

Juhana Paavola

TULEVAISUUDEN KESTÄVÄT HIRSIRA- KENTEET

Haasteita ja ratkaisuja

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastaja: Sami Pajunen
Kesäkuu 2023

TIIVISTELMÄ

Juhana Paavola: Tulevaisuuden kestävät hirsirakenteet – Haasteita ja ratkaisuja
Kandidaatintutkielma
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Kesäkuu 2023

Hirsirakentaminen on perinteinen rakennusmenetelmä, joka voi luoda uusia mahdollisuuksia tulevaisuuteen kestäväenä rakennusmenetelmänä muihin menetelmiin verrattuna. Hirsirakentamiseen liittyy kuitenkin sille ominaisia haasteita, jotka on hallittava rakennusprosessissa. Tässä kandidaatintyössä käydään läpi hirsirakentamisen etuja ja eroja muihin rakennusmateriaaleihin nähden sekä haasteita, jotka täytyy tiedostaa rakennusprosessiin ryhdyttäessä. Työn tarkoituksena on tutkia hirsirakentamisen nykytilaa luomalla kattava yleiskatsaus hirsirakentamiseen sekä selvittää miten hirsirakentamisen haasteisiin on onnistuttu vastaamaan uusimmissa medianäkyvyyttä saaneissa hirsirakennusprojekteissa.

Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Tutkimusta varten kerättiin tietoa sähköisesti saatavilla olevista lähdemateriaaleista, joiden pohjalta koottiin yhtenäinen tekstikokonaisuus hirsirakentamiseen liittyvistä eduista, haasteista ja ominaispiirteistä. Koska työ on hyvin laaja eikä käsittele yksittäisiä aihealueita kovin syvällisesti, tieteellisten syvällisempien lähdemateriaalien sijaan työssä käytettiin paljon puuinfon sekä hirsitalotoimittajien tarjoamaa tietoa.

Tutkimuksen tuloksena saatiin kattava yleiskäsitys hirsirakentamisen nykytilasta, sekä löydettiin uusia rakentamisen innovaatioita, joilla on pystytty vastaamaan hirsirakentamiselle ominaisiin haasteisiin. Pudasjärvelle vuonna 2021 valmistuneessa Suomen ensimmäisessä hirsikerrostalossa hirren painuminen ratkaistiin painumattomalla hirsirakenteella. Hirren äänieristykseen, kosteudensietoon, paloturvallisuuteen, sekä jäykkyyteen liittyvät ongelmat ratkaistiin yhdistelmä-rakenteella, jossa väliseinä- sekä välipohjarakenteet ovat betonia ja ulkoseinävaippa on painumaton hirsipuuta. Kyseessä on uusi ratkaisu, joka voi toimia suunnannäyttäjänä tulevaisuuden rakentamiselle.

Avainsanat: Hirsirakentaminen, ominaispiirre, haaste, innovaatio

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. HIRSIRAKENTAMINEN	2
2.1 Miksi hirsitalo?	2
2.2 Miten eroaa muusta rakentamisesta?	2
3. HIRSIRAKENTAMISEN EDUT	5
3.1 Ekologisuus	5
3.2 Hengittävyys	6
4. HAASTEET JA OMINAISPIIRTEET	8
4.1 Hirsityypit	8
4.2 Kosteus	8
4.3 Tiiviys	9
4.4 Painuminen	9
4.5 Halkeilu	10
4.6 Palotekninen suunnittelu	11
4.7 Äänieristys	12
4.3 Energiatehokkuus	12
5. HIRSIRAKENTAMISEN TULEVAISUUS JA KEHITYSNÄKYMÄT	13
5.1 Hirsihovi	13
5.2 Pudasjärven hirsikampus	15
5.3 Tulevaisuus ja kehitysnäkymät	17
6. YHTEENVETO	18
LÄHTEET	19

1. JOHDANTO

Betonin käyttö rakentamisessa on herättänyt keskustelua viime vuosien aikana hiilijalanjälkensä vuoksi ja siksi on alettu etsiä vaihtoehtoisia ympäristöystävällisempiä rakennusmenetelmiä. Puu on uusiutuva materiaali ja Suomen metsissä sitä riittää. Suomessa on myös pitkät perinteet hirsirakentamisen suhteen. Voisiko hirsi olla tulevaisuuden materiaali niin pientalojen kuin jopa kerrostalojenkin osalta?

Tämän kandidaatintyön tarkoituksena on selkeyttää ja tutkia hirsirakentamisen roolia tulevaisuuden kestävässä vaihtoehtona luomalla yksi tekstikokonaisuus, joka käsittelee hirsirakentamista laajasti yleisellä tasolla. Työssä etsitään mahdollisia haasteita hirsirakentamiseen liittyen ja samalla myös olemassa olevia ratkaisuja näihin haasteisiin. Tutkimus toteutetaan kirjallisuuskatsauksena.

Työn toisessa luvussa käydään yleisesti läpi hirsirakentamista, sen historiaa sekä verrataan hirsirakentamista muuhun rakentamiseen talouden näkökulmasta. Tarkastellaan myös lyhyesti, miten hirsirakentaminen eroaa muusta puurakentamista.

Työn kolmannessa luvussa käsitellään hirsirakentamisen etuja, eli niitä ominaisuuksia, joilla hirsirakentaminen erottuu edukseen muusta rakentamisesta. Ekologisuuden ja hengittävyuden lisäksi hirrellä on myös muita etuja, mutta nämä nousevat usein eniten esille hirrestä keskusteltaessa.

Neljännessä luvussa tarkastellaan hirsirakentamiseen liittyviä erityispiirteitä, ja sitä kautta pohditaan millaisia haasteita ne luovat hirsirakentamiseen. Tarkastellaan myös olemassa olevia ratkaisuja näille haasteille.

Viidennessä luvussa tutustutaan hirsirakentamisen tulevaisuuteen ja kehitysnäkymiin. Tarkastellaan millaisia mahdollisuuksia hirsirakentamisella voisi olla jo toteutettujen projektien kautta.

Työ antaa lukijalle hyvän yleiskäsityksen hirsirakentamisesta, ja voi oikaista joitain ennakkoluuloja tai kuulopuheita mitä hirsirakentamiseen ja siihen liittyviin menetelmiin yhdistetään. Samalla lukija hahmottaa hirsirakentamisen tarjoamia mahdollisuuksia ja sen mihin suuntaan hirsirakentaminen on Suomessa kehittymässä.

2. HIRSIRAKENTAMINEN

Rakennustietokortiston määritelmän mukaan hirsi on höyläämällä tai sorvaamalla valmistettu massiivinen vähintään 68 mm paksu, lähinnä seinämateriaalina käytettävä rakennustarvike. Hirressä voi olla erilaisia varauksia tai halkeilua estäviä uria. (RT-kortisto 2014)

Ensimmäiset hirsitalot n. 600–900 luvuilla olivat vain maata vasten rakennettuja kotia, joissa muutama hirsikierros toimi matalana kehikkona. 1000-luvulla siirryttiin hämyisiin savupirtteihin, jotka nimensä mukaan lämmitettiin päästämällä savut sisälle korkeaan hirsitupaan. (Aihkitalot 2022) 1600-luvulla lasiset ikkunat, savupiiput sekä paremmin eristävät katot lisäsivät asumismukavuutta huomattavasti. 1800-luvulla hirsitaloja valmistettiin myös kaupunkeihin rakennustekniikan kehittyttyä ja porvariston tuvat kehittyivät huoneistoiksi. Seuraava suuri kehitysaskel hirsirakentamisessa tapahtui 1960-luvulla, kun perinteisen käsityönä valmistamisen lisäksi hirssiä alettiin valmistamaan teollisesti höyläämällä. (Kultahirsitalot 2022a)

Hirsitaloilla on pitkä historia, jonka aikana tietyt opit ovat vakiintuneet ja on saatu paljon kokemusta sekä tietoa hirsirakenteista. Hirsitalot tunnetaan pitkästä käyttöistään, hyvälaatuisesta sisäilmastaan sekä luonnollisesta tunnelmastaan. Hirsitalon rakentaminen on ekologinen valinta, sillä puu on uusiutuva luonnonvara ja hirret sitovat runsaasti hiiltä itseensä. Nykyaikaisen standardit täyttävän hirsitalon rakentaminen vaatii huolellisen suunnittelutyön sekä toteutuksen.

2.1 Miksi hirsitalo?

Hirsitalot ovat kasvattaneet merkittävästi suosiotaan viimeisten vuosien aikana, mikä on johtanut siihen, että nykyään uusista rakennettavista omakotitaloista jo joka neljäs rakennetaan hirrestä. Syytä hirsitalon rakentamiselle verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin ovat hirsitalon ekologisuus, pitkä elinkaari, esteettisyys sekä terveydelliset edut, jotka saavutetaan paremman sisäilman kautta.

2.2 Miten eroaa muusta rakentamisesta?

Muusta rakentamisesta poiketen, hirsitalot rakennetaan pitkälti yhdestä materiaalista eli puusta. Puu on luonnostaan lämpöä eristävä sekä hengittävä materiaali, mikä mahdollistaa miellyttävän sisäilman lisäksi sen, että seinärakenteen ollessa tarpeeksi paksu, se ei tarvitse ollenkaan lisäeristystä. Lisäksi hirsi kestää käyttöä erittäin hyvin. Hirsitalon

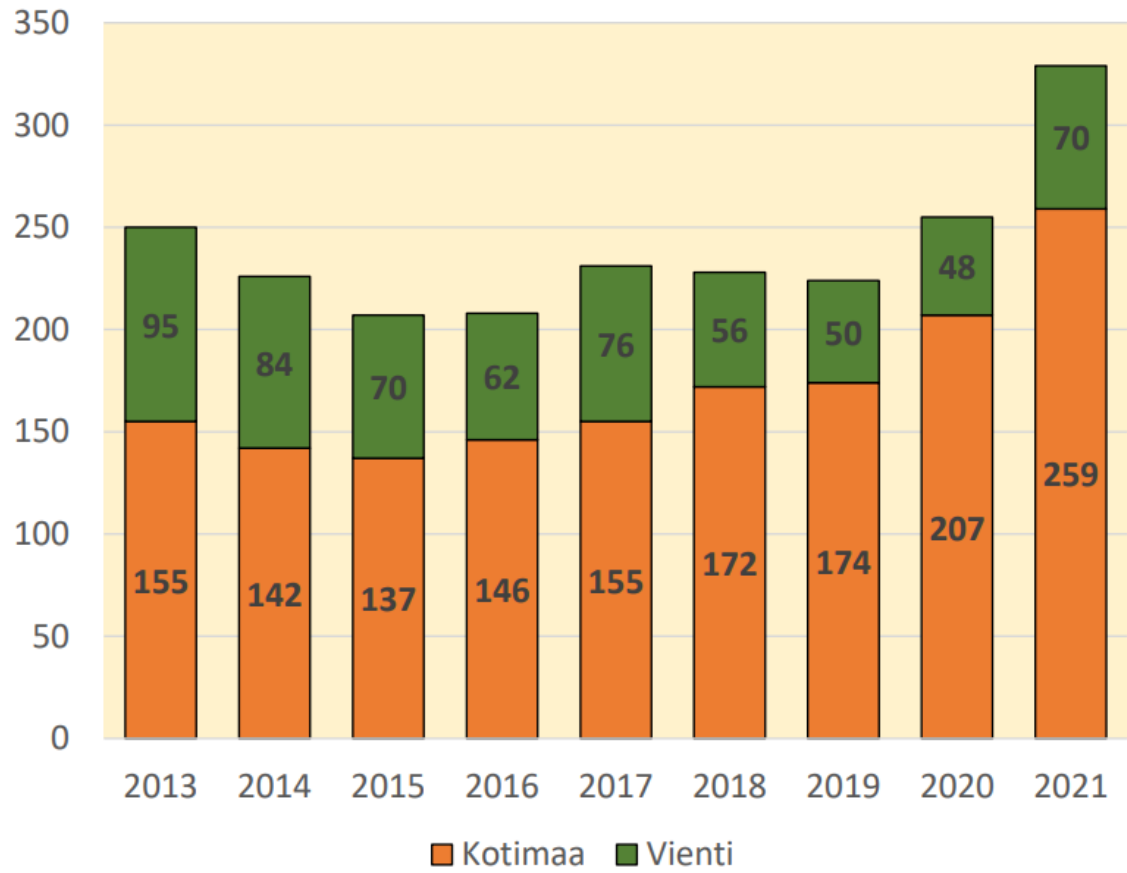
rakentamiseen liittyy kuitenkin tiettyjä haasteita ja erityispiirteitä, joita käsitellään myöhemmin luvussa 4.

Hirsirakentamisen lisäksi puusta rakennetaan myös rankarunkoisia puutaloja. Hirsitalo ja rankarunkoinen puutalo ovat muilta rakenteiltaan pitkälti samanlaisia suurimpana erotavana tekijänä ollessa seinärakenteet. Hirsitalossa seinä rakennetaan yhdestä materiaalista, jolloin valmista pintaa tulee sitä mukaa kun hirsii pinotaan päällekkäin. Puutalossa taas seinä koostuu useista eri rakennekerroksista, jolloin valmistusprosessikin on monivaiheisempi ja voi kestää pidempään. Rankarunkoinen puutalo ei ole yhtä ekologinen kuin hirsitalo, eikä sillä ole hirren hengittäviä ominaisuuksia. Etuna puutalossa on seinien parempi eristävyys, mutta riskinä on höyrynsulun pettäminen tai kosteuden päätyminen muuta reittiä rakennekerrosten väliin, jolloin seinässä voi alkaa kasvaa homeita. Yksiaineisessa kosteusrasitukselta suojatussa hirsiseinässä tätä ei pääse tapahtumaan. Oikein toteutettuna molemmilla rakennetyypeillä päästään hyvään lopputulokseen. Valinta tehdään sen mukaan mitä ominaisuuksia talolta toivotaan.

Omakotitalorakentamisessa hirsitalon rakentaminen on noin 15–20 % kalliimpaa kuin elementtitalon rakentaminen (Perustava 2021). Tähän vaikuttaa esimerkiksi puun markkinahinta, sekä se, että hirressä on tehtaalta tullessaan valmista pintaa niin sisälle kuin ulospäin. Hirsitaloa kalliimmaksi vaihtoehdoksi jää paikoillaan rakennettu kivitalo. Elementtitaloon verrattuna hirsitalon suurempaa kustannusta voidaan pitää rakennuttajan näkökulmasta perusteltuna sillä, että hirsitalolla on pidempi käyttöikä, jolloin sen arvo säilyy paremmin. Lisäksi hirsitalon rakentaminen on rakennuttajalle ekologinen vaihtoehto, jolla voidaan tukea kestäväää kehitystä sekä saadaan käyttäjälle terveyttä tukeva toimintaympäristö.

Teollisen hirren markkinaosuus on kasvanut pientalorakentamisessa 11 prosentista 27 prosenttiin vuosina 2010–2020. Euroissa mitattuna hirren osuus vuonna 2020 oli 22 %. (Hirsikoti 2020) Vuonna 2021 koettiin jälleen uusi nousupiikki hirsirakentamisessa, kun teollisen hirren liikevaihto kasvoi 30 % verrattuna edelliseen vuoteen 2020.

TEOLLISEN HIRREN LIIKEVAIHTO MILJOONAA EUROA, ALV 0 %



Kuva 1. Teollisen hirren liikevaihto (Rakennusmaailma 2022).

3. HIRSIRAKENTAMISEN EDUT

Kaikkiin eri rakennetyyppeihin liittyy niille ominaisia etuja ja huonoja puolia toisiin rakennetyyppeihin verrattuna. Hirsitalon edut liittyvät pitkälti hirren luonnonmukaisuuteen ja hirsitalon erilliseen valmistusprosessiin. Hirsitalon runko voidaan kasata etukäteen tehtaalla, jolloin varmistetaan hirsien yhteensopivuus. Tällöin hirsitalon pystytys työmaalla tapahtuu nopeasti, eikä runko joudu olemaan pitkään sateelle alttiina. Hirsitalon tunnetuimpia etuja on kuitenkin ekologisuus ja hengittävyys.

3.1 Ekologisuus

Hirsitalon ekologisuus on yksi olennaisimmista syistä hirsitalon valintaan rakennusmenetelmäksi. Hirsitalo on kestävä, se ei rapistu muutamassa vuosikymmenessä sekä sen ylläpito ja korjaaminen yksinkertaisuutensa vuoksi kuluttaa vähemmän energiaa. Hirsitalon käyttöänsä tultua loppuun, käytetyt hirret voidaan uusiokäyttää, tai ne voidaan polttaa energiaksi. Hirsitalon ekologisuutta nostaa myös seinien kyky varata lämpöä, jolloin se pystyy tasaamaan nopean ulkoilman lämpötilan vaihtelun aiheuttamia talon lämmitys- ja jäähdytystarpeita. (Kontio 2019)

Hirsitalo toimii hiilinieluna. Kuutiometri metsässä kasvavaa puuta sitoo kasvunsa aikana tonnin ilman hiilidioksidia ja samalla ilmakehään vapautuu 700 kg happea. Valmiin puutavaran painosta noin puolet on hiiltä. Hirsirakentamisen etu muihin puun käyttötapoihin on se, että puuhun sitoutunut hiilimäärä on poissa luonnon kiertokulusta talon koko käyttöänsä ajan, joka voi olla jopa 100 vuotta. (Hoivarakentajat 2022)

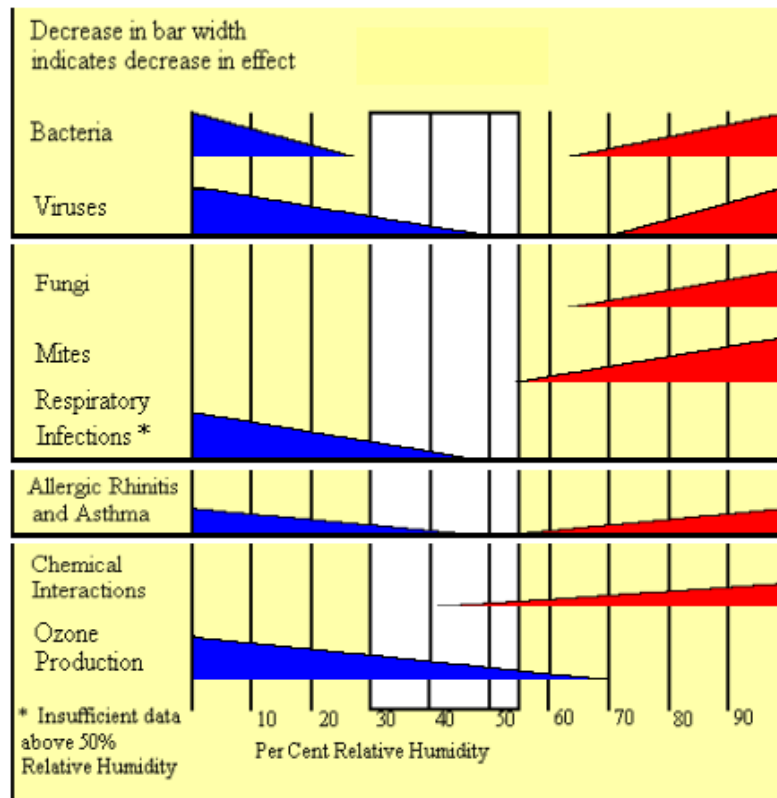
Tukkipuusta hirren valmistamiseen käytetään noin 25 %. Loput valmistetaan sahatavaraksi, paperin raaka-aineeksi tai energiantuottoon. Keskimääräisen hirsitalon valmistamiseen käytetään noin 120 m³ tukkipuuta ja keskimääräisen suomalaisen metsäkasvun mukaan se määrä saadaan korjattua noin 1.4 hehtaarin metsäpinta-alalta. Puuta kasvaa metsissämme noin 23 miljoonaa m³ enemmän kuin sitä hakataan vuosittain, joten voisimme valmistaa vuosittain 70 000 uutta hirsitaloa eikä puun määrä vähenisi metsissämme. (Hirsikoti 2014)

3.2 Hengittävyys

Yksi hirsitalojen suosion nousuun vaikuttava tekijä on hirsirakennuksiin yleisestikin yhdistetty tasainen ja miellyttävä ilmanlaatu. Rakennuksen ilmanlaatua tarkastellessa tärkeätä on sopiva ilmankosteus, sillä liian matala ilmankosteus lisää esimerkiksi pölyn, bakteerien, sekä virusten määrää ilmassa, kun taas liian korkea ilmankosteus virusten ja bakteerien määrän kasvun lisäksi luo esimerkiksi homesienelle hyvät kasvuolosuhteet. Sisäilman optimaalinen kosteus on 30–55 % (Honka 2020).

Hirsi on optimaalisen ilmankosteuden tavoittelun kannalta ylivertainen seinämateriaali verrattuna muihin materiaaleihin. Usein kuullaankin puhuttavan, että hirsi on hengittävä materiaali. Hengittävyys ei ole itsessään tieteellinen termi, vaan sillä viitataan hirren hygroskooppiseen ominaisuuteen, joka mahdollistaa vesihöyryn siirtymisen diffuusiolla puuaineeseen (Kapillaari 2020). Hirren hygroskooppisuus tarkoittaa, sitä, että hirsi on vuorovaikutuksessa ympäröivän ilman kanssa luovuttaen ja sitoen ilmankosteutta pyrkien aina kosteustasapainoon.

Hirsi pyrkii aina kosteustasapainoon eli saavuttamaan saman kosteuspitoisuuden ympäröivän ilman kanssa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että hirsi tasoittaa kosteusvaihtelun ääripäitä, eli kosteilla kesäkeleillä se sitoo huoneilman kosteutta itseensä ja kuivimpina talvipäivinä se taas vapauttaa kosteutta huoneilmaan. Tällä ei ole negatiivista vaikutusta hirren kestävyteen. (Honka 2021) Hengittävyyden kannalta olennaista on, että hirren pintaa ei tukita hengittämättömän kalvon aiheuttavilla pintakäsittelyaineilla, kuten lakoilla ja maaleilla (Kontio 2023).



Kuva 2. Ilmankosteuden vaikutus sisäilmanlaatuun. (Simonson et al. 2001, 34)

THL laati Pudasjärvellä 2009 valmistuneen hirsitalokorttelin perusteella ilmanlaatuselvityksen, jonka mukaan hirsitalossa asujat ovat kuusi kertaa todennäköisemmin tyytyväisiä sisäilmaan, kuin kivitaloissa asujat sekä neljä kertaa todennäköisemmin tyytyväisiä kuin puutaloissa asujat. Huomion arvoista selvityksessä on se, että hirsitaloista vain yhdessä oli ilmanpuhdistin ja raitisilmaventtiileitäkin oli vähemmän, kuin muissa ryhmissä. Selvityksessä selvisi myös, että hirsitaloasujien yleinen terveydentila oli parempi, kuin puutalo- tai kivitaloasujilla. Ero ei ole kuitenkaan tilastollisesti niin merkittävä, että siitä voidaan tehdä johtopäätöksiä. (Anttila et al. 2012)

4. HAASTEET JA OMINAISPIIRTEET

4.1 Hirsityypit

Hirret jaetaan tyypillisesti niiden koostumuksen ja muodon mukaan. Koostumus voidaan jakaa massiivi- ja lamellihirsiin ja muoto taas pyörö- ja kulmikkaisiin hirsiin. Lamellihirsissä on saatavilla myös painumattomia hirsiä, joissa keskimäinen lamelli on muihin nähden pystysuunnassa. (Puuinfo 2020c) Hirsitalo voidaan myös rakentaa pystyhirrestä, jolloin painumista ei tapahdu. Tässä työssä ei kuitenkaan perehdytä pystyhirsirakentamiseen.

4.2 Kosteus

Vaikka hirsirakenne hengittää ja kosteus pääsee poistumaan vapaasti, tulee hirsitalo suunnitella ja rakentaa siten, ettei vaihtelevat säätilat tai muut kosteuslähteet pääse aiheuttamaan liian suurta kosteusrasitusta hirsirakenteeseen. Hirsirakentamisessa korostetaan usein tarpeeksi pitkien räystäiden sekä perustusten riittävän korkeuden merkitystä. Vaikka määräysten mukaan 300 mm korkeus perustuksille maanpinnasta olisi riittävä, on hirsirakennuksissa hyvä käyttää korkeutena esimerkiksi 400 mm korkeutta. (Hirsikoti 2014)

Yksiaineisen hirsiseinän etuna on, että kosteusrasituksen vaikutusta seinärakenteeseen on helppo seurata. Tämä ei kuitenkaan muuta sitä, että hirsirakennuksen kattorakenteiden tai alapohjan ja perustusten puutteellinen suunnittelu tai asennustyö voivat aiheuttaa kosteusvaurioita samoin kuin muissakin rakenneratkaisuissa. Heikon vettä läpäisevän alapohjan vuoksi vaurioituneet alimmat hirsikerrokset voidaan kuitenkin vaihtaa uusiin, jolloin rakennuksen käyttöikä saadaan kasvatettua huomattavasti. Tällöin puhutaan hirsitalon kengityksestä. Kengityksessä hirsitaloa nostetaan sen verran, että alimmat hirret voidaan vaihtaa uusiin. Nostamista varten pohjatyönä talosta saatetaan irrottaa ovet ja ikkunat, sekä savupiippu kattorakenteesta. Joskus myös sokkeliä joudutaan purkamaan. Tämän jälkeen talo nostetaan ilmaan tunkeilla ja tuetaan hyvin, jolloin hirret voidaan uusia. Yleensä vanhoihin hirsitaloihin pyritään löytämään vanhoja ehjiä hirsiä, jotka sopivat rakennuksen ulkonäköön, mutta myös uusia hirsiä voidaan käyttää. Tiiviiden kannalta tärkeää on, että uusien hirsien saumat sekä mitat sopivat yhteen vanhojen kanssa. (Kultahirsitalot 2022b)

Hirsitalojen pitkäikäisyys on yksiaineisen rakenteen ansiota. Hirsirakenteessa ei ole kondensoitumista aiheuttavia rajapintoja ja kosteus pääsee poistumaan vapaasti. Uudet

tehtaissa valmistetut lamellihirret herättävät kuitenkin epäilystä joidenkin perinteisten massiivihirsitalorakentajien keskuudessa sillä liiman uskotaan pilaavan hirren hengittävät ominaisuudet ja vaikuttaen ilmanlaatuun ja lyhentäen käyttöikää. Tutkimusten mukaan yksi liimasauma aiheuttaa yhtä suuren vesihöyrynvastuksen kuin 25 mm:n paksuinen puu, joten vettä läpäisemätöntä kalvoa ei muodostu hirren sisälle. Sisäilman kosteutta tasaava diffuusio ei myöskään vaikuta muutamaa senttiä syvemmillä, jolloin lamellin sisällä oleva liimapinta ei vaikuta diffuusion. (Honka 2021)

4.3 Tiiviys

Hirsiseinän on täytettävä rakennukselle asetetut tiiviysvaatimukset. Monelle ihmiselle on jäänyt mielikuva vanhasta hirsirakennuksesta, jonka seinän lähellä voi tuntea ilmavirtauksen. Uusissa tehdasvalmisteisissa hirsitaloissa hirsien välinen tiiviys ei ole kuitenkaan ongelma. Haastavampaa on toteuttaa hirsiseinän liittymät rakennuksen muihin rakenneseisiin.

Hirsiseinän tiivistysprosessi alkaa jo tehtaalla, kun hirsisiin työstetään varaukset tiivisteille. Varaukset ovat hirren suuntaisia uria hirren ala- ja yläpuolella. Tiivisteinä voidaan käyttää esimerkiksi lasivillakaistaa tai polypropeeninauhaa (Puuinfo 2016). Huolellisesti asennettu hirsiseinä on tiivis. Eri rakenneosat, kuten ala-, väli- ja yläpohjat, ikkuna- ja oviaukot sekä savupiiput pitää suunnitella siten, että ne toimivat yhteen painuvan hirsirakenteen kanssa säilyttäen tiiviyden. Keskeisessä roolissa painuvien liitoskohtien toteutuksessa ovat rakenteiden mukana elävät eristävät materiaalit. Esimerkiksi ikkunan yläpuolelle jäävä painumavara voidaan täyttää lasivillalla. (Puuinfo 2020g)

4.4 Painuminen

Hirren painuminen aiheutuu huolellisenkin kuivauksen jälkeen hirsipuuhun jääneen kosteuden poistumisesta, sekä seinärunkoon kohdistuvasta kuormituksesta. Hirren huolellinen kuivaus ennen työstämistä kuitenkin vähentää merkittävästi hirren painumista. Huolellisesti kuivatusta sekä tarkasti työstetystä ja asennetusta hirrestä rakennettu metrin korkuinen hirsiseinä painuu tyypillisesti noin 10 mm, kun taas kuivaamattomasta hirrestä rakennettu vastaava seinämetri painuu jopa 50 mm. (Puuinfo 2020a)

Hirsitalon sisätiloissa olevat hirrestä rakennetut väliseinät painuvat enemmän, kuin ulkoseinät. Tämä johtuu siitä, että sisätiloissa olevien väliseinien kosteus asettuu ulkoseinää pienemmäksi. Tällainen painumaero on otettava huomioon suunnittelussa, jos väliseinät kannattelevat väli- tai yläpohjarakenteita. (Puuinfo 2020a)

Ikkunat, oviaukot, väliseinärakenteet, pilarit, tulisija sekä piipun muuraukset on kuitenkin aina otettava huomioon painumattomana rakenteena. Ikkunat sekä oviaukot toteutetaan karapuun ja vaakalankun avulla. Karapuu pystyy elämään vapaasti pystysuunnassa hirsiseinän suuntaisesti ja vaakalankku sijoitetaan karapuiden päälle. Ikkuna tai ovi asennetaan karapuista ja vaakalankusta muodostuvaan painumattomaan kehikkoon. Kehikon yläpuolelle jätetään tyhjää tilaa painumista varten ja tämä tila voidaan täyttää esimerkiksi villalla. Väliseinien yläpuolelle jätetään usein tyhjää tilaa painumavaraksi ja pilareihin sekä muihin kantaviin rakenteisiin voidaan käyttää kierrejalkaa, josta voidaan säätää kantavan rakenteen korkeutta painuman edetessä. (Puuinfo 2020a)

Joissakin tapauksissa painuminen aiheuttaa kohtuuttomia haasteita rakennuksen suunnittelussa, jolloin päädytään usein valitsemaan hirsityypiksi painumaton hirsi. Puu painuu vain syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa, jolloin painumattomassa hirressä oleva keskimmäinen pystysuuntainen lamelli estää painumisen. Tämä mahdollistaa eri rakennusmateriaalien käytön hirren yhteydessä, sekä erilaiset arkkitehtoniset ratkaisut.

4.5 Halkeilu

Hirrelle on ominaista pituussuuntaisten ja kiertävien halkeamien syntyminen. Halkeilu johtuu kuivumisprosessin aikana puuhun syntyvistä jännityksistä, ja sitä esiintyy eniten pyöröhirsissä ja liimaamattomissa massiivihirsissä (Kultahirsitalot 2022c). Kuivuessaan hirsi kutistuu kehän suunnassa kaksi kertaa yhtä paljon kuin säteen suunnassa, jolloin puuhun syntyvät vetävät jännitykset pyrkivät halkaisemaan puun. Lisäksi hirsi kuivuu ulkopinnastaan nopeammin, kuin sisäpuolelta, mikä lisää hirressä vaikuttavia jännityksiä. Halkeilua voidaan hallita tekemällä hirsipuuhun pituussuuntaisia uria. (Puuinfo 2020a)

Tuoreen havupuun kosteus on noin 30 % (Puuinfo 2020b), kun taas valmis hirsi asettuu ulkopinnastaan noin 14 prosenttiin ja lämmitetyissä sisätiloissa noin 8 prosenttiin. Aurinгон säteily, lämpötilan muutokset, sekä rakenteellinen suojaus voivat aiheuttaa hyvinkin suuria kosteusvaihteluita hirressä. Talvella, kun ilma on kuivaa, halkeamat kasvavat ja kesällä taas kutistuvat. (Puuinfo 2020a) Halkeamat hirsiseinässä lisäävät seinän kykyä tasata sisäilman kosteusvaihteluita, sillä ne kasvattavat pinta-alaa seinän ja huoneilman välillä, jossa diffuusio tapahtuu. Pinta-alan kasvu korreloi suoraan seinän kykyyn sitoa ja luovuttaa kosteutta huoneilmasta. Halkeamat ovat yleensä vain kosmeettisia, eivätkä aiheuta heikompaa lämmönjohtamista tai lujuuutta. (RT-kortisto, 2014)

4.6 Palotekninen suunnittelu

Hirsirakentamisessa on tärkeää ottaa huomioon palotekniset riskit. Puu syttyy palamaan noin 250–300 asteessa ja syttymisen jälkeen hiiltäytyy noin 0,8 mm minuutissa. Palon eteneminen paksussa hirressä on kuitenkin hitaampaa, sillä hirren pinnalle muodostunut hiilikerros suojaa hirren sisäpuolta lämpenemiseltä. Tätä tietoa voidaan käyttää hyväksi kantavien rakenteiden paloteknisessä suunnittelussa. (Puuinfo 2020e)

Hirsi määritellään kuuluvan paloluokkaan D-s2,d0, jossa D tarkoittaa sitä, että materiaalin osallistuminen paloon on hyväksyttävissä, s2 sitä, että savuntuotto on vähäistä ja d0, että palavia pisaroita tai osia ei esiinny. (RT-kortisto 2014)

Taulukko 9. Rakennustarvikkeen luokkamerinnän muodostuminen yleisesti.					
Osallistuminen paloon		Savun tuotto		Palavien pisaroiden ja osien tuotto	
Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä	Kuvaus	Merkintä
Ei osallistu paloon	A1	Erittäin vähäinen	s1	Ei esiinny	d0
Osallistuu erittäin rajoitetusti	A2	Vähäinen	s2	Nopeasti sammuvia esiintyy	d1
Osallistuu hyvin rajoitetusti	B	Muu kuin s1 tai s2	s3	Muu kuin d0 tai d1	d2
Osallistuu rajoitetusti	C				
Osallistuminen hyväksyttävää	D				
Käyttäytyminen hyväksyttävää	E				
Käyttäytymistä ei ole määritetty	F				

Kuva 3. Rakennustarvikkeen luokkamerinnän muodostuminen. (Puuinfo 2020d)

Haasteena palomitoituksessa ovat uudet yli kaksikerroksiset puurakennukset, eli esimerkiksi hirsikerrostalot, jolloin paloluokaksi määräytyy P2. Suomen rakennusmääräyskoelman mukaan 3–4 kerroksisissa P2-paloluokan rakennuksissa seinä ja kattopinnat on varustettava vähintään A1-s1, d0-paloluokan tarvikkeista tehdyllä vähintään K_2 30-luokan (suojausaika 30 min) suojaverhouksen omaavilla materiaaleilla. Näin ollen hirren paloluokitus ei ole riittävä pintamateriaaliksi. Kun hirsi peitetään jollain muulla materiaallilla, menettää hirsirakennus tavoitellut hengittävät ominaisuutensa. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, 22)

Rakennusmääräyskokoelman mukaan vaadittu suojaverhous voidaan kuitenkin korvata rakenteella, joka suojaa rakenteita vastaavan ajan syttymiseltä, hiiltymiseltä tai muilta vaurioilta (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, 22). Käytännössä siis hirrestä tehdään sen verran paksumpi, että sen rakenteelliset ominaisuudet eivät heikkene olennaisesti vaadittuna suojausajana. Tällöin puhutaan toiminnallisesta palomitoituksesta, joka vaatii kattavaa palon simulointia rakennuksessa. Haasteena suunnittelussa on kuitenkin nurjahdusmitoitus, sillä hirsiseinälle ei ole yleisiä nurjahdusmitoitukskaavoja palomitoitukseen (Puuinfo 2016).

4.7 Äänieristys

Puu on kevyt materiaali, joten sen massa ei itsessään riitä massiivisenakaan toteuttamaan asuinhuoneistojen välille asetettuja äänieristävyysvaatimuksia. (Puuinfo 2016) Usein hirsitalojen väliseinät ovatkin niin sanottuja monikerrosrakenteita, joissa kahden rakennekerroksen väliin asennettu eristekerros toimii absorptiomateriaalina värähtelylle vaimentaen tehokkaasti erityisesti matalia ääniä. Monikerrosrakenteet voidaan toteuttaa levyistä, paneeleista, tai vaihtoehtoisesti hirsistä, joiden väliin eristekerros asennetaan. Välipohjien äänieristävyttä voidaan taas lisätä kasvattamalla välipohjan massaa esimerkiksi pintabetonivalulla. (Puuinfo 2020f)

Äänitekniset vaatimukset ovat usein suurin haaste hirsirakenteista kerrostaloa suunniteltaessa. Rakenteet kannattaakin suunnitella ensin ääniteknisestä näkökulmasta, jolloin saadaan määriteltyä käytettävät rakennetyypit ja liitosdetaljit. Yksinkertainen pohjaratkaisu suorilla linjoilla tekee äänisuunnittelusta kustannustehokkaampaa ja jäykistyksestä helpompaa. (Puuinfo 2016) Työssä käsiteltävässä Pudasjärvelle rakennetussa hirsikerrostalossa äänitekniikkaan liittyvät haasteet ratkaistiin betonirakenteella.

4.3 Energiätehokkuus

Hirsiseinän eristävyys ilman lisäeristystä on selvästi huonompi verrattuna muihin villalla eristettyihin seiniin. Hirsiseinän lämmönläpäisykerroinvaatimus on $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, kun taas muilla seinärakenteilla se on $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. 270 mm paksun suuriin rakennuksiin tarkoitetun massiivihirren U-arvo on $0,41 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (Honka 2017), eli paksukaan hirsiseinä ei vielä täytä vaatimuksia. Seinän huonoa eristävyttä voidaan kuitenkin kompensoida monikerroksisilla energialla säästävillä ikkunoilla, paremmalla lämmön talteenotolla ja ylä- ja alapohjan paremmalla eristyksellä. Muiden rakenneosien ja ilmanvaihdon kompensatio otetaan huomioon tasauslaskennan avulla. (E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011)

Massiivisena rakenteena hirsi tasaa rakennuksen lämpötilaa sitomalla ja vapauttamalla seiniin varastoitunutta lämpöä. Tämä on etenkin kesällä tärkeä ominaisuus sopivan lämpötilan ylläpitämisen kannalta, sillä yöllä jäähtyessään hirsiseinä vapauttaa päivällä siihen varastoitunutta lämpöä, ja vastaavasti jäähdyttää taloa seuraavana päivänä varastoimalla lämpöenergiaa huoneilmasta. Talvella hirsiseinät tasoittavat lämmitystarvetta kovimpina pakkasöinä.

5. HIRSIRAKENTAMISEN TULEVAISUUS JA KEHITYSNÄKYMÄT

5.1 Hirsihovi

Elämme aikaa, jossa kaupungit laajenevat kovalla vauhdilla ihmisten muuttaessa maaseudulta kaupunkiin palveluiden sekä työpaikkojen perässä. Kaupunkeihin rakennetaan jatkuvasti uusia kerrostaloja vastaamaan ihmisten tarpeisiin. Jatkuva rakentaminen kuluttaa kuitenkin ympäristöä ja olisi hyvä miettiä vaihtoehtoja, jotka ovat ympäristöystävällisempiä. Betonin käyttö rakentamisessa on herättänyt viime aikoina paljon keskustelua sen päästöjen vuoksi ja herää kysymys, voisiko hirsirakenteiset kerrostalot olla yksi ratkaisu tähän haasteeseen?

Puurakenteisia kerrostaloja on valmistettu Suomessa jo aiemmin, mutta Suomen ensimmäiset hirsirakenteiset kerrostalot rakennettiin Pudasjärvelle vuonna 2021. Kahdesta hirsitalosta muodostuva kokonaisuus sai nimekseen Hirsihovi. Rakentaminen aloitettiin toukokuussa 2020 rungon ja vesikaton rakentamisella ja hirret asennettiin syksyllä 2020. Työmaa valmistui syksyllä 2021. (Puuinfo 2022)

Rakenteet toteutettiin hybridirakenteena, jossa ulkoseinävaippa on rakennettu hirrestä, mutta välipohjarakenteet sekä väliseinät on tehty betonista. Näin saatiin luotua ratkaisu, joka on jäykkä, kosteusteknisesti kestävä, sekä eristää ääntä. Haasteena suunnittelussa oli yhdistää hirsinen seinärakenne betonirakenteisiin niin tiiviisti, että palotekniset- sekä äänieristävyysvaatimukset täytyvät. Paloluokaksi betonirunkoisessa talossa muodostui P1, ja puun käyttö ei aiheuttanut palomitoituksessa erityisvaatimuksia. Ulkoseinässä käytettiin painumatonta 275 mm x 275 mm hirttä yhteensä 9.5 kilometriä, joihin on varastoitunut 670 tonnia hiilidioksidia. Asuntoja valmistui 53 kappaletta, joiden koot vaihtelevat 35.5 m² ja 80 m² välillä. (Puuinfo 2022)

Kokonaan hirsirakenteiseen ratkaisuun ei Hirsihovin osalta päästy, mutta hirrestä ja betonista valmistettu hybridirakenne on ensimmäinen askel kohti hirren laajempaa hyödyntämistä kaupunkirakentamisessa. Tulevaisuudessa voidaan mahdollisesti nähdä lisää hybridirakenteisia hirsikerrostaloja, ja jos betonirakenteetkin onnistutaan korvaamaan puulla, rakentamisen kuorma ympäristölle on entistä pienempi.



Kuva 3. Hirsihovin julkisivu. (Puuinfo 2022)



Kuva 4. Hirsihovin sisätilanäkymä. (Puuinfo 2022)

5.2 Pudasjärven hirsikampus

Pudasjärvellä on myös aikaisempaa kokemusta suurista hirsirakennuksista, sillä vuonna 2016 Pudasjärvelle valmistunut 9800 m² hirsikampus on maailman suurin hirsirakennus (Pudasjärven kaupunki). Hirsikampus koostuu neljästä eri osasta, jotka yhdistyvät toisiinsa lasitetuilla käytävillä. Yksi rakennuksen neljästä osasta on muista poiketen rakennettu teräsbetonista. Teräsbetoni oli luonnollinen ratkaisu, sillä keittiötilat ja väestönsuoja asettavat rakennuksen osalle vaatimuksia, jotka olisi vaikeampaa täyttää hirsirakenteella. Ulospäin teräsbetoni ei näy, sillä teräsbetoniseinä on puulla verhoiltu. (Puuinfo 2020h)

Hirsikampuksen ulkoseinät ovat 275 mm paksuista massiivista lamellihirttä ja väliseinissä on käytetty kolmea hirsipaksuutta (275, 205 ja 130 mm). Haasteena suunnittelussa oli hirsiseinien painuminen. Varsinkin betonirakenteisen ja hirsirakenteisen osan välille rakennetun sillan suunnittelu aiheutti haasteita. Näihin löydettiin kuitenkin ratkaisut. Koska hanke oli ensimmäinen laatuaan, nousi pinnalle palotekniikkaan liittyviä tulkinnanvaraisia kysymyksiä. Ratkaisu löytyi, kun viranomaisten kanssa päästiin yhteisymmärrykseen riittävästä palomitoituksesta. (Puuinfo 2020i) Kaapeleiden ja johtojen sijoittelu rakenteisiin ratkaistiin hirsiiin tehtaalla poratuilla pystysuuntaisilla rei'illä (Nylund).

Yhtenä tavoitteena koulun rakentamisessa oli päästä eroon aikaisempia Pudasjärven koulurakennuksia vaivanneista sisäilmaongelmista. Yle haastatteli vuonna 2018 Oulusta Pudasjärvelle muuttanutta Maija Moilasen viisihenkistä perhettä. Muuttoa edelsi perheen tyttären jatkuva sisäilmaoireilu koulun vaihtamisesta huolimatta ja Pudasjärven hirsikampus nähtiin ratkaisuna ongelmaan. Haastattelussa Moilanen kertoo koulun vaihtamisen tuoneen helpotusta oireisiin ja nostaa esille sitä, kuinka huonosta sisäilmasta aiheutuvat ongelmat voivat olla hyvin haastavia. Ylen artikkeliin haastatellun Liikelaitos Oulun Tilakeskuksen johtaja Jouko Leskisen mukaan sisäilmaongelmia on vanhoissa kouluissa rakennevikojen tai liian suurien ryhmäkokojen vuoksi. Leskinen kertoo peruskorjausten ylittävän käytössä olevat varat. (Yle 2018)

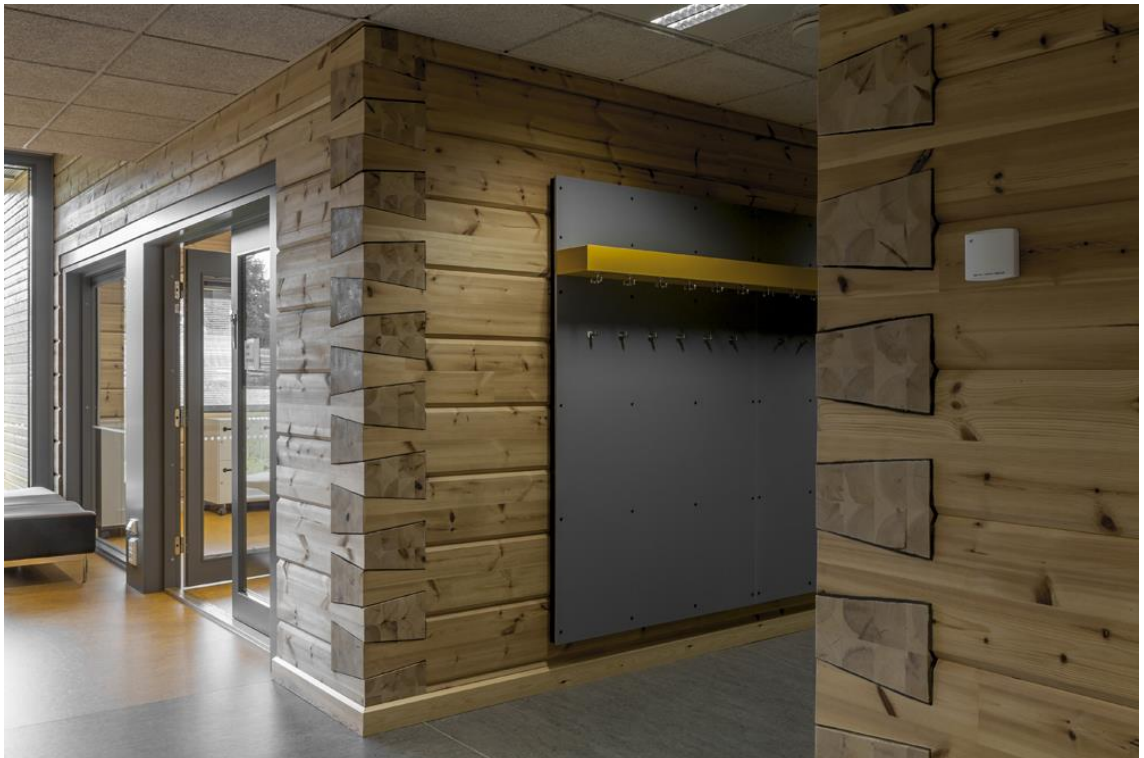
Tyypillistä sisäilmaongelmallisille rakennuksille on kondensoitumisen kannalta ongelmalliset kerrosrakenteet. Kun rakenne pääsee kastumaan, on tilanteen korjaamiseksi vaadittava korjaustyö usein hyvin laajamittainen ja kallis prosessi. Hirsikampuksen kohdalla tätä ei ole kuitenkaan ainakaan seinärakenteiden osalta odotettavissa.

Tulevaisuus näyttää, onko Hirsikampus myös pidemmällä aikavälillä taloudellisesti parempi vaihtoehto muihin rakennustyyppeihin verrattuna. Säästöjä voisi kertyä pidemmän elinkaaren ja alhaisempien huoltokulujen myötä. Pudasjärvi on nyt näyttänyt muulle

maailmalle sen, mikä potentiaali hirsirakentamisella voi olla julkisessa rakentamisessa. Nähtäväksi jää, uskaltaako muut seurata perässä.



Kuva 5. Ilmakuva Pudasjärven hirsikampuksesta (Pudasjärven kaupunki)



Kuva 6. Hirsikampus sisätilat. (Puuinfo 2020h)

5.3 Tulevaisuus ja kehitysnäkymät

Hirsirakentamisen tulevaisuus näyttää lupaavalta. Luottamus hirteen rakennusmateriaalina kasvaa uusien tutkimusten ja suurempien projektien myötä. Uusilla innovaatioilla on pystytty ratkaisemaan hirren tiiviyyteen, lämmöneristävyyteen ja painumiseen liittyviä ongelmia. Myös hirren akustisia ominaisuuksia on pyritty parantamaan käyttämällä apuna akustiikan ammattilaisia. Suunnittelun avuksi RT-korttiin on lisätty osio ”hirsitalon suunnitteluperusteet”. (Hirsikoti 2015)

Hirsirakentamisen tulevaisuutta tukee hirren ekologisuus ja positiiviset terveysvaikutukset. Tulevaisuudessa kiinnitetään enemmän huomiota rakentamisen päästöihin ja ympäristövaikutuksiin, jolloin hiilidioksidia koko elinkaarensa ajan sitova hirsi on ylivertainen materiaali muihin rakennusmateriaaleihin nähden. Sisäilmaongelmat ratkaiseva hirsi on otettu Pudasjärvellä esimerkillisesti käyttöön ja on todennäköistä, että muut paikkakunnat seuraavat vähitellen perässä. Lisäksi hirren luoma kotoisa ja luonnollinen tunnelma kiinnostaa.

Hirsirakentamisen tulevaisuutta on varjostanut hieman tiukentuvat energiavaatimukset ja puheet nollaenergiarakentamisesta. Hirrelle on kuitenkin annettu helpotuksia muihin rakennusmateriaaleihin nähden muun muassa U-arvon suhteen, ja vaikka vaadittu U-arvokaan ei täyty, voidaan se kompensoida tasauslaskennalla. Suurempia lämmityskustannuksia voidaan myös hillitä esimerkiksi maalämpöpumpun asentamisella, jolloin lämmityskustannukset säilyvät hyvin maltillisina. Ratkaisuja on siis olemassa ja on pitkälti tahtotilasta kiinni, halutaanko rakentaa hirrestä.

6. YHTEENVETO

Hirsirakentamisen suosio on selkeästi kasvussa. Suosion kasvu johtuu osittain kasva-
neista sisäilmaongelmista mutta myös hirren perinteinen olemus ja ekologisuus kiinnos-
taa. Kuten monella muullakin rakennusmateriaalilla, hirrellä on sille ominaisia piirteitä,
joista aiheutuu hyötyjä ja haittoja. Hygroksooppisuus mahdollistaa hirren hengittämisen,
kun taas painuminen ja hirren eläminen tekee suunnittelusta haastavampaa. Hirsiraken-
tamiseen liittyviä haasteita on kuitenkin pystytty ratkaisemaan sillä tasolla, että on uskal-
lettu valita hirsi rakennusmateriaaliksi suurissakin projekteissa.

LÄHTEET

Aihkitalot 2022. Hirsitalojen historiaa. Saatavissa: [https://www.aihkitalot.fi/aihki-hirsitalo/historia/#:~:text=Hirsikodat%20\(n.,noin%201000%E2%80%931500%20vuoden%20takaa](https://www.aihkitalot.fi/aihki-hirsitalo/historia/#:~:text=Hirsikodat%20(n.,noin%201000%E2%80%931500%20vuoden%20takaa). Viitattu 4.3.2023.

Anttila M., Pekkonen, M. ja Haverinen-Shaughnessy U. 2012. Asumisterveys ja -tyytyväisyys hirsitalossa. Saatavissa: https://kontio.studio.crasman.fi/pub/Pdf/asumisterveys_ ja_tyytyvaisyys_hirsitalossaRaportti_thl.pdf. Viitattu 15.4.2023.

Carey J. Simonson, Mikael Salonvaara & Tuomo Ojanen. Improving Indoor Climate and Comfort with Wooden Structures 2001. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2001/P431.pdf>. Viitattu 15.4.2023.

E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten paloturvallisuus - Määräykset ja ohjeet 2011. Saatavissa: https://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf. Viitattu 1.5.2023.

Hoivarakentajat 2022. Hirrestä rakennuttaminen on puun ympäristöystävällisintä käyttöä. Saatavilla: <https://hoivarakentajat.fi/hirresta-rakennuttaminen-on-puun-ilmastoystavallisinta-kayttoa/>. Viitattu 20.3.2023.

Honka 2017. Honka-hirret. Tietopaketti saatavilla olevista hirsistä. Saatavissa: <https://www.honka.fi/app/uploads/2017/05/HONKA-LOOK-Hirret.pdf>. Viitattu 5.5.2023.

Honka 2020. Hirsirakennuksen sisäilma tukee työhyvinvointia. B2B-blogikirjoitus. Saatavissa: <https://www.honka.fi/fi/blog/2020/11/25/hirsirakennuksen-sisailma-tukee-tyohyvintia/>. Viitattu 5.4.2023.

Honka 2021. Mitä tarkoittaa, että hirsirakennus hengittää. Blogikirjoitus. Saatavissa: <https://www.honka.fi/fi/blog/2021/01/15/mita-tarκοittaa-etta-hirsirakennus-hengittaa-2/>. Viitattu 5.4.2023.

Hirsikoti 2014. Hirsirakentamisen perusteet. Saatavissa: https://www.hirsikoti.fi/assets/images/Koulutusmateriaali/Hirsirakentamisen_perusteet.pdf. Viitattu 1.4.2023.

Hirsikoti 2015. Hirren käyttö julkisessa rakentamisessa kasvussa. Tiedote. Saatavissa: <https://www.hirsikoti.fi/fi/my-tow!-loppuraportti-on-julkaistu/hirren-kaytto-julkisessa-rakentamisessa-kasvussa>. Viitattu 25.5.2023.

Hirsikoti 2020. Hirsiomakotitalojen markkinaosuus on edelleen kasvussa. Saatavissa: <https://www.hirsikoti.fi/fi/my-tow!-loppuraportti-on-julkaistu/hirsiomakotitalojen-markkinaosuus-on-edelleen-kasvussa>. Viitattu 10.3.2023.

Kapillaari 2020. Rakennusmateriaalien hygroskooppisuus. Saatavissa: <https://kapillaari.fi/materiaalien-hygroskooppisuus/>. Viitattu 5.4.2023.

Kultahirsitalot 2022a. Hirsirakentaminen Suomessa – hirsitalojen historiaa. Saatavissa: <https://www.kultahirsitalot.fi/yleinen/hirsirakentaminen-suomessa-hirsitalojen-historiaa/>. Viitattu 4.3.2023.

Kultahirsitalot 2022b. Hirsitalon kengitys – Lahojen hirsien korjaaminen. Saatavissa: <https://www.kultahirsitalot.fi/remontointi/hirsitalon-kengitys-lahojen-hirsien-korjaaminen/>. Viitattu 25.4.2023

Kultahirsitalot 2022c. Ongelmat hirsitaloissa: hirren halkeilu. Saatavissa: <https://www.kultahirsitalot.fi/remontointi/yleisimmat-ongelmat-hirsitaloissa/>. Viitattu 27.4.2023.

Kontio 2019. Hirsitalo on valinta paremman ilmaston hyväksi. Saatavissa: <https://www.kontio.com/fi-FI/koe-kontio/stories/hirsitalo-on-valinta-paremman-ilmaston-hyvaksi/>. Viitattu 20.3.2023.

Kontio 2023. Usein kysytyt kysymykset-Haittaako tai estääkö lamellihirren liima hengittävyttä? Saatavissa: <https://www.kontio.com/fi-FI/ukk/estaako-lamellihirren-liimaus-hengittavyytta/>. Viitattu 5.4.2023.

Nylund. Pudasjärven hirsikampus. Yrityksen referenssit. Saatavissa: <https://nylund.fi/yritys/ajankohtaista/referenssit/pudasjarven-hirsikampus/>. Viitattu 15.5.2023.

Perustava 2021. Hirsitalon rakentaminen ja hirsitalon perustukset. Saatavissa: <https://www.perustava.fi/blogi/rakentajan-vinkit/hirsitalon-rakentaminen-ja-hirsitalon-perustukset#:~:text=Hirsitaloa%20pidet%C3%A4%C3%A4n%20yleisesti%20kaliina%20vaihtoehtona,kuin%20paikoillaan%20rakennetun%20kivitalon%20hintaa>. Viitattu 10.3.2023.

Pudasjärven kaupunki. Pudasjärven hirsikampus: Koulun esittely. Pudasjärven kaupungin verkkosivut. Saatavissa: <https://www.pudasjarvi.fi/perusopetus/peruskoulut-ja-alueet/hirsikampus/koulun-esittely/>. Viitattu 15.5.2023.

Puuinfo 2016. Tekninen tiedote, P2-paloluokan hirsirakennus. Saatavissa: <https://docplayer.fi/41557595-Tekninen-tiedote-sisalto-p2-paloluokan-hirsirakennus.html>. Viitattu 25.4.2023

Puuinfo 2020a. Hirsirakenteet: Ominaispiirteitä. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/ominaispiirteita/>. Viitattu 27.4.2023.

Puuinfo 2020b. Puun ominaisuudet: Kosteustekniset ominaisuudet. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/#:~:text=Tuoreen%20havupuun%20kosteuspitoisuus%20on%20noin,vaihtele%208%E2%80%9325%20%25%20v%C3%A4ill%C3%A4>. Viitattu 27.4.2023.

Puuinfo 2020c. Hirsirakenteet: Hirsityypit ja perusprofiilit. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/materiaalivaihtoehdot/>. Viitattu 25.4.2023.

Puuinfo 2020d. Rakennustarvikkeiden ja pintojen luokitus. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/4-Rakennustarvikkeiden-ja-pintojen-luokitus.pdf>. Viitattu 1.5.2023.

Puuinfo 2020e. Puun ominaisuudet: Paloteknisiä ominaisuuksia. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/paloteknisia-ominaisuuksia/>. Viitattu 1.5.2023.

Puuinfo 2020f. Puun ominaisuudet: Äänitekniisiä ominaisuuksia. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/aaniteknisia-ominaisuuksia/>. Viitattu 1.5.2023.

Puuinfo 2020g. Hirsirakenteet: Seinän ominaisuudet. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/hirsirakenteet/seinan-ominaisuudet/>. Viitattu 25.4.2023

Puuinfo 2020h. Pudasjärven hirsikampus. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/paivakodit-ja-koulut/pudasjarven-hirsikampus/>. Viitattu 15.5.2023.

Puuinfo 2022. Asuinkerrostalot: Hirsihovi. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/asuinkerrostalot/hirsihovi/>. Viitattu 10.5.2023.

Rakennusmaailma 2022. Joka neljäs uusi omakotitalo rakennetaan hirrestä. Saatavissa: <https://rakennusmaailma.fi/joka-neljäs-uusi-omakotitalo-rakennetaan-hirresta/>. Viitattu 15.3.2023.

RT-kortisto 2014. RT 82-11168 Hirsitalon suunnitteluperusteet. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2082-11168>. Viitattu 4.3.2023.

Yle 2018. Moilaset muuttivat toiselle paikkakunnalle, kun tytär sairastui koulun sisäilmasta – uudessa hirsikoulussa oireet helpottuivat. Artikkel. Saatavissa: <https://yle.fi/a/3-10400197>. Viitattu 15.5.2023.

