

Lauri Mäenpää

Pystyhirsi rakenteena ja materiaalina

Opinnäytetyö

Kevät 2017

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Lauri Mäenpää

Työn nimi: Pystyhirsi rakenteena ja materiaalina

Ohjaaja: Veli Autio

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 39

Liitteiden lukumäärä: 2

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan eteläpohjalaisen yrittäjän kehittämää pystyhirsirakennetta ja rakenteen teknistä toimintaa. Erilaisia pystyhirsirakenteita löytyy Suomesta ja maailmalta useanlaisia, mutta tässä tarkastellaan vain kyseistä pystyhirsirakennetta.

Työssä perehdytään hirren ominaisuuksiin, pystyhirsien valmistukseen, hirsikehikon pystytystöihin ja työmäärään sekä rakenteen toimintaan erilaisissa olosuhteissa. Pystyhirsirakenteelle tehtiin myös jäykkyykskoiteita sekä teoreettista tarkastelua kosteus- ja lämpökäyttäytymisestä. Kirjalliseen työhön sisältyy liitteitä erilaisista rakenteen toiminnan tarkasteluista. Työssä on lisäksi esitetty aiempaa tutkimustietoa pystyhirsirakenteesta.

Laboratoriotesteillä ja teoreettisella tarkastelulla saatiin uutta tietoa pystyhirsirakenteen toiminnasta seinän jäykkyyden sekä kosteus- ja lämpötekniikan toiminnan kannalta. Tähän työhön on kerätty enemmän julkaisematonta tietoa rakentamistavoista ja valmistusmenetelmistä.

Avainsanat: hirsirakentaminen, liimapuurakenteet, puurakentaminen

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Lauri Mäenpää

Title of thesis: Vertical timber structures

Supervisor: Veli Autio

Year: 2017

Number of pages: 39

Number of appendices: 2

The thesis studied one kind of vertical timber structure and its physical function. There are several different vertical timber structures around the world, but the thesis examined only one of them. This style of vertical timber structure was developed by an entrepreneur from Southern Ostrobothnia in Finland.

The thesis studied vertical timber features, physical function in structures, working times, manufacturing process and function in different weathers. A stiffness test to the structure was also made. Included in the thesis was also theoretical inspection of moisture and temperature behaviours. The thesis also presented older research results about this structure.

The laboratory test results and theoretical inspections gave new information about stiffness, moisture points and temperature features. The thesis presented unpublished information about building types and manufacturing methods.

Keywords: log construction, glued timber structures, timber construction

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo	5
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 PERUSESITTELY	8
1.1 Pystyhirren kehitys ja historia.....	8
1.2 Pystyhirsi rakennusmateriaalina.....	8
2 PYSTYHIRSISEINÄN RAKENNE	9
2.1 Hirsiseinän rakenne ja liitokset.....	9
2.2 Liittyminen muihin rakenteisiin	12
2.3 Rakennusmääräysten vaikutus asuntorakentamiseen	13
3 EDUT VERRATTUNA PERINTEISEEN VAAKAHIRSIRAKENTEESEEN.....	15
3.1 Painumattomuus	15
3.2 Säänkesto ja tiiveys	15
3.3 Nopeus ja yksinkertaisuus	16
4 VALMISTUSMENETELMÄT JA TUOTANTO	17
4.1 Hirsien valmistus	17
4.2 Tuotanto, koneet ja välineet	18
5 PYSTYHIRSIRAKENNUKSEN PYSTYTYS	19
5.1 Pystyttäminen yleensä	19
5.1.1 Valmistelut työkohteessa	19
5.1.2 Seinän pystytys.....	19
5.1.3 Lopettavat työt	21
5.2 Pystytys vaihtoehtoisesti elementtimenetelmällä	22
6 RAKENTEEN LUJUUS JA RAKENNUSFYSIKAALISET OMINAISUUDET	23
6.1 Seinän lujuus, jäykkyys ja eläminen.....	23

6.2 Seinän jäykkyys	23
6.2.1 Testin kulku.....	23
6.2.2 Hirsien määrän vaikutus tarvittavaan voimaan.....	25
6.2.3 Hirsirunko verrattuna normaaliin puurunkoon	27
6.3 Seinän ilma- ja säätiveys.....	28
6.4 Seinän lämpö- ja kosteustekninen käyttäytyminen.....	29
7 TYÖMENEKIT JA AIKATAULU	32
7.1 Työmenekki.....	32
7.2 Aikataulu	33
8 KÄYTTÖKOHTEET	34
8.1 Erilaisia käyttökohteita	34
8.2 Hinnat verrattuna perinteisiin rakennustapoihin	35
9 YHTEENVETO.....	37
9.1 Pystyhirsi perinteisen hirsirakentamisen vaihtoehtona.....	37
9.2 Kehityksen jatkuvuus	37
LÄHTEET	38
LIITTEET	39

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Pystyhirsirakenne ylhäältä päin. (Pystyhirsi.fi, [viitattu 9.2.2017].)	9
Kuva 2. Hirsien välinen pontti ja ponttiura.	10
Kuva 3. Eriste hirsien välissä.	11
Kuva 4. Tippapelti hirsiseinän alapäässä. (Pystyhirsi.fi, [viitattu 9.2.2017].)	12
Kuva 5. Seinän pystytyksen aloitus nurkasta.	20
Kuva 6. Rakenteilla oleva pystyhirsikehikko.	21
Kuva 7. Seinän testijärjestelyt.	24
Kuva 8. Lämpökamerakuva ehjästä seinästä, missä ulkopuolella -20 °C. (Autio 2010.).....	29
Kuva 9. Rakenteilla oleva pystyhirsinen pientalo.	34
Kuva 10. Pystyhirrestä tehty pihasauna.	35
Kuvio 1. Hirsien määrän vaikutus jäykkyyteen.	25
Kuvio 2. Kaksiosainen pystyhirsiseinä, sauman kohta, heinäkuu.	31
Kuvio 3. Kaksiosainen pystyhirsiseinä, hirren kohta, tammikuu.	31
Kuvio 4. Kaksiosainen pystyhirsiseinä, sauman kohta, tammikuu.	31
Taulukko 1. Hirsien määrän vaikutus jäykkyyteen -testin tulokset.	26
Taulukko 2. Elementtimenetelmällä kasatun pystyhirsiseinän testitulokset.	26
Taulukko 3. Elementtiseinän kuormitus paksummilla ruuveilla.	27

Taulukko 4. Perinteisen levy-jäykisteisen seinän testitulokset.	28
Taulukko 5. Uudiskohteen työmenekki T3-aikana.....	32
Taulukko 6. Työryhmän työsaavutus.	33
Taulukko 7. Perinteisen seinän materiaalin hinta neliötä kohden.....	35

Käytetyt termit ja lyhenteet

Hirsi	Hirsi on yleensä yhdestä puusta koostuva rakennusmateriaali. Hirsiä ovat pyöreään muotoon jätetty tai sorvattu pyöröhirsi, yleensä kantikkaaksi höylätty höylähirsi ja useasta eri puusta yhteenliimattu lamellihirsi.
Hirsikehikko	Rakennuksen runko-osa, joka on koottu useista usein päällekkäisistä vaakatasossa olevista hirsistä. Hirret voivat olla myös pystysuunnassa.
Pontti	Yleensä kahden puun välinen rakenteellinen liitos, missä toiseen kappaleeseen tehdyllä loveuksella ja toisessa kappaleessa olevalla loveen uppoavalla ulokkeella voidaan sovittaa kappaleet yhteen tiiviisti.
Ylä- ja alasidepuu	Puurunkoisissa rakennuksissa pystyrungon ylä- ja alapäässä vaaka-asennossa olevat puut, jotka sitovat pystyssä olevat puut toisiinsa. Alasidepuu kiinnitetään yleensä rakennuksen perustuksiin, ja yläsidepuun päälle yleensä rakentuu vesikattorakenne.
Työmenekki	Työmenekki on työhön kulunutta aikaa työntekijätunteina yksikkö kohti. Esimerkiksi työntekijätuntia neliölle (tth/m ²), tai työntekijätuntia juoksumetrille (tth/jm). Työmenekkiä tarvitaan rakennustöiden kustannuksia ja aikataulua laskettaessa.
Työvuoro	Työvuoro (tv) tarkoittaa normaalia arkityöpäivää, minkä kesto on 8 h. Työn ajallista kestoä yhteen laskettaessa työvuoroon sisältyy 8 työntekijätuntia (tth), eli 8 tth on 1 tv.

1 PERUSESITTELY

1.1 Pystyhirren kehitys ja historia

Pystyhirttä on käytetty Suomessa vähäisin määrin jo kauan. Useammista vanhoista rakennuksista on paljastunut pintarakenteiden alta jonkinnäköisiä pystyhirsirakenteita. Myös esimerkiksi Kanadasta voidaan pystyhirrestä löytää tietoa internetistä. Idea lienee syntynyt, kun on huomattu perinteisen vaakahirren ongelmat, kuten painuminen, nurkkien epätiiveys ja yleisesti hirren elämisen aiheuttama epätiiveys rakenteessa.

Suomessa pystyhirren käytöstä löytyy hieman tietoa internetin hakupalveluilla, useammasta lähteestä. Tässä selostuksessa tarkastellaan kuitenkin pystyhirsityyppiä, joka on syntynyt eteläpohjalaisen yksityisyrityksen toimesta.

Kyseistä pystyhirsirakennetta on käytetty jo kahdessa asuintalossa, ympäri vuoden käytettävässä mökissä, useammassa pihasaunassa ja piharakennuksessa positiivisin tuloksin. Hirsien liitoksiin on tullut matkan varrella pieniä muutoksia, kuten erilaisia ponttiurien muotoja ja eristemateriaaleja.

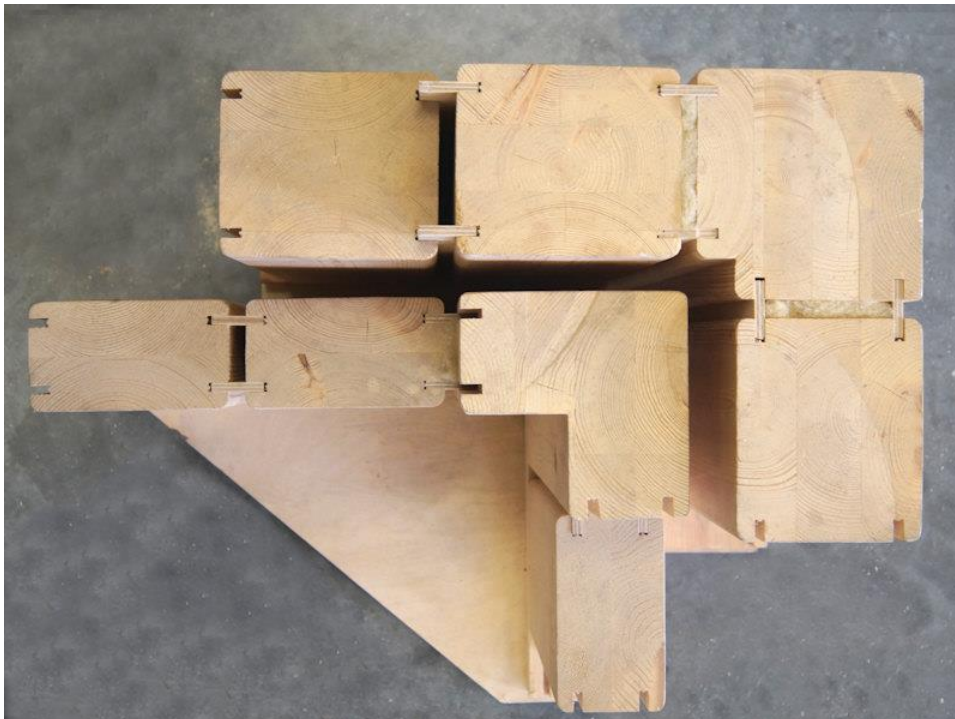
1.2 Pystyhirsi rakennusmateriaalina

Pystyhirsi materiaalina ei eroa ominaisuuksiltaan vaakahirrestä, vaan hirret ovat lamellihirsiä, kuten nykyaikaiset vaakahirretkin. Pystyhirsirakenne tosin ei juurikaan painu, johtuen puun pystysuuntaisen kutistumisen vähyydestä. Lisäksi nurkista saadaan tiiviitä, kun varsinaista erillistä nurkkaliitosta ei käytännössä rakenteessa ole. Lämpö- ja kosteusteknisiltä ominaisuuksiltaan pystyhirsi vastaa vaakatasossa olevaa hirttä, ja rakennusmääräykset käsittelevätkin kyseistä pystyhirsirakennetta normaalisti hirsirakenteena kriteereineen.

2 PYSTYHIRSISEINÄN RAKENNE

2.1 Hirsiseinän rakenne ja liitokset

Hirtenä käytetty lamellihirsi koostuu vähintään kahdesta yhteen liimatusta höylätystä puusta (kuva 1). Lamellihirressä sydänpuolet jätetään pintaa kohti, jolloin vältyään suuremmilta kuivamisen aiheuttamilta halkeiluilta ja suurilta muodonmuutoksilta. Lamellihirsi näin ollen kestää myös paremmin säärasitusta eri höyläpuiden sydänpuolien ollessa ulospäin. (Puuinfo, [viitattu 11.1.2017].)



Kuva 1. Pystyhirsirakenne ylhäältä päin. (Pystyhirsi.fi, [viitattu 9.2.2017].)

Hirteen höylätään urat (kuva 2), joihin upotetaan koivuvaneriset tai puusta tehdyt rimat, joista syntyy hirsien välinen ponttaus. Näin ollen hirsitä pystytään liittämään toisiinsa haluttu määrä vastaavanlaisilla liitoksilla. Hirsiiin voidaan tehdä yksi tai kaksi ponttiuraa, riippuen rakenteen massiivisuudesta ja lämmöneristystarpeesta. Esimerkiksi kevytrakenteiset eristämättömät pihavarastot ja väliseinät voidaan toteuttaa vain yhdellä ponttiliitoksella, kun taas paksumpia hirsitä vaativat saunat, asuintilat ja lämpöiset tilat, kahdella ponttiliitoksella. Pontit tehdään mahdollisimmat

lähelle hirren reunoja, jolloin rakenteesta tulee jäykempi ja eristeelle jää enemmän tilaa ponttien väliin.



Kuva 2. Hirsien välinen pontti ja ponttiura.

Hirsien väliin jätetään 10 mm:n rako, joka täytetään eristekaistalla (kuva 3). Eristekaista eristää kyseisen raon ja tekee rakenteesta lämpöteknisesti tiiviin. Eristekaistaa voidaan käyttää myös ala- ja yläsidepuun ja hirsien päätyjen välissä. Tällä hetkellä eristeenä käytetään Jyremarkin PP-TERMO-polypropeenikaistaa, jonka lämmöneristyskyky on 0,033 W/mK. Polypropeeni ei sido kosteutta itseensä, mutta päästää silti kosteutta ja kaasuja lävitse, ja näin ollen se sopii käytettäväksi puun kanssa hyvin. (Jyremark Oy, [viitattu 11.1.2017].)



Kuva 3. Eriste hirsien välissä.

Hirret sidotaan ylä- ja alapäästään sidepuilla jäykäksi rakenteeksi. Ylä- ja alasidepuussa on pituussuuntaiset urat hirsien ponttausvanerien kohdilla, joihin pitkäksi jätettävät ponttausvanerien päät upotetaan, näin sitoen sidepuut hirsiiin. Hirsien päät kiinnitetään mekaanisesti ruuvein tai nauloin, ylä- ja alasidepuihin. Hieman hirttä kapeampaan alasidepuuhun asennetaan tippapelti (kuva 4), ohjaamaan hirttä ja ponttirimaa pitkin valuvaa vettä pois niin, ettei valuva vesi kastele perustuksia ja alasidepuuta.



Kuva 4. Tippapelti hirsiseinän alapäässä. (Pystyhirsi.fi, [viitattu 9.2.2017].)

Hirsikehikon nurkissa käytetään erillistä nurkkahirttä (kuva 1). Nurkkahirsi sitoo seinät toisiinsa tiiviisti ilman erillisiä nurkkasaumoja. Näin ollen rakennuksen nurkat tukevat toisiaan hirsikehikon ollessa valmis.

Kaksikerroksisissa hirsiseinissä voidaan hirsikerroksien välissä käyttää huokoista puukuitulevyä, joka toimii hengittävänä lisälämmöneristeenä kerroksien välissä. Huokoinen puukuitulevy myös jäykistää hirsirakennetta. Ominaisuuksiltaan puukuitulevy on verrattavissa puuhun, ja näin ollen sopii käytettäväksi pystyhirsiseinässä. Yleiset levyn paksuudet ovat 12 mm ja 25 mm. Mikäli rakenteessa käytetään kahta päällekkäistä levyä, limitetään levyt saumoista, jolloin levy jäykistää seinää enemmän. (Puuinfo, [viitattu 11.1.2017].)

2.2 Liittyminen muihin rakenteisiin

Hirsiseinät kiinnittyvät perustuksiin alasidepuun kautta. Alasidepuu on verrattavissa normaaliin rakennuksen alasidepuuhun, joka voidaan kiinnittää hyvää rakennustapaa noudattaen sokkeliin erilaisin kiinnittimin. Pilari-perusteisessa rakennuksessa

käytetään alasidepuun alla esimerkiksi erillistä puupalkkia, näin varmistaen, että alasidepuu ei pääse taipumaan alaspäin pilarien välillä.

Kattorakenteen kiinnitys käy kuten normaalissa puurungossakin. Yläsidepuuhun voidaan normaaliin tapaan kiinnittää kattoristikoidille kulmat, kuten normaalin pystypuurungonkin yläpäähän. Myös useampikerroksiset rakennukset voidaan toteuttaa normaalin pystyrungon tapaan. Tällöin yläsidepuun päältä voidaan jatkaa rungon pystytystä seuraavalla hirsikerralla käyttäen yläsidepuuta ylemmän kerroksen alasidepuuna. Ensimmäisen kerroksen yläsidepuun päälle voidaan myös kiinnittää uusi alasidepuu. Paksuus-suunnaltaan kaksikerroksisessa hirsirakenteessa edellä mainittu ylemmän ja alemman hirsikerran liitos tehdään vain sisempään kantavaan hirsikertaan, jolloin ulompi hirsikerta asennetaan koko rungon korkuisina hirsinä.

Pystyhirrestä voidaan tehdä myös rakennukseen kantavia tai ei-kantavia väliseiniä. Väliseinän ensimmäisen puun kiinnitys ulkoseinään suoritetaan mekaanisilla kiinnittimillä, kuten puuruuvein.

Ikkunat, aukot ja ovet toteutetaan käyttämällä aukon ylä- ja/tai alapuolella lyhempiä hirsii, jotka sidotaan kiinni ylä- ja/tai alasidepuilla aukon reunalla oleviin puihin. Näin ollen korkeat aukot ovat helppoja toteuttaa. Leveissä aukoissa pitää kiinnittää huomiota sidepuiden kestävyYTEEN, mikäli kyseinen seinä on kantava.

2.3 Rakennusmääräysten vaikutus asuntorakentamiseen

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 Rakennusten energiatehokkuus – määräykset ja ohjeet vaatii hirsiseinien ylä- ja alapohjan rakenteiden lämmönläpäisykertoimeksi, eli U-arvoksi enintään 0,40 W/(m²K) (D3 Rakentamismääräyskokoelma 2012, 13). Tällöin pelkkä yksinkertainen hirsi ei riitä täyttämään rakennusmääräyksiä. Näin ollen esimerkiksi suuremmissa omakotitaloissa pitää rakenne toteuttaa esimerkiksi kaksikerroksisena tai lisätä hirteen lisäeristystä.

Esimerkiksi kaksiosainen pystyhirsirakenne voi koostua kolmesta eri kerroksesta. Ulkopuolella on ei-kantava hirsiseinä, sisäpuolella yleensä paksumpi, kantava hirsiseinä ja näiden välissä huokoinen puukuitulevy ilman ilmarakoa. Tässä työssä on

käsitelty juuri ennalta mainitun kaltaista seinärakennetta kosteuden ja lämmöneristyskyvyn sekä tiiveyden kannalta (ks. luku 6.3 ja 6.4).

3 EDUT VERRATTUNA PERINTEISEEN VAAKAHIRSIRAKENTEESEEN

3.1 Painumattomuus

Pystyhirsirakenne ei juurikaan painu johtuen puun solurakenteiden pituussuuntaisen kuivumiskutistumisen vähyydestä. Puun pituussuuntainen kutistuma puun kuivuessa on 0,3–0,4 % (Puuinfo, [viitattu 11.1.2017]). Näin ollen rakenteessa ei tarvitse ottaa huomioon painumista kuten vaakahirsirakenteessa.

Myös suunnittelu ja rakentaminen helpottuvat, kun painumaa varten ei tarvita varauksia ja erityisiä rakenteita. Esimerkiksi komerot voidaan kiinnittää suoraan kantavaan seinään, ja väliseinät voidaan mitoittaa ja kiinnittää suoraan määräkorkeuksina lattiasta kattoon, kuten normaalissa puurunkoisessakin rakennuksessa.

3.2 Säänkesto ja tiiveys

Säänkesto pystyhirsirakenteella on hyvä. Rakenteen ilmatiiveys on hyvällä tasolla, kuten aiemmin tehty laboratoriotutkimus osoittaa (ks. luku 6.3). Hirren tiiviit liitokset toisiinsa ja muiden rakenteiden liittymisen yksinkertaisuus mahdollistaa rakenteen tiiviin toteutuksen.

Tiiveys säilyy myöten antavasta liitosrakenteesta johtuen, vaikka puu elää ja kutistuu syitä vastaan kohtisuorassa n. 3–4 % kuivuessaan (Puuinfo, [viitattu 11.1.2017]). Pontti-urassa ja vanerissa on ”elämisvaraa”, eli liitos pysyy kiinni ja tiiviinä, vaikka puu kutistuukin.

Rakenteen tiiveys toteutuu myös nurkissa erinomaisesti, johtuen hirsirakenteen nurkkahirrestä, joka mahdollistaa saumattoman nurkan. Perinteisessä vaakahirsikehikossa nurkat ovat yleensä olleet ilmavuoto-alttiita kohtia, joihin on tarvittu erityissuunnittelua, jotta rakenteesta saadaan tiivis. Pystyhirsirakenteen nurkkahirsi on tähän verrattuna yksinkertainen ja toimiva ratkaisu.

3.3 Nopeus ja yksinkertaisuus

Hirsikehikon kasaamisessa on myös etuna pystytyksen nopeus ja hirsien tyyppien toistuvuus. Samanlaisia hirsii voidaan tehdä sarjatuotantona nopeasti suuria määriä ja vain aukot sekä nurkat tehdään erikseen tarpeen vaatimalla mitoituksella.

Yksikerroksisen rakennuksen pystyttäminen ja siirrot onnistuvat myös helposti käsin, kun hirret ovat yleensä vaakahirsii lyhempiä ja kevyempiä. Myös hirsien kuljetuskustannukset tulevat pienemmiksi, kun kuljetukseen ei tarvita erillistä puutavara-autoa, vaan tarvittaessa kuljetus onnistuu vaikkapa pakettiautollakin.

Mikäli tuotannossa on työmaalle päätynyt viallinen hirsi, voidaan tämä korvata helposti työmaalla yleensä korvaamalla hirsi uudella samanlaisella. Työmaalle voidaan myös varastoida ylimääräisiä hirsii niiden helpon muunnettavuuden ja samankaltaisuuden vuoksi. Tarvittaessa työmaalla voidaan myös katkaista perinteisillä työvälineillä pitkästä hirrestä esimerkiksi lyhempi aukko-hirsi, mikäli jostain syystä tähän tarkoitettua hirttä ei valmiina ole.

4 VALMISTUSMENETELMÄT JA TUOTANTO

4.1 Hirsien valmistus

Tällä hetkellä lamellihirret liimataan ja höylätään alihankintana tähän erikoistuneessa yrityksessä kuusipuusta. Hirsiin tehdään höyläyksen yhteydessä nurkka-
pyöristykset, jolloin rakenteen ulkonäöstä tulee parempi ja pinnan visuaalinen kulu-
tuksen kestävyys parantuu terävien nurkkien poistuessa. Höylätessä syntyy myös
hirsien ponttiurat, joihin saadaan erityinen profiili erityisterillä. Uria tehdään yksi tai
kaksi per sivu riippuen rakenteen käyttötarkoituksesta ja koosta. Tämän jälkeen hir-
ret toimitetaan jatkokäsiteltäväksi verstashalliin.

Valmiit liimatut ja höylätyt hirret katkaistaan katkaisupyörösahalla halutun mittai-
siksi. Höylättyihin ponttiuriin asennetaan tämän jälkeen erikseen sahatut vaneriset
rimat, jotka naputellaan paikalleen saumoihin esimerkiksi kumisella nuijalla. Vaneri-
listat voidaan kevyesti hioa pitkistä reunoistaan paremman paikalle asettuvuuden
takaamiseksi. Rimat asennetaan vain hirsien toiselle pontatulle sivulle, jotta pont-
tauseriaate toteutuu, niin että toinen puoli hirrestä säilyy ulokkeellisena ”uros”-puo-
lena ja toinen urallisena ”naaras”-puolena.

Urien sahauksen ja ponttirimojen asennuksen jälkeen kiinnitetään jokaisen hirren
uros-ponttipuoleen eristevilla. Villa asennetaan ponttirimojen väliin niin, että villa on
tiivisti ponttirimoja vasten, jolloin villan ja puun väliin ei jää tyhjiä aukkoja. Villa kiin-
nitetään kevyesti nitojalla hirteen, jotta se pysyy kiinni hirressä asennuksen ja ra-
kennuksen käytön ajan. Villan ja ponttien asennuksen jälkeen hirsi on valmis asen-
nettavaksi.

Ylä- ja alasidepuut tehdään yleensä puutavaraliikkeestä saatavasta höylätystä
puusta, jonka paksuus vaihtelee käyttötarkoituksen ja kuormituksen mukaan.
Yläsidepuista tehdään hirsien kanssa saman levyisiä. Alasidepuuhun jätetään
yleensä varaus, jolloin hirren alapäihin jää hieman varaa tippanokalle ja tippapellille,
joka voidaan asentaa kiinni alasidepuuhun.

4.2 Tuotanto, koneet ja välineet

Tuotantoon tarvitaan niin katkaisupyörösahaa kuin pöytäpyörösahaakin ponttausurien ja hirsien katkaisun toteuttamiseen. Ponttirima-vanerit voidaan sahata isommasta levystä omana tuotantona tai tilata puutavaraliikkeestä valmiiksi sahattuina.

Hirsien valmistus ei näin ollen tarvitse suurempia investointeja, mikäli hirren lamelli-
lihirreksi valmistus toteutetaan muualla. Hirsien siirtoon ei myöskään tarvita suurempia nostovälineitä, koska rakennusten korkeudet eivät yleensä vaadi pitkiä hirsiiä, ja näin ollen hirsien lyhyet siirrot tuotantolinjalla voidaan toteuttaa käsivoimin.

Hirsien kuljetus työmaalle onnistuu kuorma-autolla tai jopa isommalla pakettiautolla pystyhirsien lyhyistä pituuksista johtuen. Hirsien kuljetus onnistuu hyvin puutavarapöydien tyylisesti, jolloin niput voidaan lastata kappaletavaranojalla suoraan autoon isompina kokonaisuuksina.

5 PYSTYHIRSIRAKENNUKSEN PYSTYTYS

5.1 Pystyttäminen yleensä

Pystyhirsirakenteen kasaaminen ei yleensä vaadi erityisempiä nostovälineitä, vaan pystyhirsikehikot pystytään yleensä kasaamaan käsin hirsien keveyden vuoksi. Esimerkiksi lämpöisissä rakennuksissa käytettävä kuusi-liimapuu 120 mm x 140 mm painaa noin 24 kg kolmemetrinenä (Puuinfo, [viitattu 11.1.2017]).

Kasaaminen käy hyvin urakka-luontoisena sarjatyönä, sillä suurin osa hirsistä on yleensä samanlaisia, mikä ei vaadi erityisiä rungonkasaamis-piirustuksia tai hirsien numeroita. Esimerkiksi 60 m²:n vapaa-ajan asunnon hirsikehikko ilman erityisiä arkkitehtuurisia muotoja voidaan pystyttää helposti kahdessa työpäivässä.

5.1.1 Valmistelut työkohteessa

Pystyhirsirakennuksen suunnittelun lähtökohtana on, että rakennus olisi mitoitettu sellaisella hirsijaolla, jotta kapeampia tai leveämpiä hirsisiä ei tarvitsisi käyttää. Tässä rakennustavassa rakennus suunnitellaan aina 150 mm:n hirsijaolla. Näin ollen suunnitelmista saatu rakennuksen mitoitus otetaan huomioon perustuksiakin tehtäessä.

Ensimmäisenä työnä työmaalla varmistetaan perustusten suoruus ja mittatarkkuus. Tämän jälkeen perustuksesta riippuen asennetaan kantavat palkit pilari-perustaisessa rakennuksessa, tai betonilaatan päälle tehdessä asennetaan solumuovikaista alasidepuiden alapintaan irrottamaan puu betonista.

5.1.2 Seinän pystytys

Seinän pystytys alkaa alasidepuiden kiinnityksestä perustukseen. Alasidepuut voidaan kiinnittää betoniin esimerkiksi uppokantaisilla betoniruuveilla tai muilla vaihtoehtoisilla kiinnittimillä, joiden kannat eivät jää korkealle alasidepuun yläpinnasta.

Alasidepuiden asennuksen jälkeen seinän pystytys aloitetaan nurkasta (kuva 5). Aluksi alasidepuun päälle levitetään rullasta eristekaistaa alasidepuun ja hirsien väliin, mikä nidotaan kiinni kevyesti. Ensimmäisenä pystytetään nurkkahirsi, joka tuetaan rakennusajaksi pystysuoraan. Tämän jälkeen aletaan latoa hirsiä toistensa perään seinään varmistaen esimerkiksi kumivasaralla, jotta hirret asettuvat paikoilleen. Hirret kiinnitetään alapäästään uppokantaisiin ruuvein tai nauloin alasidepuuhun, näin varmistaen hirsien rakennusaikaisen paikallapysymisen ja kiinnityksen alasidepuuhun.



Kuva 5. Seinän pystytyksen aloitus nurkasta.

Kun seinän pystytys on edennyt nurkasta nurkkaan, voidaan nitto hirsiä yläpäähän eristekaista ja kiinnittää kyseiselle seinälinjalle yläsidepuu. Yläsidepuuhun hirret kiinnitetään ruuvein tai nauloin yläpuolelta.

Kun kaikki seinät ovat valmiita, kiinnitetään yläsidepuut toisiinsa nurkista esimerkiksi metallisin naulauslevyin. Näin hirsiseinät saavuttavat lopullisen jäykkyytensä.

Hirsiseinää pystytettäessä huomioidaan aukot asentamalla niihin erikseen mitoitettut hirret. Aukkojen yläpuolisia hirsiä asennettaessa asennetaan yläpuolisten hirsien

alle aukon kohtaan erillinen alasidepuu, joka kiinnitetään päistään aukkoa reunustaviin hirsiin, tai aukon reunoihin asennettaviin reunapuihin (kuva 6). Näin ollen aukon yläpuoliset hirret voidaan latoa normaaliin tapaan paikoilleen.



Kuva 6. Rakenteilla oleva pystyhirsikehikko.

5.1.3 Lopettavat työt

Kun hirsiseinät on pystytetty, tulisi sääsuojaus rakennukseen tehdä mahdollisimman nopeasti. Hirsiseinien nurkkien työnaikaiset tuennat poistetaan vasta, kun kattoristikot ruoteineen on asennettu paikalle, mitkä osaltaan jäykistävät seinärakennetta.

Viimeistelynä hirsien alapäihin asennetaan vesipellit ohjaamaan hirttä pitkin valuva vesi pois kivijalasta ja alasidepuusta. Lopuksi hirsikehikko yleensä pinnoitetaan maalaamalla tai muulla puunkäsittelyaineella.

5.2 Pystytys vaihtoehtoisesti elementtimenetelmällä

Pystyhirsirunko voidaan myös vaihtoehtoisesti kasata valmiiksi ennalta tehdyistä elementeistä, jotka ovat käytännössä suoria seinän osia, jotka kiinnittyvät päistään normaalisti edeltäviin hirsiiin. Elementit katkaistaan yleensä nurkista ja pitkällä seinillä halutun kokoiisiin paloihin. Rungon pystytysvaiheessa elementit voidaan tukea elementituilla esimerkiksi seinän yläpäistä kiinnittämällä, jolloin kiinnitysreiät eivät jää näkyviin valmiiseen seinään.

Painoa elementtiseinälle tulee rakenteesta riippuen jopa useita satoja kiloja, joten elementtien pystyttämiseen tarvitaan nostokalustoa. Elementtien nostamiseen voidaan käyttää yläsidepuuhun ja osittain hirsiiin ruuvattavia erikseen nostotyöhön tarkoitettuja nostovälineitä. Elementtejä nostettaessa voidaan elementin kiinnitys varmistaa vielä seinän ympäri vedettävien liinoin, jotka poistetaan vasta juuri ennen seinän laskua lopulliselle paikalleen.

6 RAKENTEEN LUJUUS JA RAKENNUSFYSIKAALISET OMINAISUUDET

6.1 Seinän lujuus, jäykkyys ja eläminen

Pystyhirren puristuslujuutta syysuuntaan kohtisuoraan ei ole tarkemmin määritelty, koska puun tiedetään kestävän hyvin syiden pituussuuntaista puristusta. Sen sijaan laboratorio-olosuhteissa tarkasteltiin pystyhirsiseinän jäykkyyttä.

Kuten aiemmin on todettu, puun syysuuntainen kutistuvuus kuivuessa on 0,3–0,4 %:n luokkaa, jolloin pystyhirsirakenteessa kutistuvuus ei aiheuta toimenpiteitä rakenteen painumisen suhteen. Syitä vastaan kohtisuora kutistuvuus on puulla 3–4 %, ja lamellihirrellä kutistuminen on vähäisempää. Syitä vastaan kohtisuora kutistuminen otetaan huomioon hirsien välisellä syvällä ponttiuralla, mikä toimii, vaikka hirsi välissä kutistuuakin. Lisäksi hirsien välissä oleva eriste joustaa hirren kutistuessa, jolloin hirsien väli pysyy tiiviinä.

6.2 Seinän jäykkyys

6.2.1 Testin kulku

Testiseinälle tehtiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun laboratoriossa jäykkyytesti, jossa tarkasteltiin hirsiseinän sivuttaissuuntaista jäykkyyttä mittaamalla sivuttaissiirtymää seinän yläpäästä, kun yläpäästä vedettiin sivulle päin mitatulla voimalla. Testissä tarkasteltiin hirsien määrän vaikutusta jäykkyyteen. Tarkasteltavana seinänä käytettiin 1200 x 2500 x 76 mm kokoista seinää. Ylä- ja alasidepuut ruuvattiin hirsiin kiinni 120 x 5 mm osakierteisillä uppokantaisilla ruuveilla.

Testissä tarkasteltava seinä kiinnitettiin lattiaan ja seinän yläsidepuun päähän kiinnitettiin vaijeri, jonka kautta vetävä voima kohdistui seinään (kuva 7). Seinää kuormitettiin ruuvaamalla vaijeria kireälle. Vaijerin ja seinän väliin asetettiin vedon voi-

makkuutta mittaava mittari. Seinän sivuttaissiirtymä todettiin seinän yläpäähän piirretyillä mittaviivoilla ja siihen kohdistetulla viiva-laserilla. Kun seinän yläpäästä vedettiin, siirtymä voitiin todeta seinän yläpäästä laser-viivan osuessa alkuperäisestä kohdasta ennalta määrätyn etäisyyden päähän piirrettyyn viivaan.



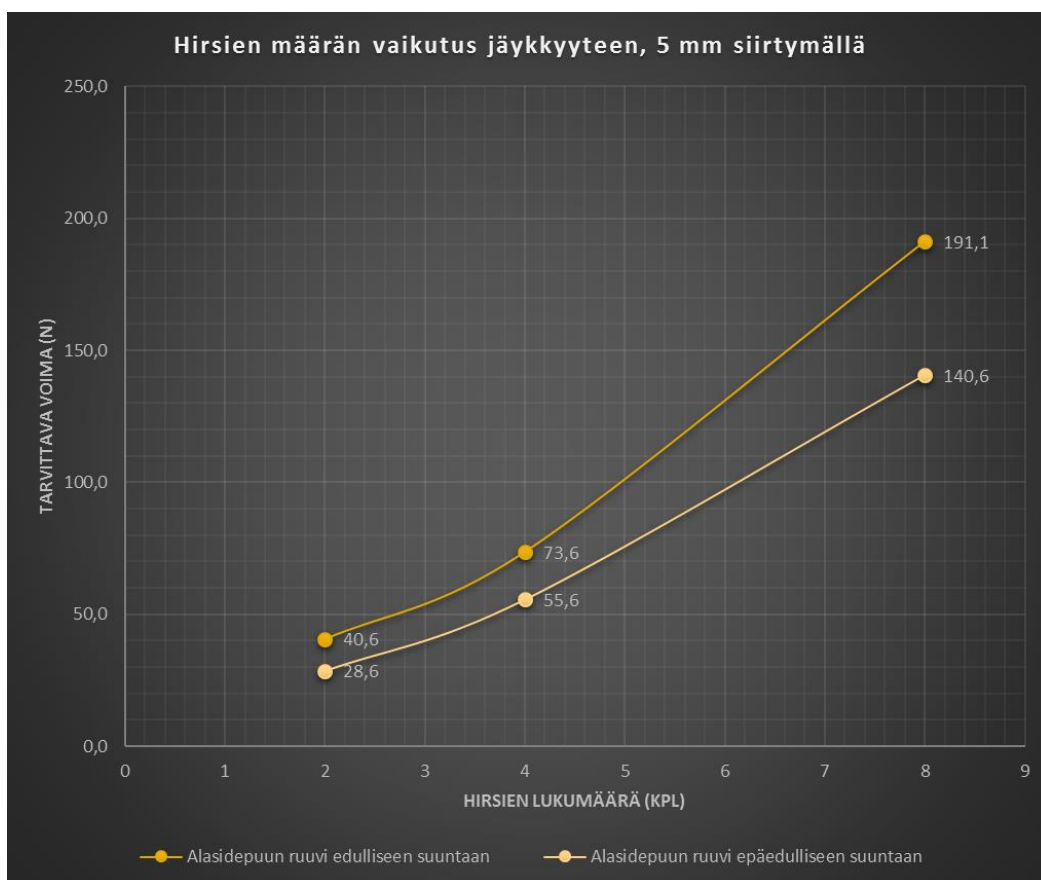
Kuva 7. Seinän testijärjestelyt.

Kuormitusta tehtiin seinille, joissa oli kaksi hirttä, neljä hirttä ja kahdeksan hirttä. Näin ollen nähtiin, kaksinkertaistuuko 5 mm sivuttaissiirtymään tarvittava voima aina, kun hirsimäärä kerrotaan kahdella. Lisäksi hirsiseinää kokeiltiin kuormittaa hirsien erisuuntaisesti ruuvatuilla alapään ruuveilla sekä kahdeksan hirren levyistä seinää elementti-tyylisin ruuvauksin varusteltuna. Lopuksi testattiin vielä samankokoista normaalia puurunkoa vastaavaa seinää, jossa seinän toisella puolella jäykisteenä oli erikoiskova kipsilevy ja toisella puolella huokoinen tuulensuojalevy.

6.2.2 Hirsien määrän vaikutus tarvittavaan voimaan

Testissä eri mittauksien välillä hirsiä lisättiin aina puolet lisää. Aluksi vetokoe tehtiin kahden hirren seinään, sitten neljän hirren ja lopuksi kahdeksan hirren seinään. Jokaisesta hirsimäärästä tehtiin kolme eri vetokoetta, jolloin saaduista kolmesta veto-voiman arvosta otettiin keskiarvo. Lisäksi sama testi tehtiin vielä niin, että hirren alapäihin vinosti ruuvatut ruuvit koitettiin ruuvata toisesta suunnasta ja verrata tuloksia (Taulukko 1.).

Mittaukset osoittavat, että tarvittavan voiman määrä kasvaa, kun hirsiä lisätään (Kuvio 1). Kuitenkaan testin perusteella tarvittavan voiman määrä ei kaksinkertaistu, vaikka hirsien määrä kaksinkertaistuu. Näin ollen tehdyn testin perusteella voidaan todeta, että tarvittavan voiman määrä ei kasva samassa suhteessa hirsien määrän kanssa. Hirsien alapään ruuvien ruuvaussuunta myös nähtävästi vaikuttaa seinän jäykkyyteen.



Kuvio 1. Hirsien määrän vaikutus jäykkyyteen.

Taulukko 1. Hirsien määrän vaikutus jäykkyyteen -testin tulokset.

Pystyhirsiseinän jäykkyytesti								
	Alasidepuun ruuvi edulliseen suuntaan				Alasidepuun ruuvi epäedulliseen suuntaan			
	5 mm siirtymälle tarvittava voima (N)				5 mm siirtymälle tarvittava voima (N)			
Hirsiä (kpl)	Mittaus 1.	Mittaus 2.	Mittaus 3.	Keskim.	Mittaus 1.	Mittaus 2.	Mittaus 3.	Keskim.
2	45,4	42,2	34,1	40,6	21,9	32,8	31,0	28,6
4	75,5	72,5	72,8	73,6	55,6	40,1	71,1	55,6
8	182,0	214,2	177,1	191,1	127,1	137,8	157,0	140,6

Kahdeksan hirren seinää koitettiin myös kuormittaa, kun seinä oli ruuvattu elementti-tekniikalla, eli alasidepuun pohjasta suoraan hirren alapäähän, kuin vastaavasti yläsidepuussakin olevat ruuvit hirren yläpäähän. Tämä ruuvaustapa vaikutti seinän jäykkyyteen positiivisesti, ja kahdeksan hirren seinä tarvitsi suuremman voiman tai-
puakseen, kuin kumminkaan päin yläsidepuun yläpuolelta vinoon ruuvattuna, nor-
maalilla alapään kiinnitystavalla (Taulukko 2).

Jälkeenpäin elementtiseinää koitettiin vielä kuormittaa, kun 120 x 5 mm ruuvien ti-
lalle vaihdettiin 120 x 7 mm ruuvit. Koe tehtiin karkeammalla asteikolla kolmeen ker-
taan. Tuloksista voidaan nähdä (Taulukko 3), että siirtymään tarvittava voima kasvoi
huomattavasti verrattuna ohuemmilla ruuveilla kuormitettuun. Seinää testattaessa
havaittiin myös, että vielä 30 mm siirtymän jälkeen seinä siirtyi takaisin pystysuo-
raan, kun kuormitus loppui.

Taulukko 2. Elementtimenetelmällä kasatun pystyhirsiseinän testitulokset.

Elementti-pystyhirsiseinän jäykkyytesti		
Mittaus	Siirtymä (mm)	Voima (N)
1.	5	263,0
2.	10	372,8
3.	15	483,8
4.	20	560,5
5.	25	592,0
6.	30	628,0
7.	35	645,0
8.	40	673,0
9.	45	710,0
10.	50	693,0
11.	55	679,0
12.	60	716,0
13.	65	748,0
14.	70	763,0
15.	75	742,0
16.	80	745,0
17.	85	780,0
18.	90	792,0
19.	95	756,0
20.	100	800,0

Taulukko 3. Elementtiseinän kuormitus paksummilla ruuveilla.

Elementtiseinän jäykkyysskoe		
Mittaus	Siirtymä (mm)	Voima (N)
1.	10	602
2.	10	612
3.	10	598
4.	20	870
5.	20	892
6.	20	885
7.	30	925
8.	30	931
9.	30	927
8 kpl hirsä. Ruuvi 7 x 120 mm.		

6.2.3 Hirsirunko verrattuna normaaliin puurunkoon

Hirsirunkoa päätettiin verrata myös samankokoiseen perinteiseen puurunkoiseen seinään, jossa toisella puolella oli kipsilevy ja toisella puolella huokoinen tuulensuojalevy. Runkona käytettiin raakaa 50 x 100 mm lankkua. Runko kasattiin kolmella 100 mm konenaulalla per liitos. Kipsilevy kiinnitettiin 35 x 3,8 mm EK-kipsilevyruuveilla 200 mm välein reunoilta ja 300 mm välein keskeltä. Huokoinen tuulensuojalevy kiinnitettiin samalla jaolla kuumasinkityillä 35 x 2,8 mm huopanauloilla.

Seinää kuormitettiin aluksi 300 N:n voimalla, jolloin seinässä sivuttaissiirtymää todettiin vain noin 1 mm verran. 5 mm siirtymään tarvittiin mittalaitteen mukaan 958,5 N, jonka kuitenkin epäiltiin olevan väärä tulos, koska tämä kuormitus ei kasvanut juurikaan, vaikka seinää vedettiin vielä 40 mm sivuttaissiirtymään asti. Mittalaite ei todennäköisesti mitannut suurempaa lukemaa, vaikka vetoa todennäköisesti olikin enemmän, mitä digitaalinen mittari esitti. Tämä kuitenkin osoitti, että levyjäykisteinen perinteinen puurunkoinen seinä kestää huomattavasti enemmän sivuttaissuuntaista vetoa joustamatta kuin pystyhirsirakenne (Taulukko 4).

Taulukko 4. Perinteisen levy-jäykisteisen seinän testitulokset.

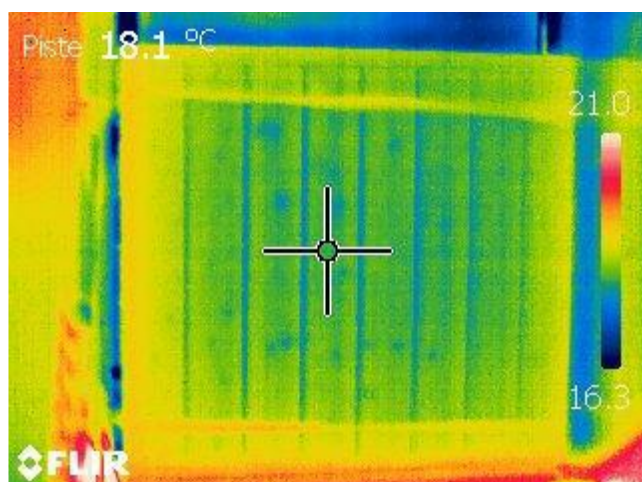
Levyseinän jäykkyytesti		
Mittaus	Siirtymä (mm)	Voima (N)
1.	1	300,0
2.	5	958,5
3.	10	958,5
4.	15	958,6
5.	20	958,6
6.	25	958,8
7.	30	958,8
8.	35	958,8
9.	40	959,0

6.3 Seinän ilma- ja säätiveys

Pystyhirsiseinän ilmanläpäisevyydestä ja säänpitävyydestä on tehty aiemmin Seinäjoen ammattikorkeakoulun laboratoriossa rasituskoe (LIITE 1). Rasituskokeessa käytettiin testirakenteena kaksikerroksista, myös asuintalon rakennusmääräykset täyttävää seinää, jossa ulkopuolella oli 80 mm paksuinen hirsi, sisäpuolella 120 mm hirsi sekä näiden välissä 25 mm kuitulevy.

Kokeessa testiseinän ilmanläpäisevyyden todettiin olevan erittäin pientä, 0-0,55 m³/h välillä, kun seinää testattiin 600 Pa:n yli- ja alipaineella. Sateenpitävyys testattiin myös 600 Pa:n paineella. Ongelmia ei havaittu testin aikana, mutta tämän jälkeen tehty rakenteen purku ja tarkastelu osoittivat, että vettä oli tunkeutunut seinän alapään vesipellin taakse, ja sieltä alasidepuun päältä kuitulevyyn saakka. Todennäköisesti vesi oli päässyt vesipellin yläreunan saumasta hirteen ja sen kautta alasidepuuhun.

Laboratoriossa tehtyjen sää- ja ilmatiiveystestien lisäksi rakennetta kuvattiin lämpökameralla, kun seinän ulkopuoli asetettiin vasten -20 °C:n lämpötilaa (kuva 8). Tämä osoitti, että seinän sisäpinnassa ei näkynyt vuotokohtia, ja sauman ja hirren välinen lämpötilaero oli 0,5 °C hirren eduksi. Tämän jälkeen seinää purettiin sisäpuolelta huokoiseen puukuitulevyyn asti, kuvattiin, ja tämän jälkeen purettiin uloimpaan hirsikerrokseen asti, jossa siinäkään ei havaittu vuotoja.



Kuva 8. Lämpökamerakuva ehjästä seinästä, missä ulkopuolella -20 °C. (Autio 2010.)

6.4 Seinän lämpö- ja kosteustekninen käyttäytyminen

Hirsiseinän kosteusteknistä käyttäytymistä tutkittiin Doftech-Lämpö-tietokoneohjelmalla, jossa pystyttiin tarkastelemaan hirsiseinän toimintaa erilaisissa kosteus- ja lämpöolosuhteissa. Tilanteiksi valittiin Jyväskylän sääolosuhteiden mukaan tammi-kuun, heinäkuun ja lokakuun lämpötiloja ja kosteusolosuhteita. Lisäksi rakenteen toimintaa tarkasteltiin itseasettamissa ääriolosuhteissa, hyvin kosteassa ilmassa sekä erittäin kovana pakkaskautena, kahden viikon jaksolina. Liitteenä olevista raporteista (LIITE 2) selviää lämpötilat seinän sisällä, kosteuden määrä sekä kunkin rakenteen U-arvot.

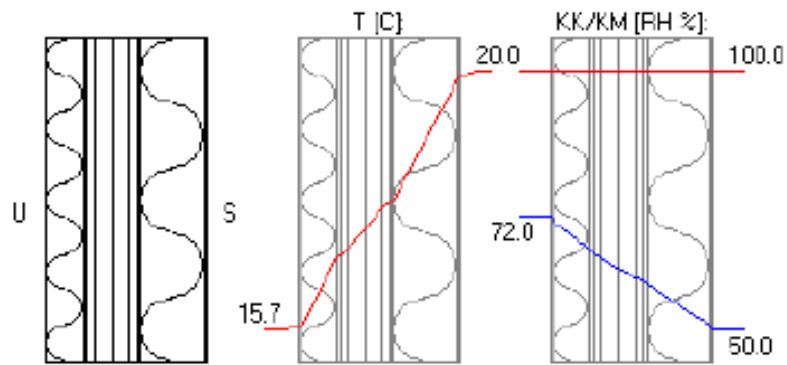
Kyseisissä tarkasteluissa käytettiin samanlaista kaksiosaista ulkoseinärakennetta, kuin aiemmin Seinäjoen ammattikorkeakoulussa tehdyissä laboratoriotutkimuksissa. Tarkasteltava rakenne sisältää 80 mm ulomman hirsikerroksen, kaksi 25 mm huokoista puukuitulevyä ja 120 mm kantavan hirsirungon. Eristeenä hirsien välissä on käytetty polypropeenieristettä.

Seinän kosteus- ja lämpökäyttäytymistä tarkasteltiin hirsiseinän hirsien kohdista sekä saumojen kohdista erikseen. Tuloksista voidaan nähdä, että kovilla pakkasilla seinään voi tulla kastepiste, missä ilman absoluuttinen kosteus ylittää kyllästyskosteuden, ja kosteus tiivistyy vedeksi. Pienemmillä pakkasilla, kosteilla syyskeleillä, ja

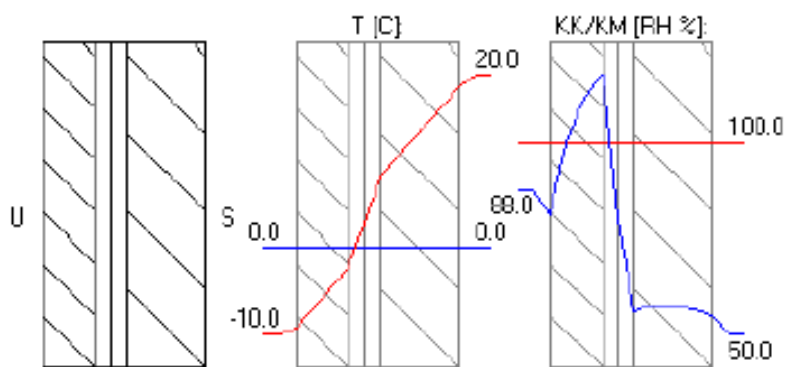
lämpiminä kesäkeleinä (kuvio 5.) seinään ei muodostu teoreettisen tarkastelun mukaan kastepistettä. Tuloksista voidaan myös todeta, että hirsiseinän hirsien kohta (kuvio 6.) sietää paremmin kovempiakin pakkasia ilman kastepisteen muodostumista, kun taas saumojen kohdalla (kuvio 7.) kastepiste saattaa syntyä jo pienemmillä pakkasilla.

Hirsi on massiivipuurakenne, mikä tarkoittaa, että hirrellä on kyky luovuttaa kosteutta vaurioittamatta rakennetta. Näin ollen voidaan todeta, että hirsien kohtiin kohdistuvat kastepisteet eivät ole riskejä rakenteen toiminnan kannalta.

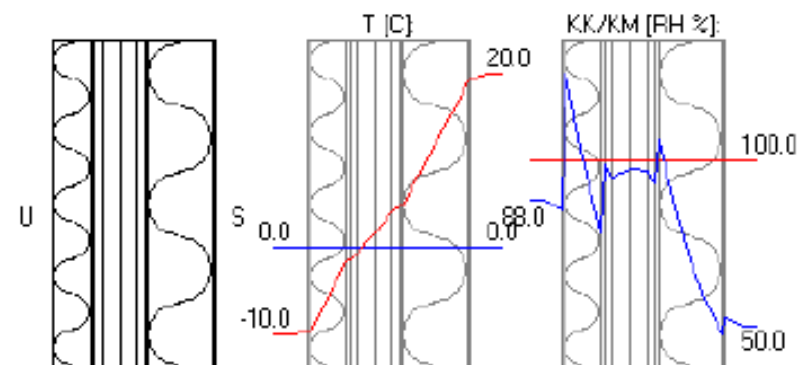
Doftech-ohjelmaa käytettäessä hirrelle käytettiin ohjelman omaa materiaalikirjastoa, josta valittiin kuusipuu hirren materiaaliksi. Myös huokoinen puukuitulevy ja ponteissa käytettävä vaneri löytyivät ohjelman omista kirjastoista. Polypropeenieristetty ohjelma ei tuntenut, mutta eristeen valmistajan internet-sivuilta saatiin lämmöneristyskyvyksi $0,033 \text{ W/mK}$. Vesihöyryn läpäisevyytenä käytettiin mineraalivillan arvoa tarkan arvon puuttuessa.



Kuvio 2. Kaksiosainen pystyhirsiseinä, sauman kohta, heinäkuu.



Kuvio 3. Kaksiosainen pystyhirsiseinä, hirren kohta, tammikuu.



Kuvio 4. Kaksiosainen pystyhirsiseinä, sauman kohta, tammikuu.

7 TYÖMENEKIT JA AIKATAULU

7.1 Työmenekki

Työmenekki on yhteen sovitettu Rakennusteollisuus Ry:n Rakennustöiden menekit 2015 -kirjan kanssa, jolloin työmenekkejä olisi helppo laskea yleisesti totutulla tavalla kuten muitakin rakennustöitä. Pystyhirsiseinän työmenekki on arvioitu saatujen kokemusten perusteella T3-aikana. Työmenekeissä on käytetty Rakennustöiden menekit 2015 -kirjasta saatuja arvoja aloittaviin ja lopettaviin töihin sekä kaksikerroksisen hirsiseinän väliin tuleviin puukuitulevytyksiin.

Oheisessa taulukossa on koottu pystyhirsirakentamisen uudiskohteen työmenekit T3-aikana yhteen taulukkoon. Näin ollen pystyhirsirakentamiseen kuluva T3-aika on vertailtavissa esimerkiksi normaaliin puurunkoiseen ulkoseinään. T3-aika on arvioitu aiemmin valmistuneista pystyhirsirakennuskohteista, koska opinnäytetyön tekohetkellä ei yhtään rakennusta ollut tuotannossa.

Taulukko 5. Uudiskohteen työmenekki T3-aikana.

Uudiskohteen työmenekki T3		Työryhmä: 1 RAM + 1 RM
Aloittavat työt työmaalla		
Tavaran vastaanotto ja välivarastointi		0,01 tth/seinä m2
Mittaus		0,08 tth/jm
Käsinsiirrot 20...50 m		0,08 tth/siirto
Hirsiseinän pystytys, 2-ponttinen, eristetty, 150 mm etenemä		
Ala- ja yläsidepuut (sis. eristekaistan)		0,03 tth/seinä m2
Pystyhirret		0,20 tth/seinä m2
Ikkuna- ja oviaukkojen kohdat ja tukeminen		0,40 tth/kpl
Työnaikainen vinotuenta		0,02 tth/nurkka
Kaksiosaiseen rakenteen väliin tuleva huokolevyty		
Huokoisenpuukuitulevyn kiinnitys (1 kpl levyjä)		0,07 tth/seinä m2
Runkotyön päättäminen		
Siivous ja mestan kuntoonlaitto		0,01 tth/seinä m2

Näin ollen voidaan esimerkkinä laskea suorakaiteen muotoisen 2,7 m korkean hirsirungon omaavan 50 m² kesäasunnon työmenekki, missä on neljä ikkunaa ja yksi oviaukko. Esimerkkikohteessa on yksikerroksinen hirsirakenne, jolloin toista hirsirakennusta ei tule ottaa huomioon.

kerrosta ei tule eikä myöskään kahden hirsikerroksen väliin huokoista puukuitulevyä. Oletuksena hirsikehikko on 5 x 10 m kokoinen, jolloin ylläolevan taulukon (Taulukko 5) mukaan aloittavat työt työmaalla muodostavat yhteensä 3,21 työntekijätuntia (tth), mikäli yli 20 m siirtoja ei tarvitse tehdä. Hirsiseinän pystytyksestä työtä tulee 20,31 tth ja runkotyön päättämisestä 0,81 tth. Näin ollen kokonaistyömenekiksi muodostuu 24,33 tth.

7.2 Aikataulu

Myös pystyhirsirakenteen tekemiseen arvoitu työsaavutus on yhteen sovitettu Rakennusteollisuus Ry:n Aikataulukirja 2016 kanssa. Näin ollen myös aikataulua on helppo verrata muihin rakennustapoihin. Myös tässä arvioidussa työsaavutuksessa voidaan käyttää TL3-lisäaikakerrointa Aikataulukirja 2016 mukaisesti.

Taulukko 6. Työryhmän työsaavutus.

Pääasiakko OY: Työryhmän työsaavutus:			
Työsaavutus T3, työryhmä: 1 RAM + 1 RM	Pystyhirsiseinän puurunkotyö		
Suoritemäärä kohteessa, m2	50	200	800
Yksinkertainen runko (tv)	2,1	7,6	28,9
Kaksinkertainen runko, kaksi huokolevyä välissä (tv)	3,2	11,7	45,3

Oheisen työryhmän työsaavutus -taulukon (Taulukko 6) arvot on laskettu perustuen edelliseen työmenekkitaulukkoon (Taulukko 5). Aikataulua laadittaessa RAM eli rakennusammattimies on tahdistava tekijä ja apumies (rakennusmies) eli RM on vain osa työryhmää, jolle ei erikseen lasketa aikatauluun vaikuttavaa työtuntimäärää.

Näin ollen työmenekki-kohdassa käytettyä esimerkkiä jatkaen, kyseisen 81 m² seinäpinta-alan omaavan rakennuksen pystyhirsiseinän pystytykseen kuluu työsaavutus-taulukkoa käyttäen 3,3 tv. Mikäli rakennus valmistettaisiin kaksiosaisella hirsikehikolla, työn kestoksi muodostuisi 5,0 tv.

8 KÄYTTÖKOHTEET

8.1 Erilaisia käyttökohteita

Pystyhirsirakenne mahdollistaa hienompaa arkkitehtuuria edustavien rakennusten suunnittelun. Esimerkiksi kaareva seinä voidaan toteuttaa kohtuullisen helposti sahaamalla hirsien kyljet ja ponttiurat haluttuun kulmaan. Kaarevat ylä- ja alasidepuut voidaan valmistaa myös esimerkiksi isommasta puulevystä ja jyrsimällä niihin ponttiurat.

Tähänastisia käyttökohteita kyseiselle pystyhirrelle ovat olleet pihavarastot, saunat (kuva 10), omakotitalojen laajennukset, ympärivuoden asuttavat mökit, ja pienet asuinrakennukset (kuva 9). Yli 50 m² omakotitalojen rakentamista ja kannattavuutta hieman monimutkaistavat tiukemmat rakennusmääräykset.



Kuva 9. Rakenteilla oleva pystyhirsinen pientalo.



Kuva 10. Pystyhirrestä tehty pihasauna.

8.2 Hinnat verrattuna perinteisiin rakennustapoihin

Pystyhirsiseinää voidaan verrata perinteisen omakotitalon seinään. Oheisessa taulukossa (Taulukko 7) perinteisen seinän materiaalien hinnat on haettu Taloon.com-verkkokaupasta, ilman yrityskohtaisia alennuksia. Materiaalien hinta on laskettu neliötä kohti, ja hintoihin sisältyy 24 % alv.

Taulukko 7. Perinteisen seinän materiaalin hinta neliötä kohden.

Ulkoseinä, puurunko, paneliverhous	
Materiaali	Hinta €/m ²
Ulkoverhouslauta UTV 23x145	14,07
Koolaus K600 22x100	1,17
Tuulensuoja ja lämmöneriste, Isover RKL-31, 50 mm	19,91
Mineraalivilla, Isover KL-33, 150 mm	13,89
Kantava runko, k600, T24, 48x148 mm	5,67
Höyrynsulkumuovi, Isover Vario Xtra	2,25
Kipsilevy, Gyproc GEK 13, 13 mm	4,80
Yhteensä	61,76

Pystyhirsiseinä tulee maksamaan neliölle noin 206 € + alv 24 %, kun otetaan huomioon myös hirsien valmistuskulut. Tästä huomataan, että pystyhirsiseinän materiaalit tulevat huomattavasti kalliimmaksi. Pystyhirsiseinän kasaamiseen menee kuitenkin huomattavasti vähemmän aikaa kuin normaalin puurunkoisen seinän, joten vähempi määrä työvaiheita ja työaikaa kompensoi pystyhirsiseinän hintaa.

9 YHTEENVETO

9.1 Pystyhirsi perinteisen hirsirakentamisen vaihtoehtona

Pystyhirsirakennus on nopea pystyttää ja helppo tuottaa. Myös työkustannukset ovat alhaiset työn yksinkertaisuuden mahdollistamasta nopeudesta johtuen. Varsinkin vapaa-ajan asunnoiksi pystyhirsi on kustannustehokas vaihtoehto. Omakotitaloissa rakennusmääräykset hieman lisäävät työtä ja kustannuksia johtuen kaksikerroksisesta seinärakenteesta. Pystyhirsi on myös helppo vaihtoehto pihavarastoihin ja saunoihin, joskin hirsien materiaalit maksavat hieman enemmän kuin sahatavaraa rakennettu vastaava ratkaisu.

9.2 Kehityksen jatkuvuus

Pystyhirressä riittää kehityskohteita, kuten erilaisten asuinrakennusten lisäeristämiskäytännöissä ja toteutustavoissa. Myös rakenteen sääsuojaukseen voidaan tehdä parannuksia esimerkiksi alasidepuun tippapellin tiiviimpään asennukseen. Myös eristemateriaaleja on kokeiltu rakenteessa ajan myötä useampia ja menty kohti parempia ja varmempia materiaaleja. Rakennusvaiheen nopeuteen ja siten rakenteiden esivalmistukseen on myös suunniteltu parannuksia, jotta rakennukset saadaan entistäkin nopeampaa sääsuojaa.

Kuten muissakin rakenteissa, on jatkuva kehitystyö tärkeää myös tässä tapauksessa. Rakenteena pystyhirsi on monikäyttöinen ja hyvin nykyajan Suomen vaihteleviin sääolosuhteisiin sopiva vesihöyryä lävitse päästävä rakenne.

LÄHTEET

Aikataulukirja 2016. 2015. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Autio V. 2010. Testausselostus: Pystyhirsiseinän tiiviys. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu tutkimus- ja kehittämispalvelut.

Jyremark Oy. Ei päiväystä. PP-TERMO. [Verkkosivu]. [Viitattu 11.1.2017]. Saatavana: <http://jyremark.fi/pp-termo-2/>

Pystyhirsi.fi. Ei päiväystä. Hirsirakennukset. [Verkkosivu]. [Viitattu 9.2.2017]. Saatavana: <http://www.pystyhirsi.fi/index.php>

Puuinfo. Ei päiväystä. Hirsityypit ja perusprofiilit. [Verkkosivu]. [Viitattu 11.1.2017]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puurakenteet/hirsityypit-ja-perusprofiilit>

Puuinfo. Ei päiväystä. Puukuitulevy. [Verkkosivu]. [Viitattu 11.1.2017]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/levytuotteet/puukuitulevy>

Puuinfo. Ei päiväystä. Kosteusteknisiä ominaisuuksia. [Verkkosivu]. [Viitattu 11.1.2017]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/kosteusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>

Puuinfo. Ei päiväystä. Lujuusteknisiä ominaisuuksia. [Verkkosivu]. [Viitattu 11.1.2017]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/lujuusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>

Rakennustöiden menekit 2015. 2014. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Taloon.com. Ei päiväystä. Rakennustarvikkeet. [Verkkosivu]. [Viitattu 15.12.2016]. Saatavana: <http://www.taloon.com/rakennustarvikkeet/4093/dg>

Ympäristöministeriö. 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma: Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki.

LIITTEET

Liite 1. Seinän tiiveyden testaus SEAMK-laboratoriossa

Liite 2. Kaksiosaisen pystyhirsikulokoseinän Doftech-tarkastelun raportit (suhteellisen kosteuden ja lämpötilojen kuvaajat)

LIITE 1. Seinän tiiveyden testaus SEAMK-laboratoriossa

Testauselostus Pysthirsiseinän tiiviys



SeAMK Tutkimus- ja kehittämispalvelut
Tekniikan yksikkö



Tilaaaja	Monityö Timo Mäenpää Kalmarintie 47 61800 Kauhajoki
Testin suorittaja	Seinäjoen ammattikorkeakoulu Tekniikan yksikkö Kampusranta 9 A 60320 Seinäjoki
Yhteyshenkilöt	Projektipäällikkö Martti Ala-Louko 040-8304242 Projekti-insinööri Veli Autio 040-8304162
Testikappale	Valmistajan toimittama ja valmistama pystyhirsihirsiseinä. Seinän ulkomitat olivat korkeus 1100mm ja leveys 1185mm. Rakenne koostui 120mm paksusta sisähirrestä, 25mm paksusta kuitulevystä sekä 80mm paksusta ulkohirrestä. Seinä toimitettiin osina ja kasausvaiheessa siihen lisättiin kaikki tarvittavat tiivisteet.
Tarkoitus	Testin tarkoituksena oli tutkia laboratorio-oloissa hirsiseinän, ilman läpäisevyyttä sekä sateenpitävyyttä, voimassa olevia standardia soveltaen.
Menetelmät ja laite	Voimassa olevia SFS-EN standardia soveltaen. Testaus suoritettiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun tekniikanyksikön puulaboratoriossa, julkisivuelementtien testaukseen kehitetyllä laitteella.
Testin periaate	Testiseinä suojataan ensin molemmiin puolin muovikalvolla, jonka jälkeen ajetaan ilman läpäisevyyden testiohjelmat läpi ali- ja ylipaineella, testilaitteen tiiveyden selvittämiseksi. Tämän jälkeen poistetaan muovikalvot ja suoritetaan varsinaiset testit standardin mukaisessa järjestyksessä. Testissä tutkitaan standardin mukaiset asiat, jotka tallentuvat testilaitteelle. Lopuksi tuote puretaan ja havainnoidaan mahdollinen veden kulkeutuminen sekä muut mahdolliset vauriot.

TUTKIMUSTULOKSET

Ilmanläpäisevyys

Ilmanläpäisevyys testattiin vaiheittain painetta korottamalla aina 600 Pa yli- ja alipaineeseen saakka.

Testiseinän ilmanläpäisevyys todettiin hyvin pieneksi (0-0,55m³/h). Tämä tulos on niin pieni että se mahtuu laitteen virhemarginaalin sisään. Tästä syystä tarkempia lukemia ei ole tarkoituksenmukaista esittää.

Sateenpitävyys

Seinän sateenpitävyys testattiin 600 Pa paineeseen saakka.

Testin aikana ei havaittu ongelmia seinän sateenpitävyydessä. Testin jälkeen seinä purettiin ja tarkasteltiin veden tunkeutumista rakenteisiin.

Tarkastelussa havaittiin veden tunkeutuneen vesipellin taakse, uloimman hirsikerroksen ja alasidepuun välistä aina kuitulevyyn asti.

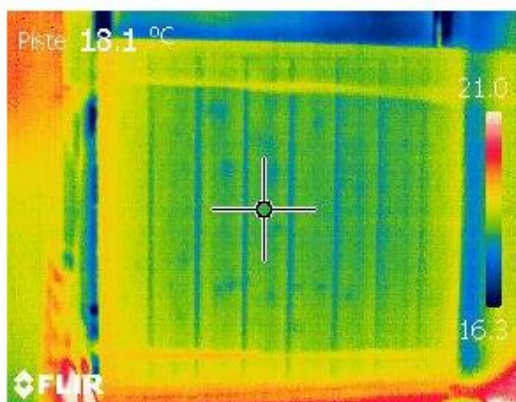


Lämpökuvaus

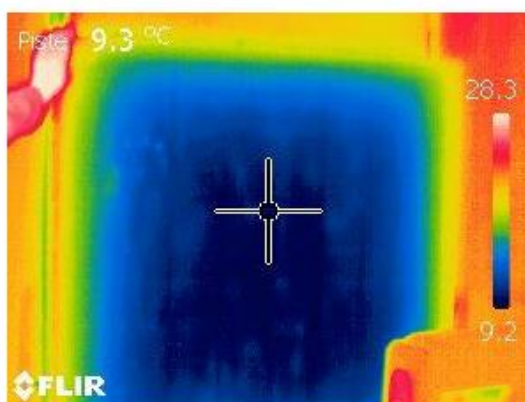
Varsinaisen tiiveystestin lisäksi seinälle suoritettiin lämpökuvaus lämpövuotojen paikantamiseksi. Testissä seinä asennettiin olosuhdekaappin oven paikalle ja kaappi jäähdytettiin -20 °C lämpötilaan 16 tunnin ajaksi. Tämän jälkeen seinä purettiin kerroksittain ja lämpökuvattiin jokainen kerros.



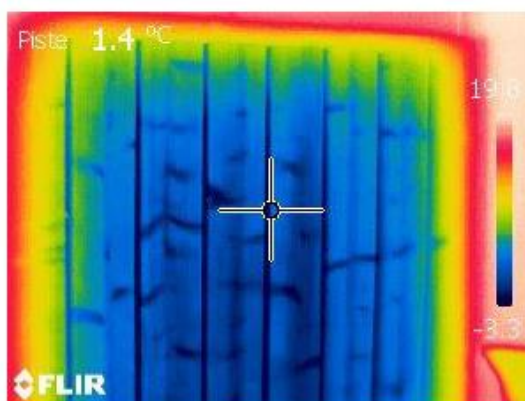
Kuva asennuksesta



Kuva ehjästä seinästä. Ei havaittavia vuotokohtia. Sauman ja hirren lämpötilaero $0,5\text{ °C}$.



Kuva kuitulevystä, kun uloin hirsikerros on otettu pois.
Ei havaittavia vuotokohtia.



Kuva uloimmasta hirrestä kuitulevyn poiston jälkeen.
Ei havaittavia vuotokohtia.

Seinäjoella 26.4.2010

Veli Autio
projekti-insinööri

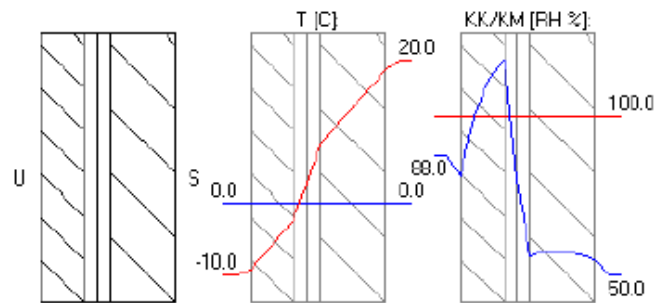
LIITE 2. Kaksiosaisen pystyhirsikuloseinän Doftech-tarkastelun raportit

Rakennuskohde:	Sisältö: Ulkoseinä, pystyhirsi	
Suunnittelija:	Päiväys: 14.3.2017	Tunnus: US1

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.394 W/m²K
 Paksuus: 250.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 105.50 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 20462.963 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000049 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 2.538 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000



Rakenteen kerrostiedot:

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Puu (kuusi)	80.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00
2	Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
3	Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
4	Puu (kuusi)	120.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Tammikuu (744.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-10.00	100.0	88.0	88.0	0.00
1	-9.17	100.0	81.5	81.5	0.00
2	-2.42	100.0	118.1	100.0	14.02
3	2.96	100.0	80.3	80.3	0.00
4	8.33	100.0	56.2	56.2	0.00
5	18.46	100.0	55.0	55.0	0.00
S	20.00	100.0	50.0	50.0	0.00

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

Pystyhirsiseinä, kaksikerroksinen.

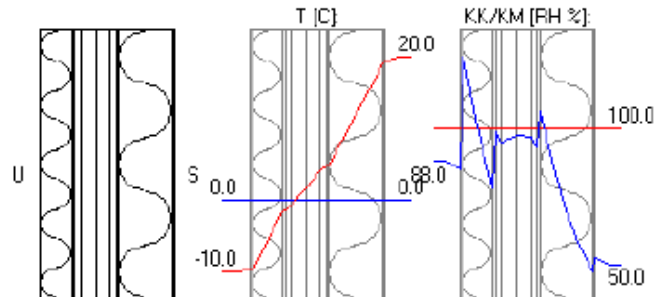
Tammikuu

Rakennuskohde:	Sisältö: Ulkoseinä, pystyhirsi, sauman kohta	
Suunnittelija:	Päiväys: 14.3.2017	Tunnus: US1, sauma

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.175 W/m²K
 Paksuus: 226.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 32.90 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1752.525 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000571 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 5.730 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
2 Polypropeeni	50.00	0.0330	3.780000e-04	0.00	30.00
3 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
4 Tuulettumaton ilmara	10.00	0.0770	6.600000e-04	0.00	0.00
5 Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
6 Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
7 Tuulettumaton ilmara	10.00	0.0770	6.600000e-04	0.00	0.00
8 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
9 Polypropeeni	90.00	0.0330	3.780000e-04	0.00	30.00
10 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Tammikuu (744.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-10.00	100.0	88.0	88.0	0.00
1	-9.63	100.0	85.0	85.0	0.00
2	-9.48	100.0	126.2	100.0	259.62
3	-1.55	100.0	77.9	77.9	0.00
4	-1.39	100.0	98.5	98.5	0.00
5	-0.71	100.0	94.9	94.9	0.00
6	1.67	100.0	97.3	97.3	0.00
7	4.05	100.0	97.0	97.0	0.00
8	4.73	100.0	93.4	93.4	0.00
9	4.88	100.0	106.0	100.0	69.73
10	19.16	100.0	47.3	47.3	0.00
11	19.32	100.0	52.1	52.1	0.00
S	20.00	100.0	50.0	50.0	0.00

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:Pystyhirsiseinä, kaksikerroksinen.
Sauman kohta.

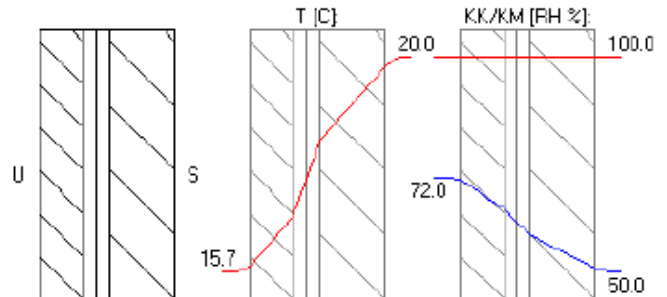
Tammikuu, sauman kohta

Rakennuskohde:	Sisältö: Ulkoseinä, pystyhirsi	
Suunnittelija:	Päiväys: 14.3.2017	Tunnus: US1

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.394 W/m²K
 Paksuus: 250.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 105.50 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 20462.963 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000049 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 2.538 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Puu (kuusi)	80.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00
2	Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
3	Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
4	Puu (kuusi)	120.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Heinäkuu (744.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	15.70	100.0	72.0	72.0	0.00
1	15.82	100.0	71.5	71.5	0.00
2	16.79	100.0	64.8	64.8	0.00
3	17.56	100.0	61.7	61.7	0.00
4	18.33	100.0	58.7	58.7	0.00
5	19.78	100.0	50.7	50.7	0.00
S	20.00	100.0	50.0	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

Pystyhirsiseinä, kaksikerroksinen.

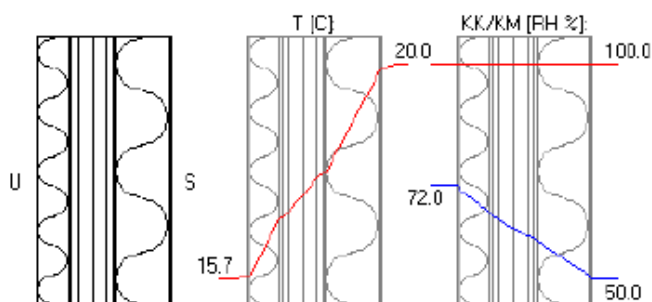
Heinäkuu

Rakennuskohde:	Sisältö: Ulkoseinä, pystyhirsi, sauman kohta	
Suunnittelija:	Päiväys: 14.3.2017	Tunnus: US1, sauma

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo: 0.175 W/m²K
 Paksuus: 226.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 32.90 kg
 Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1752.525 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000571 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 5.730 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
2	Polypropeeni	50.00	0.0330	3.780000e-04	0.00	30.00
3	Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
4	Tuulettumaton ilmara	10.00	0.0770	6.600000e-04	0.00	0.00
5	Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
6	Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
7	Tuulettumaton ilmara	10.00	0.0770	6.600000e-04	0.00	0.00
8	Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
9	Polypropeeni	90.00	0.0330	3.780000e-04	0.00	30.00
10	Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Heinäkuu (744.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	15.70	100.0	72.0	72.0	0.00
1	15.75	100.0	71.8	71.8	0.00
2	15.77	100.0	70.8	70.8	0.00
3	16.91	100.0	65.5	65.5	0.00
4	16.93	100.0	64.6	64.6	0.00
5	17.03	100.0	64.2	64.2	0.00
6	17.37	100.0	62.0	62.0	0.00
7	17.71	100.0	59.9	59.9	0.00
8	17.81	100.0	59.5	59.5	0.00
9	17.83	100.0	58.7	58.7	0.00
10	19.88	100.0	51.0	51.0	0.00
11	19.90	100.0	50.3	50.3	0.00
S	20.00	100.0	50.0	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

Pystyhirsiseinä, kaksikerroksinen.
Sauman kohta.

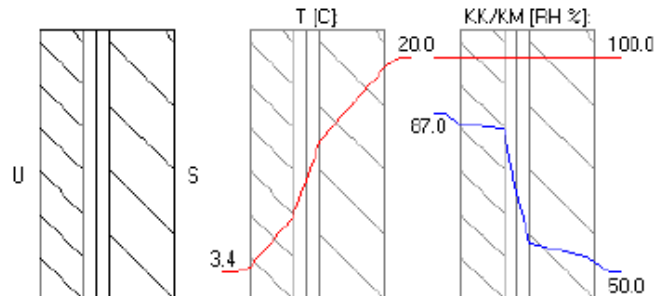
Heinäkuu, sauman kohta

Rakennuskohde:	Sisältö: Ulkoseinä, pystyhirsi	
Suunnittelija:	Päiväys: 14.3.2017	Tunnus: US1

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.394 W/m²K
 Paksuus: 250.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 105.50 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 20462.963 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000049 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 2.538 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Puu (kuusi)	80.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00
2	Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
3	Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
4	Puu (kuusi)	120.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Lokakuu (744.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	3.40	100.0	87.0	87.0	0.00
1	3.86	100.0	84.2	84.2	0.00
2	7.60	100.0	83.0	83.0	0.00
3	10.57	100.0	68.5	68.5	0.00
4	13.54	100.0	56.7	56.7	0.00
5	19.15	100.0	52.7	52.7	0.00
S	20.00	100.0	50.0	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

Pystyhirsiseinä, kaksikerroksinen.

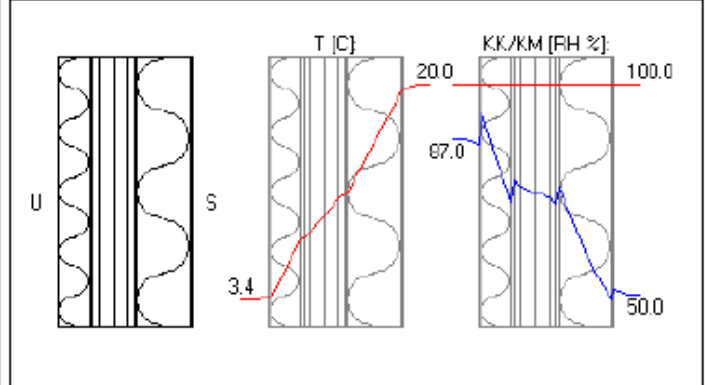
Lokakuu

Rakennuskohde:	Sisältö: Ulkoseinä, pystyhirsi, sauman kohta	
Suunnittelija:	Päiväys: 14.3.2017	Tunnus: US1, sauma

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo: 0.175 W/m²K
 Paksuus: 226.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 32.90 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 1752.525 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000571 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 5.730 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
2 Polypropeeni	50.00	0.0330	3.780000e-04	0.00	30.00
3 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
4 Tuulettumaton ilmara	10.00	0.0770	6.600000e-04	0.00	0.00
5 Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
6 Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
7 Tuulettumaton ilmara	10.00	0.0770	6.600000e-04	0.00	0.00
8 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
9 Polypropeeni	90.00	0.0330	3.780000e-04	0.00	30.00
10 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Lokakuu (744.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	3.40	100.0	87.0	87.0	0.00
1	3.60	100.0	85.8	85.8	0.00
2	3.69	100.0	92.9	92.9	0.00
3	8.08	100.0	71.9	71.9	0.00
4	8.16	100.0	77.2	77.2	0.00
5	8.54	100.0	75.6	75.6	0.00
6	9.86	100.0	74.5	74.5	0.00
7	11.17	100.0	73.1	73.1	0.00
8	11.55	100.0	71.6	71.6	0.00
9	11.64	100.0	75.7	75.7	0.00
10	19.54	100.0	48.7	48.7	0.00
11	19.62	100.0	51.2	51.2	0.00
S	20.00	100.0	50.0	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:Pystyhirsiseinä, kaksikerroksinen.
Sauman kohta.

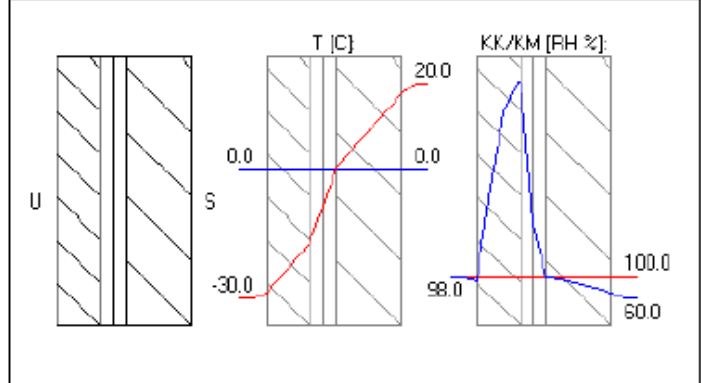
Lokakuu, sauman kohta

Rakennuskohde:	Sisältö: Ulkoseinä, pystyhirsi	
Suunnittelija:	Päiväys: 14.3.2017	Tunnus: US1

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.394 W/m²K
 Paksuus: 250.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 105.50 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 20462.963 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000049 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 2.538 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Puu (kuusi)	80.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00
2	Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
3	Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
4	Puu (kuusi)	120.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Kova pakkanen 2 viikkoa (336.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-30.00	100.0	98.0	98.0	0.00
1	-28.62	100.0	92.4	92.4	0.00
2	-17.36	100.0	453.3	100.0	31.71
3	-8.41	100.0	196.5	100.0	0.00
4	0.55	100.0	97.4	97.4	0.00
5	17.44	100.0	70.3	70.3	0.00
S	20.00	100.0	60.0	60.0	0.00

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

Pystyhirsiseinä, kaksikerroksinen.

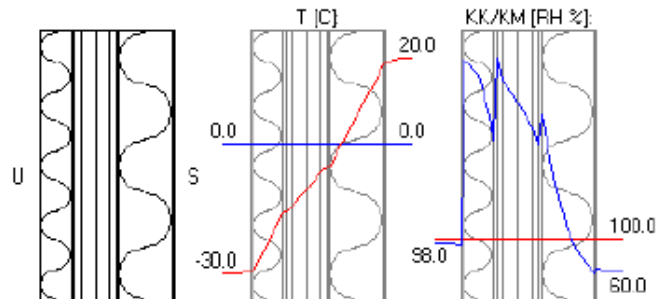
Kova pakkanen 2 vko.

Rakennuskohde:	Sisältö: Ulkoseinä, pystyhirsi, sauman kohta	
Suunnittelija:	Päiväys: 14.3.2017	Tunnus: US1, sauma

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo: 0.175 W/m²K
 Paksuus: 226.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 32.90 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 1752.525 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000571 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 5.730 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
2 Polypropeeni	50.00	0.0330	3.780000e-04	0.00	30.00
3 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
4 Tuulettumaton ilmara	10.00	0.0770	6.600000e-04	0.00	0.00
5 Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
6 Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
7 Tuulettumaton ilmara	10.00	0.0770	6.600000e-04	0.00	0.00
8 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
9 Polypropeeni	90.00	0.0330	3.780000e-04	0.00	30.00
10 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Kova pakkanen 2 viikkoa (336.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-30.00	100.0	98.0	98.0	0.00
1	-29.39	100.0	95.4	95.4	0.00
2	-29.13	100.0	326.3	100.0	70.81
3	-15.91	100.0	225.5	100.0	0.00
4	-15.65	100.0	329.3	100.0	41.17
5	-14.52	100.0	300.7	100.0	0.00
6	-10.55	100.0	274.5	100.0	0.00
7	-6.58	100.0	241.3	100.0	0.00
8	-5.45	100.0	222.2	100.0	0.00
9	-5.19	100.0	259.2	100.0	608.96
10	18.61	100.0	57.5	57.5	0.00
11	18.87	100.0	64.3	64.3	0.00
S	20.00	100.0	60.0	60.0	0.00

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:Pystyhirsiseinä, kaksikerroksinen.
Sauman kohta.

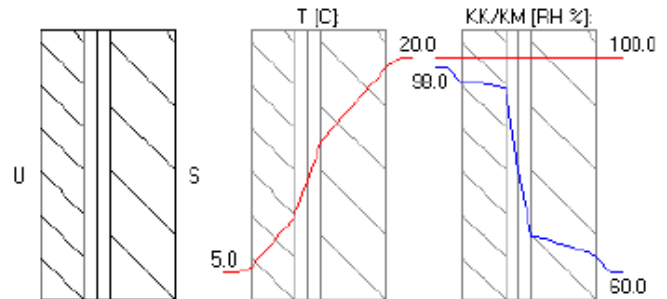
Kova pakkanen 2 vko, sauman kohta

Rakennuskohde:	Sisältö: Ulkoseinä, pystyhirsi	
Suunnittelija:	Päiväys: 14.3.2017	Tunnus: US1

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.394 W/m²K
 Paksuus: 250.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 105.50 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 20462.963 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000049 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 2.538 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

	KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1	Puu (kuusi)	80.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00
2	Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
3	Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
4	Puu (kuusi)	120.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Syksyn sadekehi 2 viikkoa (336.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	5.00	100.0	98.0	98.0	0.00
1	5.41	100.0	95.2	95.2	0.00
2	8.79	100.0	94.1	94.1	0.00
3	11.48	100.0	79.2	79.2	0.00
4	14.17	100.0	66.9	66.9	0.00
5	19.23	100.0	62.9	62.9	0.00
S	20.00	100.0	60.0	60.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:

Pystyhirsiseinä, kaksikerroksinen.

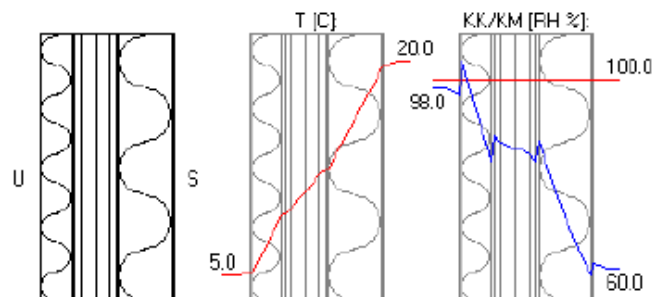
Syksyn sadekehi 2 vko.

Rakennuskohde:	Sisältö: Ulkoseinä, pystyhirsi, sauman kohta	
Suunnittelija:	Päiväys: 14.3.2017	Tunnus: US1, sauma

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo: 0.175 W/m²K
 Paksuus: 226.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 32.90 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 1752.525 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000571 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 5.730 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
2 Polypropeeni	50.00	0.0330	3.780000e-04	0.00	30.00
3 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
4 Tuulettumaton ilmara	10.00	0.0770	6.600000e-04	0.00	0.00
5 Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
6 Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
7 Tuulettumaton ilmara	10.00	0.0770	6.600000e-04	0.00	0.00
8 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
9 Polypropeeni	90.00	0.0330	3.780000e-04	0.00	30.00
10 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Syksyn sadekehi 2 viikkoa (336.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	5.00	100.0	98.0	98.0	0.00
1	5.18	100.0	96.7	96.7	0.00
2	5.26	100.0	103.9	100.0	60.05
3	9.23	100.0	82.7	82.7	0.00
4	9.30	100.0	88.1	88.1	0.00
5	9.64	100.0	86.5	86.5	0.00
6	10.83	100.0	85.5	85.5	0.00
7	12.02	100.0	84.1	84.1	0.00
8	12.36	100.0	82.6	82.6	0.00
9	12.44	100.0	86.9	86.9	0.00
10	19.58	100.0	58.5	58.5	0.00
11	19.66	100.0	61.3	61.3	0.00
S	20.00	100.0	60.0	60.0	0.00

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:Pystyhirsiseinä, kaksikerroksinen.
Sauman kohta.

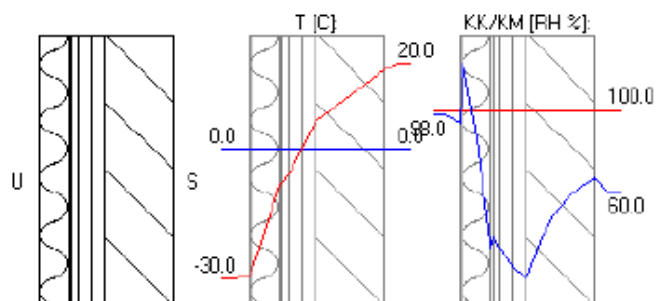
Syksyn sadekehi 2 vko, sauman kohta

Rakennuskohde:	Sisältö: Ulkoseinä, pystyhirsi, sauman kohta	
Suunnittelija:	Päiväys: 14.3.2017	Tunnus: US1, sauma

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.272 W/m²K
 Paksuus: 238.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 77.40 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 13054.834 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000077 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 3.671 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
2 Polypropeeni	50.00	0.0330	3.780000e-04	0.00	30.00
3 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
4 Tuulettumaton ilmara	10.00	0.0770	6.600000e-04	0.00	0.00
5 Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
6 Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
7 Puu (kuusi)	120.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Kova pakkanen 2 viikkoa (336.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-30.00	100.0	98.0	98.0	0.00
1	-29.05	100.0	94.0	94.0	0.00
2	-28.64	100.0	122.9	100.0	26.26
3	-8.00	100.0	32.9	32.9	0.00
4	-7.60	100.0	38.6	38.6	0.00
5	-5.83	100.0	33.6	33.6	0.00
6	0.36	100.0	24.3	24.3	0.00
7	6.55	100.0	18.0	18.0	0.00
8	18.23	100.0	66.9	66.9	0.00
S	20.00	100.0	60.0	60.0	0.00

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:Pystyhirsiseinä, kaksikerroksinen.
Sauman kohta.

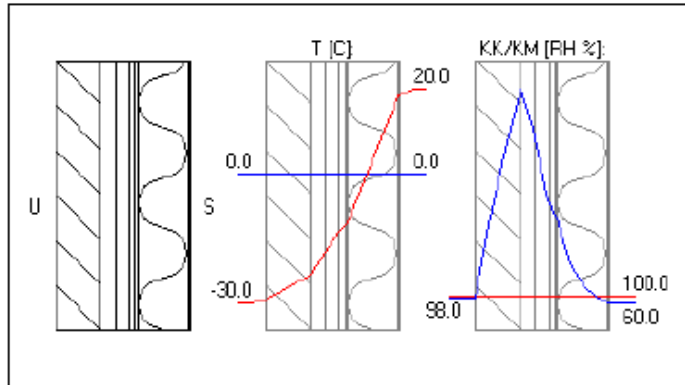
Kova pakkanen 2 vko, ulkona sauma ja sisällä hirren kohta

Rakennuskohde:	Sisältö: Ulkoseinä, pystyhirsi, sauman kohta	
Suunnittelija:	Päiväys: 14.3.2017	Tunnus: US1, sauma

Rakenteen päätiedot:

U-arvo: 0.218 W/m²K
 Paksuus: 238.000 mm
 Pinta-ala: 1.00 m²
 Paino: 61.00 kg
 Hinta: 0.00 euro

 Vesihöyryn vastus: 9160.654 m²hPa/g
 Vesih. läpäisykerroin: 0.000109 g/m²hPa
 Lämmönvastus: 4.597 m²K/W
 Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W
 Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
 Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Puu (kuusi)	80.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00
2 Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
3 Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
4 Tuulettumaton ilmara	10.00	0.0770	6.600000e-04	0.00	0.00
5 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00
6 Polypropeeni	90.00	0.0330	3.780000e-04	0.00	30.00
7 Vanerilevy	4.00	0.1350	1.800000e-05	0.00	700.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet:

Kova pakkanen 2 viikkoa (336.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [RH %]:	KM [RH %]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-30.00	100.0	98.0	98.0	0.00
1	-29.24	100.0	94.8	94.8	0.00
2	-23.02	100.0	1335.6	100.0	41.20
3	-18.08	100.0	1043.6	100.0	38.36
4	-13.14	100.0	657.8	100.0	0.00
5	-11.72	100.0	574.6	100.0	0.00
6	-11.40	100.0	571.0	100.0	772.14
7	18.26	100.0	65.2	65.2	0.00
8	18.59	100.0	65.5	65.5	0.00
S	20.00	100.0	60.0	60.0	0.00

Tiivistymis- / homevaara ! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot:Pystyhirsiseinä, kaksikerroksinen.
Sauman kohta.

Kova pakkanen 2 vko, ulkona hirsi ja sisällä sauman kohta