

Severi Silvennoinen

# HIRSIRAKENNUKSEN RUNKO-OSIEN JA ENERGIATEHOKKUUDEN TARKAS- TELU SEKÄ HIRSIRAKENNUSTEN VE- SIKATTOELEMENTTIEN SUUNNIT- TELU JA VALMISTAMINEN

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Teollisen puurakentamisen koulutus



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Severi Silvennoinen
Työn nimi	Hirsirakennuksen energiatehokkuuden ja runko-osien tarkastelu sekä hirsirakennusten vesikattoelementtien suunnittelu ja valmistaminen.
Toimeksiantaja	Finn-Bois MTR Oy
Vuosi	2022
Sivut	65 sivua, liitteitä 22 sivua
Työn ohjaaja(t)	Petteri Härkönen ja Marko Voutilainen

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia hirsirakennusten energiatehokkuutta yrityksen markkinoinnin käyttöön sekä hirsitalon runko-osien liitoksia, jonka pohjalta toteutettiin hirsitalon rungon pystytysohje Finn-Bois MTR Oy yrityksen käyttöön. Opinnäytetyössä tutkittiin myös tuotekehitys mielessä kattoelementtien käyttöä hirsirakentamisessa ja valmistamista. Työ toteutettiin hyödyntämällä alan kirjallisuutta ja verkkojulkaisuja kuten rakennustiedon ja puuinfon tarjoamia julkaisuja. Työssä apuna käytettiin tilaajan käytössä olevaa vanhaa pystytysohjetta.

Hirsirakennukset pystytään toteuttamaan energiatehokkaasti massiivipuura-kenteisten ulkoseinien alennettujen lämmönläpäisyvaatimusten ja tasauslas-kelmissa huomioitavien muiden paranneltujen rakenneosien sekä lämmitys-muodon valinnan ansiosta. Perinteisessä hirsirakentamisessa tärkein, muusta rakentamisesta poikkeava, huomioitava asia on painumien tarkkailu ja hallitseminen. Modernissa hirsirakentamisessa käytössä oleva painumaton hirsira-kenne ei eroa muusta puurakentamisesta muuten kuin rakennuksen pystytys- ja tiivistystavassa.

Kattoelementtien käyttöä hirsirakennuksissa ja niiden valmistamista tutkittiin painumattoman pulpettikattoisen esimerkkikohteen avulla. Painumattomassa rakenteessa mikään ei estä rakenteellisesti kattoelementtien käyttöä samaan tapaan kuin muussa puurakentamisessa. Työmenekkiä vertailussa tulokset osoittavat kattoelementtien käytön olevan huomattavasti nopeammat asentaa verraten muihin kattorakenteisiin, kuitenkin ollen materiaalimenekkiä osalta hieman kalliimpia. Elementtien työ- ja materiaalimenekkejä voidaan tois- taiseksi pitää vain suuntaa antavina.

Energiatehokkuuden vaatimusten täytyminen hirsirakentamisessa vaatii jat-kossakin jatkuvasti tiukentuvien määräysten johdosta tutkimusta ja kehitys-työtä. Painuvassa ja harjakattoisessa rakennuksessa kattoelementtien käyttä-minen vaatisi lisätutkimusta liitososien ja tiiviiden saavuttamisen suhteen.

**Asiasanat:** hirsirakentaminen, energiatehokkuus, kattoelementti

Degree	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Severi Silvennoinen
Thesis title	Review of the energy efficiency and frame parts of the log building and the design and manufacture of roof elements for log buildings.
Commissioned by	Finn-Bois MTR Oy
Time	2022
Pages	65 pages, 22 pages of appendices
Supervisor	Petteri Härkönen, Marko Voutilainen

## ABSTRACT

The purpose of the thesis was to study the energy efficiency of log buildings for the marketing of the Finn-Bois MTR Oy. The joints of the frame parts in the log house were studied erection instruction was created for the company's use as well. The thesis also studied product development in mind the use of roofing elements in log construction and manufacturing. The work was carried out through the use of industry literature and online publications such as those offered by building information and wood info. The old erection instruction at the disposal of the subscriber was used as an aid to the work.

Log buildings can be implemented energy efficiently thanks to reduced heat permeability requirements of solid wood exterior walls and other improved structural elements and the choice of heating form to be taken into account in the equalization glass envelopes. In traditional log construction, the most important thing to consider, different from other construction, is the observation and control of the settling. The unsettling log structure used in modern log construction is no different from other wooden construction other than in the way the building is erected and compacted.

The use of roof elements in log buildings and how to manufacture them was studied using an unsettling timber frame with shed roof example site. In an un-depressed structure, nothing prevents the use of roofing elements structurally in the same way as in other wooden construction. When comparing labour requirement, the results show that the use of roofing elements is much faster to install compared to other roofing structures, but therefore slightly more expensive for materials. The labour and material models of the elements can be considered as indicative only.

The fulfilment of energy efficiency requirements in log construction will continue to require research and development, as a result of constantly tightening regulations. In a heavy and gabled building, using roof elements would require further research in terms of connecting parts and achieving tightness.

Keywords: log construction, energy efficiency, roof element

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	4
2	HIRSIRAKENNUSTEN RUNKOVAIHTOEHTOJA JA NIIDEN ENERGIATEHOKKUUDEN TARKASTELU .....	5
2.1	Hirsiseinät .....	5
2.1.1	Painuva höylä- ja lamellihirsi .....	6
2.1.2	Painumaton lamellihirsi .....	9
2.1.3	Pyöröhirsi .....	10
2.1.4	Lämmönläpäisykerroin (U-arvo) .....	10
2.2	Maanvastainen alapohja .....	12
2.2.1	Lämmönläpäisykerroin (U-arvo) .....	12
2.3	Yläpohjat sekä ryömintätiloihin ja ulkoilmaan rajoittuvat alapohjat .....	14
2.3.1	Lämmönläpäisykerroin (U-arvo) .....	15
2.4	Lämpöhäviöiden tasauslaskelma .....	18
3	HIRSITALON RUNGON LIITOKSET .....	22
3.1	Hirsirakennuksen painumat .....	23
3.2	Hirsien väliset liitokset ja hirsiseinän jäykistys .....	23
3.3	Perustus- ja alapohjaliittymät .....	28
3.4	Välipohjaliittymät .....	29
3.5	Yläpohjaliittymät .....	29
3.6	Rankarakenteiset ja muuratut väliseinät .....	30
3.7	Ikkunat, ovet ja muut aukot .....	31
4	PALKKIKATTOELEMENTTI .....	32
4.1	Esimerkkikohde .....	33
4.2	Elementit .....	34
4.2.1	Kantava rakenne .....	35
4.2.2	Lämmön- ja vedeneristys .....	35
4.2.3	Jäykistys ja liitokset .....	36

4.3	Valmistuksen materiaali- ja työmenekit.....	37
5	VINOJEN YLÄPOHJARAKENTEIDEN MATERIAALI- JA TYÖMENEKIN	
	VERTAILU .....	39
5.1	Materiaalimenekit.....	39
5.2	Asennuksen työmenekit.....	40
5.3	Yhteenveto.....	42
6	POHDINTA .....	42
	LÄHTEET.....	44
	LIITTEET	
	Liite 1. Lämpöhäviöiden tasauslaskelma	
	Liite 2. Kattoelementin rungon rakennelaskelma	
	Liite 3. Kattoelementtien jäykistyslaskelma	
	Liite 4. Hirsirakennuksen rungon pystytysohje	

**Sanasto****Salvos**

hirsien nurkkaliitos tai risteävien hirsien liitos, jossa hirret ylittävät risteävän seinän ulkolinjan

**Lyhyt- tai citynurkka**

hirsien nurkkaliitos, jossa hirret eivät ylitä risteävän seinän ulkolinjaa, joka voidaan peittää nurkkalautoilla tai toteuttaa jiirillä niin ettei nurkkalautoja tarvita

**Pontti**

päällekkäisten hirsien välinen liitos

**Tapitus tai vaarna**

päällekkäisten hirsien välisen liitoksen kiinnitys ja hirsiseinän jäykistystapa

**Lämmönläpäisykerroin (U-arvo)**

arvo, joka kuvaa rakenteen lämmöneristyskykyä

**Läpipulttaus**

hirsiseinän pystysuunnassa läpi kulkeva kiristettävä kierretanko

**Kierrejalka**

pultti, jolla säädetään hirsirakennuksen rakenneosia painumien mukaisesti

**Karalankku**

hirsiseinän aukkojen pieliin tehtyyn uraan asennettava, painuman salliva ja sivusiirtymät estävä pystypuu, johon painumattomat rakenteet kiinnitetään

**Painuma**

puun kuivumiskutistumisesta, kuormituksesta ja saumojen tiivistymisestä johtuva seinän laskeutuminen

**Ilmanvuotoluku q50**

luku, joka määritetään rakennuksen ilmatiiviysmittauksella, joka kertoo rakennuksen vaipan läpi kulkeutuvaa ilmamäärää 50 Pascalin paine-erolla

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on hirsirakennusten energiatehokkuus, pystytysohjeen päivittäminen tutkimalla hirsirakennusten liitososia ja tutkimus yläpohjarakenteiden käyttämistä tilaajayrityksen resursseilla. Työssä keskitytään hirsirakennuksen runko-osien tutkimiseen. Tutkimuksessa selvitettiin yrityksen tarpeisiin parhaiten soveltuva vesikaton valmistusmenetelmä ja sen kustannukset sekä vertailulaskelmat muihin vesikaton valmistusmenetelmiin.

Työskenneltyäni tilaajayrityksessä loppuvuodesta 2020 ja alkuvuodesta 2021 yritys tarjosi minulle opinnäytetyönaihetta. Opinnäytetyön aihe kehittyi tarpeesta pystytysohjeen päivittämiseen ja tuotekehitykseen sekä omasta kiinnostuksesta puu- ja hirsirakentamiseen ja sen kehittämiseen. Tilaajana työlle toimi Finn-Bois MTR Oy, joka on Etelä-Savossa, Rantasalmella toimiva hirsirakennusten toimittaja. Yritys on toiminut vuodesta 2007 lähtien. Yrityksen pääasiallinen tuote on hirsikehikot hirsirakentajille, urakoitsijoille ja rakennusliikkeille.

Yrityksen käytössä oleva pystytysohje päivitettiin vastamaan viimeisimpiä rakennusmääräyksiä ja hyväksi havaittuja asennustapoja hyödyntäen puurakentamiseen liittyviä julkaisuja ja rakennustiedon tietokantoja ja yrityksen yhteistyökumppaneita, jotka pystyttävät rakennuksia. Pystytysohje keskittyy ainoastaan hirsitalon runko-osien asennukseen.

Tilaajayrityksen yksi tuotekehitysaiheista oli hirsirakennusten yläpohjien elementoinnin käytön mahdollisuudet ja kustannustehokkuus. Työssä tutkittiin myös kattoelementtien valmistuksen ja asennuksen kustannuksia.

Tutkimuksen tuloksilla tilaaja pystyy tarjoamaan asiakkailleen havainnollisen pystytysohjeen ja energiatehokkuuden esimerkkilaskelmia, tehostamaan toimintaa yhteistyökumppaneiden kanssa sekä pystyy tarjoamaan nopeasti asennettavaa elementtiratkaisulla olevaa yläpohjarakennetta.

## **2 HIRSIRAKENNUSTEN RUNKOVAIHTOEHTOJA JA NIIDEN ENERGIATEHOKKUUDEN TARKASTELU**

Ympäristöministeriön määräysten ja ohjeiden mukaisesti rakennusten energiankulutusta pyritään jatkuvasti pienentämään eri tavoilla, kuten rakenteiden lämmönläpäisevyyssarvoja (U-arvoja) ja ilmatiiviyttä parantamalla. Energiankulutuksen vähentämisen vaatimukset kohdistuvat myös ilmanvaihtolaitteiden lämmön talteenottojärjestelmien ja lämmityksessä käytettävään energiamuotoon (Ympäristöministeriö 2017, 6.)

Hirsiseinien ja massiivipuorakenteiden lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot ovat korotettuja verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin. Tällä huomioidaan puurakentamisen suotuisat vaikutukset ilmastonmuutoksen torjunnassa puun sitoessa hiiltä itseensä ja samalla mahdollistetaan hirsi- ja puurakentamisen säilyminen ja kehittyminen (Ympäristöministeriö 2017, 7.)

Tämän työn laskelmat rakenteiden ja niiden yhteisvaikutuksista energiatehokkuuteen on suoritettu ympäristöministeriön tasaaslaskentaopas 2018-ohjeiden ja määräysten mukaisesti.

### **2.1 Hirsiseinät**

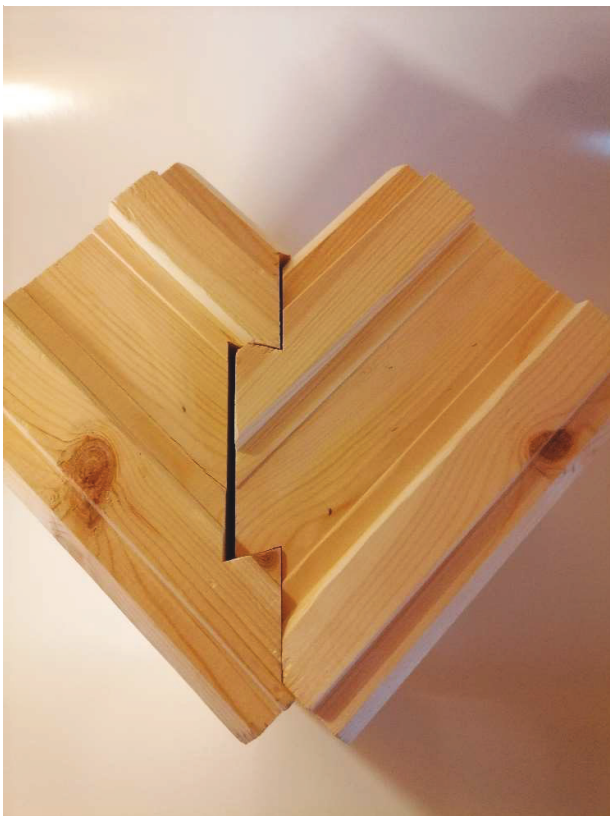
Teollisesti valmistettu hirsi seinämateriaalina tarjoaa yhdellä materiaalilla valmiin sisä- ja ulkokuoren, kantavan rungon sekä lämmön- ja äänieristeen. Joissakin erityisen hyvää ääneneristävyyttä vaativissa kohteissa hirsiseinään voidaan lisätä ääneneristävyttä ja palonkestoa parantavia rakenneosia, esimerkiksi levyrakenteita, jotta ne täyttäsivät paremmin palovaatimukset. (Puuinfo 2020h).

Hirsiseiniä on käyttötarkoituksesta riippuen erilaisilla nurkkaliitoksilla. Perinteisessä hirsirakennuksessa nurkkaliitos on ristinurkkasalvos (kuva 1), jossa risteävien seinien hirret lovetaan puoliksi päällekkäin ja hirren päät yltävät toisen hirren yli. Tällainen nurkkaliitos ei sovellu yleensä kaavamääräysten mukaisesti kaupunkirakentamiseen. Yleisesti kaupunkirakentamiseen soveltuvia nurkkaliitoksia ovat liitokset, joissa seinälinjojen ylittäviä hirrenpäitä ei ole. Hirsirakennuksessa tämä voidaan toteuttaa lyhytnurkillalla ja nurkkalautoilla tai jiiirinurkkaliitoksella (kuva 2). (Puuinfo 2020g.)





Kuva 1. Koteloitu lyhytnurkkaliitos ja salvosnurkkaliitos (Finn-Bois MTR Oy 2022)



Kuva 2. Jiirinurkkaliitos (Finn-Bois MTR Oy 2022)

### 2.1.1 Painuva höylä- ja lamellihirsi

Höylähirsi (kuva 3 ja 4) pyritään valmistamaan tukista, sydänkeskeisesti halkeamien ja vääntyiyn estämiseksi, joka höylätään haluttuun muotoon ja profiiliin koneellisesti.

Nykymääräykset ulkoseinien U-arvoista ovat kasvattaneet seinäpaksuudet niin suu-riksi, että tarpeeksi suuria tukkeja on vaikea löytää. Höylähirsi soveltuu kuitenkin käytettäväksi rakennuksissa, joissa käytetään lisäeristystä ja vapaa-ajan asunnoissa, joissa U-arvo vaatimus on heikompi. Tukkien visuaaliset virheet, kuten pihkataskut ja kuivat oksat, vaikeuttavat myös perinteisen yhdestä puusta tehdyn hirren käyttöä. Painuvaa lamellihirttä valmistetaan, halutusta paksuudesta ja korkeudesta riippuen, liimamalla tarpeen mukaisia höylättyjä raakapuuaihiota vierekkäin ja päällekkäin. Raakapuuaihiot voivat olla sormijatkettuja ja visuaalisesti lajiteltu niin, että hirren näkyvissä pinoissa on visuaalisesti parhaat puut (Lauharo 2002, 94, 112.)



Kuva 3. Painuva hirsi 88x180 ja 134X180 (Finn-Bois MTR Oy 2022)



Kuva 4. Painuva hirsi 202x260 (Finn-Bois MTR Oy 2022)

### 2.1.2 Painumaton lamellihirsi

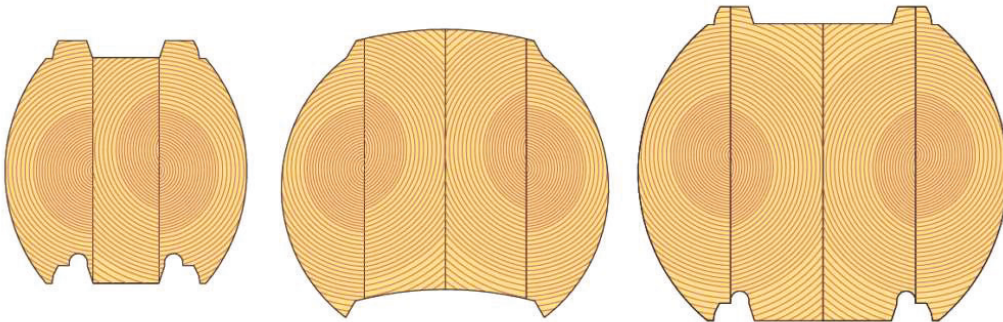
Painumatonta höylähirttä (kuva 5) valmistetaan liimaamalla vähintään kolme höylättyä raakapuuaihiota yhteen, joista laitimmat asetetaan syysuunnassa vaakaan hirren pituussuunnassa ja keskimäinen pystyyn. Keskimäinen syysuunnaltaan pystyssä oleva lamelli toimii rakenteen kantavana osana ja minimoi rakennuksen painumisen puun syysuunnan vähäisen kosteuselämisen ansiosta rankarakenteen tavoin (Puuinfo. 2020b).



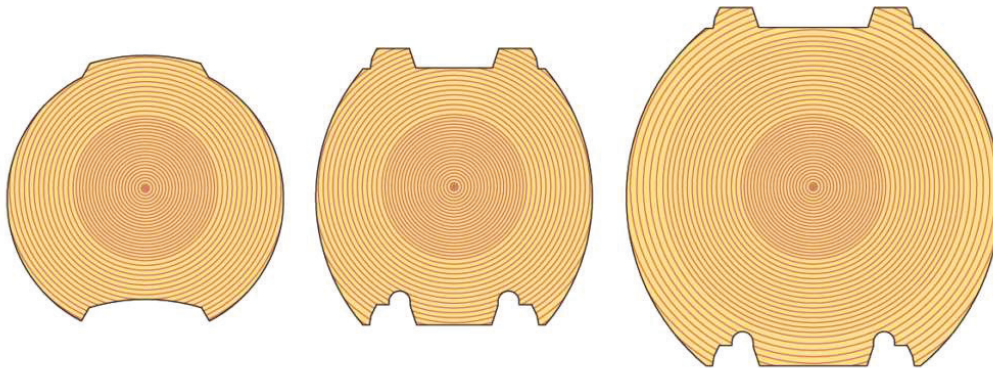
Kuva 5. Painumaton hirsi 202x234 (Finn-Bois MTR Oy 2022)

### 2.1.3 Pyöröhirsi

Pyöröhirsi, kuten höylähirsikin, pyritään valmistamaan tukista sydänkeskeisesti halkeamien ja vääntyilyn estämiseksi. Pyöröhirttä voidaan valmistaa, sorvaamalla ja koneellisesti työstämällä pontit, useammasta kappaleesta liimatuista aihioista (kuva 6) tai yhdestä kokonaisesta tukista (kuva 7) (Puuinfo. 2020b). Pyöröhirren käyttö on nykyisten kaavamääräysten ja ulkonäön vuoksi painottunut loma- ja vapaa-ajan asuntoihin. Pyöröhirren käyttöä asuinrakennuksissa vaikeuttaa myös asuinrakennuksien lämmöneristävyyksien vaatimukset, jotka aiheuttavat pyöreässä rakenteessa hirren paksuuden kasvamisen niin suureksi, ettei niitä ole kannattavaa valmistaa.



Kuva 6. Lamellipyöröhirsiprofiileita (Puuinfo 2020b)



Kuva 7. Massiivihirsiprofiileita (Puuinfo 2020b)

### 2.1.4 Lämmönläpäisykerroin (U-arvo)

Hirsiseinien lämmönläpäisykerroimen laskentaan ja tuloksiin vaikuttaa puun lämmönjohtavuusarvo, joka vaihtelee lähteestä riippuen välillä 0,11–0,18 W/mk, joka on riippuvainen kosteuspitoisuudesta, lämpötilasta ja tiheydestä, mitä kuivempi tai tiheämpi puu, sitä huonompi on sen lämmönjohtavuus. (Suomen liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy

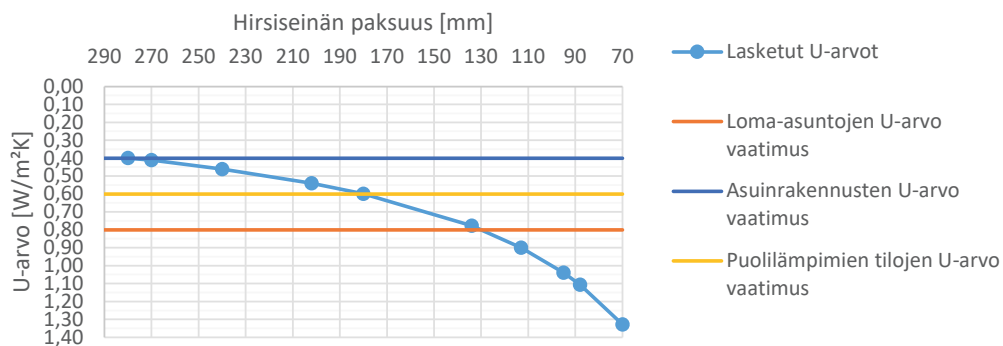
2014, 22). Tämän työn lämmönläpäisykertoimien laskelmissa puun lämmönjohtavuus arvona  $\lambda_d$  on käytetty 0,12 W/mk.

Hirsiseinien lämmönläpäisyn (U-arvon) vertailuarvo asuinrakennuksissa on 0,40 W/m<sup>2</sup>K, joka saavutettaisiin 280 mm paksuisella hirrellä. Tällä hetkellä hirsitoimittajilla ei kuitenkaan ole tarjolla kuin enimmillään 275 mm paksuista hirttä. Tästä huolimatta hirsiseiniä voidaan käyttää parantamalla muiden rakennuksen ulkovaipan osien lämmönläpäisykertoimia. Puolilämpimien tilojen lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo on 0,60 W/m<sup>2</sup>K, joka saavutetaan 180 mm paksuisella hirrellä. Loma-asuntojen vertailuarvo on 0,80 W/m<sup>2</sup>K, joka saavutetaan 130 mm hirsiseinän paksuudella (Ympäristöministeriö 2017, 14–15). Kuvassa 8 ja taulukossa 1 esitetään hirsiseinän U-arvon kehitys seinän paksuuden kasvaessa.

Taulukko 1. Hirsiseinien lasketut U-arvot ja vertailuarvot (asuinrakennukset, puolilämpimät tilat ja loma-asunnot)

Hirsiseinän paksuus [mm]	Laskettu U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	Vertailuarvot [W/m <sup>2</sup> K]
134	0,78	0,4 / 0,6 / 0,8
180	0,60	0,4 / 0,6 / 0,8
202	0,54	0,4 / 0,6 / 0,8
270	0,41	0,4 / 0,6 / 0,8
280	0,40	0,4 / 0,6 / 0,8

### Hirsiseinän U-arvon kehitys seinän paksuuden kasvaessa



Kuva 8. Höylä- ja lamellihirsien lämmönläpäisykertoimen kehittyminen hirsiseinän paksuuden kasvaessa

Hirsiseiniä U-arvon laskennassa ei tarvitse huomioida kylmäsiltojen ja lämmöneristyksen ilmavirtausten aiheuttamia korjauskertoimia, koska niitä ei ole tasa- ja yksiaineisessa hirsiseinässä.

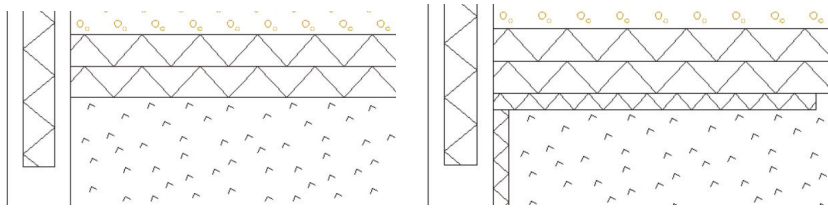
## **2.2 Maanvastainen alapohja**

Hirsirakennuksen alapohjana voidaan käyttää mitä tahansa samaa maanvastaista alapohjaa kuin muissakin pientaloissa (Siikanen 2016, 336). Asuinrakennusten alapohjien lämmönläpäisykerroin (U-arvo) vertailuarvo on maanvastaiselle alapohjalle 0,16 W/m<sup>2</sup>K. Vastaavat vertailuarvot puolilämpimille tiloille ja loma-asunnoille on 0,24 W/m<sup>2</sup>K. (Ympäristöministeriö 2017, 14–15.)

### **2.2.1 Lämmönläpäisykerroin (U-arvo)**

Maanvastaisen alapohjan asuinrakennusten lämmönläpäisykerroimen vertailuarvo 0,16W/m<sup>2</sup>K saavutetaan esimerkiksi 10 m leveässä ja 12 m pitkässä, 120 m<sup>2</sup> pohjapinta-alaltaan olevassa rakennuksessa 200 mm paksuisella betonilaatan alapuolisella EPS-eristeellä. VTT:n tutkimusraportin (2011) mukaan perusmuurin lisäeristykellä voidaan vaikuttaa U-arvoon, mutta eristyksen paksuuden kasvattamisella ei ole niin merkittävää vaikutusta, että se eristepaksuutta kasvattamatta kohtuuttoman suureksi korvaisi lattian alapuolisen vaakaan asennettavan eristyksen paksuutta. Myöskään eristetävän lattia-alan reuna-alueiden paksummalla eristemäärällä ei todettu olevan merkittävää vaikutusta, jolloin on parempi käyttää samaa eristevahvuutta koko lattian alalla.

Maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroimen laskennassa tulee ottaa huomioon rakennuksen alapohjan ympärystymitta, sokkelin paksuus ja rakennuksen pohjan pinta-ala sekä perusmaan tyyppi. Taulukoissa 2 ja 3 esitetyt U-arvot ovat laskettu 44 m alapohjan ympärystimitalla ja 200 mm:n perusmuurin paksuudella soramaalle perustetulle 120 m<sup>2</sup> rakennukselle. Maanvastaisen alapohjan vaakarakenteen lämmönläpäisykerroin voidaan laskea myös yksinkertaistetulla menetelmällä, jossa laskenta suoritetaan, kuten muillekin vaakarakenteille, mutta maan lämmönvastuksen vaikutus huomioidaan kertoimella 0,9, mikä ei huomioi rakennuksen geometriaa. (Ympäristöministeriö 2017, 21.) Kuvassa 9 esitetään periaatteellisesti maanvastaisen laatan eristys lisäpystyeristykellä ja ilman lisäpystyeristystä.



Kuva 9. Maanvastainen perustus ilman pysty- ja vaakaisäeristystä sekä pysty- ja vaakaeristyksellä, periaatekuva

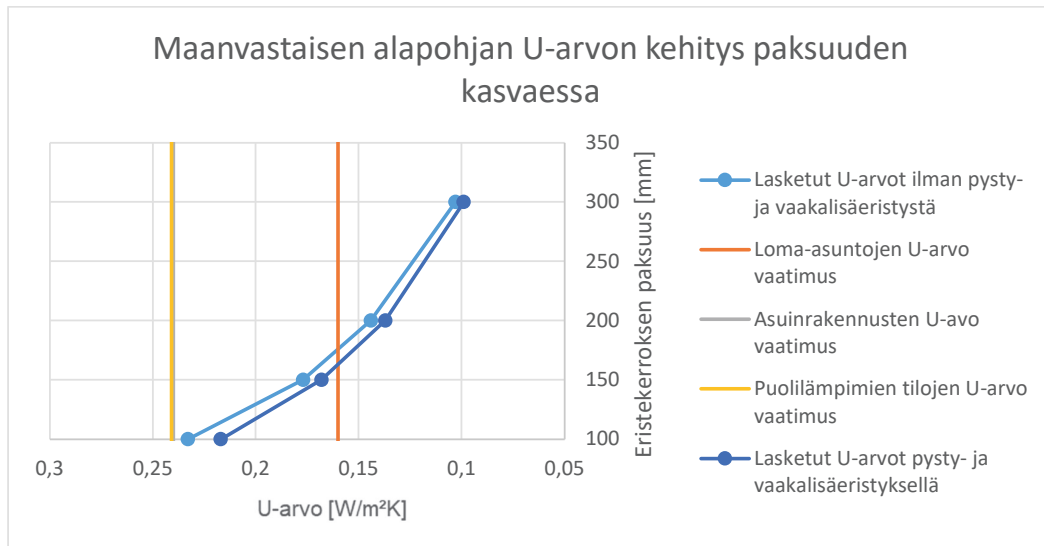
Taulukko 2. Maanvastaisen alapohjan lasketut U-arvot ilman pysty- ja vaakaisäeristystä sekä vertailuarvot (asuinrakennukset, puolilämpimät tilat ja loma-asunnot)

Betoni-laatan paksuus [mm]	EPS eristekerroksen paksuus [mm]	Laskettu U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	Vertailuarvot [W/m <sup>2</sup> K]
100	100	0,233	0,16 / 0,24
100	150	0,177	0,16 / 0,24
100	200	0,144	0,16 / 0,24
100	300	0,103	0,16 / 0,24

Taulukko 3. Maanvastaisen alapohjan lasketut U-arvot pysty- ja vaakaisäeristys sekä vertailuarvot (asuinrakennukset, puolilämpimät tilat ja loma-asunnot)

Betoni-laatan paksuus [mm]	EPS eristekerroksen paksuus [mm]	Laskettu U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	Vertailuarvot [W/m <sup>2</sup> K]
100	100	0,217	0,16 / 0,24
100	150	0,168	0,16 / 0,24
100	200	0,137	0,16 / 0,24
100	300	0,099	0,16 / 0,24





Kuva 10. Maanvastaisen alapohjan U-arvon kehitys paksuuden kasvaessa pysty- ja vaakaeeristyksellä sekä ilman pysty- ja vaakalisäeristystä

Maanvastaisen alapohjan U-arvon kehitys rakennepaksuuden kasvaessa esitetään kuvassa 10. Taulukossa vaaka-akselilla esitetään U-arvot ja pystyakselilla eristekerroksen paksuus. Alla kuvan 10 taulukon luku esimerkki.

Vaadittu U-arvo rakenteelle: 0,15 W/m<sup>2</sup>K

Vaadittu U-arvo saavutetaan ilman pysty- ja vaakalisäeristystä ~190 mm eristepaksuudella.

Vaadittu U-arvo saavutetaan käyttäen pysty- ja vaakalisäeristystä ~175 mm eristepaksuudella.

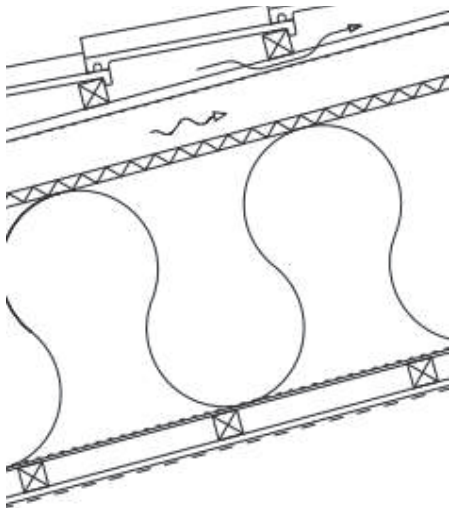
### 2.3 Yläpohjat sekä ryömintätiloihin ja ulkoilmaan rajoittuvat alapohjat

Hirsirakennuksen yläpohjaksi ja ryömintätiloihin tai ulkoilmaan rajoittuviksi alapohjiksi soveltuu mikä tahansa ylä- ja alapohjaratkaisu kuin muissakin pientaloissa (Siikanen. 2016, 336, 350). Asuinrakennusten yläpohjien lämmönläpäisykertoimien vertailuarvo on 0,09 W/m<sup>2</sup>K, puolilämpimien tilojen ja loma-asuntojen vastaavat vertailuarvot ovat 0,14 W/m<sup>2</sup>K ja 0,15 W/m<sup>2</sup>K. Ryömintätilaan rajoittuvalle alapohjalle 0,17 W/m<sup>2</sup>K ja ulkoilmaan rajoittuvalle alapohjalle 0,09 W/m<sup>2</sup>K. Vastaavat vertailuarvot puolilämpimille ja loma-asunnoille ovat: ryömintätilaan rajoittuva alapohja 0,26 W/m<sup>2</sup>K ja 0,19 W/m<sup>2</sup>K, ulkoilmaan rajoittuva alapohja 0,14 W/m<sup>2</sup>K ja 0,15 W/m<sup>2</sup>K (Ympäristöministeriö. 2017, 14–15.)

### 2.3.1 Lämmönläpäisykerroin (U-arvo)

Esimerkkilaskelmissa käytetään yläpohjarakenteen yläpinnassa 25 mm paksua huokoista puukuitulevyä  $\lambda_u$  0,050 W/mK runkorakenteiden kylmäsiltojen katkaisemiseksi rakenteen ulkopinnassa ja yläpuolisen tuuletusvälin mahdollistamiseksi. Eristeenä esimerkkilaskelmissa on käytetty puukuitueristettä  $\lambda_u$  0,040 W/mK.

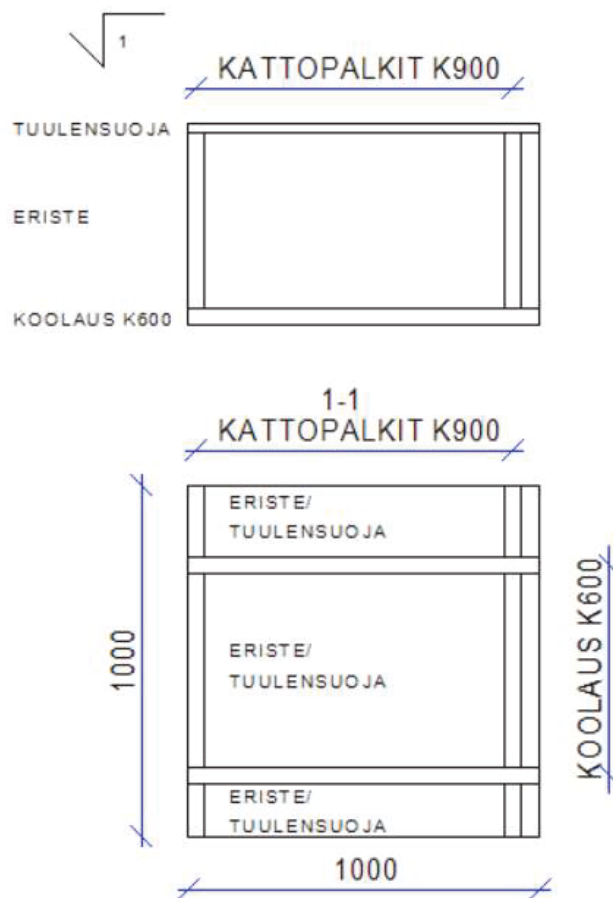
Yläpohjien lämmönläpäisykerroimen asuinrakennusten vertailuarvo 0,09 W/m<sup>2</sup>K saavutetaan esimerkiksi 450 mm paksuisella puukuitueristeellä palkkirakenteessa ja yläpuolisella 25 mm paksuisella puukuitulevyllä. Puolilämpimissä tiloissa vertailuarvo saavutetaan esimerkiksi 300 mm paksuisella puhallettavalla puukuitueristeellä ja yläpuolisella 25 mm puukuitulevyllä. Loma-asunnoissa vertailuarvo saavutetaan esimerkiksi 280 mm paksuisella puukuitueristeellä ja yläpuolisella 25 mm puukuitulevyllä. Ulkoilmaan rajoittuvien alapohjien lämmönläpäisykerroimien vertailuarvo 0,09 W/m<sup>2</sup>K saavutetaan esimerkiksi 450 mm paksuisella puukuitueristeellä ja rakenteen alapuolisella 12 mm puukuitulevyllä. Kuvassa 11 RT-kortiston esimerkkirakenne puurakenteisesta vinosta yläpohjarakenteesta.



Kuva 11. RT-kortiston mukainen puukuitueristeinen tiilikatteinen vinoyläpohjarakenne (RT 83-11010 2010, 18)

Useita eri materiaaleja sisältävien eristettyjen ylä- ja alapohjien kokonaislämmönvastuksien laskennassa tulee huomioida tutkittavalla alueella (1 m<sup>2</sup>) vaikuttavat rakenneosat (kuva 12) ja niiden eroavaisuudet lämmönvastuksissa. Vaikutukset voidaan selvittää laskemalla eri materiaalien pinta-alojen osuudet kokonaispinta-alasta ja niiden lämmönvastukset, joista voidaan selvittää rakenteen kokonaislämmönvastuksen ylä- ja

alarajat, joista puolestaan saadaan laskettua rakenteen kokonaislämmönvastus. Mikäli rakenteen lämmöneristyskerroksessa voidaan olettaa olevan kylmäsiltoja, pienennetään kokonaislämmönvastusta korjauskertoimella. (Ympäristöministeriö. 2017, 23, 38; Ympäristöministeriö 2012. 6–11.) Taulukossa 4 ja kuvassa 13 esitetään yläpohjien U-arvojen kehitys rakenteen paksuuden kasvaessa ja taulukossa 5 ja kuvassa 14 alapohjien U-arvojen kehitys paksuuden kasvaessa.



Kuva 12. Periaatekuva 1 m<sup>2</sup> alueella vaikuttavista rakenneosista palkkirakenteisessa katossa

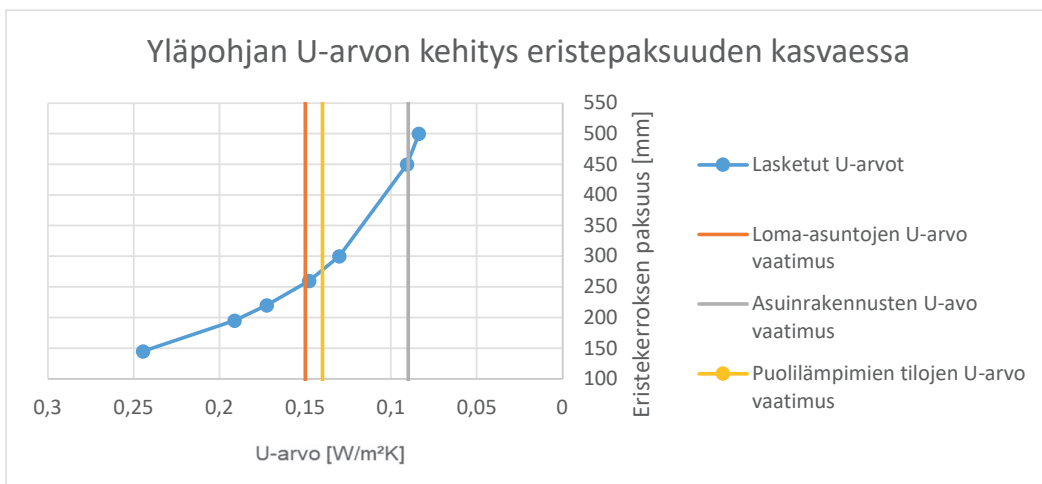
Taulukko 4. Puupalkkirakenteisten yläpohjien lasketut U-arvot ja vertailuarvot (asuinrakennukset, puoli-lämpimät tilat ja loma-asunnot)

Eristepaksuus [mm]	Yläpuolinen puukuitulevy [mm]	Laskettu U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	Vertailuarvot [W/m <sup>2</sup> K]
195	25	0,19	0,09 / 0,14 / 0,15
220	25	0,17	0,09 / 0,14 / 0,15
260	25	0,15	0,09 / 0,14 / 0,15
300	25	0,13	0,09 / 0,14 / 0,15
450	25	0,09	0,09 / 0,14 / 0,15

500	25	0,08	0,09 / 0,14 / 0,15
-----	----	------	--------------------

Taulukko 5. Puurakenteisten ryömintätilaisten ja ulkoilmaan rajoittuvien alapohjien lasketut U-arvot ja vertailuarvot (yläpohja, alapohja)

Eristepaksuus [mm]	Alapuolinen puukuitulevy [mm]	Laskettu U-arvo [W/m <sup>2</sup> K]	Vertailuarvot asuinrakennus [W/m <sup>2</sup> K]	Vertailuarvot puolilämpimät tilat [W/m <sup>2</sup> K]	Vertailuarvot loma-asunto [W/m <sup>2</sup> K]
195	12	0,25	0,09 / 0,17	0,14 / 0,26	0,15 / 0,19
220	12	0,18	0,09 / 0,17	0,14 / 0,26	0,15 / 0,19
260	12	0,16	0,09 / 0,17	0,14 / 0,26	0,15 / 0,19
300	12	0,14	0,09 / 0,17	0,14 / 0,26	0,15 / 0,19
450	12	0,10	0,09 / 0,17	0,14 / 0,26	0,15 / 0,19
500	12	0,09	0,09 / 0,17	0,14 / 0,26	0,15 / 0,19

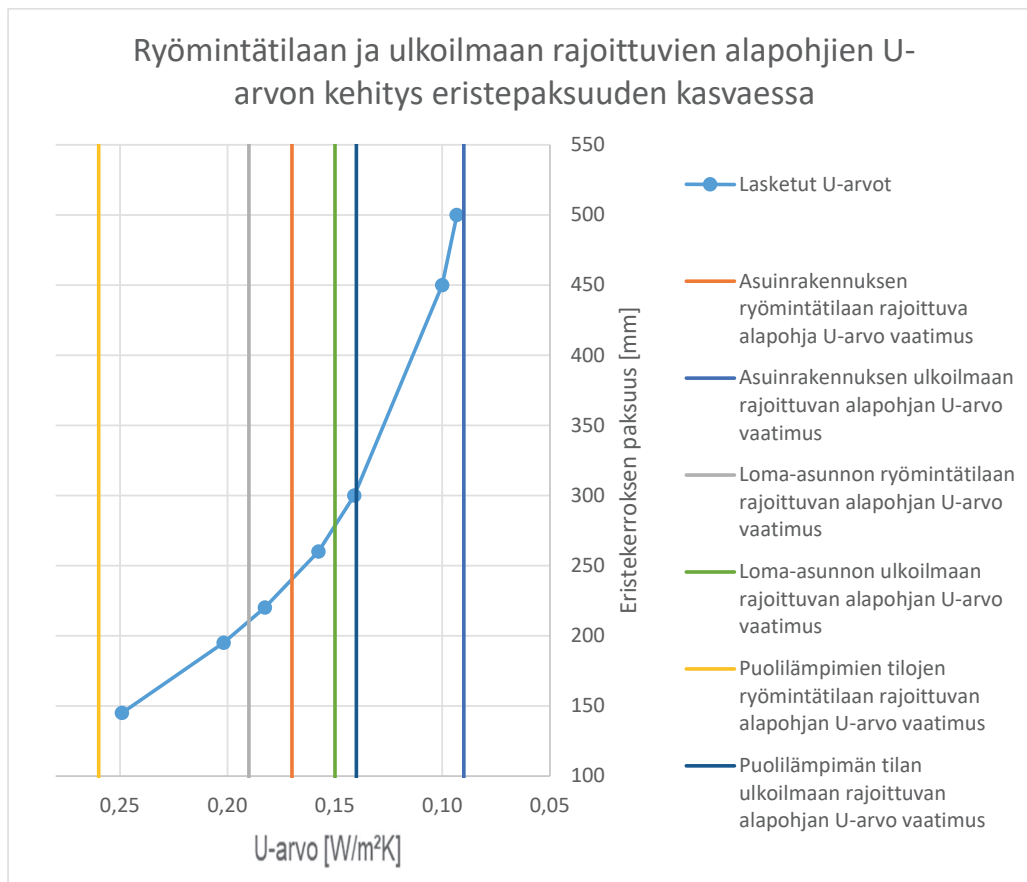


Kuva 13. Puurakenteisten yläpohjien U-arvon kehitys eristepaksuuden kasvaessa

Taulukossa 4 ja kuvassa 13 esitetään puurakenteisen yläpohjan U-arvon kehitys rakenteen eristepaksuuden kasvaessa. Vaaka-akselilla esitetään U-arvot ja pystyakselilla eristepaksuus. Alla kuvan 13 taulukon luku esimerkki.

Vaadittu U-arvo rakenteelle: 0,1 W/m<sup>2</sup>K

Vaadittu U-arvo saavutetaan ~425 mm eristepaksuudella.



Kuva 14. Puurakenteisten alapohjien U-arvon kehitys eristepaksuuden kasvaessa

Taulukossa 5 ja kuvassa 14 esitetään puurakenteisen ryömintätilaan tai ulkoilmaan rajoittuvan alapohjan U-arvon kehitys rakenteen eristepaksuuden kasvaessa. Vaaka-akselilla esitetään U-arvot ja pystyakselilla eristepaksuus. Alla kuvan 14 taulukon luku esimerkki.

Vaadittu U-arvo rakenteelle: 0,15 W/m²K

Vaadittu U-arvo saavutetaan ryömintätilaan rajoittuvassa alapohjassa asuinrakennuksessa ~230 mm eristepaksuudella.

## 2.4 Lämpöhäviöiden tasauslaskelma

Lämpöhäviöiden tasauslaskennassa tutkitaan rakennusosien, ilmavuotojen ja ilmanvaihdon kokonaislämpöhäviötä rakennuksessa. Rakennusosan lasketun U-arvon ei tarvitse täyttää vertailuarvoa. Parannettaessa jonkin toisen rakennusosan U-arvoa, vähennetään ilmavuotoja tai parannetaan ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa niin, että kokonaisuus alittaa vertailuratkaisun. (Ympäristöministeriö 2017, 9.)

Liitteessä 1 on laskettu esimerkki huoneistoalaltaan 105 htm<sup>2</sup>, kerrosalaltaan 114 kem<sup>2</sup> ja tilavuudeltaan 420 m<sup>3</sup> hirsirakennuksen tasauslaskelma, jossa on käytetty 202 mm paksuinen painumaton lamellihirsi ulkoseinärakenteena ja NR-vaarnapalkkirakenteinen yläpohja sekä maanvastainen alapohja. Laskelma on tehty ympäristöministeriön lämpöhäviön tasauslaskin 2018-ohjelmalla.

Rakennuksen vaipan lämpöhäviön laskennassa huomioidaan alapohjien, ulkoseinien, yläpohjien, ikkunoiden ja ovien pinta-alat ja lämmönläpäisykerroimet. Pinta-alat lasketaan rakennuksen kokonaissisämittojen mukaan, ikkunoiden ja ovien pinta-alat lasketaan kehämittojen mukaisesti. Rakennuksen vaipan lämpöhäviö lasketaan yhtälöllä 1 (Ympäristöministeriö 2017, 18–20.)

$$\begin{aligned} \sum H_{\text{joht}} = & \sum (U_{\text{ulkoseinä}} A_{\text{ulkoseinä}}) + \Sigma \sum (U_{\text{yläpohja}} A_{\text{yläpohja}}) \\ & + \sum (U_{\text{alapohja}} A_{\text{alapohja}}) + \sum (U_{\text{ikkuna}} A_{\text{ikkuna}}) \\ & + \sum (U_{\text{ovi}} A_{\text{ovi}}) \end{aligned} \quad (1)$$

jossa	$\Sigma H_{\text{joht}}$	rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö	W/K
	U	rakennusosan lämmönläpäisykerroin	W/m <sup>2</sup> K
	A	rakennusosan pinta-ala	m <sup>2</sup>

Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviön laskennassa huomioidaan rakennuksen vuotoilman määrä, joka määritetään valmiista rakennuksesta ilmatiiviyksmittauksella. Jos mitausta ei suoriteta, laskennassa oletetaan vuotoilmaluvun  $q_{50}$  olevan rakennuksen vaipan suurin sallittu luku joka on 4,0 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>) vertailuarvon ollessa 2,0 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>). Laskennassa huomioidaan myös rakennuksen kerrosmäärä. Vuotoilman lämpöhäviö saadaan laskettua yhtälöllä 2 (Ympäristöministeriö 2017, 24–26)

$$q_{v,\text{vuotoilma}} = \frac{q_{50}}{3600 * x} A_{\text{vaippa}} \quad (2)$$

jossa	$q_{v,\text{vuotoilma}}$	vuotoilmavirta	m <sup>3</sup> /s
	$q_{50}$	rakennuksen ilmanvuotoluku	m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )
	$A_{\text{vaippa}}$	rakennusvaipan pinta-ala	m <sup>2</sup>
	x	rakennuksen kerrosmäärästä	

riippuvainen kerroin, yksikerroksinen 35,  
 kaksikerroksinen 24, kolme- ja  
 nelikerroksinen 20 ja viisikerroksinen  
 tai korkeampi 15  
 3600 kerroin, jolla muutetaan m<sup>3</sup>/h  
 yksikköön m<sup>3</sup>/s

Ilmanvaihdon lämpöhäviöiden laskennassa huomioidaan poistoilmavirran määrä, joka on sama vertailu- ja suunnitteluratkaisuissa sekä ilmanvaihdon käyntiaikasuhteet taulukkoarvoin (kuva 15). Laskennassa huomioidaan myös ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, joka on vertailuratkaisussa 55 %, laskennassa käytetään laitevalmistajan ilmoittamaa arvoa. Jos rakennuksessa on useampi ilmanvaihtokone, lämpöhäviö lasketaan tarpeen mukaan jokaiselle koneelle erikseen. Ilmanvaihdon lämpöhäviö saadaan laskettua yhtälöllä 3. (Ympäristöministeriö 2017, 26–29.)

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} \tau_d \tau_v (1 - \eta_a) \quad (3)$$

jossa	$H_{iv}$	ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö	W/K
	$\rho_i$	ilman tiheys,	1,2 kg/m <sup>3</sup>
	$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti	1000 Ws/(kgK)
	$q_{v, poisto}$	standardikäytön mukainen laskennallinen poistoilmavirta	m <sup>3</sup> /s
	$\tau_d$	ilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, $\tau_d/24$ , missä $\tau_d$ on käyntipäivien lukumäärä viikossa	
	$\tau_v$	ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde, $\tau_w/7$ , missä $\tau_w$ on käyntipäivien lukumäärä viikossa	
	$\eta_a$	ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde, joka on lämmöntalteenottolaitteistolla vuodessa talteenotettavan ja hyödynnettävän energian suhde ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan, kun lämmöntalteenottoa ei ole	

Käyttötarkoitukseluokka	Käyttöajan ulkoilmavirta $\text{dm}^3/(\text{s m}^2)$	Käyttöajan ulkopuolinen ulkoilmavirta $\text{dm}^3/(\text{s m}^2)$	Käyntiaika $\tau_d$ , tunteja vuorokaudessa <sup>1)</sup>	Käyntiaika $\tau_w$ , päiviä viikossa	Käyntiajoilla painotettu ulkoilmavirta $\text{dm}^3/(\text{s m}^2)$
1. Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalo sekä enintään kahden asuinkerroksen asuinkerrostalo	0,4	-	24	7	0,4
2. Vähintään kolmen asuinkerroksen asuinkerrostalo	0,5	-	24	7	0,5
2. Vähintään kolmen asuinkerroksen asuinkerrostalo, ilmanvaihdon ohjaus <sup>2)</sup>	0,4	-	24	7	0,4
3. Toimistorakennus	2	0,15	11 + 2 = 13	5	0,866
4. Liikerakennus	2	0,15	13 + 2 = 15	6	1,141
5. Majoitusliikerakennus	2	-	24	7	2
6. Opetusrakennus ja päiväkot	3	0,15	8 + 2 = 10	5	0,998
7. Liikuntahalli	2	0,15	14 + 2 = 16	7	1,383
8. Sairaala	4	-	24	7	4
9. Muu rakennus	suunnitteluarvoilla				
<sup>1)</sup> Jos ilmanvaihto ei ole jatkuvasti päällä, lisätään rakennuksen käyttöajan alkuun ja loppuun yksi tunti lisää käyntiaikaa.					
<sup>2)</sup> Käyttötarkoitukseluokan 2 rakennuksessa, jossa asukkaalla on mahdollisuus ohjata tulo- ja poistoilmavirtoja siten, että niitä voidaan huoneistokohtaisesti tehostaa vähintään 30 % ja pienentää vähintään 40 % suunnitellun käyttöajan ilmavirroista, rakennuksen ulkoilmavirtana voidaan käyttää 0,4 $\text{dm}^3/(\text{s m}^2)$ .					

Kuva 15. Rakennuksen käyttötarkoitukseluokan mukaiset ilmanvaihdon käyntiajat (Ympäristöministeriö 2017, 28)

Hirsi- ja massiivipuorakenteisten seinien paksuuden vaikutus ominaislämpöhäviöön on merkittävä verraten vertailuratkaisuun, kuvassa 16 esitetään hirren paksuuden vaikutus ulkoseinien ominaislämpöhäviöön liitteen 1 mukaisen esimerkkikohteen pinta-aloilla. Esimerkkikohteen mukaisten pinta-alojen ja rakenneosien mukaisesti laskettuna 202 mm:n paksuinen hirsiseinä täyttää ominaislämpöhäviön vertailuratkaisun. Suorittamalla ilmanvuotoluvun mittauksen rakennukseen ja todentamalla sen olevan sama tai parempi kuin vertailuratkaisun mukainen arvo, 180 mm paksu hirsikin täyttäisi vaatimukset. Kuvassa 17 esitetään esimerkkikohteen mukaisten pinta-alojen ja rakenteiden mukaiset ominaislämpöhäviöt sekä eri paksuisten hirsiseinien vaikutus koko rakennuksen ominaislämpöhäviöön.



Hirsiseinän paksuuden vaikutus ulkoseinien ominaislämpöhäviöihin vertailuratkaisuun verrattuna				
Hirren paksuus [mm]	U-arvo, vertailu arvo	U-arvo, laskettu	Ominaislämpöhäviö, vertailu ratkaisu	Ominaislämpöhäviö, laskettu
134 mm	0,40 W/m <sup>2</sup> K	0,78 W/m <sup>2</sup> K	51,7 W/K	102,2 W/K
180 mm	0,40 W/m <sup>2</sup> K	0,60 W/m <sup>2</sup> K	51,7 W/K	78,6 W/K
202 mm	0,40 W/m <sup>2</sup> K	0,54 W/m <sup>2</sup> K	51,7 W/K	70,7 W/K
240 mm	0,40 W/m <sup>2</sup> K	0,46 W/m <sup>2</sup> K	51,7 W/K	60,3 W/K
275 mm	0,40 W/m <sup>2</sup> K	0,41 W/m <sup>2</sup> K	51,7 W/K	53,7 W/K

Kuva 16. Hirsiseinän paksuuden vaikutus ulkoseinien ominaislämpöhäviöihin esimerkkikohteessa

Muiden rakennusosien vaikutus ominaislämpöhäviöön vertailuratkaisuihin verrattuna					
	U-arvo, vertailu arvo	U-arvo, laskettu	Ominaislämpöhäviö, vertailu ratkaisu	Ominaislämpöhäviö, laskettu	
Yläpohja	0,09 W/m <sup>2</sup> K	0,08 W/m <sup>2</sup> K	10,4 W/K	9,2 W/K	
Alapohja (maanvastainen)	0,16 W/m <sup>2</sup> K	0,10 W/m <sup>2</sup> K	18,2 W/K	11,4 W/K	
Ikkunat	1,00 W/m <sup>2</sup> K	0,70 W/m <sup>2</sup> K	17,1 W/K	10,7 W/K	
Ulko-ovet ja tuuletusluukut	1,00 W/m <sup>2</sup> K	0,70 W/m <sup>2</sup> K	7,8 W/K	5,5 W/K	
Ilmanvuotoluvun vaikutus ominaislämpöhäviöihin					
Vertailu arvo	Suunnittelu arvo	Vuotoilmavirta, vertailuarvo	Vuotoilmavirta, suunnitteluarvo	Ominaislämpöhäviö, vertailuratkaisu	Ominaislämpöhäviö, laskettu
2,00 m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )	4,00 m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )	0,0063 m <sup>3</sup> /s	0,0126 m <sup>3</sup> /s	7,6 W/K	15,1 W/K
Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhteen vaikutus ominaislämpöhäviöihin					
Poistoilmavirta, vertailu arvo	Poistoilmavirta, suunnittelu arvo	Vuotoilmavirta, vertailuarvo	Vuotoilmavirta, suunnitteluarvo	Ominaislämpöhäviö, vertailuratkaisu	Ominaislämpöhäviö, laskettu
0,0460 m <sup>3</sup> /s	0,0460 m <sup>3</sup> /s	55 %	75 %	24,6 W/K	13,7 W/K
Hirsiseinän paksuuden vaikutus kokonais ominaislämpöhäviöihin vertailuratkaisuun verrattuna					
Hirren paksuus [mm]	U-arvo, vertailu arvo	U-arvo, laskettu	Ominaislämpöhäviö, vertailu ratkaisu	Ominaislämpöhäviö, laskettu	Ominaislämpöhäviö laskettu/vertailu
134 mm	0,40 W/m <sup>2</sup> K	0,78 W/m <sup>2</sup> K	137,4 W/K	167,8 W/K	-22,1 %
180 mm	0,40 W/m <sup>2</sup> K	0,60 W/m <sup>2</sup> K	137,4 W/K	144,2 W/K	-4,9 %
202 mm	0,40 W/m <sup>2</sup> K	0,54 W/m <sup>2</sup> K	137,4 W/K	136,3 W/K	0,8 %
240 mm	0,40 W/m <sup>2</sup> K	0,46 W/m <sup>2</sup> K	137,4 W/K	125,9 W/K	8,4 %
275 mm	0,40 W/m <sup>2</sup> K	0,41 W/m <sup>2</sup> K	137,4 W/K	119,3 W/K	13,2 %

Kuva 17. Eri rakennusosien vaikutus ominaislämpöhäviöihin verrattuna vertailuratkaisuihin ja hirsiseinän paksuuden vaikutus rakennuksen ominaislämpöhäviöön

### 3 HIRSITALON RUNGON LIITOKSET

Tilajan yhtenä tavoitteena tälle opinnäytetyölle oli saada hirsirakennuksen rungon pystytysohje. Tässä osiossa käsitellään pystyohjeeseen tulevien aiheiden määräyksiä ja vaatimuksia.

Hirsirakenteiden rakennusosien liittymät toteutetaan valmistajakohtaisesti. Tämä johtuu siitä, ettei puurakentamisessa ole hirsi- ja puurakenteiden liittymien osalta yhtenäistä standardia, jonka mukaan toimia. Jokaisella toimijalla on omanlaisensa rakennetyypit ja liitokset, joten liittymät tulee suunnitella yhteistyössä rakennesuunnittelijan ja osatoimitajan kesken tarpeen mukaisesti. (Puuinfo 2020f.) Liitoksissa tulee kiinnittää huomiota erityisesti ilmatiivyyteen ja rakenteiden suojaamiseen vedeltä. Hirsirakenteiden tulee olla ilmanpitävyydeltään verrattavissa mihin tahansa muuhunkin rakenteeseen. Hyvin toteutettujen liitosten tiivistäminen estää hallitsemattomat ilmavuodot. Teollisesti

valmistettujen hirsien pontit ja niissä käytettävät tiivisteet mahdollistavat vaadittavan ilmanpitävyyden. Ilmatiiviin lopputuloksen kannalta tärkein asia on, että asentajat perehtyvät asennusohjeisiin ja heillä on riittävä ammattitaito toteuttaa liitokset. (RT 82-11168: 2014; Puuinfo 2020c)

Teollisesti valmistettujen rakenneosien liitokset pystytään toteuttamaan hirsirakenteiden mittatarkkuusvaatimusten mukaisesti erittäin tarkasti hirsirakentamisessa pitkään hyödynnettyjen CAD-suunnittelun ja CAM-ohjelmistojen ansiosta (Siikanen 2016, 350). Hirsiteollisuus ry:n (2011, taulukko 3) julkaisemassa laatuvaatimusoppaassa esitetään hirsirakenteiden mittatarkkuusvaatimukset.

### **3.1 Hirsirakennuksen painumat**

Hirsirakennuksen painumat johtuvat puun luonnollisesta kosteuselämisestä sekä rakenteiden painon aiheuttamasta hirsien välisten ponttien tiivistymisestä (Siikanen. 2016, 353).

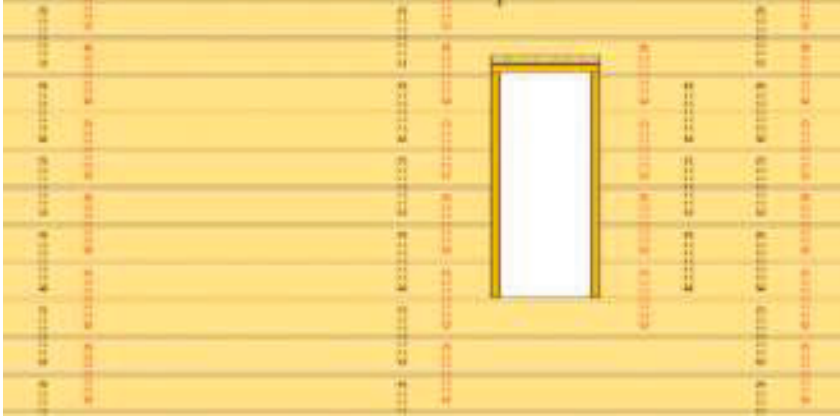
Hirsirakennus voidaan rakentaa pääsääntöisesti samoilla periaatteilla kuin muutkin pientalot, kun valitaan käytettäväksi painumaton ulkoseinärakenne. Painuvan ulkoseinärakenteen osalta tulee suunnittelussa ja rakentamisessa ottaa huomioon ylä- ja välipohjarakenteiden, ikkunoiden, ovien, portaiden, ranka- ja tiilirakenteisten väliseinien ja pilareiden liitoksissa sekä painumien aiheuttamat siirtymät. (RT 82-11168: 2014.)

### **3.2 Hirsien väliset liitokset ja hirsiseinän jäykistys**

Päällekkäiset hirret kiinnitetään toisiinsa vaarnatapeilla ja läpipulttauksella tai ruuvamalla riippuen siitä, onko kyseessä painuva vai painumaton rakenne. Hirret tiivistetään pontteihin asennettavalla tiivisteellä, joka voidaan asentaa hirteen tuotantolaitoksessa tai työmaalla. Vaarnatapeilla koottu hirsiseinä mahdollistaa seinän painumisen sekä estää hirsien pituussuuntaisen liikkeen toisiinsa nähden ja estää hirsien vääntymistä pois paikoiltaan. Vaarnatapid asennetaan hirsissä oleviin pystysuuntaisiin reikiin. Tapitusreiät sijaitsevat yleensä kahden vierekkäisen reiän ryhmissä, joihin tappi lyödään vuorotellen joka toiseen hirsikiertoon (kuva 18).

Pitkissä seinissä hirsitä joudutaan jatkamaan. Jatkokset suunnitellaan salvoksellisissa rakennuksissa salvosten kohtiin, joihin asennetaan naulauslevy salvoksen yläpintaan.

Salvoksettomissa rakennuksissa jatkosliitokset tehdään lohenvyrstöliitoksilla, jotka tehdään yleensä tuotantolaitoksissa valmiiksi hirsisiin. Jatkoskohdat tiivistetään ja eristetään kuten muutkin liitokset. (RT 82-11168: 2014.)



Kuva 18. Tapituksen periaatekuva (Puuinfo 2020d)

Vaarnatappien sijasta korkeissa ja paljon aukkoja sisältävissä seinissä voidaan käyttää teräsputkia, jotka asennetaan hirsissä oleviin seinän pystysuuntaisiin reikiin samalla periaatteella (RT 82-11168: 2014). Läpipulttauksella hirsiseinää jäykistetään painumien mukaisesti. Rakennuksen painuessa, pultteja kiristetään (Lauharo 2002, 15).

Hirsirakennuksissa nurkkaliitokset voidaan toteuttaa erityyppisillä salvoksilla tai jiiri- ja lohenvyrstöliitoksilla. Salvoksellinen nurkkaliitos tiivistetään salvoksen ympärille

asennusvaiheessa asennettavalla villaeristekaistalla. Jiiriliitos tiivistetään liitokseen asennusvaiheessa asennettavalla tiivisteellä (kuvat 19 ja 20) (Puuinfo 2020h).



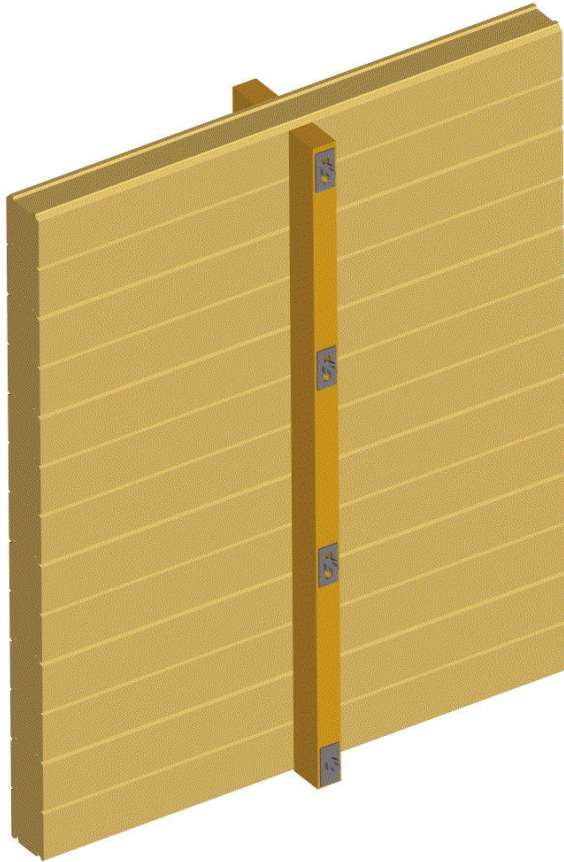
Kuva 19. Eristetty ja tiivistetty salvos nurkkaliitos (Finn-Bois MTR Oy 2022)



Kuva 20. Tiivistetty jiirinurkka (Finn-Bois MTR Oy 2022)

Pitkissä ja paljon aukkoja sisältävissä hirsiseinissä, joissa ei ole risteäviä hirsiseiniä, jäykistämiseen voidaan käyttää följäreitä, jotka ovat esimerkiksi liimapuusta valmistettuja hirsiseinän painumavaran verran hirsiseinän korkeutta lyhyempiä pilareita, jotka

asennetaan joko yksi- tai kaksipuolisesti hirsiseinään, tarpeen mukaisesti, pulttaamalla hirsiin tai seinän läpi toisiinsa. Följäreiden kiinnitysreiät ovat soikeat painuman mahdollistamiseksi (kuvat 21 ja 22) (Puuinfo. 2020d).



Kuva 21. Följärei (Puuinfo. 2020d)

Kantavien pilareiden liitokset kantaviin palkkeihin toteutetaan pilarin ylä- tai alapäähän asennettavalla säätöjalalla, jota säätämällä painumien aiheuttamia liikkeitä voidaan hallita (kuva 23).



Kuva 22. Hirsiseinään asennettu följäri (Finn-Bois MTR 2022)

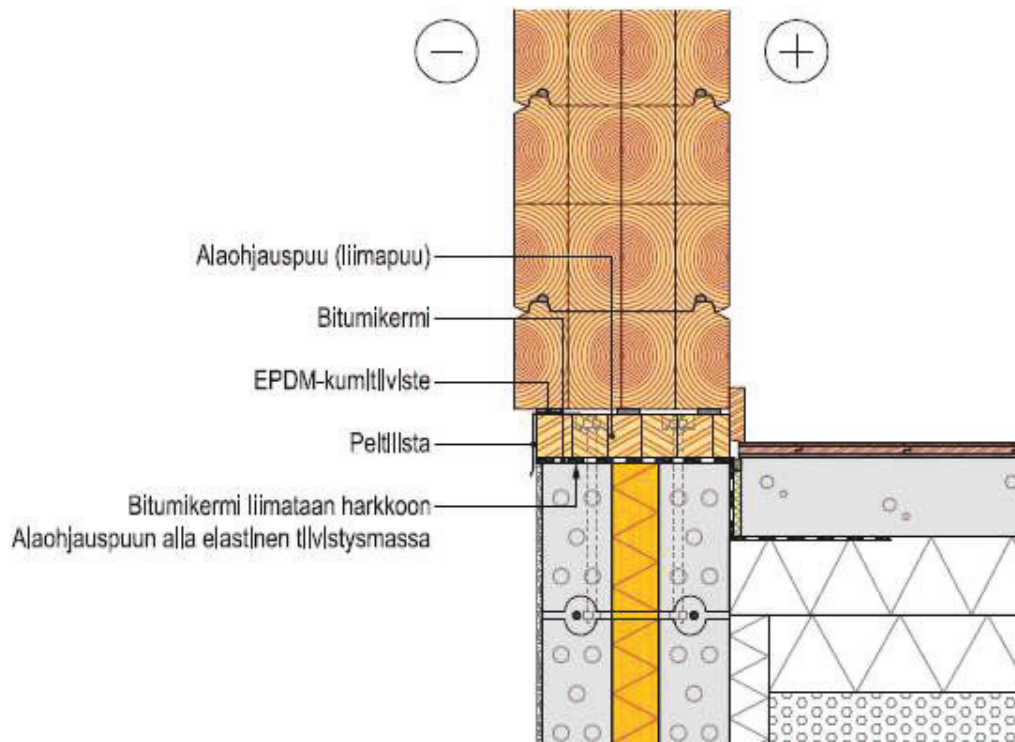


Kuva 23. Terassipilarin alapäähän asennettu säätöjalka (Finn-Bois MTR 2022)

### 3.3 Perustus- ja alapohjaliittymät

Hirsiseinän asennus voidaan aloittaa betonirakenteen päältä, kun betonirakenteiden ja puurakenteen väliin asennetaan kosteussulku. Kosteussulkuna toimii esimerkiksi bitumi-uopakaista tai bitumisively. Hirren alle asennetaan myös tiivistysnauha. Kosteussulun asennuksessa tulee huomioida mahdolliset perustuksiin asennetut hirsiseinien vaakasuuntaisten siirtymien estävät tartuntatapit. Periaateliitos esitetään kuvassa 24. Hirsiseinän asennus voidaan aloittaa myös perustukseen liitetyn puurakenteen päältä, mikä on edellä mainitun mukaisesti erotettu betonirakenteesta kosteussululla sekä tiivistysnauhalla ja kiinnitetty esimerkiksi betoniruuveilla perustukseen, johon alin hirsikierto kiinnitetään esimerkiksi ruuvaamalla. Hirret voidaan kiinnittää perustuksiin myös betoni- tai harkkoruuveilla suoraan hirren läpi tai niille varatuista rei'istä huomioiden betoni- ja puurakenteen välinen kosteuseristys. (RT 82-11168: 2014, 5; Siikanen. 2016, 336.)

Alapohjien liittymissä hirsiseiniin on huomioitava höyryn- ja/tai ilmansulkujen liitokset, betonirakenteiden kosteuseristäminen puurakenteista sekä puun ja betonin kosteuden muutoksista johtuvat liikkeet irrotuskaistoilla tai muilla liikkeen sallivilla osilla (RT 82-11168: 2014; Siikanen 2016, 336).



Kuva 24. Maanvastainen perustus ja ulkoseinän periaateliitos (Puuinfo 2020a)

### 3.4 Välipohjaliittymät

Hirsirakennuksissa puurakenteisten välipohjien liittymät seiniin voidaan toteuttaa joko erilaisilla loviratkaisuilla tai erilaisilla palkkikenkäliitoksilla. Liitoksissa tulee huomioida kuormien siirtyminen, tiiviys, värähtely ja äänitekniset asiat, näistä useimmiten mitoitettavaksi tekijäksi tulee värähtely (Puuinfo 2020e). Omakotitalon huoneiston sisäiselle välipohjalle ei ole ääneneristävyyss- eikä askeläänen eristävyysvaatimuksia. Huoneistojen välisille, esimerkiksi kerrostaloissa, välipohjille ääneneristävyyssvaatimukset ovat sitä luokkaa, ettei pelkällä palkkirakenteella niitä saavuteta ilman massiivista levyrakennetta, liittorakenteista betonilaattaa tai akustisia palkistoon asennettavia jousirankarakenteita. (Puuinfo 2020i; Siikanen 2016, 263–266.)

### 3.5 Yläpohjaliittymät

Perinteinen höylähirsirakennus painuu 10–50 mm/korkeusmetri, jos harjakattoisen palkkirakenteisen yläpohjan rakennuksen päätykolmiot ovat hirsirakenteiset, painuma on suurempi katon harjalla kuin seinillä, jos painumia ei ole huomioitu hirsiseinille, aiheutuu ylimääräisiä vaakakuormia. Painuma huomioidaan palkkien kiinnityksessä. Alapään liitos tehdään ns. liukuvaksi teräsosalla, joka sallii katon kohtisuoraan harjaa



vasten olevan sivuttaisliikkeen estäen kuitenkin harjansuuntaisen ja pystysuuntaisen liikkeen. Yläpään liitos tehdään niveleksi esimerkiksi naulauslevyillä tai harjapalkkiin kiinnitettävillä kulmarauodoilla. (RT 82-11168: 2014, 4; Siikanen 2016, 353.)

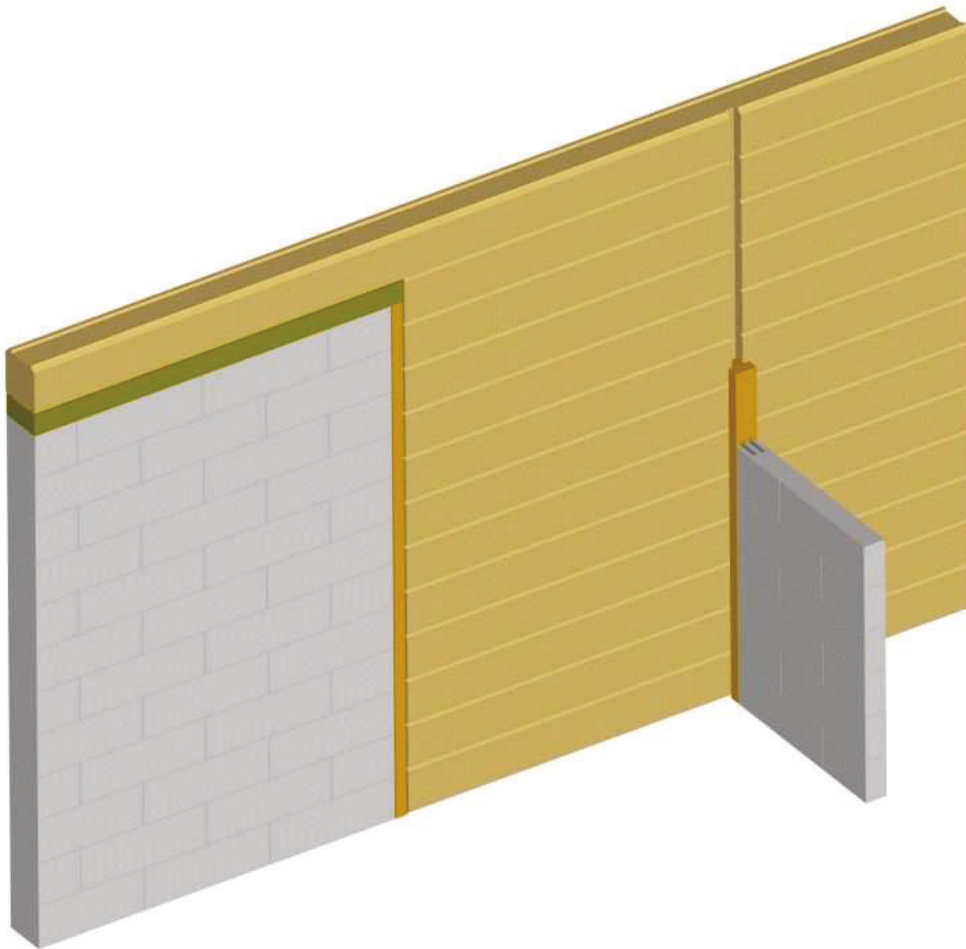
Naulalevyristikkorakenteessa ei tarvitse harjalla erillistä pystysuuntaista tukea, joten painumia ei tarvitse normaalitapauksessa huomioida. Hirsiseinien yläpäiden ollessa eri korkeuksissa painumat tulee huomioida. Hirsiseinien yläpäiden ollessa samassa korkeudessa painuminen on tasaista eikä aiheuta yläpohjarakenteelle eikä seinärakenteelle ylimääräisiä kuormia (Siikanen. 2016, 356).

Painumatonta hirttä käytettäessä yläpohjien liittymät voidaan toteuttaa samaan tapaan kuin esimerkiksi rankarunkoisessa rakennuksessa (RT 82-11168: Hirsitalon suunniteluperusteet 2014, 4).

Yläpohjarakenteiden hirsiseinien aiheuttamat painumat täytyy huomioida läpivientien suunnittelussa ja toteuttamisessa niin, että hormien paloetäisyydet ovat riittävät ja läpiviennit säilyvät tiiviinä (RT 82-11168: 2014, 4; Siikanen 2016, 353).

### **3.6 Rankarakenteiset ja muuratut väliseinät**

Rankarakenteisten ja muurattujen väliseinien liitoksissa kantaviin painuviin hirsiseiniin tulee huomioida painumat esimerkiksi liukurauodoilla tai karalankuilla. Periaate liitos esitetään kuvassa 25. Rankarakenteisten ja muurattujen väliseinän väli- tai yläpohjaliitoksiin tulee jättää yläpään painumavara ja huomioida seinän mahdolliset kosteus-, palo ja ääneneristysvaatimukset. (Siikanen 2016, 355–356.) Painumatonta hirttä käytettäessä liitokset toteutetaan kuten muissakin puurakenteissa (RT 82-11168, 4).



Kuva 25. Muurattujen seinien painuvan hirren liitosperiaate (Puuinfo 2020d)

### 3.7 Ikkunat, ovet ja muut aukot

Ikkunoiden, ovien ja muiden aukkojen tai suurempien läpivientien liitoksissa painuvaan hirsiseinään painuma huomioidaan aukon pystypieliin asennettavilla karalankuilla, jotka jäykistävät aukon laidat, mutta mahdollistavat hirsiseinän painumisen. Aukkojen ylälaitaan jätetään painumisen mahdollistava varaus, joka tiivistetään painumisen mahdollistavilla eristeellä (Siikanen. 2016, 355; Puuinfo. 2020. Rungon toimintaperiaate).

Karalankku on yleensä hirsiseinän paksuinen lankku, johon on kiinnitetty rima, joka uppoaa hirsiseinän aukossa olevaan loveukseen. Karalankkuihin kiinnitetään asennuksen yhteydessä villakaista, joka tiivistää liitoksen. Tarpeen vaatiessa karalankkuihin voidaan asentaa myös tiivistenauha.

#### 4 PALKKIKATTOELEMENTTI

Yhtenä tilaajayrityksen tuotekehityksaiheena tämän opinnäytetyön yhteyteen oli vesikattorakenteiden elementoinnin tutkiminen ja sen vaikutus vesikattojen asentamisen sekä valmistamisen kustannuksiin esimerkkikohteessa, mikä voitaisiin jatkojalostaa yrityksen tarjoamaksi vakiotuotteeksi.

Vesikatto on kokonaisuus, joka erottaa rakennuksen ylimmän tilan ja ulkoilman toisistaan. Vesikattoon kuuluu seuraavat rakenneosat rakennuksen sisäpuolelta ulospäin, joiden on toimittava yhdessä,

- sisäpuolen pintamateriaali
- alaslaskutila
- höyryn- tai ilmansulku
- lämmöneriste
- tuuletustila
- aluskatemateriaalin alusrakenne
- aluskate
- pintakate. (Kattoliitto. 2019)

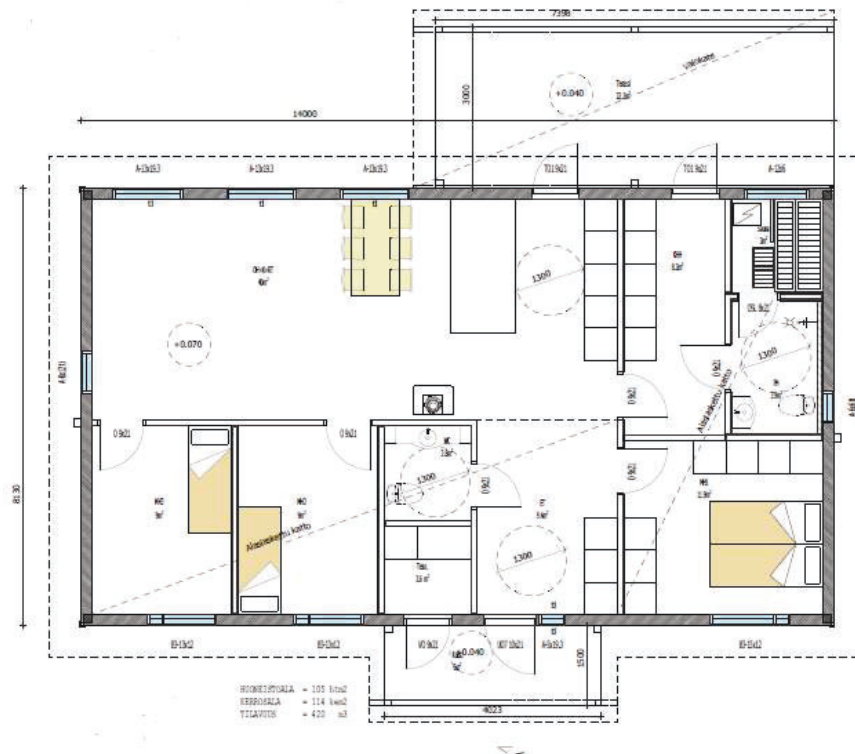
Palkkikattoelementti voidaan valmistaa kahdella eri tavalla, niin että elementin palkisto asennetaan kohtisuoraan harjaa vasten ja näin elementin palkisto toimii pääpalkkeina ja eristekerroksen rakenteena tai niin, että elementin palkisto asennetaan pääpalkkien päälle. Elementtien pituus voi olla kerto- tai liimapuusta valmistettuna 12–18 m ja leveys noin 2,5 m (Suomen liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy 2014, 41).

Palkkikattoelementin kantavan rakenteen materiaali voi olla puu- tai teräspalkisto tai ristikkorakenne. Elementtien kantavat rakenteet, osat ja jäykistys mitoitetaan RIL-205-1-2017 Puurakenteiden suunnitteluohjeen ja Puuinfon sovelluslaskelmien mukaisesti (Puuinfo 2020j.)

Tässä työssä tutkittiin elementtien valmistusta, asennusta ja liitoksia pienikokoiseen vapaa-ajan asuntoon sekä materiaali- ja työmenekkejä esimerkkiomakotitalokohteeseen. Elementtien kantavat rakenteet mitoitetaan kohdekohtaisesti. Esimerkkikohde on pulpettikattoinen. Katemateriaalina käytetään peltikatetta, mutta elementit soveltuvat käytettäväksi myös muilla kattotyypeillä ja katemateriaaleilla. Esimerkkikohde on toteutettu painumattomalla hirrellä. Elementtien käyttöä painuvarakenteisessa kohteessa tulee tutkia erikseen.

#### 4.1 Esimerkkikohde

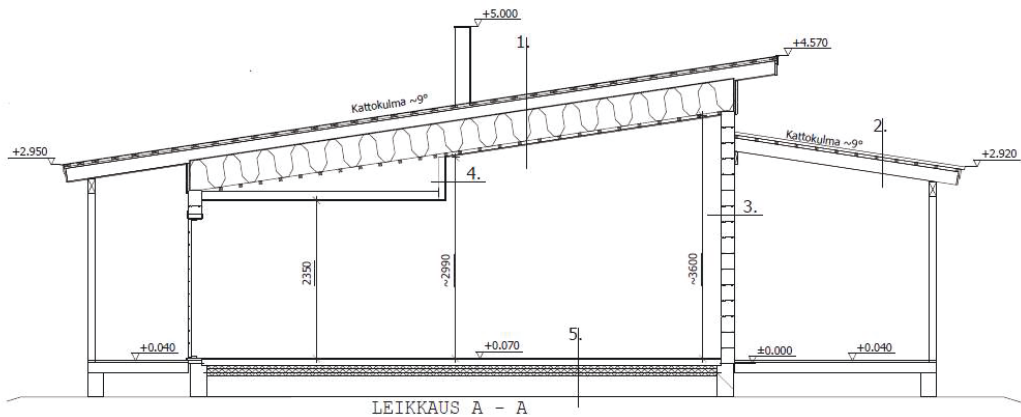
Esimerkkikohde sijaitsee Etelä-Savossa, jossa lumikuorman arvo  $s_k$  on  $2,50 \text{ kN/m}^2$ . Rakennus kuuluu maastoluokkaan 2 ja tuulen nopeuspaineen ominaisarvo on  $q_k(h)$   $0,48 \text{ kN/m}^2$ . Kohde on jo toteutettu rakennus, jossa yläpohjarakenteena käytettiin naulalevyristikkoa. Taulukossa 6 esitetään esimerkkikohteen tietoja. Kuvissa 26 ja 27 esimerkkikohteen pohja- ja leikkauskuva.



Kuva 26. Esimerkkikohteen pohjakuva (Finn-Bois MTR Oy 2022)

Omakotitalo	114 kem <sup>2</sup>
Rakennuksen pituus	14 m
Rakennuksen leveys	8,13 m
Kantava ulkoseinä	Hirsi 202x234, painumaton hirsi
Katto	Pulpettikatto $\sim 9^\circ$ , U-arvo $0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$ , peltikate

Taulukko 6. esimerkkikohteen lähtötietoja



Kuva 27. Esimerkkikohteen leikkauskuva (Finn-Bois MTR Oy 2022)

## 4.2 Elementit

Elementtien leveys valikoitui kuljetukseen käytettävän kaluston ja määräyksien mukaisesti sekä levyrakenteiden vakioitoitusmittojen mukaisesti. Elementin pituus ja suunta määräytyivät rakennetyypin mukaisen kantavan rakenteen mahdollistaman jännevälin mukaisesti. Kuvassa 28 esitetään yhden elementin paino ja taulukossa 7 elementtien mitat. Kuvassa 29 esitetään elementtijako.

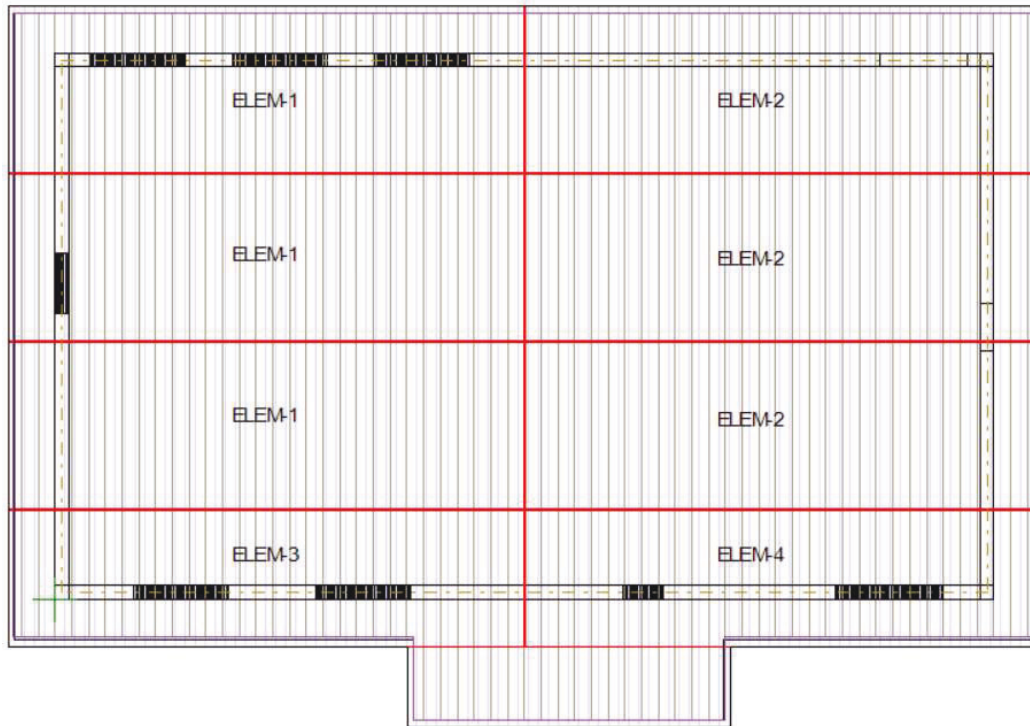
Elementin mitat:						
Pituus: 7000 mm						
Leveys: 2429 mm						
	Leveys	Paksuus:	k-jako	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	
Katemateriaali:						0,05
Ruodelauta:	100 mm	32 mm	300	5	0,05	
Korokerima+kiinnitysrima:	90 mm	90 mm	900	5	0,05	
Vaneri:		15 mm		5	0,08	
Runko:	57 mm	450 mm	1200	5	0,11	
Eriste:		400 mm		0,37	0,15	
Puukuitulevy:		12 mm		4	0,05	
Koolaus:	45 mm	120 mm	600	5	0,05	
Eriste:		120 mm		0,37	0,04	
Koolaus:	100 mm	22 mm	600	5	0,02	
Pintamateriaali:						0,05
Räystäät	45 mm	145 mm	900	5	0,01	
					0,69	
Yhden täyden elementin paino:					11,7 kN	

Kuva 28. Yhden elementin paino

Taulukko 7. Elementit ja niiden mitat

Elementtinumero	Määrä	Leveys	Pituus
-----------------	-------	--------	--------

1	3	2429	6980
2	3	2429	6980
3	1	2095	6980
4	1	2095	6980



Kuva 29. Elementtijako

#### 4.2.1 Kantava rakenne

Harjalle asti korotetuissa sisäkatoissa elementtien kantava rakenne on mahdollista toteuttaa liima- tai kertopuupalkkeina tai naulalevyristikkorakenteena. Tasallaan olevat eli suorat sisäkatot kannattaa toteuttaa elementeistä naulalevyristikkorakenteisena tai muilla ristikkorakenteilla. Kantavana rakenteena käytetään 57x450 kertopuupalkkistoa k1200-jaolla. Palkkisto kannatellaan hirsiseiniä päälle ja keskialueella, elementtien liitoksen kohdalta, liimapuupalkin päälle. Rakennelaskelmat esitetään liitteessä 2.

#### 4.2.2 Lämmön- ja vedeneristys

Yläpohjarakenteiden lämmöneristys toteutetaan noudattaen *Ratu 0437 2015, Lämmöneristys* -ohjeita ja -määräyksiä. Vesikaton vedeneristys toteutetaan noudattaen *Ratu 0431 2015, Vedeneristys, vesikaton vedeneristys* -ohjeita ja -määräyksiä.

Palkkikattoelementin kotelorakenne on mahdollista eristää levyeristeillä tai puhallettavalla eristeellä. Puhallettavien eristeitä käytettäessä on huomioitava painumat, jotka ovat 10–20 % verran (Ratu 0437: 2015). Lämmöneristeinä käytetään puhallettavaa puukuitueristettä, joka tiivistetään asennusvaiheessa päälle asennettavalla puukuitueristelevyllä, joka vastaa painumavaran paksuutta. Elementin alapintaan asennetaan k900 45x120 mm<sup>2</sup> lankkukoolaus, johon asennetaan 120 mm puukuitueriste sekä ilmansulkupaperi ja pintamateriaalin kiinnityskoolaus. Elementtien välisiin saumoihin asennetaan 30 mm paksuinen villakaista.

Aluskatteena rakenteessa toimii kondenssisuojattu vapaasti asennettava (AKV) kuitukankainen aluskate, joka kiinnitetään kiinnitysrimoilla ja saumat limitetään tuoteohjeen mukaisesti.

#### 4.2.3 Jäykistys ja liitokset

Elementtien palkiston ylälaitaan asennetaan vanerilevytytys, joka toimii jäykistävänä rakenneosana elementissä ja tukialueilla. Jäykistyslaskelmat esitetään liitteessä 3. Palkiston keskelle asennetaan kiepahduksen estävät väli- ja päätytuennat kertopuusta. Liitososilla voimat siirretään elementiltä elementille ja kantaville pystyrakenteille. Elementtien väliset liitokset toteutetaan palkiston ylälaitaan asennettavilla 60x200 mm<sup>2</sup> naulauslevyillä, sekä sisäpuolisen koolauspuuhun asennettavalla ruuvauksella. Elementit kiinnitetään hirsiseiniin Simpson Strongtie VIG40417 kulmalevyillä tai vastaavilla kulmalevyillä kuusi kpl/elementti, jotka kiinnitetään pulteilla ja ruuveilla elementteihin ja seiniin. Elementtien väliset päätyliitokset toteutetaan toisen elementin kiinnittämällä kulmalevyillä liimapuupalkkiin ja elementtien välisellä vinoruuvauksella.

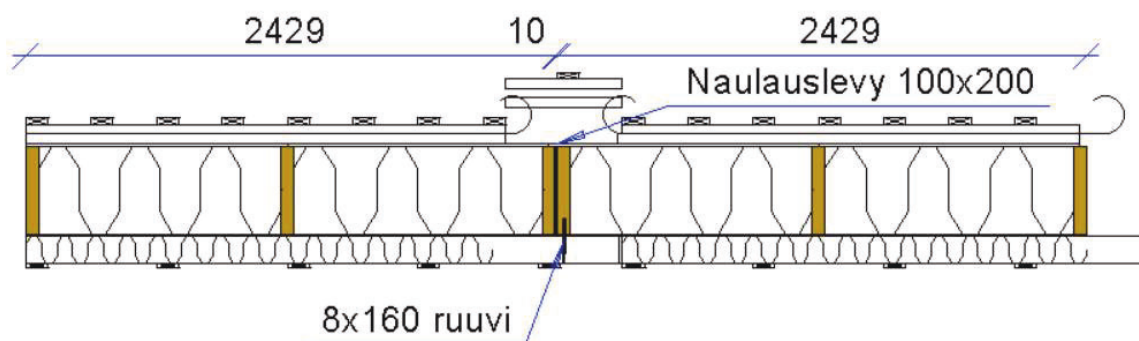
Liitososat valitaan Simpson Strongtien tarjoaman puurakennuskiinnikkeet julkaisun mitoitus- ja kestävyystaulukkojen perusteella vastaamaan kuormituksia. Liitokset, liitososat ja jäykistys mitoitetaan RIL 205-1-2017 *Puurakenteiden suunnitteluohje* määräysten mukaisesti. Kuvassa 30 esitetään kiinnityksessä käytettävät naulaus- ja kulmalevy. Kattoelementtien tuulikuormat, jotka esitetään kuvassa 31, laskenta on suoritettu RIL 201-1-2017 *Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat* kirjan mukaisesti voimakeroimen menetelmällä.



Kuva 30. Simpson Strongtie kulmalevy ja naulauslevy (Simpson Strongtie 2014, 35, 97)

Rakennuksen korkeus=	4,5 m
Rakennuksen leveys b=	8,1 m
Rakennuksen pituus d=	14,0 m
Tuulen nopeuspaineen $q_p(h) = 0,48 \text{ kN/m}^2$	
$d/b =$	1,72
$b/d =$	0,58
$\lambda =$	6,22
$\lambda =$	3,62
$C_f =$	1,33
$C_f =$	1,5
Tuulikuorma sivuseinä =	6,7 kN
Tuulikuorma päätyseinä =	4,4 kN

Kuva 31. Kattoelementteihin vaikuttavan tuulikuorman laskelma



Kuva 32. Elementtien välinen liitos detalji

### 4.3 Valmistuksen materiaali- ja työmenekit

Elementtien valmistuksen työmenekit ovat ohjeellisia ja suuntaa antavia ennen prototyyppien valmistamista. Määrä- ja menekkilaskenta suoritettiin



soveltaen seuraavia ohjeita ja määräyksiä: Ratu 0423 2014. Puurunkorakentaminen, vesikattorakenteet, Ratu 0416 2014. Puurunkorakentaminen, paikalla rakennettu puurunko, Ratu 0436 2014. Puuelementtirakentaminen, väli- ja yläpohjaelementit, Ratu 0427 2014. Puupintarakentaminen, sisäpuolinen puuverhous ja -päällystys ja Ratu 0437 2015. Lämmöneristys.

ELEMENTTIRAKENTEISEN KATON MATERIAALIMENEKIT					
	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Hukka%	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>		
Katemateriaali	<i>Toimittajan mukaan</i>				
Ruodelauta 32x100	0,11	1,10	0,12 m <sup>3</sup>	Kertopuu 57x450= 0,04 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> Puutavara= 0,39 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> Levyvilla= 0,22 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> Puhallusvilla= 0,32 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> Puukuitulevy= 0,01 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> Pintamateriaali= 0,02 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>  Yhteensä= 0,99 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	
Korokerima+kiinnitysrima 2x45x45	0,09	1,10	0,10 m <sup>3</sup>		
Vaneri 15mm	0,02	1,02	0,02 m <sup>3</sup>		
Runko 57x400	0,02	1,10	0,02 m <sup>3</sup>		
Levyvilla 100mm	0,10	1,00	0,10 m <sup>3</sup>		
Puhallusvilla 400mm	0,30	1,05	0,32 m <sup>3</sup>		
Puukuitulevy 12mm	0,01	1,02	0,01 m <sup>3</sup>		
Koolaus 45x120	0,09	1,10	0,10 m <sup>3</sup>		
Levyvilla 120mm	0,12	1,00	0,12 m <sup>3</sup>		
Koolaus 22x100	0,04	1,10	0,04 m <sup>3</sup>		
Pintamateriaali	0,02	1,10	0,02 m <sup>3</sup>		
	m/elementti	Hukka%	m/elementti		m <sup>3</sup> /elementti
Rungon päädyt + keskätuki	7,2	1,1	7,92		0,20
Räystäät 45x145	4,41	1,1	4,851	0,03	

Kuva 33. Elementin materiaalimenekit

YHDEN ELEMENTIN VALMISTAMINEN TYÖMENEKKI				
	Määrä	Työmenekki (T3)	Yhteensä	
Tuulensuojalevyn asennus ja saumojen teippaus		17,0 m <sup>2</sup>	0,05 tth/m <sup>2</sup>	0,85 tth
2xkoolaus + ilman- tai höyrysulku		17,0 m <sup>2</sup>	0,12 tth/m <sup>2</sup>	2,04 tth
Eriste, koolauksen väliin		17,0 m <sup>2</sup>	0,04 tth/m <sup>2</sup>	0,68 tth
Puhallusvilla, vapaapuhallus		4,74 m <sup>3</sup>	0,09 tth/m <sup>3</sup>	0,43 tth
Levyvilla, päälle	1,00 kerros		0,08 tth/kerros	0,08 tth
Vanerin asennus		17,0 m <sup>2</sup>	0,12 tth/m <sup>2</sup>	2,04 tth
Korokerima		17,0 m <sup>2</sup>	0,06 tth/m <sup>2</sup>	1,02 tth
Aluskate		17,0 m <sup>2</sup>	0,02 tth/m <sup>2</sup>	0,34 tth
Kiinnitysrima		17,0 m <sup>2</sup>	0,06 tth/m <sup>2</sup>	1,02 tth
Ruodelauta		17,0 m <sup>2</sup>	0,10 tth/m <sup>2</sup>	1,70 tth
Räystäät		47,0 jm	0,05 tth/jm	2,35 tth
Nostot (1xkääntö + varastointi)		2,0 kpl	0,01 tth/kpl	0,02 tth
				12,57 tth
			Työnkesto	0,8 tv

Kuva 34. Yhden elementin valmistamisen työmenekit

## 5 VINOJEN YLÄPOHJARAKENTEIDEN MATERIAALI- JA TYÖMENEKIN VER- TAILU

Kustannusvertailu työ- ja materiaalimenekeistä suoritettiin kolmen eri rakenneratkaisun välillä: paikalla rakennettu palkkikatto, paikalla rakennettu naulalevyristikkokatto ja palkki- tai naulalevyristikko elementti.

### 5.1 Materiaalimenekit

Rakenteiden materiaalimenekkien laskenta suoritettiin Ratu 0423 2014. *Puurunkorakentaminen, vesikattorakenteet*, Ratu 0416 2014. *Puurunkorakentaminen, paikalla rakennettu puurunko*, Ratu 0436 2014. *Puuelementtirakentaminen, väli- ja yläpohjaelementit*, Ratu 0427 2014. *Puupintarakentaminen, sisäpuolinen puuverhous ja -päällystys* ja Ratu 0437 2015. *Lämmöneristys ohjeiden ja määräysten mukaisesti*.

Eri kattorakenteiden materiaalimenekit on esitetty kuvissa 31, 32 ja 33.

ELEMENTTIRAKENTEISEN KATON MATERIAALIMENEKIT				
	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Hukka%	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	
Katemateriaali	<i>Toimittajan mukaan</i>			Kertopuu 57x450= 0,03 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Ruodelauta 32x100	0,11	1,10	0,12 m <sup>3</sup>	Puutavara= 0,39 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Korokerima+kiinnitysrima 2x45x45	0,09	1,10	0,10 m <sup>3</sup>	Levyvilla= 0,22 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Vaneri 15mm	0,02	1,02	0,02 m <sup>3</sup>	Puhallusvilla= 0,32 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Runko 57x400	0,02	1,10	0,02 m <sup>3</sup>	Puukuitulevy= 0,01 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Levyvilla 100mm	0,10	1,00	0,10 m <sup>3</sup>	Pintamateriaali= 0,02 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Puhallusvilla 400mm	0,30	1,05	0,32 m <sup>3</sup>	
Puukuitulevy 12mm	0,01	1,02	0,01 m <sup>3</sup>	Yhteensä= 0,98 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Koolaus 45x120	0,09	1,10	0,10 m <sup>3</sup>	
Levyvilla 120mm	0,12	1,00	0,12 m <sup>3</sup>	
Koolaus 22x100	0,04	1,10	0,04 m <sup>3</sup>	
Pintamateriaali	0,02	1,10	0,02 m <sup>3</sup>	
	m/elementti	Hukka%	m/elementti	m <sup>3</sup> /elementti
Rungon päädyt + keskituki	7,2	1,1	7,92	0,18
Räystäät 45x145	4,41	1,1	4,851	0,03

Kuva 35. Elementtirakenteisen katon materiaalimenekit

PALKKIRAKENTEISEN KATON MATERIAALIMENEKIT				
	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Hukka%	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	
Katemateriaali	<i>Toimittajan mukaan</i>			Kertopuu 45x500= 0,02 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Ruodelauta 32x100	0,11	1,10	0,12 m <sup>3</sup>	Puutavara= 0,36 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Korokerima+kiinnitysrima 2x45x45	0,09	1,10	0,10 m <sup>3</sup>	Levyvilla= 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Vaneri 15mm	0,02	1,02	0,02 m <sup>3</sup>	Puhallusvilla= 0,42 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Runko 45x500	0,02	1,10	0,02 m <sup>3</sup>	Puukuitulevy= 0,01 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Puhallusvilla 500mm	0,40	1,05	0,42 m <sup>3</sup>	Pintamateriaali= 0,02 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Puukuitulevy 12mm	0,01	1,02	0,01 m <sup>3</sup>	Yhteensä= 0,88 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Koolaus 48x48	0,04	1,10	0,04 m <sup>3</sup>	
Levyvilla 50mm	0,05	1,00	0,05 m <sup>3</sup>	
Koolaus 22x100	0,04	1,10	0,04 m <sup>3</sup>	
Pintamateriaali	0,02	1,10	0,02 m <sup>3</sup>	
Räystäät 45x145	0,05	1,1	0,06 m <sup>3</sup>	

Kuva 36. Palkkirakenteisen katon materiaalimenekit

RISTIKKORAKENTEISEN KATON MATERIAALIMENEKIT				
	$m^3/m^2$ / kpl/m	Hukka%	$m^3/m^2$	
Katemateriaali	<i>Toimittajan mukaan</i>			
Ruodelauta 32x100	0,11	1,10	0,12 $m^3$	Kattoristikko 1,11 kpl/m
Korokerima+kiinnitysrima 2x45x45	0,09	1,10	0,10 $m^3$	Puutavara= 0,30 $m^3/m^2$
Vaneri 15mm	0,02	1,02	0,02 $m^3$	Levyvilla= 0,05 $m^3/m^2$
Kattoristikko	1,11			Puhallusvilla= 0,42 $m^3/m^2$
Puhallusvilla 500mm	0,40	1,05	0,42 $m^3$	Puukuitulevy= 0,01 $m^3/m^2$
Puukuitulevy 12mm	0,01	1,02	0,01 $m^3$	Pintamateriaali= 0,02 $m^3/m^2$
Koolaus 48x48	0,04	1,10	0,04 $m^3$	Yhteensä= 0,80 $m^3/m^2$
Levyvilla 50mm	0,05	1,00	0,05 $m^3$	
Koolaus 22x100	0,04	1,10	0,04 $m^3$	
Pintamateriaali	0,02	1,10	0,02 $m^3$	

Kuva 37. Ristikkorakenteisen katon materiaalimenekit

## 5.2 Asennuksen työmenekit

Yläpohjarakenteiden asennuksen työmenekkien laskenta suoritettiin Ratu 0423 2014. *Puurunkorakentaminen, vesikattorakenteet*, Ratu 0416 2014. *Puurunkorakentaminen, paikalla rakennettu puurunko*, Ratu 0436 2014. *Puuelementtirakentaminen, väli- ja yläpohjaelementit*, Ratu 0427 2014. *Puupintarakentaminen, sisäpuolinen puuverhous ja -päällystys* ja Ratu 0437 2015. *Lämmöneristys* ohjeiden ja määräysten mukaisesti. Asennuksen työmenekkien laskennassa huomioidaan tekijät, jotka vaikuttavat asetetun tavoitteen saavuttamiseksi. Tavoitteena on aluskatteella oleva vesi- ja lämmöneristetty rakenne.

Yläpohjan asennus suoritetaan 2+1-kokoisella työryhmällä, jossa on kaksi asentajaa ja yksi nostolaitteen käyttäjä. Eri yläpohjien asennuksien työmenekit esitetään kuvissa 34, 35 ja 36.

RISTIKKORAKENTEISEN YLÄPOHJAN ASENNUKSEN TYÖMENEKKI			
Työmenekit ja kestot			
Työnosa	Määrä	Työmenekki (T3)	Yhteensä
Tavaran vastaanotto ja välivarastointi	16 kpl	0,01 tth/kpl	0,16 tth
Mittaus	16 katto-m <sup>2</sup>	0,04 tth/kpl	0,64 tth
<b>Elementin asennus</b>			
-Kattoristikot (7000mm < xxx > 12000mm)	16 kpl	0,4 tth/kpl	6,40 tth
Räystäsrakenne	47 m	0,4 tth/jm	18,80 tth
Katealusta	147 katto-m <sup>2</sup>	0,1 tth/kpl	14,70 tth
Suojaus ja siivous	147 katto-m <sup>2</sup>	0,01 tth/katto-m <sup>2</sup>	1,47 tth
Ilman- tai höyrynsulku	114,1 katto-m <sup>2</sup>	0,02 tth/katto-m <sup>2</sup>	2,28 tth
Sisäpuolen koolaus k600	114,1 katto-m <sup>2</sup>	0,06 tth/katto-m <sup>2</sup>	6,85 tth
Puhallusvillakaluston valmistelu	114,1 katto-m <sup>2</sup>	1 tth/150katto-m <sup>2</sup>	0,76 tth
Ontelopuhallus	57,05 m <sup>3</sup>	0,13 tth/m <sup>3</sup>	0,38 tth
Puhallusvillakaluston purku ja siivous	114,1 katto-m <sup>2</sup>	0,50 tth/150katto-m <sup>2</sup>	0,38 tth
			52,1 tth
		Työnkesto	3,3 tv

Kuva 38. Ristikkorakenteisen yläpohjan asennuksen työmenekki

PALKKIRAKENTEISEN YLÄPOHJAN ASENNUKSEN TYÖMENEKKI			
Työmenekit ja kestot			
Työnosa	Määrä	Työmenekki (T3)	Yhteensä
Tavaran vastaanotto ja välivarastointi	147 katto-m <sup>2</sup>	0,01 tth/katto-m <sup>2</sup>	1,47 tth
Materiaalisiirrot	147 katto-m <sup>2</sup>	0,06 tth/katto-m <sup>2</sup>	8,82 tth
<b>Vesikattorakenteet</b>			
-Kattopalkit	147 katto-m <sup>2</sup>	0,14 tth/katto-m <sup>2</sup>	20,58 tth
-Räystäsrakenne	47 jm	0,4 tth/jm	18,8 tth
Katealusta	147 katto-m <sup>2</sup>	0,1 tth/katto-m <sup>2</sup>	14,7 tth
Suojaus ja siivous	147 katto-m <sup>2</sup>	0,01 tth/katto-m <sup>2</sup>	1,47 tth
Ilman- tai höyrynsulku	114,1 katto-m <sup>2</sup>	0,02 tth/katto-m <sup>2</sup>	2,28 tth
Sisäpuolen koolaus k600	114,1 katto-m <sup>2</sup>	0,06 tth/katto-m <sup>2</sup>	6,85 tth
Puhallusvillakaluston valmistelu	114,1 katto-m <sup>2</sup>	1 tth/150katto-m <sup>2</sup>	0,76 tth
Ontelopuhallus	57,05 m <sup>3</sup>	0,13 tth/m <sup>3</sup>	0,38 tth
Puhallusvillakaluston purku ja siivous	114,1 katto-m <sup>2</sup>	0,50 tth/150katto-m <sup>2</sup>	0,38 tth
			76,5 tth
		Työnkesto	4,8 tv

Kuva 39. Palkkirakenteisen yläpohjan asennuksen työmenekki

ELEMENTTIRAKENTEISEN YLÄPOHJAN ASENNUKSEN TYÖMENEKKI			
Työmenekit ja kestot			
Työnosa	Määrä	Työmenekki (T3)	Yhteensä
Tavaran vastaanotto ja välivarastointi	8 kpl	0,01 tth/kpl	0,08 tth
Mittaus	8 kpl	0,04 tth/kpl	0,32 tth
<b>Elementin asennus</b>			
-Kattoelementti	8 kpl	1,2 tth/kpl	9,6 tth
Räystäiden viimeistely	47,0 jm	0,05 tth/jm	2,35 tth
Suojaus ja siivous	147 katto-m <sup>2</sup>	0,01 tth/katto-m <sup>2</sup>	1,47 tth
			13,8 tth
		Työnkesto	0,9 tv

Kuva 40. Elementtirakenteisen yläpohjan asennuksen työmenekki

### 5.3 Yhteenveto

Elementtirakenne on materiaalimenekkiä osalta kalliimpi ratkaisu, mutta se on noin neljä kertaa nopeampi asentaa kuin naulalevyristikko- tai palkkirakenteinen katto, joka mahdollistaisi yhden työpäivän aikana noin 200 m<sup>2</sup> rakennuksen yläpohjan asennuksen vesi- ja lämmöneristettynä.

Elementtien valmistuksen menekit ovat teoreettisia ja tarkentuisivat todellisen mallikappaleen valmistuksen yhteydessä. Elementtien valmistusta tulisi harkita naulalevyristikkorakenteisena, tarkempien yrityksen omien kustannusvertailujen pohjalta.

## 6 POHDINTA

Hirsirakennusten seinien U-arvo-vaatimukset, jotka asuinkäyttöön tarkoitetuissa rakennuksissa eivät käytännössä täyty, ohjaavat mielestäni rakentamisen energiatehokkuutta oikeaan suuntaan pakottaen parantamaan rakennuksen muita osia, kuten ikkunoita ja ilmanvaihtoa, joista energiaa poistuu jopa 10–20 % enemmän kuin seinistä. Mielestäni hirsirakennuksille kannattaisi aina suorittaa myös ilmatiiviysmittaukset energiatehokkuuden todentamiseksi, koska ilmanvuotoluvulla rakennuksen energiatehokkuuden vaatimusten osoittaminen vähentäisi rakenteellisten materiaaleja vaativien parannusten käyttämistä ja todentaisi liitosten ilmatiiviuden. Ilmanvuotoluvun mittaamisella pystytään löytämään rakennuksesta kriittisimmät ilmavuodot, joihin reagoimalla näitä kohtia voitaisiin parantaa ja kehittää tulevaisuudessa entisestään. Hirsiseinien ja muiden massiivisten puurakenteiden lämmönläpäisykertoimien laskennassa olisi lisätutkimuksen tarvetta puun kosteuden ja vaikuttavien lämpötilojen vaikutuksen osalta lämmönläpäisyyden.

Hirsirakennuksen rungon liitoksien tutkimisen perusteella toteutettu pystytysohjeen päivitys onnistui nykymääräysten ja hyväksi todettujen rakennustapojen mukaiseksi. Pystytysohjeeseen käytettiin tuotannosta otettuja aitoja valokuvia ja yrityksen omia detailjikuvia mahdollisimman selkeän luettavuuden mahdollistamiseksi lukijalle.

Kattoelementtien valmistaminen nr-palkkirakenteisen olisi kustannustehokkaampaa kuin kertopuupalkkirakenteisena. Nr-rakenne on tilattava naulalevyristikkoja valmistavalta standardin omaavalta valmistajalta. Tämä ei mahdollista valmistuksen jälkeen

tilaajan haluamia mahdollisia muutoksia kattorakenteen muotoon eikä kantaviin osiin, koska tuotanto ei ole omaa. Palkkirakenteessa, joka valmistetaan tehtaan omana työnä, muutoksiin pystytään reagoimaan paremmin tuotannon ohjauksen kautta.

Kattoelementtien käytön tutkimus olisi voinut olla laajempi, mutta työn rajaamisen ja aikataulun vuoksi elementtien käyttöä tutkittiin vain esimerkkikohteen mukaisesti painumattomaan pulpettikattoiseen rakenteeseen. Mielestäni kattoelementtien valmistaminen ja käyttäminen hirsirakennuksissa olisi ainakin kokeilemisen arvoista tarkempien menekkien saavuttamiseksi. Esimerkkirakennuksen muoto ja koko mahdollistaisivat kyseisen rakennuksen tuotteistamisen vakiotuotteeksi kattoelementillä, jossa kantavia linjoja ei muuteta eikä suunnittelussa tarvitsisi tarkistaa kuin ainoastaan paikalliset rakennuspaikan lumi- ja tuulikuormien ominaisarvot.

## LÄHTEET

Hirsiteollisuus ry. 2011. Hirsitalon laatuvaatimukset. PDF-dokumentti. Päivitetty 4/2011. Saatavissa: [https://www.hirsikoti.fi/assets/images/HTT\\_standardit/Laatuvaatimukset\\_HTT/HIRSITALON\\_LAATUVAATIMUKSET\\_4\\_2011.pdf](https://www.hirsikoti.fi/assets/images/HTT_standardit/Laatuvaatimukset_HTT/HIRSITALON_LAATUVAATIMUKSET_4_2011.pdf) [viitattu 22.2.2022].

Kattoliitto. 2019. Toimivat katot 2019. PDF-dokumentti. Päivitetty 2019. Saatavissa: [https://www.kattoliitto.fi/wp-content/uploads/pdf/Toimivat\\_katot\\_2019\\_netti.pdf](https://www.kattoliitto.fi/wp-content/uploads/pdf/Toimivat_katot_2019_netti.pdf) [viitattu 4.3.2022].

Lauharo, K. 2002. Hirsi rakennusaineena ja teollinen hirsi. Suomi. Oy UNIPress Ab [viitattu 14.2.2022].

Puuinfo. 2020a. Hirsirakenteet. Hirsiliitosdetaljit. Verkkojulkaisu. Päivitetty 14.7.2020. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/hirsiliitosdetaljit/> [viitattu 11.3.2022].

Puuinfo. 2020b. Hirsirakenteet. Hirsityypit ja perusprofiilit. Verkkojulkaisu. Päivitetty 10.7.2020. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/materiaalivaihtoehdot/> [viitattu 14.2.2022].

Puuinfo. 2020c. Hirsirakenteet. Hirsirakenteet. Verkkojulkaisu. Päivitetty 14.7.2020. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/hirsirakenteet/> [viitattu 22.2.2022].

Puuinfo. 2020d. Hirsirakenteet. Hirsirakenteiden yksityiskohtia. Verkkojulkaisu. Päivitetty 14.7.2020. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/hirsirakenteiden-yksityiskohtia/> [viitattu 18.2.2022].

Puuinfo. 2020e. Hirsirakenteet. Jännevälit. Verkkojulkaisu. Päivitetty 10.7.2020. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/jannevalit/> [viitattu 20.2.2022].

Puuinfo. 2020f. Hirsirakenteet. Rakennusosien liittymät. Verkkojulkaisu. Päivitetty 10.7.2020. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/rakennusosien-liittymat/> [viitattu 23.1.2022].

Puuinfo. 2020g. Hirsirakenteet. Rungon toimintaperiaate. Verkkojulkaisu. Päivitetty 10.7.2020. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/rungon-toimintaperiaate/> [viitattu 18.2.2022].

Puuinfo. 2020h. Hirsirakenteet. Seinän ominaisuudet. Verkkojulkaisu. Päivitetty 10.7.2020. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/seinan-ominaisuudet/> [viitattu 18.2.2022].

Puuinfo. 2020i. Hirsirakenteet. Ääneneristys. Verkkojulkaisu. Päivitetty 10.7.2020. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/aaneneristys/> [viitattu 20.2.2022].

Puuinfo. 2020j. EC5 sovelluslaskelmat asuinrakennus. PDF-dokumentti. Päivitetty 17.7.2020. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus0.pdf> [viitattu 18.3.2022].

RATU 0416. Rakennustieto. 2014 Puurunkorakentaminen, paikalla rakennettu puurunko.

RATU 0423. Rakennustieto. 2014. Puurunkorakentaminen, vesikattorakenteet.

RATU 0427. Rakennustieto. 2014. Puupintarakentaminen, sisäpuolinen puuverhous ja -päällystys.

RATU 0436. Rakennustieto. 2014. Puuelementtirakentaminen, väli- ja yläpohjaelementit.

RATU 0437. 2015. Rakennustieto. Lämmöneristys

RATU 0431. 2015. Rakennustieto. Vedeneristys, vesikaton vedeneristys.

RT 82-11168. 2014. Rakennustieto. Hirsitalon suunnitteluperusteet.

RT 83-11010. 2010. Rakennustieto. Yläpohjarakenteita.

Siikanen, U. 2016. Puurakentaminen. Suomi. Rakennustieto Oy. [viitattu 14.2.2022].

Suomen liimapuu yhdistys ry ja Puuinfo Oy. 2014. Liimapuukäsikirja. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Liimapuuk%C3%A4sikirja-Osa-1.pdf> [viitattu 24.4.2022].

Simpson Strongtie. 2014. Puurakennuskiinnikkeet. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://en.calameo.com/read/000764082da115b7ec819?authid=5CMZOqIKFe6S> [viitattu 16.5.2022]

VTT. 2011. Tutkimusraportti. Maanvaraisen alapohjan lämmöneristys. Helsinki. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.eps-eriste.fi/component/phocadownload/category/7-raportit?download=318:raportti-alapohjan-eristys> [viitattu 14.2.2022].

Ympäristöministeriö. 2012. Lämmöneristys ohjeet 2012. Luonnos 16.3.2012. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/no-name/%7BE3549160-2ED6-4807-8556-230BDC60275B%7D/30749> [viitattu 16.2.2022].

Ympäristöministeriö. 2017. Tasauslaskentaopas 2018. PDF-Dokumentti. Saatavissa: [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-\(002\)-8DA891B6\\_94AC\\_4367\\_9E45\\_D59ECED00CCF-133703.pdf/acb4fd5e-e622-c6e7-c0f0-97aa59de0886/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-\(002\)-8DA891B6\\_94AC\\_4367\\_9E45\\_D59ECED00CCF-133703.pdf?t=1603260250564](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-(002)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf/acb4fd5e-e622-c6e7-c0f0-97aa59de0886/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-(002)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf?t=1603260250564) [viitattu 14.2.2022].



<b>Rakennuskohde</b>	
<b>Rakennuslupatunnus</b>	
Rakennustyyppi	Omakotitalo
Pääsuunnittelija	Severi Silvennoinen, Opiskelija, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
Tasauslaskelman tekijä	Severi Silvennoinen, Opiskelija, Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
Päiväys	11.3.2022
Tulos: Suunnitteluratkaisu	<b>TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET</b>

**Rakennuksen laajuustiedot**

Rakennustilavuus	420 rak-m <sup>3</sup>
Maanpäälliset kerrostasoalat yhteensä	114 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	114 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, puolilämpimät tilat	m <sup>2</sup>
Rakennusluokka (1 - 9)	1
	0
Rakennuksen kerros määrä	1 kerrosta

**Laskentatuloksia**

Julkisivupinta-ala on 154 m<sup>2</sup>  
Ikkunapinta-ala on 13 % maanpäällisestä kerrostasoalasta  
Ikkunapinta-ala on 10 % julkisivun pinta-alasta  
Lämpöhäviö on 99 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m <sup>2</sup>		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	[A]		[U]		Ominaislämpöhäviö, W/K	
RAKENNUSOSAT	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Lämpimät tilat</b>						
Ulkoseinä			0,17		-	-
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>	129	131	0,40	0,54	51,7	70,7
Yläpohja	115	115	0,09	0,08	10,4	9,3
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)	114		0,16	0,10	18,2	11,4
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	17,1	15,3	1,00	0,70	17,1	10,7
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>	7,8		1,00	0,70	7,8	5,4
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
<b>Lämpimät tilat yhteensä</b>	<b>383</b>	<b>383</b>			<b>105,1</b>	<b>107,6</b>
<b>Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset</b>						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuuseinä <sup>1)</sup>			0,60		-	-
Yläpohja			0,14		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-	-
Ikkunat			1,40		-	-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
<b>Puolilämpimät tilat yhteensä</b>	<b>-</b>	<b>-</b>			<b>-</b>	<b>-</b>
<b>VAIPAN ILMAVUODOT</b>	Ilmanvuotoluku, m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )		Vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q <sub>50</sub> ]		[q <sub>v,v</sub> = q <sub>50</sub> / 35 · A/3600]		[H <sub>vuotoilma</sub> = 1200 · q <sub>v,v</sub> ]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Vuotoilma</b>						
Lämpimät tilat	2,0	4,0	0,0061	0,0122	7,3	14,6
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
<b>ILMANVAIHTO</b>	Poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η <sub>a</sub> ]		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q <sub>v,p</sub> ]				[H <sub>iv</sub> = 1200 · q <sub>v,p</sub> · (1-η <sub>a</sub> )]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Hallittu ilmanvaihto</b>						
Lämpimät tilat	0,046		55	75	24,6	13,7
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta	0,046		0		54,7	54,7
Puolilämpimät tilat			55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
<b>Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus</b>					Ominaislämpöhäviö, W/K	
					[H = H <sub>joht</sub> + H <sub>vuotoilma</sub> + H <sub>iv</sub> ]	
	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö</b>					192	191
<b>Puolilämpimien tilojen</b>					-	-

<sup>1)</sup> Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

<sup>2)</sup> Ulko-oviin ja tuuletusluukkuihin sisältyvät myös savunpoisto-, uloskäynti- ja huoltoluukut sekä muut vastaavat luukut.

**Rakennuskohde**  
**Rakennuslupatunnus**
**Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista**
**Pinta-alat**

Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta

kyllä	ei
v	

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa

- lämpimissä tiloissa

- puolilämpimissä tiloissa

v	

**Rakennusvaipan ilmanpitävyys**

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnitteluarvo on enintään enimmäisarvon suuruinen

- lämpimissä tiloissa

- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnitteluarvo
v		4	4,00
		4	

**Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus**

Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen

- lämpimissä tiloissa

- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo
v		192 W/K	191 W/K

**Tarkistuslistan yhteenveto**

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset

kyllä	ei
v	

**Lisätietoja**
**Rakennuksen ilmanpitävyys**

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  suunnitteluarvoa.

Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  saa olla enintään  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon,

jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.

Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ .

**Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde**

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyn säävyöhykkeen 1 säätietoja. Kahden tai useamman ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.

**Huomautus**

Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on  $50 \text{ m}^2$  tai enemmän.

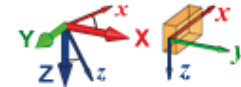
16.5.2022

Laskelmat on tehty alla olevilla lähtötiedoilla vain kyseiselle rakenneosalle. Laskelmissa esitetty rakenneosan pituus ei ole tilausmitta. Tilausmitassa on otettava huomioon esim. tuennan vaatima lisäpituus.

**Finnwood 2.4.3 (2.4.089)**

RIL 205-1-2017 (30.12.2021)

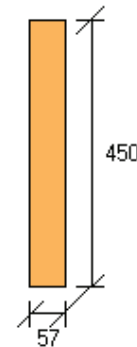
Rakennemitoitus ilman onnettomuus-/palotilannetta

**PROJEKTITIEDOT:**

C:\Users\Noise\Desktop\Koulutehtävät\01\_Opinnäytetyö\Kattoelementti vaakasuuntaan LP kannatus\vaakavasa.s01

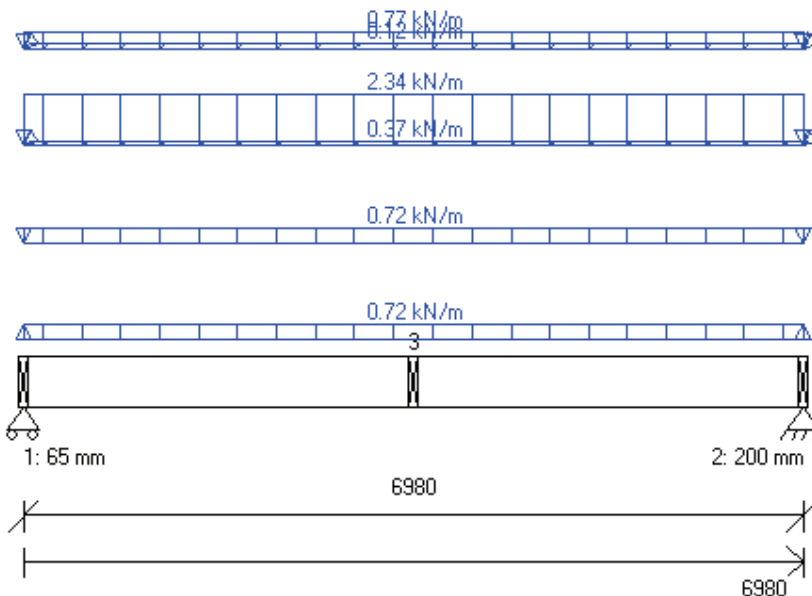
**RAKENNETIEDOT:**

Rakennetyyppi: Harjan suuntainen kattopalkki  
 Materiaali: KERTO-S syrjällään  
 Poikkileikkaus: 57x450  
 Lisätietoja: Vakiokoko  
 (B=57 mm, H=450 mm, A=25650 mm<sup>2</sup>, I<sub>y</sub>=432843750 mm<sup>4</sup>, W<sub>y</sub>=1923750 mm<sup>3</sup>)  
 Käyttöluokka: 2  
 Seuraamusluokka: CC2 (KFI=1.0)  
 Kattokulma: 9.0 astetta  
 Jako/kuormituslev.: 1200 mm (pintakuormille)

**Uloke-/jännevälipituudet:**

Uloke/jänneväli: Vaakamitta [mm]:  
 Jänneväli 1: 6980.0  
 Yhteensä: 6980.0

Tuki:	Sijainti x [mm]:	Leveys [mm]:	Tyyppi:
1:	0	65	Liukutuki (Z)
2:	6980	200	Kiinteä niveltuki (X,Z)
3:	3490	--	Välissä oleva sivuttaistuki

**KUORMITUSTIEDOT:**

Omapaino (Omapaino, Pysyvä):

Rakenneosan paino:  $Q_z = 0.129 \text{ kN/m}$   $x = 0 - 6980 \text{ mm}$ Rakenneosan paino:  $Q_y = 0.020 \text{ kN/m}$   $x = 0 - 6980 \text{ mm}$ viivakuorma: 1:  $Q_z = 0.770 \text{ kN/m}$   $x = 0 - 6980 \text{ mm}$ viivakuorma: 2:  $Q_y = 0.122 \text{ kN/m}$   $x = 0 - 6980 \text{ mm}$ Lumikuorma (Lumikuorma  $Sk < 2.75 \text{ kN/m}^2$ , Keskkipitkä):viivakuorma: 1:  $Q_z = 2.341 \text{ kN/m}$   $x = 0 - 6980 \text{ mm}$ viivakuorma: 2:  $Q_y = 0.371 \text{ kN/m}$   $x = 0 - 6980 \text{ mm}$ 

Tuulikuorma (alas) (Tuulikuorma, Hetkellinen):

viivakuorma: 1:  $Q_z = 0.720 \text{ kN/m}$   $x = 0 - 6980 \text{ mm}$ 

Tuulikuorma (ylös) (Tuulikuorma, Hetkellinen):

viivakuorma: 1:  $Q_z = -0.720 \text{ kN/m}$   $x = 0 - 6980 \text{ mm}$ **MITOITUS:**

Mitoitusstandardi:

EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + A2:2014 + RIL 205-1:2017

Kokonaiskäyttöaste:

72.5 %

**MITOITUSPARAMETRIT:**

16.5.2022

Taipumaraja  $W_{net,fin}$ : L/200  
 Korotuskerroin, vasen uloke: 2.00  
 Korotuskerroin, oikea uloke: 2.00  
 Nurjahdus z-suuntaan:  $L_c = 1.00 \cdot L$   
 Nurjahdus y-suuntaan:  $L_c = 1.00 \cdot L$   
 Kiepahdus taivutuksesta  $M_y$  (y-askelin suhteen):  
 Rakenne on täysin sivuttaistuettu yläpuolelta  
 Kiepahdustukiväli rakenteen alapuolella:  $L_{k2} = 600.00$  mm  
 $L_{ef1} = L_{k1}$  ja  $L_{ef2} = L_{k2}$  (Esim. kuormitus neutraaliakselilla/kiepahdustukien kautta)  
 HUOM!  $L_{k1}$ :ta käytetään, kun  $M_y > 0$  ja  $L_{k2}$ :ta, kun  $M_y < 0$   
 Kiepahdus taivutuksesta  $M_z$  (z-askelin suhteen):  
 Ei ole laskettu

**MITOITUKSEN ÄÄRIARVOT:**

Tarkastelu:	Mitoitusarvo:	Raja-arvo:	Käyttöaste *):	Sijainti x:	
Leikkaus (z):	13.88 kN	47.88 kN	29.0 %	438 mm	Keskipitkä
Leikkaus (y)::	1.47 kN	26.22 kN	5.6 %	3490 mm	Keskipitkä
Taivutus ( $M_y$ ):	27.69 kNm	53.75 kNm	51.5 %	3490 mm	Keskipitkä
(ilman kiepahdusta):	27.69 kNm	53.75 kNm	51.5 %	3490 mm	Keskipitkä
Taivutus ( $M_z$ ):	1.02 kNm	8.12 kNm	12.6 %	3490 mm	Keskipitkä
(laskettu ilman kiepahdusta)					
Taivutus ( $M_y + M_z$ ):	0.60	1.00	60.3 %	3490 mm	Keskipitkä
( $M_y = 27.69$ kNm, $M_z = 1.02$ kNm)					
Tukipaine, tuki 1:	15.87 kN	21.89 kN	72.5 %	0 mm	Keskipitkä
Tukipaine, tuki 2:	15.87 kN	49.02 kN	32.4 %	6980 mm	Keskipitkä
$W_z,inst$ :	18.4 mm	-- mm	0.0 %	3490 mm	
$W_z,net,fin$ :	24.6 mm	34.9 mm	70.5 %	3490 mm	

**TUKIREAKTIOT:**

FZ:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	18.13 kN	-0.94 kN	11.37 kN	0.63 kN
2:	18.13 kN	-0.94 kN	11.37 kN	0.63 kN

- Tukipisteisiin syntyy nostetta, varmista ankkurointi

FY:

Tuki:	MRTmax:	MRTmin:	KRTmax:	KRTmin:
1:	-0.12 kN	-0.88 kN	-0.13 kN	-0.62 kN
2:	-0.12 kN	-0.88 kN	-0.13 kN	-0.62 kN
3:	-0.40 kN	-2.94 kN	-0.44 kN	-2.06 kN

- KRT tukireaktiot ovat vain vertailua varten

**HUOMIOT:**

- EN 1995-1-1-standardin, sen täydennysosien A1:2008, A2:2014 ja Suomen kansallisten liitteiden sekä

16.5.2022

- 
- RIL 205-1-2017 -suunnitteluohjeen mukainen laskenta
- VTT on tehnyt kolmannen osapuolen tarkistuksen ohjelmalle (VTT-S-03665-17 ja VTT-S-05393-17)
  - MRT = Murtorajatila, KRT = Käyttörajatila
  - \*) Yhteisvaikutustarkasteluissa %-luku tarkoittaa mitoitusarvon ja raja-arvon suhdetta, ei todellista käyttöastetta
  - Liittyvän alapuolisen rakenteen tukipainekestävyys tulee tarkistaa erikseen
  - Mitoituksessa ei huomioida ulokkeiden alle 20 mm taipumaa ylöspäin
  - Värähtely- ja taipumatarkastelua ei tehdä alle 200 mm pituisille ulokkeille
  - Leikkausmuodonmuutos on mukana käyttörajatilamitoituksessa
  - Leikkausmuodonmuutos ei ole mukana voimasuureiden laskennassa
  - Leikkausvoiman pienentäminen on otettu huomioon tukien läheisyydessä ja lisäksi on oletettu, että kuormat vaikuttavat tukipintaan nähden rakenneosan vastakkaisella puolella
  - Leikkausvoiman pienentäminen on tehty kuormitusyhdistelmien leikkausvoimakäyrään ja pienennyskohtana on mitta  $0.9 \times H$  tuen reunasta
  - Rakenneosan koon vaikutus lujuteen on otettu huomioon ominaisarvoissa kertoimilla kh ja kl
  - Suunnittelijan tulee kiinnittää huomiota myös rakennedetaljeihin ja varmistaa, ettei rakenteisiin muodostu vesitaskuja
- 

Laskelmissa ei ole huomioitu rakennusaikaisia kuormia eikä kosteusolosuhteita. Mahdolliset rakennusaikaiset lisätuennat on mitoitettava erikseen. Rakennuksen kokonaisjäykistystä ja siitä johtuvia vaakavoimia ei ole huomioitu. Rakenneosan (palkki, pilari, laatta) soveltuvuus kokonaisuuteen on päärakennesuunnittelijan tarkistettava erikseen.

Finnwood-ohjelmistolla tehdyt laskelmat ja tulosteet ovat voimassa vain ohjelmistoon tallennettujen Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Woodin tuotteiden kanssa. Nämä tuotteet on tarvittaessa osoitettava rakennuspaikalla hankkeen osapuolille sekä viranomaisille. Metsäliitto Osuuskunta, Metsä Wood tai sen tytäryhtiöt eivät vastaa käyttäjälle tai kolmannelle osapuolelle muiden valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä Finnwood-ohjelmistossa, ohjelmiston perusteella näin tehdyistä laskelmista ja tulosteista tai kolmansien valmistajien tuotteista tai niiden käytöstä aiheutuneista virheistä, menetyksistä tai vahingoista. Näitä ehtoja ei saa poistaa tulosteesta.

---



# FINN-BOIS MTR OY

## HIRSIRUNGON PYSTYTYSOHJE



## Sisällys

JOHDANTO.....	3
PYSTYTYKSEN ALOITUS JA SEINÄKUVIEN KÄYTTÖ.....	4
ENSIMMÄINEN HIRSIKIERTO .....	6
Sokkeliperustus.....	6
Pilariperustus .....	6
HIRREN ERISTÄMINEN .....	6
Salvosnurkka .....	6
Jiirinurkka.....	7
RUUVAUS/TAPITUS, JÄYKISTYSPUTKET JA KIERRETANGOT .....	9
HIRREN JATKAMINEN .....	10
KARAPUUT, FÖLJÄRIT JA PAINUMAVARAT.....	11
RATKAISUJA YLEISIIN PYSTYTYKSEEN LIITTYVIIN ONGELMATILANTEISIIN .....	12

## JOHDANTO

Tämä on Finn-Bois MTR Oy:n hirsikehikon pystytysohje. Tämän ohjeen tulee olla mukana rakennustyömaalla, koska tässä selvitetään olennaiset pystytykseen liittyvät asiat, jotka tulee huomioida kehikkoa pystyttäessä. Tämä pystytysohje kertoo yleisesti ohjeet pystytykseen. Pystytys suoritetaan noudattaen tätä ohjetta ja talokohtaisia tarkkoja rakennepiirustuksia.

Finn-Bois MTR Oy pidättää oikeudet muutoksiin tässä ohjeessa.

## PYSTYTYKSEN ALOITUS JA SEINÄKUVIEN KÄYTTÖ

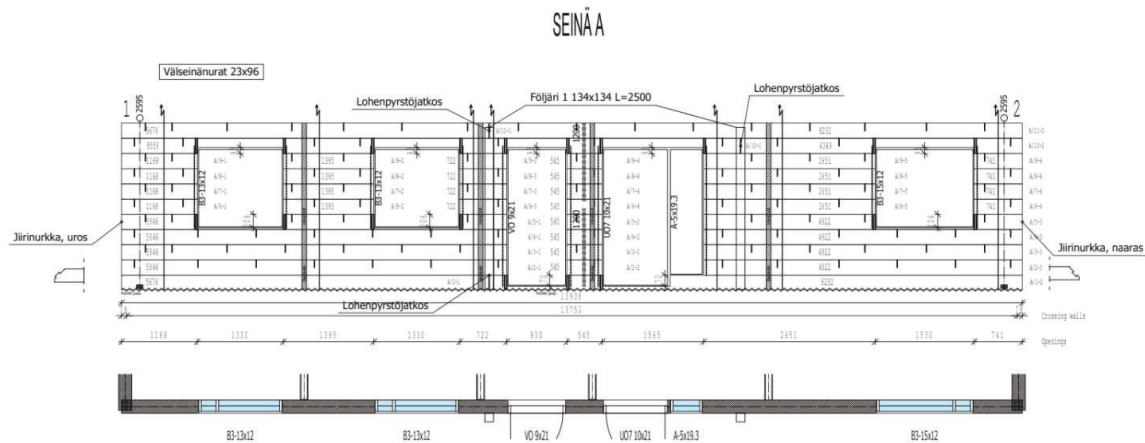
- Tarkista aluksi että perustuksien mitat ovat samat kuin seinä ja pohjakuvissa.
- Tarkista perustuksien ristimitat sekä vaakasuoruus ja poista mahdolliset epätasaisuudet.
- Huolehdi että asennettavat puurakenteet on erotettu betonirakenteista.
- Tarkista että kaikki tarvittavat toimitus- ja hirsiluettelon mukaiset osat on toimitettu.

Seinäkuviissa (kuva 1 ja kuva 2) esitetään jokainen seinälle kuuluva hirsi numeroituna ja sähköjen, kierretankojen, jäykisteputkien ja kierrejalkojen reiät sekä mahdolliset hirsien väliset ruuvireiät. Pohjakuvissa esitetään seinälinjojen sijainnit.

Seinälinjat on merkitty kuviin kirjaimilla (A, B, C tai 1, 2, 3 jne.).

Hirsien numerointi alkaa seinällä alimmaisesta hirrestä (A-1, A-2, A-3 tai 1-1, 1-2, 1-3 jne.).

Jos seinälinjan kierto on tehty useammasta hirrestä on numerointi (A1-1, A1-2 ja A1-3 jne.). Seinäkuvan katsomissuunta määräytyy linjakuvan alla olevan vaakaleikkauksen mukaisesti, nurkkaliitokset kertovat sisä- ja ulkopinnat.



Kuva 1. Jiirinurkkaisen hirsikehikon seinäkuva



## ENSIMMÄINEN HIRSIKIERTO

### Sokkeliperustus

- Ensimmäinen hirsikierron alle asennetaan bitumikermi- ja tiivistekaista hirren leveyden mukaisesti.
- Hirsi kiinnitetään sokkeliin sokkelin rakenteeseen (harkko/betoni) soveltuvalla kiinnikkeellä, esimerkiksi betoniruuveilla rakennepiirustuksien määrien mukaisesti.
- Poikkeavien perustusliitosten ohjeet löytyvät rakennepiirustuksista.

### Pilariperustus

- Hirsien alle, pilareiden kohdalle asennetaan bitumikermikaista hirren leveyden mukaisesti.
- Hirsi kiinnitetään pilariin pilarin rakenteeseen (harkko/betoni) soveltuvalla kiinnikkeellä, esimerkiksi betoniruuveilla rakennepiirustuksien määrien mukaisesti.
- Poikkeavien perustusliitosten ohjeet löytyvät rakennepiirustuksista.

## HIRSILIITOSTEN ERISTÄMINEN

Hirsi itsessään toimii rakennuksen lämmöneristeenä. Hirsien väliset liitokset on kuitenkin eristettävä huolellisesti rakennuksen ilmatiiviuden saavuttamiseksi. Hirsien eristämiseen ja tiivistämiseen tarvittavat tuotteet toimitetaan hirsikehikon mukana työmaalle.

### Salvosnurkka

- Hirren pontteihin asennetaan liimattava tiivistenauha (kuva 3). Tiivistenauha voidaan asentaa hirren ala- tai yläpintaan.
- Salvoksiin asennetaan siihen varattu villakaista (kuva 3).



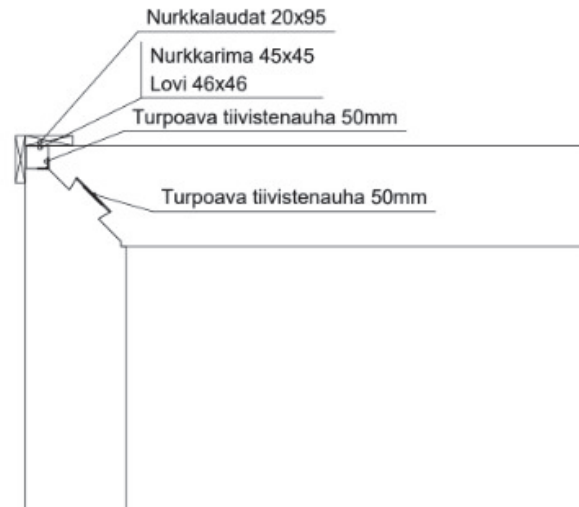
*Kuva 3. Tiivistetty salvosnurkkaliitos*

### Jiirinurkka

- Jiirinurkka asennetaan paikoilleen ja liitoksessa olevaan uraan asennetaan liitoksen leveydestä riippuen tarvittava määrä turpoavia tiivistenauhoja (kuvat 4 ja 5).
- Ulkonurkkaan asennetaan peitelautojen alle liimattava tiivistenauha (kuvat 4 ja 5).



*Kuva 4. Tiivistetty jiirinurkkaliitos*

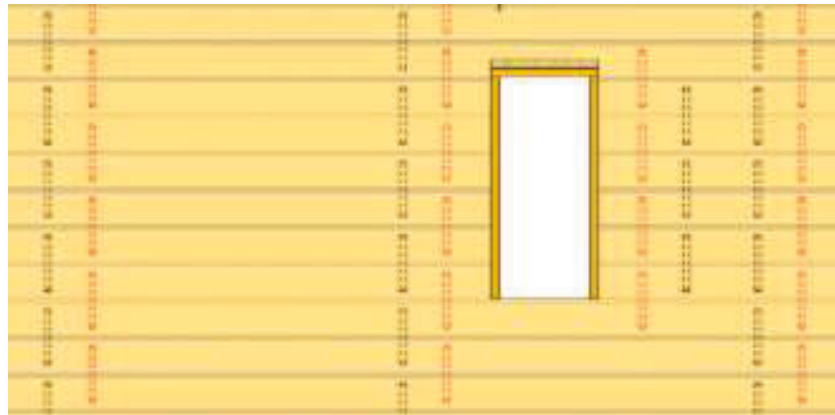


*Kuva 5. Jiirinurkan detalji*

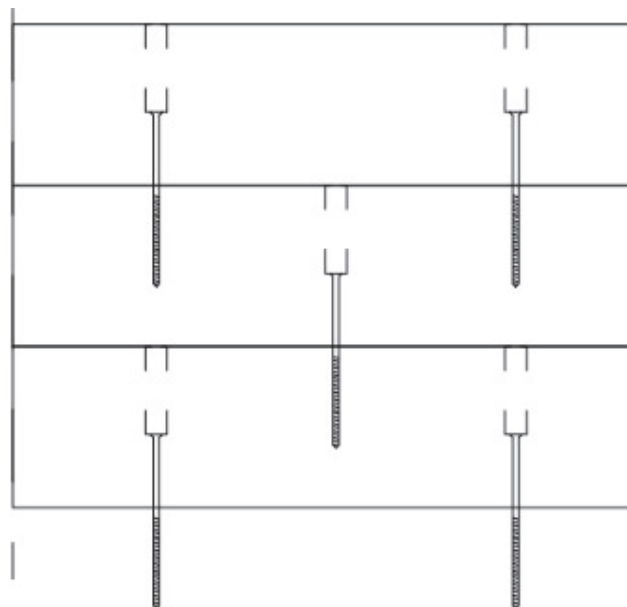
## RUUVAUS/TAPITUS, JÄYKISTYSPUTKET JA KIERRETANGOT

Ruuvit, tapit, jäykistysputket ja kierretangot toimitetaan työmaalle hirsikehikon yhteydessä.

- Päälekkäiset hirret kiinnitetään toisiinsa joko puutapeilla niille varatuista rei'istä, tappi asennetaan joka toiseen reikään/hirsikierto (kuva 6) tai ruuveilla niille varatuista rei'istä seinäkuvien mukaisesti kuvan 7 periaatteella.
- Seiniin asennetaan metallilliset jäykisteputket seinäkuvien mukaisesti.
- Seiniin asennetaan kierretangot seinäkuvissa esitettyihin reikiin ja kiristetään.
- Kierretankoja kiristetään painumien mukaisesti.



Kuva 6. Tapituksen periaatekuva (Puuinfo. 2020)



Kuva 7. Ruuvikiinnityksen periaate



## HIRREN JATKAMINEN

Hirsien jatkamiseen tarvittavat osat toimitetaan hirsikehikon yhteydessä työmaalle.

- Pitkissä seinissä salvoksisissa rakennuksissa hirret jatketaan salvoksien kohdalla salvoksen yläpintaan asennettavilla naulauslevyillä (kuva 6).
- Salvoksettomissa rakennuksissa jatkosliitokset toteutetaan tehtaalla työstetyillä lohenpyrstöliitoksilla.
- Jatkoskohdat eristetään kuten muutkin liitokset.

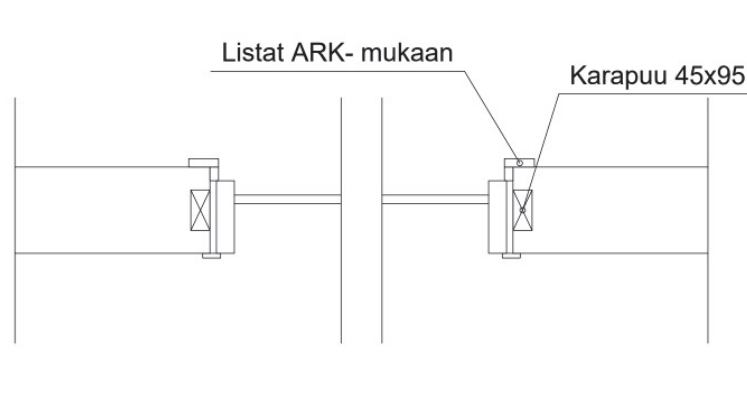


*Kuva 8. Hirren jatkosliitos salvoksessa ilman eristettä*

## KARAPUUT, FÖLJÄRIT JA PAINUMAVARAT

Hirsiseiniin tuleviin ikkuna- ,ovi- ja muihin korkeisiin aukkoihin asennetaan karapuut. Karapuut asennetaan myös muihin painumattomiin rakennusmateriaaleihin liittyessä, kuten tiili, betoni ja teräs. Hirsien päissä on työstetty karapuulle asennusurat. Karapuut toimitetaan hirsikehikon yhteydessä työmaalle.

- Karapuiden ja hirsien väliin asennetaan villakaista ja tarvittaessa tiivistenauha.
- Karapuut katkaistaan painumavaran verran aukon korkeutta lyhyemmiksi. Painumavara on vähintään 2mm/ aukon korkeusmetri.
- Karapuut voidaan kiinnittää hirsiseiniään naulaamalla aukon alimpaan hirteen.
- Painumattomien rakennusmateriaalien liittymissä tarkista rakennepiirustukset.



- *Kuva 9. Ikkunoiden ja ovien karapuiden kiinnityksen periaate*

Pitkissä ja paljon aukkoja sisältävissä hirsiseinissä seiniin voidaan asentaa följäreita, jotka lisäävät hirsiseinän jäykkyyttä.

- Följäreiden sijainnit on merkitty seinäkuviin.
- Följärit asennetaan kansiruuveilla tai läpipulttauksella hirsiseinän läpi toisiinsa.
- Följäreiden painuman mahdollistamat liukuraudat voidaan upottaa följäriin tai jättää pintaan.
- Reiän tulee olla vähintään saman kokoinen kuin kansiruuvin tai pultin halkaisija ja muodoltaan sama kuin liukuraudassa.

## RATKAISUJA YLEISIIN PYSTYTYKSEEN LIITTYVIIN ONGELMATILANTEISIIN

Tässä osiossa on listattuna yleisimpiä hirsikehikon pystytyksen yhteydessä vastaan tulevia ongelmia ja niihin ratkaisuja. Yleisimmät ongelmat johtuvat tehtaalla tapahtuneista työstövirheistä tai vääränlaisesta säilytyksestä työmaalla.

### **Hirsissä vääriä työstöjä**

Tarkista seinäkuvat ja muut suunnitelmat onko työstö tarpeellinen vai onko hirsi virheellisesti työstetty. Jos työstö on virheellinen, ota yhteys tehtaaseen ohjeiden ja jatkotoimenpiteiden saamiseksi.

### **Hirsistä puuttuu työstöjä**

Tarkista seinäkuvat ja muut suunnitelmat. Jos hirsistä puuttuu työstöjä, ota vastaavanlaisesta työstöstä mallia ja tee työstö käsityökaluin. Ilmoita puuttuvat työstöt aina tehtaalle.

### **Karaurat porrastavat**

Suurista porrastukset käsityökaluilla (ketjusaha) niin että karalankku ja eristeet mahtuvat uraan. Älä turhaan levennö karauraa jotta liitoksesta tulee tiivis.

### **Kiero tai taipunut hirsi**

Vähän kiero tai taipunut hirsi pystytään asentamaan. Tapitus/ruuvaus sekä pontit ohjaavat hirren osaksi seinää. Hirttä voidaan asennusvaiheessa vääntää varovasti, kuitenkin niin ettei hirrellä ole vaarana haljeta.

Mikäli hirsi on pahasti kieroutunut tai vääntynyt ilmoita asiasta tehtaalle jatkotoimenpiteiden ja ohjeiden saamiseksi.

### **Aukkojen ylityshirret ei sovi tai hirsikehikko on vinossa**

Mikäli aukkojen ylityshirsien liitokset eivät osu paikalleen tai hirsikehikko on vinoutunut asentaessa, kehikkoa voidaan suoristaa vetämällä sitä kuormaliinoilla tarvittavista kohdista tai kiilaamalla aukoista lankuilla. Kuormaliinoja käyttäessä on huomioitava näkyviin jäävien pintojen suojaaminen.