

Sanna Vähäkangas

HIRREN TERVEELLISYYS

Kontio Healthy Living

HIRREN TERVEELLISYYS

Kontio Healthy Living

Sanna Vähäkangas
Opinnäytetyö
Kevät 2023
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma

Tekijä: Sanna Vähäkangas

Opinnäytetyön nimi: Hirren terveellisyys – Kontio Healthy Living

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: The healthiness of log – Kontio Healthy Living

Työn ohjaajat: Janne Jokelainen Oamk, Mikko Löf Kontiotuote Oy

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: Kevät 2023

Sivumäärä: 60

Opinnäytetyössä koostetaan hirsirakennusten käyttämiseen liittyvän terveellisuuden tutkimustieto Kontiotuote Oy:n koulutus- ja argumentointi tarkoituksiin, sekä laaditaan työn pohjalta materiaali Kontiotuotteen intraan. Käytännössä tämä tarkoitti perehtymistä rakentamiseen liittyviin terveellisuudenasetuksiin ja ohjeistuksiin sekä puuhun ja hirteen liittyviin terveellisyttä koskeviin tutkimuksiin.

Opinnäytetyössä tiivistettiin varsinaisen työosuuden pohjaksi Suomen asumisterveysohje ja sisäilmastoluokitus vuodelta 2018 niissä määritellyine raja-arvoineen. Varsinaisessa työosuudessa koostettiin tutkittua tietoa puun terveyteen vaikuttavista ominaisuuksista sisäilmastossa. Aihealueina olivat sisäilmaston laatu ja siihen vaikuttavat tekijät, kuten puun päästöt sisäilmaan ja antibakteerisuus, lämpö- ja kosteusominaisuudet, psykologiset - ja fysiologiset vaikutukset sekä ääni ja valaistus.

Työssä perehdyttiin hirren lämpö- ja kosteusteknisiin ominaisuuksiin, niihin liittyviin määräyksiin sekä niistä tehtyihin tutkimuksiin. Tutkimukset käsittelivät puun kosteuspuskurointikykyä ja myös lämpöakkuna toimimista. Yhdessä ilmiöillä voisi olla mahdollisuus parantaa hirsirakennuksien energiatehokkuutta.

Puumateriaalien sisäilman laadun osalta tietoa koostettiin männyn ja kuusen uuteaineista aiheutuvista VOC-päästöistä, sekä niiden terveysvaikutuksista ja puun antibakteerisuudesta.

Opinnäytetyössä käsiteltiin lisäksi valaistusta ja ääneneristävyyttä massiivipuुरakentamisen näkökulmasta. Valaistuksen osalta tämä tarkoitti valaistussuunnittelua hirsirakennuksessa. Ääneneristämisen osalta koostettiin puuhun ääniteknisesti liittyviä käsitteitä sekä esiteltiin joitakin massiivipuुरakenteen akustisia ominaisuuksia.

Lisäksi koostettiin useita puun psykologisiin ja fysiologisiin positiivisiin vaikutuksiin liittyvien tutkimusten tuloksia. Tärkeimpinä teemoina olivat puun vaikutukset toimistoympäristössä sekä biofilisen suunnittelun tärkeys tulevaisuuden rakennus- ja kaupunkisuunnittelussa.

Asiasanat: Hirsi, puu, terveellisyys, sisäilmasto, tutkimus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Architecture

Author: Sanna Vähäkangas

Title of thesis: The Healthiness of Log - Kontio Healthy Living

Supervisor(s): Janne Jokelainen Oamk, Mikko Löf Kontiotuote Oy

Term and year when the thesis were submitted: Spring 2023

Number of pages: 60

The thesis compiles research data on the healthiness related to the use of log buildings for Kontiotuote Oy's training and argumentation purposes and prepares material for Kontiotuote intranet based on the work. In practice, this meant familiarizing oneself with healthiness regulations and guidelines related to construction, as well as healthiness studies related to wood and logs.

The thesis summarized the Finnish Housing Health Guidelines and the Indoor Climate Classification from 2018 with the limit values defined in them as the basis for the actual work part. In the actual work part, research-based information on the health properties of wood in the indoor climate was compiled. The topics covered were indoor climate quality and factors affecting it, such as wood emissions into indoor air and antibacterially, heat and humidity properties, as well as sound, lighting, psychological and physiological effects.

The work focused on the thermal and moisture technical properties of logs, the related regulations and the studies carried out on them. The studies dealt with the moisture buffering ability of wood and its function as a heat accumulator. Together, the phenomena could have the potential to improve the energy efficiency weakness associated with log buildings and improve the reputation of log buildings in this regard.

About the indoor air quality of wood materials, information was compiled on VOC emissions caused by pine and spruce extractives, as well as their health effects and the antibacterial properties of wood.

The thesis also dealt with lighting and sound insulation from the perspective of solid wood construction. In terms of lighting, this meant lighting design in a log building. In terms of sound insulation, concepts related to wood in terms of sound technology were compiled and some of the acoustic properties of the solid wood structure were presented with pictures compared to other structures.

In addition, several results of studies related to the psychological and physiological positive effects of wood were compiled. The most important themes were the effects of wood in the office environment and the importance of biophilic design in future building and urban planning.

Keywords: Log, wood, healthiness, indoor climate, research

ALKULAUSE

Haluan kiittää Kontiotuote Oy:tä opinnäytetyön aiheesta ja mahdollisuudesta perehtyä itseäni valtavasti kiinnostavaan aiheeseen. Haluan myös kiittää hirsirakennuksien sisustussuunnitelmiin erikoistunutta Maru Hautalaa valaistukseen liittyvästä haastattelusta sekä opinnäytetyötäni ohjannutta opettajaa, Janne Jokelaista. Lisäksi erityiskiitos naapureilleni, tuttavalleni ja ystävälleni Kontion hirsikodissa asumista koskevasta lyhyestä haastattelusta koskien opinnäytetyöni aihealueita.

24.5.2023

Sanna Vähäkangas

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	10
2	PUU	11
2.1	Puusta hirreksi.....	11
3	SISÄILMASTON LAATUVAATIMUKSET JA MÄÄRÄYKSET	13
3.1	Sisäilmastoluokitus 2018.....	13
3.2	Sisäilmaston tavoitearvot	14
3.3	Lämpöolosuhteiden tavoite- ja ohjearvot.....	15
3.3.1	Lämpötilan ja vetoisuisuuden arviointi ja määritelmät	15
3.3.2	Ilmankosteus.....	18
3.4	Sisäilman laadun tavoitearvot	18
3.4.1	Hiilidioksidi	19
3.4.2	Radon	19
3.4.3	VOC eli haihtuvat orgaaniset yhdisteet.....	20
3.4.4	Rakennusmateriaalien päästöluokitus	21
3.4.5	Pienhiukkaset	22
3.5	Mikrobiologiset olosuhteet.....	23
3.6	Ääniolosuhteiden tavoitearvot	23
3.7	Valaistuksen tavoitearvot	26
4	ILMANLAATU JA TERVEELLISYYS HIRSIRAKENNUKSISSA.....	28
4.1	Männyn ja kuusen VOC-päästöistä sisäilmaan	28
4.2	Männyn ja kuusen VOC-päästöjen terveysvaikutukset	32
4.3	Männyn ja kuusen antibakteerisuus	33
5	LÄMPÖ- JA KOSTEUSOLOSUHTEET HIRSIRAKENNUKSISSA	36
5.1	Massiivipuurakenne ja lämpö	36
5.2	Puu lämpöakkuna.....	37
6	ÄÄNIOLOSUHTEET HIRSIRAKENNUKSISSA.....	39
6.1	Puun akustiset ominaisuudet	39
6.2	Puurakenteiden ääneneristys.....	39
7	VALAISTUSOLOSUHTEET HIRSIRAKENNUKSISSA	44
8	PSYGOLOGISET JA FYSIOLOGISET VAIKUTUKSET	46

8.1	Puu lisää luovuutta	46
8.2	Puu parantaa keskittymiskykyä	47
8.3	Puu vähentää stressiä sekä laskee sykettä ja verenpainetta	47
8.4	Puinen ympäristö lisää tuottavuutta	48
9	HAASTATTELUT	51
9.1	Hirsikoti 1.....	51
9.2	Hirsikoti 2.....	52
9.3	Hirsikoti 3.....	53
10	YHTEENVETO	55
	LÄHTEET	58

SANASTO

Hygroσκοoppinen	Kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta ilman suhteellisen kosteuden vaihtelun mukaan.
Honka	Vanha ja suuri, pystyyn kuollut mänty.
Kelo	Hongan vanhempi kuorensa pudottanut harmaa versio. Helposti 300–400 vuotta vanha puu. Erittäin arvokas.
Hiilidioksidi	Hiilestä ja hapestä koostuva kemiallinen yhdiste (CO ₂), joka on hajuton, väritön ja myrkytön kaasu, joka puhtaana kaasuna syrjäyttää hapen.
Radon	Hajuton ja näkymätön radioaktiivinen jalokaasu.
VOC-päästöt	Volatile organic compound. Rakennus- ja sisustusmateriaaleista, luonnosta tai ihmisen toiminnasta peräisin olevat haihtuvat orgaaniset yhdisteet.
Sydänpuu	Puun sisin osa, joka on kuollutta puuta. Sydänpuun määrä lisääntyy puun kasvaessa ja vanhetessa. Sydänpuu on kuivempaa ja sen uuteaine pitoisuus on muuta puuta korkeampi.
gram-positiivinen	Bakteerityyppi, joka erottuu gram-väjäyksen jälkeen violetina gram-negatiivisesta bakteerista. Gram positiivisella bakteerilla on paksumpi kalvorakenne (peptidoglykaani) kuin gram-negatiivisella bakteerilla. Yleensä gram-negatiiviset ovat hankalampia bakteereita hoitaa kuin positiiviset.
E-luku	Energiamuotojen kertoimilla painotettu vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyyppin vakioidulla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden, jonka yksikkönä käytetään kWh/(m ² a).

U-arvo	Aikayksikössä pinta-alan yksikön lävitse johtuva lämpömäärä, kun sisä- ja ulkopintojen välinen lämpötila on asteen suuruinen joko kelvineinä tai celsiusina.
Ilmaääni	Äänilähteestä ympäristöön ilman välityksellä leviävä ääni, kuten puhe, musiikki, äänentoistolaitteiden ääni tai erilaisten taloteknisten laitteiden aiheuttama ääni.
Ilmaääneneristys	Rakennusosan tai -osien kyky eristää ilmaääntä.
Ilmaääneneristävyys	R [dB] ilmaisee tietyllä taajuuskaistalla tilasta toiseen tai rakennusosan kautta sen toiselle puolelle siirtyneen äänitehon suhteessa rakennusosan kohdanneeseen äänitehoon.
Ilmaääneneristysluku	R_w [dB] Taajuuskaistoittain taajuusalueella 100...3150 Hz mitatuista tai mallinnetuista ilmaääneneristävyyksistä R laskettu mittasuure (SFS-EN ISO 717-1).
Koinsidenssi	Ilmiö, jossa levyn pintaan tietyssä kulmassa osuvan ääniaaltorintaman aiheuttama värähtely on aallonpituudeltaan samanlainen kuin ääniaaltorintaman levyn suuntaisen komponentin aallonpituus. Ilmiö on voimakkaimmillaan levyllä ominaisella koinsidenssin rajataajuudella f_c .
Biofilia	Koko ihmiskunnalle yhteinen, geneettiselle pohjalle perustuva rakkaus luontoa ja kaikkea elävää kohtaan. Pohjana siis ihmisen perustarve turvasta, jota aiemmin on saanut luonnosta verrattuna tämän päivän kaupunkiympäristöihin.

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on koostaa hirsi- ja puurakentamiseen liittyvä terveellisyiden ajantasainen tutkimustieto Kontiotuote Oy:n työntekijöiden käyttöön argumentointi- ja koulutustarkoituksia varten. Opinnäytetyössä käsitellään rakennuksille määritellyt terveysasetukset sekä koostetaan tutkimuksiin perustuva tieto Kontion Intraan ja laaditaan koulutusmateriaali. Tällä työllä pyritään ratkaisemaan yleinen ongelma, jossa tutkittua tietoa on runsaasti, mutta hajautetusti saatavilla sekä usein ilman merkintää käytetyistä lähteistä.

Opinnäytetyön teettäjä on suomalainen, maailman suurimpiin hirsirakennusten valmistajiin kuuluva Kontiotuote Oy, joka on yleisesti tunnettu Kontiona. Kontiotuote valmistaa hirsitaloja, -huiloita, -saunoja ja muita rakennuksia tukista valmiiksi tuotteeksi Pudasjärvellä, jonka ympäristöstä myös materiaali kaadetaan ja noudetaan. (Kontiotuote Oy, 2023.)

Healthy Living™ on Kontiotuote Oy:n luoma teema, joka on kokonaisuus terveellisen asumisen keskeisiä teemoja ja yrityksen pitkänlinjan strateginen keskipiste. Healthy Living –teeman lähtökohdaksi on pidetty ajatusta siitä, että jokaisen Kontion toimittaman rakennuksen tulisi olla esimerkki terveellisestä sisäilmastosta, sillä ihmiset viettävät sisätiloissa 88–90 prosenttia ajastaan. Teema käsittää näin ollen kaikki sisäilmaston terveellisyteen liittyvät käsitteet, joita ovat sisäilman laatu, valaistus, ääni ja lämpöolosuhteet, joita tässäkin opinnäytetyössä käsitellään.

Kontiotuote Oy pyrkii olemaan Terveellisen sisäilmaston edelläkävijä ja osallistuu tutkimusprojekteihin sekä kehittää tuotteitaan jatkuvasti tämän tavoitteen saavuttamiseksi.

2 PUU

Hirsi on yleisesti tunnettu kestävä ja terveellisenä rakennusmateriaalina. Puu tunnetaan terveyttä edistävänä ja miellyttävänä materiaalina rakennuksissa, sen vaikuttaessa niin fyysisesti kuin psykologisesti ihmiseen. Mekanismit, mitkä nämä tuntemukset aiheuttavat, ovat osin vielä epäselviä, mutta tutkimustyötä tehdään koko ajan lisää. Puulla on kuitenkin muutamia fyysisiä ominaisuuksia, joista tämä terveellisyden tuntu voisi johtua. Näitä ominaisuuksia ovat puun heikko sähköjohtavuus, lämmöntuntu ja akustiset ominaisuudet, jotka tekevät sisätilojen akustiikasta miellyttävän. Hygrooskooppiset ominaisuudet tasaavat rakennuksien lämpötila- ja kosteustasoja ja antibakteeriset ominaisuudet vähentävät haitallisten homeiden ja bakteerien erittämien yhdisteiden haittavaikutuksia ympäristössä. Lisäksi puu luo miellehtymän luontoon ja saa aikaan rauhoittamista. (Metla 2014, 3–5, 10.)

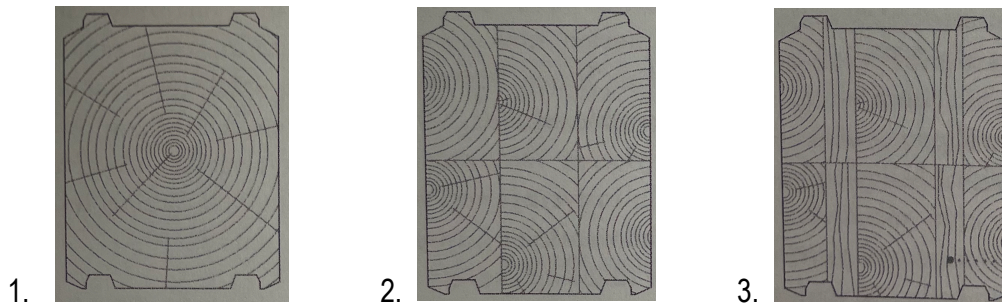
Puun erilaisia ihmiseen vaikuttavia ominaisuuksia on tutkittu paljon esimerkiksi Norjassa, Japanissa, Itävallassa ja Kanadassa. Tutkimukset ovat olleet tuloksiltaan usein toisiaan tukevia, joissa puu on usein todettu terveyttä edistäväksi materiaaliksi. (Puuinfo 2021.)

Puuelementit sisätiloissa on esimerkiksi todettu eheyttäväksi, stressiä -, verenpainetta ja sydämen sykettä laskevaksi materiaaliksi sekä vaikuttavan jopa käyttäytymiseen ja sosiaaliseen havainnointiin. Materiaalina puu koetaan useassa tutkimuksessa lämpimäksi, lempeäksi ja rauhoittavaksi materiaaliksi. Tämän tyyppisten tutkimustulosten myötä puuta on alettu suosia erilaisissa laitoksissa, kuten kouluissa, sairaaloissa ja hoitokodeissa. (Puuinfo 2021.)

2.1 Puusta hirreksi

Suomessa hirsi on ja on ollut yleensä mäntyä, mutta myös kuusta ja haapaa on käytetty. Arvokainta ja nykyään erittäin harvinaista materiaalia on kelohonka, jonka punainen sydänpuu on erittäin säänkestävää. Suurin kriteeri hirrelle on kuitenkin pitkärunkoisuus ja rungon tasapaksuus sekä helppo saatavuus. (Vuolle-Apiala 2012, 91–95.)

Teollinen hirsi valmistetaan tietokoneavusteisesti suunniteltuna ja koneellisesti mittatarkaksi työstettynä. Vähäisissä määrin myös käsityönä veistämällä. Massiivihirsi (kuva 1) on yhdestä puunrungosta valmistettu ja sillä on rajallinen kokovalikoima. Massiivihirren ominaisuuksiin kuuluu kosteuseläminen, painuminen ja jossain määrin halkeilu. Lamellihirsi (kuva 2) on kappaleista liimattua hirttä, jossa kosteuseläminen, painuminen ja halkeilu on hallitumpaa kuin massiivihirrellä ja jonka tuotanto mahdollistaa laajemman kokovalikoiman. Liimaamalla saadaan myös kestävämpi sydänpuu hirren ulkopintaan. Lamellihirrestä saadaan tehtyä myös painumatonta hirttä (kuva 3), jossa painumattomuuden mahdollistaa puun syyt pystysuuntaisesti asetettu kappale. (Tiainen, Pihlajaniemi, Lakkala 2017, 9, 18–19.)



KUVAT 1–3. Hirsityypit (Tiainen, Pihlajaniemi, Lakkala 2017, 19).

Teollinen tuotanto mahdollistaa myös puun kosteuskäyttäytymisen minimoimisen, sillä hirsi kuivataan ennen rakentamista siten, että sen kosteus on alle 20 %. Tällä menetelmällä saadaan puulle parempi suojaus homeelta ja sinistymiseltä sekä vähennetään painumista ja halkeilua. (Tiainen, Pihlajaniemi, Lakkala 2017, 20.)

3 SISÄILMASTON LAATUVAATIMUKSET JA MÄÄRÄYKSET

Suomen maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999) määritellään rakentamista koskevat yleiset edellytykset, vaatimukset ja lupamenettelyt sekä viranomaisvalvonta. Olennaisimmat tekniset vaatimukset laissa koskevat rakenteiden ominaisuuksia eli lujuutta, vakautta, paloturvallisuutta, terveellisyyttä, käyttöturvallisuutta ja esteettömyyttä sekä meluntorjuntaa, ääniolosuhteita sekä energiatehokkuutta. Nämä kaikki säännökset ja ohjeet on koottu Suomen rakentamismääräyskokoelmaan. (Ympäristöministeriö 2023.)

Rakentamismääräyksissä sanotaan rakennusten terveellisyydestä, että rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus on käyttötarkoituksensa ja ympäristönsä olosuhteiden mukainen. Lisäksi rakennuksen on oltava terveellinen ja turvallinen sisäilman, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteiltaan sekä vesihuollon osalta. Rakennus ei saa aiheuttaa haittaa terveydelle sisäilman epäpuhtauksien, rakenteiden tai rakennusosien kosteuden, säteilyn, veden tai maapohjan pilaantumisen, savun, jäteveden tai jätteen puutteellisen käsittelyn vuoksi. Lisäksi käytettävien tuotteiden on oltava päästötasoiltaan hyväksyttäviä, jotta ne eivät aiheuta sisäilmaan liikaa terveydelle haitallisia päästöjä. Rakennuksessa käytettävien järjestelmien ja laitteiden on myös täytettävä nämä määritelmät. (Ympäristöministeriö 2023.)

3.1 Sisäilmastoluokitus 2018

Vuonna 2018 on tehty sisäilmastoluokitus, jossa määritellään sisäympäristön tavoite- ja suunnitteleuarvot, joilla pyritään varmistamaan terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto rakennukseen. Vuoden 2018 sisäilmastoluokitus korvaa aiemmin vuonna 2008 tehdyn vastaavan. Nämä luokitukset perustuvat Suomen maankäyttö- ja rakentamislaisissa määriteltyihin edellytyksiin ja vaatimuksiin. (RT 07-11299, 1.)

Hyvään sisäilmastoon vaikuttaa moni tekijä. Lämmityksellä, ilmanvaihdolla ja sen laitteilla ja muulla tekniikalla sekä itse rakennustyöllä on yhtä suuri merkitys kuin materiaaleilla ja kunnossapidollakin. Nämä kaikki seikat tulee ottaa huomioon suunnittelussa, rakentamisessa ja kaikissa käytön vaiheissa. (RT 07-11299, 1–4.)

3.2 Sisäilmaston tavoitearvot

Sisäilmaston tavoitearvot ovat kaikki sisäilmastoon vaikuttavat tekijät huomioiva luokitus, joka määritellään yleensä uusiin rakennuksiin kunkin rakennuttajan toimesta rakennuksen suunnitteluvaiheessa sen käyttötavan mukaan. Yleisesti suunnitteluarvot perustuvat normaaliin asumiseen tai tilan käyttöön, kuten asuin- tai työ- ja oppimistilat sekä hoivatilat. Määritellyt tavoitetasot ovat terveyden ja viihtyisyyden kannalta turvallisia sekä viranomaisvaatimuksia korkeampia laadultaan, sillä tavoitteet eivät ole viranomaisohje tai sen tulkinta. Tilan sisäilmaston tavoitearvot määritellään rakennuttajan ja urakoitsijan kesken tehtävissä sopimusasiakirjoissa, jolloin ne muuttuvat sitoviksi ja urakoitsija on velvollinen ne toteuttamaan sovitulla tavalla. (RT 07-11299, 5.)

Sisäilmastoluokkia on kolme. Yleisesti tavoitellaan yksilöllistä sisäilmastoa, joka on S1 tai hyvää sisäilmastoa, joka on S2. Näiden perustavoitteissa on, että sisäilmasto on miellyttävä. Sisäilmastossa ei tällöin ole häiritseviä hajuja, eikä rakenteissa vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. S1-luokassa tilan käyttäjä voi yksilöllisesti hallita tilan lämpötilaa, eikä vetoisuutta tai ylläampnemistä synny. S2-luokka sallii hetkellisen ylläampnemisen kesäisin. Sekä S1- että S2-luokissa ääni- ja valaistusolosuhteet ovat hyvät ja miellyttävät käyttäjälleen. S3-luokka on tyydyttävä sisäilmasto, ja sen määritelmässä ovat osittain ne vähittäisvaatimukset, jotka maankäyttö- ja rakennuslaissa määritellään terveydensuojelulain perusteella. Nämä vähittäisvaatimukset laissa eivät kuitenkaan välttämättä täytä edes S3-luokan tavoitearvoja. Kaikissa sisäilmastoluokissa voidaan jokin tai joitakin suureita määritellä tapauskohtaisesti. Yleensä S1 ja S2-luokat tavoitetaan käyttämällä näihin luokkiin sopivia menetelmiä rakentamisessa sekä kriteerit täyttäviä materiaaleja ja ilmanvaihtotuotteita. (RT 07-11299, 5.)

Sisäilmaston tavoitearvot mitataan ja havainnoidaan kansainvälisten standarttien mukaan huone-tilan oleskeluvyöhykkeeltä, jotka työpisteellä ovat 0,1 ja 1,1 metrin välillä lattiasta vetoisuuden osalta ja normaalilla oleskeluvyöhykkeellä esim. asuintiloissa lattiasta 1,8 metrin korkeuteen ja 0,6 metrin päässä seinästä. Äänten osalta tarkastelua tehdään 1.2–1.5 metrin korkeudella lattiasta. (RT 07-11299, 5.)

3.3 Lämpöolosuhteiden tavoite- ja ohjearvot

Lämpötila-aistimukseen ja tilan viihtyisyyteen vaikuttaa oleellisesti ympäröivien pintojen materiaali ja lämpötila eli pinnan lämpösäteily, tilan ilmanvirtaukset eli vetoisuuden tunne, ilmankosteus sekä käyttäjän vaatetus sekä hänen toimintansa laatu tilassa. Veto ja viileys saattavat etenkin pitkäaikaisella altistumisella aiheuttaa käyttäjälleen terveyshaittaa ja tilan miellyttävyyden kokemuksen alenemista. Liiallinen ilmankosteus saattaa tiivistyä viileiden rakenteiden, kuten ikkunoiden pintaan varsinkin talvella, jolloin lämpötilaerot ulkona ja sisällä ovat suuret. Kosteuden tiivistyminen lisää riskiä kosteusvaurioon ja lopulta kohtaan voi tulla mikrobikasvustoa. Vastaavasti, jos sisätilan lämpötila on liian korkea voi tilassa oleskeleva ihminen tuntea olonsa väsyneeksi tai keskittymiskykynsä huonontuneen ja tuntea jopa hengitysvaikeuksia. Materiaaleissa liian korkea lämpötila voi lisätä kaasumaisten epäpuhtauksien määrää huoneilmassa. (Asumisterveysohje 2003, 9–10.)

3.3.1 Lämpötilan ja vetoisuuden arviointi ja määritelmät

Asumisterveyteen liittyvässä ohjeistuksessa määritellään sisäilmaston lämpötilan ohjearvot, joiden perustana on mittausolosuhteet, jolloin ulkona pakkasta on $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sisäilman lämpötila $21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mikäli mittausolosuhteet poikkeavat näistä, käytetään lämpötilaindeksiä. Lämpötilaindeksillä arvioidaan rakennuksen vaipan lämpötekniistä toimivuutta. Lämpötilaindeksi lasketaan siten, että sisäpinnan lämpötilan ja ulkoilman lämpötilan erotus jaetaan sisäilman ja ulkoilman lämpötilan erotuksella ja saatu tulos kerrotaan sadalla, jolloin saadaan vastaukseksi lämpötilaindeksi prosentteina. (Asumisterveysohje 2003, 10–11.)

KAAVA 1: Lämpötilaindeksin määrittely (Asumisterveysohje 2003, 11)

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) \times 100 [\%]$$

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötila, $^{\circ}\text{C}$ T_i = sisäilman lämpötila, $^{\circ}\text{C}$ T_o = ulkoilman lämpötila, $^{\circ}\text{C}$

Ohjeistuksessa lämpötilojen ohjearvoja on kahdessa ryhmässä, välttävässä ja hyvässä. Ohjearvot on mitattu oleskeluvyöhykkeeltä neutraaleissa olosuhteissa. Hyvä taso on pääsääntöisesti uudisrakentamiselle asetettu vähimmäisvaatimustaso, johon lähtökohtaisesti tulee pyrkiä. Välttävän tason alittuminen voi aiheuttaa terveyshaittaa. Taulukko 1 havainnollistaa hyvin ohjearvojen erot ja määrittelee ohjearvojen ääripäät. (Asumisterveysohje 2003, 10–11.)

Vetoisuutta arvioidaan merkkisavun avulla samalla tavalla neutraaleissa olosuhteissa kuten lämpötilaindeksinkin osalta. Lämpötila- ja vetoisuusmittauksia tehdessä tulee vallitsevan sään olla tavanomainen, jolloin Suomen olosuhteissa tarkoitetaan noin -5 °C pakkasta ja 5–10 m/s tuulta. Mittauksia edeltävänä aikana huoneistoa ei ole ikkunatuuletettu 4–6 tuntiin eikä mitattaessa. Henkilöiden lukumäärä tilassa kirjataan myös ylös mittauksien aikana (Asumisterveysohje 2003, 14). Lisäksi tilan vetoisuutta voidaan arvioida suuntariippumattomalla anemometrillä, joka mittaa liikkuvan ilman lämpötilaa kolmen minuutin ajan tarkastelupisteessä (Sisäilmastoluokitus 2018, 7.)

TAULUKKO 1. Lämpötilojen lämpötilaindeksien/ilmanvirtausnopeuden ohjeellisia arvoja (Asumisterveysohje, 13)

Asunto ja muu oleskelutila	välttävä taso	TI	hyvä taso	TI
Huoneilman lämpötila (°C) ¹⁾	18 ¹⁾		21	
Operatiivinen lämpötila (°C)	18 ²⁾		20	
Seinän lämpötila (°C) ³⁾	16	81	18	87
Lattian lämpötila (°C) ³⁾	18	87	20	97
Pistemäinen pintalämpötila (°C)	11 ⁴⁾	61	12	65
Ilman virtausnopeus ⁵⁾	vetokäyrä 3		Vetokäyrä 2	

1) Huoneilman lämpötila ei saa kohota yli 26 °C, ellei lämpötilan kohoaminen johdu ulkoilman lämpimyydestä. Lämmityskaudella huoneilman lämpötilan ei tulisi ylittää arvoa 23 – 24 °C.

2) Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa huoneilman lämpötilan ja operatiivisen lämpötilan välttävä taso on 20 °C sekä lattian pintalämpötilan välttävä taso 19 °C.

3) Keskiarvo standardin SFS 5511 mukaan määriteltynä kun ulkoilman lämpötila on – 5 °C ja sisäilman lämpötila + 21 °C. Mikäli mittausolosuhteet poikkeavat vertailuolosuhteista, käytetään lämpötilaindeksillä laskettua vastaavaa pintalämpötilaa.

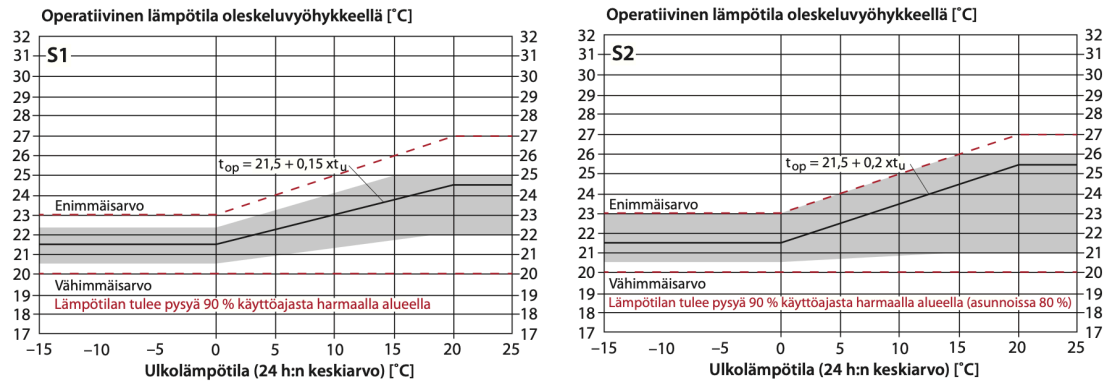
4) Lämpötilaindeksiä 61 % vastaava pintalämpötila. Lämpötilaindeksi on laskettu lämpötilaindeksin laskentakaavan mukaan vastaamaan 9 °C pintalämpötilaa (huoneilman lämpötilaa 21 °C ja suhteellista kosteutta 45 % vastaava kastepistelämpötila) kun ulkoilman lämpötila on – 10 °C ja sisäilman lämpötila 21 °C. Ikkunan, seinänurkkien ja putkien läpiviennin alin hyväksyttävä pintalämpötila.

5) Ilman virtausnopeuden enimmäisarvo, joka määräytyy standardin SFS 5511 kuvan 7 vetokäyrästä.

Sisäilmastoluokkien S1 ja S2 mukaan sisätilojen lämpötilan osalta tavoitearvo noin kaksikymmentä celsius-astetta, joka vastaa asumisterveysohjeen hyvä-ryhmää (RT 07-11299, 6.)

Operatiivinen lämpötila on huoneen lämpötilan ja sitä ympäröivien pintojen laskennallinen keskiarvo, jossa on määritelmän mukaan pysyttävä 90 % tilan käytön ajasta ulkoilman lämpötilan liuku kuva keskiarvo huomioiden (Sisäilmastoluokitus 2018, 6). Operatiivinen lämpötila mitataan neste-patsaslämpömittarilla tai sähköisellä anturilla oleskeluvyöhykkeeltä (Asumisterveysohje 2003,10).

TAULUKKO 2. Operatiivinen lämpötila oleskeluvyöhykkeellä (RT 07-11299, 6)



TAULUKKO 3. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot eri sisäilmastoluokissa (RT 07-11299, 6.)

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila t_{op} [°C]			21
$t_u \leq 0$ °C	21,5 ¹⁾	21,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,15 \times t_u$ ¹⁾	$21,5 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	24,5 ¹⁾	25,5	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama ylöspäin			
$t_u \leq 0$ °C	< 22,5	< 23	
$0 < t_u \leq 15$ °C	< $22,5 + 0,166 \times t_u$	< $23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 25	< 26	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama alaspäin			
$t_u \leq 0$ °C	> 20,5	> 20,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	> $20,5 + 0,075 \times t_u$	> $20,5 + 0,025 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	> 22	> 21	
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]			
$t_u \leq 0$ °C	< 23	< 23	
$0 < t_u \leq 20$ °C	< $23 + 0,2 \times t_u$	< $23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 27	< 27	
$t_u \leq 10$ °C			< 25 (26) ²⁾
$t_u > 10$ °C			< 27 (32) ²⁾
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	> 20	> 20	> 20 (18) ²⁾
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjäajasta]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	
asunnot	90 %	80 %	

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

²⁾ Suluisissa asumisterveysasetuksen mukaiset toimenpiderajat.

3.3.2 Ilmankosteus

Huoneilman kosteudella on merkittävä osuus lämpötilan ohella tilan miellyttäväksi kokemisella. Liian kuiva huoneilma saattaa aiheuttaa hengitystieoireita ja lisätä staattista sähköä joissakin materiaaleissa. Vastaavasti liian kostea ilma voi lisätä pölypukkien määrää ja jo aiemmin mainittua kosteuden tiivistymistä rakenteisiin. Sopivaksi huoneilman suhteelliseksi kosteudeksi on määritelty 20–60 %, mutta lukema vaihtelee luonnostaan jonkin verran pelkästään sään ja vuodenajan mukaan, joten yksistään arvoista poikkeaminen ei aiheuta todellista terveyshaittaa, jos muut asiat lämpötilaolosuhteissa ovat kunnossa. (Asumisterveysohje 2003, 16.)

Liiallinen kosteus sisäilmassa saattaa aiheuttaa rakenteisiin pysyvää kosteutta ja lopulta kosteusvaurion ja mikrobikasvuston. Kosteusvaurion seurauksena saattavat rakennusmateriaalit alkaa kemiallisesti hajoamaan vapauttaen ilmaan esimerkiksi ammoniakkeja, formaldehydiä ja haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Kosteusvaurion syntyminen vaatii sen, että kosteus ei pääse kuivumaan rakenteesta eli rakenne pysyy märkänä. Pysyvä kosteus voi olla esimerkiksi vesivahingon aiheuttama, johtua kondensoitumisesta, rakentamisen aikaisen kosteuden jäämisestä rakenteisiin tai kapillaarisesta noususta. (Asumisterveysohje 2003, 17.)

3.4 Sisäilman laadun tavoitearvot

Sisäilman laatuun vaikuttavat hiilidioksidi, radon ja erilaiset pienhiukkaset sekä haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Hiilidioksidin määrä ilmoitetaan yksikköjen määränä miljoonasta (ppm = parts per million). Radonia tarkastellaan becquereleissa (Bq), joka vastaa 18 femtogramman hajoamista sekunnissa ja jonka sallitut raja-arvot on määritellyt Säteilyturvakeskus (STUK). Pienhiukkaset ovat ilmassa leijuvaa pölyä, jonka kappaleen aerodynaaminen halkaisija on alle 2,5 mikrometriä. (RT 07-11299, 7).

TAULUKKO 4. Sisäilman laadun tavoitearvot sisäilmastoluokituksen mukaan (RT 07-11299, 7).

	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuus [*] [ppm]	< 350	< 550	< 800
Radonpitoisuus [Bq/m ³]	< 100	< 100	< 200
PM _{2,5} [µg/m ³]	< 10	< 10	< 25
PM _{2,5} sisällä/ulkona	< 0,5	< 0,7	–
Ilman suhteellinen kosteus [% RH]	–	–	–
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjältä]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	–
asunnot	90 %	80 %	–

^{*}suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus.

3.4.1 Hiilidioksidi

Kun hiilidioksidipitoisuuksia tarkastellaan sisäilmastossa, sen määrä ei saisi ylittää 2700 mg/m^3 (1500 ppm). Hiilidioksidin määrään sisätiloissa vaikuttaa ilmanvaihto ja henkilöiden lukumäärä tiloissa, sillä usein hiilidioksidi on lähtöisin tilassa oleskelevista henkilöistä. Sisäilmastotavoitteessa määritellyt rajat ovat tässä kohtaa tiukemmat, sillä ihmiset oleskelevat sisäilmastotavoitteen mukaan rakennetuissa tiloissa pidempiä aikoja. Korkea hiilidioksidipitoisuus sisätiloissa voi aiheuttaa tunkkaisuuden tunteen ohella päänsärkyä, väsymistä ja keskittymiskyvyn alenemista. (Asumisterveysohje 2003, 21–22.)

3.4.2 Radon

Radon on maaperässämme esiintyvä radioaktiivinen kaasu, joka aiheuttaa etenkin keuhkosyöpää. Radonia esiintyy erityisen paljon hyvin läpäisevässä mineraalipitoisessa maastossa sekä joissakin rakennusmateriaaleissa kuten betonissa. Radon pääsee sisäilmaan esimerkiksi perustuksien piennistä aukoista tai talousveden mukana varsinkin porakaivoista. Korkean radonpitoisuuden paikkakunnilla radonin torjunta on välttämätöntä. Uudet asunnot tulee suunnitella ja rakentaa siten, että pitoisuuden vuosikeskiarvo ei ylitä arvoa 200 Bq/m^3 ja vanhemmissakaan asunnoissa vuosikeskiarvo ei saa olla enempää kuin 400 Bq/m^3 . (Asumisterveysohje 2003, 27–28.)

Radon torjutaan rakennuksista sellaisia menetelmiä hyödyntäen, joista oikeastaan kaikki perustuvat tilan tuuletukselle tai tiivydelle. Vanhempien rakennuksien osalta hyödynnetään esimerkiksi radonimuria, joka imee talon alle tulevan putkiston avulla radonin pois, jolloin se ei pääse sisäilmaan. Uudempien rakennuksien yleisimmät radonintorjunta menetelmät ovat hyvä koneellinen ilmanvaihto tai ryömintätilalla varustettu tuulettuva mutta tiivis perustus, sekä Suomessa harvinaisempi reunavahvistettu laattaperustus. (Suomen säteilyturvakeskus 2023.)

Radonin mittaus on lyhimmilläänkin kahden kuukauden mittainen jakso, joka tulisi ajoittaa marras-huhtikuulle, sillä myös radonin määrä vaihtelee vuodenajan mukaan ollen talvella otollisella paikalla jopa kymmenkertainen kesän pitoisuuksiin nähden. Radonia voidaan mitata asettamalla kaksi mittaria eri tiloihin tai kerroksiin ja määrittelemällä mittaustuloksista keskiarvo, jossa painotetaan enemmän oleskellun tilan mittaustulosta. Korkean radonpitoisuuden alueilla suositellaan vuoden kestävästä mittausjaksosta. (Asumisterveysohje 2003, 28–30.)

3.4.3 VOC eli haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Sisäilmassa on lukuisia erilaisia yhdisteitä, jotka ovat joko orgaanisia tai epäorgaanisia. Sisäilman osalta puhutaan yleensä orgaanisista yhdisteistä. VOC-yhdisteet ovat yleisiä hiiltä sisältäviä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joita on kaikkialla. Yhdisteitä määritellään useilla eri tavoilla esimerkiksi jonkin kemiallisen ominaisuuden mukaan, mutta myös haihtuvuutensa mukaan, kuten erittäin haihtuviin (Very Volatile Organic Compounds, VVOC), haihtuviin (Volatile Organic Compounds, VOC) ja puolihaihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin (Semi Volatile Organic Compounds, SVOC). Mahdollista on myös, että yhdisteet jaotellaan alkuperänsä mukaan esimerkiksi MVOC-yhdisteeksi, jolloin se on peräisin mikrobien aineenvaihdunnasta. (THL 2022, 5.)

Monet sisäilman VOC-yhdisteet voivat aiheuttaa terveyshaittaa, kuten päänsärkyä ja väsymystä tai muita asumisviihtyvyyttä alentavia tuntemuksia, kuten hajuhaittaa. Useimmiten VOC-yhdisteet sisäilmassa ovat lähtöisin rakentamisesta tai sisustamisesta käytetyistä materiaaleista, kemikaaleista, kosteusvauriosta, ihmisen toimista tai kokonaan asunnon ulkopuolelta. Yhdisteiden määrään sisäilmassa vaikuttaa yhdisteiden lähteiden määrä, ilmanvaihto, sääolot, lämpötila ja kosteus. Lisäksi eri yhdisteet saattavat reagoida keskenään. Sisäilman kemiallisten haihtuvien yhdisteiden kokonaismäärä ilmoitetaan lyhenteellä TVOC (Total volatile organic compounds). Lukeman tulisi olla alle 600 µg/m³, mutta korkeampi lukema ei yksinään kerro sisäilmaongelmista. Korkean lukeman syy olisi kuitenkin hyvä selvittää. Tiloissa, joissa on uusia materiaaleja, VOC-pitoisuudet ovat usein koholla, mutta yhdisteiden määrä tasaantuu seuraavan vuoden aikana. (Asumisterveysohje 2003, 56.)

Kemiallisten aineiden enimmäispitoisuuksille asuin- ja oleskelutiloissa ei ole määritelty viranomaisohjeistusta tai standardia, mutta joillekin kemiallisille aineille on terveydenhoitolakiin ja sen käytännönvalvontatyöhön sekä terveydensuojeluviranomaisten päätöksiin pohjautuvat ohjeelliset suositukset. Lisäksi Maailman terveysjärjestö (WHO) on määritellyt sisäilman kemiallisia aineita koskevia enimmäispitoisuus suosituksia, joita tarvittaessa voidaan käyttää arvioitaessa jonkun kemiallisen aineen haitallista määrää sisäilmassa (Asumisterveysohje 2003, 57).

Erityisesti silmällä pidettäviä kemiallisia aineita sisäilmassa ovat ammoniakki, formaldehydi ja styreeni sekä karsinogeenit kuten tupakansavu. Ammoniakkia voi vapautua sisäilmaan pintakäsittely- ja pesuaineista, eritteistä tai kosteuden aiheuttamana proteiinien tai muiden orgaanisten aineiden

hajoamisesta johtuen esimerkiksi liimoissa tai tasoitteissa. Tällaisten hajoamisreaktioiden yhteydessä ilmaan vapautuu myös muita haitallisia aineita, kuten rikkiyhdisteitä, rasvahappoja, amiineja tai aldehydejä, jotka ovat ammoniakkin tavoin erittäin ärsyttäviä kemiallisia yhdisteitä ja jopa huomattavasti ammoniakkia pienempinä määrinä. Ammoniakin hajukynnys on $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja ärsytysoireita ihminen alkaa saada, kun pitoisuus sisäilmassa on 160–410 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ammoniakin tavanomainen määrä sisäilmassa on 10–20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja poikkeuksellisenä määränä pidetään 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, jonka ylittyessä syy olisi hyvä selvittää. (Asumisterveysohje 2003, 59.)

Formaldehydi sisäilmassa on usein peräisin liima-aineena käytetystä ureaformaldehydihartsista, jota on esimerkiksi lastulevyssä. Lisäksi formaldehydiä on joissain maaleissa, lakoissa tai pinnoitteissa sekä tekstiileissä. Formaldehydi voi ärsyttää silmiä ja hengityselimiä jo silloin, kun sisäilman pitoisuus on vain 5–10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja hajukynnys on vasta 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$:ssa. Myös muut aldehydit aiheuttavat formaldehydin kaltaisia oireita, mutta vasta 100 kertaisilla pitoisuuksilla. Kaikille aldehydeille tyypillistä on pistävä haju. (Asumisterveysohje 2003, 62.)

Styreeni sisäilmassa on usein peräisin polyesterihartsin komponenttien kesken jääneestä keskinäisestä reaktiosta. Styreenin altistusoireisiin kuuluu sidekalvojen ja hengitysteiden ärsyntyminen, mutta myös hermoston toiminnan häiriöitä ja jopa kromosomuutoksia (muoviteollisuuden työnteekijät). Normaalisti styreenin määrä sisäilmassa on kuitenkin hyvin pieni, alle 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$:ssä ja hajuhaittakin ilmaantuu vasta 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuudessa. (Asumisterveysohje 2003, 65.)

3.4.4 Rakennusmateriaalien päästöluokitus

Rakennusmateriaaleille on määritelty sisäilmastoluokituksessa päästöluokat M1, joka on paras, M2 ja M3. Käytännössä luokkaan M3 kuuluu kaikki, mikä ei täytä M2 luokan vaatimuksia. Päästöluokien tarkoitus on vähentää rakennusmateriaaleista sisäilmaan aiheutuvia päästöjä. Parhaisiin S1- ja S2- sisäilmastoluokkiin pääseminen edellyttää käytännössä päästöluokan M1-tuotteiden ja -materiaalien käyttämistä. Päästöluokissa on määritelty haihtuvien orgaanisten yhdisteiden eli TVOC:n kokonaisemissio, yksittäinen VOC-yhdiste EU-LCI:n eli Euroopan Unionin rakennustuotteiden tuoteturvallisuusarvioinnin ohjearvojen mukaan, sekä formaldehydille ja ammoniakille erikseen omat rajansa. Lisäksi määritelmässä on oma rivinsä CMR-yhdisteille, jotka ovat syöpää aiheuttavia yhdisteitä. (RT 07-11299, 20.)

TAULUKKO 6. M1- ja M2-luokkien vaatimukset rakennusmateriaaleille (Sisäilmastoluokitus 2018, 20).

Tutkittavat ominaisuudet	M1 [mg/m ² h]	M2 [mg/m ² h]
Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC) kokonaisemissio. Yhdisteistä tunnistettava vähintään 70 %.	< 0,2	< 0,4
Yksittäinen VOC µg/m ³	≤ EU-LCI	≤ EU-LCI
Formaldehydin (HCOH) emissio	< 0,05	< 0,125
Ammoniakin (NH ₃) emissio	< 0,03	< 0,06
(EC) No 1272/2008 -luokittelun mukaisten luokkaan 1A ja 1B kuuluvien CMR-yhdisteiden emissio ¹⁾	< 0,005	< 0,005
Hajun hyväksyttävyyys	+0,0	+0,0

¹⁾ ei koske formaldehydiä
 Laastit, tasoitteet ja silotteet eivät saa sisältää kaseiinia.
 LCI-arvot µg/m³, (kts. http://ec.europa.eu/growth/sectors/construction/eu-lci/values_fi)

3.4.5 Pienhiukkaset

Pienhiukkaset ja VOC-päästöt ovat hiilidioksidin ohella yleisimmät sisäilman laatua heikentävät tekijät. Pienhiukkaset sisäilmassa ovat usein lähtöisin ulkoa ollen joko luonnon tuottamia, kuten siitepöly, tai ihmisen aiheuttamia, kuten esimerkiksi pakokaasut, katupöly tai rakennusmateriaali, esimerkiksi mineraalivilla. Varsinkin paloreaktioista lähtöisin olevat pienhiukkaset ovat erityisen haitallisia ihmiselle, sillä ne lisäävät hengitystie- ja sydänoireita ja nostavat kuolleisuutta. (Valvira 2023.)

TAULUKKO 7. Pienhiukkasten määrä sisäilmassa (Valvira 2023.)

		Aerodynaaminen halkaisija	Enimmäispitoisuus sisäilmassa (24 h)
Hengitettävät hiukkaset	PM10	< 10 µm	≤ 50 µg/m ³
Pienhiukkaset	PM2.5	< 2,5 µm	≤ 25 µg/m ³

3.5 Mikrobiologiset olosuhteet

Sisäilman bioaerosolit ovat myös pienhiukkasia, mutta alkuperältään luonnollisia ja muodoltaan kiinteitä tai nestemäisiä. Bioaerosoleja ovat esimerkiksi mikrobit eli bakteerit, virukset, homeet ja muut sienet sekä siitepöly, hyönteisten ja punkkien ulosteet, eritteet ja osat. Mikrobeista kaikki eivät tietenkään ole haitallisia vaan jotkut ovat jopa hyödyllisiä, mutta etenkin virukset ja bakteerit aiheuttavat sairauksia ja terveyshaittaa. (Kansanterveyslaitos 2002, 15.)

Tilan mikrobiologiset olosuhteet vaikuttavat olennaisesti sisäilmastoon ja sen laatuun. On jossain määrin tavanomaista, että sisäilmassa on jonkun verran mikrobeja sekä sieni-itiöitä, mutta talvella luonnollisesti huomattavasti vähemmän. Epätavalliset mikrobiologiset olosuhteet kielivät usein kosteusvauriosta ja mikrobikasvustosta, minkä lisäksi tilassa voi toisinaan olla homeen- tai maakellarin haju. Kaikki mikrobit eivät kuitenkaan muodosta selkeää hajua, ja yleensä tilankäyttäjän epäilykset heräävätkin huonontuneen yleisvointinsa seurauksena. Mikrobivaurion aiheuttama terveyshaitta oireilee usein silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytysoireilla tai infektioilla mutta myös lämpöilynä ja lopulta altistuneelle voi puhjeta myös esimerkiksi astma. Mikrobivauriot ja -kasvustot tuleekin aina korjata ja poistaa, sillä myös kuivunut kasvusto voi aiheuttaa terveyshaittaa. Mikrobivauriota epäiltäessä selvitetään ensin tilojen kunto ja mahdolliset kosteusvauriot sekä fysikaaliset tekijät kuten lämpötila, ilmankosteus ja ilmanvaihdon toimivuus. (Asumisterveysohje 2003, 71–72.)

3.6 Ääniolosuhteiden tavoitearvot

Asuin- ja muiden sellaisten tilojen, joissa vietetään pitkiä aikoja kerrallaan, viihtyvyyteen vaikuttaa oleellisesti tilan ääniolosuhteet. Tila ei saisi olla meluinen eikä kaikuva. Yksilölliset erot äänen haitallisena tai häiritsevänä kokemisen suhteen ovat suuria. (Asumisterveysohje 2003, 31–32.)

Ääni on värähtelyä, jota arvioidaan sen voimakkuuden (dB) ja korkeuden (Hz) avulla. Ihminen ei kuule 0 desibelin ääntä, ja kuulovaurio on mahdollinen 85 desibelissä. Kaikki pinnat absorboivat eli imevät ääntä. Absorboiminen vaimentaa ääntä ja huokoiset materiaalit paremmin kuin tiiviit. Äänen voimakkuuteen vaikuttaa myös äänen matka, ja suoraan tuleva ääni vaimenee noin 6 desibeliä, kun sen matka kaksinkertaistuu. Herts on äänen aaltoliikkeen eli värähtelytaajuuden mittayksikkö, ja 1 Hz on yksi värähdys sekunnissa. Miehen puhe vastaa noin 100 hertsiä ja naisen 200. Tilojen

akustiikkaa arvioidaan noin 125–4000 hertsin välisillä oktaavikaistan keskitaajuuksilla. Äänen aallon pituus voidaan laskea jakamalla nopeus sen taajuudella. Nopeus vaihtelee välittävän aineen mukaan. Ilmassa äänen nopeus on 340 m/s. (SIT 05-610038, 2–4.)

Kaikumista mitataan jälkikaiunta ajalla, joka sellaisissa tiloissa, joissa puhutaan, on 0,5–1 sekuntia. Materiaalien akustisia ominaisuuksia mitataan absorptiosuhteella, joka on jotain 0-1 väliltä ja 1 = 100 %. Hyvä akustiikka koostuu tilan kaikkien materiaalien vaimennusominaisuuksien yhdistelmästä ja materiaalin absorptio-ominaisuudet äänen taajuudesta. Jos tilassa on huokoinen levy, joka absorboi 90 % äänistä ja sama levy maalataan, on määrä enää 30 %. (SIT 05-610038, 2–4.)

Äänen osalta tavanomaisiin tiloihin ja tavanomaiselle käytölle on määritelty raja-arvoja sekä terveydenhuollon laissa, että sisäilmastoluokituksessa. Tavanomaisessa tilassa henkilö yleensä altistuu taustamelulle, liikenteen melulle ja esimerkiksi erilaisten laitteiden käytöstä aiheutuvalle melulle. Etenkin ilta-ajan melu voi haitata nukahtamista, ja se onkin määritelty haitallisemmaksi kuin aamulla kuuluva melu. Lisäksi melu voi vähentää unen syvyyttä ja aiheuttaa ennen aikaista heräämistä ja unen katkonaisuutta. Uni alkaa yleensä häiriintyä, kun jatkuvan taustamelun L_{Aeq} -taso ylittää 25–35 dB(A) ja hetkittäisenäkin 40–65 dB (A). Ihmisellä on kuitenkin kyky tottua joihinkin ääniin, jotka toistuvat säännöllisesti ja tiettyihin aikoihin, jolloin tasojen alaraja tulee pitkäkestoisista äänistä, joihin kuulija on jo tottunut olemaan reagoimatta ja korkeampi yläpää sellaisista joihin yksilö ei ole tottunut. Unen häiriintymisen lisäksi melu saattaa jatkuvalla altistumisella aiheuttaa lukuisia muita oireita ja terveyshaittoja kuten hormonitoimintojen, verenkierron tai näköaistin muutoksia, aggressiota, masentuneisuutta ja päänsärkyä. Lisäksi se voi huonontaa tarkkaavaisuutta, oppimistuloksia ja työtehoa, mutta tällöin altistavan melun täytyy ylittää ohjearvot toistuvasti 10–30 dB (A):lla, jotta oireiden voidaan katsoa johtuvan meluallistuksesta. (Asumisterveysohje 2003, 32.)

Terveyshaitan osalta sisätiloissa arvioidaan yleensä kokonaismelua yölle ja päivälle erikseen, mutta tarkastelua voidaan tehdä myös yksittäisen melulähteen tai -lajin suhteen. Oleellista on tällöinkin melun suuruus, kesto ja melun ajankohta. $L_{Aeq, 07-22h}$ ja $L_{Aeq, 22-07h}$ -tasojen ohjearvot tilakohtaisesti on esitetty taulukossa 8. Nämä melutasojen ohjearvot määrittelevät sen melun tason, jolle sisätiloissa oleva henkilö tai yleisö saisi enintään altistua. Nämä arvot taas perustuvat valtioneuvoston päätökseen (193/92), jossa melu ei ylitä päivä- ja yöajan päätöksessä määriteltyjä ohjearvoja eli $L_{Aeq,07-22h} \leq 55\text{dB(A)}$ ja $L_{Aeq,22-07h} \leq 50\text{dB(A)}$. Meluksi ei katsota tavanomaisia sisätilan

ääniä, kuten kotitalouskoneet, radio tai työnteosta johtuvia äänet eikä esimerkiksi artistien esityksistä johtuvia samaan sisätilaan tuotettuja ääniä. Mitkään äänet eivät kuitenkaan saa aiheuttaa yleisölle tai muulle tilan käyttäjälle kuulovauriovaaraa tai riskiä. (Asumisterveysohje 2003, 33.)

TAULUKKO 8. Päivä- ja yöajan melutasojen ohjearvot asunnoissa ja muissa oleskelutasoissa. (Asumisterveysohje 2003, 35)

Huoneisto ja huonetila	$L_{Aeq,07-22\text{ h}}$	$L_{Aeq,22-07\text{ h}}$
Asuinhuoneisto		
- asuinhuoneet, paitsi keittiö	35 dB	30 dB ⁽²⁾
- asunnon muut tilat ⁽¹⁾ ja keittiö	40 dB	40 dB
Hoit- ja sosiaalihuollon laitokset, majoitustilat		
- potilashuoneet, majoitushuoneet	35 dB	30 dB
- päiväkodit, lapsien ja henkilökunnan oleskeluun tarkoitetut huoneet	35 dB	30 dB ⁽³⁾
Kokoontumis- ja opetushuoneistot		
- luokkahuoneet, luentsalit, kirkot ja muut huonetilat, joissa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänenvahvistuslaitteiden käyttöä.	35 dB ⁽⁴⁾	-
- muut kokoontumistilat ⁽⁴⁾	40 dB ^(4,6)	-
Työhuoneistot (yleisön kannalta)		
- yleisön vastaanottotilat ja toimistohuoneet	45 dB ^(4,7)	-

- 1) Asunnon muita tiloja ovat mm. kylpyhuone, sauna, vaatehuone ja apukeittiö. Jos tällainen tila tai keittiö muodostaa yhteistilan asuinhuoneen kanssa, ohjearvona on asuinhuoneen arvo.
- 2) Asuntojen makuuhuoneisiin yöaikaan kuuluvalla musiikkimelulle ja matalataajuiselle melulle on annettu jäljempänä kohdassa 5.3 ja 5.4 erilliset ohjearvot.
- 3) Yöarvoa sovelletaan vain huoneisiin, joissa nukutaan yöaikaan.
- 4) Ohjearvo aikana, jona yleisö oleskelee huoneessa. Äänitasot saavat olla korkeampia aikoina, jolloin huoneessa ei ole yleisöä. Kuulovammaisten ja kielenopetuksen luokkahuoneille suositellaan ohjearvoksi 30 dB.
- 5) Muita kokoontumistiloja ovat esimerkiksi kokoontumistilojen lämpiöt ja ravintolasalit.
- 6) Tiloissa, joissa harjoitettu toiminta ei edellytä yleisön saavan puheesta tai muista äänistä selvää, voidaan käyttää 5 dB suurempaa ohjearvoa.
- 7) Jos esimerkiksi yleisön ja palvelun intimitteettisuoja edellyttää kuuluvuuden rajoittamista samassa huoneessa olevasta palvelupisteestä toiseen, puhetta voidaan peittää ohjearvoa voimakkaammalla, säädettävällä kohinalla tai taustamusiikilla.

Pieni- eli matalataajuinen, usein ”hiljainen” melu on 10–200 Hz:n ääniä, eikä sinänsä vahingollista kuulolle, koska ihmisten kuulokynnys vaihtelee tavallisesti 10–15 dB:n välillä, mutta varsinkin hiljaisessa ympäristössä pienitaajuinen ja jatkuva melu voi olla todella häiritsevää voimakkuudestaan riippumatta. Pienitaajuisista melua voi olla esimerkiksi musiikki, jonka pienen taajuuden komponentit aiheuttavat häiritsevän äänen ja voivat haitata nukahtamista. Pienitaajuiselle melulle on omat ohjearvonsa, jotka määrittelevät yöajan enimmäisarvot tiloissa, joissa nukutaan. Arvot ovat terssikaistoittain, ja päiväsaikaan niille voidaan sallia enintään 5 dB:n poikkeama. (Asumisterveysohje 2003, 35–37.)

TAULUKKO 9. Pieni taajuisen sisämelun ohjearvot terssikaistoittain yöaikaan. (Asumisterveysohje 2003, 36).

Kaista/Hz	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
$L_{Aeq, 1h}$ /dB	74	64	56	49	44	42	40	38	36	34	32

3.7 Valaistuksen tavoitearvot

Valaistuksen vähimmäisvaatimustaso on määritelty standardissa SFS-EN 12464-1:2021 työskentelytilojen tarpeet ja arvot edellä, joihin sisäilmastoluokituksessa määritellyt arvot perustuvat. Valaistuksen osalta tavoitearvot ovat enemmän standardin mukaisia, kun muissa osioissa sisäilmastoluokitus on tiukempi. Sisäilmastoluokitus nostaa standardista esiin valaistusvoimakkuuden työ- ja sen lähialueella, sekä häikäisy- ja värinointoindeksit. S3 on standardin mukainen. (RT 07-11299, 9.)

TAULUKKO 11. Sisäilmastoluokituksen standardiin SFS-EN 12464-1 perustuvia valaistussuunnitelun tavoitearvoja (RT 07-11299, 9).

	S1	S2	S3
Valaistusvoimakkuus, työalue [lx]	> 500	> 500	–
Valaistusvoimakkuus, lähialue [lx]	> 300	> 300	–
Häikäisyindeksi UGR_L	< 19	< 19	–
Värinointoindeksi R_a	> 80	> 80	–

Standardin lisäksi S1- ja S2-luokan asuintiloille on seuraavat lisävaatimukset:

- Asuintilojen keittiöiden ja kylpyhuoneiden työalueiden valaistusvoimakkuuden tulee olla vähintään 300 luksia.
- S1-luokan asuin- ja oleskelutiloissa tulee olla himmentimellä ohjattu valaisinpistorasia ja ikkunoissa säädettävä auringonsuojaus (esim. säleverhot tai markiisit).

Standardissa mainitut valaistuksen tärkeimmät perusteet ovat näkemisen mukavuus ja tehokkuus sekä turvallisuus. Sisäilmastoluokituksen taulukossa 11 mainitut arvot sähkö- ja päivänvalon osalta ovat tärkeimpiä valaistun ympäristön tekijöitä. Lisäksi standardin mukaan valaistussa ympäristössä tärkeiksi tekijöiksi määritellään luminanssijakauma, valon suuntaus, vaihtelevuus ja välkyntä. (SFS-EN 12464-1:2021, 8)

Valaistusvoimakkuus ilmaistaan lukseina, ja se tarkoittaa pinnalle saapuvan valon tiheyttä. *Luksi* (lx) määrä tarkoittaa valovirran eli valon lähteen lähettämän valon määrää määrättyllä hetkellä luumeneina neliometrillä. *Luumen* on valovirran yksikkö. *Luminanssi* on havaitsijan suuntaan pinnasta lähtevän valovoiman ja projektiopinta-alan suhde ja sen yksikkö on cd/m². Cd = *kandela* on valovoiman perussuure ja vastaa noin yhden kynttilän valovoimaa. (RT 75-11263, 2.)

Häikäisy on luminanssi eroista johtuva näkemistä haittaava epämukava tunne, joka syntyy, kun näkökyky ei pysty sopeutumaan liian kirkkaisiin pisteisiin näkökentässä. Liian kirkkaat pisteet voivat olla erittäin heijastavia pintoja tai voimakkaita valon lähteitä ilman häikäisysoojaa. Häikäisyä mita-

taan UGR (Unified Glare Rating) häikäisyindeksillä, joka perustuu valaisimia varten laadittuun laskennalliseen kaavaan, joka ilmoittaa häikäisyindeksin arvon. Arvot ovat 16, 19, 22, 25 ja 28. Pienin arvo ilmoittaa pienen kiusahäikäisyn todennäköisyydestä ja suurin taas suuresta todennäköisyydestä. (SFS-EN 12464-1:2021, 16.)

Valon värintoisto-ominaisuuksia tarkastellaan valon itsensä tuottaman värivaikutelman ja sen värintoisto-ominaisuuksien kautta erillisinä asioina. Valon itsensä tuottama värivaikutelma ilmoitetaan kelvin asteissa (K), joka on säteilevän valon näkyvä väri. Tässä asteikossa alle 3300 K on lämmin ja yli 5300 K on kylmä. Neutraali on näiden väliltä. Värivaikutelma on valittavissa oleva ja se määritellään tarkoituksenmukaisuuden, psykologisten tai esteettisten tekijöiden kautta tila ja sen käytötarkoitus huomioiden. Värintoisto-ominaisuuksien tärkein tavoite on näyttää ympäristö ja esimerkiksi ihmisten ihon väri mahdollisimman luonnollisena. Valonlähteiden värintoistoa määritellään värintoistoindeksillä R_a , jonka maksimi arvo on 100. (SFS-EN 12464-1:2021, 19.)

4 ILMANLAATU JA TERVEELLISYYS HIRSIRAKENNUKSISSA

Hirsirakennuksissa sisäilmanlaatua on yleisesti pidetty hyvänä, mutta tutkittua tietoa asiasta ei ole kovinkaan runsaasti vaan ”tieto” perustuu pitkälti niin sanottuun kansantietoon. Tutkimustieto lisääntyy kuitenkin koko ajan ja kansantieto saa sen myötä vahvistuksia paikkaansa pitävyydestä. (Puuinfo 2021.)

Vuonna 2011 Terveyden ja hyvinvoinninlaitos THL teki satunnaisotantaan perustuvan ALTTI2011-kyselytutkimuksen hirsi-, puu- tai kivitalossa asujille Suomessa heidän asumisterveydestänsä ja -turvallisuudesta. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, onko hirsitaloissa asuvien terveydentilassa tai asumistyytyväisyydessä eroja suhteessa muunlaisissa taloissa asuviin ihmisiin, jotta voitaisiin kehittää tarkempi tutkimussuunnitelma hirsirakennusten terveysvaikutusten selvittämiseksi. Kyselyssä oli 939 yksikköä, joista vain 38 oli hirsitaloja, joten otanta oli aika pieni sekä lisäksi hirsirakennusten sijainti ja ikä poikkesivat muista materiaalityypin taloista. Kuitenkin tutkimuksen analyysien mukaan hirsitalojen asukkaat olivat neljä kertaa todennäköisemmin tyytyväisiä sisäilman laatuun verrattuna puutaloasujiin ja jopa kuusi kertaa tyytyväisempiä kuin kivitaloasujat. Lisäksi hirsitaloasujien yleinen terveydentila oli parempi kuin verrokkityhmissä. (THL 65/2012, 4,9.)

4.1 Männyn ja kuusen VOC-päästöistä sisäilmaan

Sisäilmaan haihtuu yhdisteitä kaikista puulajeista, mutta määrä ja koostumus vaihtelevat puulajista, sen määrästä, näytetyypistä ja näytteen käsittelytavasta riippuen. Lisäksi puun hygroskooppisuus aiheuttaa sen, että yhdisteiden määrä vaihtelee myös ympäristöolosuhteiden mukaan. Vasta-asennetun puutuotteen haihtuvien yhdisteiden kokonaisuuspitoisuus on korkeampi, mutta suurin osa yhdisteistä on harmittomia ja niiden määrä sisäilmassa laskee nopeasti asennuksen jälkeen. (Luonnonvarakeskus 2021, 3)

Rakentamisessa käytettävä puhdas ja käsittelemätön puu kuuluu yleisesti päästöluokkaan M1, eli siitä haihtuvien haitallisten yhdisteiden määrä sisäilmassa on erittäin vähäistä. Tämän ansiosta puun sisäilmapäästöjen rajoittaminen esimerkiksi pintakäsittelyn avulla ei yleensä ole tarpeellista muutoin kuin poikkeustapauksissa. Poikkeustapauksia ovat esimerkiksi kohteet, joissa käyttäjillä

on yliherkkyttä tai tiloilla muutoin erityisvaatimuksia sisäilman laadun suhteen. (Luonnonvarakeskus 2021, 3,8.)

Käsittlemättömän puun VOC-päästöt siirtyvät sisäilmaan diffuusion avulla ja syntyvät puun uuteaineista, joita on hieman alle 5 % puun kuivapainosta. Lisäksi päästöjä aiheutuu puun vesiliukoisista orgaanisista tai epäorgaanisista yhdisteistä. Uuteaineiden ja eri yhdisteiden suurimmat pitoisuudet ovat puun kuoressa, sydänpuussa, pihkatiehyissä, sisäöksissä sekä ydinsäteiden varastosoluissa. Uuteaineet jaetaan käytännössä kolmeen eri ryhmään, mitä ovat fenoliset, alifaattiset ja muut yhdisteet. (Luonnonvarakeskus 2021, 8.)

TAULUKKO 12. Puun orgaanisten uuteaineiden luokittelu (Luonnonvarakeskus 2021, 8.)

Fenoliset yhdisteet	Alifaattiset yhdisteet	Muut yhdisteet
Yksinkertaiset fenolit	Terpeenit ja terpenoidit (sisältäen hartsihapot ja steroidit)	Sokerit
Stilbeenit	Rasvahappojen esterit (rasvat ja vahat)	Syklitolit
Lignaanit	Rasvahapot	Tropolonit
Isoflavonit	Alkaanit	Aminohapot
Flavonoidit		Alkaloidit
Kondensoituneet tanniinit		Kumariinit
Hydrolysoituvat tanniinit		Kinonit

Mikäli olosuhteet sallivat, tapahtuu puussa myös kemiallista ja fysikaalista hajoamista, minkä takia sisäilmaan voi haihtua myös puun hajoamistuotteita. Hajoamisesta johtuvia päästöjä tapahtuu kuulumisen, otsonin, UV- säteilyn sekä luonnollisesti kosteuden ja lämmön vuoksi myös ajan myötä. (Luonnonvarakeskus 2021, 8, 10–11.)

Puumateriaalien päästöjen tutkiminen oikeiden rakennuskohteiden sisäilmasta ei ole yksiselitteistä, koska tiloissa on luonnollisesti muitakin päästölähteitä. Vaihtelevaa aineistoa on saatu kuitenkin puun päästötutkimuksista, joissa mukana on ollut esimerkiksi eurooppalaista mäntyä, kuusta, siperianlehtikuusta sekä yleisimpiä lehtipuita. Tutkimusten puunäytteet ovat suoraan metsästä tai tuotannosta, kuten sahalta tai parkettitehtaalta, ja joissain tapauksissa näytteen alkuperää ei tiedetä. Näytteitä on tehty erilaisilta leikkauspinnoilta, tuoreelta tai kuivatulta sekä kuivatun puun uudelleen höylätyltä pinnalta, jauhetusta puusta tai puulastuista sekä erillisistä pinta- tai sydänpuunäytteistä. Pinta- ja sydänpuun tunnistusmenetelmä oli jätetty kuvaamatta, joten mittauksien luotettavuus ei ole paras mahdollinen. Standardien mukaiset mittaukset tehdään 3 ja 28 vuorokauden kuluttua

kokeen alkamisesta, mutta tutkimuksissa on käytetty myös muita mittausaikoja. Yleisin käytetty menetelmä mittauksiin on kaasukromatografia-massaspektrometria, mutta tapoja on muitakin. Mikään määrittely- tai mittausmenetelmä ei kuitenkaan tunnista kaikkia yhdisteitä. Lisäksi pitoisuuksien ilmoitussuureita on annettu useammassa eri suureessa eikä EU-LCI-taulukon mukaisessa suu-
reessa, joka on $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (Luonnonvarakeskus 2021, 23.)

Hirsitaloteollisuuden suosimassa männynssä suurin osa sisäilmapäästöjä aiheuttavista haihtuvista yhdisteistä tulee terpeeneistä ja alkaaneista. Terpeenit ovat isopreeniysikön sisältäviä hiilivetyjä, joiden kemiallinen koostumus ($\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2$) vaihtelee hieman terpeenistä riippuen. Lisäksi havupuussa esiintyy steroleja, limoneenia α - ja β -pineeniä sekä $\Delta 3$ -kareenia. Männynssä uuteaineipitoisuus on korkeampi sydänpuussa kuin pintapuussa ja sen uuteaineista suurin osa on erilaisia hartsihappoja, mutta myös esimerkiksi luontaisena lahonsuojana toimivia stilbenejä. (Luonnonvarakeskus 2021, 8–9.)

Männyn muita haihtuvia yhdisteitä ovat esimerkiksi aldehydit ja orgaaniset hapot, ketonit, alifaattiset ja aromaattiset hiilivedyt sekä esterit ja eetterit. Männyn ja kuusen päästöjä tutkivissa kammio-
kokeissa, tuoreista mänty näytteistä löytyi sydänpuusta 18 ja pintapuusta 19 yhdistettä, kun kuusella yhdisteiden määrät olivat 11 ja 12. Molemmilla merkitsevimmät olivat jo aiemmin mainitut α -pineeni ja $\Delta 3$ -kareeni sekä tuoreen että kuivan puun osalta. Huomion arvoista oli, että männyn sydänpuun VOC-päästöt olivat moninkertaiset pintapuuhun verrattuna. Kuusen kohdalla tilanne oli päin vastainen ja sen kokonaispäästöt olivat muutenkin männyn päästöjä huomattavasti alhaisemmat. (Luonnonvarakeskus 2021, 23.)

Toisessa vastaavassa tutkimuksessa mittaukset suoritettiin erottelematta sydän- ja pintapuuta, jonka myötä ilmakeivästä männynstä löytyi α -pineenin ja $\Delta 3$ -kareenin lisäksi heksanaalia. Kuusessa oli lisäksi d-limoneenia ja β -pineeniä. Kaikkien muiden paitsi heksanaalin pitoisuudet alenivat huomattavasti 28 vuorokauden kokeen aikana. (Luonnonvarakeskus 2021, 23.)

Vuonna 2006 tehdyssä tutkimuksessa lämmitettiin kuusen pinta- ja sydänpuunäytteitä $+60\text{ }^\circ\text{C}$:ssa vesihauteessa koeputkessa, jonka seurauksena koeputken ilmatilaan vapautui kummassakin näytteestä noin sata yhdistettä. Yhdisteistä yli puolet olivat α - ja β -pineeniä ja lisäksi haihtui seskviterpeenäjä ja terpenoideja ja n. 10 % puolihaihtuvia yhdisteitä. Toisessa huoneenlämpöisessä tes-

tissä sydän- ja pintapuukappaleet olivat erillisissä kahden litran lasiastiassa, jonka kautta kulki il-mavirta. Pintapuun lasiastian ilmanäytteestä löytyi 12 yhdistettä ja sydänpuun 10. Yhdisteet olivat pääasiassa monoterpeenejä kuten α -pineeniä, β -myrseeniä. (Luonnonvarakeskus 2021, 24.)

Formaldehydi on pääasiassa puutuotteiden liimoihin liittyvä päästö, mutta jossain määrin myös luonnollinen, esimerkiksi α - ja β -pineenin sekä limoneenin hapettumisen takia. Kuivasta puusta formaldehydi päästöjä tulee enemmän kuin tuoreesta ja kuumentaminen moninkertaistaa formal-dehydipäästöt. (Luonnonvarakeskus 2021, 24.)

Kuusen, männyn ja haavan VOC-päästöjä on tutkittu sekä käsittelemättömänä että lämpökäsittel-tyinä ja tulokset viittaavat siihen, että lämpökäsittely laskee ainakin haavan aldehydien sekä män-nyn ja kuusen terpeenien emissioita. Tutkimuksien olosuhteet oli vakioitu huonelämpötilaan ja 50 % ilmankosteuteen. Lämpökäsittelyn aikana puun ligniini, selluloosa, hemiselluloosa ja uuteaineet alkavat hajota ja prosessissa syntyy uusia haihtuvia yhdisteitä sekä päästöjen määrä kohoaa mer-kittävästi korkean lämpötilan vuoksi. Tutkimuksessa havaittiin, että mitä korkeampi puun käsittelyn lämpötila oli, sitä vähäisempi oli päästöjen määrä lämpökäsittelyn jälkeen. (Luonnonvarakeskus 2021, 25.)

TAULUKKO 13: Männyn VOC-päästöt erilaisissa tutkimuksissa (Luonnonvarakeskus 2021, 45).

Näyte	Puun käsittely	Päästömittauksen ajankohta	Yhdisteet, lkm	Runsaimmat päästöt	VOC-summa (ter-peenit)	Suure	Julkaisu
Pintapuu	näyte tuoreesta puukiekosta	3 vrk/28 vrk	21/21	a-pineeni, 3-kareeni/a-pineeni, heksanaali	1582/631	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Czajka ym. 2020
Sydänpuu	näyte tuoreesta puukiekosta	3 vrk/28 vrk	18/18	a-pineeni/a-pineeni	12975/3656	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Czajka ym. 2020
Pintapuu		28 vrk (3 puuta)	18	heksanaali, pentanaali, hexanoic acid	601	$\mu\text{g}/\text{h} \times \text{m}^2$	Englund 1999
Sydänpuu		28 vrk (3 puuta)	42	3-kareeni, a-pineeni	1675	$\mu\text{g}/\text{h} \times \text{m}^2$	Englund 1999
Sekakappaleet	tuore puu	tuore (1 puu)/28 vrk (8 puuta)/7 kk (2 puuta)	22/35/29	a-pineeni, 3-kareeni/a-pineeni, 3-kareeni/a-pineeni, 3-kareeni	29087/4623/1038	$\mu\text{g}/\text{h} \times \text{m}^2$	Englund 1999
Ei tietoa	kaupallinen mänty-paneeli	Ei tietoa	Ei tietoa	a-pineeni, Δ -3-kareeni	Ei tietoa	m^2/m^3	Gminski ym. 2011
Ei tietoa	ilmakuivattu	2 vrk/28 vrk	13/13	a-pineeni, d-3-kareeni/a-pineeni, d-3-kareeni	1808 (1698)/909 (818)	$\mu\text{g}/\text{h} \times \text{m}^2$	Hyttinen ym. 2010
Ei tietoa	lämpökäsittely 212°C	2 vrk/28 vrk	11/13	furfuraali, heksanaali/etikkahappo, furfuraali, benzoic acid	65 (19)/94 (9)	$\mu\text{g}/\text{h} \times \text{m}^2$	Hyttinen ym. 2010
Pintapuu	Ei tietoa	Ei tietoa	7	a-pineeni	Ei tietoa	$\mu\text{g}/\text{h} \times \text{m}^2$	Jensen ym. 2001
Sydänpuu	Ei tietoa	Ei tietoa	7	a-pineeni	Ei tietoa	$\mu\text{g}/\text{h} \times \text{m}^2$	Jensen ym. 2001
Pintapuu	ilmakuivattu	Ei tietoa	29	a-pineeni	Ei tietoa	Ei tietoa	Manninen ym. 2002
Ei tietoa	lämpökäsittely +230°C	Ei tietoa	26	2-furancarboxaldehyde, etikka-happo	Ei tietoa	Ei tietoa	Manninen ym. 2002
Ei tietoa	kuivattu lankku, las-tut & höylätty pinta	28 vrk	5	a-pineeni, 3-kareeni	Ei tietoa	$\mu\text{g}/\text{h} \times \text{m}^2$	Risholm-Sundman ym. 1998*

4.2 Männyn ja kuusen VOC-päästöjen terveysvaikutukset

Puuaineen normaaleissa olosuhteissa sisäilmaan haihtuvilla haitallisimmillakin yhdisteillä on enimmäkseen ärsytysvaikutuksia. Höyrystyneet alkoholit sekä alifaattiset ja tyydyttymättömät aldehydit aiheuttavat silmien ja hengitysteiden ärsytysoireita sekä joillekin iho-oireita. Monoterpeeneiden on tutkittu ärsyttävän ihoa ja limakalvoja sekä pitkäaikaisen altistumisen on tutkittu voivan aiheuttaa yleensä kontaktista johtuvaa ihottumaa. Kaikkien terpeenien myrkyllisyyttä tai muita vaikutuksia ihmisen terveydelle ei ole tutkittu mutta ainakin d-limoneenin tiedetään olevan hajusteallergeeni ja β -myrseeni liittyy usein allergiseen nuhaan ja astmaan. (Luonnonvarakeskus 2021, 26.)

Puutuoteteollisuudessa tehdyissä kokeissa ja tutkimuksissa monoterpeenien vaikutukset on todettu haitalliseksi, kun ilmassa on todella korkeita pitoisuuksia useita erilaisia haihtuvia yhdisteitä. Toisaalta korkeidenkaan α -pineeni- (1800 mg/m³) tai Δ -3-kareenipitoisuuksien (600 mg/m³) ei todettu toisessa tutkimuksessa aiheuttavan ainakaan myrkytysvaikutuksia keuhkosoluissa, vaikka ärsytysoireita saattoikin olla. Useassa tutkimuksessa, jossa käsiteltiin esimerkiksi α -pineeniä tai d-limoneeniä, arkielämän olosuhteissa, jäivät pitkän aikavälin altistuksen raja-arvot selkeästi alle lyhyen aikavälin kriittisen altistuksen raja-arvon. Lyhyen aikavälin kriittisen altistuksen raja-arvo on α -pineenillä 90 mg/m³ ja d-limoneenillä 45 mg/m³. (Luonnonvarakeskus 2021, 26.)

Monoterpeenit, aldehydit ja hapot ovat kuitenkin voimakkaan hajuisia yhdisteitä, joten ne aiheuttavat hajuaistimuksia jo pienistäkin pitoisuuksista, mikä voi aiheuttaa esimerkiksi negatiivisen kokemuksen sisäilman laadusta, mutta hajua aiheuttava määrä haihtuvia yhdisteitä itsessään ei riitä aiheuttamaan muutoin ärsytysreaktioita. Hajujen suhteen kysymys on yleensä kokijan henkilökohtaisista mieltymyksistä, ja puun tuoksu koetaankin yleensä ennemmin miellyttävänä. Kuitenkin esimerkiksi akroleiini niminen aldehydi, tiedetään keuhkosyöpää aiheuttavaksi karsinogeeniksi, ja se on yhdistetty myös lasten astman pahenemiseen. Akroleiiniä ei kuitenkaan ole löydetty suomalaisista puista, tosin sen mittaaminen on ollut myös vaikeaa. Ylempänä sivuttua formaldehydiä puutuotteista löytyy jonkun verran. Formaldehydi on eläinkokeissa todettu syöpää ja voimakasta ärsytystä limakalvoilla, hengitysteissä ja silmissä aiheuttavaksi yhdisteeksi. (Luonnonvarakeskus 2021, 26–27.)

Yleisesti sisätiloissa käytettävien tuotteiden osalta sovelletaan käyttöiän aikaisten päästöjen terveysvaikutusten arvioinnissa käytettäviä EU-LCI arvoja, jotka perustuvat saatavilla olevaan tutkimustietoon, jota päivitetään vuosittain. Esimerkiksi asetalhdydille, pentanaanille ja heksaaneille arvo

on 800–1200 1200 µg/m³ välillä. Furfuraalille vain 10 µg/m³. Etikkahapon arvo on 1200 µg/m³, heksaanihapolle 2100 µg/m³ ja asetonille 120000 µg/m³. α-pineenille 2500 µg/m³ ja limoneenille 5000 µg/m³. Yhdisteen pitoisuuden alittaessa raja-arvon asuin ja toimistotyötilojen sisätiloissa, ei yhdisteen katsota aiheuttavan terveys- tai viihtyvyyshaittaa. (Luonnonvarakeskus 2021, 27.)

4.3 Männyn ja kuusen antibakteerisuus

Varsinkin kuusen ja männyn antibakteerisuuteen liittyvissä tutkimuksissa on todettu, että ainakin osittain antibakteerisuus johtuu puun erilaisista uutteista ja yhdisteistä. Puussa on luonnostaan yhdisteitä, joiden tarkoitus on suojella puuta ulkoisilta häiriöiltä, kuten sieniltä tai hyönteisiltä. Tutkimusten mukaan muun muassa terpeenit ovat tällainen yhdiste. (Luonnonvarakeskus 2021, 28.)

Mikrobien lisäksi sisäilmassa on usein muitakin bioaerosoleja, joten puun uuteaineiden vaikutukset sisäilmaan koskevat myös niitä. Luonnonvarakeskuksen tekemässä massiivipuun päästöjä koskevassa kirjallisuuskatsauksessa vuodelta 2017, on taulukoitu sekä männylle, että kuuselle uuteainekohtaisia vaikutuksia. Esimerkiksi stilbeneillä, jotka ovat puun omia torjunta- ja lahonsuoja-aineita, on sieniä estäviä ja myrkyttäviä vaikutuksia sen lisäksi, että ne ovat enimmäkseen myös antibakteerisia. Flavonoidien vaikutukset painottuvat lukuisia sairauksia ehkäiseviin tai vapailta radikaaleilta suojaaviin, mutta kuitenkin antibakteerisiin tai puhdistaviin ominaisuuksiin. Tanniinit ovat myös antiseptisiä, viruksia ja esimerkiksi sairaalabakteeri MRSA:ta ja immuunipuutosviruksen aiheuttamaa HIV:tä torjuvia aineita. Lingaaneilla, terpeeneillä ja terpeneillä vaikutukset ovat samansuuntaisia. (Luonnonvarakeskus 2021, 33–41.)

Tiina Vainio-Kaila teki vuonna 2017 väitöstutkimusta puun ja männyn antibakteerisuudesta. Tutkimuksessa käytettiin männyn pinta- ja sydänpuu jauhetta erikseen sekä kuusen jauhetta, joka sisälsi sekä pinta- että sydänpuuta ja verrattiin bakteerien kasvua puun uuteaineissa ja pelkällä lasipinnalla. Molempien puulajien haihtuvat yhdisteet näyttivät estävän ainakin *Escherichia coli*-bakteerin sekä *Streptococcus pneumoniae* Gram-positiivisen bakteerikannan kasvua. Näytteistä haihtui pääasiassa monoterpeenejä, joista eniten α-pineeniä, joka puhtaana yhdisteenä esti tehokkaasti *Streptococcus pneumoniae* ja jossain määrin *Streptococcus typhimuriumin* kasvua. Lisäksi toinen yhdiste, limoneeni esti voimakkaasti sekä *Streptococcus pneumoniae*, että *Escherichia coli*-bakteerien kasvua. (Luonnonvarakeskus 2021, 28)

2011 tehtiin tutkimus, jossa todettiin d-limoneenin ehkäisevän kasvainten kasvua ja sisään hengitettynä myös lievittävän allergista tulehdusta vähentämällä tulehduksen välittäjäaineen määrää (tutkimus tämän osalta 2016). Toinen tutkimus vuonna 2019 limoneenin osalta osoitti sen vähentävän yleisesti tulehdusreaktioita ehkäisemällä tulehdukseen osallistuvien tekijöiden muodostumista tai vapautumista. Lääkeaineeksi limoneenista ei kuitenkaan vielä ole, mutta sitä käytetään jonkin verran elintarvikkeissa aromiaineena sekä hajusteena siivous- ja ilmanraikastintuotteissa, joissa se tosin reagoi otsonin kanssa synnyttäen pienhiukkasia. (Luonnonvarakeskus 2021, 28.)

Vuonna 2017 Routa ym. tekivät tutkimustiedon yhteenvedon koivun, kuusen ja männyn erilaisista uuteaineista ja niiden hyödyntämisestä muun muassa hyvinvointi- ja terveystuotteina tai kemikaaliteollisuudessa. Koosteessa käsiteltävien tutkimusten mukaan varsinkin ison osan uuteaineista käsittävien kasvifenolien on todettu olevan terveydelle hyödyllisiä niiden suojatessa esimerkiksi syövältä ja sepelvaltimotaudilta. Lisäksi kasvifenoleita voidaan hyödyntää elintarviketeollisuudessa luonnollisina elintarvikelisiä aineina antioksidantteina, aromeina ja väriaineina. Tällaisia yhdisteitä ovat esimerkiksi stilbeenit, flavonoidit, tanniinit, lingnaanit, terpeenit ja terpenoidit, joihin jo aiemmin mainitut α -pineeni ja d-limoneenikin kuuluvat. Kaiken kaikkiaan yhteenvedossa on koostettu yli 40 männyn uuteainetta sen terveysvaikutuksineen. Yksittäisten uuteaineiden vaikutuksissa toistuu antibakteerisuus, antioksidanttisuus, sairauksien ehkäisy kuten sydän- ja verisuonitaudit, osteoporoosi tai syöpä, niveltulehdus ja tyypin II diabetes sekä HIV, herpes ja monet muut kevyemmät ja arkipäiväisemmätkin sairaudet. (Luonnonvarakeskus 2017, 32–41.)

Ajan kuluessa uuteaineet ja niiden myötä puun haihtuvien yhdisteiden määrä vähenee, mikä vaikuttaa myös puun antimikrobisuuteen, sisäilmassa oleviin puusta aiheutuviin päästöihin ja sitä kautta ympäristöön. Eniten haihtuvat monoterpeenit ja jäljelle jää ligniiniä sekä fenolisia yhdisteitä. Bakteerien elinkykyyn puupinnoilla vaikuttaa ilmankosteus ja lämpötila, joten puun hygroskooppisuuden on epäilty kuivattavan bakteereita. (Luonnonvarakeskus 2021, 29.)

Puhdas puu –hankkeessa tutkittiin vuonna 2019 männyn, kuusen ja koivun antibakteerisuutta. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka pintakäsittely vaikuttaa puun antibakteerisiin ominaisuuksiin tai pinnan puhdistettavuuteen. Tutkimus tehtiin samankokoisille puukappaleille, jotka oli pintakäsittely maalilla, lakalla, vahalla tai jätetty käsittelemättä. Puukappaleissa oli erikseen männyn sydän- ja pintapuu, kuusen pintapuu ja koivu. Kunkin kappaleen koko oli 50x50x5 mm. Vertailupintana tutkimuksessa käytettiin lasia. Tutkimuksessa pyrittiin mallintamaan tavanomaiset si-

säympäristön olosuhteet, joissa pintaa liataan tomaattikastikkeella ja puhdistetaan ylläpitosiivouksen tavoin. Tutkimuksessa käytetyt bakteerit olivat gram-positiiviset *Staphylococcus epidermidis* ja *Bacillus aerius/licheniformis*. *Epidermidis* on yleinen bakteeri iholla ja jälkimmäinen itiöivä maaperän bakteeri. (Puhdas puu, 3, 8–9.)

Tutkimuksessa voitiin lopulta todeta, että käsittelemättömällä puupinnalla *S. epidermidis*-bakteeri kasvoi selkeästi huonommin kuin käsitellyllä pinnalla. Vastaavasti taas maaperän oman *Bacillus aerius/licheniformis*- bakteerin kohdalla bakteerien määrä oli puupinnoillakin huomattavan korkea, mutta niilläkin kuitenkin vähemmän kuin lasilla tai pinnoitetulla puulla. Maalattu pinta oli puhdistettavuudeltaan parhain, mutta toisaalta myös vaatikin sitä bakteeri määrän vuoksi. Vaikka lakattu, vahattu tai paljas pinta oli silmin nähden likaisempi, oli niillä bakteerien määrä silti vähäisempi. Puhdas puu pinta oli vaikein puhdistaa, mutta pysyi kaikkien puulaatujen osalta bakteeri määriltään tasaisimpana. (Puhdas puu, 19, 29.)

5 LÄMPÖ- JA KOSTEUSOLOSUHTEET HIRSIRAKENNUKSISSA

Hirsi on hygroskooppinen massiivirakenne, jossa kosteus ja lämpö kulkevat vahvasti käsi kädessä. Hygroskooppisuuden ansiosta hirsi pyrkii jatkuvasti tasaamaan kosteuttaan ympäristön kosteutta vastaavaksi, jolloin se sitoo ja luovuttaa kosteutta itseensä kulloisenkin tilanteen mukaan, mikä tekee sisätilojen mikroilmastosta miellyttävän. (Puuinfo 2020a.)

5.1 Massiivipuurakenne ja lämpö

Huokoisuuden vuoksi hirrellä ei päästä vastaaviin lämmöneristyslukuihin kuin usean materiaalin seinärakenteilla päästään, mutta muiden ominaisuuksiensa, kuten pienen hiilijalanjäljen ja hyvän lämmönvarauskykynsä vuoksi se on riittävän paksuna massiivirakenteena yksinkertainen, toimiva ja turvallinen seinärakenne (Tiainen, Pihlajaniemi, Lakkala 2017, 36).

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa männyn tai kuusen lämmönjohtavuus on määritelty siten, että kuivatiheys on 450 kg/m^3 , kosteuspitoisuus 14 % painosta, lämmönjohtavuus $10 \text{ }^\circ\text{C}$ asteessa $0,10$ ja normaalin $0,12 \lambda_n \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. Lämmönjohtavuuden avulla saadaan laskettua rakennusten rakenteille määriteltävä U-arvo, joka on aikayksikössä pinta-alan yksikön lävitse johtuva lämpömäärä, kun sisä- ja ulkopintojen välinen lämpötila on asteen suuruinen joko kelvineinä tai celsiusina. (C4 2003. 3, 14.)

Yleisesti massiivipuinen rakennus saa käyttötarkoituksensa mukaan ylittää vastaavalle tavanomaiselle rakennukselle määritellyn E-luvun 10–20 prosentilla. 15–20 prosenttia sallitaan asuinkäyttöön tarkoitetuilla pien- rivi- ja kerrostaloilla ja minimi kymmenen prosenttia esimerkiksi sairaalalla, päiväkodilla, toimistorakennuksella, hoitolaitoksella tai hotellilla. Edellä mainittujen määräysten takia hirsiseinän on oltava ainakin 180 mm paksua, jotta se täyttää asuinrakennukselle määritellyt energiatehokkuuteen liittyvät määräykset. (Tiainen, Pihlajaniemi, Lakkala 2017, 58–61.)

Höylätyn 270 mm paksun hirren U-arvo on ilman lisälämmöneristeitä $0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vaikka hirren U-arvo onkin laskennallisesti useita monikerroksisia rakenteita huonompi, niin hyvän lämmönvarauskyvyn ja hirsien muotoilulla sekä tiiviillä rakentamisella saadaan jo erittäin hyviä tuloksia energiatehokkuuden suhteen. Energiatehokkuuden arvioinnissa pyritään muutoinkin yhä enenevässä määrin

arvioimaan rakennuksen koko elinkaaren aiheuttamia päästöjä, joista iso osa muodostuu rakennuksen hiilijalanjäljestä, joka massiivipuiseilla rakennuksella kompensoituu tehokkaasti, kun seinät toimivat hiilinieluna. (Tiainen, Pihlajaniemi, Lakkala 2017, 58–61.)

5.2 Puu lämpöakkuna

Sisätilojen puupinnoista lämmöntasaajana on tehty viime vuosien aikana useita tutkimuksia, joiden keskiössä on ollut ilmankosteuden faasimuutoksessa vapautuva lämpö. Ilmiö on hyödyllinen, sillä sen avulla voi säästää energiaa ja parantaa massiivipuisten rakennusten kilpailukykyä. Ilmiö perustuu puun hygroskooppisuuteen, joka vaimentaa sisäilman suhteellisen kosteuden huippujen muutoksia kosteuspuskurointin avulla. Käytännössä kosteuspuskurointi toimii siten, että kun puu sopeutuu sisäilman kosteuden muutoksiin, jonka ansiosta ilmanvaihdon kuormitus vähenee ja energiaa säästyy. Tutkimusten mukaan energiansäästö voi lämmityksen suhteen olla ilmiön ansiosta noin viisi prosenttia ja jopa 20 prosenttia viilennettäessä. Puun kosteuspuskurointikyky on kaksi kertaa suurempi kuin kipsillä ja kolme kertaa suurempi kuin betonilla tai tiilellä. (Puuinfo 2020b.)

Puun toimimista ”lämpöakkuna” on tutkittu ainakin norjalaisessa kolmiosaisessa projektissa (Wood - Energy, Emissions, Experience = WEEE). Tutkimuksessa tutkittiin puun piilevää lämpöä, kosteuspuskurointia ja männyn VOC-päästöjä. Tutkimuksessa havaittiin suhteellisen kosteuden vaikuttavan merkittävästi huoneen lämpötilaan eli puupinnat toimivat lämpöakkuna, kun kosteus sitoutuu ja vapautuu puuhun. Tätä ominaisuutta hyödyntämällä, on mahdollista vähentää energian kulutusta ja parantaa asumismukavuutta, kun huomioidaan tilan kosteusvaihtelu sekä käyttö- ja vuorokaudenaika. (Kraniotis ym. 2015, 2–3.)

Samaisessa tutkimuksessa selvitettiin mahdollisuutta lämmittää kylpyhuonetta puuverhoilun avulla. Huomattiin, että lämpötila nousi nopeasti suihkun jälkeen noin kolmella asteella, joka johtui puupintojen ja muodostuneen kosteuden välisestä reaktiosta, puun piilevästä lämmöstä. Piilevän lämmön ansiosta kylpyhuoneen kokoaikainen lämpötila voitiin laskea 23:sta 20 asteeseen. Puupinnoilla on merkittävä potentiaali lämmöntasaajana ja lämpöakkuna etenkin yhdistettynä ilmiötä tukevaan lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmään. (Kraniotis ym. 2015, 2–3.)

Osittain samat tutkijat kuin Wood - Energy, Emissions, Experience -projektissakin oli, tutkivat samaista lämmönvaihto -reaktiota puuverhoilussa saunassa. Tutkimuksessa käsiteltiin saunan lämpötilan muutosta, sillä hetkellä, kun kiukaalle laitetaan vettä. Yleisesti on ajateltu, että lämpötilan

nousu löylyn hetkellä johtuisi pelkästään kohonneesta kosteudesta, mutta kyseisessä tutkimuksessa päädyttiin tulokseen, minkä mukaan lämpötilan kohoaminen johtuisi osittain piilevästä lämmöstä, joka vapautuu veden faasimuutoksessa. Saunan kuuma ilma aiheuttaa sen, että saunapaneelien kosteusprosentti asettuu noin neljään, ja kun saunassa heitetään löylyä, sitoo puupinta ylimääräisen kosteuden ilmasta. Kosteuden sitouduttua, säteilee sitoutumisessa syntynyt energia takaisin saunaan saaden ilman tuntumaan kuumemmalta. Ilmiössä saunan kokonaislämpötila ei kuitenkaan kohonnut reaktion yhteydessä yhtä paljon kuin pintojen lämpötila, joka kohosi noin 2,5 C°. Tutkijat arvelivat, että reaktio olisi tavanomaisissa sisäolosuhteissa voimakkaampi, sillä jo valmiiksi korkeassa lämpötilassa piilevästä lämmöstä johtuva lämpösäteily ei merkittävästi voi vaikuttaa saunan lämpötilaan. (Nore ym. 2015, 1907–1908.)

Saunan lämmönvaihto -reaktiota tutkittiin myös osittain samojen henkilöiden toimesta vielä kolmannessa tutkimuksessa, jossa tehtiin kokeita verrattavaksi numeerisiin simulaatioihin. Kokeiden avulla voitiin todeta, että puun lämpötila nousi 2–3 astetta kosteuden määrästä riippumatta. Korkeimmillaan lämpötila oli vajaassa kuudessa millimetrissä puun pinnasta eli veden sitoutuminen oli siinä kohtaa voimakkainta, ulompana kohtalaisempaa. Saman aiheeseen liittyvää diplomityötä teki myös Kortelainen vuonna 2015 massiivipuulle Aalto yliopistossa. Kortelainen havaitsi, että puun lähtökosteus vaikuttaa lämpötilan vaihteluun, siten että kuivempi näyte aiheutti suuremman vaihtelun. Lämpötila myös nousi enemmän kosteuden sitoutuessa, kuin mitä laski kosteuden haihtuessa. (Puuinfo 2020b.)

6 ÄÄNIOLOSUHTEET HIRSIRAKENNUKSISSA

Koska puu on huokoista ja näin ollen tilavuuteensa nähden kevyt materiaali, ei sen ääneneristävyys ole kovin hyvä. Äänenvaimentamisen ominaisuudet sitä vastoin ovat paremmat ja puuta käytetäänkin paljon erilaisiin resonaattoriratkaisuissa ja puupinnoilla koetaan saatavan miellyttävä akustinen ympäristö. Ääneneristävyys massiivipuurakenteissa on riippuvainen massasta, tiiveydestä ja jäykkyydestä. Rakenteiden liittymät, läpivientien ja detaljien muotoilu yhdessä toteutuksen kanssa ovat ensiarvoisen tärkeitä, jotta ääneneristäminen onnistuu. Matalat, runkoääninä etenevät taajuudet sekä askelääniä eristäminen ovat hirsiseinien sudenkuoppia, mutta pystysuuntaisesti etenevät äänet taas eivät, koska hirret ovat toisistaan erillisiä kappaleita. (Arkkitehdin hirsikäsikirja, 38.)

6.1 Puun akustiset ominaisuudet

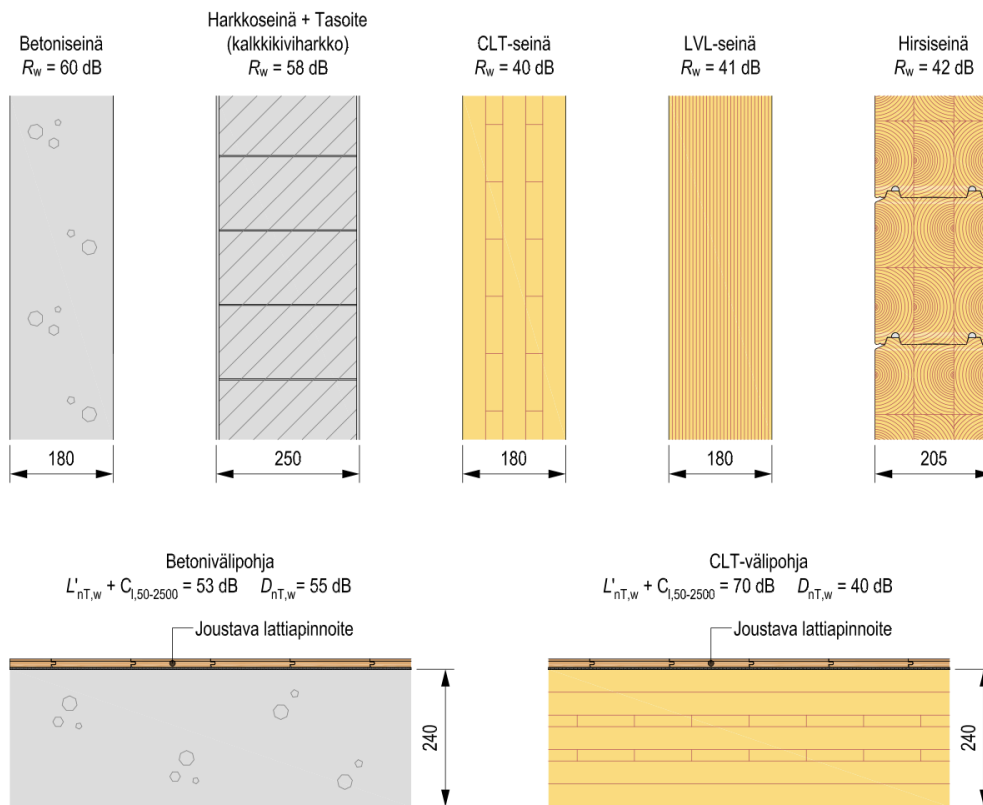
Puuta arvostetaan suuresti soitinmateriaalina ja eri puulaaduilla on erilaisia ominaisuuksia. Merkittävä ominaisuus on, että puu kuljettaa ääntä syitä pitkin kymmenen kertaa nopeammin kuin ääni liikkuu ilmassa. Syitä vastaan etenemisnopeus on pituussuuntaista etenemistä 3–5 kertaa hitaampi. Puu kuitenkin vaimentaa ääntä nopeasti, sillä sen massan ja jäykkyyden suhde on pieni vaikkakin vaimennuskyky riippuu myös äänen taajuudesta. Ääneneristämiskyvyn lisäksi rakennusten sisäympäristöön vaikuttaa absorptio-ominaisuudet, joissa massiivipuun on melko huono, sillä se heijastaa jopa 90 % äänienergiasta, kun taas hyvät vain 20–30 %. (Kärkkäinen 2003, 240–241.)

6.2 Puurakenteiden ääneneristys

Rakennuksissa, jotka rakennetaan muuta kuin pientaloasumista varten on tiukemmat paloturvallisuus säädökset ja usein paloturvallinen puurakenne on myös hyvin ääntä eristävä. Usein ääneneristävyttä saadaan parannettua tekemällä rakenteista kerroksellisia ja erottamalla kerrokset toisistaan. Välipohjien rakenteisiin lisätään massaa, jotta värähtely vähenee. Rakenteiden, liittymien ja liitosten tulee olla niin ikään tiiviitä. (Puuinfo 2020c.)

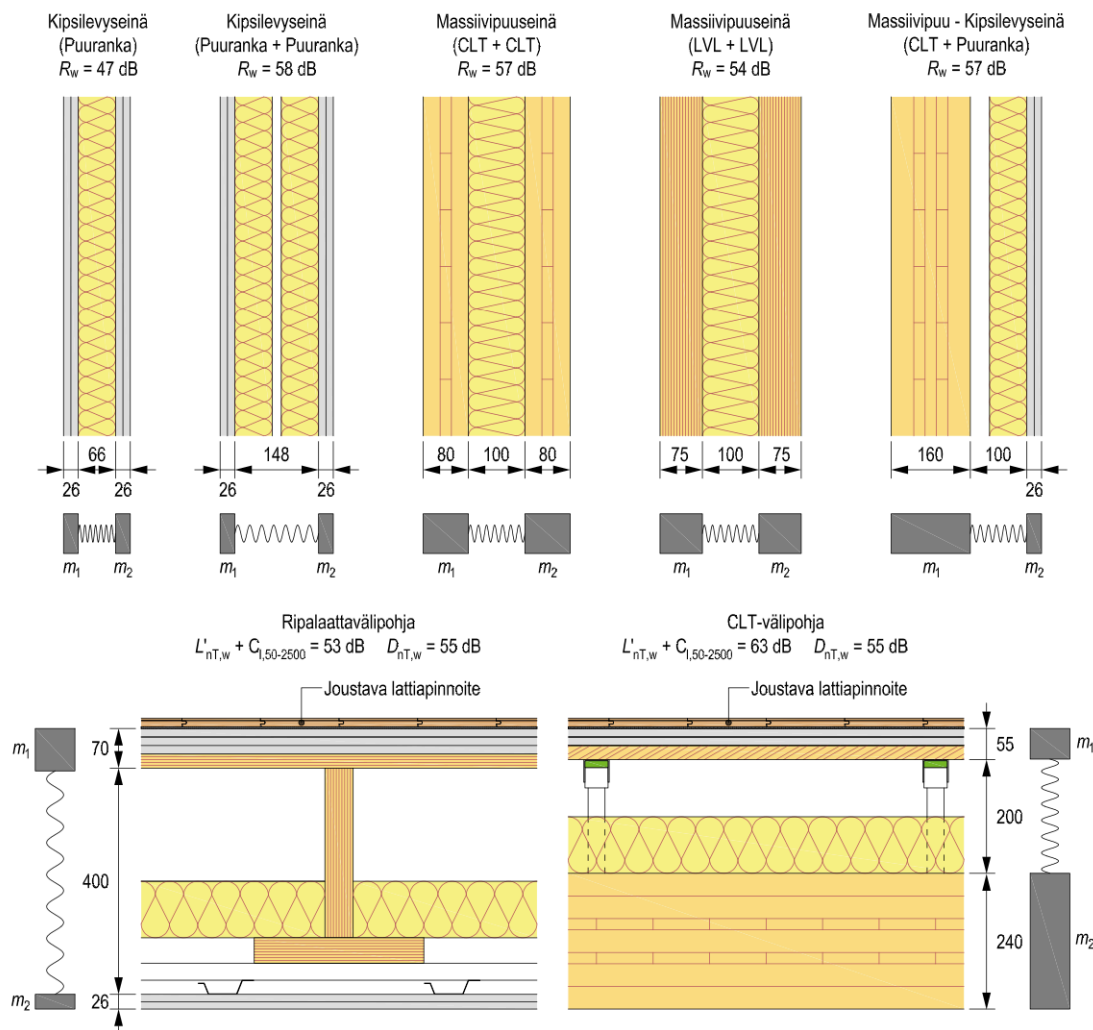
Akustisesti rakenne määritellään yksinkertaiseksi, kun se on kauttaaltaan samaa materiaalia. Myös yksinkertaisen rakenteen ilmaääneneristävyys on riippuvainen massasta, tiiveydestä ja jäykkyydestä. Lisäksi merkittävästi ilmaääntä siirtyy rakenteellisten sivusiirtymien kautta. Fysiikan lakien

mukaan massan kaksinkertaistuksessa, kasvaa rakenteen ilmasteneristävyys noin 6 dB. Tästä on esimerkkinä laskelma jossa 180 mm paksua betoni- ja CLT-rakennetta verrataan keskenään. CLT:n ilmasteneristävyys arvo on 40 dB ja massa 90 kg/m², kun taas betonilla vastaava luku on 60 dB ja massa 450 kg/m². Tämmöisenään ei siis CLT:llä tai muullakaan vastaavalla massiivipuurakenteella saavuteta riittävää ääneneristävyyttä rakennukseen esimerkiksi asuinhuoneistojen välille tai meluisammalla alueella sijaitsevan pientalon ulkokuoreen. Sisäilmastoluokituksessakin luokassa S1 on äänenraja-arvo alle 58 dB ja S2: sessakin 55 dB (Sisäilmastoluokitus 2018). Kuvassa 2 on esimerkkejä yksinkertaisten rakenteiden ilmasteneristävyys luvuista, joista voi huomata, ettei kovinkaan moni rakenne yksinään riitä eristämään ääntä vaikkapa asuinhuoneistojen välillä. Kuvan välipohjissa on joustavaksi lattiapinnoiteeksi määritelty pinnoite, jonka vaikutus välipohjan ääneneristävyyteen on noin 20 dB. (Lahtela ym. 2021, 21–22.)



KUVA 2: Ilmasteneristysluku -esimerkkejä yksinkertaisella rakenteella (Lahtela ym. 2021, 20).

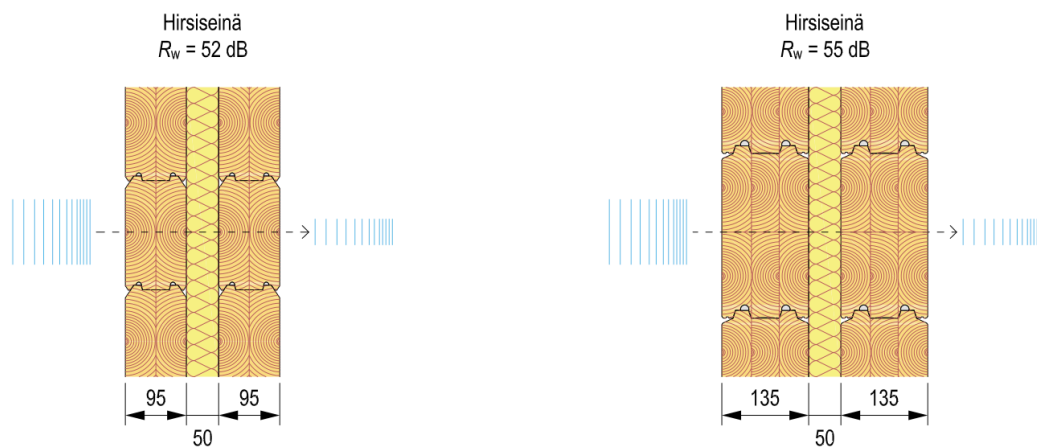
Varsinkin seinä- ja välipohjarakenteita pyritäänkin suunnittelemaan akustisesti kaksinkertaisina, jolloin ääneneristävyys paranee huomattavasti. Kaksinkertaisessa rakenteessa rakenne koostuu kahdesta levymäisestä massasta, joiden välissä on lisänä ilmapäli, mitä kutsutaan jouseksi. Jousen toiminta perustuu sen paksuuteen. Riittävän paksuna ja siihen kohdistuvan äänen aallonpituutta pidempänä se siirtää värähtelyä huonosti eteenpäin ja ilmaääneneristävyys paranee. Liian ohuena kerroksena se taas kytkee molemmin puolin olevat massakerrokset yhteen ja toimii välittävänä tekijänä niiden välillä. Samaisesta syystä massoja ei voi kiinnittää samaan runkoon. Paras kaksinkertainen akustinen rakenne on kaksirunkoinen, jossa massat ovat täysin erillään toisistaan. Tällainen rakenne on kuitenkin hieman hankala toteuttaa, sillä yhdistymistä tapahtuu kuitenkin liitosalueilla ja rungossa. Kuvassa 3 on esitetty muutamia esimerkki rakenteita kaksinkertaisesta rakenteesta ilmaääneneristävyksineen. (Lahtela ym. 2021, 23–24.)



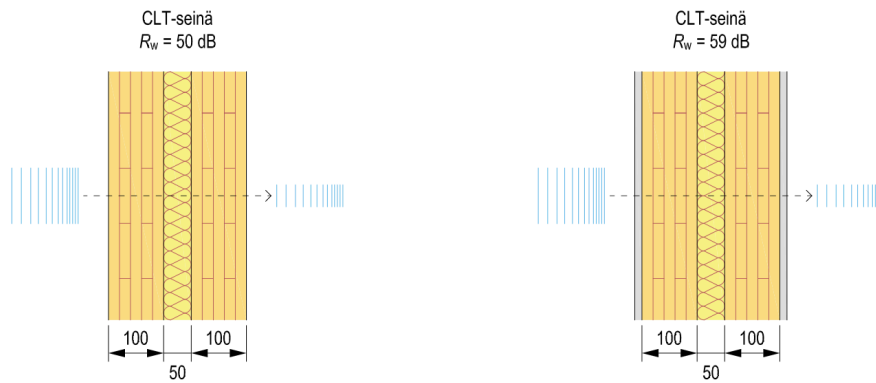
KUVA 3. Kaksinkertaisten rakenteiden esimerkkiratkaisuja. (Lahtela ym. 2021, 24)

Kaksinkertaisen rakenteen rakennuslevyjen tulisi olla ohuita ja niitä laitetaan rakenteeseen kaksi päällekkäin. Ohuita, jotta levyn koinsidenssin rajataajuus saadaan mahdollisimman suureksi ja kaksi päällekkäin, jotta massaa saadaan riittävästi ilmaääneneristämiseksi. Levyt tulee kiinnittää mekaanisesti esimerkiksi ruuveilla, jotta ne toimivat itsenäisesti. Liimaaminen tekee levyistä yhden paksun levyn, joka alentaa koinsidenssin rajataajuutta ja ilmaääneneristävyys heikkenee. Kipsilevyllä on koinsidenssi-ilmiötä heikentävä vaikutus, ja usein massiivipuurakenteisiin yhdistetäänkin kipsilevy parantamaan rakenteen ilmaääneneristävyttä varsinkin pienten taajuuksien kohdalla. Kipsilevy on mahdollista asentaa myös massiivipuun runkojen väliin, mutta tuolloin on huolehdittava, että ilmarako säilyi riittävän suurena. (Lahtela ym. 2021, 24.)

Massiivipuulevyjen paksuuden lisääminen vaikuttaa vain vähän ilmanääneneristävyyteen, koska desibeliasteikko on logaritminen. Tämä tarkoittaa, että massan lisäys parantaa suoraviivaisesti ääneneristävyttä, mutta ei juurikaan lisää eristettäviä desibelejä. Esimerkiksi kaksinkertaisen hirsirakenteen paksuuden kasvattaminen 95 mm:istä 135 mm:iin kummallekin puolelle ei muuta 52 dB:n rakennetta kuin 53 dB:n rakenteeksi. Mutta lähes vastaavassa suuruusluokassa kipsilevyn lisäys puolelleen muuttaa CLT-rakenteen ilmaääneneristävyyden 50 dB:istä 59 dB:iin, joten kipsilevyn lisäys on merkittävä. Rakennusoikeuteen huomioidaan 200 mm seinän paksuudesta, joka mahdollistaa sitä vahvempien kaksinkertaisten seinien rakentamisen. Paksuutta tarvitaan massiivipuun kohdalla myös riittävän kantavuuden saavuttamiseksi. (Lahtela ym. 2021, 24.)

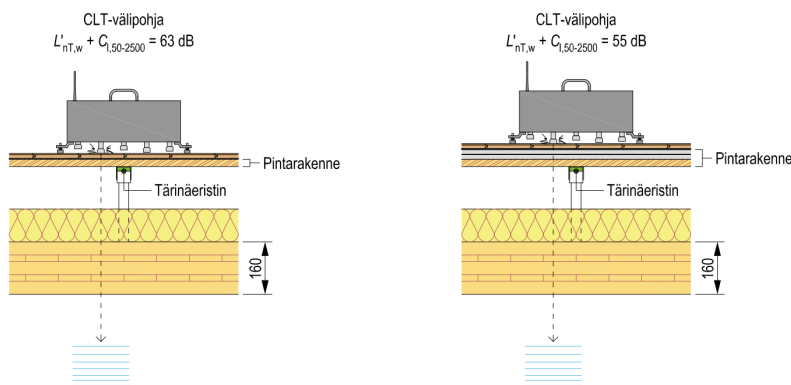


KUVA 4. Massiivipuisten rakenteiden vertailua. (Lahtela ym. 2021, 26, 28.)



KUVA 5. Massiivipuisten rakenteiden vertailua. (Lahtela ym. 2021, 26, 28.)

Välipohjien kohdalla idea on jokseenkin samanlainen kuin seinärakenteissa. Tärkeintä on eristää askeläänet ja siihenkin paras ratkaisu on kaksikerroksinen rakenne. Rakenne voidaan toteuttaa ranka- massiivipuulevy- tai liittorakenteisena tai kaikkien yhdistelmänä. Puusta tehdyt välipohjat määritellään kevyiksi levymäisiksi rakenteiksi, vaikka se olisikin massiivipuusta tehty. Puuvälipohja on nurinkurinen betoniin verrattuna, sillä sen askeläänitasot ovat suurilla taajuuksilla matalia ja pie-nillä korkeita, kun taas betonilla ne ovat toisinpäin. Betonin askeläänitasoja saadaan helposti ma-dallettua joustavalla lattiapäällysteellä, mutta puisen välipohjan kohdalla ei pääse yhtä helpolla. Tehokkain tapa on tehdä ns. jousirankakatto, jonka idea on akustisten jousirankojen varaan asen-netut kipsilevyt sekä massan lisäys valamalla ylemmän kerroksen lattiaan betoni-, kipsi- tai plaan-okeros joko kelluvasti tai kiinteästi. Opinnäytetyöni luonteen vuoksi nostan esiin välipohjan, jossa on käytetty CLT-rakennetta sekä jousirankoja. Kuvassa 6 näkee hyvin kipsi- ja lastulevyn vaiku-tuksen rakenteen ääneneristävyyteen. Yleisesti ratkaisuihin on käytetty vastaavissa tapauksissa tärinäeristintä, joka estää äänen aiheuttamaan tärinää alapuolella olevassa massassa ja takaa hyvän ääneneristävyyden rakenteeseen. (Lahtela ym. 2021, 38.)



KUVA 6. Esimerkkejä CLT-välipohja rakenteista ja ääneneristävyyksistä (Lahtela ym. 2021, 50).

7 VALAISTUSOLOSUHTEET HIRSIRAKENNUKSISSA

Valaistukseen liittyvää tietoa sain haastattelemalla hirsirakennuksiin erikoistunutta sisustussuunnittelijaa Maru Hautalaa suunnittelutoimisto Nioniosta. Hautala on tehnyt uransa aikana lukuisia sisustus- ja valaistussuunnitelmia useaan hirsirakennukseen rakennuksen valmistajasta riippumatta.

Valaistus on yllättävän tärkeässä roolissa tilan tunnelman luomisessa ja vaikuttaa käytettävyyteen oleellisesti. Esimerkiksi ravintoloissa iso osa tunnelmasta luodaan juuri valaistuksella. Hirsirakennuksien valaistus ei oikeastaan poikkea juurikaan rakennuksien sisätilojen valaisusta yleensä. Sisätilojen valaistusta suunniteltaessa erittäin tärkeässä roolissa ovat tilan käyttäjän tarpeet ja mieltymykset. Valaistus kannattaa aina suunnitella kaksitasoisesti, joka tarkoittaa sitä, että tilan valaistus suunnitellaan sekä tunnelman luomisen, että työskentelyn kannalta sopivaksi, jolloin valoteho on aina sopiva tarpeen mukaan. Tärkeää on muistaa huomioida valon riittävyys myös pimeään vuodenaikaan ja valaistussuunnittelun lähtökohtana usein onkin, että tilaan ei tule luonnonvaloa. Uusissa hirsikohteissa on erittäin tärkeä suunnitella valaistusta kuitenkin etukäteen, sillä valaistus saattaa vaikuttaa hirsiiin porattaviin sähköreikiin, joilla mahdollistetaan johtojen saaminen piiloon seinän sisään. (Hautala 2023.)

Valaistusta suunniteltaessa on hyvä miettiä hirren ja valon väriä. Nykyisin varsinkin uudiskohteissa hirsi sävytetään pintakäsittelyaineilla usein vaalean sävyiseksi, jolloin lopputulos on esimerkiksi noin 3000 Kelvinin valossa melko luonnollinen, eikä valon sävy vääristä hirren sävyä. Hirsi itsessään on lämpimänsävyinen ja käsittelemättömänä myös tummuu ajansaatossa tummankeltaiseksi. Jos vanhaa tummunutta hirsiseinää valaistaan lämpimän sävyisellä esimerkiksi 2700 kelvinin valolla, on vaarana, että ympäristöstä tulee tunkkaisen ja pimeän tuntuinen. 4000 kelviniä on parempi jo tummuneelle hirrelle, jolloin valon värin lämpötila hieman tuo viileyttä lämpimän sävyiseen hirsiseinään. Toinen valaistuksen väriin vaikuttava seikka on itse valonlähteen Ra eli värintoisto indeksi. Mitä likempänä indeksin luku on sataa, sitä paremmin se toistaa ympäristön eri värejä luonnollisesti. (Hautala 2023.)

Valon miellyttävyyteen vaikuttaa myös valon tapa valaista. Vaihtoehtoina on valita lineaarinen -tai spottimainen -valaistus. Moderni, lineaarinen valo toimii hyvin esimerkiksi keittiön välitilassa tai ns.

kelluvassa katossa, jossa valonlähde, usein LED-valonauha, on piilotettu katon ja seinän rajapintaan joitakin senttimetrejä sisäkaton alapinnan yläpuolelle. Tällainen valo valaisee kauniisti hirsiseinää, mutta on myös erittäin armoton vaikkapa maalatun seinän pinnan epätasaisuuksille. Perinteisemmät spottivalot eli kohdevalaisimet asennetaan usein kattoon ja niiden hyöty on keilamaisen valon suunnattavuus sinne, missä valoa tarvitaan ja mihin sitä halutaan. Valaistukseen kannattaa valita himmennettäviä valoja, jolloin valon määrää voi säädellä tarpeen mukaan. (Hautala 2023.)

8 PSYGOLOGISET JA FYSIOLOGISET VAIKUTUKSET

Puun vaikutuksista ihmisen terveyteen ja hyvinvointiin on tehty viime vuosien aikana lukuisia tutkimuksia, jotka tukevat jo ennestään kansantietoon perustuvia tietoja ja tunteja. Puulla on todettu lukuisia positiivisia, psykologisia, ja fysiologisia ominaisuuksia, jotka ovat yksi syy puurakentamisen lisääntymiseen. Puupinnat sisätiloissa ovat terveyttä tukevia ja niillä on eheyttävä vaikutus. Puupinnat toimistossa antavat arvokkaan ja asiantuntevan mielikuvan. Puu parantaa myös mielialaa, sillä ihmiset kokevat sen miellyttävänä ja lämpimänä materiaalina etenkin sileillä pinnoilla verrattuna pinnoittamattomiin tai keinotekoisiiin pintoihin. (Stora Enso 2021a.)

Puun suosio etenkin terveydenhoitoon liittyvissä rakennuksissa kuten sairaaloissa, on lisääntynyt ympäri maailman. Kiinassa, Yhdysvalloissa, Kanadassa ja Norjassa yhteensä yhdeksän terveydenhoidon rakennusta on suunniteltu siten, että puuta on mahdollisimman paljon näkyvillä. Suomessakin Kainuun uudessa sairaalassa sekä suunnitteilla olevassa Laakson sairaalassa hyödynnetään esimerkiksi puun eheyttävää vaikutusta. (Puuinfo 2020d.)

8.1 Puu lisää luovuutta

Slovakiassa tehtiin vuonna 2019 tutkimus, jonka johtopäätökseksi saatiin, että puu vaikuttaa positiivisesti luovuuteen. Tutkimuksessa ihmisiä testattiin erilaisissa simuloituissa olohuoneympäristöissä, joissa käytettiin sekä kylmiä että lämpimiä värejä ja luonnonmateriaaleja, kuten puuta ja tekstiilejä. Näillä ympäristöillä oli positiivisin vaikutus luovuuden lisäksi myös ymmärtämiseen, ajattelu- ja ongelmanratkaisukykyyn. Stressiä aiheutti ympäristö, jossa värit olivat voimakkaita, materiaalit keinotekoisia ja tekstiilit synteettisiä. Samaisessa tutkimuksessa ihmiset saivat koskettaa kolmea erilaista seinää, mitkä olivat puuta, lastulevyä tai valkoista laminaattia. Testissä testattavien aivotoiminta lisääntyi puuseinän kohdalla. Vuonna 2010 tehtiin myös tutkimus, jossa luovaa suorituskkyä tutkittiin samantapaisella testillä. Testissä verrattiin keinotekoisten ja aitojen puu- ja kivi-pintojen vaikutusta luovuuteen, ja tulokset olivat yhtenevät vuoden 2019 tutkimuksen kanssa. (Stora Enso 2021b, 3.)

8.2 Puu parantaa keskittymiskykyä

Vuonna 2014 tehtiin tutkimus, jossa tutkittiin ihmisen kykyä hallita omia impulssejaan. Testissä koehenkilöt tarkastelivat 3 minuuttia ympäristöään, jonka jälkeen heille tehtiin erilaisia testejä. Luonnollista ympäristöä katselleilla henkilöillä oli nopeammat reaktioajat sekä pienempi sykeväli-vaihtelu kuin kaupunkiympäristöä katselleilla. Saman tyyppinen tutkimus tehtiin vuonna 2015, joissa ihmisiä testattiin neljässä erilaisessa tilassa. Tilat olivat kalustettu tismalleen samalla tavalla, mutta pinta ja valmistusmateriaalit poikkesivat. Yksi tiloista oli puuta (CLT), toinen savea, kolmas teräksestä ja neljäs teräksestä pinnoitettuna savitiililaatoilla. Jälleen puu- ja savitiloissa olleilla oli parempi huomiokyky ja paremmat reaktioajat. Testattavat arvioivat myös hyvinvointinsa paremmaksi luonnollisemmissa tiloissa. (Stora Enso 2021b, 4.)

8.3 Puu vähentää stressiä sekä laskee sykettä ja verenpainetta.

Puun stressiä vähentävästä vaikutuksesta on tehty lukuisia tutkimuksia ja niissä kaikissa on todettu, että luonnolliset ympäristöt ja erityisesti puu, parantavat hyvinvointia ja vähentävät stressiä (Stora Enso 2021b, 5).

Esimerkiksi kolumbialaisen filosofian tohtorin tekemässä stressiä tutkivassa tutkimuksessa 119 opiskelijaa laitettiin yhteensä neljään erilaiseen huoneeseen.

- Huone 1: Puuta ja kasveja.
- Huone 2: Puuta mutta ei kasveja.
- Huone 3: Ei puuta mutta kasveja.
- Huone 4: Ei kasveja eikä puuta.

Tutkimuksen ydin oli puun ja kasvien stressiä vähentävissä vaikutuksissa psyko- fysiologisesta näkökulmasta toimistoympäristöissä. Opiskelijoilta mitattiin erilaisia sympaattisia ja parasympaattisia hermoston toimintoja tutkimuksen aikana. Tutkimus koostui 10 minuutin lähtötason arvioinnista sekä enimmillään 20 minuuttia kestävästä stressaavasta tehtävästä, joiden jälkeen oli 10 minuutin palautumisjakso. Puulle altistuneiden henkilöiden stressitasot olivat tutkimuksen kaikissa vaiheissa alhaisemmat kuin muilla. Kasvien ei havaittu lisäävän sympaattista aktivaatiota. Myöskään puun ja kasvien vuorovaikutuksella ei todettu olevan näyttöä. (Fell 2010, 3.)

Useissa tutkimuksissa on myös todettu puun laskevan sykettä ja verenpainetta. Itävallassa tutkittiin vuoden ajan 52:ta lukiolaista koulussa, missä oli erilaisia luokkahuoneita. Yhdessä luokkahuoneessa oli kipsilevyseinät ja lattioissa oli linoleumi, loput luokkahuoneet olivat sisustukseltaan puisia. Puisten luokkahuoneiden oppilaille oli matalampi syke ja alhaisempi käsitys stressistä. Myös muut tutkimukset ovat osoittaneet vastaavia tuloksia puukouluissa. (Stora Enso 2021b, 5.)

8.4 Puinen ympäristö lisää tuottavuutta

Biofiliahypoteesiin perustuvassa tutkimuksessa on popularisoitu luonnossa vietetyn ajan myönteisiä vaikutuksia terveyteen ja hyvinvointiin. Hypoteesin mukaan ihmisillä on luontainen taipumus etsiä yhteyksiä luontoon ja muihin elämänmuotoihin. Biofilisessä suunnittelussa hyödynnetään luonnonvaloa, luontonäkymiä, kasveja ja vesielementtejä. Viimeisen 35 vuoden aikana altistumista näille elementeille ja niiden suhdetta hyvinvointiin on tutkittu monessa tutkimuksessa. Tulokset ovat huikeita. (Knox ym. 2018, 2.)

- Toimistoympäristössä tuottavuus lisääntyi 8 % ja hyvinvointi 13 %.
- Koulutusympäristöissä oppimisaste ja koetulokset olivat parempia kuten myös keskittyminen. Lisäksi ADHD:n vaikutukset olivat pienemmät ja läsnäolo korkeampaa.
- Terveystiloissa leikkauksen jälkeinen toipumisaika lyheni 8,5 % ja vähensi kipulääkkeiden tarvetta 22 %.
- Vähittäiskaupoissa kasvillisuus ja maisemointi nosti liiketilojen keskimääräisiä vuokria ja asiakkaat olivat valmiita maksamaan 8–12 % enemmän tuotteista ja palveluista.
- Asunnoissa ja asuinalueilla, joilla on luontoyhteys, on 7–8 % vähemmän rikollisuutta ja kiinteistöjen hinnat 4–5 % korkeampia.

Hypoteesia puun tuomasta luontoyhteydestä ja sen tuomista fyysisen ja henkisen hyvinvoinnin positiivisia vaikutuksista on laajennettu kattamaan rakennettua ympäristöä. Koska kaupungillistuminen on lisääntynyt ja sen myötä luontoyhteys vähentynyt, toteutti australialainen Pollinate laajamittaisen tutkimuksen altistumisesta puulle työpaikoilla suhteessa raportoituun hyvinvointiin. Kysely toteutettiin verkkokyselynä, johon vastasi 1000 sisätiloissa työskentelevää keskiverto australialaista. (Knox ym. 2018, 2.)

Tutkimuksessa havaittiin, että kaksi kolmasosaa sisätilojen työntekijöistä oli suurimman osan päivästään toimistoympäristössä, ja että vain noin puolet heistä ulkoili korkeintaan tunnin päivittäin.

Yli kolmannes osallistujista ei ollut tyytyväinen myöskään työympäristöönsä ja suurin osa kuvaili sitä negatiivisilla ilmaisuilla kuten "tylsä" tai "suljettu". Joka neljäs (28 %) myönsi pitäneensä suunnittelematonta vapaata, vaikka oli fyysisesti kunnossa, mutta ei halunnut mennä töihin. Tyytyväisillä työntekijöillä tällaisia poissaoloja ja sairauspoissaoloja oli vähemmän. Tyytyväisemmällä työntekijöillä oli puuta enemmän työympäristössään ja myös muut biofiliset suunnittelelementit korreloivat lisääntyneen työtyytyväisyyden kanssa. Työntekijät paljasta puuta sisältävistä työtiloista tunsivat olevansa enemmän yhteydessä luontoon ja heidän miellelyhtymänsä työpaikasta olivat positiivisempia. Puun olemassaolo korreloi myös korkeamman keskittymiskyvyn ja paremman mielialan sekä henkilökohtaisen tuottavuuden kanssa. (Knox ym. 2018, 3–10)

Koska monessa akateemisessa tutkimuksessa on todettu työtyytyväisyyden ja tuottavuuden välinen yhteys, on tuo aiemmin mainittu - joka neljännen työhaluttomuus - merkittävä. Työntekijää kohden sairauspäiviä on vuodessa vain 3,2, mikä ei sinänsä ole paljon, mutta jos ne johtuvat työhaluttomuudesta, on tilanne toinen ja vaikutus työpaikan tuottavuuteen merkittävä. Onnellinen työntekijä on tehokas. Tutkimuksessa 66 % työntekijöistä oli tyytyväisiä työelämäänsä ja 59 % sen fyysiseen ympäristöön. Tutkimuksen mukaan 48 % erittäin tyytymättömistä työntekijöistä oli pitänyt suunnittelematonta lomaa ja vain 22 % oli erittäin tyytyväisiä työpaikkaansa. (Knox ym. 2018, 6–10.)

Vaikka tutkimuksen mukaan kolme neljäsosaa työntekijöistä altistuikin "luonnollisen näköisille" puuesineille työtilassaan, oli esineiden määrässä ja puupintojen osuudessa hajontaa. Työpaikoilla, joissa luonnollisen näköisiä puupintoja oli alle 20 %, oltiin vähemmän tyytyväisiä työympäristöön, kun taas puun ja muiden biofilisten elementtien määrän lisääntyessä, lisääntyi tyytyväisyyskin. Tutkimuksen myötä biofilisen suunnittelun ja puun lisäämisen työpaikalla onkin osoitettu lisäävän tuottavuutta 15 %, parantavan luovuutta, henkilöstön pysyvyyttä ja vähentävän ratkaisevasti poissaoloja sekä alentavan työntekijöiden kokemaa stressiä. (Knox ym. 2018, 7–8.)

Tutkimuksen tulosten perusteella olisi siis erittäin kannattavaa tuottavuuden ja hyvinvoinnin kannalta tuoda työympäristöön lisää paljasta puuta ja muita biofilisiä elementtejä, joiden avulla luontoyhteys ja sen myötä myös tuottavuus paranisi. Australialaiset tutkimukseen osallistujat kokivat erittäin myönteisiä assosiaatioita puusta, verrattuna esimerkiksi teräkseen ja betoniin. Valtaosa heistä näki puun luonnollisena, lämpimänä ja rentouttavana. (Knox ym. 2018, 7.)

Yhdysvaltain johtava arkkitehtuurikriitikko, professori ja luennoitsija Sarah Goldhagenin mukaan puun, biofilisensuunnittelun ja työtyytyväisyyden välillä oleva suhde perustuu siihen, että rakennettu ympäristö muokkaa muistojamme, tunteitamme ja hyvinvointiamme. Ympäristön muotoilu ja materiaalit voivat näin ollen joko parantaa tai heikentää ihmisenä olemista ja sitä kautta liiketoimintaa. Hänen mielestään luonnon elementtien näkyminen ja niiden käyttö on välttämätöntä hyvälle suunnittelulle ja ihmisten hyvinvoinnille. Lisäksi Goldhagenin mielestä nämä seikat tulisi huomioida yhteiskuntapolitiikassa, kun suunnitellaan kaupunkimuotoa ja toteutetaan kaupunkisuunnittelua. (Knox ym. 2018, 9.)

9 HAASTATTELUT

Haastattelin opinnäytetyötäni varten muutamalla kysymyksellä naapuriani, tuttavaani ja ystävääni. Heillä kaikilla on Kontion korkeintaan pari vuotta vanhat hirsitalot, ja he kukin asuvat niissä perheineen muutamien lasten ja mahdollisesti lemmikin kanssa. Halusin tietää, miten talon käyttäjät kokevat hirsitalonsa, ja että ovatko tuntemukset linjassa opinnäytetyössäni esiintuomieni tutkimusten ja niiden tuloksien kanssa.

Haastattelussa kysyin rakennuksen perustiedot, sijainnin, hirsityypin, mahdolliset pintakäsittelyt, ilmanvaihdon sekä lämmitysmuodon tai -muodot sekä mahdolliset allergian, astman tai atopian. Lisäksi kysyin akustiikasta ja valaistuksesta sekä siitä, että kokeeko talon miellyttäväksi tai rauhoittavaksi.

9.1 Hirsikoti 1

Rakennus sijaitsee lähiöalueella ja lähin naapuri onkin noin kymmenen metrin päässä päärakennuksesta. Moottoritiekin menee aika lähellä, vain joitain satoja metrejä linnuntietä. Rakennus valmistui vuonna 2020 ja neliöitä on 140 m² yhdessä kerroksessa. Käytetty hirsi on Kontion smart log-lamellihirsi 205x275 ja se on öljytty valkoista väripastaa sisältävällä luonnon öljyllä. Väliseinissä on käytetty jopa kolminkertaista EK-kipsilevy-rakennetta, mutta muutoin taloa ei ole esimerkiksi akustisista syistä lisäeristetty. Talossa on koneellinen ilmanvaihto ja lämmitysmuotona maalämpö sekä varaava takka.

Perheessä on kaksi lasta ja koira. Astmaa tai allergiaa ei ole, mutta mahdollisesti atooppista ihotumaa talvisin. Puun kyky tasata kosteutta saattaa helpottaa talvella atooppisen oirehtimista, koska huoneilma ei välttämättä ole niin kuivaa.

Asukkaat kokevat kotinsa hiljaiseksi moottoritien läheisyydestä huolimatta, eikä siellä ole epämieluisaa kaikumista tai puheen kuulumista huoneesta toiseen. Valaistuksessa he ovat huomioineet hirsiseinät suosimalla epäsuoraa valaistusta. Valaistuksen asukkaat ovat suunnitelleet itse siihen erityisesti panostamalla sekä sisä- että ulkotiloissa älyratkaisut huomioiden.

Asukkaat kokevat kotinsa lämpötilan sopivaksi ja isot etelään avautuvat ikkunat ovat katoksen alla. Maaviileällä tarvittaessa viilennetään, jos rakennus lämpenee liiaksi. Huoneilman kosteudesta asukkaat sanovat seuraavaa

”Huoneilman kosteutta ja hiilidioksidia seuraa automaattiset anturit, jotka tasaavat sisäilman kosteutta. On huomattu, että huoneilma on talvisin liiankin kuiva (kosteusprosentti jopa vain 20 %). Mm. liesituuletin luovuttaa osan kosteudesta huoneilman sekaan. Olemme miettineet ilmankosteuttajan hankintaa tämän lisäksi.”

VOC-päästöistä aiheutuvia oireita asukkailla ei tietävästi ole ollut. Huonepölyäkään he eivät kokee olevan enempää kuin muunlaisissa taloissakaan, joissa ovat asuneet. Puun asukkaat kokevat miellyttäväksi ja rauhoittavaksi. Elävää ja luonnollista pintaa on mukava katsella ja he kokivat sen osaltaan voivan lievittää stressiä. Lopuksi annoin haastattelussa vapaan sanan mahdollisuuden.

Vapaa sana:

Olemme huomanneet takan vaikuttavan osaltaan huoneilman puhtauteen. Puita liittäessä pienhiukkasia pääsee sisäilman sekaan normaalia enemmän ison lasiluukun sekä liian pienen piippuun integroidun korvausilmakanavan takia. Talo on laadukkaan tiivis, joten tästä syystä parvekkeen ovi täytyy avata esim. takkaa kohennettaessa.

9.2 Hirsikoti 2

Toinen hirsikoti sijaitsee maaseudulla taajaman kupeessa. Lähin naapuri on yleisen tien toisella puolella noin 30 metrin päässä. Moottoritiele matkaa on noin 5 minuuttia. Rakennus on haastattelua tehdessä ihan uusi, vuonna 2023 keväällä valmistunut 131 m² ja 22,4 m² erillisen saunarakennuksen yksikerroksinen kokonaisuus. Hirsi on samaa painumatonta smart log lamellihirttä kuin hirsikodissa 1. Ulkopuolelta hirret on homesuojattu ja sisäpinnoilla on Teknoksen Helo Solana Wax-hirsivaha. Osassa seiniä on käytetty kipsilevyä. Ilmanvaihto on koneellinen ja lämmitysmuotona maalämpö ja maaviileä viilennykseen. Lisäeristeitä ei ole käytetty.

Lapsia tässä perheessä on kaksi, mutta lemmikkejä heillä ei ole. Myöskään allergiaa, astmaa tai atopiaa ei perheenjäsenillä ole. Asukas luonnehtii, että "Täällä on hyvä hengittää.". Liikenteenmelua ei kuulu rakennukseen sisälle, mutta tuoreessa kodissa kaikuu jonkin verran, koska sisustaminen ja kalustaminen ovat vielä kesken.

Tämän hirsikodin 2 valaistukseen on käytetty suunnittelijaa. Valaistuksessa on käytetty valaistus-suunnittelijaa ja tiloissa suosittu epäsuoraa valaistusta, joka asiakkaan sanoin korostaa hirren kaunistaa, elävää pintaa.

Lämpötila ja huoneilmankosteus tuntuvat asukkaan mukaan sopivilta. VOC-päästöistä ei ole tullut uudessakaan kodissa oireita, mutta rakentamisen aikaista pölyä laskeutuu edelleen jonkin verran. Hirsikodin asukkaat kokevat rauhoittavaksi ja miellyttäväksi paikaksi sekä stressiä lievittäväksi.

Vapaa sana:

Hirsitalo on ihana. Puun tuoksu on hurmaava ja rauhoittava.

9.3 Hirsikoti 3

Kolmas hirsikoti sijaitsee isolla tontilla kylätien varressa. Ympäriällä on puita, metsää, peltoa ja lähin naapuri noin 100 metrin päässä. Rakennus on valmistunut vuonna 2020 ja siinä on yhdessä kerroksessa 130 m². Tämäkin rakennus on tehty Kontion smart log-lamellihirrestä koossa 205x275. Hirsi on käsitelty sisäpintojen osalta lipeäpohjaisella puunvalkaisuaineella ja sen jälkeen valkealla öljyvahalla. Muutamassa väliseinässä on maalattua kipsilevyä, eikä lisäeristeitä ole käytetty hirsiseinille. Talossa on koneellinen ilmanvaihto ja lämmitysmuotona maalämpö ja viilennykseen ilmalämpöpumppu.

Perheessä on kaksi lasta ja koira. Perheenjäsenillä on todettu astmaa ja atopiaa. Astmaatikon mielestä hirsitalossa on helpompi hengittää, kun ilma on raikas eikä avaavaa lääkettä tarvitse kuin flunssaisena. Myös atopian kutinaoireet ovat vähentyneet.

Asukkaat kokevat talonsa todella hiljaiseksi eikä autojen ääniä kuulu sisälle. Sisätiloissa ei myöskään ole häiritsevää kaikua edes normaalia huonekorkeutta korkeammassa vinokattoisessa tilassa. Valaistuksen asukkaat ovat suunnitelleet itse käyttäen sekä suoraa että epäsuoraa valoa. Lämpötilan osalta asukkaat kokevat kotinsa pääasiassa sopivaksi, mutta kesällä tarvitsee viilennystä suurten ikkunoiden vuoksi. Talvella huoneilman kosteus on ajoittain liian kuivaa ja käytössä onkin ilmankostutin. Puun päästöt eivät ole aiheuttaneet heille oireita, ja pölyä he kokevat olevan vähemmän kuin toisen tyyppisessä asuinrakennuksessa. Kodin koetaan olevan rauhoittava ja stressiä lievittävä.

10 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli koostaa mahdollisuuksien mukaan tuoretta ja tutkittua tietoa puun ja etenkin hirren vaikutuksista terveyteen Kontiotuotteen argumentointi ja koulutustarkoituksia varten. Opinnäytetyöllä saadaan terveellisyyteen liittyvä tieto yksiin kansiin koostetusti ja myös lähteistettynä.

Opinnäytetyössäni perehdyn Suomen asumisterveysohjeeseen vuodelta 2003, ja sisäilmastoluokitukseen vuodelta 2018 Kontiotuotteen pyynnöstä. Asumisterveysohjeessa on asumisterveyteen liittyvät terveellisyyden ohjeistusten vähimmäisvaatimukset ja sisäilmastoluokitus on asumisterveyttä mukaileva varsinkin luokassa S3. Luokat S2 ja S1 ovat vaatimuksiltaan tiukempia kuin asumisterveysohje. Sisäilmastoluokitus on nykyistä uudisrakentamista enemmän määrittävä.

Sisäilmastoluokitus ja asumisterveysohjeistus ottavat kantaa varsinkin sisäilman laatuun ja sitä huonontaviin haitta-aineisiin ja niistä johtuviin sisäilman päästöihin sekä lisäksi lämpötilaan, kosteuteen, meluun ja valaistukseen. Lähtökohtaisesti uudisrakennukset suunnitellaan aina sisäilmastoluokkien S1 ja S2 määritelmät täyttäväksi ja S3: ea sekä asumisterveysohjetta käytetään arvioissa esimerkiksi vanhemman rakennuksen käytettävyyttä ja sen asumisterveyttä.

Lämpötilan ja kosteuden osalta asumiskäyttöön tarkoitettujen hirsirakennusten on täytettävä asumisterveysohjeeseen ja sisäilmastoluokitukseen liittyvät lämpötilan ja kosteuden vaatimustasot jo pelkästään uudisrakentamista koskevien energiatehokkuusmääräysten vuoksi. Jos rakennus ei täytä niitä, eivät myöskään täyty sisäilmastoluokkien eikä edes asumisterveysohjeen minimivaatimukset näiden osalta.

Puun kyky tasata suhteellisen kosteuden huippuja hygroskooppisuuteen liittyvän kosteuspuskurointikyvyn avulla, on mielenkiintoinen. Ilmiössä sivureaktiona on puun piilevä lämpö, joka liittyy hirren pinnassa tapahtuviin lämpötilamuutoksiin kosteuden sitoutuessa tai haihtuessa. Ilmiön avulla on mahdollista säästää energiaa lämmitys- ja viilennyskustannuksien osalta asuinrakennuksissa, jos se saadaan optimoitua tilan käytön mukaan. Kosteuspuskuroinnin ja piilevän lämmön ansiosta voisi mahdollisesti parantaa etenkin hirsirakennuksien keskivertoa huonompaa kokonaisenergian kulutusta, jolloin hirsi voisi olla energiatehokkuudeltaan ilman kompensaatiotakin riittävän hyvä,

koska näkökulma energian kulutukseen ja rakennuksen lämpötekniiseen toimimiseen olisi toisenlainen.

Koska puu kuuluu materiaalina päästoluokkaan M1, ei puulla pitäisi olla vaikutusta sisäilman laatuun ainakaan laatua laskevalla tavalla. Osa puun päästöt aiheuttavista uuteaineista on kuitenkin voimakkaan tuoksuisia, mikä voi herkille ihmisille aiheuttaa oireita etenkin uusissa rakennuksissa, joissa materiaalien VOC-päästöt ovat luonnostaan koholla. Yleisesti hirsirakennusten sisäilman laatu koetaan kuitenkin miellyttäväksi tai jopa paremmaksi kuin ranka- tai kivirakenteisessa talossa.

Puun uuteaineiden muut terveysvaikutukset ovat erittäin runsaita, sillä yli 40 tutkitun männyn uuteaineen terveysvaikutuksissa toistuu antibakteerisuus, antioksidanttisuus, sairauksien ehkäisy kuten sydän- ja verisuonitaudit, osteoporoosi tai syöpä, niveltulehdus ja tyypin II diabetes sekä HIV, herpes ja monet muut kevyemmät ja arkipäiväisemmätkin sairaudet.

Ääneen liittyvien määriteltujen raja-arvojen osalta hirsirakennukset täyttävät kyllä riittävän tason ääneneristyksessä, kun kyseessä on erillis- tai pientalo. Haasteet alkavat, kun pitää saada vaikkapa kerrostalossa riittävän hyvin ääntä eristävä asuntojen välinen seinä tai välipohja, jolloin massiivipuurakenne ei yksinään enää ole riittävä ja tukea kaivataan muilta materiaaleilta, kuten kipsilevyiltä tai betonilta. Hirsitalojen ja puuta runsaasti sisältävien tilojen akustiikkaa on kuitenkin yleisesti pidetty miellyttävänä, vaikka puun ääntä vaimentavat ominaisuudet ovat huonot.

Valaistuksen osalta hirsirakennusten sisätiloissa on isoin painoarvo tilojen käyttäjän mieltymyksillä, valonvärillä, valaisutavalla sekä värintoistoindeksillä. Vanhemmalle jo tummuneelle hirrelle kannattaa valita valkoinen tai viileään taittava valon sävy ja tuoreelle vielä vaalealle tai vaaleaksi käsitellylle hirrelle voi ottaa halutessaan lämpimämpää valon väriä.

Puun psykologisia ja fysiologisia vaikutuksia tutkivia tutkimuksia on tehty useita erilaisilla painoarvoilla ja näkökulmilla painotettuna. Tutkimusten tuloksissa puu on todettu stressiä lievittäväksi, eheyttäväksi, monin tavoin positiivisesti stimuloivaksi esimerkiksi luovuuden tai keskittymiskyvyn osalta. Lukuisat positiiviset vaikutukset tekevät puun käytöstä rakentamisessa kannattavaa varsinkin sisätiloissa ja erilaisissa laitoksissa, kuten sairaaloissa, joissa puun on jo todettukin lyhentävän esimerkiksi leikkauksesta toipumisen aikaa.

Valtavan mielenkiintoista oli myös haastatella hirsitaloissa asuvia tuttuja. Vaikka kaikkien haastateltujen tyytyväisyys hirsikotejaan kohtaan oli korkea, korostavat asukkaiden havainnot liian kuivasta sisäilmasta ja savuttavasta takasta hirsirakennusten ilmanvaihdon merkitystä. Energiatehokkuuden vaikutuksesta valtaosassa hirsirakennuksia on käytettävä lämmön talteen ottavaa ilmanvaihtolaitteistoa. Tämä laitteisto tulisi aina mitoittaa, suunnitella ja ohjata siten, että se huomioi ja hyödyntää hirren ainutlaatuiset lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet. Korkealaatuinen ja terveellinen sisäilmasto saavutetaan vain hirren ja ilmanvaihdon saumattomalla yhteistoiminnalla.

LÄHTEET

- C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2003. Lämmöneristys. Ohjeet 2003. Ympäristöministeriö.
- Fell David Robert, 2010: Wood In the Human Environment: Restorative Properties Of Wood In The Built Indoor Environment. Vancouver: Faculty of Graduate Studies, University of British Columbia. Hakupäivä 18.5.2023. <https://dx.doi.org/10.14288/1.0071305>
- Hautala, Maru 2023. Suunnitteluhuone Nionio Oy, Vaajakoski. Teams-haastattelu hirsitalojen sisätilojen valaisemisesta. 20.4.2023.
- Kansanterveyslaitos, ympäristöterveys 2002. Hushman, Tuula & Roto, Pekka & Seuri, Markku. Sisäilma ja terveys - tietoa rakentajille. Kuopion yliopiston painatuskeskus. ISBN (pdf) 951-740-330-5.
- Knox, Andrew & Parry-Husbands. Pollinate 2018. A report prepared for forest & Wood Products Australia. Workplaces: Wellnes + Wood = Productivity. Hakupäivä 1.5.2023. [https://assets.ctfas-sets.net/fqjwh0badmlx/1sm3iELG79J0j7xOP6kPW7/a1dc483345d724fcc2dc9de177f2e883/Make It Wood - Wellness Wood report.pdf](https://assets.ctfas-sets.net/fqjwh0badmlx/1sm3iELG79J0j7xOP6kPW7/a1dc483345d724fcc2dc9de177f2e883/Make%20It%20Wood%20-%20Wellness%20Wood%20report.pdf)
- Kraniotis, Dimitrios & Q. Nyruud, Anders & Englund, Finn & Nore, Kristine. Norwegian Institute of Wood Technology, Oslo, Norway & SP Technical Research Institute of Sweden, Stockholm 2015. Moisture buffering, energy potential and VOC emissions of wood exposed to indoor environments. (WEEE). Haettu 5.4.2023 https://www.researchgate.net/figure/Pine-planks-against-the-back-wall-left-and-partition-wall-placed-in-front-of-the-pine-fig1_283267222
- Kontiotuote Oy 2023. Hakupäivä 24.4.2023 <https://www.kontio.com/fi-FI/kontiotuote-oy/>
- Kärkkäinen, Matti 2003. Metsälehti. Puutieteen perusteet. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- Lahtela, Tero & Kylliäinen, Mikko & Lietzén, Jesse & Kovalainen, Ville & Talus, Lauri. Puuinfo 2021. Ääneneristys puutalossa. Punamusta Oy. Helsinki 2021.
- Luonnonvarakeskus 2021. Harju, Anni & Möttönen, Veikko & Heräjärvi, Henrik & Hyttinen, Marko & Lampela, Joonas & Pasanen, Pertti & Sivula, Arttu. Massiivipuun päästöt sisäilmaan: Kirjallisuuskatsaus. Luonnonvara- ja biotaloudentutkimus 17/2021. Helsinki.
- Luonnonvarakeskus 2017. Routa, Johanna & Brännström, Hanna & Anttila, Perttu & Mäkinen, Marko & Jänis, Janne & Asikainen, Antti. Wood extractives of Finnish pine, spruce and birch – availability and optimal sources of compounds – a literature review. Helsinki.

- Metla 2014. Metlan työraportteja 320. Muilu-Mäkelä, Riina & Haavisto, Maarit & Uusitalo, Jori. Puumateriaalien terveysvaikutukset sisäkäytössä - kirjallisuuskatsaus.
- Nore, Kristine & Kraniotis, Dimitrios & Brückner, Christoph 2015. Energy Procedia 78 (2015) 1907–1912. The principles of sauna physics.
- Puhdas puu – hanke 2019. Loppuraportti. 248/13.01.00/2019. Paajanen, Olli (Xamk) & Rohumaa, Anti (Xamk) & Takkunen, Juha (Ramboll) & Harju, Anni. (Luke) & Venäläinen, Martti (Luke) & Seppä, Julia (UEF) & Pasanen, Pertti (UEF) & Vainio-Kaila (VTT) 2019.
- Puuinfo 2021. Puutieto: Puun käytön sisäilma- ja terveysvaikutukset. Haettu 8.3.2023 <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-sisailmavaikutukset/puupintojen-terveysvaikutukset-sisailoissa-tutkimustuloksia/>
- Puuinfo 2020a. Puutieto: Puun ominaisuudet, lämpötekniisiä ominaisuuksia. Haettu 1.4.2023 <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/lampoteknisia-ominaisuuksia/>
- Puuinfo 2020b. Puutieto: Puun käytön sisäilma- ja terveysvaikutukset. Haettu 5.4.2023 <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-sisailmavaikutukset/puupintojen-vaikutukset-lammontasaajana-tutkimustuloksia/>
- Puuinfo 2020c. Puutieto. Puun käyttö rakentamisessa. Ääniteknikka. Haettu 12.4.2023. <https://puuinfo.fi/puutieto/kayttokohteet/aaniteknikka/>
- Puuinfo 2020d. Puutieto. Puun käytön sisäilma ja terveysvaikutukset. Fysiologiset ja psykologiset ominaisuudet. Hakupäivä 24.4.2023. <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-sisailmavaikutukset/fysiologiset-ja-psykologiset-ominaisuudet/>
- Rakennustietosäätiö RTS 2006. SIT 05-610038 ohjetiedosto. Huoneakustiikka.
- RT 07-11299 Sisäilmastoluokitus 2018.
- RT 75-11263 Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät 2017.
- RT 82-11168: Hirsitalon suunnitteluperusteet. 2014.
- SFS-EN 12464-1:2021 Valo ja valaistus, työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus.
- Sosiaali- ja terveysministeriö 2003. Asumisterveysohje Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Valtuutussäännös: Terveysturvallisuuslaki (763/94) 32 § Voimassa 1.5.2003–toistaiseksi.
- Storaenso 2021a. Tutkimustieto tunnistaa 10 tapaa, joilla puurakennukset edistävät hyvinvointia Hakupäivä 1.5.2023. <https://www.storaenso.com/fi-fi/news-room/news/2021/4/study-on-wellbeing-benefits-of-wooden-buildings>

- Storaenso 2021b. 10 reasons why wooden buildings are good for you and the scientific research to back it up. Henkilökohtaisesti ladattava materiaali. Saatavissa 1.5.2023 <https://www.storaenso.com/en/products/wood-products/wood-house-effect>
- Suomen säteilyturvakeskus STUK 2023. Radon uudisrakentamisessa. Hakupäivä 23.2.2023 <https://www.stuk.fi/aiheet/radon/radon-uudisrakentamisessa>
- THL - Terveyden ja hyvinvoinninlaitos 65/2012 raportti. Anttila, Mira & Pekkonen, Maria & Haverinen-Shaughnessy, Ulla 2012. Asumisterveys ja -tyytyväisyys hirsitalossa. Altti-tutkimukseen perustuva selvitys. Juvenes Print – Suomen Yliopistopaino. Tampere.
- THL – Terveyden ja hyvinvoinninlaitos 2022. Työpäperi 5/2022 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet asunnoissa. Helsinki 2022.
- Tiainen, Anna-Riikka & Pihlajaniemi, Janne & Lakkala, Matti 2017. Arkkitehdin hirsioapas. Arkkitehtuurin tiedekunta B 20, Oulun yliopisto. Moderni Hirsikaupunki -hanke. Oulu: Grano Oy.
- Työterveyslaitos Näytteenotto-ohjeet 2023. Aktiivinen VOC-näytteenotto ATD-keräimeen (tenax- tai tenax-carbograph-putkeen). Haettu 23.2.2023 <https://www.ttl.fi/palvelut/laboratoriopalvelut/naytteenotto-ohjeet/aktiivinen-voc-naytteenotto-atd-keraimen-tenax-tai-tenax-carbograph-putkeen>
- Valvira 2023. Ympäristöterveys, sisäilman hiukkaset ja kuidut. Hakupäivä 23.2.2023 https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys/hiukkaset_ja_kuidut
- Vuolle-Apiala, Risto 2012. Moreeni. Hirsitalo ennen ja nyt. Porvoo: Bookwell Oy.
- Ympäristöministeriö 2023. Suomen rakentamismääräyskokoelma Terveellisyys. Hakupäivä 23.2.2023 <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>