



TEKNIikka JA LIIKENNE

Rakennustekniikka

Rakennetekniikka

INSINÖÖRITYÖ

JÄÄHALLIN RAKENTEET

**Työn tekijä: Merle Styf
Työn ohjaaja: Sami Virpiö**

Työ hyväksytty: __. __. 2009

**Hannu Hakkarainen
yliopettaja**



ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Insinööritoimisto Virpiö Oy:lle. Haluan kiittää erityisesti yrityksen toimitusjohtajaa Sami Virpiötä mielenkiintoisista opetushetkistä ja kärsivällisyydestä. Lisäksi haluan kiittää toimiston henkilökuntaa, jotka ovat olleet tukena ja kannustaneet minua matkan varrella.

Haluan kiittää myös kihlattuani Jaria kärsivällisyydestä sekä vanhempiani suuresta tuesta.

Helsingissä 30.4.2009

Merle Styf

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Merle Styf	
Työn nimi: Jäähallin rakenteet	
Päivämäärä: 30.4.2009	Sivumäärä: 58 s. + 4 liitettä
Koulutusohjelma: Rakennustekniikka	Ammatillinen suuntautuminen: Rakennesuunnittelu
Työn ohjaaja: Yliopettaja Hannu Hakkarainen	
Työn ohjaaja: Toimitusjohtaja Sami Virpiö	
<p>Tämä insinööri työ tehtiin Insinööritoimisto Virpiö Oy:lle, joka halusi varmistua Sipoon harjoitusjäähallin suunnitteluratkaisujen toimivuudesta ja kehittää yrityksessä osaamista suunnitella jäähallirakenteita erityisesti kosteus- ja lämpöfysiikan kannalta.</p> <p>Insinööri työni ensisijaisena tavoitteena oli oppia tuntemaan jäähallien rakenteiden vaatimukset ja haasteet sekä ymmärtää paremmin niiden rakennusfysikaalista toimintaa. Esi-merkkikohteena oli puurakenteinen harjoitusjäähalli, jonka vaipan rakenteiden kosteusteknistä toimintaa selvitettiin yksityiskohtaisesti. Työssä vertailtiin puu- ja metallirakenteisen vaipparakenteen toimintaa ja selvitettiin onko höyröyksen sijoituksella vaikutusta rakenteen kosteustekniseen toimintaan. Tavoitteena oli löytää myös Sipoon jäähallille rakennuksen käytönaikaiset sisäilman lämpö- ja kosteusraja-arvot rakennuksen käyttöohjeita varten.</p> <p>Rakenteiden toimivuutta tutkittiin insinööri työtä varten kehitetyllä Excel- taulukolla, jolla tutkitaan kosteuden ja lämmön jakautumaa rakenteissa. Taulukosta nähdään tiivistymisen mahdollisuuden lisäksi, mihin kohtaan rakennetta kosteutta tiivistyy diffuusion avulla sekä tiivistyvän kosteuden määrä.</p> <p>Tutkimuksen tulokset osoittivat, että Sipoon harjoitusjäähallin vaipan rakenteet toimivat melko hyvin. Ulkoseinässä ja yläpohjassa on havaittavissa kesäkautena vesihöyryn tiivistymistä, mutta vesi poistuu rakenteesta talvikautena. Muissa rakenteissa merkittävää vesihöyryn tiivistymistä ei ole havaittavissa. Laskelmien perusteella määriteltiin sisäilman lämmön ja kosteuden raja-arvot, joilla pystytään välttämään kokonaan vesihöyryn tiivistymistä rakenteissa. Vertailtaessa puu- ja metallirakenteista rakennetta laskelmien perusteella nähtiin, että metallirakenteeseen rakenteeseen vesihöyryä ei tiivisty diffuusion avulla. Vesihöyryä voi kuitenkin siirtyä ilmavirtausten avulla, jos rakenne ei ole ehjä. Mikäli kosteutta pääsee rakenteeseen, voi rakenteen kestävyys heiketä pitkällä aika välillä.</p> <p>Lopputuloksena saatiin varmistettua Sipoon jäähallin vaipparakenteiden toimivuus sekä kehitettyä Virpiö Oy:lle käyttökelpoinen Excel- taulukko vastaavanlaisia projekteja varten.</p>	
Avainsanat: jäähallit, lämpö- ja kosteustekniikka, kosteuden siirtyminen, diffuusio	

ABSTRACT

Name: Merle Styf	
Title: Structures of Indoor Ice-skating Rink	
Date: 30 April 2009	Number of pages: 58 pages + 4 appendices
Department: Civil Engineering	Study Programme: Structural Engineering
Supervisor: Hannu Hakkarainen, Principal Lecturer	
Instructor: Sami Virpiö, CEO, Virpiö Oy	
<p>This graduate study was done for Engineering office Virpiö Oy, who wanted to ensure that the planning solutions of Sipoo ice-skating rink were functional. The office was interested in developing in-house competence in ice-skating rink structures especially from the point of view of moisture and thermal physics.</p> <p>The main objective of the study was to learn the requirements and challenges of the ice-skating rink structures and improve understanding of their building physics. The subject in this study was a wooden practice ice-skating rink, the envelope structures of which were under detailed examination. The functions of wooden and metallic structures were compared and research was also conducted on whether the placing of a damp-proof course has any effect on the moisture-technical function of the structure. One objective was to find the limit values for indoor air temperature and humidity.</p> <p>The distribution of temperature and humidity in structures was analyzed with an excel tool developed for this study. The tool shows whether there is the possibility of humidity forming, where the humidity concentrates in structures and what the total amount of concentrated moisture is.</p> <p>Based on the results of this study it can be concluded that the envelope structures of Sipoo ice-skating rink function quite well. There is perceivable concentration of water vapour on outer wall and on the roof, but moisture exits from the structures during winter period. No major concentration of water vapour was perceived in other structures. Based on calculations the limit values for indoor temperature and humidity were defined, which helps to avoid the concentration of water vapour in structures. The comparison of wooden and metallic structures showed that water vapour does not concentrate onto metallic structures by diffusion.</p> <p>However, water vapour may transfer to structures via air flow if the structure is broken. If humidity gets into structures, it may deteriorate its durability in longer term. As an end result, the functionality of the envelope structure of Sipoo ice-skating rink was proofed and a useful excel tool was developed for Virpiö Oy for similar kind of projects in the future.</p>	
Keywords: ice-skating rink, thermal and moisture physics, transition of humidity, diffusion	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

LIITTEET

1	JOHDANTO	1
1.1	Insinööriyön tavoite	1
1.2	Tutkimusalueen rajaus ja muita tutkimuksessa huomioitavia asioita	2
1.3	Toteutustapa	2
2	JÄÄHALLITYYPIT	3
2.1	Jäähallin rakentaminen Suomessa	3
2.2	Hallityypit	3
3	JÄÄHALLIN RAKENNETEKNINEN SUUNNITTELU	4
3.1	Perustukset.....	4
3.2	Rungon jäykistäminen	5
3.3	Tavallisimmat runkojärjestelmät	5
3.3.1	<i>Pilarirungot</i>	5
3.3.2	<i>Kaarirungot</i>	8
3.3.3	<i>Kehärungot</i>	8
3.4	Routatekninen suunnittelu.....	9
4	JÄÄHALLIN KOSTEUSTEKNINEN SUUNNITTELU	9
4.1	Kosteuden vaikutus rakennuksen vaippaan.....	10
4.1.1	<i>Mikrobit rakennusmateriaaleissa</i>	11
4.2	Vaipparakenteet.....	12
4.2.1	<i>Seinät ja yläpohja</i>	12
4.2.2	<i>Alapohja</i>	13
4.3	Jäähallin olosuhteet	14
4.3.1	<i>Hallitilan lämpö- ja kosteusvaatimukset</i>	14
4.3.2	<i>Jäähallin rakenteiden U-arvovaatimukset</i>	16
4.3.3	<i>Ilmanvaihtovaatimukset</i>	17
4.4	Jäähallin kosteuslähteet	17
4.4.1	<i>Ulkoilman sisältämä kosteus</i>	18
4.4.2	<i>Sade</i>	18
4.4.3	<i>Jää ja jäähdytysvesi</i>	18
4.4.4	<i>Ihmiset</i>	19

4.4.5	Rakennuskosteus	19
4.4.6	Maaperäkosteus	19
5	KOSTEUS	19
5.1	Olomuodot	19
5.2	Ilman kosteus.....	21
5.2.1	Absoluuttinen ja suhteellinen kosteus	22
5.2.2	Kyllästyskosteus ja kastepiste	22
5.2.3	Suhteellinen kosteus	24
5.2.4	Kosteustasapaino	24
6	LÄMPÖ.....	25
6.1	Lämmön siirtyminen.....	25
6.1.1	Johtuminen	25
6.1.2	Säteily.....	26
6.1.3	Konvektio	26
7	LÄMMÖN JA KOSTEUDEN SIIRTYMINEN RAKENTEESSA.....	27
7.1	Lämmönläpäisykerroin U-arvon laskenta	27
7.2	Pintalämpötilat.....	28
7.3	Kosteuden siirtyminen	28
7.3.1	Diffuusio.....	29
7.3.2	Konvektio eli vesihöyryn siirtyminen ilmvirtausten mukana.....	30
7.4	Kosteuden tiivistyminen eli kondenssi	31
7.5	Tiivistymisen laskeminen rakenteessa	31
8	ESIMERKKIKOHDE	35
8.1	Sipoon harjoitusjäähalli	35
8.1.1	Yleistä.....	35
8.1.2	Rakenteet	35
8.1.3	Sipoon jäähallin kosteustekniset olosuhteet	38
8.2	Tutkimuksen toteutustapa	38
8.3	ULKOSEINÄ 1	39
8.3.1	Ulkoseinä 1, puurakenteinen.....	39
8.3.2	Tulokset	40
8.3.3	Ulkoseinä 1 ja 2, metallirakenteinen.....	41
8.3.4	Tulokset	42
8.4	Ulkoseinä 2	42
8.4.1	Ulkoseinä 2, puurakenteinen.....	43
8.4.2	Tulokset	43
8.5	YLÄPOHJA 1	44
8.5.1	Yläpohja 1, puurakenteinen.....	44
8.5.2	Tulokset	45
8.5.3	Yläpohja 1 ja 2, metallirakenteinen.....	46
8.5.4	Tulokset	46
8.6	YLÄPOHJA 2	47
8.6.1	Yläpohja 2, puurakenteinen.....	47

8.6.2	Tulokset	48
8.7	VÄLISEINÄ 1	48
8.7.1	Tulokset	49
8.8	VÄLISEINÄ 2	50
8.8.1	Tulokset	50
8.9	Alapohja 1	50
8.9.1	Tulokset	52
8.10	Alapohja 2	52
8.10.1	Tulokset	53
8.11	Välipohja 1	53
8.11.1	Tulokset	53
9	YHTEENVETO	54
	VIITELUETTELO	57

LIITTEET

Liite 1. Homesienien kasvuun tarvittavat lämpö- kosteusolosuhteet

Liite 2. Piirustuksia

Liite 3. Tietoja ulkoilmasta eri paikkakunnilla

Liite 4. Taulukot kosteuden- ja lämmönjakaumasta

1 JOHDANTO

Jäähallit ovat taloudellisesti ja teknisesti vaativia rakennuksia niin rakennus- kuin rakennetekniikan kannalta, ja asettavat haasteita rakenne-, kosteustekniseen ja ilmanvaihtosuunnitteluun. Rakenteiden kosteusongelmat ja niiden aiheuttamat vauriot ovat aiheuttaneet maassamme merkittäviä korjauskustannuksia viime vuosina. Kosteustekninen suunnittelu onkin jäähalleissa haastavin osa-alue. Lisäksi jäähallien vaatimuksia ovat pitkät jännevälit, routasuojaus sekä suuret henkilömäärät, mitkä tekevät rakennuksesta paloturvallisuuden kannalta vaativan rakennuksen.

Jäähallin olosuhteet poikkeavat suuresti normaalista rakennuksesta, sillä kyseessä on rakennus, jossa sisälämpötila on osan vuodesta alempi kuin ulkolämpötila. Jäähallissa kosteusvirran suunta vaihtelee vuoden aikana. Talvella kosteusvirta on sisältä ulospäin (kuten normaalissa rakennuksessa). Kesällä taas kosteus virtaa ulkoa sisäänpäin. Hallitsematon kosteusvirta aiheuttaa kosteuden tiivistymistä kylmään pintaan. Rakenteiden toimivuuden kannalta kosteutta ei saa tiivistyä pysyvästi rakenteisiin, koska se edesauttaa kosteusvaurioiden syntyä ja lopulta tuhoaa koko rakenteen. Rakenteiden täytyy olla toimivia vaikeissa olosuhteissa, jotta niiden vaadittu käyttöikä täyttyisi. Rakennusmateriaalin ja höyröyksen sijoituksen valinta on erityisen tärkeää rakenteiden toimivuuden kannalta. Valinnassa täytyy huomioida rakenteiden tiiveys ja käytännöllisyys sekä rakentamisen helppous. Lisäksi tulee välttää rakenteita, joissa virheiden mahdollisuus on suuri.

1.1 Insinööriyön tavoite

Tämä insinööriyö toteutettiin Insinööritoimisto Virpiö Oy:lle. Insinööriyön toimeksiantaneessa yrityksessä on menossa puurakenteisen jäähallin rakennesuunnittelutehtävä. Tavoitteena on varmistua Sipoon harjoitusjäähallin suunnitteluratkaisujen toimivuudesta ja kehittää yrityksessä osaamista suunnitella jäähallirakenteita erityisesti kosteus- ja lämpöfysiikan kannalta. Tavoitteena on myös oppia tuntemaan jäähallien rakenteiden vaatimukset ja haasteet sekä ymmärtää paremmin niiden rakennusfysikaalista toimintaa.

Tässä työssä esimerkkikohteena on Sipoon jäähalli ja tavoitteena on selvittää jäähallin vaipan rakenteiden kosteustekninen toiminta. Työssä vertaillaan puurakenteisen ja metallirakenteisen vaipparakenteen toimintaa ja selvite-

tään onko höyrysulun sijoituksella vaikutusta rakenteen kosteustekniseen toimintaan. Tavoitteena on löytää myös Sipoon jäähallille rakennuksen käytönaikaiset sisäilman lämpö- ja kosteusraja-arvot rakennuksen käyttö-ohjeita varten.

Suunnittelun tueksi rakennettiin analyysiohjelma Excelillä, joka laskee mahdollisen tiivistymisen rakenteissa. Ohjelmalla on tavoitteena käyttää myös jatkossa vastaavanlaisissa projekteissa Virpiö Oy:ssä.

1.2 Tutkimusalueen rajaus ja muita tutkimuksessa huomioitavia asioita

Tässä insinööriyössä keskitytään tutkimaan kosteuden siirtymistä rakenteissa diffuusion avulla.

Insinööriyö rajataan pieniin harjoitushalleihin, eikä suuria halleja, jossa suuret henkilömäärät asettavat niihin erilaiset vaatimukset, käsitellä työssä lainkaan.

Lähtökohtana on, että sisäinen kosteusprosentti ei saa olla yli 70, joten tässä työssä käytetään sisäisenä kosteusprosenttina aina 70. Jäähallin sisäistä kosteutta on hyvin vaikea arvioida yksinkertaisilla menetelmillä, joten varmin tapa oli asettaa maksimaalinen raja ja laskea toimivuudet sen mukaan.

1.3 Toteutustapa

Insinööriyössä tutustutaan aluksi aihealueen tutkimuksiin, rakennusfysikaalisiin laskentamalleihin ja teorioihin sekä perehdytetään erilaisiin kantaviin jäähallirakenteisiin, jäähallien rakenneratkaisuihin ja jäähallin kosteustfysikaaliseen toimintaan.

Kun jäähallin kosteustfysikaalinen toiminta sekä kantavien rakenteiden periaatteet on selvitetty, rakennetaan käyttökelpoinen malli, jolla voidaan laskea eri rakenteiden kosteustfysikaalista toimivuutta. Tarkastelukohteena ovat ulkoseinät, yläpohjat, alapohjat, väliseinät ja välipohjat. Tämän jälkeen analysoidaan eri rakenteiden toiminta ja selvitetään niiden kelvollisuutta.

2 JÄÄHALLITYYPIT

2.1 Jäähallin rakentaminen Suomessa

Jäähallien rakentaminen alkoi Suomessa vasta 1960-luvulla, jolloin rakennettiin Suomen ensimmäinen jäähalli Helsinkiin. Nykyään Suomessa on yhteensä noin 200 jäähallia, jotka toimivat kilpailu- ja harjoitushalleina. Suomen jäähallit ovat yleisimmin pienehköjä eri rakennusmenetelmin rakennettuja hallirakennelmia. Suomessa on myös joitakin suurehkoja jäähalleja, kuten Hartwall-areena Helsingissä. [1, s. 6.]

Jäähallien pääkäyttötarkoituksena on jääkiekko ja muita jääurheilumuotoja kuten taitoluistelu, ringette, kuntoluistelu ja curling. Jääkentän päälle koottavalla lattialla voidaan harrastaa myös muita urheilulajeja. Jäähalleja voidaan käyttää myös urheilun lisäksi muihin joukkotapahtumiin kuten näyttelyihin ja konsertteihin. [1, s. 6.]

2.2 Hallityypit

Jäähallit luokitellaan koon ja käyttötarkoituksen mukaisesti. Seuraavat koot ja tyypit ovat Jääkiekkoliiton ja opetusministeriön hyväksyttämät.

Kansainväliset kilpailuhallit ovat suurempia ja monipuolisimpia ja niiden tulee täyttää kansainväliset sääntövaatimukset. Niissä voidaan järjestää myös jääkiekkotoiminnan lisäksi näyttely-, konsertti- ja taidetapahtumia. Kansainvälisen jääkiekkoliiton antamien standardien mukaan kaukalon koko tulee olla vähintään kolmekymmentä metriä leveä ja kuusikymmentä metriä pitkä ja katsomon henkilömäärä vaihtelee 6000:sta 20 000:een henkilöön. Hallissa täytyy olla moninaisia tiloja kuten mm. märkätilat ja pukuhuoneet, pieni ravintola, lääkärin vastaanotto ja kaksi kuivaushuonetta. [2, s. 29;7, s. 2.]

Suuret kilpailuhallit ovat monikäyttöhalleja, joissa voidaan myös järjestää muita tapahtumia kuin jääkiekko-otteluita. Jääkentän koko tulee vähintään olla kaksikymmentäkahdeksan metriä leveä ja viisikymmentäkahdeksan metriä pitkä ja istumapaikkoja noin 1500–3000 kappaletta. Vapaan korkeuden tulisi olla vähintään 7 metriä. [2, s. 29;7, s. 2.]

Pieni kilpailuhalli on edellistä jäähallityyppiä pienempi ratkaisu, jossa monikäyttöisyys on suppeampi. Jääkentän koko tulee olla kaksikymmentäkahdeksan metriä leveä ja viisikymmentäkahdeksan metriä pitkä ja istumapaik-

koja 300–1500 kappaletta. Vapaan korkeuden tulisi olla vähintään seitsemän metriä. [2, s. 29;7, s. 2.]

Harjoitushalli voidaan rakentaa täydentämään suuren keskuksen kilpailuhallia tai ainoana jäähallina kunnassa. Harjoitushalli toimii ainoastaan jääliikuntapaikkana eikä siellä voida järjestää suurempia tapahtumia. Harjoitushallin vapaan korkeuden minimivaatimus on viisi metriä. Kentän koko tulee olla kaksikymmentäkuusi metriä leveä ja viisikymmentäkuusi metriä leveä ja hallissa voi olla noin 500:n hengen katsomo. [2, s. 29;7, s. 2.]

Katettu kylmä tekojääkenttä on tarkoitettu sääsuojatuksi jääliikuntapaikaksi. Katteen tehtävä on suojata jäätä auringon säteilyltä ja estää lumen ja veden tulo kenttäalueelle. Jääkentän koon tulisi olla vähintään kaksikymmentäkuusi metriä leveä ja viisikymmentäkuusi metriä leveä. [2, s. 29;7, s. 2.]

3 JÄÄHALLIN RAKENNETEKNINEN SUUNNITTELU

Jäähallit lisäävät suunnittelun vaativuutta normaaliin hallisuunnitteluun verrattuna monella tavalla.

Jäähallien koko määräytyy hallityypin ja sitä myötä kaukalon ja siihen liittyvien oheistilojen tilavaatimusten perusteella. Suurten jäähallien jännevälit saattavat ulottua jopa 130 metriin. Tyypillisen harjoitusjäähallin jänneväli on 32-35 metriä. Pääkannattajat ovatkin kookkaita ja massiivisia. Tämä asettaa haasteita runkorakenteiden suunnitteluun. Jäähallin kentän täytyy olla vapaa sekä pituus- että korkeussuunnassa, joten hallin jänneväli kasvaa usein hyvin suureksi. Jäähallin rakennetekninen suunnittelutehtävä vaatii aina AA-luokan pätevyyden.

Jäähallin routatekninen suunnittelu poikkeaa normaalin asuinrakennuksen suunnittelusta. Routimista aiheuttaa normaalin routimisen lisäksi jääkentän jäähdytysputkistoista aiheutuva rakennuspohjan routiminen.

3.1 Perustukset

Rakennuspaikan pohjaolosuhteet vaikuttavat oleellisesti perustusten ja koko rakennuksen runkojärjestelmään. Kaari- ja kehärakenteiden perustaminen paaluille on epäedullista, koska perustuksiin syntyy vaakavoimia, joista on huolehdittava. Kalliolle perustettaessa vaakavoima voidaan johtaa perustus-

ten kautta maaperään, mutta heikolle perusmaalle perustettaessa rakenne on varustettava kaaren tai kehän tukipisteet yhdistävällä vetotangolla. Vaakavoiman aiheuttama mahdollinen perustusten siirtymä on aina otettava huomioon. [2, s. 90.]

3.2 Rungon jäykistäminen

Kalliolle tai paaluille perustettaessa kehärunkoinen halli voidaan toteuttaa mastojäykistettynä. Heikolle perusmaalle perustettaessa käytetään usein ristikkojäykistystä. Ristikkojäykistystä käytetään myös kaarihallien kaaria vastaan kohtisuorassa suunnassa. Myös levyjäykistystä voidaan käyttää, erityisesti mikäli ulkoseinät toteutetaan betonirakenteisena. [2, s. 90.]

3.3 Tavallisimmat runkojärjestelmät

Tavallisimmat runkojärjestelmät ovat pilarirunko, kaarirunko sekä kehärunko.

3.3.1 Pilarirungot

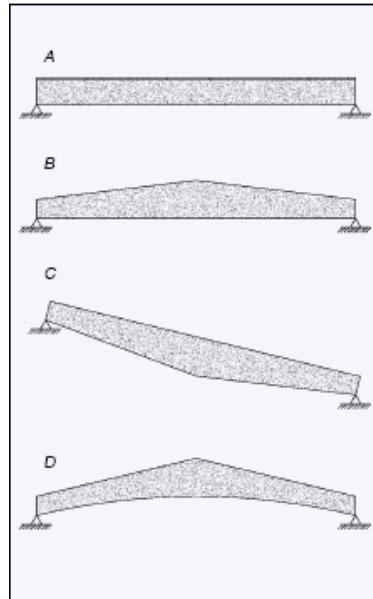
Pilarirungot ovat tyypillisesti rungon poikkisuunnassa mastojäykistettyjä. Rungon päädyssä ovat ns. tuulipilarit, jotka ovat joko jäykkiä tai nivelkantaisia. Päätyihin kohdistuva tuulikuorma siirretään yläpohjarakenteen tai yläpohjaan rakennettavan erillisen tuuliristikon kautta rungon pääpilareille. Pilarirungossa pääpilareiden varaan asennetaan katon kannattajat, jotka ovat joko palkki, ristikko tai vetotankokannatin. [4, s. 69.]

Palkkikannattajat

Palkkirakenteessa mitoitus perustuu kehän palkkien taivutusjännitykseen. Palkkikannattajan materiaalina voidaan käyttää joko liimapuuta, kertopuuta, teräspalkkia tai jännitettyä betonipalkkia. Jäähallien pitkien jänneväliden mitoituksen määrääväksi tekijäksi muodostuu puuta ja terästä käytettäessä palkin taipuma ja leikkauskapasiteetti tuen lähellä. Korkeiden holkkien ja palkkien kiepahduserkkyys on otettava mitoituksessa huomioon. [4, s. 70.]

Puupalkkikannattajat ovat suorapalkki, harja-, maha-, pulpettipalkki ja bumerangipalkki. Suoran ja harjapalkin suurin jänneväli johtuu tuotannollisista syistä: palkkien suurin mahdollinen korkeus on noin kaksi metriä, jolloin palkin suurin jänneväli kuormituksesta johtuen on noin 26–30 metriä. [4, s. 70.]

Tosin esimerkiksi Versowoodin tehtaalla Vierumäellä voidaan päästä jo 40 metriin.



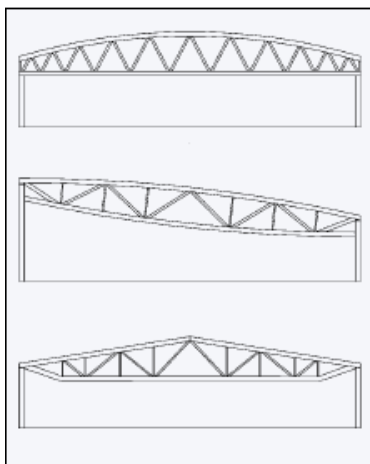
Kuva 1, Palkkikannattajat [4, s.70]

Teräsrakenteiset pitkät palkit joudutaan tekemään konepajalla hitsaamalla, jolloin I-palkkien taloudellinen jännevälimaksimi on noin 35 metriä [2, s.91].

Jännitetystä betonista valmistetun elementtipalkin pisin käyttökelpoinen jänneväli on noin 36 metriä. Tämän jälkeen ongelmia aiheuttavat elementtitehtaiden nostokaluston riittämättömyys ja elementtien kuljetus työmaalle [2, s.91].

Ristikkokannattajat

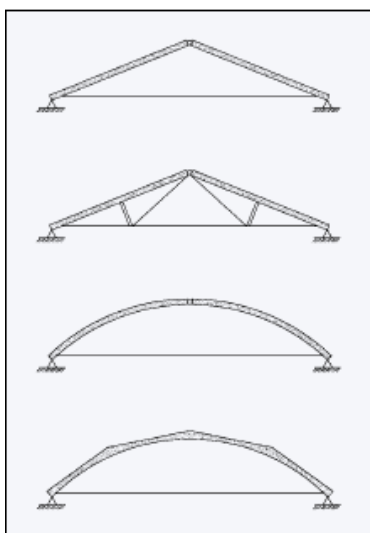
Ristikkorakenteessa ristikon sauvoihin syntyy lähinnä niiden akseleiden suuntaisia normaalijännityksiä. Ristikkokannattaja valmistetaan joko liima- tai viilupuusta sekä teräksestä. Ristikon yläpaarre voi olla joko kaareva tai suora ja ristikko tuetaan pilariin yleensä yläpaarteesta. Ristikkokannattajan etuna on helppo kuljetettavuus ja niitä voidaan koota paikanpäällä. Ristikkokannattajat soveltuvat hyvin pitkille jänneväleille. Esimerkiksi puuristikolla päästään 25–65 metriin. Teräsrakenteella päästään jopa 100 metrin jänneväleille. [4, s.72;2, s.91.]



Kuva 2, Ristikkokannattajat [4, s. 72]

Vetotangollinen kannattaja

Pitkillä jänneväleillä puurakenteissa turvaututaan vetojännityksen alaisiin rakenneosiin teräksen ja puun ollessa puristusjännityksessä. Vetotangollinen kannattaja on kannatintyyppi, jonka yläpaarre on jatkuva ja jossa alapaarrena on vetotanko ilman varsinaisia diagonaalisauvoja. Vetotankokannattajan yläpaarre tehdään liimapuusta tai viilupuusta, mikä voi olla kaaren muotoinen tai suora, vetotanko tehdään teräksestä tai puusta. Vetotangon venymä on otettava huomioon rakenteen mitoituksessa. Teräksisellä vetotangolla päästään aina 60 metriin asti. [4, s. 74.]

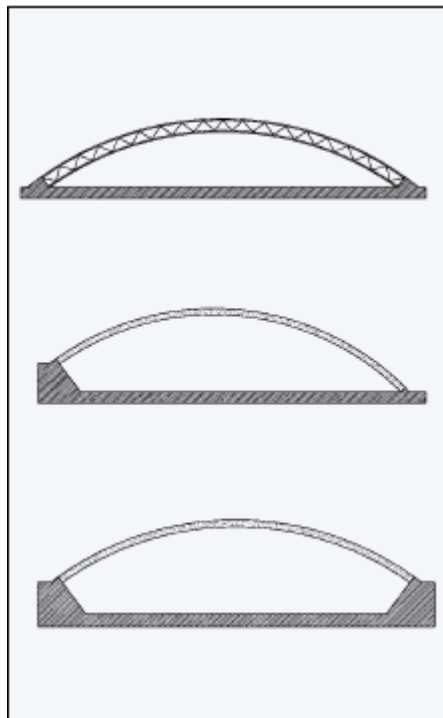


Kuva 3, Vetotankokannattajat [4, s.74]

3.3.2 Kaarirungot

Kaarirakenteessa syntyy lähinnä vain puristusrasitusta ja näin selvittää huomattavasti hoikemmilla rakenneosilla kuin pilarirunkorakenteessa. Käytettäessä puristettua hoikkaa rakennetta tulee kiinnittää huomiota rakenteen nurjahdusvaaraan. Kaarihallit perustetaan yleensä kaaren suuntaisille betonisille perustuksille. Perustukset tuetaan joko vetotangoilla toisiinsa, suoraan peruskallioon tai vinopaaluille. Kaarirakenteeksi soveltuu hyvin puu ja teräs. Kaari voidaan rakentaa joko massiivipuusta tai ristikkona. Teräskaarina käytetään yleensä erilaisia ristikko-teräsrakenteita. Kaareen suunnitellaan yleensä kaksi tai kolme niveltä. [4, s. 79.]

Liimapuun luonteva jänneväli on kaksinivelisenä 20–30 metriä ja kolminivelisenä 40–130 metriä. Teräsrakenteella päästään helposti 80–90 metriin. [9, s. 13.]

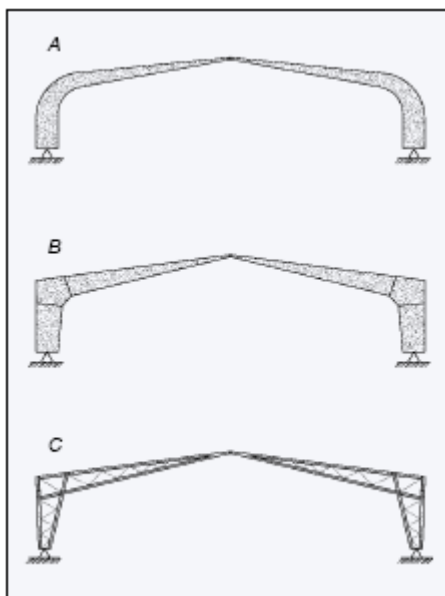


Kuva 4, Kaarirungot [4, s.76]

3.3.3 Kehärungot

Kehärunko on rakenne, jossa katon ja seinän runko on yhdistetty toisiinsa jäykkänurkkaisesti siten, että perustuksiin syntyy vaakavoima myös pystykuormista. Vaakavoima otetaan vastaan sitomalla vastakkaiset anturat vetotangoilla toisiinsa tai tukemalla perustukset suoraan peruskallioon tai vino-

paaluille. Kehärungot tehdään taivutetusta liimapuusta tai ristikkorakenteena teräksestä. Kehä kootaan yleensä työmaalla. Kehärungoilla päästään 10–30 metrin jänneväleihin. [4, s. 78.]



Kuva 4, Kehärungot [4, s.78]

3.4 Routatekninen suunnittelu

Normaalin vaipan ulkopuolisen routimisen lisäksi routimista aiheutuu rakennuspohjaan myös jääkentän jäädytetystä rata-alueesta. Erityisen herkkänä routimiselle ovat hienojakoiset maapohjat kuten savi- ja siltipohjaiset maalaajit. Pitkän käyttökauden ja alhaisen jäähdytysputkien lämpötilojen vuoksi tekojääkenttien routiminen on erityisen voimakasta. Kun routa tunkeutuu maapohjaan, seurauksena on maan ja rakenteiden roudan nousu. Routiminen rasittaa kaukaloalueen jäähdytysputkia ja aiheuttaa kaukalon pintarakenteiden halkeilua ja rapautumista. Ympäri vuoden käytössä olevilla tekojääkentillä on riskinä jatkuvasti kasvavan ikeroudan kehittyminen kentän alle. Ikerouta syntyy kun kenttäalueen alapuolisen maan lämpötila on yhden vuoden aikana alle 0 °C. Tässä tapauksessa roudan syntymistä voidaan estää joko alustan lämmityksellä tai keinosulatuksella. [2, s.77 - 88.]

4 JÄÄHALLIN KOSTEUSTEKNINEN SUUNNITTELU

Jäähallin suunnittelussa on pyrittävä maksimoimaan jäähallin käyttöikä, joka on yleensä 30–50 vuotta. Sen saavuttamiseksi täytyy kosteustekninen suunnittelu olla rakenteiden säilymisen kannalta hallinnassa.

Kosteuden hallinnan kannalta keskeisiä ovat halliosan sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus, sisäolosuhteiden mahdollisimman pieni vuorokausi- ja vuosivaihtelu sekä ilmavaihtoteknisesti virtauskatveiden välttäminen halliosassa. Rakennuksen lämpötilat vaihtelevat jään lämpötilasta -3 °C :sta lämpimien tilojen $+21\text{ °C}$:een. [1, s. 71.]

Yleisesti jäähalleissa pidetään jäätä lähinnä elo–huhtikuun ajan, mutta mikäli jäähalli on käytössä kesäkautena, vaikuttaa se olennaisesti jäähallin säilyvyyteen, koska kesäkausina jäähallin lämpötila on kylmempi kuin sisälämpötila. Perinteisessä rakennuksessa kosteusvirta on ympärivuoden sisältä ulospäin, jäähalleissa taas kesäisin kosteusvirta on ulkoa sisäänpäin. Kesäkuukausina kosteuden määrä on huomattavasti suurempi kuin talvikautena vaikka kosteusprosentti onkin pienempi. Tutkimusten mukaan kosteuden siirtymisen määrä rakenteissa on kylmänä kautena vain noin 25 % lämpimän kauden määristä [10].

Kesäisin sisäinen kosteus saattaa nousta lähes 100 %:iin. Sisätilojen suhteellisen kosteuden pitäminen hallinnassa edellyttää tuloilman kuivatusta, huomioon ottaen kuitenkin energiankulutuksen.

Jäähallin hallitila on yleensä kosketuksessa rakennuksen lämpimien tilojen kanssa. Puolilämpimän halliosan suunnittelu ja sen liittäminen lämpimiin tiloihin on jäähallin rakenne- ja ilmavaihtoteknisen suunnittelun vaativin tehtävä. Lämpimien osien suunnittelulle jäähalli ei aseta mitään erityisvaatimuksia. [1, s. 27.]

Yhteenvedona voidaan sanoa, että mitä pidempi vuosittainen hallin käyttöaika on ja mitä kylmempänä hallia lämpimällä kaudella pidetään, sitä vaativampi on hallin rakennusfysikaalinen suunnittelu rakenteiden ja laitteiden osalta.

4.1 Kosteuden vaikutus rakennuksen vaippaan

Jäähallin kosteuskuormituksen muodostavat ilmanvaihdon ja vuotoilman mukana tulevan ulkoilman kosteus, ihmiset sekä jäähoidossa käytetty vesi ja jäähoidokoneet. Kosteus pyrkii kondensoitumaan jäähän ja rakenteiden pinnoille, joiden lämpötila on alle kastepistelämpötilan. Kosteus pyrkii tiivistymään myös rakenteiden sisään johtuen vesihöyrysapaineiden erosta.

Jäähallin kondensoituva vesi aiheuttaa jäähdytstarpeen lisäämistä ja jään laadun heikentymistä. Rakenteiden pinnoille ja rakenteiden sisään tiivistyvä vesi saattaa aiheuttaa rakennevaurioita. Vauriot voivat olla joko kemiallisia tai biologisia. Kemiallisia vaurioita ovat korroosio-ongelmat ja biologisia vaurioita aiheuttavat bakteerit, sienet ja hyönteiset. [10.]

Liiallinen kosteus aiheuttaa useamassa rakenteessa ja rakennusaineessa erilaisia vaurioita. Mikäli suhteellinen kosteus on yli 70 %, kasvaa puurakenteiden home- ja lahoriski merkittävästi. Lisäksi korkea kosteusprosentti aiheuttaa puun turpoamisen. Homeen muodostumiseen vaikuttaa myös lämpötila pääsääntöisesti siten, että mitä matalampi lämpötila sitä huonommin homeitiöt kasvavat. Samoin teräksen korroosioalttius lisääntyy tämän rajan ylittyessä oleellisesti. Siksi on erittäin tärkeää, että hallissa on riittävät kuivauslaitteet ja että niitä käytetään ja hoidetaan oikein. Näin ollen jäähalleissa ei saisi käyttää suojaamatonta terästä. Kipsilevyssä kosteuden ollessa 85 % levyn kartonki pehmenee ja levy menettää jäykkyytensä. Muuratuissa rakenteissa kostean muurin kuivuminen aiheuttaa suojojen kulkeutumista kohti pintaa eli ns. härmettä. Mineraalivilloissa ja solumuoveissa heikentää lämmöneristävyyttä. [10.]

4.1.1 *Mikrobit rakennusmateriaaleissa*

Homeen synnyn riski on olemassa miltei kaikissa materiaaleissa, jos kosteus ja lämpöolosuhteet ovat riittävän pitkän aikaa otolliset. Mikrobikasvun alkaminen edellyttää, että materiaalissa on mikrobeja, itiöitä tai pieni määrä vanhaa kasvustoa. Ravinteiden suhteen mikrobit ovat vaatimattomia, koska lähes kaikki eloperäinen materiaali kelpaa energialähteeksi. Puu, kipsilevyn pahvi, tapetti ja muut selluloosapitoiset materiaalit sopivat monille mikrobeille, mutta useille riittää jopa tavallinen huonepöly. Esim. betonin, tiilen, kevytsoraharkon ja rakennuslevyjen pinnalle voi muodostua homekasvustoa, jos pinnalla on pölyä tai muuta likaa. [11.]

Mikrobien kasvun alkamiseen vaikuttaa kosteus, lämpötila ja aika. Kosteus-
pitoisuus määrää alkaako mikrobien kasvu vai ei. Pitkäaikainen kosteus-
pitoisuus johtaa rakenteiden home- ja lahovaurioihin. Sen sijaan lyhytaikainen
ja tilapäinen (muutamassa vuorokaudessa kuivuva) kosteusrasitus ei yleensä aiheuta haittaa.[11.]

Mikrobit säilyvät elinkykyisinä laajalla lämpötila-alueella, ja jotkut mikrobit voivat kasvaa korkeissa n. +50 °C tai matalissa n. - 5 °C lämpötiloissa. Mikäli kosteusprosentti on yli 75, on itiöiden kasvu mahdollista.[11.]

Puurakenteissa mikrobien kasvu alkaa jos ilman suhteellinen kosteus on yli 70 % ja lämpötila on +3...+45 °C. Itämisajaksi riittää vain kaksi viikkoa. [11.] Liitteestä 1 löytyy homeitiöiden kasvuun vaikuttavat kosteuden ja lämmön raja-arvot.

Betonissa ja eristeaineessa (EPS, mineraalivilla) mikrobien synty on paljon hitaampi ja vaatii radikaalimmat olosuhteet. Tutkimusten mukaan mikrobien syntyminen betonissa alkaa kun RH 88 %. Eristeet voivat homehtua jos RH on pitkään yli 97 %. [15.]

Jäähallien ympäristöolosuhteet ovat mikrobien syntymisen kannalta otollisia. Jäähalleissa on aina ongelma mikrobien syntymisestä, varsinkin kun jäähalli on käytössä myös kesäkautena. Voidaan sanoa, että mikrobien syntymistä ei voida täysin estää erityisesti puurakenteissa, mutta oikeanlaisella suunnittelulla ja materiaalien valinnalla pystytään hidastamaan mikrobien kasvua huomattavasti.

4.2 Vaipparakenteet

Vaipparakenteen lämpö- ja kosteusteknistä käyttäytymistä on tarkasteltava erikseen lämpimällä ja kylmällä kaudella mikäli jääurheilukäyttöä on myös lämpimään aikaan. Mikäli karkea tarkastelu osoittaa, että valittu ratkaisu kerää kosteutta, on tehtävä selvitys vuosittaisen kertymän kuivumismahdollisuudesta oletetuilla ilmasto-olosuhteilla, sisäolosuhteilla ja vuosittaisella käyttöajalla. Jos tämänkin tarkastelun mukaan rakenteeseen kertyy kuivumisesta huolimatta kosteutta, on tehtävä muutoksia rakenteeseen, jotta kosteusvaurioiden synty vältetään. Jos kuivumiseen jää jonkin verran varmuutta, rakennetta voidaan pitää turvallisena. [10.]

4.2.1 Seinät ja yläpohja

Vaippaan kohdistuu merkittävästi normaalirakentamisesta poikkeavia vaatimuksia. Vaipan tulee olla tiivis, jotta energian käytön kannalta saadaan käytössä edullinen hallirakennus. Mikäli vaippa ei ole tiivis joudutaan sisään virtaava ulkoilma lämmittämään tai jäähdyttämään ulkoilman lämpötilasta riippuen. Vaipan huonosta tiiveydestä aiheutuu rakenteille homevaurioita. Vuo-

tokohta vaipparakenteessa muodostaa helposti ilmavirtauksen kautta kosteuden tiivistymiselle otollisen yksittäisen pisteen, josta kosteusvaurio voi lähteä liikkeelle. [10.]

Vaipan tiiveyteen voidaan vaikuttaa rakennusmateriaalien valinnalla, yksinkertaisella detaljilla ja työn huolellisuudella. Höyrysululla voidaan vaikuttaa myös tiiveyteen, sijoittamalla se parhaimpaan paikkaan varsinkin kesäolosuhteiden aiheuttamasta kosteusvirrasta joka on ulkoa sisäänpäin. Höyrysulku on kuitenkin hyvin herkästi rikkoutuvainen erilaisten läpivientien ja rakennusaikaisten rasiusten vaikutuksesta.

Myös molemmilta puolilta hermeettisesti metallipinnoilla päällystetyt rakenteet ovat osoittautuneet toimiviksi. Tällöin saumaratkaisuihin ja saumojen huoltoon on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska rakenteiden liikkeet saattavat aukaista saumoja. Pistemäinen kosteusvuoto on erittäin vaarallinen. [10.]

Vaipan sisäpinnan tulisi katossa (jään "näkemäalue") heijastaa lämpösäteily takaisin jäähän, jotta säteilemällä rakenteen läpi menetettävä energiahukka minimoidaan. Hyvällä pinnoitteella voidaan säästää jopa 80–90 % lämpösäteilyhukasta. [10.]

Hallin akustiikan kannalta oleellista on riittävän pieni jälkikaiunta-aika. Tämän tyyppisessä hallissa riittävän pieni jälkikaiunta-aika saadaan aikaiseksi vain hyvin suurilla määrillä ääntä imeviä pintoja. Tästä syystä yleensä tarvitaan lähes koko kattopinta-alaa vastaava määrä absorboivaa materiaalia, jotta valmentajan ohjeet kuullaan selkeästi ja kuulutuksista saa selvää. [10.]

4.2.2 Alapohja

Pukutilojen alapohjat ovat normaaleja alapohjarakenteita. Mukavuussyistä ja lattian kuivumisen nopeuttamiseksi käytetään usein kuitenkin lattialämmitystä. Sen sijaan jääkentän kohta on normaalirakentamiseen verrattuna poikkeava vaatimuksiltaan. [10.]

Jäähallin kentän lattia voidaan tehdä joko kivituhkasta, asfaltista tai betonista. Mikäli rakennetaan betonilaatta, on kiinnitettävä erityistä huomiota laatan suunnitteluun siten että laattaa ei muodostu haitallisia halkeamia. Tähän voidaan vaikuttaa sekä betonin ominaisuuksilla, raudoituksella että työn huolellisuudella. [10.]

Maassa vallitsee aina hyvin korkea suhteellinen kosteus ja lämmöneristeen yläpuolella oleva kylmä aiheuttaa kondenssi-ilmiön lämmöneristeen sisälle. Useat lämmöneristeet menettävät voimakkaasti lämmöneristyskykyään kosteuden lisääntyessä. Tästä syystä alapohjassa käytettävän eristeen tulee säilyttää lämmöneristyskykynsä myös kosteana, koska muuten kylmäenergiaa alkaa ajan mittaan kulua alaspäin ja routaputkiin joudutaan lisäämään lämmitystehoa. Lämmöneriste voi saada kosteutta mm. sulamisvedestä myös yläpuolelta, erityisesti kivituhkapäälystettä käytettäessä. [10.]

4.3 Jäähallin olosuhteet

Jäähalli koostuu yleensä käyttötarkoituksiltaan erilaisista tiloista, joissa sisälämpötila kosteuden tuotot ja sisäilman suhteelliset kosteudet voivat poiketa toisistaan paljon. Jäähallien lämpötilat määräytyvät kentän käyttötarkoituksen ja hallityypin mukaan.

Tilat jaetaan lämpimiin ja puolilämpimiin. Puolilämmin tila tarkoittaa huonetilan lämpötilaa, joka voi vaihdella +5...+17 °C. Puolilämpimät tilat koostuvat yleensä jääalueesta ja katsomosta. [1, s. 7.]

4.3.1 Hallitilan lämpö- ja kosteusvaatimukset

Jään ja halli-ilman tavoitelämpötila-arvoina ja on käytetty Jääkiekkoliiton oppaassa esitettyjä arvoja, jotka löytyvät taulukosta 1. Halli-ilman kosteusvaatimus esitetään siltä pohjalta, että homesienikasvustoa ei tapahtuisi. Lähtökohtana ovat VTT:n puulaboratoriotutkimuksessa esitetyt tulokset homesienien kasvulle puurakenteissa. [2, s. 39.]

Taulukko 1, Jäähallien sisäilmaston tavoite- ja suunnitteluarvot [2, s.40 - 41]

JÄÄHALLIEN SISÄILMASTON SUUNNITTELUARVOT					
Hallityyppi	Toiminta	Hallin lämpötila, °C		Jään lämpötila, °C	Max. Suhteellinen kosteus, %
		Kenttä (1,5 m:n korkeudelta)	Katsomo		
Suuri kilpailuhalli	Jääkiekko				
	- peli	+6	+15	-5	70
	- harjoitus	+6		-3	70
	Taitoluistelu		+15		
	- kilpailu	+12		-4	70
	- harjoitus	+6		-3	70
Muu toiminta	+18	+18		70	
Pieni kilpailuhalli	Jääkiekko				
	- peli	+6	+15	-5	70
	- harjoitus	+6		-3	70
	Taitoluistelu		+15		
	- kilpailu	+12	+15	-4	70
	- harjoitus	+6		-3	70
Muu toiminta	+18	+18		70	
Harjoitushalli	Jääkiekko				
	- peli	+2...+6	+10	-3	70
	- harjoitus	+2...+6		-3	70
	Taitoluistelu		+10		
	- kilpailu	+6	+10	-3	70
- harjoitus	+6		-3	70	

Lämpötilavaatimukset

Hallialueen lämpötilat muuttuvat korkeuden mukana jään pinnan -3 °C: sta katsomon +15 °C: een. Harjoitusjäähalleissa lämpötila vaihtelee -3...+10 °C: een.

Jään on oltava tasalaatuista sekä tietynlaista ja viihtyvyyden kannalta se ei saisi olla alle -3 °C. Lämmitetyissä halleissa tavoitelämpötilana on käytetty +6 °C kenttäalueen kaukalon reunalla eli 1,5 metrin korkeudesta jään pinnasta. Jotta paikalla istuva yleisö tuntisi olonsa mukavaksi, tulee olla katsomon lämpötila vähintään +10...+15 °C. [2, s. 40 - 41.]

Lämpimät tilat noudattavat normaalin sisälämpötilan vaatimuksia. Niiden lämpötilat vaihtelevat +19...+21 °C:een.

Kosteusvaatimukset

Haitallisten homesienien kasvun ja hyvän sisäilman takaamiseksi pitää hallin suhteellinen kosteus jäädä alle 70 %. Talvikautena RH % voi jäädä alle 50, mutta kesä kautena ilman ilmakeiättä RH % voi nousta 100.

Suomen jääkiekkoliiton suosituksen mukaan jäähallien kosteuspitoisuus ei saisi ylittää 70 %. Tämä vastaa sitä, että absoluuttinen kosteuspitoisuus on silloin $5,1 \text{ g/m}^3$, mikä vastaa kastepisteen syntyä $+1^\circ\text{C}$:ssa, kun halli-ilma on $+6^\circ\text{C}$. Hallin lämpötilan ollessa $+10^\circ\text{C}$ on absoluuttinen kosteus $6,62 \text{ g/m}^3$ mikä vastaa kastepisteen syntymistä $+4^\circ\text{C}$: ssa. [2, s.39 - 41]

Mikäli halutaan estää jään paksuuden kasvua, kenttäalueen ilman kastepistemälämpötilan täytyy olla alle jään lämpötilan tai suunnilleen sama eli -3°C . Tämä merkitsee, että absoluuttinen kosteus pitää olla alle $3,89 \text{ g/m}^3$ eli tämä vastaa kenttäalueella olotilaa $+6^\circ\text{C}$ suhteellisen kosteuden ollessa 53 %. Tästä huomataan, että jään pintaan saa tiivistyä kosteutta, koska sisäisen kosteuspitoisuuden pitäminen 53 %:ssa on energian kulutuksen kannalta kohtuuton. [2, s.39 – 41.]

4.3.2 *Jäähallin rakenteiden U-arvovaatimukset*

Rakennusmääräyskokoelma osa C3 antaa vaatimukset puolilämpimän tilan lämmönläpäisevyyden arvoille:

Seinä 0,38 W/m²K

Yläpohja, ulkoilmaan rajoittuva alapohja 0,28 W/m²k

Ryömintätilaan rajoittuva alapohja (tuuletusaukkojen määrä enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta) 0,28 W/m²K

Maata vasten olevat rakennusosat 0,34 W/m²K

Ikkunat, ovet 1,8 W/m²K

Kattoikkuna 1,8 W/m²K

Vaatimukset ovat myös asetettu puolilämpimän tilojen ja lämpimän tilojen välisille rakenteille. [13]

Seinä 0,60 W/m²K

Välipohja	0,60 W/m ² K
Ikkuna, ovi	2,8 W/m ² K [13.]

Jäähallin lämpimät tilat noudattavat normaalin rakennuksen lämmönläpäisyn vaatimuksia.

Todellisuudessa jäähalleille ei ole asetettu tarkkoja lämmönläpäisyarvoja, mutta energiasäästön ja ekologisen rakentamisen takia on syytä noudattaa näitä vaatimuksia. Lämmöneristeellä estetään vaipan sisäpintaan muodostuva kondenssi-ilmiö kylmän kauden aikana. Kesäkautena se eristää lämmön pääsyn hallitilaan.

4.3.3 Ilmanvaihtovaatimukset

Ilmanvaihto tulee suunnitella tilan käyttötarkoituksen mukaan, koska tilojen olosuhteet eroavat toisistaan. Jäähalleihin tulee suunnitella eri ilmanvaihtotekniset osastot, kaksi tai useampi, jolla kaikilla on oma ilmanvaihtolaitteistonsa. Kosteudenhallinnan kannalta merkittäväksi muodostuu ilmavirtojen hallittavuus eri osastojen ja sekä koko jäähallin ja ulkoilman välillä. Ilmanvaihdon kautta tulevan ilman täytyy olla tasaista joka paikassa hallin osassa, katvealueita tulee välttää. [1, s 70.]

Kosteuden hallinnan kannalta erityisesti kesäkautena ilman kuivatus on ainoa tapa päästä sisäilman tavoitearvoihin.

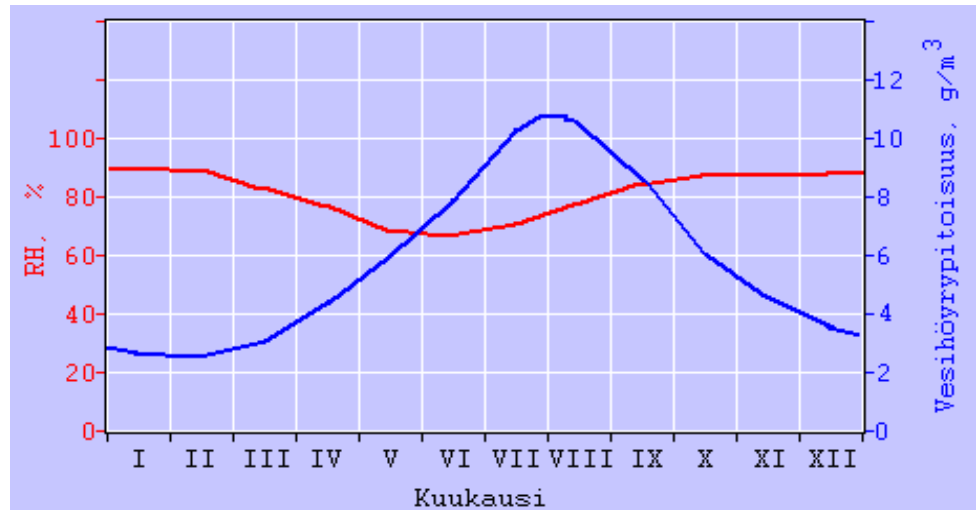
4.4 Jäähallin kosteuslähteet

Jäähallin pääasialliset kosteuslähteet ovat ilman sisältämä kosteus, sade, lumi, jää, jäähdytysvesi, ihmisistä vapautuva kosteus, märkätiloista vapautuva kosteus, rakennekosteus sekä maaperäkosteus. Sisäilman kosteuteen vaikuttaa suoraan ulkoilmakosteus. Tämän vuoksi sisäilman kosteuspitoisuus on kuivattuja tiloja lukuun ottamatta aina suurempi kuin ulkoilman. Kosteus pääsee erityisesti kesällä ilmanvaihdon ja ovien kautta sekä vuotoilmana rakenteiden läpi suoraan sisään kylmään halliin.

Seuraavassa käsitellään merkittävämmät kosteuslähteet, joita on otettava huomioon jäähallirakentamisessa.

4.4.1 Ulkoilman sisältämä kosteus

Ulkoilman vesihöyryn pitoisuudet vaihtelevat eri vuodenaikoina. Vesihöyrypitoisuuksiin vaikuttaa merkittävästi ulkoilman lämpötila, pienikin lämpötilan nousu vaikuttaa huomattavasti vesihöyryn määrään. [5, s. 48.]



Kuva 5, Suhteellisen kosteuden ja vesihöyrypitoisuuden vaihtelu vuoden aikana Helsingissä [12]

Kuvasta 5 voidaan nähdä vesihöyrypitoisuuden ja suhteellisen kosteuden vaihtelu vuodenaikana. Kesäkesällä, kun lämpötilat ovat korkeat, on myös vesihöyryn osamäärä korkea, vaikka RH % onkin pienempi kuin muina vuodenaikoina. Ulkoilman kosteuspitoisuus on kesällä korkeimmillaan n.14 g/m³ ja talvella alhaisimmillaan n. 1 g/m³. Suhteellinen kosteus vaihtelee vastavasti kesällä 60...80 % ja talvella 80...90 %.

4.4.2 Sade

Sade on näkyvin rakennukseen kohdistuva kosteusrasitus. Se voi esiintyä vetenä, räntänä tai lumena. Sadetyypeistä kaikista kastavin on räntä. Suomessa yleisin sadetyyppi on ns. pystysade, joka rasittaa vaakasuoria ja vinoja pintoja. Viistosateeseen liittyy aina voimakas tuuli. Se asettaa rasituksia varsinkin seinän ulkoverhouksille ja ikkunoille. Viistosadetta voidaan pitää tärkeimpinä rakennuksen vaippaan kohdistuvana rasitustekijänä ja kosteusvaurioiden aiheuttajana. [6, s. 52.]

4.4.3 Jää ja jäähdytysvesi

Jään pinnasta irtoaa jonkin verran kosteutta suoraan jäädä ilmaan vesihöyryksi. Lisäksi jäättekovedestä haihtuu kosteutta ilmaan ennen veden

jäähtymistä. Jään ja jääntekoveden kosteusluovutukseen vaikuttaa ilman ja veden tai jään välinen lämpötilaero. Mitä lämpimämpää ilma on veteen tai jäähän verrattuna, sitä hitaampaa on kosteuden kulkeminen ilmaan. Jos jään tai veden lämpötila on yhtä suuri kuin se lämpötila, jossa ilman sisältämä kosteus alkaa tiivistyä vedeksi, kosteuden siirtyminen ilmaan pysähtyy. Mikäli jään tai veden lämpötila on matalampi kuin ilman kastepistelämpötila, kosteutta alkaa tiivistyä ilmasta jäähän tai vedenpintaa. [8, s. 6-7.]

4.4.4 Ihmiset

Ihmisestä vapautuu kosteutta noin 100 g/h/henkilö. Jos ihminen tekee työtä tai urheilee, kosteuden erityis voi olla moninkertainen. Kosteus vapautuu ihmisestä hengityksen ja hien haihtumisen kautta. [8, s.7.]

4.4.5 Rakennuskosteus

Rakennekosteudella tarkoitetaan sitä kosteutta, joka poistuu rakenteesta, ennen kuin rakenne on tasapainokosteudessa ympäristönsä kanssa. Rakennekosteuden määrään vaikuttaa käytetty materiaali ja sen historia: kuljetus, varastointi ja suojaus. [12.]

4.4.6 Maaperäkosteus

Maaperäkosteus: pohjavesi, vajovesi, kapillaarivesi ja maaperän huokosten vesihöyry. Maaperän huokosissa olevan vesihöyryn suhteellisen kosteuden voidaan olettaa olevan 100 % kosteusteknisiä tarkasteluja tehtäessä.[12.]

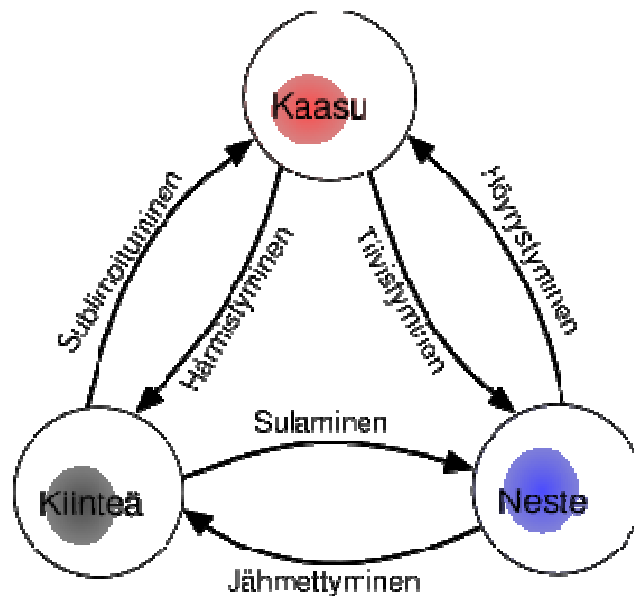
5 KOSTEUS

5.1 Olomuodot

Kaikilla aineilla on kolme olomuotoa: kiinteä, nestemäinen ja kaasumainen. Kulloinenkin olomuoto riippuu lämpötilasta ja paineesta. Olomuotomuutokset sitovat tai vapauttavat paljon energiaa, jolloin molekyyli rakenne muuttuu. [17.]

Kun ainetta lämmitetään sulamispisteeseen, sen molekyylien lämpöliike tulee niin voimakkaaksi, että sen kiderakenne rikkoutuu. Seurauksena on, että kiinteä aine muuttuu nesteeksi. Sulamisen aikana aineen lämpötila ei muutu, koska kaikki energiaa menee sulamiseen. Jähmettymisessä aine järjestyy

takaisin ja energiaa vapautuu. Nesteeseen jähmettymisessä tarvitaan yhtä paljon lämpöenergiaa kuin sen sulattamisessa. [17.]

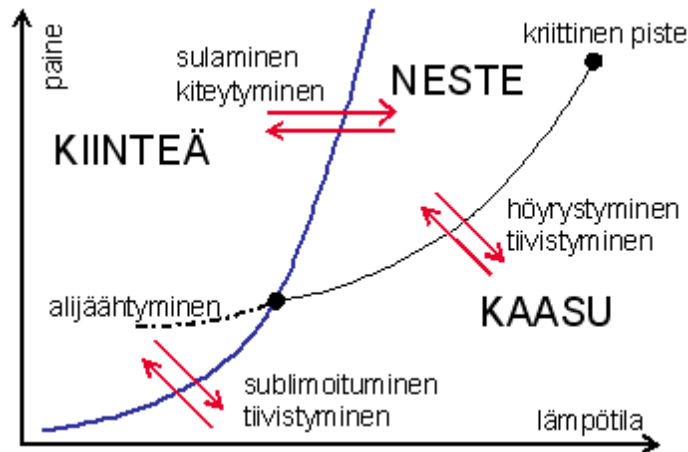


Kuva 6, Aineen olomuodot [14]

Kun nestettä lämmitetään höyrystymispisteeseen, molekyylien lämpöliike kasvaa niin suureksi, että ne irtautuvat toisistaan. Tällöin neste höyrystyy. Höyrystymisen aikana lämpötila ei muutu, koska kaikki energia tarvitaan molekyylien irrotustyöhön, eli höyrystyminen sitoo energiaa. Vastaavasti höyryn tiivistyessä nesteeksi vapautuu energiaa. [17.]

Olomuotomuutoksia kuvataan faasidiagrammilla eli olomuotodiagrammilla, jossa ilmenee aineen olomuotojen muutokset tietyssä lämpötilassa ja tietyssä paineessa. Mikäli lämpötila ja paine vastaavat jotain olomuotojen rajakäyrän pistettä, aine voi esiintyä kyseisissä olosuhteissa kummassakin olomuodossa. Kiinteän aineen ja nesteen välistä rajakäyrää nimitetään sulamiskäyräksi, nesteen ja kaasun välistä käyrää höyrystymiskäyräksi. Kiinteän aineen ja kaasun välistä rajakäyrää kutsutaan sublimoitumiskäyräksi. [17]

Kuvassa 7, kohdassa jossa neste höyrystyy ja tiivistyy on kaksi dynaamisessa tasapainossa olevaa faasia. Siinä kohdassa ilmatilasta poistuu yhtä monta vesimolekyyliä kuin sinne aikayksikössä tulee.



Kuva 7, Veden faasidiagrammi [15]

5.2 Ilman kosteus

Kosteus ilmaisee veden tai vesihöyryn määrää toisessa aineessa. Vesihöyryn määrää ilmassa kuvataan usealla eri suureella käyttötarkoituksen mukaan joko absoluuttisen kosteuden kg/m^3 tai kg/kg , vesihöyryn osapaineena Pa tai suhteellisena kosteutena %.

Kaikissa niissä otetaan huomioon vain todellinen vesihöyry, mutta ei muita veden olomuotoja kuten vesipisaroita tai jääkiteitä. Sumuja ja pilviä ei siten lasketa mukaan kosteuteen. Kosteaa ilmaa on kahden kaasun, kuivan ilman ja vesihöyryn seos. Kuiva ilma koostuu pääasiassa typestä, hapesta ja argonista. Vesihöyry on kevyempi kaasu kuin kuiva ilma eli ilma on sitä kevyempää mitä enemmän se sisältää vesihöyryä. [5, s. 43.]

Rakennustekniikassa voidaan ilma olettaa ideaalikaasuksi. Tällöin pätee yhtälö:

$$p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \quad (1)$$

jossa

p =vesihöyryn paine [Pa]

V =kaasun tilavuus [m^3]

m =kaasun massa [kg]

M =kaasun molekyylipaino [kg/mol]

R =yleinen kaasuvakio 8314,3 [J/kmol $^\circ\text{K}$]

T =lämpötila [$^\circ\text{C}$]

Yhtälö ilmoittaa samalla vesihöyrypitoisuuden ja vesihöyrypaineen välisen yhteyden.

$$v = \frac{P_v}{461,4 \cdot T} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (2)$$

jossa,

p_v = vesihöyryn paine tietyssä lämpötilassa [Pa] [5, s.43].

5.2.1 Absoluuttinen ja suhteellinen kosteus

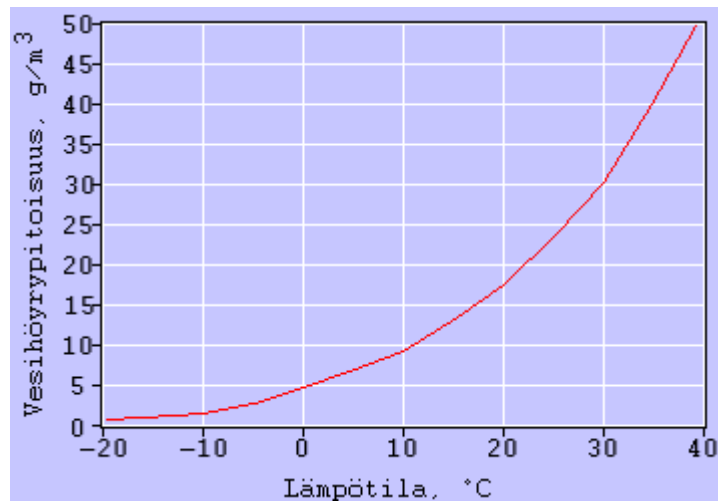
Absoluuttinen kosteus ilmoittaa, kuinka monta grammaa vettä on kuutiometrisessä ilmassa. Absoluuttisen kosteuden ylärajaa kutsutaan kyllästyskosteudeksi. Sen yksikkö on g/m^3 . [6, s. 55.]

5.2.2 Kyllästyskosteus ja kastepiste

Tietyssä lämpötilassa kastepisteessä ilma voi sisältää enintään tietyn määrän vesihöyryä. Tätä vesihöyryä eli kosteusmäärää kutsutaan kyllästyskosteudeksi. Jos ilmaan haihdutetaan väkisin vettä yli kyllästyskosteuden, vesihöyry alkaa tiivistyä pisaroiksi eli kondensoitua. Samoin käy, kun ilma jäähtyy, sillä silloin kyllästyskosteus laskee. Luonnossa voidaan tämä ilmiö nähdä mm. peilin pintaan tiivistyneinä pisarina kun pinnan lämpötila on alle kastepistelämpötilan. [5, s. 43.]

Kyllästyskosteus on myös absoluuttisen kosteuden yläraja.

Vesihöyryn kyllästyminen on voimakkaasti riippuvainen lämpötilasta siten, että mitä suurempi lämpötila sitä suurempi on myös kyllästyskosteus. [12] Kuvasta 8 voidaan nähdä miten voimakkaasti kylläinen vesihöyrypitoisuus on riippuvainen lämpötilasta.



Kuva 8, Kyllästyskosteus lämpötila funktiona [12]

Lämpötilan ja vesihöyryn välisen riippuvuuden voi laskea kaavasta 3:

$$v_k = 10^{-3} \left[4,85 + 3,47(t/10) + 0,945(t/10)^2 + 0,158(t/10)^3 + 0,0281(t/10)^4 \right] \text{ [g/m}^3\text{]} \quad (3)$$

jossa,

v_k = kyllästyskosteus [g/m³]

t = lämpötila [°C]

Tämä kaava pätee lämpötila-alueella -20...+80 °C. [5, s. 43.]

Kyllästyskosteutta vastaava kyllästyspaine on suoraan yhteydessä kyllästyskosteuteen. Kyllästyspaine on höyryn osapaineen yläraja. Vesihöyryn osapaineella tarkoitetaan painetta, johon ilman sisältämä vesihöyry vaikuttaa. [5, s. 44.]

Kyllästyspaineen ja lämpötilan väliseen yhteyteen voidaan soveltaa kaavaa 4:

$$p_v = v_k \cdot 461,4 \cdot (273+t) \text{ [Pa]} \quad (4)$$

jossa,

p_v = kyllästyspaine [Pa]

v_k = kyllästyskosteus [g/m³]

t = lämpötila [°C] [5, s. 43.]

5.2.3 Suhteellinen kosteus

Suhteellinen kosteus ilmoittaa vesihöyrypitoisuuden (absoluuttisen kosteuden) suhdetta kyllästyskosteuteen tietyssä lämpötilassa. Sen yksikkö on prosentti. Suhteellinen kosteus kertoo siis kuinka lähellä kastepistettä ollaan. [5, s. 44.] Suhteellinen kosteus RH voidaan laskea kaavasta 5:

$$RH = \frac{v}{v_k} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$$

jossa,

v = absoluuttinen kosteus [g/m^3]

v_k = kyllästyskosteus tietyssä lämpötilassa [g/m^3]

Suhteellinen kosteus voidaan laskea myös kyllästyspaineen perusteella, jakamalla vesihöyryn paine kylläisen höyryn paineella. Kyllästyspaine on taas suurin vesihöyryn aikaansaama paine tietyssä lämpötilassa. [5, s. 44.] Suhteellinen kosteus RH voidaan laskea kaavasta 6:

$$RH = \frac{p}{p_k} \cdot 100 \quad [\%] \quad (6)$$

jossa,

p = vesihöyryn paine [Pa]

p_k = kylläisen vesihöyryn paine [Pa] [5, s. 44.]

5.2.4 Kosteustasapaino

Tasapainokosteudella tarkoitetaan aineessa olevan kosteusmäärää tietyssä ympäristön kosteusrasitusolosuhteessa ja lämpötilassa.

Kaikki huokoiset aineet imevät itseensä kosteutta ilmasta ja vapaasta vedenpinnasta. Kosteuden sitoutuminen aineeseen johtuu siitä, että aineessa on tyhjää tilaa, jonne vesimolekyylit mahtuvat. Huokoiset aineet ovat mm. betoni, tiili, puu, eristeet jne. Metallit ovat taas niin tiiviitä aineita, ettei niihin mahdu vesimolekyylejä. [6, s. 61.]

Hygroσκοoppinen tasapainokosteus

Jokaisella materiaalilla on kyky sitoa kosteutta ilmasta sekä luovuttaa kosteutta ilmaan. Tätä ominaista kutsutaan hygroσκοoppisuudeksi. Kun aineen

huokosissa olevan ilman suhteellinen kosteus on asettunut samaan arvoon kuin ympäröivän ilman suhteellinen kosteus, on saavutettu ns. hygroskoop-pinen tasapainokosteus. Tämän suuruus on erilainen eri aineilla. Tasapaino-käyrillä kuvataan eri materiaalien kostumista ja kuivumista ilman RH % ja kosteuspitoisuuden funktiona. [6, s. 61.]

6 LÄMPÖ

6.1 Lämmön siirtyminen

Lämpöenergia pyrkii siirtymään lämpimästä kylmempään. Toisin sanoen energiamäärät pyrkivät tasoittumaan. Lämpö rakenteessa voi siirtyä raken-teessa kolmella eri tavalla: johtumalla, säteilemällä ja konvention avulla. [5, s. 12.]

Lämmönsiirtymistä tutkitaan pääasiallisesti johtumisen ilmiön vaikutuksesta.

6.1.1 Johtuminen

Johtumisessa energia siirtyy aineen rakenneosien välisissä törmäyksissä. Siirtymisen vuoksi voidaan puhua lämmön virtauksesta, vaikka johtumiseen ei liitykään ainevirtausta. [5, s.12.] Jotta lämpö voisi siirtyä aineesta toiseen, on kappaleiden koskettava toisiaan. Hyvä esimerkki johtumisesta on kuu-massa keitossa oleva lusikka. Pian huomataan että lusikan kylmempi osa on melko kuuma. Keitossa oleva lämpö siirtyy johtumalla lusikan vartta pitkin kohti sen kylmempää osaa. Sama ilmiö tapahtuu rakenteiden välillä. [16, s.449 - 451.]

Eri aineet johtavat lämpöä eri lailla. Metallit johtavat lämpöä hyvin, mutta nesteet ja kaasut huonosti. Lämmönjohtavuuteen vaikuttaa aineen tiheys. Mitä tiheämpi aine sitä parempi lämmön johdin. Huokoset aineet johtavat taas huonosti lämpöä, minkä takia ne ovat hyviä rakenteiden lämmöneristä-jiä. Lämmöneristeenä kannattaa käyttää ainetta, jonka lämmönjohtavuus on pieni. Mikäli rakenteen lämmöneristys kastuu, sen eristävyys huononee ja johtavuus kasvaa, mikä ei tietenkään ole toivottua rakenteissa. [16, s. 450 - 451.]

Jotta rakentamisessa pysytään hallitsemaan energiakulutusta ja välttämään haitallisia ilmiöitä, täytyy rakenteessa tietää rakennusvaipan läpi siirtyvistä energiavirroista. Lämpövirran tuntemisen kautta pystytään myös arvioimaan

rakenteiden lämpötiloja eri osissa. Näin voidaan laskea mahdollinen kosteuden tiivistyminen rakenteissa. Lämpövirran peruskaava on:

$$q = \lambda \cdot \frac{t_1 - t_2}{d} \quad [\text{W/m } ^\circ\text{C}] \quad (7)$$

jossa,

λ = ainekerroksen lämmönjohtavuus [W/m °C]

d = seinämän paksuus [m]

t_1, t_2 = seinämän yli vallitsevat lämpötilaerot [°C]

Lämmönsiirtymisvastus on seinämän paksuuden ja lämmönjohtavuuden suhde, joka on lämmönjohtavuuden käänteisarvo:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad [\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}] \quad (8)$$

Jos rakenne koostuu useasta homogeenisestä ainekerroksessa lasketaan lämpövirta seuraavasti:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\Sigma R} \quad (9)$$

jossa ΣR on rakenteen lämmönvastusten summa mukaan lukien sisä- ja ulkopuoliset pintavastukset. [5, s.12.]

6.1.2 Säteily

Säteilyssä energia siirtyy sähkömagneettisen aallonpituuden välityksellä valon nopeudella. Kaikki kappaleet, joiden lämpötila on absoluuttisen nollapisteen yläpuolella lähettävät säteilyä. Eniten lämpösäteilyä lähettää musta kappale. [6, s.37.]

6.1.3 Konvektio

Konvektiossa lämpö siirtyy kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Konvektio voi olla joko luonnollista tai pakotettua. Luonnollisessa konvektiossa virtaus aiheutuu lämpötilaerosta, joka aiheuttaa tiheyseroja. Kuuma, harva aine kohoaa painovoimakentässä ylöspäin. Liikkeellepaneva voima on siis noste. Tiheämpi, viilentynyt aine laskeutuu alaspäin. Pakotetussa konvektiossa kaasu tai neste liikkuu jonkin ulkopuolisen voiman vaikutuksesta. Pakotettuja

virtauksia saavat sisätiloissa aikaiseksi mm. ilmanvaihdon puhaltimet ja ihmisten liikkeet. [5, s. 13.]

7 LÄMMÖN JA KOSTEUDEN SIIRTYMINEN RAKENTEESSA

7.1 Lämmönläpäisykerroin U-arvon laskenta

U-arvo on lämmönvastuksen käänteisarvo eli se ilmoittaa lämpömäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolella olevien ilmatilojen välillä on yksikön suuruinen. [13.]

Jos rakenteen ainekerrokset ovat tasapaksuja ja lämpöä virtaa ainekerrokseen nähden kohtisuoraan voidaan lämmönläpäisykerroin laskea seuraavasta kaavasta:

$$U = \frac{1}{\Sigma R} \quad [\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}] \quad (10)$$

jossa,

ΣR = rakenteen lämmönvastusten summa mukaan lukien sisä- ja ulkopuoliset pintavastukset.

$$\Sigma R = r_s + r_u + \frac{d_1}{\lambda_{n1}} + \frac{d_2}{\lambda_{n2}} + \dots [\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}] \quad (11)$$

jossa,

r_s = sisäpuolinen lämmönvastus [$\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$]

r_u = ulkopuolinen lämmönvastus [$\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$]

λ = lämmönjohtavuus [$\text{W/m } ^\circ\text{C}$]

d = ainekerroksen paksuus [m] [5, s. 14.]

Lämmönläpäisykerroimen tarkoituksena on kuvata rakennuksen eri rakennusosien lämmöneristyskykyä. Mitä pienempi U-arvo, sitä parempi lämmöneristys. Käytännössä U-arvo ei ole vakio vaan se huononee seinämän kosteuden lisääntyessä ja paranee jälleen seinämän kuivuessa. U-arvo kuvaa hyvin suunnitellun ja huolella tehdyn rakenteen keskimääräistä kykyä vastustaa lämmön kulkua koko rakenteen käyttöajan. [5, s.14.]

Suomen rakennusmääräyskokoelman osa C3 antaa rakennusosien lämmönläpäisykertoimien enimmäisarvoja eri tilanteissa.

7.2 Pintalämpötilat

Lämmön siirtymistä pinnoille tarkoitetaan lämpötilan muutosta ilman ja kiinteän aineen välillä. Tätä tietoa tarvitaan kun halutaan tietää mahdollisen kosteuden tiivistymispaikkaa rakenteissa.

Kun tunnetaan rakennetta rajaavien tilojen lämpötilat (t_u, t_s) ja rakenteen eri kerrosten ja koko rakenteen lämmönvastukset (R), voidaan laskea rajapintojen lämpötilat [5, s.30 - 31]. Kuvista 11 ja 12 voidaan nähdä kosteuden ja lämmön jakautuminen seinämän poikkileikkauksen eri kohdissa.

Lämpötilan jakautumista voidaan laskea rakenteen mielivaltaisessa kohdassa seuraavasti:

$$t_x = t_s - \frac{\Sigma R_x}{\Sigma R} \cdot (t_s - t_u) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (12)$$

jossa,

ΣR_x = lämmönvastus sisäpinnasta kohdassa x [$\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}$]

t_s = sisäpinnan lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]

7.3 Kosteuden siirtyminen

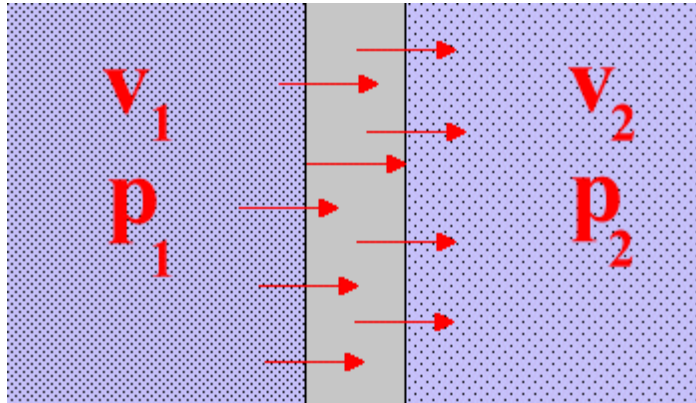
Kosteuden siirtyminen voidaan jakaa kahteen osaan: siirtymistä vesihöyrynä ja siirtymistä vetenä. Vesihöyry siirtyy diffuusion muodossa tai rakenteiden ilmapaine-eron aiheuttaman ilmavirtauksen eli konvention kuljettamana. Vesi taas siirtyy pääasiallisesti rakenteessa kapilaarisesti tai ulkoisen voiman aiheuttamasta virtauksesta. [5, s. 55; 6, s.56.]

Kosteuden siirtyminen rakenteissa on yleensä edellä mainittujen siirtymistapojen summa. Kosteus voi myös muuttaa olomuotoaan vedestä vesihöyryksi, jäädä vesihöyryksi tai päinvastoin. Kosteusvirrasta saattaa jäädä osa rakenteiden sisään. [6, s. 56.]

Jäähalleissa varteen otettavin kosteuden siirtymistapa on diffuusio ja virtaus-
ten mukana liikkuva kosteus.

7.3.1 Diffuusio

Rakennustekniikassa diffuusiolla tarkoitetaan yleensä kosteuden liikkumista vesihöyrynä rakenteen läpi. Lähes kaikki materiaalit läpäisevät tietyn määrän vesihöyryä. [12.]



Kuva 9, Vesihöyryn siirtyminen diffuusion avulla [12]

Tärkein diffuusioon vaikuttava tekijä on tilojen välinen kosteuden ero eli kosteus yrittää diffuusivoitua erottavan rakenteen läpi tilaan, jonka ilman vesihöyryn osapaine on pienempi. [12.]

Diffuusiolla kulkevan kosteuden virran määrää voidaan laskea kaavoista 13 ja 14:

$$q_v = \delta_v \cdot \frac{\Delta v}{\Delta x} \quad [\text{kg/s m}^2] \quad (13)$$

tai

$$q_p = \delta_p \cdot \frac{\Delta p}{\Delta x} \quad [\text{kg/s m}^2] \quad (14)$$

jossa,

δ_v = vesihöyryn läpäisevyys [m^2/s]

δ_p = vesihöyryn läpäisevyys [kg/m s Pa]

Δv = kosteusero matkalla x [kg/m^3]

Δp = kosteusero matkalla x [Pa]

Δx = diffuusiomatka [m] [5, s. 55 - 56].

Kun rakenne koostuu useasta homogeenisesta ainekerroksesta, saadaan sen läpi diffuusiolla kulkeva kosteusvirta kaavoista 15 ja 16.

$$q_v = \frac{v_s - v_u}{\sum Z_v} \quad [\text{kg/m s}] \quad (15)$$

tai

$$q_p = \frac{p_s - p_u}{\sum Z_p} \quad (\text{kg/m s Pa}) \quad (16)$$

jossa

v_s, v_u = vesihöyrymäärät sisä- ja ulkoilmassa [g/m³]

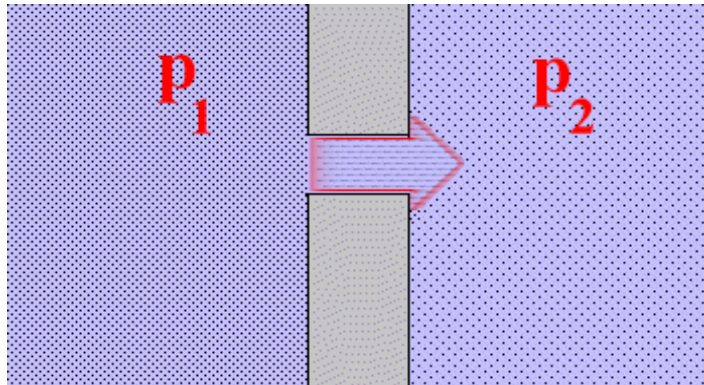
p_s, p_u = vesihöyryn osapaine sisä- ja ulkoilmassa [Pa]

$Z = \frac{d}{\delta}$ = eri ainekerroksen vesihöyryvastus Z_v [s/m] tai Z_p [m² s Pa/kg]

δ = tietyn rakennusaineen vesihöyryn läpäisevyys [kg/m s Pa] tai [m²/s]

d = homogeenisen rakenteen paksuus [m] [5, s. 55-56]

7.3.2 Konvektio eli vesihöyryn siirtyminen ilmavirtausten mukana



Kuva 10, Vesihöyryn siirtyminen ilmavirtausten mukana [12]

Vesihöyryn konvektiolla tarkoitetaan ilmavirtausten mukana tapahtuvaa vesihöyryn siirtymistä. Jotta ilmavirtausta syntyy, täytyy rakenteen eri puolilla vallita erilaiset ilman kokonaispaineet. Potentiaalina vesihöyryn konvektiossa on ilmapaine-erot. Kosteutta mukana kuljettavaa konvektiovirtausta saattaa esiintyä seinänsisäisenä eli ilman tiheyseroista johtuvana luonnollisena kon-

vektiona tai rakenteessa olevien reikien tai rakojen kautta ilmapaine-erojen vaikutuksesta tapahtuvana pakotettuna konvektiona. [5, s. 57.]

7.4 Kosteuden tiivistyminen eli kondenssi

Jos kostea ilma joutuu kosketukseen sellaisen pinnan tai huokosseinämän kanssa, jonka lämpötila alittaa ilman kastepistelämpötilan, tiivistyy pinnalle tai huokosseinämään kosteutta.

Tiivistymistä voi tapahtua joko rakenteen pinnassa tai sen sisällä. Diffuusion vaikutuksesta vesihöyry tiivistyy rakenteiden sisään eli höyry virtaa koko rakenteen läpi. Konvektiosta aiheutuva tiivistyminen tapahtuu yleensä rakenteen pinnalle tai rakenteen sisään, jos pinnassa on jokin vuotokohta, halkeama tai rako. Näin olleen vesihöyryn tiivistyminen rakenteen sisään on diffuusion aiheuttama ongelma. [6, s. 56.]

Vaikka vesihöyryn tiivistymistä ei voida kokonaan välttää, voidaan seinärakenteissa hidastaa diffuusiota siten, että se ei aiheuta kosteusvaurioita. Rakenteet tulee suunnitella siten, että lämmöneristeen ja lämpimän sisätilan väliin tulee riittävän vesihöyryntiivis kerros ja seinämärakenteen vesihöyryvastus pienenee kylmään tilaan päin mentäessä. Eri rakennusaineilla on ominaisvesihöyryläpäisevyysarvoja, joiden vesihöyryvastus kuvaa vesihöyryn virtausta vastustavaa ominaisuutta. Se on tavallaan käänteinen suure vesihöyryläpäisevyydelle. [6, s. 56.]

7.5 Tiivistymisen laskeminen rakenteessa

Tiivistymislaskelmissa jaetaan vuosi tiivistymisjaksoon ja kuivumisjaksoon. Tiivistymisjakso on yleensä talvikuukausina ja kuivumisjakso kesäkuukausina. Jos rakenteeseen tiivistyy kosteutta, on sen poistuttava kuivumiskauden aikana. Tiivistymislaskelmissa lasketaan vuotuinen tiivistymisen määrä rakenteessa. Tiivistymislaskelmissa tulee ilmetä, kuinka paljon kosteutta tiivistyy ja mihin kohtaan. Vastaavasti lasketaan poistuva kosteusmäärä rakenteesta kuivumiskauden aikana. Jos kuivumiskautena kosteutta poistuu enemmän kuin tiivistymiskautena, voidaan rakennetta pitää toimivana. [6, s. 66; 10.]

Jotta rakenteeseen ei tiivistyisi kosteutta, tulee vesihöyryn osapaineen olla suurempi kuin samassa lämpötilassa oleva kylläisen vesihöyryn osapaineen:

$$p_x < p_k \quad (17)$$

Vesihöyryn osapaineen jakautumat voidaan laskea rakenteen mielivaltaisessa kohdassa seuraavasti:

$$p_x = p_s - \frac{\sum Z_x}{\sum Z} \cdot (p_s - p_u) \quad [\text{Pa}] \quad (18)$$

jossa,

p_x = vesihöyryn osapaine kohdassa x [Pa]

$\sum Z_x$ = sisäpinnasta kohtaan x olevien kerrosten vesihöyryn vastusten summa
[m² s Pa/kg]

$\sum Z$ = koko rakenteen vesihöyryvastus [m² s Pa/kg]

p_s, p_u = vesihöyryn osapaineet sisä- ja ulkoilmassa [Pa]

t_x = lämpötila kohdassa x [°C] [5, s.66].

Kylläisen vesihöyryn paineen voidaan laskea kaavasta 3. Sitä varten tarvitaan rakenteen lämpötila jakautuma joka voidaan laskea kaavasta 12.

Tiivistyvä kosteus määrä

Jos tiivistymistä tapahtuu rakenteen sisällä, voidaan tiivistyvä kosteus määrä laskea kosteusvirran avulla rakenteessa siinä kohdassa, jossa tiivistymistä tapahtuu. [5, s.67.]

$$q_{tiiv} = \frac{p_s - p_x}{Z_{sisä}} - \frac{p_x - p_u}{Z_{ulko}} \quad [\text{kg/m}^2 \text{ s}] \quad (19)$$

jossa,

p_s = vesihöyryn osapaine sisällä [Pa]

p_x = vesihöyryn kyllästyspaine tiivistymisen kohdassa [Pa]

p_u = vesihöyryn osapaine ulkona [Pa]

Kaavan ensimmäinen termi kuvaa sisältä rakenteeseen tulevaa kosteutta ja jälkimmäinen termi kuvaa kosteus määrää joka samanaikaisesti diffuusioituu tiivistymiskohdasta ulos. Näiden erotus kuvaa seinään jäävää kosteusvirtaa [5, s.67]

Vastaavasti kuivumista rakenteesta voidaan laskea kaavasta:

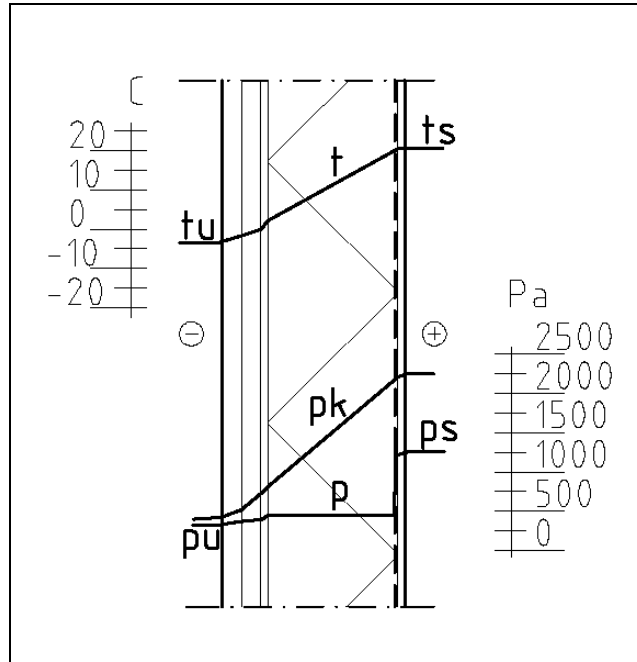
$$q_{\text{kuiv}} = \frac{p_x - p_u}{Z_{\text{ulko}}} - \frac{p_x - p_s}{Z_{\text{sisä}}} \quad [\text{kg/m}^2 \text{ s}] \quad (20)$$

Ensimmäinen termi kuvaa kuivumista tiivistymiskohdasta ulospäin ja jälkimmäinen termi kuivumista tiivistymiskohdasta sisäänpäin. [5, s.66-67.]

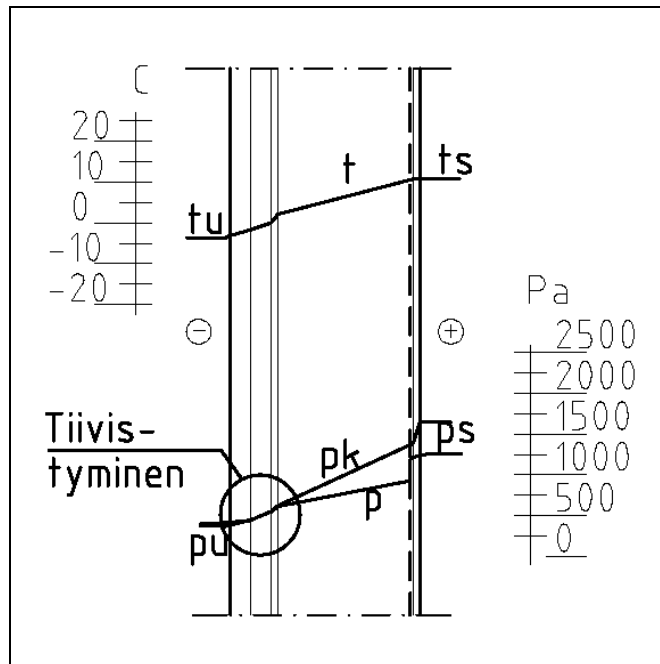
Rakenteen, jossa on monta homogeenista kerrosta, kosteuden tiivistymistä tarkistellaan seuraavasti:

1. Selvitetään ilmastolliset seikat: lämpötilat ja vesihöyryn osapaineet rakenteen molemmalla puolella
2. Päätetään rakennusaineet
3. Lasketaan lämpötilajakautumat
4. Lasketaan vesihöyryn kyllästyspaineet
5. Verrataan keskenään p_k ja p arvoja. Jos $p < p_k$ jokaisessa kerroksessa tiivistymistä ei tapahdu.
6. Tulos voidaan esittää graafisesti, jossa pystyakselilla on lämpötila ja vesihöyryn osa-aine. Vaakarivillä vesihöyryn vastus Z . Jos vesihöyryn osapaineen käyrä leikkaa kyllästyskäyrän p_k , tapahtuu tiivistymistä.
7. Jos $p > p_k$ lasketaan tiivistyneen kosteuden määrä.
8. Lasketaan vastaavalla tavalla kuivumiskautena rakenteesta poistuva kosteusmäärä.
9. Verrataan tiivistyneen kosteuden ja poistuneen kosteuden määrää.
 $q_{\text{kuiv}} > q_{\text{tiiv}}$.

Kuvassa 11 ja 12 on esitetty lämpötila- ja kosteusjakauma rakenteessa. Kuvasta 11 voidaan nähdä, että $p < p_k$ koko seinämässä. Tiivistymistä ei siis tapahdu. Kuvassa 12, p käyryltä leikkaa p_k käyrän eli vesihöyryn tiivistyminen on mahdollista.



Kuva 11, Lämpö- ja kosteusjakautuma, kun $p < p_k$



Kuva 12, Lämpö- ja kosteusjakautuma kun, $p > p_k$

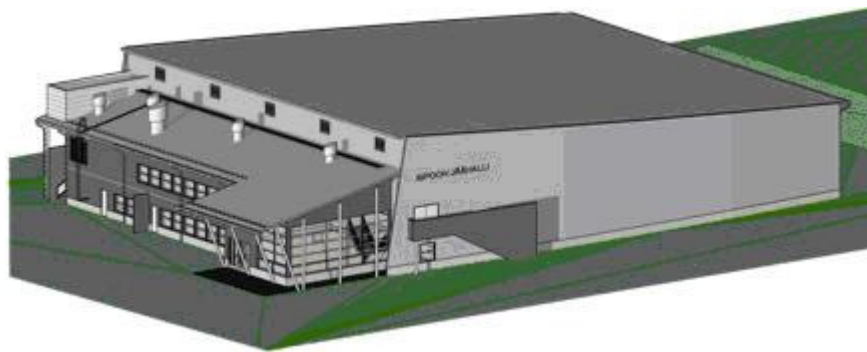
8 ESIMERKKIKOHDE

8.1 Sipoon harjoitusjäähalli

8.1.1 Yleistä

Sipoon jäähalli on syksyllä 2009 valmistuva ympärivuotiseen käyttöön tuleva harjoitusjäähalli. Jäähalli sijaitsee Nikkilässä Sipoon kunnassa. Rakennuksen kerrosala on noin 3200 m² ja rakennuksen tilavuus on 23150 m³. Halliosan vapaa korkeus on 5 m ja se kooltaan on 385 m². Katsomo on mitoitettu 300 ihmiselle. Kaukalon koko on 28x58 metriä. Puku- ja sosiaalilat on rakennettu varsinaisen halliosan kylkeen matalampana loivalla pulpettikatolla. Niihin kuuluu neljä pukuhuonetta, 40 hengen kahvio, väestönsuoja sekä erilaisia varastotiloja ja teknisiä tiloja. Puku- ja sosiaalilat ovat kahdessa kerroksessa.

Halli perustetaan tukipaalujen varaan. Hallin ulkovuoraus tehdään puupintaisena kauttaaltaan. Katto on loiva pulpettikatto, jonka pinnoitteena on käsittelemätön PVC-kate.



Kuva 13, Sipoon harjoitusjäähalli

8.1.2 Rakenteet

Kantavat rakenteet on perustettu paaluille lukuun ottamatta jääkentän aluetta. Jääkenttä on irrallinen painuva maanvarainen betonilaatta. Muilta osin alapohjat ovat kantavia teräsbetonilaattoja. Sosiaalitalan alapohja on ryömintätällainen kantava ontelolaatasto, joka on koneellisesti tuuletettu. Välipohjat ovat kantavia ontelolaattoja ja osin paikallavalettuja. Kenttäalueen ikeroudan syntymistä on estetty erillisillä lämmitysputkistoilla salaojakerroksessa.

Jäädytettävänä kenttäpohjana on 140 millimetrin paksu liikuntasaumaton laatta, jossa on 150 millimetrin välein molemmilla puolilla 8 millimetriset har-

jateräkset. Kenttäpohjan betoni on pakkasen kestävä ja pinnoitettu vesitiiviiksi. Laatassa ei ole liikuntasauvoja. Betonina on käytetty K35-2.

Runko

Jäähallin runko on yksiaukkoinen mastojäykistetty pilarirunkorakenne. Pilarirungon jako on 6 metriä. Rungon päädyissä on tuulipilarit, jotka ovat nivelkantaisia. Rakennuksen kantava runko on toteutettu puusta ja betonista.



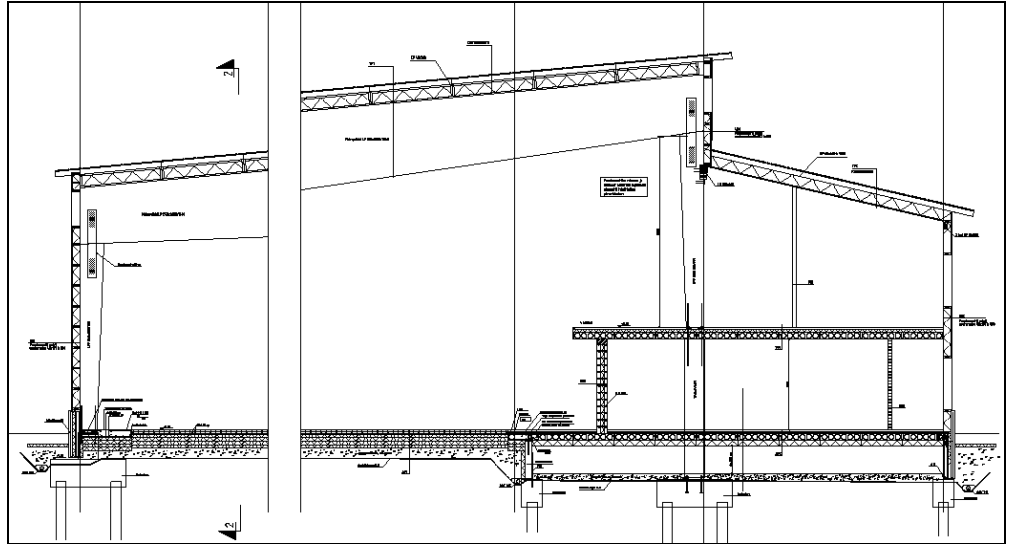
Kuva 14, Sipoon harjoitusjäähalli sisältä rakennusaikaisessa vaiheessa



Kuva 15, Sipoon harjoitusjäähalli sisältä rakennusaikaisessa vaiheessa

Pilarirungon palkkikannattajana on käytetty 240x2600/1640 liimapuista mahapalkkia, jonka jänneväli on 35 metriä. Kuvista 14 ja 15 voidaan nähdä jäähallin massiiviset palkkikannattajat. Mahapalkit tukeutuvat mastojäykistettyihin 240x500/700 liimapuupilareihin. Tuulipilareina on käytetty 190x400 liimapuupilareita. Pilarit tukeutuvat teräsbetonianturoihin ja edelleen perus-

maahan. Mahapalkit ovat liitetty pilareiden kylkiin hankosoiroliitoksella. Halli on jäykistetty mastopilareilla pidemmillä sivuilla, lyhyemmällä sivuilla jäykistävillä puuelementteihin. Yläpohja on toteutettu elementtirakenteisena kantavilla kertopuurakenteilla. Väestönsuojan rakenteet ovat teräsbetonia. Kuvasta 16 voidaan nähdä jäähallin rakenneperiaate.



Kuva 16, Sipoon jäähalli, Perusleikkaus

Sosiaalitilojen 1. kerroksessa on 480x580 betoniset pilarit, joihin runko tukeutuu. Sosiaaliosan ulkoseinät on toteutettu kantavilla ja jäykistävillä puuelementeillä.

Kantavat väliseinät on tehty betonielementti-, puu- ja kalkkihiekkatiilirakenteisina. Kantavat väliseinät ovat esivalmistettuja betonielementtejä.

Ulkoseinät, tyyppi US1 ja US2, ovat ulkopuolelta lautaverhottuja puurakenteisia, lämpöeristettyjä ulkoseinäelementtejä. Ulkoseinien sisäverhouksena käytetään puukipsilevyä.

Suunnittelun alussa ulkoseinien ja yläpohjan vaihtoehtoiseksi rakenteeksi harkittiin myös teräsrakenteista ratkaisua. Kustannusvertailujen jälkeen osoittautui puurakenteinen vaihtoehto halvemmaksi ja paremmaksi. Kustannuksiin vaikutti erityisesti se, että vaadittava puu julkisivun liittäminen teräsrakenteeseen osoittautui kalliimmaksi ja hankalammaksi. Sisäpintojen osalta olisi pitänyt käyttää akustiikkalevyjä.

8.1.3 Sipoon jäähallin kosteustekniset olosuhteet

Jäähalli koostuu olosuhteiltaan erilaisista, puolilämpimistä ja lämpimistä tiloista. Puolilämpimät ja lämpimät tilat on jaettu ilmanvaihdoltaan kahteen eri osastoon, joissa on eri olosuhteet.

Sipoon harjoitusjäähallin puolilämpimät tilat ovat: halliosa, katsomo, toisessa kerroksessa sijaitsevat tekniset tilat ja IV-konehuone. Lämpimät tilat ovat ensimmäisen kerroksen sosiaalitilat, toisen kerroksen varastotilat sekä kahvio. Tilojen sijoitus rakennuksessa löytyy liitteestä 2.

Suomen jääkiekkoliitto on antanut erilaisia tavoitearvoja harjoitusjäähallien sisälämpötiloille ja kosteusprosentille. Harjoitusjäähallin suositusarvot ovat seuraavat:

- Hallialueella jääpinnan lämpötila -3 °C
- Hallialueen 1,5 metriä jääpinnasta $+2\dots+6\text{ °C}$
- Katsomon kohdalla katsomon läsnä ollessa $+10\text{ °C}$, muina aikoina alle $+10\text{ °C}$.

Maksimaalinen suhteellinen kosteusprosentti on kaikkialla 70 %. [2, s. 40-41.]

Lämpimät tilat noudattavat normaaleja sisälämpötilan vaatimuksia. Niiden lämpötilat vaihtelevat $+19\dots+21\text{ °C}$:een. RH vaihtelee 20 - 50 prosentin välillä märkätiloissa ajoittain enemmän.

8.2 Tutkimuksen toteutustapa

Työssä varmistettiin valmiiksi annettujen rakenneratkaisujen kosteusteknistä toimivuutta. Lisäksi vertailtiin puurakenteisen ja metallirakenteisen ulkoseinän ja yläpohjan toimintaa.

Lähtökohtana oli, että rakenteeseen saa tiivistyä kosteutta, kunhan kosteus pääsee poistumaan kuivumiskauden aikana. Mikäli kosteutta tiivistyisi, varmistettiin, että sama määrä kosteutta poistuisi kuivumiskauden aikana. Tiivistymistä ei kuitenkaan saa tapahtua siihen kohtaan missä lämpötila on alle 0 °C . Yritettiin myös löytää kyseisten rakenteiden hyvät ja huonot puolet ja arvioida niiden kelvollisuutta.

Kokeiltiin erilaisten rakennevaihtoehtojen toimivuutta rakentamalla Excel-
taulukolla kosteuden- ja lämmönjakautumasta, jossa muuttujina olivat ilmas-
to-olosuhteet ja Jääkiekkoliiton suositamat sisäolosuhteet harjoitusjäähalleil-
le. Olosuhteita tarkasteltiin vuoden jokaisen kuukauden keskiarvojen mu-
kaan. Lopulta ehdoteltiin kyseisille rakenteille sisäiset lämpö- ja kosteuden
raja-arvot toimivuuden kannalta.

Tarkistettiin myös, että rakenteisiin ei syntyisi haitallisia mikrobeja liian lyhy-
essä ajassa. Tutkittiin myös höyröyksen sijoitusta rakenteessa.

Seuraavaksi esitetään rakenteet yksityiskohtaisesti ja niiden rajat jonka jäl-
keen analysoidaan niiden toimivuutta kosketusteknisesti. Rakenteiden las-
kelmat löytyvät liitteistä.

8.3 ULKOSEINÄ 1

Vaihtoehtona oli normaali puurakenteinen seinä ja Paroc panel -
ohutlevyrakenne. Julkisivumateriaalina pitää olla lautaverhous.

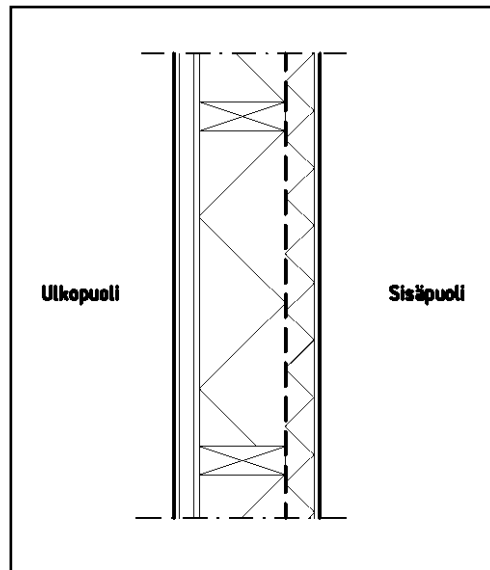
Ulkoseinä 1 sijoittuu hallialueeseen (ks. LIITE 2). Sisäolosuhteet vaihtuvat
sitien, että 1,5 metriä jäänpinnasta lämpötila on +6 °C, ylempänä +6...+10
°C. RH on 70 %. Kuukausien keskimääräiset ilmasto-olosuhteet löytyvät liit-
teestä 3. Seinälle vaadittava U-arvo on 0,38 W/m²K

8.3.1 *Ulkoseinä 1, puurakenteinen*

Seinärakenne on perus puurakenteinen seinä, jonka runkona on käytetty
48x197 runkotolppaa. Mineraalivillaa on yhteensä 200 mm, näin voidaan
saavuttaa hyvä lämpöeristyskyky. Sisäpinnan verhouksena on käytetty puu-
kipsilevyä, joka kestää hyvin kovan kulutuksen ja samalla toimii paloeristee-
nä.

Kriteerinä oli, että sisäpuoliseen mineraalivillaan ei saisi tiivistyä vesihöyryä,
koska rakennus on levyjäykistetty puukipsilevyillä. Kipsilevy pehmenee kos-
tuessa ja menettää kantokykynsä.

Ulkoseinä 1:n puurakenteisen vaihtoehdon rakennetyyppi on seuraava:



Kuva 17, Ulkoseinä 1, puurakenteinen vaihtoehto

Rakenne sisältäpäin lukien:

Puukipsilevy 12 mm

Mineraalivilla 50 mm, luokka 0,045

Höyrynsulku muovi 0,2 mm

Runko 48x197 k600, Mineraalivilla 150 mm luokka 0,045

Tuulensuojalevy G9

Pystyskoolaus 25x100 k600

Lautaverhoilu, rakenneselityksen mukaan

U-arvo 0,21 W/m²K

8.3.2 Tulokset

Laskelmien perusteella, kesäolosuhteessa sisälämpötilan ollessa +6 °C ja RH % 70, rakenteisiin tiivistyy heinä-syyskuun aikana vesihöyryä rakenteen ulkopuoliseen mineraalivillaan. Tiivistyvä vesihöyryn määrä on kolmen kuukauden aikana yhteensä 843 g/m². Heinä-elokuun aikana lämpötilan ollessa +10 °C kosteutta tiivistyy ulkopuoliseen mineraalivillaan yhteensä 60 g/m². Poistuvan vesihöyryn määrä tammi-maaliskuun aikana on 1130 g/m². Tästä voidaan päätellä, että pysyvää vesihöyryn tiivistymisen vaaraa ulkopuoliseen mineraalivillaan ei ole.

Talvikautena vesihöyryn tiivistymistä ei tule syntymään.

Kyseisessä rakenteessa höyrysulku on sijoitettu 62 mm sisäpinnasta ulospäin. Tällä on pyritty parantamaan rakenteen höyryvastusta kesäkautena. Paikka osoittautui kosteusteknisesti parhaimmaksi paikaksi, vaikkakin höyrysulun siirtäminen vielä 50 mm ulospäin vähentäisi vesihöyryn tiivistymistä kesäkautena, mutta lisäsi taas tiivistymistä sisäpuoliseen mineraalivillaan talvikautena.

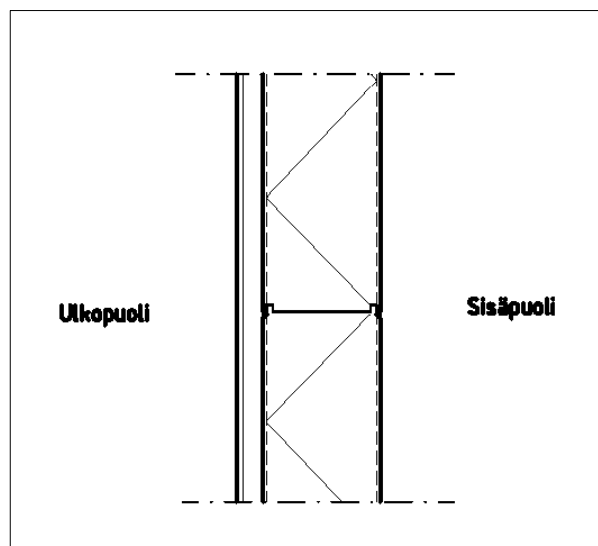
Mikäli halutaan välttää vesihöyryn tiivistyminen rakenteeseen kokonaan, täytyy säätää lämpötiloja 1,5 metrin korkeudella jään pinnasta vastaavasti ulkolämpötilojen mukaan. Kesä-heinäkuun aikana optimaalinen lämpötila olisi yli +13 °C, syyskuussa vähintään +10 °C, muina aikoina saa olla alle +10 °C.

Rakenteissa vallitseva korkea kosteusprosentti saattaa aiheuttaa homeitiöiden kasvua erityisesti kesä-heinäkuun aikana. Lämpötilan nostaminen kesäkautena +13 °C:een estää homeitiöiden synnyn.

8.3.3 Ulkoseinä 1 ja 2, metallirakenteinen

Teräsvaihtoehdoksi valittiin Paroc panel -järjestelmä, jonka julkisivuna on puupanelointi. Eristeaineena on 200 mm:n mineraalivilla, jonka teräsosat ovat sinkittyjä teräsohutlevyjä. Teräsrakenteinen seinä on käytännössä vettä läpäisemätön, kunhan saumat ja detailit on tehty huolellisesti.

Ulkoseinien 1 ja 2 metallirakenteisen vaihtoehdon rakenne on seuraava:



Kuva 17, Ulkoseinät 1 ja 2, teräsrakenteinen vaihtoehto

Rakenne sisältäpäin lukien:

Paroc panel -original E-175 (200 mm)

Pystyskoolaus 25x100 k600

Lautaverhoilu, rakenneselityksen mukaan

U-arvo 0,21 W/m²K

8.3.4 Tulokset

Laskelmien perusteella teräsrakenteinen seinä toimii kosteusteknisesti sekä talvi- että kesäkautena täysin moitteettomasti, kun tarkastellaan vesihöyryn siirtymistä diffuusion avulla.

Rakenne on yksinkertainen ja helppo asentaa, ja lisäksi se on palokesto-omaisuudeltaan parempaa kuin puurakenteinen seinä. Rakenteen toimivuus edellyttää että, seinän liitokset on tehty huolellisesti ja rakenne on tiivis. Saumojen huoltoon on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska rakenteiden liikkeet saattavat aukaista saumoja. Mikäli seinässä ilmenee vuotokohtia ja vesihöyryä tiivistyy ilmavirtausten mukana seinään, sen pääsy siltä ulos on hyvin hankala. Jäähallin sisärakenteet ovat kovassa käytössä ja ohut teräslevy on hyvin altis kolhuille, jolloin rakenteen tiiveys voi rikkoutua.

Metallirakenteiden ongelmana on myös suuri jälkikaiunta jäähallin käyttöaikana. Jälkikaiunta tekee puheesta epäselvää. Jälkikaiunnan estämiseksi käytetään akustiikkalevyjä.

Rakenteessa homeen riskiä ei ole, jos rakenne on tiivis. Mikäli siihen kuitenkin pääsee vesihöyryä ilmavirtausten mukana, on mineraalivillassa homeen riski olemassa.

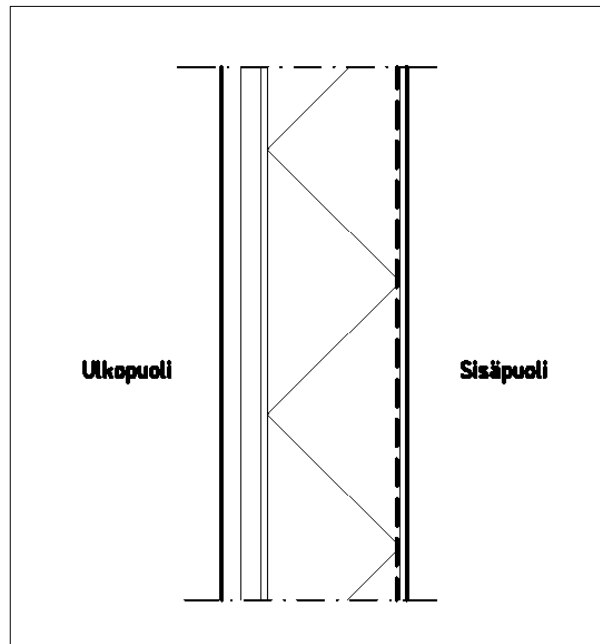
8.4 Ulkoseinä 2

Ulkoseinä 2:n on rakennuksessa lämpimien tilojen ulkoseinä (ks. LIITE 2). Sisäolosuhteet ovat ympärivuoden +20...+24 °C ja RH 20...50%. Kuukausien keskimääräiset ilmasto-olosuhteet löytyvät liitteestä 3.

Rakenne on teräsvaihtoehtoisessa seinässä täsmälleen sama kuin ulkoseinä 1:ssä. Puurakenteisessa seinässä ainoana erona on höyrysulun sijainti, koska kosteusvirran suunta on ympärivuoden sisältä ulospäin.

8.4.1 Ulkoseinä 2, puurakenteinen

Ulkoseinä 2 puurakenteisen vaihtoehdon rakenne on seuraava:



Kuva 18, Ulkoseinä 2, puurakenteinen vaihtoehto

Rakenne sisältäpäin lukien:

Puukipsilevy 12 mm

Höyrynsulkumuovi 0,2 mm

Runko 48x197 k600 Mineraalivilla 200 mm, luokka 0,045

Tuulensuojalevy G9

Pystykoolaus 25x100 k600

Lautaverhous, rakennusselityksen mukaan

U-arvo 0,21 W/m²K

8.4.2 Tulokset

Laskelmien perusteella sekä puu- että teräsrakenteinen vaihtoehto ovat täysin toimivia sekä kesä- että talvikautena. Koska rakenteessa on kosteusvirta miltei ympärivuoden sisältä ulospäin, höyrysulun paras paikka on mahdollisimman lähelle sisäpintaa.

Rakenteessa homeen riskiä ei ole, jos rakenne on tiivis. Mikäli siihen kuitenkin pääsee vesihöyryä ilmapvirtausten mukana, on mineraalivillassa homeen riski olemassa.

8.5 YLÄPOHJA 1

Yläpohjan vaihtoehdot ovat puurakenteinen tai teräsrakenteinen. Pintarakenteena on PVC-kate.

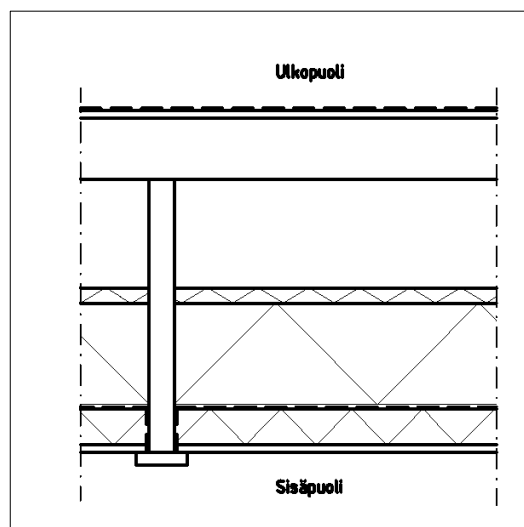
Yläpohja 1 sijoittuu rakennuksen halliosaan (ks. LIITE 2). Hallin sisäolosuhteet ovat hallin yläosassa seuraavat: Hallin lämpötilat vaihtelevat sen mukaan onko käynnissä pelitilanne vai pelkkä harjoitus. Pelin aikana ja yleisön ollessa paikalla on laskelmissa käytetty lämpötilana katon rajassa 10 °C, muina aikoina 6 °C. Kesällä luonnollisinta olisi pitää lämpötilaa ylemmässä osassa korkeampana. Kosteusprosenttina käytetään kaikissa laskelmissa 70 %. Kuukasien keskimääräiset ilmasto-olosuhteet löytyvät liitteestä 3. Yläpohjalle vaadittava U-arvo on 0,28.

8.5.1 Yläpohja 1, puurakenteinen

Yläpohjarakenne on perus puurakenteinen rakenne, jossa kattokannattajien päälle on asetettu sekundääripalkit k 2400. Mineraalivillaa on yhteensä 300 mm, näin voidaan saavuttaa riittävän hyvän lämpöeristyskyky. Sisäverhouslevynä on käytetty Gyproc-levyä, joka toimii paloeristeenä.

Kriteerinä oli, että sisäpuoliseen mineraalivillaan ei saisi tiivistyä vesihöyryä, koska sisäpintana on kipsilevy. Kipsilevy pehmenee kostuessa ja menettää kantokykynsä.

Yläpohja 1:n puurakenteisen vaihtoehdon rakenne on seuraava:



Kuva 19. Yläpohja 1, puurakenteinen vaihtoehto

Rakenne sisältäpäin lukien:

Kipsilevy GEK13

Mineraalivilla 70 mm, luokka 0,045

Höyrynsulkumuovi 0,2 mm

Runko, Mineraalivilla 200 mm, luokka 0,045

Kova mineraalivilla 30 mm, luokka 0,036

Runko (ilmarako 200 mm)

Ruoteet

Vaneri 15 mm

Erotuskerros

Protan SE PVC-kate

U-arvo 0,14 W/m²K

8.5.2 Tulokset

Laskelmien perusteella, lämpötilan ollessa +6 °C ja RH 70, tiivistymistä on havaittavissa heinä-syyskuun aikana ulkopuoliseen mineraalivillaan. Kosteutta tiivistyy kolmen kuukauden aikana yhteensä 1530 g/m². Lämpötilan ollessa +10 °C tiivistymistä on havaittavissa uloimmassa mineraalivillassa heinä-elokuun aikana. Tiivistymistä kahden kuukauden aikana on yhteensä 110 g/m². Vastaavasti poistuvan vesihöyryn määrä on yksinään jo tammi-kuun aikana 1754 g/m². Tästä voidaan päätellä, että pysyvää vesihöyryn tiivistymisen vaaraa ulkopuoliseen mineraalivillaan ei ole. Todellisuudessa kesäkautena katonrajan lämpötila on paljon korkeampi, joten tämäkin todistaa, ettei tiivistymisen vaaraa ole.

Talvikautena kosteuden tiivistymistä ei ole havaittavissa.

Höyrysulku on sijoitettu 82 mm sisäpinnasta sisäänpäin, millä on pyritty parantamaan rakenteen höyryvastusta kesäkautena. Paikka on tässä rakenteessa kosteusteknisesti paras, vaikkakin höyrysulun siirtäminen vielä 50 mm ulospäin vähentäisi vesihöyryn tiivistymistä kesäkautena, mutta lisäisi taas tiivistymistä sisäpuoliseen mineraalivillaan talvikautena.

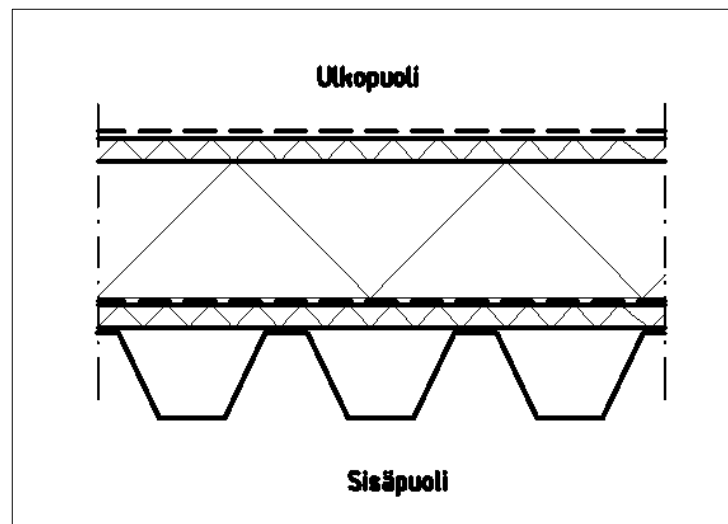
Mikäli halutaan välttää vesihöyryn tiivistyminen rakenteeseen kokonaan, täytyy säätää lämpötiloja katonrajassa vastaavasti ulkolämpötilojen mukaan. Kesä-heinäkuun aikana optimaalinen lämpötila olisi yli +13 °C ja syyskuussa +11 °C.

Rakenteissa vallitseva korkea kosteusprosentti saattaa aiheuttaa homeitiöiden kasvua erityisesti kesä-heinäkuun aikana. Lämpötilan nostaminen kesäkautena +13 °C: een estää homeitiöiden synnyn.

8.5.3 Yläpohja 1 ja 2, metallirakenteinen

Teräsvaihtoehdoksi valittiin kantava profiilipelti, jossa on 180 mm edestä mineraalivillaa. Rakenteessa ei ole varsinaista ilmarakoa, vaan ylin villapinta on uritettu. Metallirakenteinen vaihtoehto sopii rakenteeltaan myös lämpimän tilan yläpohjarakenteeksi.

Yläpohjan 1 ja 2 metallirakenteisen vaihtoehdon rakenne on seuraava:



Kuva 20, Yläpohja 1 ja 2, metallirakenteinen vaihtoehto

Rakenne sisältäpäin lukien:

Kantava profiilipelti RAN 153/1,25

Mineraalivilla 50 mm, luokka 0,039

Höyrynsulkumuovi 0,2 mm

Mineraalivilla 130 mm, luokka 0,039

Uritettu mineraalivilla 30 mm, luokka 0,039

Erotuskaista

Protan SE PVC-kate

U-arvo 0,18 W/m²K

8.5.4 Tulokset

Laskelmien perusteella teräsrakenteinen yläpohja toimii melko hyvin sekä kesä- että talvikautena. Heinä- elokuussa on havaittavissa hyvin pieniä mää-

riä vesihöyryn tiivistymistä. Kosteus poistuu talvikautena. Lämpimien tilojen kohdalla sekä talvikuukausina tiivistymistä ei ole havaittavissa.

Rakenteen toimivuus edellyttää, että katon liitokset on tehty huolellisesti ja rakenne on tiivis. Saumojen huoltoon on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska rakenteiden liikkeet saattavat aukaista saumoja. Mikäli katossa ilmenee vuotokohtia ja vesihöyryä tiivistyy ilmapirtausten mukana seinään, sen pääsy sieltä ulos on hyvin hankalaa ja rakenteeseen voi kertyä suuriakin määriä vettä. Jos rakenteen sisään pääsee kosteutta, on homeen synnyn riski olemassa.

Teräspinta kondensoi helpommin vettä, mikäli kastepistelämpötila on matalampi kuin ympäröivä lämpötila. Tämä ilmiö on ikävä varsinkin kattorakenteissa, koska kondensoitunut vesi tippuu jään pinnalle ja aiheuttaa ikäviä kupruja.

8.6 YLÄPOHJA 2

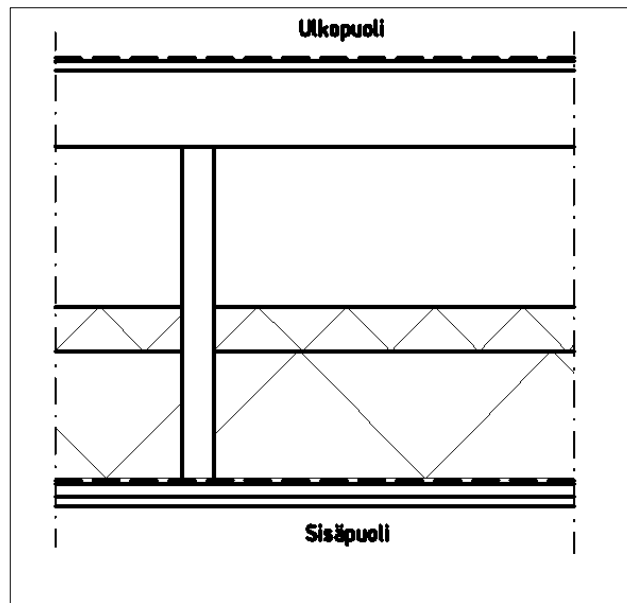
Yläpohjan vaihtoehdot ovat puurakenteinen tai teräsrakenteinen. Pintarakenteena on PVC-kate.

Yläpohja 2 sijoittuu lämpimien tilojen kohdalle (ks. LIITE 2). Sisäolosuhteet ovat ympärivuoden +20...+24 °C ja RH 20...50%. Kuukausien keskimääräiset ilmasto-olosuhteet löytyvät liitteestä 3. Yläpohjalle vaadittava U-arvo 0,28 W/m²K.

8.6.1 Yläpohja 2, puurakenteinen

Yläpohja 2:n on rakenteeltaan täsmälleen samanlainen kuin yläpohja 1, puurakenteisessa vaihtoehdossa ainoastaan höyrysulun paikka on eri. Kun kyseessä on olosuhteet, jossa ilmapirta on lähes ympärivuoden sisältä ulospäin, niin höyrysulku pitää asettaa mahdollisimman lähelle sisäpintaa.

Yläpohjan 2 puurakenteisen vaihtoehdon rakenne on seuraava:



Kuva 21, Yläpohja 2, puurakenteinen vaihtoehto

Rakenne sisältäpäin lukien:

Kipsilevy GEK 13

Koolaus 22x100 k300

Höyrynsulkumuovi 0,2 mm

Mineraalivilla 200 mm

Mineraalivilla 70 mm

Runko

Ruoteet

Vaneri 15 mm

Erotuskerros

Protan SE PVC-kate

U-arvo 0,14 W/m²K

8.6.2 Tulokset

Laskelmien perusteella yläpohja on täysin toimiva sekä kesä- että talvikautena. Homeen synnyn riskiä ei ole.

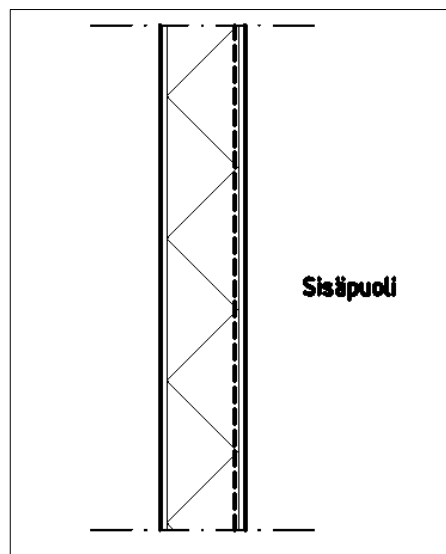
8.7 VÄLISEINÄ 1

Välisenä 1 on kevyt välisenä, joka sijoittuu rakennuksessa toiseen kerrokseen. Toisin sanoen seinä on lämpimän ja puolilämpimän tilan välissä. Olo-

suhteet ovat ympärivuoden lähes vakiot. Lämpimän tilan kohdalla sisälämpötila on +20...+24 °C ja RH 20-50%. Puolilämpimän tilojen kohdalla 6...10 °C, RH 70 %.

Rakenne on puurakenteinen, mikä helpottaa tilan muutettavuutta tarvittaessa. Rakenteessa on 100 mm eristettä ja molemmilla pinnoilla puukipsilevy, joka kestää hyvin kovaa käyttöä. U-arvovaatimuksena lämpimän ja puolilämpimän tilan väliselle rakenteelle on 0,60 W/m²K.

Väliseinä 1:n rakenne on seuraava:



Kuva 22, Väliseinä 1

Rakenne sisältäpäin lukien:

Puukipsilevy 12 mm

Höyrysulku

Runko 48x98 k600, mineraalivilla 100 mm

Puukipsilevy 12 mm

U-arvo 0,31 W/m²K

8.7.1 Tulokset

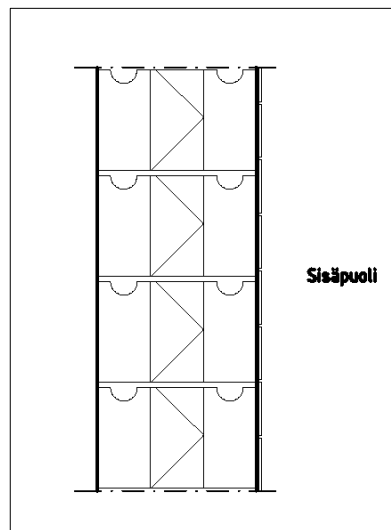
Laskelmien perusteella rakenteeseen ei tiivisty vesihöyryä. Homeen riskiä ei ole.

8.8 VÄLISEINÄ 2

Väliseinä 2 sijoittuu rakennuksessa puolilämpimän ja lämpimän tilan väliin (ks. LIITE 2). Suurin osa seinästä on kostean tilan kanssa yhteydessä. Voidaan sanoa, että olosuhteet ovat lähes vakiot vuoden aikana. Hallinpuolella lämpötila on ympärivuoden $+6...+10\text{ °C}$ ja RH 70. Lämpimien tilojen puolella $+19...21\text{ °C}$ ja RH 20-50%. Kosteusprosentti voi nousta suihkutiloissa ajoittain 100 %:iin.

Väliseinän tyyppi on lämpöeristetty Lecatermharkko. Eristeenä rakenteessa käytetään polyuretaanisolumuovia, joka toimii sekä hyvänä lämmöneristäjänä että vesihöyryvastuksena. Märkätilan kohdalla seinä on kosteuseristetty ohjeitten mukaisesti. Muilta osin pinnat ovat maalattu PVS-maalilla, mikä parantaa vesihöyryvastusta. U-arvo vaatimuksena lämpimän ja puolilämpimän tilan väliselle rakenteelle on $0,60\text{ W/m}^2\text{K}$.

Väliseinä 2:n rakenne on seuraava:



Kuva 23, Väliseinä 2

8.8.1 Tulokset

U-arvoksi saatiin $0,31\text{ W/m}^2\text{K}$.

Laskelmien perusteella rakenteessa ei ole vesihöyryn tiivistymisen vaaraa.

8.9 Alapohja 1

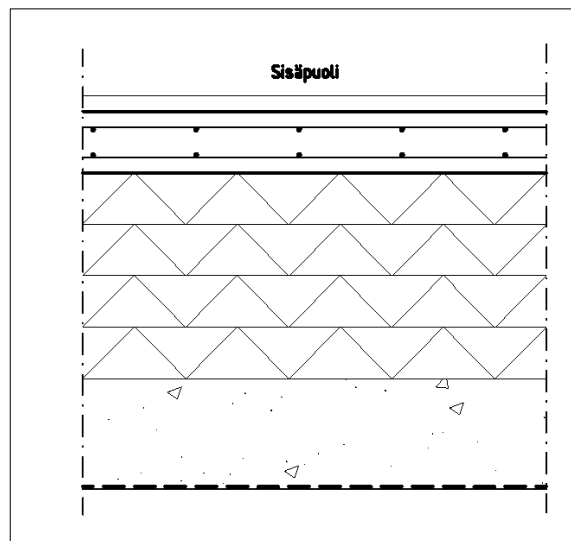
Alapohja 1 toimii jääkentän alapohjana. Kenttäalueen olosuhteet ovat ympärivuoden samat, salaojakerroksen suhteelliseksi kosteudeksi voidaan olettaa

95 % ja lämpötilaksi 6 °C. Jäähallin kenttäalueen suhteellinen kosteus saa olla enintään 70 % ja jään lämpötila vaihtelee -2 ja -4 °C: n välillä.

Kantavana rakenteena on maanvarainen betonilaatta jonka, paksuus on 140 mm ja johon on asetettu jäähdytysputkisto. Lämmöneristeeksi sopivin EPS- tai XPS-eriste. Höyrysulkua yleensä alapohjiin ei laiteta yleensä, koska jos rakenteessa saattaa olla vesihöyryn tiivistymistä, ei vesi pääse poistumaan rakenteesta. Maan routimisen välttämiseksi on salaojakerrokseen laitettava maansulanapitolämmitys. Vaikka varsinaista lämmön läpäisyarvoa ei voida määrittää rakenteelle, on kuitenkin tärkeää, että eristekerroksen paksuus on riittävä. Näin ollen eristekerros eristää myös liiallisen lämmön pääsyn kohti jäänpintaa ja jäästä kohti salaojakerrosta.

Lähtökohtana on, että vesi saa tiivistyä pienenä määränä eristeeseen, mutta se ei saa jäätyä. Toisin sanoin tiivistymistä saa tapahtua vain siinä kohdassa, jossa lämpötila on plussalla.

Alapohja 1:n rakenne on seuraava:



Kuva 24, Alapohja 1

Rakenne sisältäpäin lukien:

Teräsbetonilaatta 140 mm

EPS 120 routa 400mm

Salaojasora jossa lämpöputket, rakeisuus 6-16 200–300 mm

Tiivistetty täyttö

Suodatin kangas

8.9.1 Tulokset

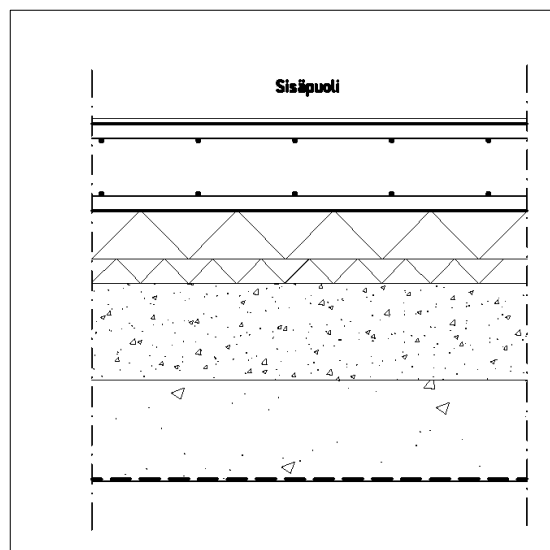
Laskelmien perusteella nähdään, että tiivistymistä voi tapahtua pieniä määriä eristeeseen. Tiivistymistä ei kuitenkaan tapahdu pakkasen puolella. Homeitiöiden synnyn vaara ei ole koska EPS-eriste on homeenkestoltaan hyvä materiaali.

8.10 Alapohja 2

Alapohja 2 sijoittuu rakennuksessa kaukaloalueen reuna-alueelle. Sisäolosuhteet ovat ympärivuoden +6...+10 °C. RH on 70%. Salaojakerroksen suhteelliseksi kosteudeksi voidaan olettaa 95 % ja lämpötilaksi +6 °C.

Alapohja 2 on 200 mm kantava maanvarainen laatta jonka lämmöneristeenä on EPS-eriste.

Alapohja 2:n rakenne on seuraava:



Kuva 25, Alapohja 2

Rakenne sisältäpäin lukien:

Teräsbetoni-laatta 200 mm

EPS R100 lattia 150 mm

Tiivistetty täyttö

Suodatin kangas

8.10.1 Tulokset

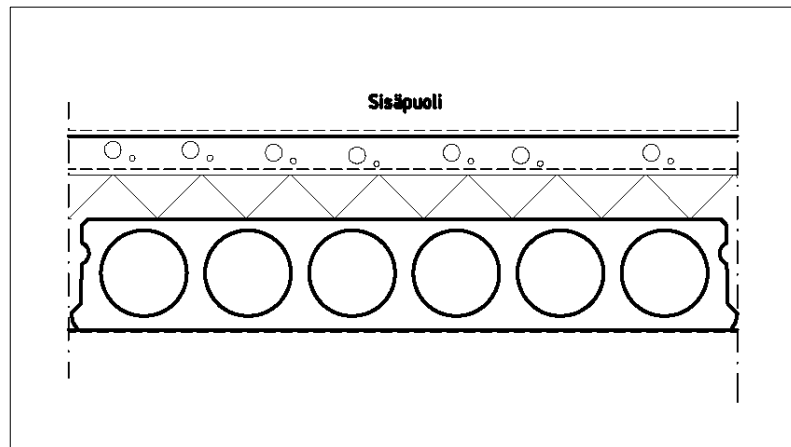
Laskelmien perusteella rakenteessa ei ole vesihöyrytiivistymisen vaaraa. Vaikka kosteusprosentti on eristeessä 90%, homeitiöiden synnyn vaaraa ei kuitenkaan ole, koska EPS-eriste on homeenkestoltaan hyvä materiaali.

8.11 Välipohja 1

Välipohja 1 sijoittuu rakennuksessa lämpimän ja puolilämpimän tilan väliin. Sisäolosuhteet ovat vakiot ympärivuoden. Sisälämpötila lämpimällä puolella on +19...+21 °C ja RH 20-50%. Sisälämpötila puolilämpimällä puolella on +6...+10 °C ja RH 70%.

Kantavana rakenteena on ontelolaatasto, jonka päälle on sijoitettu EPS-eristettä. Ylimpänä kerroksena on 70 mm betonivalu, jossa on lattialämmitys. Vaadittava U-arvo on 0,60 W/m²K.

Välipohja 1:n rakenne on seuraava:



Kuva 26, Välipohja 1

Rakenne sisältäpäin lukien:

Betonilaatta 70 mm

Lämmöneriste EPS 120 lattia 80 mm

Ontelolaatan tasausvalu

Ontelolaatta 200 mm

U-arvo: 0,39 W/m²K.

8.11.1 Tulokset

Laskelmien perusteella rakenteessa ei ole vesihöyrytiivistymisen vaaraa.

9 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli varmistaa Sipoon harjoitusjäähallin rakenteiden toiminta. Rakenteiden toiminnasta tarkistettiin tiivistykö niihin vesihöyryä diffuusion avulla. Tarkistus tehtiin insinöörityötä varten kehitetyllä diffuusiotaulukolla, joka antaa tiedon rakenteen toimivuudesta eri kosteusolosuhteissa: laskentataulukosta saadaan, tiivistykö rakenteeseen mahdollisesti kosteutta ja kuinka paljon.

Rakenteiden tutkimustuloksista voidaan todeta, että Sipoon jäähallin rakenteet toimivat melko hyvin. Vaikka ulkoseinässä ja yläpohjassa on havaittavissa kesäkautena vesihöyryn tiivistymistä, poistuu se kuitenkin talvikautena. Korkea kosteusprosentti rakenteissa saattaa aiheuttaa homeitiöiden kasvua kesäkautena.

Muilta rakenneosilta ei ole havaittavissa merkittävää vesihöyryn tiivistymistä, vaikkakin muutamissa rakenteissa kosteusprosentti on melko korkea kuten alapohjassa ja välisenä 2:ssa: rakenteissa on käytetty kuitenkin sellaisia materiaaleja kuten betonia, kevytsoraa ja polyuretaanieritettä, joten homekasvu on niissä hitaampi.

Vesihöyryn tiivistymistä ja homeongelmien syntymistä voidaan estää säätämällä hallin lämpötilaa ulkoilman mukaisesti. Kesä-heinäkuussa optimaalinen lämpötila olisi yli +13 °C ja syyskuussa yli +10 °C. Muina vuodenaikoina voidaan käyttää +6...+10 °C.

Hallin huolto-ohjeeksi sisäolosuhteiden osalta voidaan sanoa, että kesäkautena sisälämpötilan nousu sallitaan. Tämä on hyvä asia energiasäästön kannalta, koska ilman jäähdytys kesällä on epäedullista. Toisaalta lämpötilan nosto vaikuttaa taas jään laatuun. Jään pintaan tiivistyy vesihöyryä, joka tekee jäästä epätasaisen. Jään tekemiseen ja huoltamiseen vaaditaan näin ollen energiaa. Tämä ei kuitenkaan aiheuta suurta ongelmaa, koska jääkentän suuren pinta-alan vuoksi jään pinnalle tiivistyvä veden määrä on pieni. Lisäksi jäähän tiivistyvä kosteus vähentää kosteusmäärää hallissa. Mikäli halutaan välttää vesihöyryn tiivistyminen jään pinnalle, täytyy sisäilman suhteellinen kosteus olla kesäkautena alle 50 %. Kosteusvaurioiden riski on olematon, jos jää sulatetaan kesäkuukausiksi.

Esitettyjen rakenteiden toimivuuden edellytyksenä on se, että vesihöyryn siirtyminen ilmvirtausten avulla on estetty: rakenteiden detaljit on suunniteltava ja rakennustyöt on tehtävä huolellisesti. Rakennuksen täytyy olla mahdollisimman tiivis, jotta välttyttäisiin ilmvirtausten pääsylvä rakenteiden sisään.

Tavoitteena oli myös vertailla puurakenteista ja metallirakenteista seinä- ja yläpohjarakennetta. Selvityksen mukaan vesihöyryä tiivistyy diffuusion avulla puurakenteiseen seinään, kun taas teräsrakenteiseen seinään sitä ei tiivisty lainkaan. Kosteusteknisen toimivuuden kannalta teräsrakenteinen seinä toimii paremmin. Puurakenne on paljon riskialttiimpi homeiden ja lahon synnylle. Vaikka peruspuurakenteisessa rakenteessa vesihöyryn tiivistyminen tapahtuu helpommin kuin metallirakenteessa, veden poistuminen on kuitenkin paljon helpompaa puurakenteessa kuin tiiviissä metallirakenteessa.

Metallirakenteisen rakenteen riskinä on se, että mikäli vesihöyry pääseeekin ilmvirtausten mukana rakenteeseen, kosteuden pääsy siltä ulos on hyvin hankalaa. Vettä voi kertyä rakenteeseen suuria määriä ja pahimmassa tapauksessa se voi jäätyä rakenteen sisään. Tämän takia saumojen huoltoon on kiinnitettävä erityistä huomiota, koska rakenteiden liikkeet saattavat aukaista saumoja. Seinämiin voi syntyä herkästi lommoja, koska jäähalli on yleensä kovassa käytössä ja ohut teräslevy on hyvin altis kolhuille, jolloin rakenteen tiiveys voi rikkoutua.

Metallirakenteiden ongelmana on myös suuri jälkikaiunta jäähallin käyttöaikana. Jälkikaiunta tekee puheesta epäselvää, mikä voi aiheuttaa pahimmillaan sen, että puheesta ei saa mitään selvää ja kuuluu vain häiritsevää taustamelua.

Tavoitteena oli myös selvittää höyrysulun sijoituksen vaikutus rakenteessa. Laskelmissa huomattiin, että höyrysulun sijoituksella pystyttiin pienentämään tiivistyvää vesihöyrymäärää rakenteen sisällä.

Puun käyttäminen jäähalleissa voi olla melko riskialtista, koska puun homehtuminen ja lahoaminen on paljon todennäköisempää tällaisissa olosuhteissa. Tässä työssä kuitenkin nähtiin, että perinteinen puurakenteinen seinä toimii hyvin myös jäähalleissa. Suosittelen puurakenteita käytettäväksi erityisesti tämän kaltaisessa pienissä harjoitusjäähalleissa, mikäli suunnittelu ja rakentaminen on tehty huolellisesti. Suuremmissa halleissa, joissa lämpötilavai-

telut ovat suurempia erityisesti talvella, voi puurakenteinen halli olla liian riskialtis. Jäähallin toimivuutta voidaan parantaa vielä, jos käytetään eristysaineena EPS- tai polyureaaniaeristettä.

VIITELUETTELO

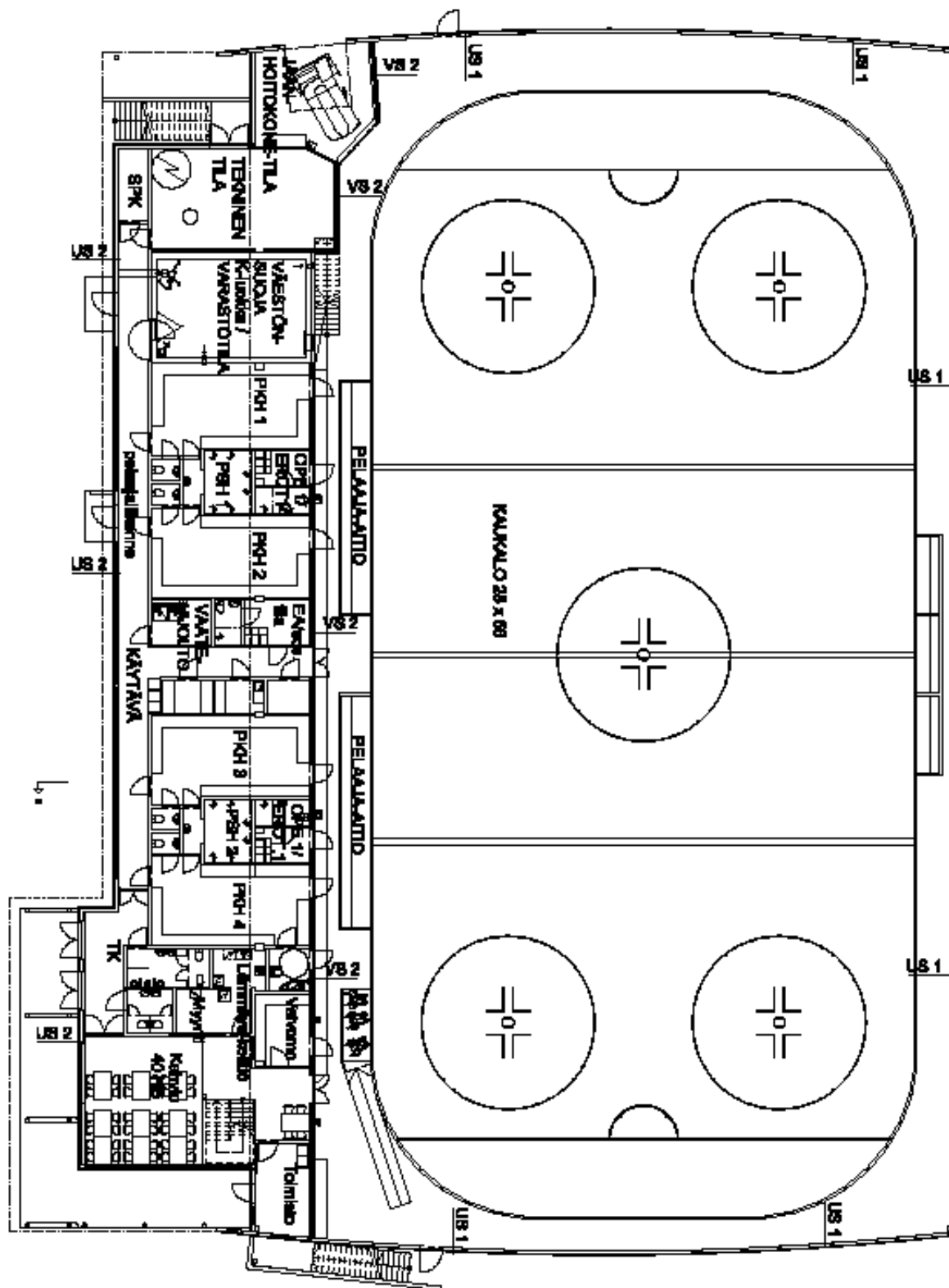
- [1] Tekninen korkeakoulu ja Suomen Jääkiekkoliitto, *Jäähallien lämpö- ja kosteustekniikka: suunnittelu- ja rakennuttamisopas*. Liikuntapaikkajulkaisu 92, Opetusministeriö, Tampere: Rakennustieto Oy, 2007.
- [2] *Jäähallit ja tekojäähallit*. Liikuntapaikkajulkaisu 71, Suomen Jääkiekkoliitto ry ja Opetusministeriö, Tampere: Rakennustieto Oy, 1999.
- [3] *Jäähallien energiatalous*. Liikuntapaikkajulkaisu 49, Opetusministeriö ja VTT: Rakennustieto Oy, 1994.
- [4] Puuhallin suunnittelu-esisuunnittelu ja arkkitehtoniset valinnat. Suunnitteluluohjeet: Wood Focus Oy: Wood Focus.
- [5] Björkholtz, Dick, *Lämpö ja kosteus - Rakennusfysiikka*. Helsinki: Rakennustieto Oy. 4.uud.painos. 2006(1987)
- [6] Siikanen, Unto, *Rakennusfysiikka – Perusteet ja sovellukset*. Helsinki: Rakennustieto Oy, 1996.
- [7] Tuovinen, Terhi, *Jäähallien ja tekojäähallien kenttärakenteet ja niiden vaurioiden*. Insinööriyö. Helsingin teknillinen oppilaitos. Talonrakennustekniikan koulutusohjelma. Helsinki 1997.
- [8] Lipsanen, Erkki, *Jäähallin kosteusongelmat ja niiden ratkaisu jäähdytystekniikan avulla*. Insinööriyö. Espoo-Vantaan teknillinen oppilaitos. LVI-tekniikan osasto. Espoo 1990.
- [9] Känkäinen, Arto, *Jääkiekkohallit*. Talonrakennustekniikan seminaarin opetusmoniste
- [10] SPU Systems Oy. *Jäähallin rakennuttaminen* [verkkodokumentti]. Julkaisu-aika tuntematon. Saatavissa: http://www.spu.fi/elementit_jaahallin_rakennuttaminen

- [11] Sisäilmayhdistys Ry. *Terveelliset tilat* [verkkodokumentti]. 2008. Saatavissa: http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/
- [12] Opetushallitus. *Rakennusfysiikka – Lämpö ja kosteus rakenteessa* [verkkodokumentti]. 15.3.2007. Saatavissa: <http://194.111.144.156/rakennusalanperustutkinto/lampo/pohja.htm>
- [13] Suomen rakennusmääräyskokoelma, *Osa C3, Rakennuksen lämmöneristys määräykset* [verkkodokumentti]. 19.6.2007. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/29517-C3_2007.pdf
- [14] Wikipedia, vapaa tieosanakirja, Olomuodot [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon. Saatavissa <http://fi.wikipedia.org/wiki/Olomuoto>
- [15] Viitanen, Hannu, *Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittiset olosuhteet - Betonin homekesto*. VTT Rakennus ja yhdyskunta tekniikka [verkkodokumentti]. 2004. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2004/W6.pdf>
- [16] Suvanto, Kari, *Tekniikan fysiikka 1*. Helsinki: Edita Prima Oy, 2003
- [17] Opetushallitus Etälukio, *Fysiikka: Lämpö ja energia* [verkkodokumentti]. 10.12.2001. Saatavissa: <http://www.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/fysiikka/fysiikka4/index.html>

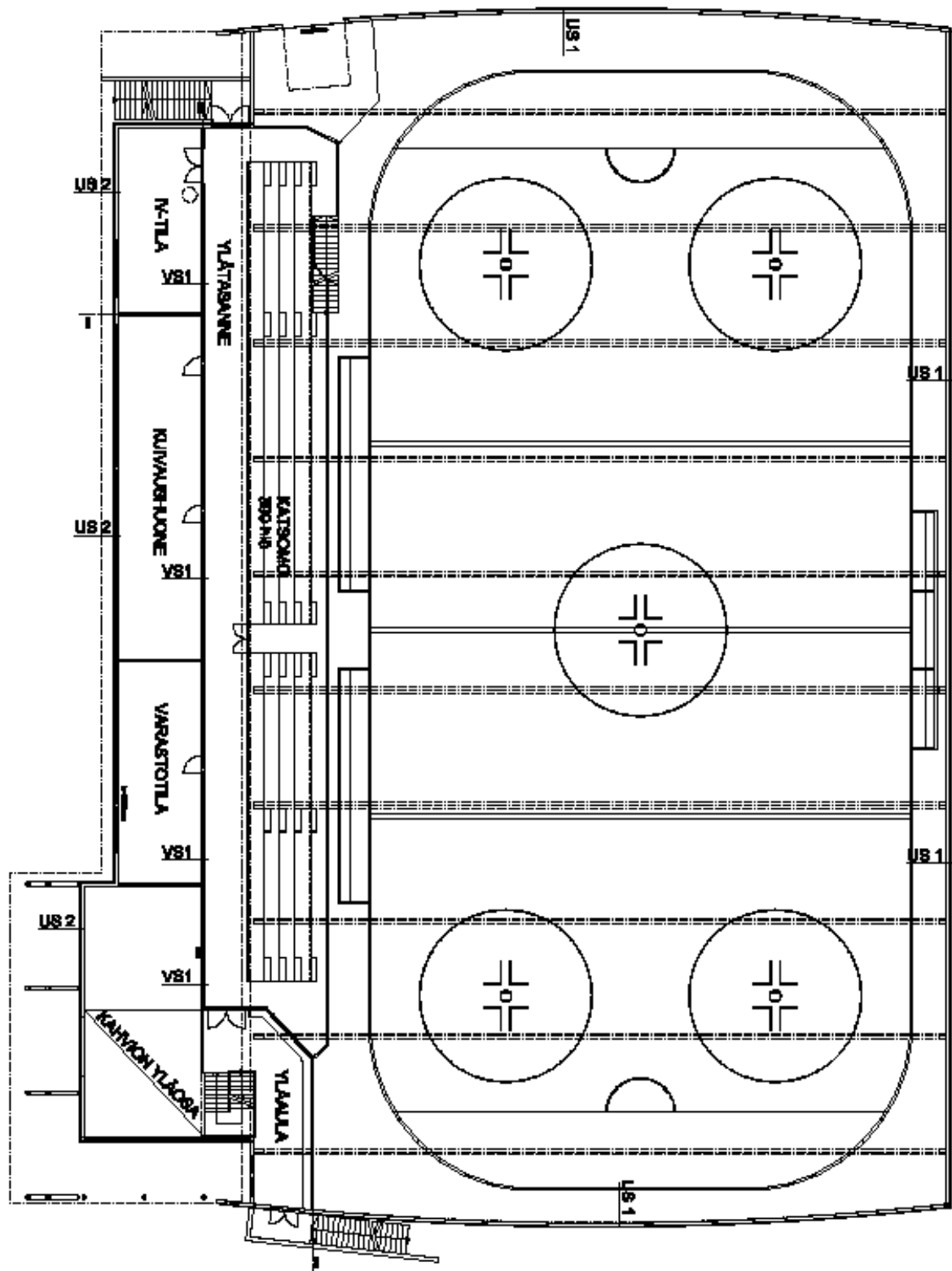
Homesienien kasvuun tarvittavat lämpö- kosteusolosuhteet [3, liite3/1].

Sienilaji	Lämpötila (°C)			Kosteus (Rh)	
	min	optimi	max	min	optimi
<u>Aspergillus</u>					
candidus	3-4	20-24	40-42	75	90
chevalieri	10	30	42	71	93
clavatus	5-6	20-25	42	88	98
flavus	6-8	35-37	42-45	80	95
fumigatus	10	37	52-55	85	98
nidulans	6-8	35-37	46-48	80	95
niger	6-8	35-37	45-47	88	97
versicolor	4-5	25-30	38-40	75	95
<u>Altenaria</u>					
tenuis	0	20-25		85	98
<u>Botrytis</u>					
cinerea	2	22-25	30-33	93	100
<u>Cladosporium</u>					
herbarum	-5	24-25	30-32	85	96
<u>Mucor</u>					
racemosus	-3	20-25	30-33	92	98
<u>Penicillium</u>					
chrysogenum	-4	25-28	32-33	85	96
cyclopium	5	23	32	82	98
expansum	-3	25-26	33-35	82	96
islandicum	10	31	38	83	97
italicum	-3	22-24	32-34	87	96
mortensii	5	23	32	79	98
<u>Rhizopus</u>					
stolonifer	5-6	26-29	32-34	92	98
<u>Stachybotrys</u>					
atra	2-3	25-27	37-40	93	100

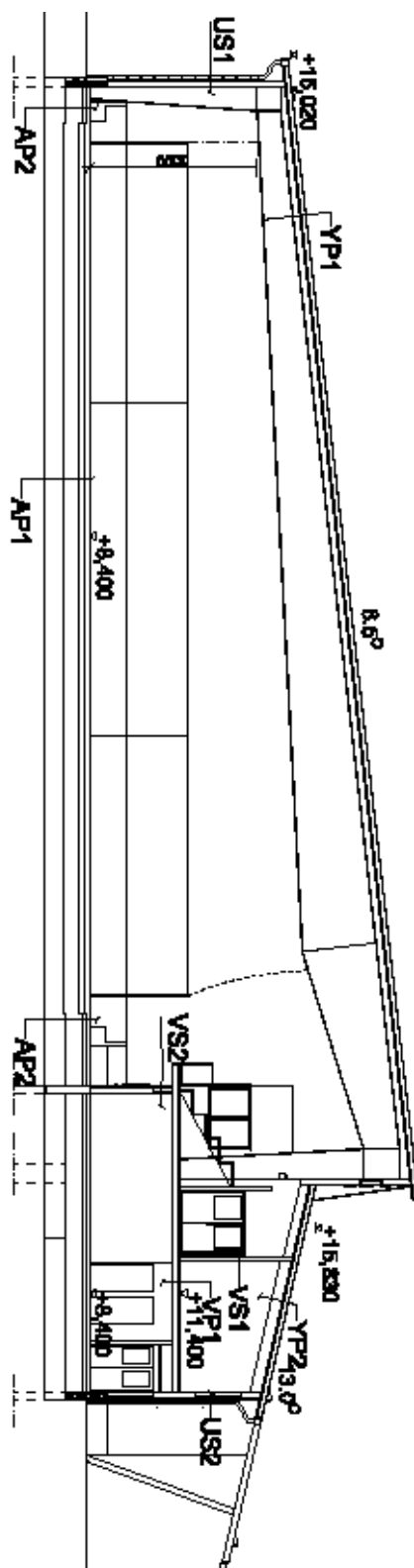
Sipoon Harjoitusjäähalli, 1. kerros



Sipoon Harjoitusjäähalli, 2. kerros

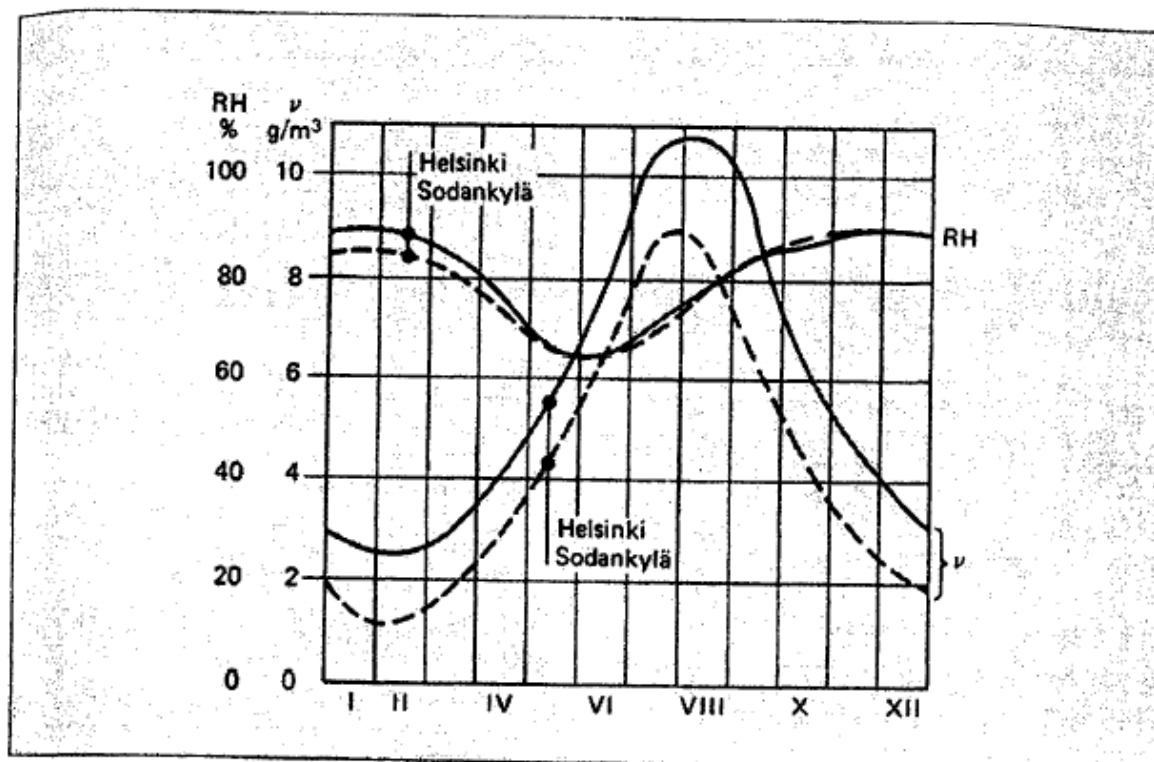


Sipoon Harjoitusjäähalli, 1. kerros



Tietoja ulkoilmasta eri paikkakunnilla [5, s. 47].

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Helsinki	t (°C)	-6,1	-6,6	-3,5	2,6	8,9	14,0	17,2	16,0	11,1	5,4	1,0	-2,6
	RH (%)	88	87	82	76	66	64	71	78	84	86	89	89
	p (Pa)	331	314	382	563	757	1025	1394	1420	1115	777	586	446
	v (g/m ³)	2,69	2,55	3,07	4,42	5,82	7,74	10,41	10,65	8,51	6,04	4,64	3,57
Turku	t	-6,0	-6,6	-3,6	2,2	8,7	13,9	17,1	15,7	10,6	5,2	0,9	-2,7
	RH	89	88	82	76	67	65	71	77	84	87	90	90
	p	337	317	379	546	758	1035	1386	1375	1079	775	588	447
	v	2,74	2,58	3,05	4,30	5,83	7,82	10,35	10,33	8,25	6,03	4,66	3,58
Jyväskylä	t	-8,8	-8,7	-4,8	2,0	8,7	13,9	16,9	15,0	9,8	3,8	-0,8	-5,0
	RH	89	87	81	75	68	65	72	80	86	88	91	90
	p	265	261	339	531	769	1035	1388	1366	1047	710	523	371
	v	2,17	2,14	2,74	4,19	5,92	7,82	10,37	10,29	8,03	5,56	4,17	3,00
Vaasa	t	-6,7	-6,9	-4,2	1,5	7,6	13,0	16,5	15,0	10,1	4,4	-0,1	-3,3
	RH	80	87	83	78	69	67	72	79	84	87	89	89
	p	282	305	365	533	725	1006	1353	1349	1044	733	540	422
	v	2,33	2,49	2,94	4,29	5,60	7,62	10,13	10,16	7,99	5,72	4,29	4,69
Kajaani	t	-10,6	-10,6	-6,7	0,4	6,9	13,0	16,1	14,0	8,3	2,1	-2,6	-7,0
	RH	86	85	81	75	67	66	69	78	84	87	90	88
	p	216	214	286	472	671	991	1264	1250	925	621	451	306
	v	1,79	1,77	2,36	3,75	5,19	7,51	9,48	9,44	7,13	4,89	3,61	2,50
Sodankylä	t	-13,5	-13,5	-8,9	-2,2	4,8	11,3	14,7	12,0	6,2	-0,5	-5,8	-9,8
	RH	85	83	80	73	67	65	69	78	84	88	89	89
	p	162	158	236	377	580	874	1157	1098	802	518	343	241
	v	1,36	1,32	1,94	3,01	4,52	6,67	8,72	8,35	6,22	4,12	2,79	1,99



SIPOON HARJOITUSJÄÄHALLI

Ulkoseinä US1 (puurakenteinen)

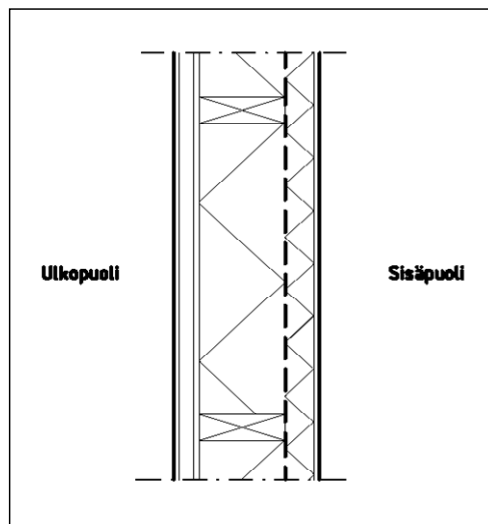
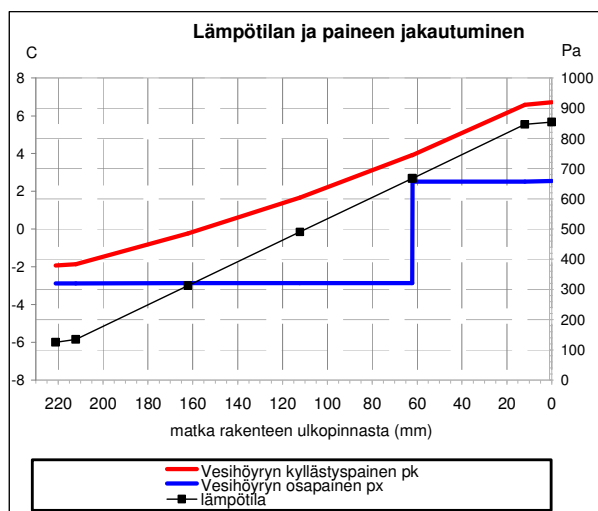
Tammikuu

	°C	%	Kyllästys- kosteus v_k [g/m ³]	Absoluutti- nen- kosteus v [g/m ³]	Vesihöyryn osapaine p_v [Pa]	
Sisälämpötila	6	Suhteellinen kosteus R_{hs}	70	7,30997	5,12	658,71
Ulkolämpötila	-6,1	Suhteellinen kosteus R_{hu}	85	3,05296	2,60	319,57

Rakenne sisältä päin lukien	R	Ainekerros	d	λ	Lämpötila rakenne- kerroksen ulkopinnalla t_u	Z	v_k	p_k	p_x	p_x/p_k	Tiivistyvä vesimäärä/ poistuva vesimäärä
	[m ² °C/W]		[mm]	[W/m °C]	[°C]	[m ² s Pa/kg]	[g/m ³]	[Pa]	[Pa]		g/m ² / 1 kk
Rsi	0,13	sisäpuolinen pintavastus	0	x	5,67	0,00E+00	7,15	919,53	658,71	0,716	
R1	0,05	Puukipsilevy (sasmox)	12	0,240	5,54	2,67E+09	7,09	911,38	656,72	0,721	-249,0
R2	1,11	Mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	2,69	2,50E+08	5,86	744,96	656,54	0,881	-79,1
R3	0,00	Muovikalvo, polyeteeni 0,2	0,2	1,000	2,69	4,50E+11	5,86	744,94	320,93	0,431	-602,8
R4	1,11	Mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	-0,15	2,50E+08	4,80	603,93	320,75	0,531	-466,1
R5	1,11	Mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	-3,00	2,50E+08	3,89	484,68	320,56	0,661	-320,7
R6	1,11	Mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	-5,84	2,50E+08	3,12	384,18	320,38	0,834	-153,4
R7	0,06	Gyproc GTS9	9	0,150	-6,00	1,08E+09	3,08	379,23	319,57	0,843	
R8	0,00		0	0,000	-6,00	0,00E+00	3,08	379,23	319,57	0,843	
R9	0,00		0	0,000	-6,00	0,00E+00	3,08	379,23	319,57	0,843	
R10	0,00		0	0,000	-6,00	0,00E+00	3,08	379,23	319,57	0,843	
R11	0,00		0	0,000	-6,00	0,00E+00	3,08	379,23	319,57	0,843	
R12	0,00		0	0,000	-6,00	0,00E+00	3,08	379,23	319,57	0,843	
Rg	0,0	ilmakerroksen lämpövastus	0	1,000	-6,00	0,00E+00	3,08	379,23	319,57	0,843	
Rb	0,0	maan lämmönvastus	0	0,000	-6,00	0,00E+00	3,08	379,23	319,57	0,843	
Rse	0,04	ulkopuolinen pintavastus	0	x	-6,10	0,00E+00	3,05	375,97	319,57	0,850	
summa R	4,72				summa Z	4,55E+11					

U-arvo 0,21 W/m²K

Lämpövirta 2,56 W/m²
 Kosteusvirta 7,5E-10 kg/m² s
 0,06 g/m² / pv
 27,04 g/m² / 60 pv



SIPOON HARJOITUSJÄÄHALLI

Ulkoseinä US1

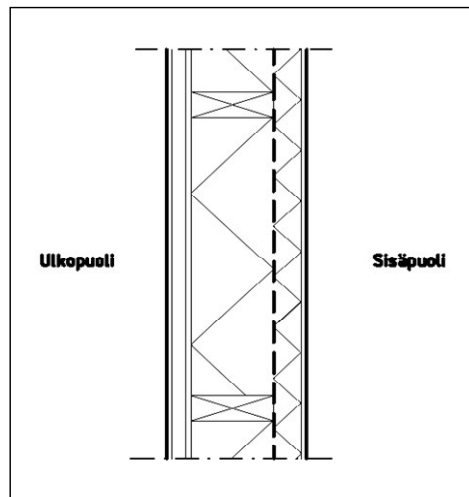
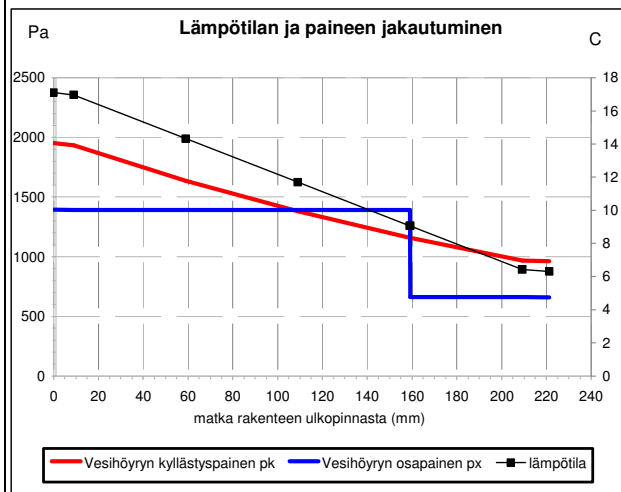
Heinäkuu (puurakenteinen)

	°C	%	Kyllästys- kosteus v_k [g/m ³]	Absoluuttin- en-kosteus v [g/m ³]	Vesihöyryn osapaine p_v [Pa]	
Ulkolämpötilä	17,2	Suhteellinen kosteus R_{hs}	71	14,664	10,41	1394,07
Sisälämpötilä	6	Suhteellinen kosteus R_{hu}	70	7,30997	5,12	658,71

Rakenne ulkoapäin lukien	R	Ainekerros	d	λ	Rakenne kerroksen ulkopinnalla t_u	Z	v_k	p_k	p_x	p_x/p_k	Tiivistyvä vesimäärä/ poistuva vesimäärä
	[m ² °C/W]		[mm]	[W/m °C]	[°C]	[m ² s Pa/kg]	[g/m ³]	[Pa]	[Pa]		g/m ² / 1 kk
Rsi	0,04	ulkopuolinen pintavastus	0	x	17,11	0,00E+00	14,58	1951,83	1394,07	0,714	
R1	0,06	Gyproc GTS9	9	0,150	16,96	1,08E+09	14,46	1934,47	1392,33	0,720	-1303,72
R2	1,11	Mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	14,33	2,50E+08	12,35	1636,72	1391,92	0,850	-478,32
R3	1,11	Mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	11,70	2,50E+08	10,51	1380,05	1391,52	1,008	18,88
R4	1,11	Mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	9,06	2,50E+08	8,91	1159,13	1391,12	1,200	329,84
R5	0,00	Muovikalvo, polyeteeni 0,2	0,2	1,000	9,06	4,50E+11	8,91	1159,09	663,42	0,572	-443,33
R6	1,11	Mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	6,43	2,50E+08	7,52	969,16	663,02	0,684	-299,32
R7	0,05	Puukipsilevy (sasmox)	12	0,240	6,31	2,67E+09	7,46	961,27	658,71	0,685	
R8	0,00		0	0,000	6,31	0,00E+00	7,46	961,27	658,71	0,685	
R9	0,00		0	0,000	6,31	0,00E+00	7,46	961,27	658,71	0,685	
R10	0,00		0	0,000	6,31	0,00E+00	7,46	961,27	658,71	0,685	
R11	0,00		0	0,000	6,31	0,00E+00	7,46	961,27	658,71	0,685	
R12	0,00		0	0,000	6,31	0,00E+00	7,46	961,27	658,71	0,685	
Rg	0	ilmakerroksen lämpövastus	0	1,000	6,31	0,00E+00	7,46	961,27	658,71	0,685	
Rb	0	maan lämmönvastus	0	0,000	6,31	0,00E+00	7,46	961,27	658,71	0,685	
Rse	0,13	sisäpuolinen pintavastus	0	x	6,00	0,00E+00	7,31	941,02	658,71	0,700	
summa R	4,72				summa Z	4,55E+11					

U-arvo **0,21 W/m²K**

Lämpövirta 2,37 W/m²
 Kosteusvirta 1,6E-09 kg/m² s
 0,14 g/m² / pv
 29,31 g/m² / 30 pv



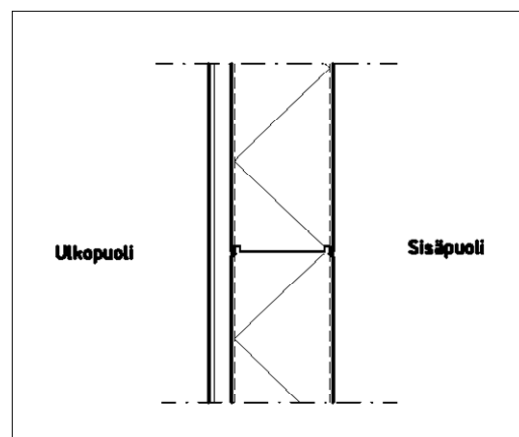
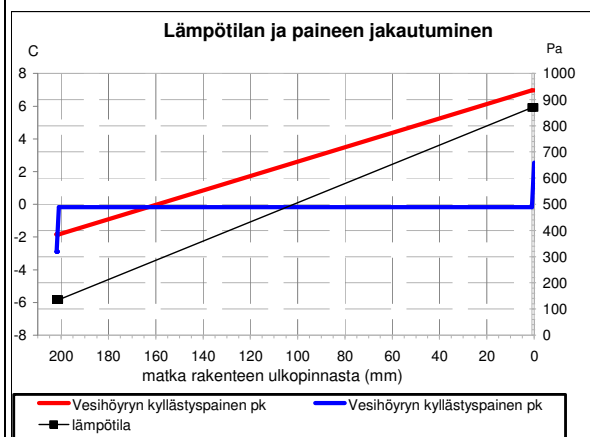
SIPOON HARJOITUSJÄÄHALLI
Ulkoseinä US1 ja US2 (metallirakenteinen)
Tammikuu

	°C	%	Kyllästys- kosteus v_k [g/m3]	Absoluuttin en-kosteus v [g/m3]	Vesihöyryn osapaine p_v [Pa]	
Sisälämpötilä	6	Suhteellinen kosteus R_{hs}	70	7,30997	5,12	658,71
Ulkolämpötilä	-6,1	Suhteellinen kosteus R_{hu}	85	3,05296	2,60	319,57

Rakenne sisältä lukien	R	Ainekerros	d	λ	Lämpötilä rakenne- kerroksen ulkopinnalla t_u	Z	v_k	p_k	p_x	p_x/p_k	Tiivistyvä vesimäärä/ poistuva vesimäärä g/m2 / 1 kk
lukien	[m ² °C/W]		[mm]	[W/m °C]	[°C]	[m ² s Pa/kg]	[g/m ³]	[Pa]	[Pa]		
Rsi	0,04	sisäpuolinen pintavastus	0	x	5,92	0,00E+00	7,27	935,52	658,71	0,704	
R1	0,00	Rauta, teräs	1	50,000	5,92	1,00E+107	7,27	935,52	489,14	0,523	-2,31E-95
R2	5,56	Mineraalivilla, kevyt 0,036	200	0,036	-5,83	1,00E+09	3,12	384,78	489,14	1,271	5,41E-96
R3	0,00	Rauta, teräs	1	50,000	-5,83	1,00E+107	3,12	384,78	319,57	0,831	
R4	0,00		0	0,000	-5,83	0,00E+00	3,12	384,78	319,57	0,831	
R5	0,00		0	0,000	-5,83	0,00E+00	3,12	384,78	319,57	0,831	
R6	0,00		0	0,000	-5,83	0,00E+00	3,12	384,78	319,57	0,831	
R7	0,00		0	0,000	-5,83	0,00E+00	3,12	384,78	319,57	0,831	
R8	0,00		0	0,000	-5,83	0,00E+00	3,12	384,78	319,57	0,831	
R9	0,00		0	0,000	-5,83	0,00E+00	3,12	384,78	319,57	0,831	
R10	0,00		0	0,000	-5,83	0,00E+00	3,12	384,78	319,57	0,831	
R11	0,00		0	0,000	-5,83	0,00E+00	3,12	384,78	319,57	0,831	
R12	0,00		0	0,000	-5,83	0,00E+00	3,12	384,78	319,57	0,831	
Rg	0	ilmakerroksen lämpövastus	0	1,000	-5,83	0,00E+00	3,12	384,78	319,57	0,831	
Rb	0	maan lämmönvastus	0	0,000	-5,83	0,00E+00	3,12	384,78	319,57	0,831	
Rse	0,13	ulkupuolinen pintavastus	0	x	-6,10	0,00E+00	3,05	375,97	319,57	0,850	
summa R	5,73				summa Z	2,00E+107					

U-arvo **0,17 W/m²K**

Lämpövirta 2,11 W/m²
 Kosteusvirta 0,00 kg/m² s
 0,00 g/m² / pv
 0,00 g/m² / 60 pv



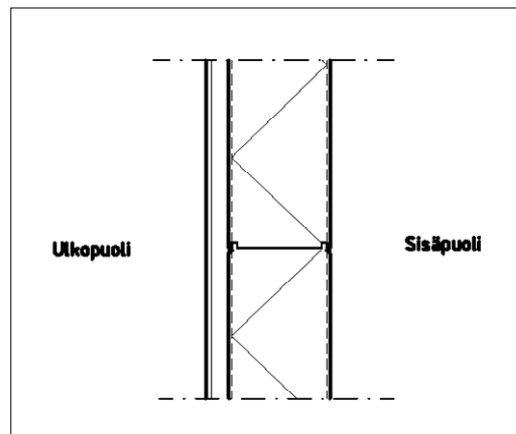
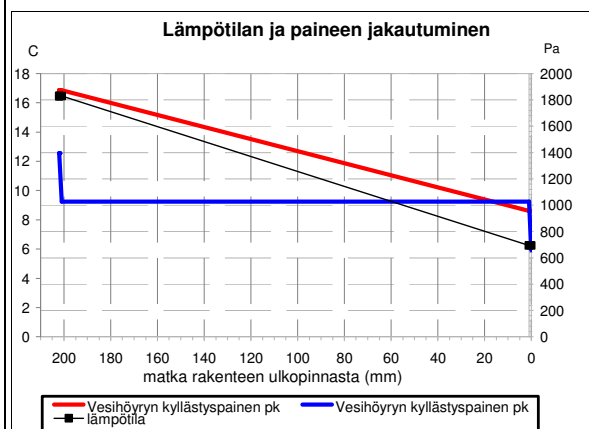
SIPOON HARJOITUSJÄÄHALLI
Ulkoseinä US1 ja US2 (metallirakenteinen)
Heinäkuu

	°C	%	Kyllästys- kosteus v_k [g/m ³]	Absoluuttin en-kosteus v [g/m ³]	Vesihöyryn osapaine p_v [Pa]	
Sisälämpötilä	6	Suhteellinen kosteus R_{hs}	70	7,30997	5,12	658,71
Ulkolämpötilä	17,2	Suhteellinen kosteus R_{hu}	71	14,664	10,41	1394,07

Rakenne ulkoa pinnasta lukien	R	Ainekerros	d	λ	Lämpötilä rakenne- kerroksen ulkopinnalla t_u	Z	v_k	p_k	p_x	px/pk	Tiivistyvä vesimäärä/ poistuva vesimäärä
lukien	[m ² °C/W]		[mm]	[W/m °C]	[°C]	[m ² s Pa/kg]	[g/m ³]	[Pa]	[Pa]		g/m ² / 1 kk
Rsi	0,13	ulkopuolinen pintavastus	0	x	6,24	0,00E+00	7,43	956,71	658,71	0,689	
R1	0,00	Rauta, teräs	1	50,000	6,24	1,00E+107	7,43	956,71	1026,39	1,073	3,61E-96
R2	5,56	Mineraalivilla, kevyt 0,036	200	0,036	16,46	1,00E+09	14,04	1874,62	1026,39	0,548	-4,40E-95
R3	0,00	Rauta, teräs	1	50,000	16,46	1,00E+107	14,04	1874,63	1394,07	0,744	
R4	0,00		0	0,000	16,46	0,00E+00	14,04	1874,63	1394,07	0,744	
R5	0,00		0	0,000	16,46	0,00E+00	14,04	1874,63	1394,07	0,744	
R6	0,00		0	0,000	16,46	0,00E+00	14,04	1874,63	1394,07	0,744	
R7	0,00		0	0,000	16,46	0,00E+00	14,04	1874,63	1394,07	0,744	
R8	0,00		0	0,000	16,46	0,00E+00	14,04	1874,63	1394,07	0,744	
R9	0,00		0	0,000	16,46	0,00E+00	14,04	1874,63	1394,07	0,744	
R10	0,00		0	0,000	16,46	0,00E+00	14,04	1874,63	1394,07	0,744	
R11	0,00		0	0,000	16,46	0,00E+00	14,04	1874,63	1394,07	0,744	
R12	0,00		0	0,000	16,46	0,00E+00	14,04	1874,63	1394,07	0,744	
Rg	0	ilmakerroksen lämpövastus	0	1,000	16,46	0,00E+00	14,04	1874,63	1394,07	0,744	
Rb	0	maan lämmönvastus	0	0,000	16,46	0,00E+00	14,04	1874,63	1394,07	0,744	
Rse	0,4	sisäpuolinen pintavastus	0	x	17,20	0,00E+00	14,66	1963,48	1394,07	0,710	
summa R	6,09				summa Z	2,00E+107					

U-arvo **0,16 W/m²K**

Lämpövirta -1,84 W/m²
Kosteusvirta 0,00 kg/m² s
0,00 g/m² / pv
0,00 g/m² / 60 pv



SIPOON HARJOITUSJÄÄHALLI

Ulkoseinä US2 (puurakenteinen)

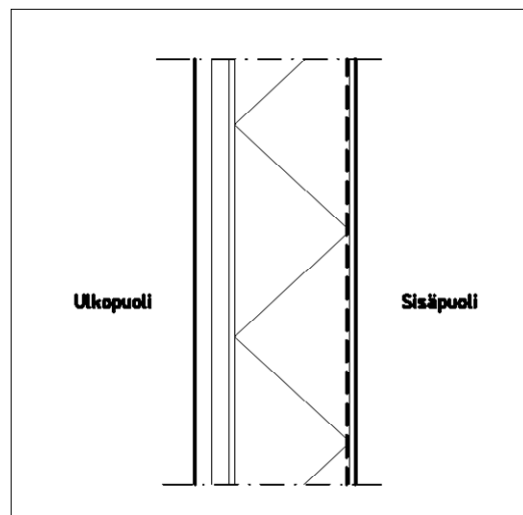
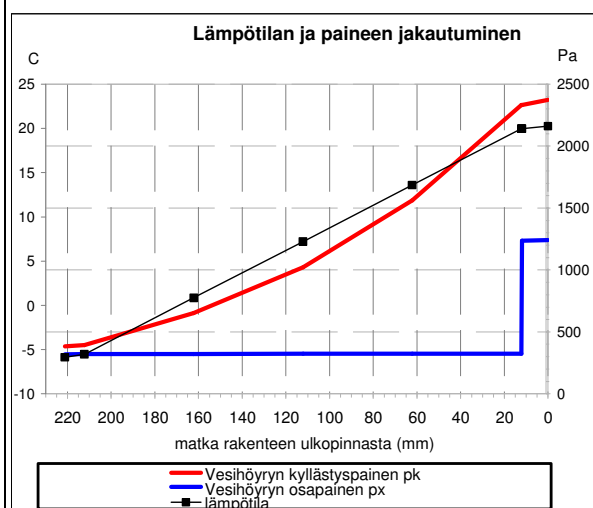
Tammikuu

	°C	%	Kyllästys- kosteus v_k [g/m ³]	Absoluutti- nen- kosteus v [g/m ³]	Vesihöyryn osapaine p_v [Pa]	
Sisälämpötila	21	Suhteellinen kosteus R_{hs}	50	18,3142	9,16	1242,17
Ulkolämpötila	-6,1	Suhteellinen kosteus R_{hu}	85	3,05296	2,60	319,57

Rakenne sisältä päin lukien	R	Ainekerros	d	λ	Lämpötila rakenteen kerroksen ulkopinnalla t_u	Z	v_k	p_k	p_x	p_x/p_k	Tiivistyvä vesimäärä/ poistuva vesimäärä
	[m ² °C/W]		[mm]	[W/m °C]	[°C]	[m ² s Pa/kg]	[g/m ³]	[Pa]	[Pa]		g/m ² / 1 kk
Rsi	0,13	sisäpuolinen pintavastus	0	x	20,25	0,00E+00	17,54	2373,40	1242,17	0,523	
R1	0,05	Puukipsilevy (sasmox)	12	0,240	19,97	2,67E+09	17,25	2331,91	1236,77	0,530	-1070,8
R2	0,00	Muovikalvo, polyeteeni 0,2	0,2	1,000	19,97	4,50E+11	17,25	2331,75	323,79	0,139	-2513,2
R3	1,11	Mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	13,59	2,50E+08	11,81	1561,12	323,28	0,207	-1759,9
R4	1,11	Mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	7,22	2,50E+08	7,92	1023,36	322,77	0,315	-1153,0
R5	1,11	Mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	0,85	2,50E+08	5,15	650,81	322,27	0,495	-642,0
R6	1,11	Mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	-5,53	2,50E+08	3,20	394,54	321,76	0,816	-175,0
R7	0,06	Gyproc GTS9	9	0,150	-5,87	1,08E+09	3,11	383,31	319,57	0,834	
R8	0,00		0	0,000	-5,87	0,00E+00	3,11	383,31	319,57	0,834	
R9	0,00		0	0,000	-5,87	0,00E+00	3,11	383,31	319,57	0,834	
R10	0,00		0	0,000	-5,87	0,00E+00	3,11	383,31	319,57	0,834	
R11	0,00		0	0,000	-5,87	0,00E+00	3,11	383,31	319,57	0,834	
R12	0,00		0	0,000	-5,87	0,00E+00	3,11	383,31	319,57	0,834	
Rg	0,0	ilmakerroksen lämpövastus	0	1,000	-5,87	0,00E+00	3,11	383,31	319,57	0,834	
Rb	0,0	maan lämmönvastus	0	0,000	-5,87	0,00E+00	3,11	383,31	319,57	0,834	
Rse	0,04	ulkopuolinen pintavastus	0	x	-6,10	0,00E+00	3,05	375,97	319,57	0,850	
summa R	4,72				summa Z	4,55E+11					

U-arvo **0,21 W/m²K**

Lämpövirta 5,74 W/m²
 Kosteusvirta 2,0E-09 kg/m² s
 0,18 g/m² / pv
 73,55 g/m² / 60 pv



SIPOON HARJOITUSJÄÄHALLI

Yläpohja 1 (puurakenteinen)

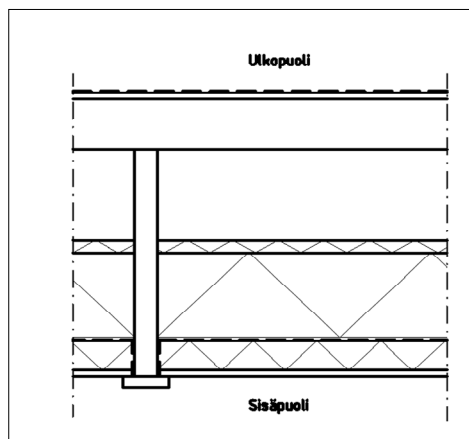
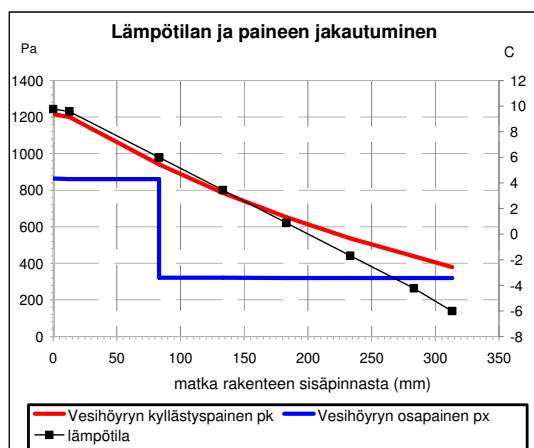
Tammikuu

	°C	%	Kyllästys- kosteus v_k [g/m ³]	Absoluuttine n-kosteus v [g/m ³]	Vesihöyryn osapaine p_v [Pa]	
Sisälämpötila	10	Suhteellinen kosteus R_{hu}	70	9,4511	6,62	863,86
Ukolämpötila	-6,1	Suhteellinen kosteus R_{hs}	85	3,05296	2,60	319,57

Rakenne sisältä lukien	R	Ainekerros	d	λ	Lämpötila rakenne- kerroksen ulkopinnalla t_u	Z	v_k	p_k	p_x	p_x/p_k	Tiivistyvä vesimäärä/ poistuva vesimäärä
	[m ² °C/W]		[mm]	[W/m °C]	[°C]	[m ² s Pa/kg]	[g/m ³]	[Pa]	[Pa]		g/m ² / 1 kk
Rsi	0,1	sisäpuolinen pintavastus	0	x	9,77	0,00E+00	9,32	1215,34	863,86	0,711	
R1	0,09	Gyproc GEK13	13	0,150	9,57	2,59E+09	9,20	1199,29	860,76	0,718	-340,8
R2	1,56	mineraalivilla, kevyt 0,045	70	0,045	5,99	3,50E+08	7,31	940,41	860,34	0,915	-71,1
R3	0,00	Muovikalvo, polyeteeni 0,2	0,2	1,000	5,99	4,50E+11	7,31	940,38	321,31	0,342	-2145,9
R4	1,11	mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	3,43	2,50E+08	6,16	785,62	321,01	0,409	-2415,6
R5	1,11	mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	0,88	2,50E+08	5,16	652,23	320,71	0,492	-3447,8
R6	1,11	mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	-1,68	2,50E+08	4,29	537,39	320,41	0,596	
R7	1,11	mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	-4,24	2,50E+08	3,54	438,75	320,11	0,730	
R8	0,77	mineraalivilla, kova 0,039	30	0,039	-6,01	4,55E+08	3,08	378,90	319,57	0,843	
R9	0,00		0	0,000	-6,01	0,00E+00	3,08	378,90	319,57	0,843	
R10	0,00		0	0,000	-6,01	0,00E+00	3,08	378,90	319,57	0,843	
R11	0,00		0	0,000	-6,01	0,00E+00	3,08	378,90	319,57	0,843	
R12	0,00		0	0,000	-6,01	0,00E+00	3,08	378,90	319,57	0,843	
Rg	0	ilmakerroksen lämpövastus	0	1,000	-6,01	0,00E+00	3,08	378,90	319,57	0,843	
Rb	0	maan lämmönvastus	0	0,000	-6,01	0,00E+00	3,08	378,90	319,57	0,843	
Rse	0,04	ulkopuolinen pintavastus	0	0	-6,10	0,00E+00	3,05	375,97	319,57	0,850	
summa R	7,00				summa Z	4,55E+11					

U-arvo 0,14 W/m²K

Lämpövirta 2,30 W/m²
 Kosteuvirta 1,2E-09 kg/m² s
 0,10 g/m² / pv
 43,4 g/m² / 60 pv



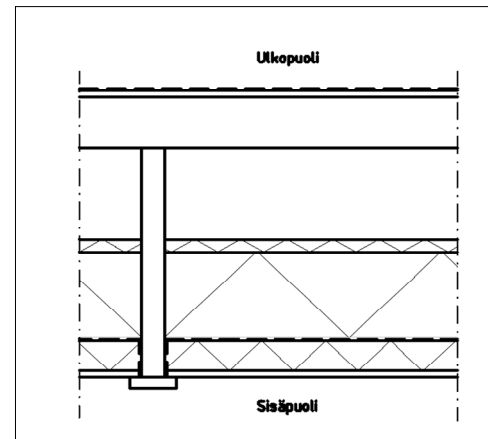
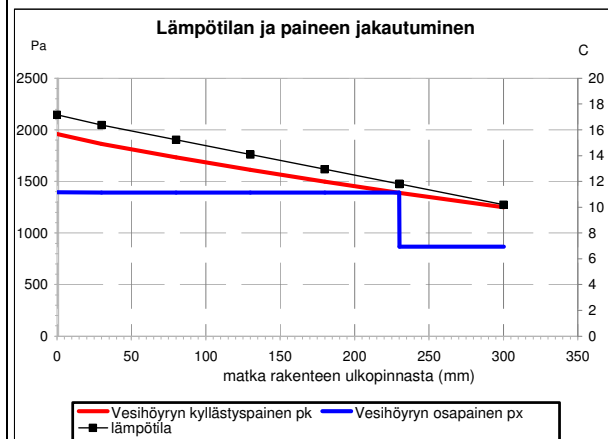
SIPOON HARJOITUSJÄÄHALLI

Yläpohja 1 (puurakenteinen)

Heinäkuu

	°C	%	Kyllästys- kosteus v_k [g/m ³]	Absoluuttinen kosteus v [g/m ³]	Vesihöyryn osapaine p_v [Pa]	
Ulkolämpötila	17,2	Suhteellinen kosteus R_{hu}	71	14,664	10,41	1394,07
Sisälämpötila	10	Suhteellinen kosteus R_{hs}	70	9,4511	6,62	863,86

Rakenne ulkoa lukien	R	Ainekerros	d	λ	Lämpötila rakenne- kerroksella t_u	Z	v_k	p_k	p_x	p_x/p_k	Tiivistyvä vesimäärä/ poistuva vesimäärä
lukien	[m ² °C/W]		[mm]	[W/m °C]	[°C]	[m ² s Pa/kg]	[g/m ³]	[Pa]	[Pa]		g/m ² / 1 kk
Rsi	0,04	ulkopuolinen pintavastus	0	x	17,16	0,00E+00	14,63	1958,41	1394,07	0,712	
R1	0,77	Mineraalivilla, kova 0,039	30	0,039	16,37	4,55E+08	13,95	1863,14	1393,54	0,748	-2674,8
R2	1,11	Mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	15,22	2,50E+08	13,03	1732,76	1393,25	0,804	-1251,0
R3	1,11	mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	14,08	2,50E+08	12,16	1610,50	1392,96	0,865	-592,0
R4	1,11	Mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	12,93	2,50E+08	11,34	1495,88	1392,67	0,931	-222,7
R5	1,11	Mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	11,79	2,50E+08	10,57	1388,47	1392,38	1,003	7,0
R6	0,00	Muovikalvo, polyeteeni 0,2	0,2	1,000	11,79	4,50E+11	10,57	1388,46	867,06	0,624	-3885,0
R7	1,56	Mineraalivilla, kevyt 0,045	70	0,045	10,19	3,50E+08	9,56	1249,38	866,65	0,694	
R8	0,08	Gyproc GEK13	12	0,150	10,10	2,39E+09	9,51	1242,56	863,86	0,695	
R9	0,00		0	0,000	10,10	0,00E+00	9,51	1242,56	863,86	0,695	
R10	0,00		0	0,000	10,10	0,00E+00	9,51	1242,56	863,86	0,695	
R11	0,00		0	0,000	10,10	0,00E+00	9,51	1242,56	863,86	0,695	
R12	0,00		0	0,000	10,10	0,00E+00	9,51	1242,56	863,86	0,695	
Rg	0	ilmakerroksen lämpövastus	0	1,000	10,10	0,00E+00	9,51	1242,56	863,86	0,695	
Rb	0	maan lämmönvastus	0	0,000	10,10	0,00E+00	9,51	1242,56	863,86	0,695	
Rse	0,1	sisäpuolinen pintavastus	0	x	10,00	0,00E+00	9,45	1234,09	863,86	0,700	
summa R	6,99		312,2		summa Z	4,55E+11					

U-arvo 0,14 W/m²KLämpövirta 1,03 W/m²Kosteusvirta 1,2E-09 kg/m² s0,10 g/m² / pv21,2 g/m² / 30 pv

SIPOON HARJOITUSJÄÄHALLI

Yläpohja 1 ja 2 (teräsrakenteinen)

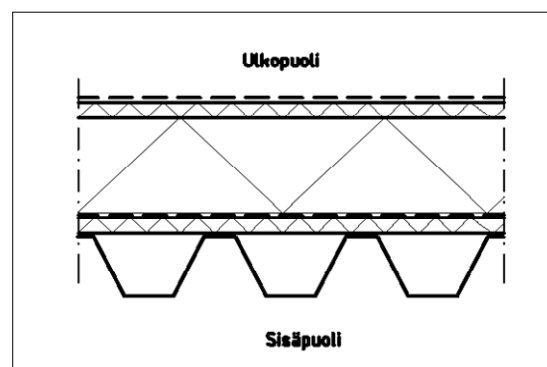
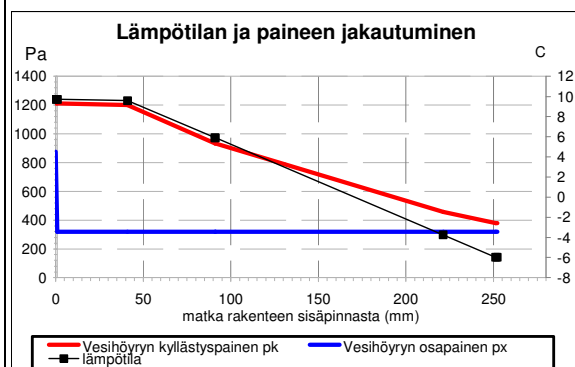
Tammikuu

°C	%	Kyllästys kosteus v_k [g/m ³]	Absoluuttine n-kosteus v [g/m ³]	Vesihöyryn osapaine p_v [Pa]
Sisälämpötila	10 Suhteellinen kosteus R_{RH}	71	9,4511	6,71
Ulkolämpötila	-6,1 Suhteellinen kosteus R_{RHs}	85	3,05296	2,60

Rakenne sisältä lukien	R	Ainekerros	d	λ	Lämpötila rakenne- kerroksen ulkopinnalla t_u	Z	v_k	p_k	p_x	p_x/p_k	Tiivistyvä vesimäärä/ poistuva vesimäärä
lukien	[m ² °C/W]		[mm]	[W/m °C]	[°C]	[m ² s Pa/kg]	[g/m ³]	[Pa]	[Pa]		g/m ² / 1 kk
Rsi	0,1	sisäpuolinen pintavastus	0	x	9,71	0,00E+00	9,28	1210,58	876,20	0,724	
R1	0,00	rauta, teräs	1	50,000	9,71	1,00E+107	9,28	1210,58	319,57	0,264	-4,88
R2	0,04	ilma	40	1,000	9,60	2,00E+10	9,21	1201,28	319,57	0,266	-5,04
R3	1,28	mineraalivilla, kova 0,039	50	0,039	5,89	7,58E+08	7,26	933,86	319,57	0,342	-3,52
R4	0,00	Muovikalvo, polyeteeni 0,2	0,2	1,000	5,89	4,50E+11	7,26	933,82	319,57	0,342	-656,76
R5	3,33	mineraalivilla, kova 0,039	130	0,039	-3,75	1,97E+09	3,68	456,59	319,57	0,700	-781,36
R6	0,77	mineraalivilla, kova 0,039	30	0,039	-5,97	4,55E+08	3,09	380,17	319,57	0,841	-0,06
R7	0,01	PVC-matto	1	0,180	-5,98	2,78E+12	3,08	379,66	319,57	0,842	
R8	0,00		0	0,000	-5,98	0,00E+00	3,08	379,66	319,57	0,842	
R9	0,00		0	0,000	-5,98	0,00E+00	3,08	379,66	319,57	0,842	
R10	0,00		0	0,000	-5,98	0,00E+00	3,08	379,66	319,57	0,842	
R11	0,00		0	0,000	-5,98	0,00E+00	3,08	379,66	319,57	0,842	
R12	0,00		0	0,000	-5,98	0,00E+00	3,08	379,66	319,57	0,842	
Rg	0	ilmakerroksen lämpövastus	0	1,000	-5,98	0,00E+00	3,08	379,66	319,57	0,842	
Rb	0	maan lämmönvastus	0	0,000	-5,98	0,00E+00	3,08	379,66	319,57	0,842	
Rse	0,04	ulko puolinen pintavastus	0	0	-6,10	0,00E+00	3,05	375,97	319,57	0,850	
summa R	5,57				summa Z	1,00E+107					

U-arvo **0,18 W/m²K**

Lämpövirta 2,9 W/m²
 Kosteuvirta 5,6E-105 kg/m² s
 0,00 g/m² / pv
 0,00 g/m² / 60 pv



SIPOON HARJOITUSJÄÄHALLI

Yläpohja 1 ja 2 (teräsrakenteinen)

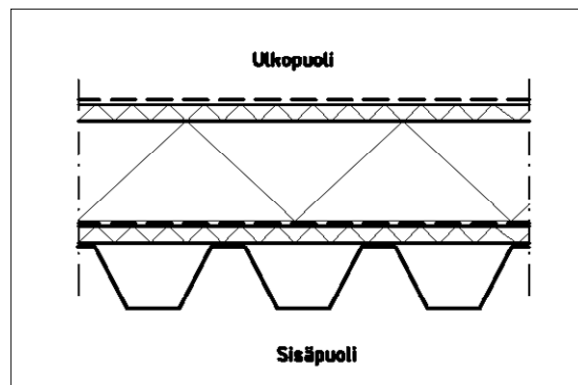
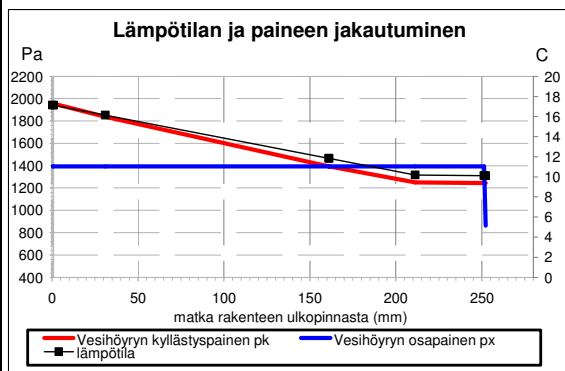
Heinäkuu

	°C	%	Kyllästys- kosteus v_k [g/m ³]	Absoluuttin en-kosteus v [g/m ³]	Vesihöyryn osapaine p_v [Pa]	
Ukolämpötila	17,2	Suhteellinen kosteus R_{hu}	71	14,664	10,41	1394,07
Sisälämpötila	10	Suhteellinen kosteus R_{hs}	70	9,4511	6,62	863,86

Rakenne ulkoapäin lukien	R	Ainekerros	d	λ	Lämpötila rakenne- kerroksen ulkopinnalla t_u	Z	v_k	p_k	p_x	p_x/p_k	Tiivistyvä vesimäärä/ poistuva vesimäärä q/m ² / 1 kk
	[m ² °C/W]		[mm]	[W/m °C]	[°C]	[m ² s Pa/kg]	[g/m ³]	[Pa]	[Pa]		
Rsi	0,04	ulkopuolinen pintavastus	0	x	17,15	0,00E+00	14,62	1957,12	1394,07	0,712	
R1	0,01	PVC-matto	1	0,180	17,14	2,78E+12	14,61	1956,24	1394,07	0,713	-0,525
R2	0,77	Mineraalivilla, kova 0,039	30	0,039	16,15	4,55E+08	13,77	1837,48	1394,07	0,759	-0,414
R3	3,33	Mineraalivilla, kova 0,039	130	0,039	11,84	1,97E+09	10,60	1393,05	1394,07	1,001	0,001
R4	0,00	Muovikalvo, polyeteeni 0,2	0,2	1,000	11,84	4,50E+11	10,60	1393,03	1394,07	1,001	0,001
R5	1,28	Mineraalivilla, kova 0,039	50	0,039	10,18	7,58E+08	9,56	1249,01	1394,07	1,116	0,116
R6	0,04	ilma	40	1,000	10,13	2,00E+10	9,53	1244,73	1394,07	1,120	0,119
R7	0,00	rauta, teräs	1	50,000	10,13	1,00E+107	9,53	1244,73	863,86	0,694	
R8	0,00		0	0,000	10,13	0,00E+00	9,53	1244,73	863,86	0,694	
R9	0,00		0	0,000	10,13	0,00E+00	9,53	1244,73	863,86	0,694	
R10	0,00		0	0,000	10,13	0,00E+00	9,53	1244,73	863,86	0,694	
R11	0,00		0	0,000	10,13	0,00E+00	9,53	1244,73	863,86	0,694	
R12	0,00		0	0,000	10,13	0,00E+00	9,53	1244,73	863,86	0,694	
Rg	0	ilmakerroksen lämpövastus	0	1,000	10,13	0,00E+00	9,53	1244,73	863,86	0,694	
Rb	0	maan lämmönvastus	0	0,000	10,13	0,00E+00	9,53	1244,73	863,86	0,694	
Rse	0,1	sisäpuolinen pintavastus	0	x	10,00	0,00E+00	9,45	1234,09	863,86	0,700	
summa R	5,57				summa Z	1,00E+107					

U-arvo 0,18 W/m²K

Lämpövirta 1,2925 W/m²
 Kosteusvirta 5E-105 kg/m² s
 4,6E-97 g/m² / pv
 9,6E-95 g/m² / 30 pv



SIPOON HARJOITUSJÄÄHALLI

Yläpohja 2 (puurakenteinen)

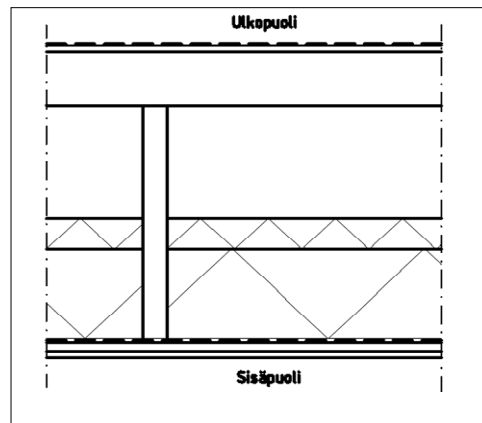
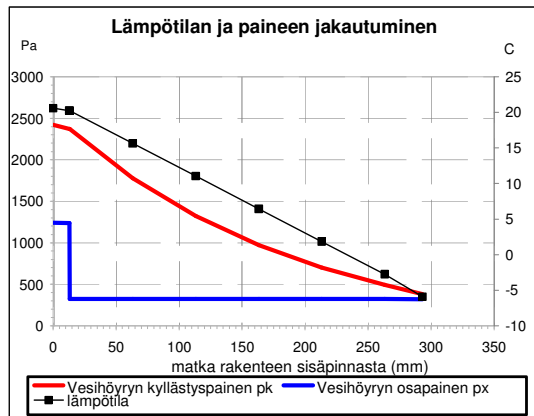
Tammikuu

	°C	%	Kyllästys- kosteus v_k [g/m ³]	Absoluuttine n-kosteus v [g/m ³]	Vesihöyryn osapaine p_v [Pa]	
Sisälämpötila	21	Suhteellinen kosteus R_{hu}	50	18,3142	9,16	1242,17
Ukolämpötila	-6,1	Suhteellinen kosteus R_{hs}	85	3,05296	2,60	319,57

Rakenne sisältä lukien	R	Ainekerros	d	λ	Lämpötila rakenne- kerroksen ulkopinnalla t_u	Z	v_k	p_k	p_x	p_x/p_k	Tiivistyvä vesimäärä/ poistuva vesimäärä
	[m ² °C/W]		[mm]	[W/m °C]	[°C]	[m ² s Pa/kg]	[g/m ³]	[Pa]	[Pa]		g/m ² / 1 kk
Rsi	0,1	sisäpuolinen pintavastus	0	x	20,59	0,00E+00	17,88	2422,24	1242,17	0,513	
R1	0,09	Gyproc GEK13	13	0,150	20,23	2,59E+09	17,51	2369,54	1236,93	0,522	-1140,2
R2	0,00	Muovikalvo, polyeteeni 0,2	0,2	1,000	20,23	4,50E+11	17,51	2369,42	324,05	0,137	-3530,8
R3	1,11	Mineraalivilla, kova 0,045	50	0,045	15,63	7,58E+08	13,35	1778,42	322,52	0,181	-5044,9
R4	1,11	mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	11,04	2,50E+08	10,08	1321,54	322,01	0,244	-5194,7
R5	1,11	mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	6,44	2,50E+08	7,52	970,00	321,50	0,331	-6742,1
R6	1,11	mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	1,84	2,50E+08	5,52	700,35	321,00	0,458	
R7	1,11	mineraalivilla, kevyt 0,045	50	0,045	-2,75	2,50E+08	3,96	494,19	320,49	0,649	
R8	0,77	mineraalivilla, kova 0,039	30	0,039	-5,93	4,55E+08	3,09	381,25	319,57	0,838	
R9	0,00		0	0,000	-5,93	0,00E+00	3,09	381,25	319,57	0,838	
R10	0,00		0	0,000	-5,93	0,00E+00	3,09	381,25	319,57	0,838	
R11	0,00		0	0,000	-5,93	0,00E+00	3,09	381,25	319,57	0,838	
R12	0,00		0	0,000	-5,93	0,00E+00	3,09	381,25	319,57	0,838	
Rg	0	ilmakerroksen lämpövastus	0	1,000	-5,93	0,00E+00	3,09	381,25	319,57	0,838	
Rb	0	maan lämmönvastus	0	0,000	-5,93	0,00E+00	3,09	381,25	319,57	0,838	
Rse	0,04	ulkopuolinen pintavastus	0	0	-6,10	0,00E+00	3,05	375,97	319,57	0,850	
summa R	6,55				summa Z	4,55E+11					

U-arvo 0,15 W/m²K

Lämpövirta 4,14 W/m²
 Kosteuvirta 2,0E-09 kg/m² s
 0,18 g/m² / pv
 73,5 g/m² / 60 pv



SIPOON HARJOITUSJÄÄHALLI

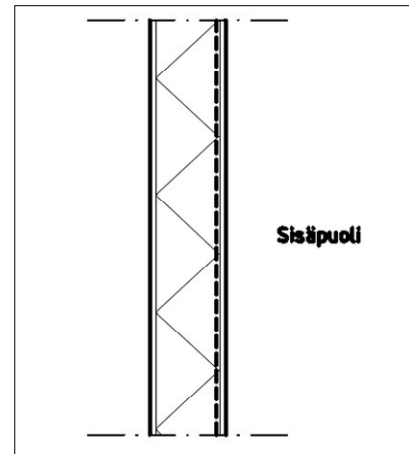
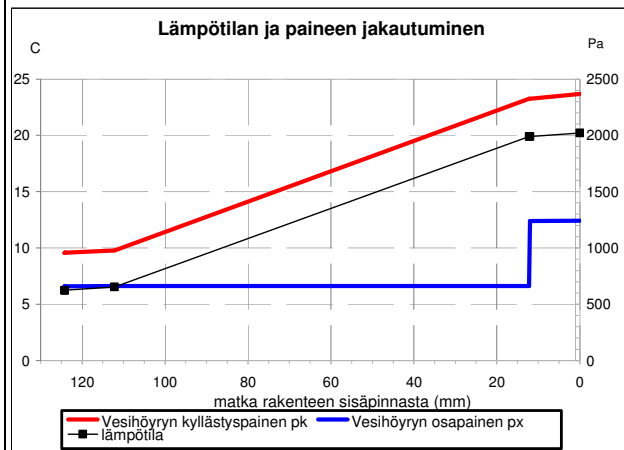
Välisenä 1

	°C	%	Kyllästys- kosteus v_k [g/m3]	Absoluuttinen- kosteus v [g/m3]	Vesihöyryn osapaine p_v [Pa]	
Sisälämpötila	21	Suhteellinen kosteus R_{hu}	50	18,31	9,16	1242,17
Ulkolämpötila	6	Suhteellinen kosteus R_{hs}	70	7,31	5,12	658,71

Rakenne sisältä lukien	R	Ainekerros	d	λ	Lämpötila rakenneteen ulkopinnalla t_u	Z	v_k	p_k	p_x	p_x/p_k	Tiivistyvä vesimäärä/ poistuva vesimäärä
	[m ² °C/W]		[mm]	[W/m °C]	[°C]	[m ² s Pa/kg]	[g/m ³]	[Pa]	[Pa]		g/m ² / 1 kk
Rsi	0,13	sisäpuolinen pintavastus	0	x	20,22	0,00E+00	17,50	2368,05	1242,17	0,525	
R1	0,05	Puukipsilevy (sasmox)	12	0,240	19,92	2,67E+09	17,20	2324,63	1238,76	0,533	-1061,7
R2	0,00	Muovikalvo, polyeteeni 0,2	0,2	1,000	19,92	4,50E+11	17,20	2324,45	662,76	0,285	-1369,6
R3	2,22	Mineraalivilla, kevyt 0,045	100	0,045	6,54	5,00E+08	7,57	976,86	662,12	0,678	-307,7
R4	0,05	Puukipsilevy (sasmox)	12	0,240	6,24	2,67E+09	7,43	956,81	658,71	0,688	-288,1
R5	0,00		0	0,000	6,24	0,00E+00	7,43	956,81	658,71	0,688	
R6	0,00		0	0,000	6,24	0,00E+00	7,43	956,81	658,71	0,688	
R7	0,00		0	0,000	6,24	0,00E+00	7,43	956,81	658,71	0,688	
R8	0,00		0	0,000	6,24	0,00E+00	7,43	956,81	658,71	0,688	
R9	0,00		0	0,000	6,24	0,00E+00	7,43	956,81	658,71	0,688	
R10	0,00		0	0,000	6,24	0,00E+00	7,43	956,81	658,71	0,688	
R11	0,00		0	0,000	6,24	0,00E+00	7,43	956,81	658,71	0,688	
R12	0,00		0	0,000	6,24	0,00E+00	7,43	956,81	658,71	0,688	
Rg	0,00	ilmakerroksen lämpövastus	0	1,000	6,24	0,00E+00	7,43	956,81	658,71	0,688	
Rb	0,00	maan lämmönvastus	0	0,000	6,24	0,00E+00	7,43	956,81	658,71	0,688	
Rse	0,04	ulkopuolinen pintavastus	0	0	6,00	0,00E+00	7,31	941,02	658,71	0,700	
summa R	2,49				summa Z	4,56E+11					

U-arvo **0,40** W/m²K

Lämpövirta 6,02 W/m²
 Kosteusvirta 1,3E-09 kg/m² s
 0,11 g/m² / pv
 46,40 g/m² / 60 pv



SIPOON HARJOITUSJÄÄHALLI

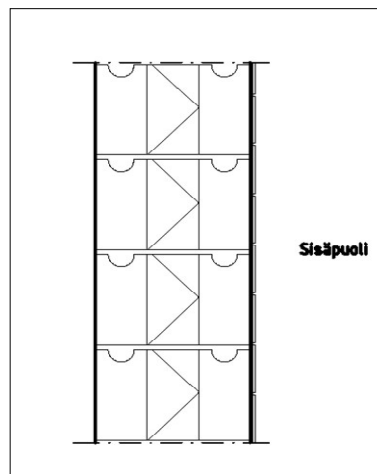
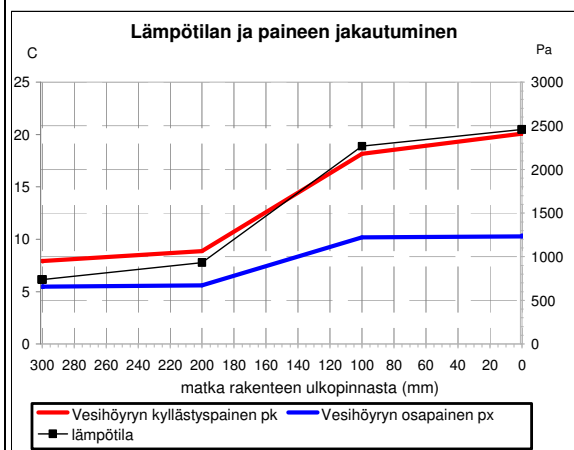
Välisenä 2

	°C	%	Kyllästys kosteus v_k [g/m3]	Absoluuttinen kosteus v [g/m3]	Vesihöyryn osapaine p_v [Pa]
Sisälämpötila	21	Suhteellinen kosteus R_{hu}	50	18,31	9,16
Ulkolämpötila	6	Suhteellinen kosteus R_{hs}	70	7,31	5,12

Rakenne sisältä lukien	R	Ainekerros	d	λ	Lämpötila rakenneteen ulkopinnalla t_u	Z	v_k	p_k	p_x	p_x/p_k	Tiivistyvä vesimäärä/ poistuva vesimäärä
	[m ² °C/W]		[mm]	[W/m °C]	[°C]	[m ² s Pa/kg]	[g/m ³]	[Pa]	[Pa]		g/m ² / 1 kk
Rsi	0,13	sisäpuolinen pintavastus	0	x	20,49	0,00E+00	17,79	2408,70	1242,17		0,516
R1	0,00	PVC-maali	0,01	0,000	20,49	2,15E+09	17,79	2408,70	1234,47		0,513
R2	0,42	kevytsoraharkko, ulkoseinä	100	0,240	18,88	3,23E+09	16,19	2179,84	1222,88		0,561
R3	2,86	Polyuretaanisolumuovi PUR	100	0,035	7,77	1,54E+11	8,20	1062,74	670,30		0,631
R4	0,42	kevytsoraharkko, ulkoseinä	100	0,240	6,16	3,23E+09	7,38	951,19	658,71		0,693
R5	0,00		0	0,000	6,16	0,00E+00	7,38	951,19	658,71		0,693
R6	0,00		0	0,000	6,16	0,00E+00	7,38	951,19	658,71		0,693
R7	0,00		0	0,000	6,16	0,00E+00	7,38	951,19	658,71		0,693
R8	0,00		0	0,000	6,16	0,00E+00	7,38	951,19	658,71		0,693
R9	0,00		0	0,000	6,16	0,00E+00	7,38	951,19	658,71		0,693
R10	0,00		0	0,000	6,16	0,00E+00	7,38	951,19	658,71		0,693
R11	0,00		0	0,000	6,16	0,00E+00	7,38	951,19	658,71		0,693
R12	0,00		0	0,000	6,16	0,00E+00	7,38	951,19	658,71		0,693
Rg	0,00	ilmakerroksen lämpövastus	0	1,000	6,16	0,00E+00	7,38	951,19	658,71		0,693
Rb	0,00	maan lämmönvastus	0	0,000	6,16	0,00E+00	7,38	951,19	658,71		0,693
Rse	0,04	ulkopuolinen pintavastus	0	0	6,00	0,00E+00	7,31	941,02	658,71		0,700
summa R	3,86				summa Z	1,62E+11					

U-arvo **0,26** W/m²K

Lämpövirta 3,89 W/m²
 Kosteuvirta 3,6E-09 kg/m² s
 0,31 g/m² / pv
 130,34 g/m² / 60 pv



SIPOON HARJOITUSJÄÄHALLI

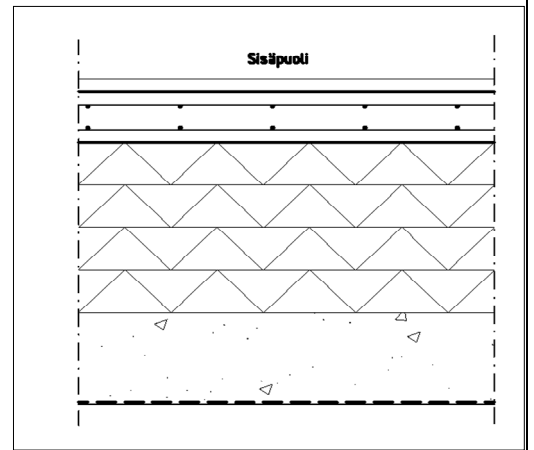
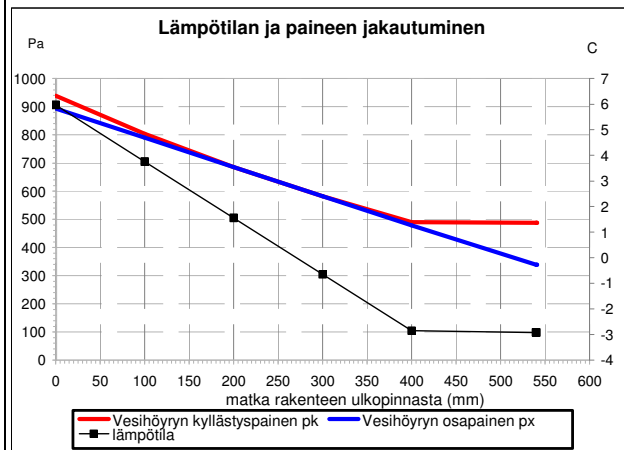
Alapohja 1

		Kyllästys- kosteus	Absoluuttine n-kosteus	Vesihöyryn osapaine	
°C	%	v_k [g/m ³]	v [g/m ³]	p_v [Pa]	
Sisälämpötila	6 Suhteellinen kosteus R_{hu}	95	7,31	6,94	893,97
Ulkolämpötila	-3 Suhteellinen kosteus R_{hs}	70	3,89	2,72	339,23

Rakenne- ulkoapäin lukien	R	Ainekerros	d	λ	Lämpötila rakenneteen ulkopinnalla t_u	Z	v_k	p_k	p_x	p_x/p_k	Tiivistyvä vesimäärä/ poistuva vesimäärä
	[m ² °C/W]		[mm]	[W/m °C]	[°C]	[m ² s Pa/kg]	[g/m ³]	[Pa]	[Pa]		g/m ² / 1 kk
Rsi	0,04	ulkopuolinen pintavastus	0	x	5,97	0,00E+00	7,29	938,95	893,97	0,952	
R1	2,78	EPS 120 Routa	100	0,036	3,76	5,00E+10	6,30	804,28	789,95	0,982	-0,9
R2	2,78	EPS 120 Routa	100	0,036	1,56	5,00E+10	5,41	685,80	685,94	1,000	0,0
R3	2,78	EPS 120 Routa	100	0,036	-0,65	5,00E+10	4,63	581,64	581,93	1,000	0,0
R4	2,78	EPS 120 Routa	100	0,036	-2,86	5,00E+10	3,93	490,20	477,91	0,975	3,6
R5	0,08	Betoni 2300	140	1,700	-2,92	6,67E+10	3,91	487,67	339,23	0,696	-0,5
R6	0,00		0	0,000	-2,92	0,00E+00	3,91	487,67	339,23	0,696	
R7	0,00		0	0,000	-2,92	0,00E+00	3,91	487,67	339,23	0,696	
R8	0,00		0	0,000	-2,92	0,00E+00	3,91	487,67	339,23	0,696	
R9	0,00		0	0,000	-2,92	0,00E+00	3,91	487,67	339,23	0,696	
R10	0,00		0	0,000	-2,92	0,00E+00	3,91	487,67	339,23	0,696	
R11	0,00		0	0,000	-2,92	0,00E+00	3,91	487,67	339,23	0,696	
R12	0,00		0	0,000	-2,92	0,00E+00	3,91	487,67	339,23	0,696	
Rg	0,00	ilmakerroksen lämpövastus	0	1,000	-2,92	0,00E+00	3,91	487,67	339,23	0,696	
Rb	0,00	maan lämmönvastus	0	0,000	-2,92	0,00E+00	3,91	487,67	339,23	0,696	
Rse	0,1	sisäpuolinen pintavastus	0	0	-3,00	0,00E+00	3,89	484,61	339,23	0,700	
summa R	11,33				summa Z	2,67E+11					

U-arvo **0,09** W/m²K

Lämpövirta 0,79 W/m²
 Kosteusvirta 2,1E-09 kg/m² s
 0,18 g/m² / pv
 75,49 g/m² / 60 pv



SIPOON HARJOITUSJÄÄHALLI

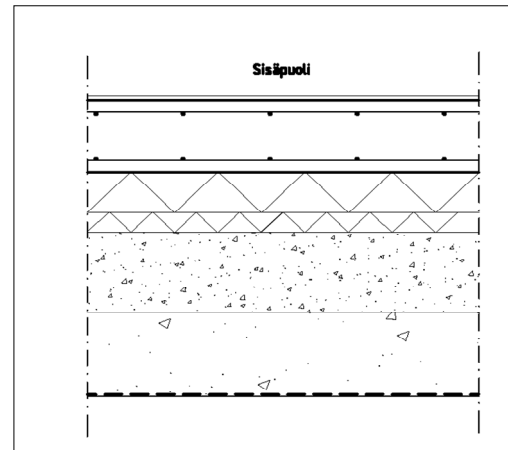
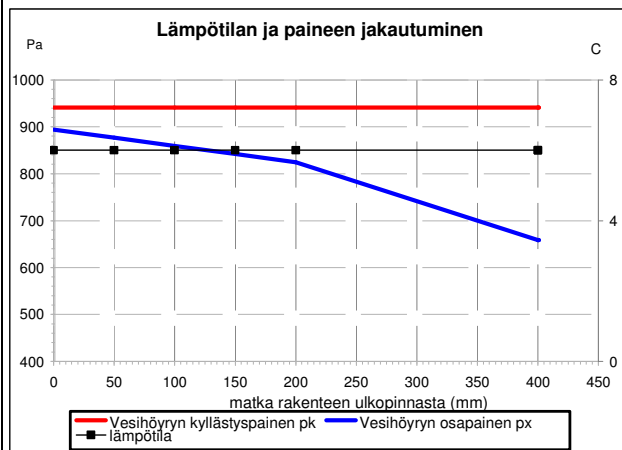
Alapohja 2

		Kyllästys- kosteus	Absoluuttine n-kosteus	Vesihöyryn osapaine	
°C	%	v_k [g/m3]	v [g/m3]	p_v [Pa]	
Sisälämpötila	6 Suhteellinen kosteus R_{hu}	95	7,31	6,94	893,97
Ulkolämpötila	6 Suhteellinen kosteus R_{hs}	70	7,31	5,12	658,71

Rakenne ulkoapäin lukien	R	Ainekerros	d	λ	Lämpötila rakenneteen ulkopinnalla t_u	Z	v_k	p_k	p_x	p_x/p_k	Tiivistyvä vesimäärä/ poistuva vesimäärä
	[m ² °C/W]		[mm]	[W/m °C]	[°C]	[m ² s Pa/kg]	[g/m ³]	[Pa]	[Pa]		g/m ² / 1 kk
Rsi	0,04	ulkopuolinen pintavastus	0	x	6,00	0,00E+00	7,31	941,02	893,97	0,950	
R1	1,39	EPS 100 Lattia	50	0,036	6,00	1,00E+10	7,31	941,02	876,57	0,932	-48,8
R2	1,39	EPS 100 Lattia	50	0,036	6,00	1,00E+10	7,31	941,02	859,17	0,913	-42,7
R3	1,39	EPS 100 Lattia	50	0,036	6,00	1,00E+10	7,31	941,02	841,78	0,895	-77,2
R4	1,39	EPS 100 Lattia	50	0,036	6,00	1,00E+10	7,31	941,02	824,38	0,876	-77,2
R5	0,12	Betoni 2300	200	1,700	6,00	9,52E+10	7,31	941,02	658,71	0,700	
R6	0,00		0	0,000	6,00	0,00E+00	7,31	941,02	658,71	0,700	
R7	0,00		0	0,000	6,00	0,00E+00	7,31	941,02	658,71	0,700	
R8	0,00		0	0,000	6,00	0,00E+00	7,31	941,02	658,71	0,700	
R9	0,00		0	0,000	6,00	0,00E+00	7,31	941,02	658,71	0,700	
R10	0,00		0	0,000	6,00	0,00E+00	7,31	941,02	658,71	0,700	
R11	0,00		0	0,000	6,00	0,00E+00	7,31	941,02	658,71	0,700	
R12	0,00		0	0,000	6,00	0,00E+00	7,31	941,02	658,71	0,700	
Rg	0,00	ilmakerroksen lämpövastus	0	1,000	6,00	0,00E+00	7,31	941,02	658,71	0,700	
Rb	0,00	maan lämmönvastus	0	0,000	6,00	0,00E+00	7,31	941,02	658,71	0,700	
Rse	0,1	sisäpuolinen pintavastus	0	0	6,00	0,00E+00	7,31	941,02	658,71	0,700	
summa R	5,81				summa Z	1,35E+11					

U-arvo **0,17** W/m²K

Lämpövirta 0,00 W/m²
 Kosteuvirta 1,7E-09 kg/m² s
 0,15 g/m² / pv
 63,12 g/m² / 60 pv



SIPOON HARJOITUSJÄÄHALLI

Välipohja 1

	°C	%	Kyllästys- kosteus v_k [g/m3]	Absoluuttine- n-kosteus v [g/m3]	Vesihöyryn osapaine p_v [Pa]	
Sisälämpötila	21	Suhteellinen kosteus R_{hu}	50	18,31	9,16	1242,17
Ulkolämpötila	6	Suhteellinen kosteus R_{hs}	70	7,31	5,12	658,71

Rakenne sisältä lukien	R	Ainekerros	d	λ	Lämpötila rakenneteen ulkopinnalla t_u	Z	v_k	p_k	p_x	p_x/p_k	Tiivistyvä vesimäärä/ poistuva vesimäärä
	[m ² °C/W]		[mm]	[W/m °C]	[°C]	[m ² s Pa/kg]	[g/m ³]	[Pa]	[Pa]		g/m ² / 1 kk
Rsi	0,1	sisäpuolinen pintavastus	0	x	20,42	0,00E+00	17,71	2397,51	1242,17	0,518	
R1	0,17	Betoni 2000	200	1,200	19,45	9,52E+10	16,74	2258,78	881,57	0,390	-98,1
R2	0,01	Betoni 2300	20	1,700	19,38	9,52E+09	16,67	2249,26	845,51	0,376	-108,5
R3	2,22	EPS 100 Lattia	80	0,036	6,47	1,60E+10	7,54	972,17	784,92	0,807	-18,6
R4	0,04	Betoni 2300	70	1,700	6,23	3,33E+10	7,42	956,26	658,71	0,689	-17,0
R5	0,00		0	0,000	6,23	0,00E+00	7,42	956,26	658,71	0,689	
R6	0,00		0	0,000	6,23	0,00E+00	7,42	956,26	658,71	0,689	
R7	0,00		0	0,000	6,23	0,00E+00	7,42	956,26	658,71	0,689	
R8	0,00		0	0,000	6,23	0,00E+00	7,42	956,26	658,71	0,689	
R9	0,00		0	0,000	6,23	0,00E+00	7,42	956,26	658,71	0,689	
R10	0,00		0	0,000	6,23	0,00E+00	7,42	956,26	658,71	0,689	
R11	0,00		0	0,000	6,23	0,00E+00	7,42	956,26	658,71	0,689	
R12	0,00		0	0,000	6,23	0,00E+00	7,42	956,26	658,71	0,689	
Rg	0,00	ilmakerroksen lämpövastus	0	1,000	6,23	0,00E+00	7,42	956,26	658,71	0,689	
Rb	0,00	maan lämmönvastus	0	0,000	6,23	0,00E+00	7,42	956,26	658,71	0,689	
Rse	0,04	ulkoilinen pintavastus	0	0	6,00	0,00E+00	7,31	941,02	658,71	0,700	
summa R	2,58				summa Z	1,54E+11					

U-arvo **0,39** W/m²K

Lämpövirta 5,81 W/m²
 Kosteutvirta 3,8E-09 kg/m² s
 0,33 g/m² / pv
 137,40 g/m² / 60 pv

