ( $T_{\text{sisä}}=24^{\circ}\text{C}$ , RH=45%). Kuinka paljon tulee ulkoilman lämpötilan nousta, jotta rakenteeseen syntyy homeen kasvulle suotuisat olosuhteet? Ulkolämpötilalla 29 °C (RH 75%) homeenkasvun alkaminen tarvitsee 16 vuorokauden yhtäjaksoisen keston, joka ei toteudu todellisuudessa. Ulkolämpötilan ollessa välillä 25..29 °C, aika on vieläkin pidempi. Suotuisat olosuhteet eivät toteudu.

#### **Esimerkki 5:**

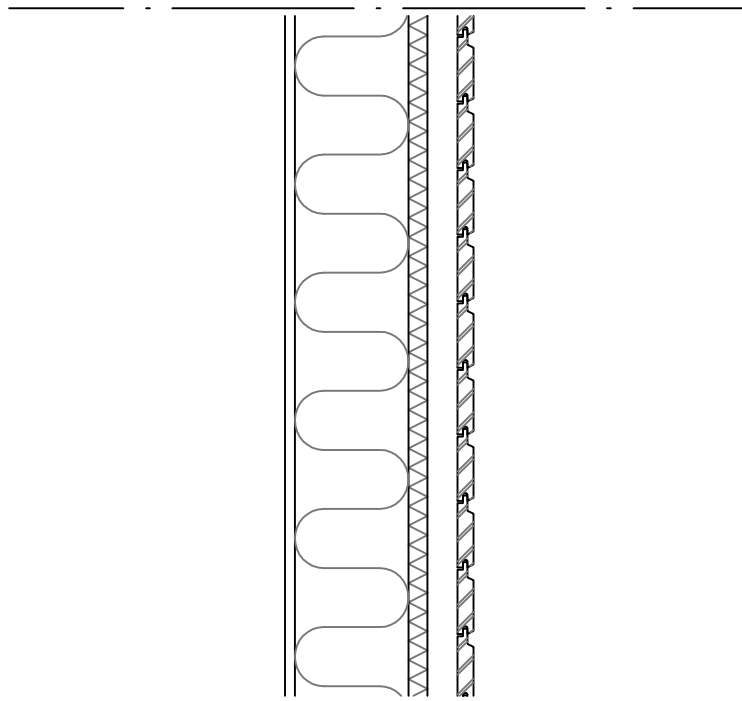
Jatketaan esimerkin 4 tarkastelua yli 29 °C. Ilman suhteellinen kosteus ei ole huippuhellejaksoilla yhtä korkea. Alennetaan ulkoilman suhteellisen kosteuden arvo 70 prosenttiin, joka vastaa 30 °C lämpötilassa esimerkin 4 ulkoilmaolosuhteiden vesihöyryn osapaineen suuruusluokkaa (n. 3000 Pa) . Ulkoilman lämpötilalla 31 °C homeenkasvun alkamisen tarvitsema aika on lähes 2 viikkoa. Huippuhellejaksojen pisin koskaan mitattu kesto on 7 vuorokautta. Homeriskiä ei muodostu huippuhellejaksoilla, jotka ovat todella harvinaisia.

#### **Yhteenveto:**

Jos rakennuksen sisäilman lämpötila pidetään sopivana 23...24 °C, ei rakenteeseen synny vesihöyryn diffuusiovirran aiheuttamaa homeriskiä. Alhainen tai matala sisälämpötila voi aiheuttaa ulkoseinärakenteen homehtumisen alkamisen.

\*Sisälämpötila:  
Alhainen <20°C  
Matala 20..22°C  
Sopiva 23..24°C

|                            |                    |         |
|----------------------------|--------------------|---------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Kerrosrakenne      | Liite 3 |
| Rakennustekniikka          | Puurunkoinen seinä |         |
| Rakennesuunnittelu         | - ilmansulku       | US 13   |
| Opinnäytetyö 2011          | - selluvillaeriste |         |



1:10

#### SISÄPUOLI

|                                               |          |    |
|-----------------------------------------------|----------|----|
| 1. Sisäverhous                                | 9...13   | mm |
| 2. Ilmansulkupahvi                            | 0,3      | mm |
| 3. Puukuitueriste                             | 150..200 | mm |
| 4. Tuulensuojalevy                            | 9...25   | mm |
| 5. Tuuletusväli                               | 20...40  | mm |
| 6. Ulkoverhous ( esim. puu- tai tiiliverhous) |          | mm |

#### ULKOPUOLI

U-arvo 0,16...0,23 W/m²K

|                            |                                                        |       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset          | 2(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 13 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                        |       |

## SISÄLTÖ

1. Rakennekerrokset
2. Olosuhteet
3. Pintavastukset
4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli
5. Tulokset

|                            |                                                       |  |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|--|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         |  | 3(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskel- |  | US 13 |
| Opinnäytetyö 2011          | ma                                                    |  |       |

1. Rakennekerrokset

</

|                            |                                                        |       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset          | 4(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 13 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                        |       |

#### 4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli

\*  $x=0$  rakenteen sisäpinnassa, positiivinen suunta ulospäin

|                    | $x$    | $R_x$ | $T_x$              | $Z_{px}$ | $p_{vx}$ | $p_{kx}$ | $\phi_x$ | Huom. | $t_m$ |
|--------------------|--------|-------|--------------------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|
| Sisäilma           | -1     | -     | 24,0               | -        | 1342,43  | 2990,21  | 0,45     |       |       |
| Pintavastus        | 0      | 0,13  | 24,1               | 0        | 1342,43  | 3000,91  | 0,45     |       |       |
| Kipsilevy          | 0,013  | 0,20  | 24,1               | 6,67E+08 | 1499,36  | 3006,87  | 0,50     |       |       |
| Ilmansulkupahvi    | 0,0133 | 0,20  | 24,1               | 3,87E+09 | 2252,61  | 3006,87  | 0,75     |       |       |
| Selluvillaeriste 1 | 0,0233 | 0,47  | 24,2               | 3,92E+09 | 2264,68  | 3028,67  | 0,75     |       |       |
| Selluvillaeriste 2 | 0,0933 | 2,31  | 25,1               | 4,28E+09 | 2349,18  | 3185,16  | 0,74     |       |       |
| Selluvillaeriste 3 | 0,1633 | 4,15  | 25,9               | 4,64E+09 | 2433,67  | 3348,65  | 0,73     |       |       |
| Huok. Tuulensuoja  | 0,1723 | 4,33  | 26,0               | 5,01E+09 | 2520,59  | 3365,01  | 0,75     |       |       |
| Tuuletusväli       | 0,2123 |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| Ulkoverhouslauta   | 0,2343 |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| -                  |        |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| -                  |        |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| Pintavastus        |        | 0,04  | 26,0               |          |          |          |          |       |       |
| Ulkoilma           |        | 4,37  | 26,0               | 5,01E+09 | 2520,59  | 3368,66  | 0,75     |       |       |
| Rakenteen U-arvo:  | U=     | 0,229 | W/m <sup>2</sup> K |          |          |          |          |       |       |

[t<sub>m</sub>]= päivä

$\Sigma Z_p =$

5,005E+09

|                            |                                                        |       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset          | 5(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 13 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                        |       |

## 5. Tulokset

### Esimerkki 1:

Sisälämpötila on alhainen (20 °C) ja suhteellinen kosteus 45%. Ulkolämpötila on 24 °C ja suhteellinen kosteus 75%. Ilmansulun ulkopinnassa suhteellinen kosteus nousee 83 prosenttiin ja kerroksen lämpötila on 20,2 °C. Homeenkasvu alkaisi n. 90 vuorokauden kuluttua, mutta olosuhteiden todellinen kesto on lyhyempi. Rakenteeseen ei synny homeriskiä.

### Esimerkki 2:

Kuinka paljon pitää ulkolämpötilan nousta, että homeenkasvulle suotuisat todelliset olosuhteet syntyvät? Ulkoilman lämpötilalla 28 °C ja korkealla suhteellisella kosteudella 75%, nousee rakenteen korkein kosteus tiivistymispisteeseen. Homeenkasvun alkaminen kestäisi n. viikon

### Esimerkki 3:

Muutetaan esimerkin 2 suhteellista kosteutta vastaamaan tarkemmin todellisia korkean lämpötilan oloja. Suhteellinen kosteus ulkona on 65% ja lämpötila edelleen 28 °C. Ilmansulun ulkopinnan suhteellinen kosteus alenee 89 prosenttiin ja homeenkasvun tarvitsema aika pitenee 33 vuorokauteen.

### Esimerkki 4:

Nostetaan esimerkin 2 sisälämpötila sopivaksi 24 °C. Olosuhteet säilyvät muuten samoina. Ilmansulun ulkopinnassa suhteellinen kosteus alenee 83 prosenttiin ja homeenkasvun tarvitsema aika pitenee 86 vuorokauteen.

### Esimerkki 5:

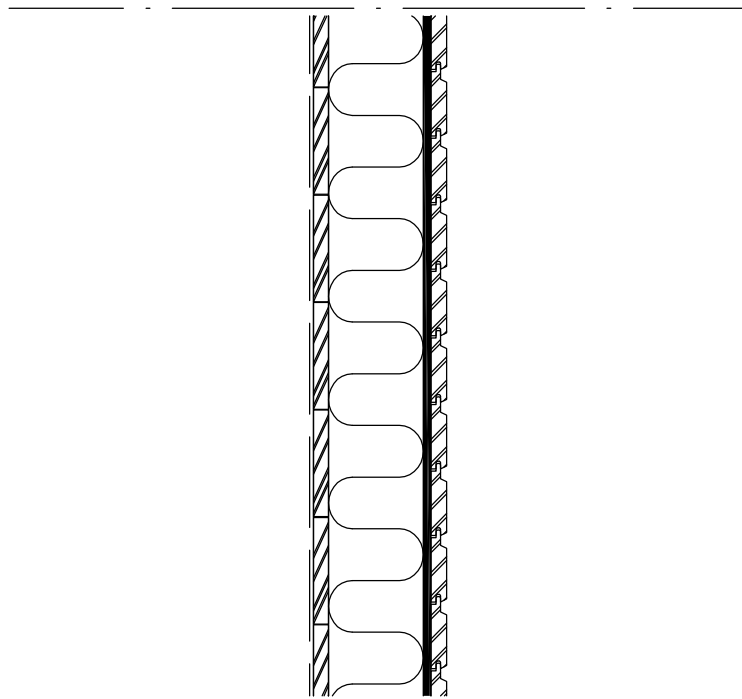
Sisäilman olosuhteet pidetään sopivana, lämpötila on 24 °C ja suhteellinen kosteus 45%. Kuinka korkeaksi tulee ulkolämpötilan nousta, jotta todellinen homeriski syntyisi? Ulkoilman suhteellinen kosteus on korkea 70%. Ulkolämpötilalla 32 °C homeenkasvun alkamisen tarvitsema aika on n. kaksi viikkoa. Huippuhellejakson pisin koskaan mitattu kesto on 7 vuorokautta. Korkealla ulkolämpötilalla ei synny homeenkasvulle suotuisia olosuhteita, jos sisälämpötila pidetään sopivana.

### Yhteenveto:

Jos sisälämpötila pidetään sopivana 23..24 °C, ei rakenteeseen synny vesihöyryn diffuusiovirran aiheuttamaa homeriskiä. Vaikka sisälämpötila olisi alhainen homeriski on silti epätodennäköinen.

\*Sisälämpötila:  
Alhainen <20°C  
Matala 20..22°C  
Sopiva 23..24°C

|                            |                    |         |
|----------------------------|--------------------|---------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Kerrosrakenne      | Liite 4 |
| Rakennustekniikka          | Puurunkoinen seinä |         |
| Rakennesuunnittelu         | - ilmansulku       | US 14   |
| Opinnäytetyö 2011          | - Purueriste       |         |



1:10

#### SISÄPUOLI

|                           |           |    |
|---------------------------|-----------|----|
| 1. Sisäpinta              |           | mm |
| 2. Sisälaudoitus 45°      | 15..20    | mm |
| 3. Ilmansulkupahvi        | 0,3       | mm |
| 4. Sahanpuru, Kursonlastu | 100...125 | mm |
| 5. Vuoraushuopa           | n.10      | mm |
| 6. Ulkolaudoitus          | 20...30   | mm |

#### ULKOPUOLI

U-arvo n. 1,0 W/m²K

|                            |                                                        |       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset          | 2(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 13 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                        |       |

## SISÄLTÖ

1. Rakennekerrokset
2. Olosuhteet
3. Pintavastukset
4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli
5. Tulokset

|                                                                                                                        |                                                       |                          |                                  |     |                |                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----|----------------|-----------------------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu                                                                                             | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         |                          | 3(5)                             |     |                |                       |
| Rakennustekniikka                                                                                                      | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |                          |                                  |     |                |                       |
| Rakennesuunnittelu                                                                                                     | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskel- |                          | US 13                            |     |                |                       |
| Opinnäytetyö 2011                                                                                                      | ma                                                    |                          |                                  |     |                |                       |
| 1. Rakennekerrokset                                                                                                    |                                                       |                          |                                  |     |                |                       |
| * " Monitorointipisteitä voidaan lisätä tarkastelemalla yksittäistä kerrosta useammassa osassa. Esim. 100mm=(50+50)mm" |                                                       |                          |                                  |     |                |                       |
|                                                                                                                        | d                                                     | λ                        | Z <sub>p</sub> · 10 <sup>9</sup> | μ   | S <sub>d</sub> |                       |
| 1 Sisälaudoitus                                                                                                        | 0,02                                                  | 0,13                     | 5,1                              | 50  |                | [d]=m                 |
| 2 Rakennuspaperi                                                                                                       | 0,0003                                                | 1000000,00               | 3,2                              |     |                | [λ]=mK/W              |
| 3 Kursonlastueriste 1                                                                                                  | 0,005                                                 | 0,55                     | 0,1                              | 2,5 |                |                       |
| 4 Kursonlastueriste 2                                                                                                  | 0,06                                                  | 0,55                     | 0,8                              | 2,5 |                | [Z <sub>p</sub> =     |
| 5 Kursonlastueriste 3                                                                                                  | 0,06                                                  | 0,55                     | 0,8                              | 2,5 |                | m <sup>2</sup> sPa/kg |
| 6 Vuoraushuopa                                                                                                         | 0,01                                                  | 0,05                     | 1,1                              | 8   |                |                       |
| 7 Ulkolaudoitus                                                                                                        | 0,03                                                  | 0,13                     | 7,7                              | 50  |                | [S <sub>d</sub> =m    |
| 8 -                                                                                                                    |                                                       |                          |                                  |     |                |                       |
| 9 -                                                                                                                    |                                                       |                          |                                  |     |                |                       |
| 10 -                                                                                                                   |                                                       |                          |                                  |     |                |                       |
| yhteensä                                                                                                               | 0,1853                                                |                          | 18,7                             |     |                |                       |
| 2. Olosuhteet                                                                                                          |                                                       |                          |                                  |     |                |                       |
| Sisällä:                                                                                                               | T <sub>sisä</sub> = 20 °C                             | φ <sub>sisä</sub> = 0,45 | p <sub>v, sisä</sub> = 1051,86   |     |                | ΔT= 10                |
| Ulkona:                                                                                                                | T <sub>ulko</sub> = 30 °C                             | φ <sub>ulko</sub> = 0,7  | p <sub>v, ulko</sub> = 2969,86   |     |                | Δp=                   |
|                                                                                                                        |                                                       |                          |                                  |     |                | 1918,00               |
| *diffuusiovirran suunta: Ulkoa sisäänpäin                                                                              |                                                       |                          |                                  |     |                |                       |
| 3. Pintavastukset                                                                                                      |                                                       |                          |                                  |     |                |                       |
| Sisäpinta:                                                                                                             | R <sub>si</sub> = 0,13                                |                          |                                  |     |                |                       |
| Ulkopinta                                                                                                              | R <sub>se</sub> = 0,04                                |                          |                                  |     |                |                       |

|                            |                                                        |       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset          | 4(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 13 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                        |       |

#### 4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli

\*  $x=0$  rakenteen sisäpinnassa, positiivinen suunta ulospäin

|                     | $x$    | $R_x$ | $T_x$              | $Z_{px}$ | $p_{vx}$ | $p_{kx}$ | $\phi_x$ | Huom. | $t_m$ |
|---------------------|--------|-------|--------------------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|
| Sisäilma            | -1     | -     | 20,0               | -        | 1051,86  | 2343,05  | 0,45     |       |       |
| Pintavastus         | 0      | 0,13  | 21,3               | 0        | 1051,86  | 2542,16  | 0,41     |       |       |
| Sisälaudoitus       | 0,02   | 0,28  | 22,9               | 5,13E+09 | 1577,19  | 2796,77  | 0,56     |       |       |
| Rakennuspaperi      | 0,0203 | 0,28  | 22,9               | 8,33E+09 | 1905,00  | 2796,77  | 0,68     |       |       |
| Kursonlastueriste 1 | 0,0253 | 0,29  | 23,0               | 8,39E+09 | 1911,57  | 2812,49  | 0,68     |       |       |
| Kursonlastueriste 2 | 0,0853 | 0,40  | 24,1               | 9,16E+09 | 1990,37  | 3007,21  | 0,66     |       |       |
| Kursonlastueriste 3 | 0,1453 | 0,51  | 25,2               | 9,93E+09 | 2069,17  | 3213,59  | 0,64     |       |       |
| Vuoraushuopa        | 0,1553 | 0,71  | 27,2               | 1,10E+10 | 2181,86  | 3624,20  | 0,60     |       |       |
| Ulkolaudoitus       | 0,1853 | 0,94  | 29,6               | 1,87E+10 | 2969,86  | 4154,08  | 0,71     |       |       |
| -                   |        |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| -                   |        |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| -                   |        |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| Pintavastus         |        | 0,04  | 30,0               |          |          |          |          |       |       |
| Ulkoilma            |        | 0,98  | 30,0               | 1,87E+10 | 2969,86  | 4252,47  | 0,70     |       |       |
| Rakenteen U-arvo:   | U=     | 1,018 | W/m <sup>2</sup> K |          |          |          |          |       |       |

[t<sub>m</sub>]= päivä

$\Sigma Z_p =$

1,872E+10

|                            |                                                        |       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset          | 5(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Puurunkoisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 13 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                        |       |

## 5. Tulokset

### Esimerkki 1:

Sisälämpötila on alhainen (20 °C) ja suhteellinen kosteus 45%. Ulkolämpötila on 30 °C ja suhteellinen kosteus 70%. Rakenteen vesihöyrynläpäisevyys on niin hyvä, ettei rakenteen suhteellinen kosteus nouse diffuusion vaikutuksesta.

### Yhteenveto:

Rakenteeseen ei synny diffuusiovirran aiheuttamaan homeriskiä jäähdytyskaudella.

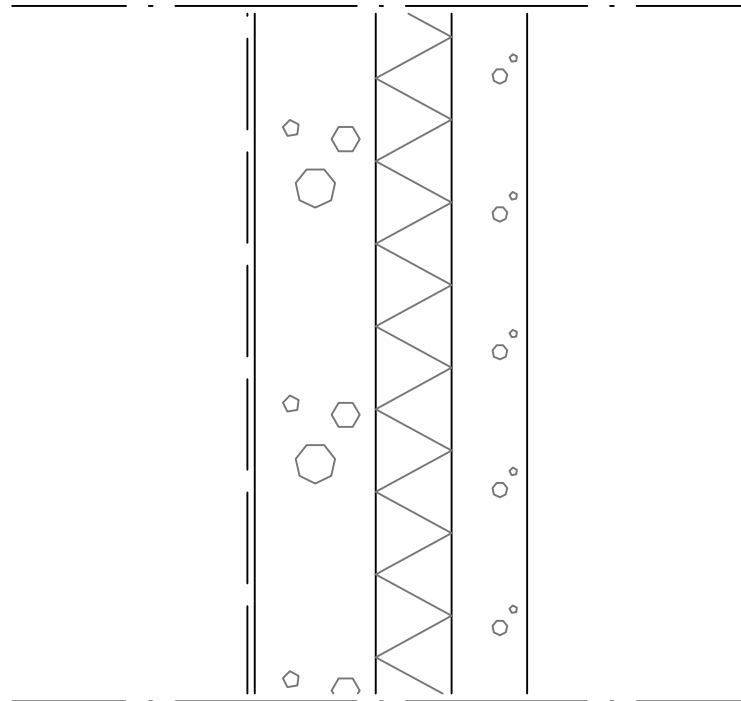
\*Sisälämpötila:

Alhainen <20°C

Matala 20..22°C

Sopiva 23..24°C

|                            |                        |         |
|----------------------------|------------------------|---------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Kerrosrakenne          | Liite 5 |
| Rakennustekniikka          | Betoni sandwich        |         |
| Rakennesuunnittelu         | - tuulettumaton        | US 21   |
| Opinnäytetyö 2011          | - mineraalivillaeriste |         |



1:10

#### SISÄPUOLI

|                       |           |    |
|-----------------------|-----------|----|
| 1. Sisäpintäkäsittely |           | mm |
| 2. Betoni             | 100...160 | mm |
| 3. Mineraalivilla     | 100...150 | mm |
| 4. Betoni             | 60...100  | mm |
| 5. Ulkopintäkäsittely |           | mm |

#### ULKOPUOLI

U-arvo 0,22...0,36 W/m²K

|                            |                                                          |       |
|----------------------------|----------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset            | 2(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen    |       |
| Rakennesuunnittelu         | Betoni sandwich ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskel- | US 21 |
| Opinnäytetyö 2011          | ma                                                       |       |

## SISÄLTÖ

1. Rakennekerrokset
2. Olosuhteet
3. Pintavastukset
4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli
5. Tulokset

|                            |                                                          |       |
|----------------------------|----------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset            | 3(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen    |       |
| Rakennesuunnittelu         | Betoni sandwich ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskel- | US 21 |
| Opinnäytetyö 2011          | ma                                                       |       |

1. Rakennekerrokset

|                            |                                                          |       |
|----------------------------|----------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset            | 4(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen    |       |
| Rakennesuunnittelu         | Betoni sandwich ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskel- | US 21 |
| Opinnäytetyö 2011          | ma                                                       |       |

4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli

\*  $x=0$  rakenteen sisäpinnassa, positiivinen suunta ulospäin

|                       | $x$  | $R_x$ | $T_x$ | $Z_{px}$ | $p_{vx}$ | $p_{kx}$ | $\phi_x$ | Huom.               | $t_m$ |
|-----------------------|------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|---------------------|-------|
| Sisäilma              | -1   | -     | 20,0  | -        | 1051,86  | 2343,05  | 0,45     |                     |       |
| Pintavastus           | 0    | 0,13  | 20,3  | 0        | 1051,86  | 2387,68  | 0,44     |                     |       |
| Kiiltäväpintainen maa | 0    | 0,13  | 20,3  | 1,54E+10 | 1205,33  | 2387,68  | 0,50     |                     |       |
| Betoni 1, 2400 kg/m3  | 0,08 | 0,17  | 20,4  | 6,87E+10 | 1737,37  | 2401,56  | 0,72     |                     |       |
| Betoni 2, 2400 kg/m3  | 0,16 | 0,21  | 20,5  | 1,22E+11 | 2269,41  | 2415,51  | 0,94     | $t > 20$ , RH > 0,8 | 16    |
| Mineraalivilla 1      | 0,21 | 1,56  | 23,7  | 1,22E+11 | 2271,97  | 2923,56  | 0,78     |                     |       |
| Mineraalivilla 2      | 0,26 | 2,91  | 26,8  | 1,23E+11 | 2274,52  | 3530,51  | 0,64     |                     |       |
| Betoni, 2400 kg/m3    | 0,32 | 2,94  | 26,9  | 1,63E+11 | 2673,55  | 3545,14  | 0,75     |                     |       |
| -                     |      |       |       |          |          |          |          |                     |       |
| -                     |      |       |       |          |          |          |          |                     |       |
| -                     |      |       |       |          |          |          |          |                     |       |
| -                     |      |       |       |          |          |          |          |                     |       |
| Pintavastus           |      | 0,04  | 27,0  |          |          |          |          |                     |       |
| Ulkoilma              |      | 2,98  | 27,0  | 1,63E+11 | 2673,55  | 3573,06  | 0,75     |                     |       |
| Rakenteen U-arvo:     | U=   | 0,335 | W/m²K |          |          |          |          |                     |       |

[t<sub>m</sub>]= päivä

$\sum Z_p=$   
1,626E+11

[ $t_m$ ]= päivä

$\sum Z_p =$

1,626E+11

|                            |                                                          |       |
|----------------------------|----------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset            | 5(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen    |       |
| Rakennesuunnittelu         | Betoni sandwich ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskel- | US 21 |
| Opinnäytetyö 2011          | ma                                                       |       |

## 5. Tulokset

### Esimerkki 1:

Sisälämpötila on alhainen 20°C ja suhteellinen kosteus 45%. Ulkoilman lämpötila on 25°C

ja suhteellinen kosteus korkea 75%. Betonisen sisäkuoren ulkopinnassa rakenteen suhteellinen kosteus on 81% ja lämpötila 20,3°C. Homeenkasvun alkaisi 117 vuorokauden olosuhdekeston jälkeen. Olosuhteet eivät toteudu todellisuudessa.

### Esimerkki 2:

Sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus ovat kuten esimerkissä 1. Ulkoilman lämpötila on 27°C ja suhteellinen kosteus 75%. Homeenkasvun alkamisen tarvitsema aika on tällöin n. 16 vuorokautta. Kahden viikon hellejaksot ovat harvinaisia, joten rakenteeseen ei synny todellista home-riskiä.

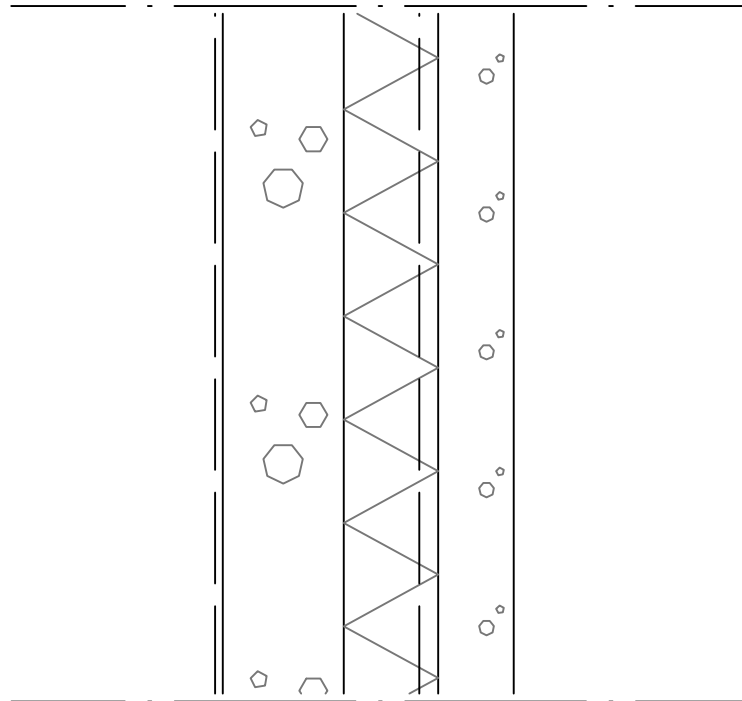
### Esimerkki 3:

Nostetaan ulkoilman olosuhteet huippuhellelukemiin: lämpötila 28...32°C, suhteellinen kosteus 65%. Ulkolämpötilan noustessa 30°C alkaa rakenteeseen tiivistyä kosteutta (RH 100%). Homeenkasvu alkaisi tällöin n. viikon kuluttua. Huippuhellejaksot ovat erittäin harvinaisia, joten todellista home-riskiä ei synny rakenteeseen. Sisälämpötilan nostolla sopivaksi, aika nousee 92 vuorokauteen ja home-riski poistuu kokonaan.

### Yhteenveto:

Sisälämpötilan ollessa sopiva (24°C), ei rakenteeseen synny home-riskiä. Alhaisellakin sisälämpötilalla (20°C) home-riski on erittäin epätodennäköinen.

|                            |                        |         |
|----------------------------|------------------------|---------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Kerrosrakenne          | Liite 6 |
| Rakennustekniikka          | Betoni sandwich        |         |
| Rakennesuunnittelu         | - tuulettuva           | US 22   |
| Opinnäytetyö 2011          | - mineraalivillaeriste |         |



1:10

#### SISÄPUOLI

|                       |           |    |
|-----------------------|-----------|----|
| 1. Sisäpintäkäsittely |           | mm |
| 2. Betoni             | 100...160 | mm |
| 3. Mineraalivilla     | 100...200 | mm |
| 4. Tuuletusuritus     | 20..25    | mm |
| 5. Betoni             | 60...100  | mm |
| 6. Ulkopintäkäsittely |           |    |

#### ULKOPUOLI

U-arvo 0,16...0,34 W/m²K

|                            |                                                          |       |
|----------------------------|----------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset            | 2(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen    |       |
| Rakennesuunnittelu         | Betoni sandwich ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskel- | US 22 |
| Opinnäytetyö 2011          | ma                                                       |       |

## SISÄLTÖ

1. Rakennekerrokset
2. Olosuhteet
3. Pintavastukset
4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli
5. Tulokset

|                            |                                                          |       |
|----------------------------|----------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset            | 3(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen    |       |
| Rakennesuunnittelu         | Betoni sandwich ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskel- | US 22 |
| Opinnäytetyö 2011          | ma                                                       |       |

1. Rakennekerrokset

\* " Monitorointipisteitä voidaan lisätä tarkastelemalla yksittäistä kerrosta useammassa osassa. Esim. 100mm=(50+50)mm"

|                                    | d    | λ          | Z <sub>p</sub> · 10 <sup>9</sup> | μ   | S <sub>d</sub> |                       |
|------------------------------------|------|------------|----------------------------------|-----|----------------|-----------------------|
| 1 Kiiltävä maali                   | 0    | 1000000000 | 15,4                             |     | 3              | [d]=m                 |
| 2 Betoni 1, 2400 kg/m <sup>3</sup> | 0,08 | 2,00       | 53,3                             | 130 |                | [λ]=mK/W              |
| 3 Betoni 2, 2400 kg/m <sup>3</sup> | 0,08 | 2          | 53,3                             | 130 |                |                       |
| 4 Mineraalivilla 1                 | 0,1  | 0,033      | 0,5                              | 1   |                | [Z <sub>p</sub> =     |
| 5 Mineraalivilla 2                 | 0,1  | 0,033      | 0,5                              | 1   |                | m <sup>2</sup> sPa/kg |
| 6 Tuuletusväli                     | 0,04 |            |                                  |     |                |                       |
| 7 -                                |      |            |                                  |     |                | [S <sub>d</sub> =m    |
| 8 -                                |      |            |                                  |     |                |                       |
| 9 -                                |      |            |                                  |     |                |                       |
| 10 -                               |      |            |                                  |     |                |                       |
| yhteensä                           | 0,4  |            | 123,1                            |     |                |                       |

2. Olosuhteet

Sisällä: T<sub>sisä</sub> = 24 °C ϕ<sub>sisä</sub> = 0,45 p<sub>v, sisä</sub> = 1342,43 ΔT= 4

Ulkona: T<sub>ulko</sub> = 28 °C ϕ<sub>ulko</sub> = 0,75 p<sub>v, ulko</sub> = 2834,54 Δp= 1492,11

\*diffuusiovirran suunta: Ulkoa sisäänpäin

3. Pintavastukset

Sisäpinta: R<sub>si</sub>= 0,13

Ulkopinta R<sub>se</sub>= 0,04

|                            |                                                          |  |  |  |  |  |  |       |
|----------------------------|----------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset            |  |  |  |  |  |  | 4(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen    |  |  |  |  |  |  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Betoni sandwich ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskel- |  |  |  |  |  |  | US 22 |
| Opinnäytetyö 2011          | ma                                                       |  |  |  |  |  |  |       |

4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli

\*  $x=0$  rakenteen sisäpinnassa, positiivinen suunta ulospäin

|                      | $x$  | $R_x$ | $T_x$ | $Z_{px}$ | $p_{vx}$ | $p_{kx}$ | $\phi_x$ | Huom.          | $t_m$ |
|----------------------|------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------------|-------|
| Sisäilma             | -1   | -     | 24,0  | -        | 1342,43  | 2990,21  | 0,45     |                |       |
| Pintavastus          | 0    | 0,13  | 24,1  | 0        | 1342,43  | 3005,04  | 0,45     |                |       |
| Kiiltävä maali       | 0    | 0,13  | 24,1  | 1,54E+10 | 1528,94  | 3005,04  | 0,51     |                |       |
| Betoni 1, 2400 kg/m3 | 0,08 | 0,17  | 24,1  | 6,87E+10 | 2175,52  | 3009,61  | 0,72     |                |       |
| Betoni 2, 2400 kg/m3 | 0,16 | 0,21  | 24,1  | 1,22E+11 | 2822,11  | 3014,19  | 0,94     | t>20, RH > 0,8 | 15    |
| Mineraalivilla 1     | 0,26 | 3,24  | 26,1  | 1,23E+11 | 2828,32  | 3371,51  | 0,84     | t>20, RH > 0,8 | 65    |
| Mineraalivilla 2     | 0,36 | 6,27  | 28,0  | 1,23E+11 | 2834,54  | 3773,81  | 0,75     |                |       |
| Tuuletusväli         | 0,4  |       |       |          |          |          |          |                |       |
| -                    |      |       |       |          |          |          |          |                |       |
| -                    |      |       |       |          |          |          |          |                |       |
| -                    |      |       |       |          |          |          |          |                |       |
| -                    |      |       |       |          |          |          |          |                |       |
| Pintavastus          |      | 0,04  | 28,0  |          |          |          |          |                |       |
| Ulkoilma             |      | 6,31  | 28,0  | 1,23E+11 | 2834,54  | 3788,18  | 0,75     |                |       |
| Rakenteen U-arvo:    | U=   | 0,158 | W/m²K |          |          |          |          |                |       |

[t<sub>m</sub>]= päivä

$\sum Z_p=$

1,231E+11

[t<sub>m</sub>]= päivä

$\Sigma Z_p =$

1,231E+11

|                            |                                                          |       |
|----------------------------|----------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset            | 5(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen    |       |
| Rakennesuunnittelu         | Betoni sandwich ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskel- | US 22 |
| Opinnäytetyö 2011          | ma                                                       |       |

## 5. Tulokset

### Esimerkki 1:

Sisälämpötila on alhainen 20°C ja suhteellinen kosteus 45%. Ulkoilman lämpötila on 25°C ja suhteellinen kosteus 75%. Betonisen sisäkuoren ulkopinnassa rakenteen suhteellinen kosteus nousee 100% eli vesihöyry alkaa tiivistyä vedeksi. Lämpötila on rakenteen kohdassa 20,2°C. Homeenkasvun alkamisen tarvitsema aika on tällöin n. viikko. Alhaisella sisälämpötilalla rakenteeseen syntyy homeriski.

### Esimerkki 2:

Nostetaan sisälämpötila sopivaksi 24°C asteeseen olosuhteiden säilyessä muuten samoina kuin esimerkissä 1. Betonisen sisäkuoren ulkopinnassa rakenteen suhteellinen kosteus laskee alle 80%, mikä tarkoittaa ettei olosuhteet homeenkasvulle toteudu.

### Esimerkki 3:

Kuinka korkeaksi voi ulkolämpötila nousta, kun sisäilman lämpötila on 24°C ja suhteellinen kosteus 45%, ettei rakenteeseen synny homeriskiä? Ulkoilman suhteellinen kosteus on 75%. Ulkolämpötilan ollessa 28°C rakenteen kriittisen pinnan homeenkasvun alkaminen tarvitsisi n. 15 vuorokautta. Hellejaksot harvoin kestävät viikkoa pidempään. Homeriski ei ole todellinen.

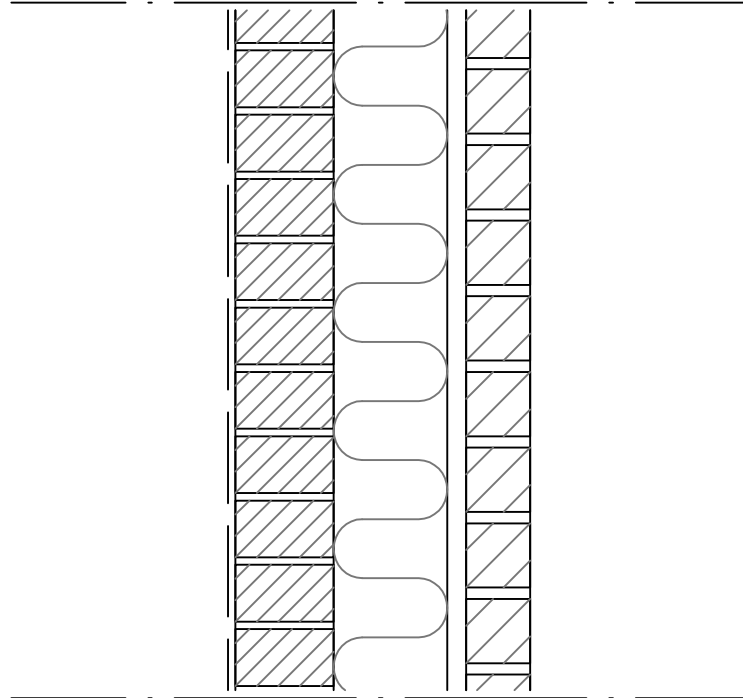
### Esimerkki 4:

Sisälämpötila on 24°C ja suhteellinen kosteus 45%. Ulkolämpötila on huippuhellelukemissa 28...32°C. Ulkoilman suhteellinen kosteus on 65%. Ulkolämpötilan ollessa 31°C homeenkasvun tarvitsee alkaakseen n. 11 vuorokautta: homeriski ei ole todellinen. Ulkolämpötilan ollessa 32°C rakenteeseen alkaa tiivistyä vettä ja homeenkasvun tarvitsee alkaakseen n. viikon. Huippuhellejaksot toistuvat erittäin harvoin ja ovat yleensä kestoltaan 4 vuorokautta: homeriski ei ole todellinen.

### Yhteenveto:

Jos sisälämpötila pidetään jäähdytyskaudella sopivana, ei rakenteeseen synny vesihöyryn diffuusion aiheuttamaa homeriskiä.

|                            |                        |         |
|----------------------------|------------------------|---------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Kerrosrakenne          | Liite 7 |
| Rakennustekniikka          | Tiiliseinä             |         |
| Rakennesuunnittelu         | - tuulettuva           | US 23   |
| Opinnäytetyö 2011          | - mineraalivillaeriste |         |



1:10

#### SISÄPUOLI

|                       |           |    |
|-----------------------|-----------|----|
| 1. Sisäpintäkäsittely |           | mm |
| 2. Tiili              | 130       | mm |
| 3. Mineraalivilla     | 100...200 | mm |
| 4. Tuuletusväli       | 20..40    | mm |
| 5. Ulkoverhousstiili  | 85        | mm |

#### ULKOPUOLI

U-arvo 0,16...0,32 W/m²K

|                            |                                                         |       |
|----------------------------|---------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset           | 2(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen   |       |
| Rakennesuunnittelu         | Reikätiilisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 23 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                         |       |

## SISÄLTÖ

1. Rakennekerrokset
2. Olosuhteet
3. Pintavastukset
4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli
5. Tulokset

|                            |                                                         |  |  |  |       |
|----------------------------|---------------------------------------------------------|--|--|--|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset           |  |  |  | 3(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen   |  |  |  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Reikätiilisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma |  |  |  | US 23 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                         |  |  |  |       |

1. Rakennekerrokset

\* " Monitorointipisteitä voidaan lisätä tarkastelemalla yksittäistä kerrosta useammassa osassa. Esim. 100mm=(50+50)mm"

|                          | d     | $\lambda$  | $Z_p \cdot 10^9$ | $\mu$ | $S_d$ |                       |
|--------------------------|-------|------------|------------------|-------|-------|-----------------------|
| 1 Kiiltävä maali         | 0     | 1000000000 | 15,4             |       | 3     | [d]=m                 |
| 2 Sementtilaasti tasoite | 0,003 | 1,00       | 0,2              | 10    |       | [ $\lambda$ ]=mK/W    |
| 3 Reikätiili             | 0,13  | 0,5        | 10,7             | 16    |       |                       |
| 4 Mineraalivilla1        | 0,1   | 0,035      | 0,5              | 1     |       | [ $Z_p$ ]=            |
| 5 Mineraalivilla2        | 0,1   | 0,035      | 0,5              | 1     |       | m <sup>2</sup> sPa/kg |
| 6 Tuuletusväli           | 0,04  |            |                  |       |       |                       |
| 7 Tiiliverhous           | 0,085 |            |                  |       |       | [ $S_d$ ]=m           |
| 8 -                      |       |            |                  |       |       |                       |
| 9 -                      |       |            |                  |       |       |                       |
| 10 -                     |       |            |                  |       |       |                       |
| yhteensä                 | 0,458 |            | 27,2             |       |       |                       |

2. Olosuhteet

Sisällä:

$T_{sisä} = 24 \text{ °C}$

$\phi_{sisä} = 0,45$

$p_{v, sisä} = 1342,43$

$\Delta T = 4$

Ulkona:

$T_{ulko} = 28 \text{ °C}$

$\phi_{ulko} = 0,75$

$p_{v, ulko} = 2834,54$

$\Delta p =$   
1492,11

\*diffuusiovirran suunta:

Ulkoa sisäänpäin

3. Pintavastukset

Sisäpinta:

$R_{si} = 0,13$

Ulkopinta

$R_{se} = 0,04$

|                            |                                                         |  |  |  |  |  |  |       |
|----------------------------|---------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset           |  |  |  |  |  |  | 4(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen   |  |  |  |  |  |  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Reikätiilisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma |  |  |  |  |  |  | US 23 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                         |  |  |  |  |  |  |       |

4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli

\*  $x=0$  rakenteen sisäpinnassa, positiivinen suunta ulospäin

|                        | $x$   | $R_x$ | $T_x$ | $Z_{px}$ | $p_{vx}$ | $p_{kx}$ | $\phi_x$ | Huom.          | $t_m$ |
|------------------------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------------|-------|
| Sisäilma               | -1    | -     | 24,0  | -        | 1342,43  | 2990,21  | 0,45     |                |       |
| Pintavastus            | 0     | 0,13  | 24,1  | 0        | 1342,43  | 3005,43  | 0,45     |                |       |
| Kiiltävä maali         | 0     | 0,13  | 24,1  | 1,54E+10 | 2185,43  | 3005,43  | 0,73     |                |       |
| Sementtilaasti tasoite | 0,003 | 0,13  | 24,1  | 1,55E+10 | 2193,86  | 3005,78  | 0,73     |                |       |
| Reikätiili             | 0,133 | 0,39  | 24,3  | 2,62E+10 | 2778,34  | 3036,43  | 0,92     | t>20, RH > 0,8 | 21    |
| Mineraalivilla1        | 0,233 | 3,25  | 26,1  | 2,67E+10 | 2806,44  | 3383,68  | 0,83     | t>20, RH > 0,8 | 76    |
| Mineraalivilla2        | 0,333 | 6,11  | 28,0  | 2,72E+10 | 2834,54  | 3773,66  | 0,75     |                |       |
| Tuuletusväli           | 0,373 |       |       |          |          |          |          |                |       |
| Tiiliverhous           |       |       |       |          |          |          |          |                |       |
| -                      |       |       |       |          |          |          |          |                |       |
| -                      |       |       |       |          |          |          |          |                |       |
| -                      |       |       |       |          |          |          |          |                |       |
| Pintavastus            |       | 0,04  | 28,0  |          |          |          |          |                |       |
| Ulkoilma               |       | 6,15  | 28,0  | 2,72E+10 | 2834,54  | 3788,18  | 0,75     |                |       |

Rakenteen U-arvo:

U= 0,163 W/m²K

[t<sub>m</sub>]= päivä

$\sum Z_p=$

2,723E+10

[t<sub>m</sub>]= päivä

$\Sigma Z_p =$

2,723E+10

|                            |                                                         |       |
|----------------------------|---------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset           | 5(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen   |       |
| Rakennesuunnittelu         | Reikätiilisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 23 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                         |       |

## 5. Tulokset

### Esimerkki 1:

Sisälämpötila on alhainen 20°C ja suhteellinen kosteus 45%. Ulkoilman lämpötila on 25°C ja suhteellinen kosteus 75%. Kantavan tiilisen sisäkuoren ulkopinnassa rakenteen suhteellinen kosteus on 97% ( lähellä tiivistymispistettä) ja lämpötila on 20,3°C. Homeenkasvun alkamisen tarvitsema aika on tällöin n. 10 vuorokautta. Alhaisella sisälämpötilalla seinärakenteeseen syntyy homeriski.

### Esimerkki 2:

Nostetaan sisälämpötila sopivaksi 24°C asteeseen olosuhteiden säilyessä muuten samoina kuin esimerkissä 1. Sisäkuoren ulkopinnassa rakenteen suhteellinen kosteus laskee alle 80%, mikä tarkoittaa ettei olosuhteet homeenkasvulle toteudu.

### Esimerkki 3:

Kuinka korkeaksi voi ulkolämpötila nousta, kun sisäilman lämpötila on 24°C ja suhteellinen kosteus 45%, ettei rakenteeseen synny homeriskiä? Ulkoilman suhteellinen kosteus on 75%. Ulkolämpötilan ollessa 28°C rakenteen kriittisen pinnan homeenkasvun alkaminen tarvitsisi n. 21 vuorokautta. Hellejaksot harvoin kestävät viikkoa pidempään. Homeriski ei ole todellinen.

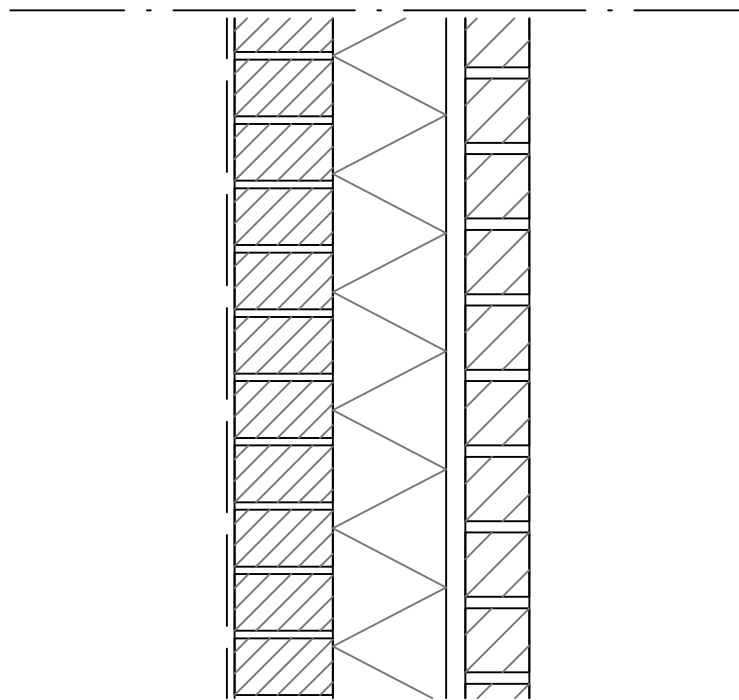
### Esimerkki 4:

Sisälämpötila on 24°C ja suhteellinen kosteus 45%. Ulkolämpötila on huippuhellelukemissa 28...32°C . Ulkoilman suhteellinen kosteus on 65%. Ulkolämpötilan ollessa 32°C homeenkasvun tarvitsee alkaakseen n. 8 vuorokautta: homeriski ei ole todellinen. Huippuhellejaksot toistuvat erittäin harvoin ja ovat yleensä kestoaltaan 4 vuorokautta: homeriski ei ole todellinen

### Yhteenveto:

Jos sisälämpötila pidetään jäähdytyskaudella sopivana, ei rakenteeseen synny vesihöyryn diffuusion aiheuttamaa homeriskiä.

|                            |               |         |
|----------------------------|---------------|---------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Kerrosrakenne | Liite 8 |
| Rakennustekniikka          | Tiilliseinä   |         |
| Rakennesuunnittelu         | - tuulettuva  | US 24   |
| Opinnäytetyö 2011          | - EPS-eriste  |         |



1:10

#### SISÄPUOLI

|                       |           |    |
|-----------------------|-----------|----|
| 1. Sisäpintäkäsittely |           | mm |
| 2. Tiili              | 130       | mm |
| 3. EPS-Eriste         | 100...150 | mm |
| 4. Tuuletusväli       | 20...40   | mm |
| 5. Ulkoverhousstiili  | 85        | mm |

#### ULKOPUOLI

U-arvo 0,23...0,34 W/m<sup>2</sup>K

|                            |                                                         |       |
|----------------------------|---------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset           | 2(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen   |       |
| Rakennesuunnittelu         | Reikätiilisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 24 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                         |       |

## SISÄLTÖ

1. Rakennekerrokset
2. Olosuhteet
3. Pintavastukset
4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli
5. Tulokset



|                            |                                                         |       |
|----------------------------|---------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset           | 4(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen   |       |
| Rakennesuunnittelu         | Reikätiilisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 24 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                         |       |

#### 4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli

\*  $x=0$  rakenteen sisäpinnassa, positiivinen suunta ulospäin

|                        | $x$   | $R_x$ | $T_x$              | $Z_{px}$ | $p_{vx}$ | $p_{kx}$ | $\phi_x$ | Huom. | $t_m$ |
|------------------------|-------|-------|--------------------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|
| Sisäilma               | -1    | -     | 20,0               | -        | 1051,86  | 2343,05  | 0,45     |       |       |
| Pintavastus            | 0     | 0,13  | 20,4               | 0        | 1051,86  | 2396,46  | 0,44     |       |       |
| Kiiltävä maali         | 0     | 0,13  | 20,4               | 1,54E+10 | 1586,38  | 2396,46  | 0,66     |       |       |
| Sementtilaasti tasoite | 0,003 | 0,13  | 20,4               | 1,55E+10 | 1591,72  | 2397,71  | 0,66     |       |       |
| Reikätiili             | 0,133 | 0,39  | 21,1               | 2,62E+10 | 1962,32  | 2507,79  | 0,78     |       |       |
| EPS-eriste 1           | 0,208 | 2,32  | 26,5               | 4,93E+10 | 2764,11  | 3460,42  | 0,80     |       |       |
| EPS-eriste 2           | 0,283 | 4,24  | 31,9               | 7,24E+10 | 3565,89  | 4724,45  | 0,75     |       |       |
| Tuuletusväli           | 0,323 |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| Tiiliverhous           |       |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| -                      |       |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| -                      |       |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| -                      |       |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| Pintavastus            |       | 0,04  | 32,0               |          |          |          |          |       |       |
| Ulkoilma               |       | 4,28  | 32,0               | 7,24E+10 | 3565,89  | 4765,44  | 0,75     |       |       |
| Rakenteen U-arvo:      | U=    | 0,234 | W/m <sup>2</sup> K |          |          |          |          |       |       |

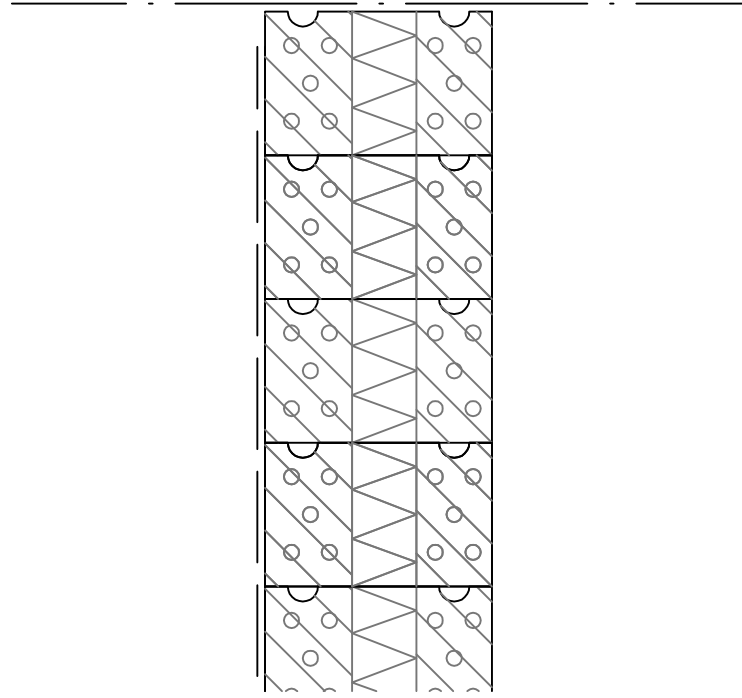
[ $t_m$ ]= päivä

$\Sigma Z_p =$

7,236E+10

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                         |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset           | 5(5)  |
| Rakennustekniikka                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen   |       |
| Rakennesuunnittelu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Reikätiilisen ulkoseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma | US 24 |
| Opinnäytetyö 2011                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                         |       |
| <p>5. Tulokset</p> <p><b>Esimerkki 1:</b></p> <p>Sisälämpötila on alhainen 20 °C ja suhteellinen kosteus 45 %. Ulkoilman lämpötila on 30 °C ja suhteellinen kosteus 75 %. Rakenteen suhteellinen kosteus on alle 80 %. Rakenteeseen ei synny homeriskiä alhaisellakaan sisälämpötilalla.</p> <p><b>Yhteenveto:</b></p> <p>Rakenteeseen ei synny homeriskiä</p> |                                                         |       |

|                            |                    |         |
|----------------------------|--------------------|---------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Kerrosrakenne      | Liite 9 |
| Rakennustekniikka          | Kevytsoharkkoseinä |         |
| Rakennesuunnittelu         | - lämpökatko       | US 25   |
| Opinnäytetyö 2011          | - PU-eriste        |         |



1:10

#### SISÄPUOLI

|                       |           |    |
|-----------------------|-----------|----|
| 1. Sisäpintäkäsittely |           | mm |
| 2. Kevytsoharkko      | 130...160 | mm |
| 3. PU-eriste          | 85...160  | mm |
| 4. Kevytsoharkko      | 80...120  | mm |
| 5. Ulkopintäkäsittely |           | mm |

#### ULKOPUOLI

U-arvo 0,13...0,36 W/m²K

|                            |                                                       |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         | 2(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |       |
| Rakennesuunnittelu         | Lämpökatkaistun harkkoulkoseinärakenteen              | US 25 |
| Opinnäytetyö 2011          | diffuusiovirtalaskelma                                |       |

## SISÄLTÖ

1. Rakennekerrokset
2. Olosuhteet
3. Pintavastukset
4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli
5. Tulokset

|                            |                                                       |  |  |  |  |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|--|--|--|--|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         |  |  |  |  | 3(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |  |  |  |  |       |
| Rakennesuunnittelu         | Lämpökatkaistun harkkoulkoseinärakenteen              |  |  |  |  | US 21 |
| Opinnäytetyö 2011          | diffuusiovirtalaskelma                                |  |  |  |  |       |

1. Rakennekerrokset

\* " Monitorointipisteitä voidaan lisätä tarkastelemalla yksittäistä kerrosta useammassa osassa. Esim. 100mm=(50+50)mm"

|                           | d     | $\lambda$  | $Z_p \cdot 10^9$ | $\mu$ | $S_d$ |                       |
|---------------------------|-------|------------|------------------|-------|-------|-----------------------|
| 1 Kiiltäväpintainen maali | 0     | 1000000000 | 15,4             |       | 3     | [d]=m                 |
| 2 Sementtitasoite         | 0,003 | 1,00       | 0,2              | 10    |       | [ $\lambda$ ]=mK/W    |
| 3 Kevytsoharkko1          | 0,13  | 0,25       | 4,0              | 6     |       |                       |
| 4 PU-Eriste               | 0,16  | 0,025      | 49,2             | 60    |       | [ $Z_p$ ]=            |
| 5 Kevytsoharkko 2         | 0,09  | 0,25       | 2,8              | 6     |       | m <sup>2</sup> sPa/kg |
| 6 Rappaus                 | 0,01  | 1,00       | 0,5              | 10    |       |                       |
| 7 -                       |       |            |                  |       |       | [ $S_d$ ]=m           |
| 8 -                       |       |            |                  |       |       |                       |
| 9 -                       |       |            |                  |       |       |                       |
| 10 -                      |       |            |                  |       |       |                       |
| yhteensä                  | 0,393 |            | 72,1             |       |       |                       |

2. Olosuhteet

Sisällä:  $T_{sisä} = 20\text{ °C}$   $\phi_{sisä} = 0,45$   $p_{v, sisä} = 1051,86$   $\Delta T = 12$

Ulkona:  $T_{ulko} = 32\text{ °C}$   $\phi_{ulko} = 0,75$   $p_{v, ulko} = 3565,89$   $\Delta p = 2514,03$

\*diffuusiovirran suunta: Ulkoa sisäänpäin

3. Pintavastukset

Sisäpinta:  $R_{si} = 0,13$

Ulkopinta  $R_{se} = 0,04$

|                            |                                                       |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         | 4(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |       |
| Rakennesuunnittelu         | Lämpökatkaistun harkkoulkoseinärakenteen              | US 25 |
| Opinnäytetyö 2011          | diffuusiovirtalaskelma                                |       |

#### 4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli

\*  $x=0$  rakenteen sisäpinnassa, positiivinen suunta ulospäin

|                       | $x$   | $R_x$ | $T_x$              | $Z_{px}$ | $p_{vx}$ | $p_{kx}$ | $\phi_x$ | Huom. | $t_m$ |
|-----------------------|-------|-------|--------------------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|
| Sisäilma              | -1    | -     | 20,0               | -        | 1051,86  | 2343,05  | 0,45     |       |       |
| Pintavastus           | 0     | 0,13  | 20,2               | 0        | 1051,86  | 2373,55  | 0,44     |       |       |
| Kiiltäväpintainen maa | 0     | 0,13  | 20,2               | 1,54E+10 | 1588,66  | 2373,55  | 0,67     |       |       |
| Sementtitasoite       | 0,003 | 0,13  | 20,2               | 1,55E+10 | 1594,03  | 2374,25  | 0,67     |       |       |
| Kevytsoharkko1        | 0,133 | 0,65  | 21,0               | 1,95E+10 | 1733,60  | 2499,78  | 0,69     |       |       |
| PU-Eriste             | 0,293 | 7,05  | 31,3               | 6,88E+10 | 3451,37  | 4580,18  | 0,75     |       |       |
| Kevytsoharkko 2       | 0,383 | 7,41  | 31,9               | 7,15E+10 | 3548,00  | 4732,95  | 0,75     |       |       |
| Rappaus               | 0,393 | 7,42  | 31,9               | 7,21E+10 | 3565,89  | 4737,26  | 0,75     |       |       |
| -                     |       |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| -                     |       |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| -                     |       |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| -                     |       |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| Pintavastus           |       | 0,04  | 32,0               |          |          |          |          |       |       |
| Ulkoilma              |       | 7,46  | 32,0               | 7,21E+10 | 3565,89  | 4765,44  | 0,75     |       |       |
| Rakenteen U-arvo:     | U=    | 0,134 | W/m <sup>2</sup> K |          |          |          |          |       |       |

[t<sub>m</sub>]= päivä

$\Sigma Z_p =$

7,205E+10

|                            |                                                       |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         | 5(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |       |
| Rakennesuunnittelu         | Lämpökatkaistun harkkoulkoseinärakenteen              | US 25 |
| Opinnäytetyö 2011          | diffuusiovirtalaskelma                                |       |

## 5. Tulokset

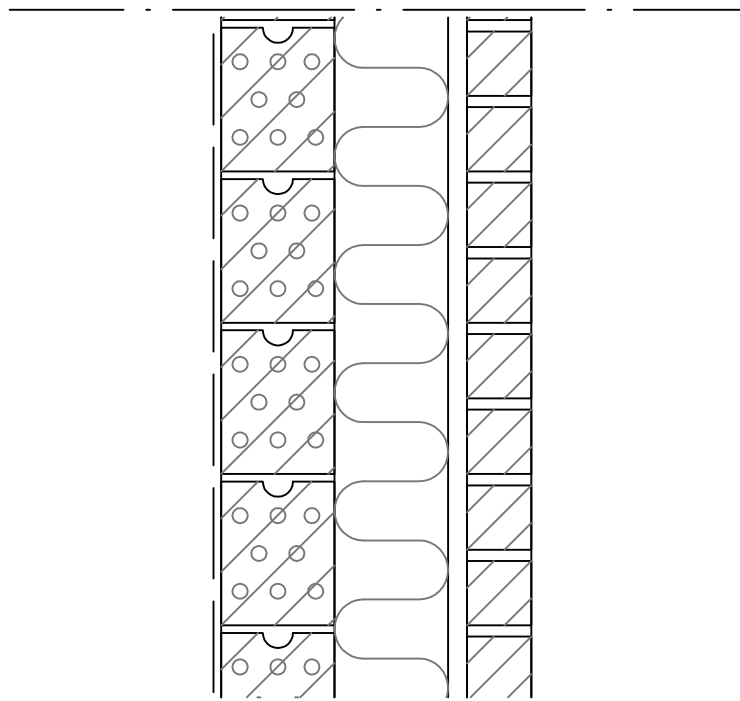
### Esimerkki 1:

Sisälämpötila on alhainen 20 °C ja suhteellinen kosteus 45%. Ulkoilmanlämpötila on 32 °C ja suhteellinen kosteus korkea 75%. Rakenteen suhteellinen kosteus on alle 80%, joten homeenkasvun tarvitsemat olosuhteet eivät toteudu.

### Yhteenveto:

Rakenteeseen ei synny home-riskiä.

|                            |                        |          |
|----------------------------|------------------------|----------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Kerrosrakenne          | Liite 10 |
| Rakennustekniikka          | Kevytsojarahkkoseinä   |          |
| Rakennesuunnittelu         | - tuulettuva           | US 26    |
| Opinnäytetyö 2011          | - mineraalivillaeriste |          |



1:10

#### SISÄPUOLI

|                       |           |    |
|-----------------------|-----------|----|
| 1. Sisäpintäkäsittely |           | mm |
| 2. Kevytsojarahkko    | 150       | mm |
| 3. Mineraalivilla     | 100...200 | mm |
| 4. Tuuletusväli       | 20...40   | mm |
| 5. Ulkoverhousiili    | 85        | mm |

#### ULKOPUOLI

U-arvo 0,16...0,28 W/m²K

|                            |                                                       |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         | 2(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |       |
| Rakennesuunnittelu         | Kevytsoraharkko ulkoseinärakenteen                    | US 26 |
| Opinnäytetyö 2011          | diffuusiovirtalaskelma                                |       |

## SISÄLTÖ

1. Rakennekerrokset
2. Olosuhteet
3. Pintavastukset
4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli
5. Tulokset

|                            |                                                       |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         | 3(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |       |
| Rakennesuunnittelu         | Kevytsoraharkko ulkoseinärakenteen                    | US 26 |
| Opinnäytetyö 2011          | diffuusiovirtalaskelma                                |       |

1. Rakennekerrokset

<

|                            |                                                       |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         | 4(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |       |
| Rakennesuunnittelu         | Kevytsojaraharkko ulkoseinärakenteen                  | US 26 |
| Opinnäytetyö 2011          | diffuusiovirtalaskelma                                |       |

#### 4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli

\*  $x=0$  rakenteen sisäpinnassa, positiivinen suunta ulospäin

|                       | $x$   | $R_x$ | $T_x$              | $Z_{px}$ | $p_{vx}$ | $p_{kx}$ | $\phi_x$ | Huom.               | $t_m$ |
|-----------------------|-------|-------|--------------------|----------|----------|----------|----------|---------------------|-------|
| Sisäilma              | -1    | -     | 24.0               | -        | 1342.43  | 2990.21  | 0.45     |                     |       |
| Pintavastus           | 0     | 0.13  | 24.1               | 0        | 1342.43  | 3014.47  | 0.45     |                     |       |
| Kiiltäväpintainen maa | 0     | 0.13  | 24.1               | 1.54E+10 | 2564.10  | 3014.47  | 0.85     | $t > 20$ , RH > 0,8 | 57    |
| Sementtitasoite       | 0.003 | 0.13  | 24.1               | 1.55E+10 | 2576.32  | 3015.03  | 0.85     | $t > 20$ , RH > 0,8 | 53    |
| Kevytsojaraharkko     | 0.153 | 0.73  | 24.8               | 2.02E+10 | 2942.82  | 3129.27  | 0.94     | $t > 20$ , RH > 0,8 | 14    |
| Mineraalivilla        | 0.303 | 4.79  | 29.0               | 2.09E+10 | 3003.90  | 3995.62  | 0.75     |                     |       |
| Tuuletusväli          | 0.343 |       |                    |          |          |          |          |                     |       |
| Ulkoverhousstiili     | 0.428 |       |                    |          |          |          |          |                     |       |
| -                     |       |       |                    |          |          |          |          |                     |       |
| -                     |       |       |                    |          |          |          |          |                     |       |
| -                     |       |       |                    |          |          |          |          |                     |       |
| -                     |       |       |                    |          |          |          |          |                     |       |
| Pintavastus           |       | 0.04  | 29.0               |          |          |          |          |                     |       |
| Ulkoilma              |       | 4.83  | 29.0               | 2.09E+10 | 3003.90  | 4014.49  | 0.75     |                     |       |
| Rakenteen U-arvo:     | U=    | 0.207 | W/m <sup>2</sup> K |          |          |          |          |                     |       |

[ $t_m$ ]= päivä

$\sum Z_p =$

2.092E+10

|                            |                                                       |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         | 5(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |       |
| Rakennesuunnittelu         | Kevytsoraharkko ulkoseinärakenteen                    | US 26 |
| Opinnäytetyö 2011          | diffuusiovirtalaskelma                                |       |

## 5. Tulokset

### Esimerkki 1:

Sisälämpötila on alhainen 20°C ja suhteellinen kosteus on 45%. Ulkolämpötila on 25°C ja suhteellinen kosteus korkea 75%. Kevytsoraharkon ulkopinnassa rakenteen suhteellinen kosteus nousee 95% lämpötilan ollessa 20,3°C. Homeenkasvu alkaa n. 2:n viikon olosuhteiden keston jälkeen. Hellejaksot harvoin kestävät kahta viikkoa. Homeriski ei ole todellinen.

### Esimerkki 2:

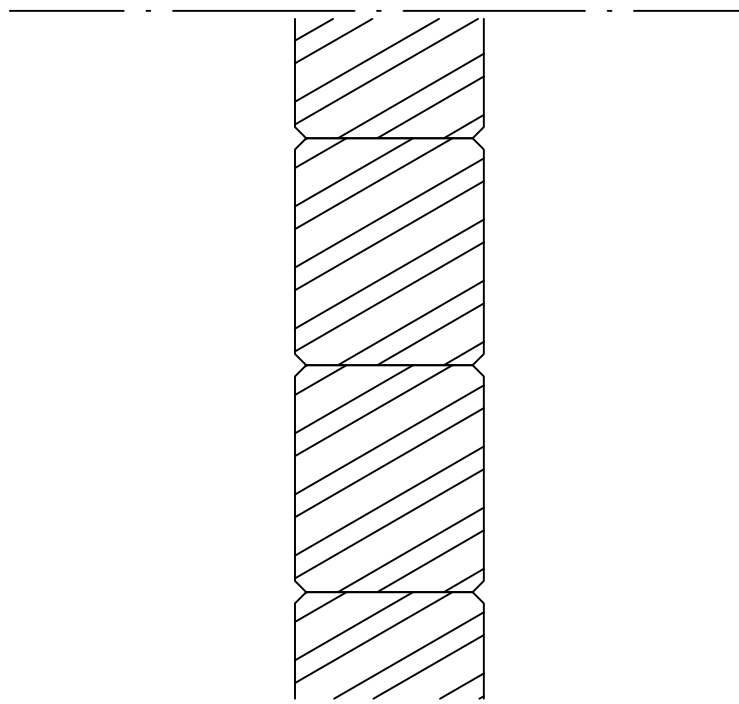
Nostetaan esimerkin 1 sisälämpötila sopivaksi 24°C. Rakenteen suhteellinen kosteus on alle 80%, homeenkasvulle otolliset olosuhteet eivät toteudu.

### Esimerkki 3:

Kuinka paljon voi ulkoilman lämpötila nousta, ettei homeenkasvua synny? Sisälämpötila 24°C ja suhteellinen kosteus 45%. Ulkoilman lämpötilan ollessa 29°C ja suhteellinen kosteus erittäin korkea 75%, homeenkasvu alkaa n. 2:n viikon kuluttua. Huippuhellejaksot ovat erittäin harvinaisia ja kestävät n. 4 vuorokautta. Rakenteeseen ei synny homeriskiä.

### Yhteenveto:

Jos sisälämpötila pidetään sopivana 24°C, ei rakenteeseen synny homeriskiä. Alhaisella sisälämpötilalla rakenteen teoreettinen homeriski suurenee, mutta on todellisuudessa epätodennäköinen.



1:10

SISÄPUOLI

Hirsi

150...400 mm

ULKOPUOLI

U-arvo 0,31...0,75 W/m²K

|                            |                                                       |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         | 2(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |       |
| Rakennesuunnittelu         | Hirsiseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma            | US 31 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                       |       |

## SISÄLTÖ

1. Rakennekerrokset
2. Olosuhteet
3. Pintavastukset
4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli
5. Tulokset

|                            |                                                       |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         | 3(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |       |
| Rakennesuunnittelu         | Hirsiseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma            | US 31 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                       |       |

1. Rakennekerrokset

|                            |                                                       |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         | 4(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |       |
| Rakennesuunnittelu         | Hirsiseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma            | US 31 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                       |       |

#### 4. Lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteen yli

\*  $x=0$  rakenteen sisäpinnassa, positiivinen suunta ulospäin

|                   | $x$  | $R_x$ | $T_x$              | $Z_{px}$ | $p_{vx}$ | $p_{kx}$ | $\phi_x$ | Huom. | $t_m$ |
|-------------------|------|-------|--------------------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|
| Sisäilma          | -1   | -     | 20.0               | -        | 1051.86  | 2343.05  | 0.45     |       |       |
| Pintavastus       | 0    | 0.13  | 20.8               | 0        | 1051.86  | 2455.74  | 0.43     |       |       |
| Hirsikerros 1     | 0.05 | 0.51  | 23.0               | 1.28E+10 | 1531.36  | 2817.38  | 0.54     |       |       |
| Hirsikerros 2     | 0.1  | 0.90  | 25.3               | 2.56E+10 | 2010.86  | 3224.68  | 0.62     |       |       |
| Hirsikerros 3     | 0.15 | 1.28  | 27.5               | 3.85E+10 | 2490.36  | 3682.40  | 0.68     |       |       |
| Hirsikerros 4     | 0.2  | 1.67  | 29.8               | 5.13E+10 | 2969.86  | 4195.68  | 0.71     |       |       |
| -                 |      |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| -                 |      |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| -                 |      |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| -                 |      |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| -                 |      |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| -                 |      |       |                    |          |          |          |          |       |       |
| Pintavastus       |      | 0.04  | 30.0               |          |          |          |          |       |       |
| Ulkoilma          |      | 1.71  | 30.0               | 5.13E+10 | 2969.86  | 4252.47  | 0.70     |       |       |
| Rakenteen U-arvo: | U=   | 0.585 | W/m <sup>2</sup> K |          |          |          |          |       |       |

[t<sub>m</sub>]= päivä

$\sum Z_p =$

5.128E+10

|                            |                                                       |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------------|-------|
| Saimaan Ammattikorkeakoulu | Asuinrakennusten jäähdytyksen kosteustekniset         | 5(5)  |
| Rakennustekniikka          | vaikutukset ulkoseinärakenteisiin ja asumisterveyteen |       |
| Rakennesuunnittelu         | Hirsiseinärakenteen diffuusiovirtalaskelma            | US 31 |
| Opinnäytetyö 2011          |                                                       |       |

## 5. Tulokset

### Esimerkki 1:

Sisälämpötila on alhainen 20 C ja suhteellinen kosteus 45%. Ulkolämpötila on 30 C ja suhteellinen kosteus 70%. Rakenteen vesihöyrynläpäisevyys on niin suuri, ettei rakenteen suhteellinen kosteus nouse diffuusion vaikutuksesta.

### Yhteenveto:

Rakenteeseen ei synny diffuusiovirran aiheuttamaa homeriskiä jäähdytyskaudella.

\*Sisälämpötila:  
Alhainen <20°C  
Matala 20..22°C  
Sopiva 23..24°C