



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juho Rätti

Rakenteiden valinta terveelliseen taloon

Opinnäytetyö
Syksy 2022

Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Rakennusalan työnjohto

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Juho Rätti

Työn nimi: Rakenteiden valinta terveelliseen taloon

Ohjaaja: Olli Isopahkala

Vuosi:2022

Sivumäärä:43

Liitteiden lukumäärä:0

Tervettä taloa käsittelevässä opinnäytetyössä keskitytään valitsemaan rakenteet taloon, jotta pystytään varmistumaan terveestä sisäilmasta ja turvallisesta asumisympäristöstä. Työn taustalla ovat yhteiskunnalliset ongelmat liittyen mm. koulujen, toimistorakennusten ja omakotitalojen sisäilma- ja homeongelmiin. Näihin ongelmiin vaikuttavia tekijöitä ovat olleet energiatehokkuusvaatimukset sekä uudet rakennetyypit, joiden toiminnasta ei ole ollut kokemusta.

Aiheeseen on tutustuttu alan kirjallisuuden pohjalta ja tärkeimpiä lähteitä ovat olleet perinnerakentamisen kirja sekä sisäilmastoon keskittyvät lähteet internetissä. Työssä onkin keskitytty vanhan talon toimintaperiaatteisiin suhteessa nykyaikaiseen rakennukseen. Muihin tiedonkeruumenetelmiin kuuluvat vanhojen talojen asukkaille tehdyt kyselyt sekä havainnot, joita ei ole sisällytetty tähän työhön.

Työn tuloksena voidaan päätellä, että turvalliseen asumisympäristöön vaikuttaa monta eri tekijää. Terveellisyyteen liittyviä ongelmia onkin monesti vaikea yhdistää tiettyyn asiaan, sillä siihen voi vaikuttaa joko fyysinen tai psykologinen tekijä. Tervettä taloa onkin monesti vaikea määrittää, koska jokainen kokee sisäilmaston eri tavalla. Tästä huolimatta ekologisilla materiaali- ja rakennevalinnoilla kuitenkin pystytään vaikuttamaan sisäilmaston laatuun positiivisessa mielessä. Jokaisessa rakennusprojektissa kuitenkin tulee valita rakennusmateriaalit ja toteutustavat erikseen siten, että minimoidaan rakennuksen toimivuudelle aiheutuvat riskit.

¹ Asiasanat: terveellisyys, sisäilmasto ja ekologisuus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Construction Site Management

Specialisation: Building Construction

Author: Juho Rätti

Title of thesis: Choosing structures to a healthy building

Supervisor: Olli Isopahkala

Year:2022

Number of pages:43

Number of appendices:0

The purpose of the thesis was to choose structures for a healthy building, to ensure healthy indoor air quality and a safe living environment. The background for the thesis was social problems involving mold and indoor air quality problems in schools, office buildings and detached houses. Energy saving and new kinds of structures have also affected these problems.

The subject was studied by reading literature. The most important sources were traditional construction books and website sources which discussed the subject. The thesis concentrated on how old buildings worked in contrast to new houses. Other sources were inquiries from residents living in old houses and observations regarding them, these were not however included in the thesis.

From results it could be concluded that there are many topics which can influence healthy living environment. It can also often be hard to direct air quality problems to a certain cause, because there are physical and psychological factors. Nevertheless, by choosing ecological materials and structures air quality can be improved. However, in every construction project choosing materials and working methods have to be made separately but so that risks for the house have been minimized.

¹ Keywords: healthy, ecological, indoor air

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ	3
Kuva- ja kuviotaulukko	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Työn tausta	7
1.2 Työn tavoite.....	8
2 TERVEELLISEN TALON KRITEERIT	9
2.1 Terveellinen talo	9
2.2 Kosteudenhallinta.....	9
2.3 Pölynhallinta	10
2.4 Laadunhallinta.....	10
3 TERVEYDELLE HAITALLISET AINEET.....	11
3.1 Radon.....	11
3.2 Formaldehydi.....	11
3.3 Ammoniakki.....	11
3.4 Haihtuvat organiset yhdisteet	11
3.5 PAH-yhdisteet	12
3.6 Otsoni.....	12
4 FYSIKAALISET OMINAISUUDET	13
4.1 Kosteustekniset ominaisuudet.....	13
4.2 Lämmön siirtyminen	13
4.3 Kosteusrasitukset.....	14
5 RAKENTEET	16
5.1 Alapohjarakenteet	16
5.2 Ulkoseinärakenteet.....	20
5.3 Yläpohjarakenteet	22

5.4	Ilmanvaihto	25
5.5	Fyysiset tekijät.....	28
5.6	Psykologiset tekijät.....	30
6	PINTA-MATERIAALIT	32
6.1	Muovipinnoitteet	32
6.2	Puu	32
6.3	Tiili, kivi ja keraamiset laatat.....	33
6.4	Kipsilevy	34
6.5	Tekstiilit ja kalusteet	35
7	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET	39

Kuva- ja kuviotaulukko

Kuvio 1. Rakennuksen kosteusrasitustekijät.....	14
Kuvio 2. Maanvarainen alapohja.....	16
Kuvio 3. Tuulettuva alapohja.....	18
Kuva 4. Pilarianturaperustukset	19
Kuvio 5. Kevytrakenteinen ulkoseinä 1.ulkoverhous/ koolaus 2. tuulensuojalevy 3. lämmöneriste/ runko 4. ilman-/höyrynsulku 5. koolaus 6. lämmöneriste 7. rakennuslevy 8. pintakäsittely	20
Kuvio 6. Lamellihirsiseinä	21
Kuvio 7. Vinosisäkatto.....	23
Kuvio 8. Kalteva harja-/ pulpettikatto tasaisella alakatolla.....	24
Kuva 9. Kylmä vintti	25
Kuvio 10. Huonosti suunniteltu ja painovoimainen ilmanvaihto.....	26
Kuvio 11. Periaatekuva koneellisesta poisto- sekä koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto.....	27
Kuvio 12. Suhteellisen kosteuden vaikutus epäpuhtauksien leviämiseen.....	28
Kuvio 13. Hirsiseinän kosteustekninen toiminta mallinnettu Dof-lämpöohjelmassa	29
Kuvio 14. Sisäpuolelta eristetyin seinän toiminta.....	30
Kuva 15. Kennoharkoista tehty ulkoseinärakenne	34

Käytetyt termit ja lyhenteet

Savupiippuvaikutus	Kevyen lämpimän ilman nouseminen ylöspäin aiheuttaa rakennuksen yläosiin ylipaineen, kun taas alaosassa on alipaine. Savupiippuvaikutus riippuu tilan sekä hormin korkeudesta ja lämpötilaeroista.
S1	Sisäilmaluokitus, joka on apuna rakennussuunnittelussa. Ilmanlaatu on hyvä, ja lämpöoloja pystytään säätämään. Haittoja ei ole havaittavissa myöskään ääniolosuhteissa tai valaistuksessa. Muita luokituksia ovat S2 ja S3, joissa vaatimustaso ei ole niin korkea.
P1	Puhtausluokitus, jolla pyritään luovuttamaan rakennus puhtaana tilaajalle, jotta vältetään erilaisilta terveyshaitoilta. P1-luokitus vaatii pölynhallintasuunnitelman, jonka tarkoitus on hillitä pölyn leviämistä rakennusvaiheessa.
PAH-yhdisteet	Polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä, jotka koostuvat kahdesta tai useammasta yhdistyneestä aromaattisesta renkaasta.
VOC-yhdisteet	Kaasumaiset haihtuvat orgaaniset yhdisteet, joita ovat aromaattiset hiilivedyt, halogenoidut yhdisteet, esterit, alkoholit sekä glykolit.
Vanha talo	Ennen 1960-lukua valmistunut rintamamiestalo-tyyppinen rakennus tai hirsirakennus, joka on alun perin toiminut painovoimaisen ilmanvaihdon avulla.
Suhteellinen kosteus	Tarkoittaa ilmassa olevan vesihöyryn pitoisuutta, jonka suuruuteen vaikuttaa ilman lämpötila suhteessa kosteuden määrään.
Absoluuttinen kosteus	Tiettyyn lämpötilaan mahtuu vakiomäärä kosteutta, ja lämpötilan laskiessa ilmaan mahtuvan potentiaalisen kosteuden määrä pienenee.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on valita terveelliseen taloon rakenteita, joiden pohjalta voidaan varmistua terveestä asumisympäristöstä. Tarkoituksena on vertailla eri rakenteita, ilmanvaihtoratkaisuja sekä niiden ominaisuuksia. Sen lisäksi on tarkoitus tuoda esille sisäilmasto-ongelmien riskitekijöitä, joita voidaan ehkäistä kosteudenhallinnalla sekä pölynhallinnalla.

Ajatus työstä syntyi energiatehokkuustavoitteiden yhä kiristyessä 2020-luvulla energian hinnan nousun sekä hiilipäästöjen rajoittamisen johdosta. Energiatehokkuusmääräykset ovatkin asteittain menneinä vuosikymmeninä tiukentuneet 1970-luvulta lähtien. Yhteiskunnallisena ongelmana on noussutkin esiin home- ja sisäilmaongelmat julkisten rakennusten lisäksi omakotitaloissa, ja niiden syynä voidaan osaksi pitää energiansäästöön liittyviä toimenpiteitä. Muita syitä ovat uudet rakennetyypit, joiden toimivuudesta ei ole kokemusta pitkältä ajanjaksolta.

Asumisympäristöt ovatkin muuttuneet menneiden vuosikymmenien aikana perinteisistä hirsi- ja rintamamiestaloista koneellistettuihin omakotitaloihin. Nykyaikainen omakotitalo onkin riippuvainen koneellisesta ilmanvaihdosta tiiviitten rakenteiden takia. Vanhoissa taloissa ilman vaihtuminen järjestetään painovoimaisesti seinässä olevien pienien reikien, venttiilien, ikkunoiden sekä takan kautta. Uusien omakotitaloissa on hyvä säilyttää mahdollisuus tuuletusikkunoille, jotta ilma vaihtuisi myös sähkökatkosten aikana. Sisäilmaston terveellisyyteen vaikuttavia tekijöitä ovatkin sisäilman kaasumaiset yhdisteet, hiukkasmaiset epäpuhtaudet, radon, ilmankosteus, lämpötila sekä pintojen lämpötilaerot.

Nykyisiä suosittuja rakennetyyppejä omakotitalolle ovat maanvarainen alapohja, puurankainen ulkoseinä sekä loiva harjakatto. Tietyt rakennetyypit asettavatkin rakennuksen alttiiksi erilaisille riskeille, jotka liittyvät mm. alhaalta nousevaan kapillaariseen kosteuteen sekä vesikaton vuotamiseen. Näistä löytyy kokemusta ns. riskirakenteista, joita ovat valesokkeli, kaksoislaatta-alapohja, tasakatto sekä huonosti tuulettuvat yläpohja- ja

alapohjarakenteet. Jokainen rakennetyyppi kannattaakin valita tapauskohtaisesti. Samalla kuitenkin on huomioitava erilaiset riskit, jotka ympäristö asettaa itse rakennukselle.

Energiatehokkuusvaatimukset ovatkin kasvattaneet rakennetyyppien eristekerroksen pak-suutta sekä vaadittavaa tiiveyttä, jota koneellinen ilmanvaihto tarvitsee. Tämän takia ra-kenteiden kuivuminen on heikentynyt, sillä ulos pyrkivä lämpövirta on heikentynyt. Kos-teusteknistä toimivuutta pyritään parantamaan ulkoverhouksen takana olevalla tuuletusvä-lillä.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on valita rakenteet terveelliseen taloon. Tarkoituksena on kerätä eri läh-teistä huomioon otettavia asioita, jotka vaikuttavat terveellisen omakotitalon suunnitteluun olemassa olevien säädöksien pohjalta. Terveen talon tavoitteeseen kuuluvat myös talon pitkäikäisyys, kestävyys sekä hyvä sisäilma. Opinnäytetyössä selvitetään miten ne vaikut-tavat terveellisyteen ja kuinka ne tulisi huomioida rakennusprojektin eri vaiheissa. Opin-näytetyö on toteutettu alan kirjallisuuden pohjalta.

2 TERVEELLISEN TALON KRITEERIT

2.1 Terveellinen talo

Terve talo tarkoittaa käsitteenä terveellistä ja turvallista asuinympäristöä. Terveessä talossa on terveellinen ja viihtyisä sisäilmasto sekä toimivat ja kestävät rakenteet (Vtt expert services oy, i.a.). Rakennuksen tulee soveltua suunniteltuun käyttöön ja sen ylläpitoon on annettava opastusta. Terveellisen talon saavuttamiseksi on rakennusprojektin hankesuunnitteluvaiheessa jo asettava tavoitteet. Hankkeen osapuolet sitoutuvat noudattamaan kyseisiä kriteerejä. Prosessissa ennaltaehkäistään sisäympäristön laatua heikentävät tekijät suunnittelusta lähtien.

Terveen talon kriteerit eivät ota kantaa rakenteiden yleisiin laatuvaatimuksiin vaan täydentävät niitä sekä tuovat työkaluja eri rakennusvaiheitten läpi viemiseen (sisäilmayhdistys, i.a.-a). Kriteereissä käsitellään osapuolien tehtäviä, rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta, ilmanvaihtoa, lämmitystä sekä valaistusta. Näiden pohjalta rakennuttaja voi valita rakennesuunnitteluratkaisut sekä sisäilmaston tavoitetason, joiden pohjalta tiedetään, miten työvaiheitten toteutus tulisi suunnitella.

2.2 Kosteudenhallinta

Kosteudenhallinta on korostunut terveen talon valmistuksessa, jotta saadaan minimoitua rakennusaikaiset kosteusvahingot sekä mahdolliset homevauriot. Rakennushankkeen alussa rakennuttajan tulee huolehtia, jotta hanke suunnitellaan, johdetaan sekä rakennetaan kosteusturvallisesti (Kosteudenhallinta, i.a.-a). Resurssien sekä asiantuntijoiden pätevyyksien tulee myös vastata hankkeen laajuutta. Rakennuttaja laatii lisäksi kosteudenhallintaselvityksen, jonka pohjalta pääurakoitsija tekee kosteudenhallintasuunnitelman. Kosteudenhallintasuunnitelmassa arvioidaan kriittisten rakenteiden sekä kosteudelle alttiiden materiaalien aiheuttamat riskit, joiden pohjalta suunnitellaan toimenpiteet riskien minimoimiseksi. Osana kosteudenhallintasuunnitelmaa laaditaan myös olosuhteidenhallintaan liittyen osuus, jotta pystytään välttymään ylimääräiseltä rakenteiden kastumiselta sekä saadaan luotua rakenteiden kuivumiselle otolliset olosuhteet. Optimaalinen olosuhde kuivumiselle olisi 20 astetta ja suhteellinen kosteus korkeintaan RH 50%.

2.3 Pölynhallinta

Pölynhallinnan tarkoituksena on pitää tilat puhtaana rakennushankkeen aikana ja rakennuksen luovutusvaiheessa (Consair, i.a.). Pölynhallinnalla pyritäänkin vähentämään sekä rakennustyöntekijöille että käyttäjille rakennuspölyn aiheuttamia terveyshaittoja. Rakennuttaja asettaa hankkeelle sisäilmatavoitteen, jotka voi olla S1, S2 tai S3. Sisäilmaluokituksen ollessa S1 tai S2 on hanke toteutettava P1-puhtausluokan vaatimuksia noudattaen. Pääurakoitsija laatii tämän pohjalta hankekohtaisen P1-pölynhallintasuunnitelman. Pölynhallintasuunnitelmassa mainitaan pölyntorjuntaan liittyvät keinot, joita ovat muun muassa osastointi sekä alipaineistaminen. Muita tähän liittyviä asioita ovat materiaalien suojaus, rakennussiivous sekä loppusiivous.

2.4 Laadunhallinta

Laadunhallinnalla ohjataan tuotantoa puuttumalla rakennusvirheisiin sekä muihin ongelma-kohtiin. Laadunhallinnan suunnittelussa asetetaan rakennukselle laatuvaatimukset ja mitaustavat, joilla varmistetaan rakennustyön laatu. Kyseisiä mittauksia voivat olla tiiveysmittaukset tai piiloon jääneiden työvaiheiden dokumentointi. Laadunhallintaan kuuluu myös tilaajan toiveiden lisäksi aikataulussa sekä rahallisissa tavoitteissa pysyminen.

3 TERVEYDELLE HAITALLISET AINEET

3.1 Radon

Radon on hajuton ja näkymätön radioaktiivinen kaasu, jonka mittaaminen on ainoa tapa selvittää radonpitoisuus (Stuk, i.a.). Radonin pitoisuus mitataan yleensä mittauspurkin avulla. Radonia voi esiintyä sisäilmassa ja sen tärkein lähde on maaperä. Radonin pitoisuutta voidaan pienentää radonimurilla tai tiivistämällä alapohjan ja perustusten liittymäkohdan rakoja sisältä päin, jottei maaperästä haihtuva kaasu pääse huoneilmaan. Radonille altistuminen lisää keuhkosityövän syntymahdollisuutta (Sisäilmayhdistys, i.a.-e).

3.2 Formaldehydi

Formaldehydi esiintyy kaasuna, jonka haju on pistävän tukahduttava (Työterveyslaitos, i.a.). Formaldehydejä käytetään teollisuudessa mm. liimoissa, lakoissa, tekstiilien ja nahan käsittelytuotteissa, väreissä sekä pinnoitetuotteissa. Suomessa formaldehydejä käytetään liimahartsien, kuten fenoli-, urea- sekä melamiinihartsin valmistukseen. Liimahartseja hyödynnetään vaneri-, kuitulevy- sekä lastulevyteollisuudessa. Lievä altistuminen voi aiheuttaa allergisen ihoreaktion ja ärsyttää hengitysteitä. Kyseinen aine on luokiteltukin 2004 vuonna syöpää aiheuttavaksi aineeksi.

3.3 Ammoniakki

Ammoniakki on huoneenlämmössä väritön kaasu, jolla on pistävä haju (Sisäilmayhdistys, i.a.-e). Sisäilmassa ammoniakin lähteitä ovat orgaanista materiaaleista koostuvien tasoitteiden hajoaminen kosteuden vaikutuksesta. Muita lähteitä ovat ihminen itse, ihmisen eritteet, uloshengitysilma, tupakointi sekä ammoniakkia sisältävät puhdistusaineet. Ammoniakin terveyshaittoihin kuuluu silmien ja limakalvojen ärsytys.

3.4 Haihtuvat organiset yhdisteet

Haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin eli VOC-yhdisteisiin kuuluvat mm. aromaattiset hiilivedyt, alkaanit sekä alkyylibentseenit (Baumedi, i.a.). Kyseisten yhdisteiden lähteitä ovat

sisustus- ja rakennusmateriaalit, joiden pitoisuutta lisäävät ulkoa tulevat liikenteen päästöt ja sisällä käytetyt kemikaalit. Esimerkkejä päästöjen lähteistä ovat muovimatot, pesuaineet, kosmetiikka, bensiini sekä tupakansavu. VOC-yhdisteiden aiheuttamia oireita ovat silmien limakalvojen ärsytys, epämiellyttävät hajut ja päänsärky.

3.5 PAH-yhdisteet

PAH-yhdisteitä syntyy mm. polttoaineiden ja puun epätaloudellisesta palamisesta (Sisäilmäyhdistys, i.a.-e). PAH-yhdisteet hajoavat auringonvalon vaikutuksesta, mutta saattavat reagoida muiden ilmansaasteiden kanssa. Useat PAH-yhdisteet esiintyvätkin ilmassa pölyihin ja muihin ilmahiuksiin kiinnittyneinä heikon haihtumisominaisuuksien takia (Työsuojelu, 2019). Sisäilman lähteitä ovat saastuneet maat, kivihiilipiki sekä kreosootti. Kyseiset yhdisteet ovat luokiteltu karsinogeeneiksi eli syöpää aiheuttaviksi aineiksi.

3.6 Otsoni

Otsoni on kolmen happiatomin molekyyli, joka on voimakas hapetin ja jonka pienetkin pitoisuudet voivat olla haitallisia (sisäilmäyhdistys, i.a.-e). Sisätiloissa otsonia voi syntyä kopiokoneista, lasertulostimista sekä ilman ionisaattorien toiminnasta. Otsoni ärsyttää silmiä ja hengitysteiden limakalvoja. Sen lisäksi kyseinen kaasu on epämiellyttävän hajuinen. Ulkoilmassa pitoisuudet ovat yleensä reilusti suuremmat verraten tavalliseen asuntoon.

4 FYSIKAALISET OMINAISUUDET

4.1 Kosteustekniset ominaisuudet

Rakennusmateriaalien kosteusteknisiin ominaisuuksiin vaikuttaa se, sitooko vai hylkiikö materiaali vettä (Kaila, 1997, s. 91). Materiaalia, joka pyrkii sitomaan vettä, kutsutaan hydrofiiliseksi ja taas materiaali, joka hylkii vettä on hydrofobinen. Hydrofiilisiä materiaaleja ovat mm. kivi, tiili, lasi, laasti, betoni ja puu. Arkikielessä puhutaan materiaalin hengittävydestä eli siitä, sitooko ja luovuttaako se kosteutta. Hydrofobisia materiaaleja taas ovat rasvat, öljyt, tervat sekä vahat. Huokosia materiaaleja taas ovat puu, tiili, rappaus sekä betoni, joissa esiintyykin myös kapillaarista veden nousua. Lasi, metallit ja muovit ovat taas niin tiiviitä, että vesi ei pääse tunkeutumaan niitten sisälle. Hydrofiilisuuden ja huokoisuuden takia maassa oleva kosteus pyrkii nousemaan kyseisiä materiaaleja pitkin ylöspäin. Vesi pyrkiiikin tekemään vetysiteitä näitten kanssa, ja se nousee ylöspäin kunnes alhaalla oleva kosteus on päässyt kokonaan haihtumaan.

Rakenteissa kosteus liikkuu diffuusion sekä konvektion avulla (Siikanen, 1987, s. 108). Diffuusiossa kaasuseokset pyrkivät tasaantumaan eri pitoisuuksien välillä. Kosteus tasaantuu suuremmasta osapaineesta pienempään. Kyseinen ilmiö tapahtuu yleisimmin lämpimästä sisäilmasta ulospäin. Vesihöyry liikkuu myös ilman mukana, jota kutsutaan konvektioksi. Ilman mukana kosteutta pääsee liikkumaan monta kertaa enemmän verrattuna diffuusiioon. Kosteus pääseekin pienistä raoista varsinkin kylmänä vuoden aikana liikkumaan, ja se voi tuottaa ongelmia, ellei seinärakenteella ole kosteuskapasiteettia sen vastaan ottamiseen.

4.2 Lämmön siirtyminen

Lämpö siirtyy **johtuen** väliaineessa, joka ei itsessään liiku mutta jossa rakenneosat välittävät lämpöenergiaa. Lämmönjohteet, kuten metallit, johtavat hyvin lämpöä. Lämpöä taas eristävät hyvin kaasut. Lämmöneristeiden eristävyys ei perustukaan itse aineeseen vaan pysähtyneeseen ilmaan. Lämmönjohtavuutta mitataan Lambda-arvon avulla, jonka yksikkö on $W/K \cdot m$. Mitä pienempi lukema on, sitä huonommin aine johtaa lämpöä. Rakenteiden U-

arvo lasketaan Lamda-arvon pohjalta pinta-alayksikköä kohden, ja yksikkönä käytetään $W/K \cdot m^2$.

Lämpösäteily pääsee liikkumaan ilman väliainetta sähkömagneettisena säteilynä (Peda, i.a.). Lämpösäteilyä voidaan vähentää heijastavilla pinnoilla, kuten foliopaperilla, joka ei päästä säteilyä läpi. Tummat pinnat taas vastaanottavat ja lähettävät säteilyä enemmän kuin vaaleat pinnoitteet.

Lämpö siirtyy myös **konvektion** avulla, joka tarkoittaa lämpöenergian liikkumista väliaineen, kuten veden ja kaasun mukana (Peda, i.a.). Tästä esimerkkinä ovat ilmavirrat sekä merivirrat, jotka kuljettavat energiaa mukanaan. U-arvolaskelmissa ei oteta huomioon eristävyttä konvektion suhteen.

4.3 Kosteusrasitukset



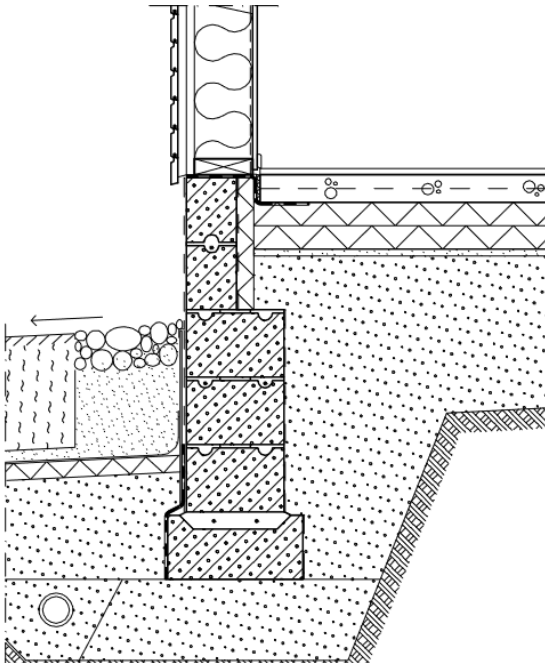
Kuvio 1. Rakennuksen kosteusrasitustekijät (sisäilmayhdistys i.a.-d).

Kuviossa 1 esitetään rakennuksen kosteusrasitustekijät, joihin kuuluu ulkoa tuleva sade, ilmankosteus, kapillaarisesti nouseva kosteus maaperästä sekä pintavedet (Sisäilmayhdistys, i.a.-d). Tuulen vaikutuksesta sade voi rasittaa sekä vaaka- että pystypintoja. Rakennusaikainen kosteus on myös saattanut jäädä rakenteisiin puutteellisen kosteudenhallinnan takia. Kosteudenhallinnan toimenpiteitä voivat olla sääsuojan hankkiminen, rakennusmateriaalien suojaus sääoloilta, olosuhteiden hallinta sekä veden imuroiminen. Vesivahinkojen aiheuttajia ovat yleensä vesi-, viemäri- sekä lämmitysputkien vuodot, joita on

yleensä vaikea havaita ajoissa. Sisällä peseytyminen on myös suuri rasitus lattiapinnoille. Suihkussa käytetäänkin päivittäin satoja litroja vettä, joka menee suurimmaksi osaksi lattioita pitkin viemäriin. Märkätilojen lattioissa tulisi olla lattialämmitys, joka avustaa pintojen kuivumista. Puutteellinen vedeneristys onkin suuri riski ympärillä oleville rakenteille, ja se voi aiheuttaa homeitiöiden muodostumista. Lattioiden vesikuormitusta voidaan vähentää käyttämällä suihkukaappia tai ammetta.

5 RAKENTEET

5.1 Alapohjarakenteet

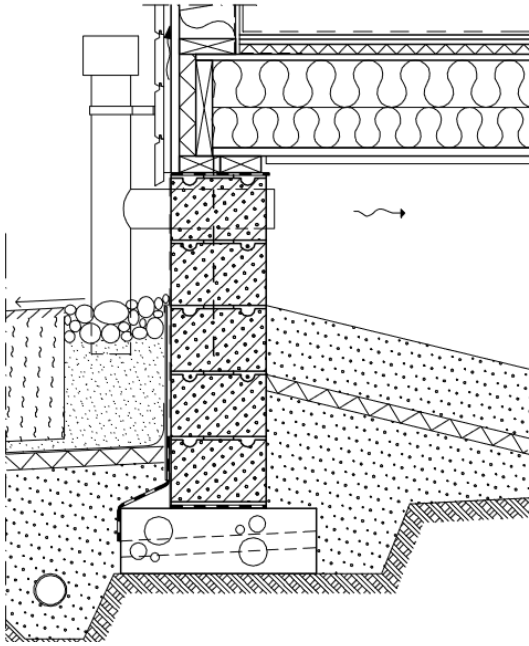


Kuvio 2. Maanvarainen alapohja (Rakennustieto, 2010,-a).

Maanvarainen alapohja on nykyään yleisin tapa toteuttaa alapohjarakenne, kun maaperän kantavuus sallii sen (Sisäilmäyhdistys, i.a.-c). Kuviossa 2 on vaihtoehto maanvaraisen lattiarakenteen toteuttamiselle, jossa perustuksissa on käytetty kevytsoraharkkoja. Maanvaraisen lattiarakenteen ratkaisuun kuuluu myös riskejä, joita ovat tiiviit vesihöyryä läpäisemättömät pintamateriaalit, kapillaarinen kosteus, maaperän lämpiäminen sekä lattioiden liian aikainen päällystäminen. Kapillaarinen kosteus voikin uusimpien tutkimusten mukaan nousta yli 20–30 cm salaojasorakerroksen yli. Kapillaarikatkona tulee käyttää märkäseulotua sepeliä tai singeliä, josta on poistettu hienoaines. Jos kosteutta kuitenkin pääsee nousemaan kapillaarisesti maasta, tulee lattian pinnoitteiden pystyä imemään kosteutta enemmän kuin betonilaatta. Tällaisia pinnoitteita ovat muun muassa keraamiset-, tiili-, puristelaatat, mosaiikkibetoni sekä paljas betonipinta. Kosteuden nousun estämiseksi on hyvä käyttää sepelin lisäksi lämmöneristettä, joka ei johda kapillaarista kosteutta. Kyseisiä lämmöneristeitä ovat suulakepuristettu polystyreeni tai polyuretaani, jotka sijoitetaan betonilaatan alle.

Muita riskejä ovat puurakenteet, jotka ulottuvat lattiarakenteen sisälle. Korjauskohteissa puuväliseinät kannattaakin korottaa betonivalun tai harkon avulla lattiarakenteesta (Sisäilmäyhdistys, i.a.-c). Puutteellisesti eristetyissä lattioissa voi esiintyä maaperän lämpiämistä, joka tarkoittaa sitä, että kosteus virtaa hitaasti diffuusion avulla sisäänpäin. Maassa onkin yleensä 100 % suhteellinen kosteus, ja lämpötilan noustessa kosteutta mahtuu enemmän, minkä takia kosteus alkaa hitaasti nousemaan ylöspäin. Tässä tapauksessa olisi huolehdittava, että kosteus pääsee kuivumaan lattian pintarakenteen läpi. Lämpöeristämättömissä tiloissa, kellarin lattioissa ja seinissä myös suositellaan vesihöyryn läpäisevää pinnoitetta.

Toimivassa alapohja ratkaisussa tulisi myös kiinnittää huomiota pinnan muotoihin, jotta kallistus on rakennuksen keskeltä poispäin, sekä salaojien ja hulevesijärjestelmän toimivuuteen. Pintavesien tulisi ohjata sadevedet pois rakennuksesta läheisiin tyhjennysojiin. Salaojissa tulisi olla riittävä kaato, joka saisi minimissään olla metrin matkalla 5–10 mm. Rakennuksen jokaiselle kulmalle pitäisi järjestää tarkastuskaivo, josta voidaan tarkistaa salaojajärjestelmän toimivuus. Salaojituksen toimivuus korostuu maanvaraisessa alapohja ratkaisussa. Hulevesi ja salaojat tyhjennetään perusvesikaivoon, jonka kautta vedet johdetaan hulevesiverkostoon. Jos perustuksista kuitenkin nousee vesi kapillaarisesti, kannattaa se ratkaista diffuusiovapaalla pinnoitteella. Muuten kosteus pääsee nousemaan huokosten kautta aina seinärakenteisiin saakka.



Kuvio 3. Tuulettuva alapohja (Rakennustieto, 2010,-a).

Tuulettuvaa alapohjaa käytetään yleisimmin loma-asunnoissa ja yleensä paikoissa, joissa maaperän kantavuus ei riitä kannattelemaan lattialle tulevaa kuormitusta ja jouduttaisiin käyttämään paalutusta. Kuviossa 3 on kevytsoraharkkoperusmuuri ja betonianturasta tehty perustukset. Kyseisessä ratkaisussa lattia on tehty puuvasoista ja tuulettuvan alapohjan maasta tulevaa kosteutta estetään nousemasta eristelevyjen avulla. Alapohja toteutetaan yleisimmin puusta, puukuitueristeestä sekä tuulensuojalevystä. Vaihtoehtona puulattialle on ontelolaatta-alapohja, joka on eristetty polystyreeni- tai polyuretaanieristelevyillä. Tuulettuvan alapohjan hyviin puoliin kuuluukin maaperästä nousevan kosteuden, radonin sekä maaperän lämpiämisen ehkäiseminen.

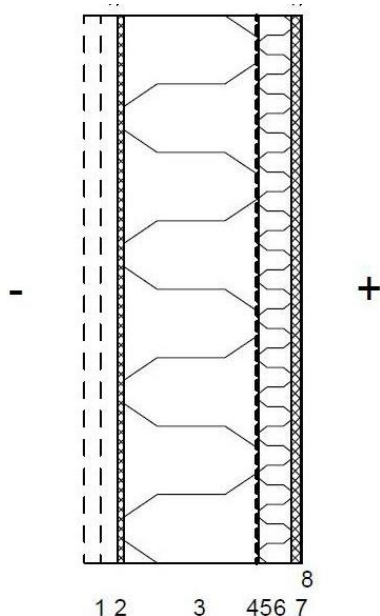


Kuva 4. Pilarianturaperustukset (Terve pieni hirsitalo, 2020,-a).

Tuulettuva alapohjaratkaisu säästää myös täyttökustannuksissa. Kyseistä toteutustapaa suunnitellessa on kiinnitettävä huomiota siihen, että ryömintätilan toimivuus voidaan tarkastaa ja että ratkaisu on riittävän tuulettuva (Leca, i.a.). Ryömintätilan tulisi olla vähintään 800 mm korkea ja tuuletusaukkojen 4 promillea tilan pinta-alasta (Rakennustieto, 2010,-a). Tilan tuulettuvuutta voidaan parantaa huippuimurin avulla, joka asennetaan katolle. Rossipohjan riskeihin kuuluu riittämätön ilmanvaihtuminen, joka voi aiheuttaa suhteellisen kosteuden nousemisen 100 % ja kosteuden tiivistymisen huurteena tai vetenä pinnoille (Raksystems, 2022). Kuvassa 4 on tehty rakennukselle pilarianturaperustukset, joilla pystytään varmistumaan alapohjan tuulettuvuudesta. Pilarianturaperustustavan huonoihin puoliin kuuluu epätasaiset painumat anturoiden välillä, ja ne voivat aiheuttaa visuaalista vahinkoa eri rakenteissa.

5.2 Ulkoseinärakenteet

Ulkoseinärakenteita valitessa on otettava huomioon materiaalien kosteus sekä lämpötekni-
nen toimivuus. Monikerrosrakenteissa on mietittävä materiaalien yhteisvaikutus ja niiden
toimivuus.

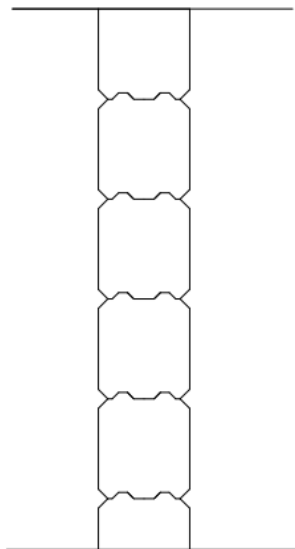


Kuvio 5. Kevytrakenteinen ulkoseinä 1.ulkoverhous/ koolaus 2. tuulensuojalevy 3. läm-
möneriste/ runko 4. ilman-/höyrynsulku 5. koolaus 6. lämmöneriste 7. rakennuslevy 8. pin-
takäsittely (Oivawood, i.a.).

Kuviossa 5 on monikerroksinen ulkoseinärakenne. Lämmöneristeeksi voidaan valita sellu-
villan lisäksi kivi- tai lasivilla. Selluvilla koostuu puukuiduista, jotka mineraalivillakuituihin
verrattuna sitovat kosteutta kuitujen sisälle, jolloin lämmöneristävyyskyky säilyy. Mineraali-
villakuitujen kastuessa vesihöyry pääsee haihtumaan. Villan kuidut eivät kuitenkaan sido
vettä sen sisälle, mikä aiheuttaa lämmöneristävyyskyvyn heikkenemisen. Mineraalivillan
kanssa käytetäänkin höyrynsulkumuovia, jolla estetään vesihöyryn kulkeutuminen eristeti-
laan. Selluvillan kanssa taas voidaan käyttää ilmansulkupaperia, joka tasaa vesihöyryn
sekä hiilidioksidin osapaineita (Siikanen, 1987, s. 188). Tämän takia selluvilla olisi kosteus-
ominaisuuksiltaan varmempi vaihtoehto. Selluvillalla on myös asennustavasta riippuen pie-
nempi ilmanläpäisevyys, mikä ehkäisee paremmin lämmön karkaamista konvektion takia.
Ilman tuulensuojalevyä tuuli taas pääsee eristekerroksen läpi ja lämpö pääsee karkaa-
maan (Kaila, 1997, s. 479).

Kevytrakenteisen seinän huonoina puolina voidaan pitää sitä, että se kuivuu hitaammin paksujen eristekerroksien takia, ja sitä, että se kylmenee nopeasti sähkökatkon sattuessa (Rakennuslehti, 2016). Toisaalta hyvänä puolena on se, että lämpiäminen on myös suhteellisen nopeaa. Näiden lisäksi Juha Vinha kirjoittaa, että vastaavanlaisissa taloissa yleistyvät yllälämpenemisongelmat. Tämän selittää se, että ikkunoista tullut lämpöenergia ei pääse poistumaan eristekerroksien läpi. Muuten monikerrosrakenteiset seinät kannattaa toteuttaa samantyyppisillä eli homogeenisillä materiaaleilla, joiden ominaisuudet ovat samantyyppiset.

Massiivirakenteisissa seinissä yksi materiaali täyttää rakenteen kaikki tehtävät. Massiivirakenteisiin kuuluvat mm. hirsi-, tiili- sekä betoniseinät (Saatsi, 2017). Kyseisten rakenteiden ongelma on niitten suuri lämmönjohtavuusarvo. Puulla ja kivimateriaaleilla lämmönjohtavuusarvo onkin suurempi verrattuna eristemateriaaleihin. Tämän takia seinän paksuuden tulisi olla paljon suurempi, jotta se vastaisi nykyisiä U-arvovaatimuksia. Energiamääräykset sallivat poikkeuksen hirsirakenteisille seinille, osittain johtuen sen kulttuuriperinteen säilyttämisen takia. Toisaalta siitä aiheutuva lämpöhäviö korvataan muiden rakenneosien U-arvoa pienentämällä.



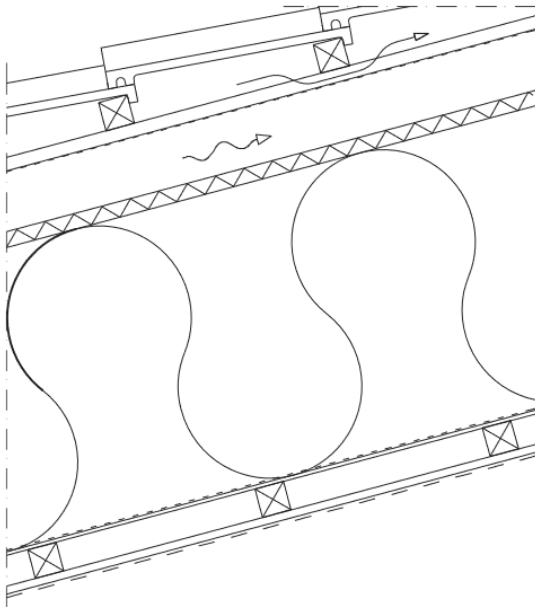
Kuvio 6. Lamelli-hirsiseinä (Rätti, 2022).

Kuviossa 6 on liimattu lamellihirsiseinän poikkileikkaus, josta voidaan tehdä hyvin ilmatii- viitä seinärakenteita. Lamelleissa käytetty liima säilyttää puun luonnollisen hengittävyden, eikä ole haitaksi sisäilmalle (Honka, i.a.). Massiivirakenteisen seinän hyvä puoli on sen lämpökapasiteetti, joka tasaa vuodenajan ja vuorokauden lämpötilavaihteluita. Tämä selittää sen, että hirsiseinä on energiatehokkuudeltaan parempi kuin mitä U-arvolaskelmat antavat olettaa (Kotowood, 2020). Kesällä hirsiseinä varastoi öisin kylmää, mikä auttaa pitämään sisälämpötilan siedettävänä. Hirsiseinä tasaa myös kosteuspitoisuuksien vaihtelua, parantaa sisäilmanlaatua ja sillä on hyvät kuivumismahdollisuudet lämpöhäviöiden takia. Tämän selittää se, että lämpöhäviöt seinärakenteessa voimistavat diffuusiota, eli kosteus pääsee paremmin liikkumaan rakenteen läpi. Kuivumismahdollisuuksien myötä hirsiseinä on myös pitkäikäinen. Perinteisesti hirsitaloissa on käytetty painovoimaista ilmanvaihtoa.

5.3 Yläpohjarakenteet

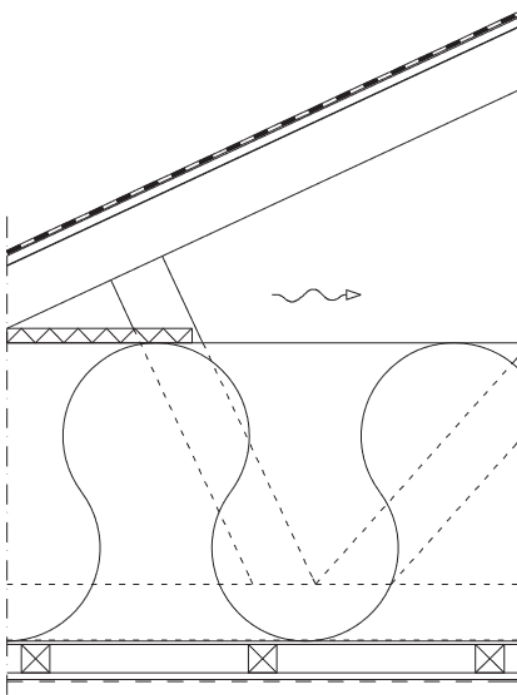
Talon kattorakenteen muodostaa vesikate ja yläpohja (Knauf, i.a.-b). Yläpohjarakenne taas koostuu kantavasta rakenteesta, höyryn- tai ilmansulusta, aluskatteesta, lämmöneristyksestä, tuuletuksesta sekä alakatosta. Ylimmän kerroksen eli vesikatteen tehtävä on suojata rakennuksen sisäosia ulkoilman säävaihteluilta ja antaa talolle ominaisen piirteen. Yläpohjan lämmöneristävyydellä on myös suuri merkitys, sillä kevyt lämminilma nousee ylöspäin ja pyrkii yläpohjan sekä liitoskohtien kautta ulos. Alakatto taas on sisäkatossa oleva erillinen alas laskutila, joissa voidaan kuljettaa lvi sekä sähkökytkentöjä. Kattorakenteen tulee myös pohjoisissa olosuhteissa kestää lumen aiheuttama kuorma, jonka määrään vaikuttavat katonkaltevuus, lumiesteet, katontyyppi sekä muut kinostumiselle alttiit kohdat. Mitä kaltevampi katto, sitä vähemmän katolle tulee laskennallisesti kuormitusta.

Kattotyypppejä ovatkin muun muassa, harja-, pulpetti-, mansardi-, auma- sekä tasakatto. Taloon tulisi myös suunnitella reilut räystäät, jotka suojaavat julkisivua kastumiselta.



Kuvio 7. Vinosisäkatto (Rakennustieto, 2010,-b).

Yläpohjarakennetta suunnitellessa kannattaa mahdollisuuksien mukaan valita muodoltaan yksinkertaisia ratkaisuja, jotka on helppo toteuttaa. Ylimääräisiä katon saumakohtia ja eri tasossa olevia katteita olisi hyvä välttää, koska sinne voi lumi kinostua ja se vaikeuttaa toteutusta. Harja- ja pulpettikatto olisivat siinä mielessä yksinkertaisia ratkaisuja, joissa käytetään kantavana rakenteena kattotuoleja. Tasakatolla taas lumi pääsisi kinostumaan, ja siinä voi myös tarvita kattokaivoja. Tasakatonle voikin käytännössä valita vain huovan katemateriaaliksi. Muina huonoina puolina voivat olla eristystilan puute reuna alueilla sekä huono tarkastettavuus. Kuviossa 7 on esitettykin vinosisäkatto, joka voidaan toteuttaa katokannatuspalkeilla, saksiristikolla tai kehäristikolla. Tässä tapauksessa yläpohjan toimivuutta ei voida siinä mielessä tarkkailla, mikä voi olla riski.



Kuvio 8. Kalteva harja-/ pulpettikatto tasaisella alakatolla (Rakennustieto, 2010,-b).

Kuviossa 8 on hyvin tuuletettu yläpohjarakenne, jonka toimivuutta, aluskatteen kuntoa sekä mahdollisia vuotoja on helpompi tarkistaa. Aluskatteen tarkoitus onkin tiivistää yläpohjasta haihtuva kosteus ja johtaa se räystäälle saakka sekä suojata yläpohjaa vuodoilta. Vuotojen yhteydessä ongelmia voivat myös aiheuttaa eristysmateriaalit, jotka eivät enää toimi kastuessaan kuten mineraalivilla. Yläpohjan toimivuuden kannalta tulee myös kiinnittää huomiota tuuletusaukkoihin sivu- ja päätyräystäillä. Nykypäivän määräyksien mukaan tuuletusvälin tulisi olla vähintään 100 mm (Raksystems, 2021). Huonosti tuuletetussa katoissa kosteus ei kuivu ja home pääsee kasvamaan. Kuvassa 9 on taas esitettyä kylmä vintti yläpohjaratkaisuna, jonka etuna on savupiippuvaikutuksen tehostettu paine-ero. Savupiippuvaikutus tehostaakin painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuutta. Kylmällä vintillä huomataan myös katemateriaalin vuotokohtat helpommin.



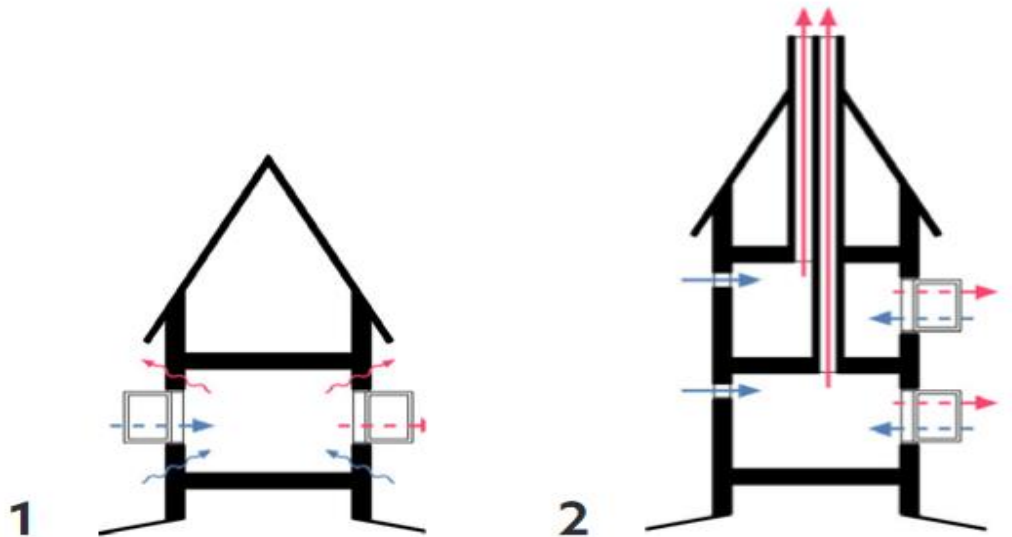
Kuva 9. Kylmä vintti (Terve pieni hirsitalo, 2020,-b).

5.4 Ilmanvaihto

Ihminen viettää suurimman osan ajastaan sisätiloissa ja hengittää päivässä 10–20 kuutiometrin verran ilmaa (Sisäilmayhdistys, i.a.-b). Sen takia sisäilman laadulla on suuri merkitys erityisesti allergiaa, astmaa, sekä muita keuhkosairauksia sairastaville ihmisille. Sisäilmaston huono laadun aiheuttamat terveysvaikutukset näkyvät sairaanhoitokustannuksien lisäksi työpoissaoloissa.

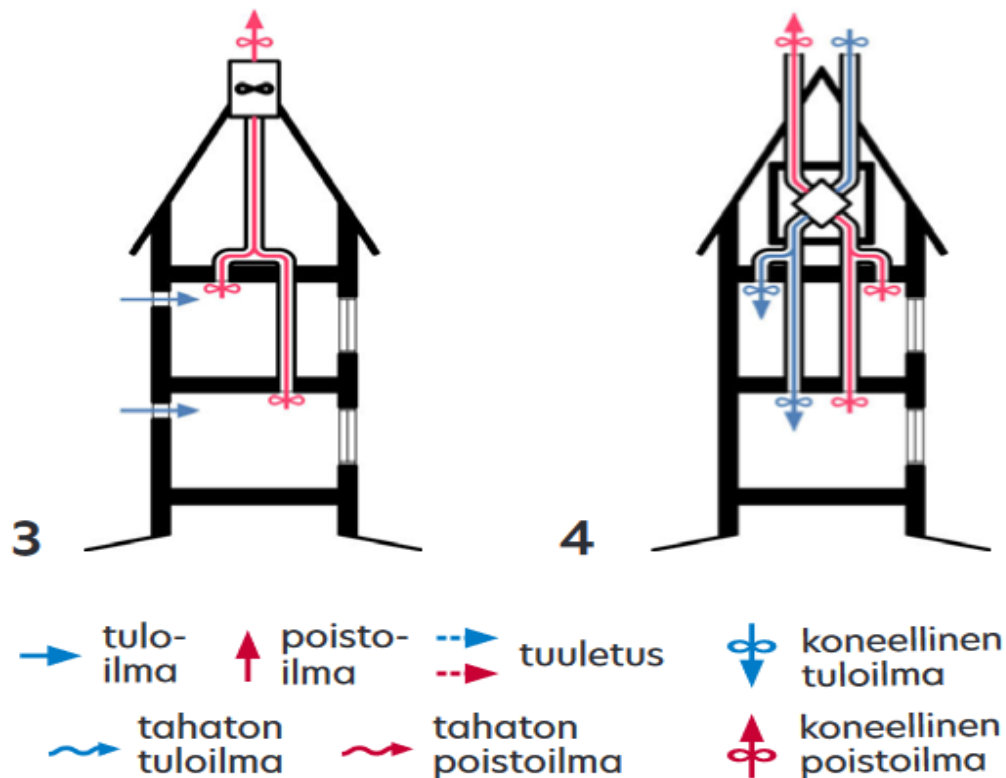
Ilmanvaihdon toteutustapoja ovat painovoimainen-, koneellisesti tehostettu poisto- sekä koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto varustettuna lämmöntalteenotolla. Kuviossa 10 vasemmalla puolella on huonosti suunniteltu ilmanvaihto, jossa ei ole ollenkaan hormoneja tai ilma-aukkoja. Ilman on luotettukin vaihtuvan rakenteiden läpi pienistä raoista. Kuvan oikealla puolella on painovoimainen ilmanvaihto, joka on ollut aina 1950-luvulle vallitseva järjestelmä omakotitalojen lisäksi myös koulu- ja sairaalarakennuksissa. Järjestelmän toiminta on perustunut tuuleen sekä lämpötilaeroihin. Talot onkin suunniteltu korkean hormin

ympärille, joka on savupiippuvaikutuksen avulla tehostanut ilman vaihtumista lämpimän ilman noustessa ylöspäin.



Kuvio 10. Huonosti suunniteltu ja painovoimainen ilmanvaihto (Museovirasto, 2021).

Kesällä lämpötilaerojen ollessa pienet ulko- ja sisätilojen välillä ilmanvaihtoa voidaan joutua tehostamaan tapauskohtaisesti ikkunatuuletuksen avulla. Taloissa, joissa on luovuttu puulla poltosta, ilmanvaihtoa voidaan tehostaa koneellisella poistolaitteistolla. Kuviossa 11 vasemmalla puolella on koneellisesti tehostettu järjestelmä. Tässä vaihtoehdossa on varmistettava se, että tuloilmaluukkuja on riittävästi joka tiloissa. Vaarana onkin, että huoneisiin syntyisi suurehko alipaine.

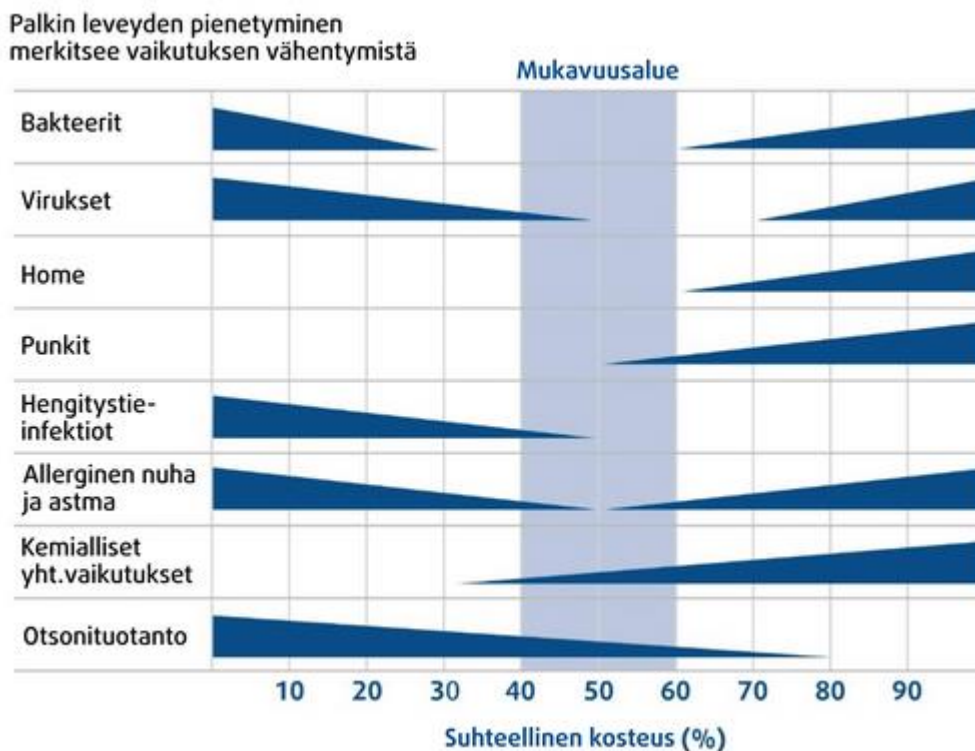


Kuvio 11. Periaatekuva koneellisesta poisto- sekä koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto (Museovirasto, 2021).

Nykyaikaisessa koneellisessa tulo- poistoilmanvaihdossa (kuvio 11) saadaan säädettyä molempia ilmamääriä sopivaan suhteeseen (Sisäilmacenter, i.a.). Yleisesti suositellaan, että ilmamäärät säädetään hieman alipaineiseksi kumminkin lähelle tasapainoa. Liiallisen alipaineen vaarana on se, että rakenteista voi päästä epäpuhtauksia hengitysilmaan. Ylipaineessa taas diffuusio voimistuu ja kosteata sisäilmaa pyrkii ulospäin. Tämä voi aiheuttaa ongelmia rakenteissa, joissa ei ole tarpeeksi kosteuskapasiteettia. Siinä tapauksessa pieni alipaine olisi parempi vaihtoehto. Ilmanvaihtoon kytketyllä lämmöntalteenotolla saadaan otettua talteen ulospuhallettavasta ilmasta lämpöenergiaa, jonka tehokkuutta ilmaista vuotuisella hyötysuhteella.

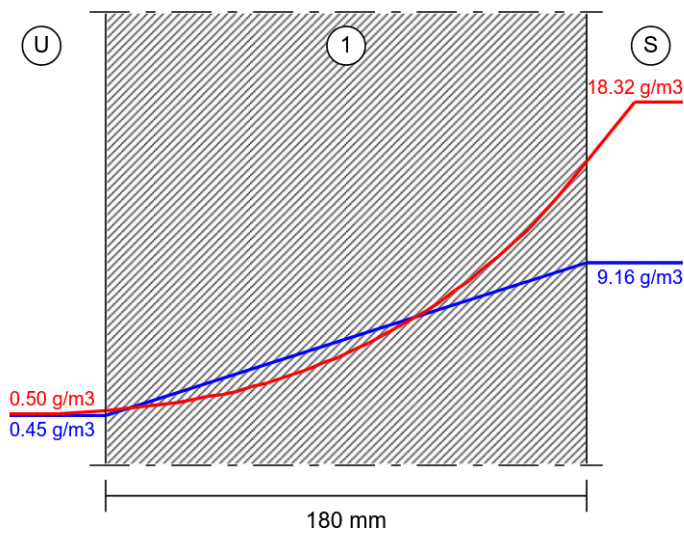
5.5 Fyysiset tekijät

Sisäilman terveellisyyteen vaikuttavat aiemmin mainitut sisäilmaston kaasumaiset yhdisteet ja muut hiukkasmaiset epäpuhtaudet (Hengityслиitto, i.a.). Näitten lisäksi terveellisyyteen vaikuttaa ilmassa oleva suhteellinen kosteus, jonka pitoisuus vaihtelee vuodenajasta riippuen. Talvella ilman kosteus voikin olla RH 20–40%. Liian kostea sisäilma eli yli RH 60% voikin aiheuttaa home- ja kosteusvaurioita, eikä se saisi pitkiä aikoja pysyä korkealla tasolla.



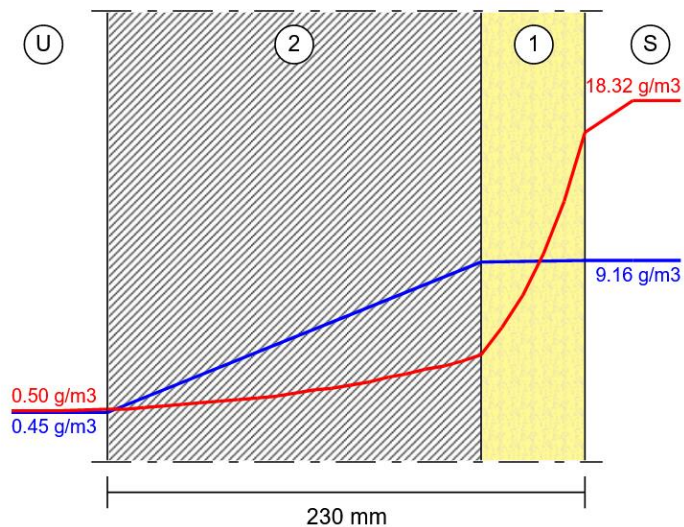
Kuvio 12. Suhteellisen kosteuden vaikutus epäpuhtauksien leviämiseen (Systemair, i.a.).

Kuviossa 12 tulee ilmi, että RH 40–60% olisi optimaalinen alue sisäilman terveellisyydelle. Siitä alaspäin mentäessä pölyt ja bakteerit vaikuttavat enemmän ilmanlaatuun. Muita sisäilman kosteuteen vaikuttavia asioita on koneellinen ilmanvaihto, märkätilat, sisäilman muut kosteuslähteet sekä ulkona vallitsevat olosuhteet (Airtechsolutions, i.a.). Koneistettu ilmanvaihto voikin talvella kuivattaa sitä liian matalaksi, mikä aiheuttaa limakalvojen kuivumista sekä staattisen sähköön lisääntymistä.



Kuvio 13. Hirsiseinän kosteustekninen toiminta mallinnettu Dof-lämpöohjelmassa (Rätti, 2022).

Rakenteiden toimivuutta on tässä kohdassa mallinnettu Dof-lämpöohjelman avulla. Esimerkissä 180 mm:n on hirsiseinärakenteesta kuvio 13 huomataan, että sinne kondensoituu jonkin verran kosteutta. Kuvaajan kuitenkin mukaillessa absoluuttisen kosteuden määrää pystytään päätellä, että puun sitoessa ylimääräisen kosteuden pysyy rakenne suhteellisen kuivana.



Kuvio 14. Sisäpuolelta eristetyin seinän toiminta (Rätti, 2022).

Toisessa tapauksessa hirsiseinän sisäpuoli on lämmöneristetty 50 mm vahvuisella eriste-kerroksella. Kuviossa 14 nähdäänkin, että sininen kuvaaja ylittää absoluuttisen kosteuden määrän reilusti. Tämä tarkoittaa sitä, että seinärakenteeseen tiivistyy reilusti kosteutta ja se ei ole kosteusteknisesti järkevä ratkaisu. Vastaavissa tapauksissa tulisi harkita höyryn-sulkumuovin asentamista sisäpuolelle estämään kosteuden pääsy seinän sisään. Jos rakenne on toimivuudeltaan rajatapaus eli kyseiset kuvaajat ylittävät reilusti toisensa, ulko-verhouksen taakse on järkevää jättää tuuletusväli.

5.6 Psykologiset tekijät

Sisäilmaongelmien ilmetessä pyritään yleensä yhdistämään ongelmat home- ja kosteus-vaurioihin, sillä niistä puhutaan usein julkisuudessa (Sisäilmayhdistys, i.a.-f). Muita sisäilmaan vaikuttavia tekijöitä ovat ulkoilmanlaatu, materiaalien päästöt, ilmastoinnin tehokkuus, ihmisten määrä, lämpöolot sekä ilmavirrat. Jossain tapauksissa taas ei ole löydetty selvää syytä sisäilmaongelmista kärsiville, ja tätä ilmiötä kutsutaankin sairas rakennus -oireyhtymäksi. Kyseinen sairaus määriteltiin jo 1982 WHO:n toimesta. Kyseisen sairauden oireet voivat olla epämääräisiä, mutta ne yhdistetään yleensä talossa oleskeluun. Kyseisiä ongelmia alkoi ilmenemään 1970-luvulla uusissa toimisto-, koulu- sekä hotellirakennuksissa. Ongelman syitä on yhdistetty muovimateriaaleihin, koneelliseen ilmanvaihtoon sekä

siihen liitettyyn pullomaiseen tiiveyteen. Koneellisen ilmanvaihdon huonoina puolina lääkäri Tari Haahtela mainitsee sisäilman kuivumisen, ilman ionitasapainon muuttumisen, melun, stressaavan infraäänien sekä luonnottoman ilman tasalaatuisuuden. Huoltamattomat koneet myös levittävät hometta ja sairauksia rakennuksiin (Kaila, 1997, s. 490).

Ionitasapainon muuttumisella tarkoitetaan sähköisesti varautuneita ioneita, joilla on yksi elektroni liikaa tai liian vähän. Ilmassa liikkuvat ionit säilyvät vain muutamia sekunteja, jotka menettävät varauksensa törmätessään tai tarttuessaan pölyhiukkaseen. Pölyhiukkasten menettäessä sähköisen varauksensa ja laskee painovoiman avulla maahan. Positiivisten ionien lähteitä ovat tietokoneet, puhelimet ja muut laitteet, joilla on elektromagneettisia ominaisuuksia. Näitten lisäksi ilmansaasteet ja sisätilojen staattista sähköä aiheuttavat pinnoitteet sitovat ioneita ja vähentää niiden määrää (Ionloop, 2017). Tällaisia materiaaleja ovat mm. muovimatot, -maalit sekä vinyylitapetit. Negatiivisten ionien, joilla on ylimääräinen elektroni, on todettu vaikuttavan ihmiseen myönteisesti, ja niiden, joilta puuttuu elektroni, haitallisesti. Herkät ihmiset voivat saada positiivisesti varautuneesta ilmasta migreeniä, hermostuneisuutta sekä unettomuutta. Saastuneissa kaupungeissa ilma on positiivisesti varautuneempaa verrattuna luontoon ja vesistöalueisiin (Kaila, 1997, s. 492). Kyseistä aihetta on myös tutkittu yliopistoissa, joissa on saatu selville, että negatiiviset ionit parantavat mielialaa ja lisäävät hapen määrää kehossa (Webmd, 2002.).

Sairas rakennus -oireyhtymästä kannattaa luopua, jos ongelmille löytyy selvä syy kosteus- ja homeongelmiin liittyen (Sisäilmayhdistys, i.a.-f). Toisaalta ilmanvaihdolla ja sen koneistamisella on yhteys ilman kuivumiseen, stressin aiheuttamiseen ja alipaine voi osaksi olla syyllinen ilmassa oleviin epäpuhtauksiin. Kaila mainitsee kirjassaan, että rakennusmateriaalien päästöihin liittyen olisi kiinnitettävä huomiota päästöjen vähentämiseen eikä niiden poistamiseen koneellisten laitteiden avulla.

6 PINTA-MATERIAALIT

6.1 Muovipinnoitteet

Muovipäälysteisiin kuuluvat muovimaalien lisäksi vinyylipaneelit, muovimatot, tapetit, epoksi, akryylilevyt ja muut pinnoitteet, joissa sideaineena on muovia (Airtechsolutions, i.a.). Kyseiset päälysteet läpäisevät huonosti vesihöyryä ja sen lisäksi aiheuttavat staattista sähköä. Staattisesta sähköstä puhuttaessa tarkoitetaan kahden materiaalin välistä sähköistä epätasapainoa. Materiaalit joko pyrkivät pääsemään eroon elektroneista tai vastaanottamaan niitä. Staattisesti varautuneiden pintojen kohdatessa staattinen sähkö pääsee purkautumaan. Muovimateriaalit eivät johda sähköä, minkä takia ne tapaavat sitoa elektroneja itseensä. Negatiivisesti varautunut pinta vetää positiivisesti varautuneita ioneita puoleensa, mikä muuttaa sisäilmaa entistä epämiellyttävämmäksi. Siinä mielessä ne eivät välttämättä olisi parhaimpia vaihtoehtoja pintamateriaaleiksi. Vesihöyrynvastus on jossain tapauksissa hyvä ominaisuus, jos ei haluta kosteuden pääsevän rakenteiden sisälle. Muovimatot sekä tapetit pystytään pyyhkimään kostealla, joten ne ovat helppohoitoisia pintoja.

Muovimaton riskejä ovat höyrytiiveys, aikainen päälystys, kapillaarinen kosteus, maton ja liima-aineiden päästöt sekä liiman reagoiminen kosteuden kanssa. Betonivälipohjassa ei tarvitse huolehtia nousevasta kosteudesta, mutta samat ongelmat ovat siinäkin. Nykyään suositellaan matala-alkalista tasoitetta, jottei liima reagoisi betonialustan alkalisuuteen. Muita riskejä muovimatossa voi olla saumojen tiiviys, jottei kosteus pääse saumojen kautta leviämään.

6.2 Puu

Puupintoja ovat kaikki lattioissa, seinissä ja alakatoissa käytetyt laudat, lankut sekä paneelit (VTT, 2001). Kyseisiin materiaaleihin lasketaan myös huokoiset levyt ja kosteutta läpäisevät tapetit. Diffuusiovapaat pintamateriaalit tasaavat huoneen suhteellista kosteutta luonnollisesti diffuusion avulla. Diffuusion estävät pinnat taas pyrkivät estämään kyseisen ilmiön tapahtumisen. Tässä tapauksessa ilmanvaihto joutuu tasaamaan huoneiden kosteus- ja hiilidioksidipitoisuuksia. Nykyaikaisissa ilmanvaihtokoneissa pystytään

tarkkailemaan kyseisten kaasujen pitoisuuksia sekä hiilidioksidiarvoja. Raja-arvojen ylittyessä tehostaa kone automaattisesti pyörimisnopeutta.

Puupintojen luonnolliset ominaisuudet voidaan säilyttää öljymaaleilla, vesiohenteisella lakalla sekä muun muassa puuvahalla. Muina hyvinä puolina puupintojen on yhdistetty lievittävän stressioireita sekä keräävän vähemmän pölyä muihin pintamateriaaleihin verrattuna (Kotowood, 2020). Tämä selittyy sillä, että puu ei kerää aiemmin mainittua staattista sähköä. Maanvaraisissa lattioissa lankku-, parketti- tai laminaattilattia voi olla ongelmallinen kapillaarisen kosteuden takia. Puurakenteisia lattiaratkaisuja on tehty aiemmin betonilattian koolauksen varaan. Lattiassa käytetyt askeläänieristeet sekä liimat vaikuttavat vesihöyrynläpäisevyyteen. Nykyään käytetään puutuotteiden liimauksessa synteettisiä liimoja, joita ovat fenoli-, melamiiniureaformaldehydi- sekä polyuretaaniliimoja (Puuinfo, 2019). Parketti ja laminaattilattioiden erona on se, että laminaatin pinta ei ole puuta vaan se on laminoitu. Laminaatti koostuukin useasta eri kerroksesta, kuten kovasta puukuitulevystä, kulutuspinnoista sekä pohjassa vastavetolaminaatista. Parkettilattia koostuu liimatuista viiluista, jotka on käsitelty öljyllä tai lakattu. Parkettilattia voidaan hioa ja lakata uudelleen, mikä ei onnistu laminaatille. Jotkut laminaatit, vaneri- sekä lastulevyt voivat sisältää formaldehydipitoista liimoja (Allergia, 2020). Muina vaihtoehtoina on koko puusta tehty lankkulattia, jos halutaan vähentää tuotteissa käytettyä liiman määrää. Puutuotteet ovatkin hyviä valintoja pintarakenteisiin vesihöyrynläpäisevyyden ja heikon sähkönjohtavuuden takia.

6.3 Tiili, kivi ja keraamiset laatat

Savitiiliä, luonnon kiviä sekä betoniharkkoja käytetään sisätiloissa väliseinien, ulkoseinien, märkätilan seinien, takan sekä hormien muuraukseen (Wienerberg, i.a.). Kyseiset materiaalit itsessään eivät johda sähköä tai kerää staattista sähköä. Kivipinnat olisivatkin hyviä vaihtoehtoja sisäpuolelle lämpökapasiteetin sekä kosteuden kestävyys takia. Poltetusta savesta tehdyt tiilet myös tasaavat sisäilman kosteusvaihteluja. Tiilipinnat voidaan päällystää mieluummin muovia sisältämättömillä tasoitteilla ja maaleilla, jotta säilytetään tiilen ominaisuudet. Tiili- ja harkkopinnat voidaan myös laatoittaa keraamisilla laatoilla, joiden hyviä puolia ovat helppohoitoisuus, lämmön- sekä kosteudensietokyky. Kyseiset laatat eivät päästä pinnan läpi juurikaan kosteutta läpi verrattuna saumoihin, minkä takia märkätiloissa seinät ja lattiat vedeneristetään.



Kuva 15. Kennoharkoista tehty ulkoseinärakenne (Kivitaloinfo, i.a.).

Betoniharkoista tehdään myös ulkoseinärakenteita, jonka ulko- ja sisäkuorien välissä on eristelevy eli niin sanottu sandwich-rakenne (Saatsi, 2017). Massiivirakenteisena betoni-seiniä ei tehdä huonon U-arvon takia. Toisaalta vanhat massiivitiilikerrostalot ovat kestäneet yli 100 vuotta ja normaalin ylläpidon avulla käyttöikää voi vielä reilusti pidentää. Yhtenä mahdollisuutena on tehdä kennoharkoista ulkoseinärakenteita. Kuvassa 15 on mahdollinen ulkoseinäratkaisu, joka on tehty kyseisistä harkoista sekä julkisivutiilimuurauksesta. Kennoharkko täyttääkin 0,17 W/m²k U-arvovaatimuksen 365 mm paksuisella harkolla, jonka lämmöneristeenä toimii kennojen välissä oleva ilma.

6.4 Kipsilevy

Kipsilevyä käytetään seinien, lattioiden sekä alas laskettujen kattojen verhouksmateriaalina, ja sitä on käytetty Pohjoismaissa 1930-luvulta lähtien (Knauf, i.a.-a). Sen suosio perustuu akustisten, paloturvallisuus- ja esteettisyysominaisuuksien lisäksi allergiaystävällisyyteen. Näitten seikkojen lisäksi kyseistä levyä on helppo työstää. Kipsilevy koostuukin valetusta kipsistä sekä kartonkisesta pintamateriaalista. Materiaalin emissiot ovat alhaiset, eikä siinä ole käytetty ylimääräisiä liima-aineita. Muina seikkoina kipsilevyllä on korkea ilmatiiveysarvo ja se on diffuusiovapaa materiaali. Levyjen saumat nauhoitetaan

pahvikartonkinauhalla, tasoitetaan sekä lopuksi maalataan. Huonona puolena kipsilevyllä on kalusteiden kiinnitys, johon tarvitaan erilliset kiinnikkeet tai vahvikkeet levyn taakse.

6.5 Tekstiilit ja kalusteet

Tekstiilien valinnassa tulisi kiinnittää huomiota pölyä keräämättömiin mattoihin ja muihin tekstiileihin sekä niiden kemiallisiin yhdisteisiin (Allergia, 2020). Nämä seikat voivat aiheuttaa allergisille allergia- ja astmaoireita. Allergisille sopivatkin mattovaihtoehdoista puuvilla-, villa- sekä paperinarumatot. Mattojen tulisi olla tiukkaan kudottuja ja sileäpintaisia, ja niitä on hyvä muistaa tuulettaa, imuroida sekä pestä. Tekstiilit kannattaakin ennen ostamista valita pintakosketuksen, pölyävyyden sekä staattisuuden perusteella. Kosteissa tiloissa olevat matot voivat myös kerätä bakteereja, elleivät ne pääse kuivumaan. Vuodevaatteisakin kannattaa suosia tiiviitä, sileäpintaisia sekä pölyämättömiä puuvillavaihtoehtoja.

Kalusteissa käytetään yleisesti lastulevyjä, joita ovat huokoiset puukuitu-, mdf- sekä kova-levyt (Puuinfo, 2020). Mdf- sekä melamiinilevyä käytetään yleisimmin kalusteissa. Melamiinilevy on isommista lastuista liimattu lastulevy, joka on pinnoitettu nimensä mukaan melamiini-nimisellä kulutusta kestäväällä muovilla. Lastulevy voidaan päällystää melamiinin lisäksi puuviilulla, muovikalvolla tai paperilla. Levyt pinnoitetaan yleisesti molemmilta puolilta käyristymisen estämiseksi. Lastulevy ei kestä kastuessaan vaan lähtee turpoamaan. Levyjen liimapäästöjen sekä muovipinnoitteiden vaihtoehtona voi olla liimapuulevy sekä säilytykseen soveltuvat hyllyt.

7 YHTEENVETO

Tervettä taloa on jossain suhteessa vaikea määrittää. Yksi mittari siihen on käyttäjätyytyväisyyskysely. Jos käyttäjien mielestä ilma on laadukasta eikä se aiheuta terveydellisiä haittoja, voidaan puhua terveestä rakennuksesta. Jos kuitenkin ilmanlaatuun ei olla tyytyväisiä, kyselyä käytetään pohjana ongelmien kohdentamiselle ja tarkemmille tutkimuksille. Ilmaston kokeminen on jokaiselle henkilökohtaista, eikä yksiselitteisiä vastauksia välttämättä ole. Toiset voivat oirehtia tiloissa, vaikka muut eivät huomaa mitään ongelmaa ilmanlaadussa.

Terveen talon kriteerejä on jossain tapauksessa vaikeaa myös yhdistää energiatehokkuusmääräyksen kanssa (Lahtinen, 2014, s. 87). Paksut eristekerrokset hidastavat ja vähentävät lämpövirran määrää, mikä hidastaa seinien kuivumista. Huolellinen rakentaminen onkin korostunut, ja ylimääräiset ilmavuodot eristetilaan voivatkin aiheuttaa ongelmia riippumatta siitä, mitä eristettä seinässä on käytetty. Toisaalta ekologiset eristeet sitovat kosteutta ja pienentävät siihen liittyviä riskejä. Muovia sisältävät tapetit ja maalit auttavat tässä suhteessa, sillä niillä on myös suuri höyryn vastus, joka ehkäisee kosteuden kulkeutumista seinien sisälle. Sen kustannuksella pinnoitteet kuitenkin aiheuttavat staattista sähköä. Massiiviset hirsi sekä tiiliseinät olisivat tässä tapauksessa toimiva seinärakenne, jossa pienen lämpövuodon takia seinärakenteet pysyvä terveinä, kuivina ja kestävinä.

Tervettä taloa suunnitellessa on otettava huomioon monta seikkaa. Rakenteiden tulisi olla kosteusteknisesti turvallisia ja vesivahinko- ja sisäilmaongelmariskit tulisi minimoida rakennusaikaisella kosteuden- ja pölynhallinnalla. Ilmanvaihto tulisi myös suunnitella toimivaksi kokonaisuudeksi. Rakenteiden tulisi olla vikasietoisia, ja niissä kannattaakin välttää vesihöyryn vastusta omaavia kerroksia. Tällä tavalla pystytään olemaan varman puolella, eikä riskiä homeen muodostumiselle pääsisi syntymään. Höyrynsulkumuovin taakse päässyt kosteus voi aiheuttaa homekasvustoa. Toisaalta materiaalitkaan eivät takaa rakennuksen terveellisyyttä, jos tapahtuu rakennusvirheitä, laitteita ei käytetä oikein tai niiden huoltaminen jää tekemättä. Kastuneet puukuitueristeet kuivuvat myös hitaasti seinän sisällä diffuusion avulla, mikä voi myös aiheuttaa homeitiöiden kasvua. Lattiasienikin voi kasvaa puulattiassa, jos pintamateriaalina käytetään diffuusion estäviä materiaaleja. Sieni voi

edetä puulattiasta seinärakenteisiin saakka. Ilmanvuotokohdat aiheuttavat näitten lisäksi vetoisuuden tunnetta sekä lisääntynyttä energiankulutusta.

Ilmanvaihtoa valitessa pitäisi ottaa huomioon energiatehokkuus, lämmitystapa, talon sijainti, käyttötarkoitus sekä terveellisyys. Kaava-alueella voidaan velvoittaa ilmanvaihtokoneen sekä lämmöntalteenoton käyttöä. Kaupungeissa ilmanlaatu voi myös vaihdella liikenteen sekä teollisuuden takia. Puulämmittäminen urbaaneissa ympäristöissä voi myös olla haasteellista logistiikan ja käytännöllisyyden takia. Lämmitystapana kaupungeissa voidaan käyttää kauko- tai maalämpöä, ilmalämpöpumppua tai suoraa sähkölämmitystä. Muita lämmitystapoja ovat puu-, öljykattila, stokeri sekä puutakka. Öljylämmityksestä on viime vuosina pyritty pääsemään eroon sen päästöjen takia.

Vapaa-ajan asunnoissa sekä pienemmissä rakennuksissa voidaan käyttää painovoimaista ilmanvaihtoa pienen käyttömäärän takia. Painovoimainen ilmanvaihto tarvitseekin puulämmitystä, jotta syntyisi lämpötilaeroja. Terveellisyyteen nähden painovoimaisessa ilmanvaihdossa painesuhteet ovat luonnollisemmat ja pöly pääsee painovoiman mukana laskeutumaan. Koneelliseen ilmanvaihtoon päädyttäessä tulisi se säätää painesuhteiltaan lähelle tasapainoa. Laitteiden huoltaminen, suodattimien vaihto sekä kanavien puhdistaminen tulisi muistaa tehdä säännöllisin väliajoin.

Koneellinen ilmanvaihto valintaa puoltaa sen käytännöllisyys, toimivuus sekä energiatehokkuus. Huonosti kuivuvien seinäratkaisujen myötä onkin monesti järkevämpää hyödyntää ilmanvaihtoa huoneilman kuivattamiseen, jottei rakenteisiin pääsisi suuria määriä kosteutta. Takka myöskin kuivattaa sisäilmaa, mutta se edellyttää sen käyttöä. Märkätiloissa ilmanvaihto onkin erityisen tärkeää, ettei kosteus jäisi pinnoille rasiitteeksi. Vanhoissa taloissa ei alun perin ollutkaan kosteita tiloja rasiitteena, ja siksi niiden lisääminen jälkikäteen on haasteellista.

Energiatehokkuus ja painovoimainen ilmanvaihto eivät myöskään sovi kovin hyvin yhteen kylmän tuloilman sekä lämpimän ilman poistuessa talosta. Vanhoissa taloissa voidaankin säästää energiaa muuttamalla asumistottumuksia, kuten laskemalla huonelämpötilaa sekä hillitsemällä lämpimän veden käyttöä. Toisaalta voidaan ajatella ilmanvaihdon olevan huoltovapaa sekä pitkäikäinen. Energiatehokkuus ja ekologisuus tältä kantilta katsottuna eivät

välttämättä ole yhteneviä. Vaikka energiaa kuluisi enemmän, painovoimaisen ilmanvaihdon yksinkertaisuus ja liikkuvien osien vähyys helpottavat sen ylläpitoa ja säästävät ylimääräiseltä materiaalien kulutukselta. Sama pätee myös rakennuksiin: mitä pitempi-ikäisiä rakennuksia suunnitellaan, ja käytetään kestäviä ja hyväksi todettuja ratkaisuja, sitä enemmän säästytään korjauskustannuksissa ja materiaalien valmistuksessa tapahtuvalta kulutukselta.

Tiivistettynä terveestä talosta pystytään varmistumaan diffuusiovapailla pintarakenteilla, liuotinvapailla liimoilla, kosteuskapasiteettia omaavilla rakenteilla sekä yläpohja että alapohja ratkaisuilla, joissa minimoidaan kosteus- ja homevaurioriskit. Ilmanvaihto sekä muiden rakenteiden valinta tulee tapauskohtaisesti päättää erikseen. Helposti saatavilla olevien lämmitysmuotojen tulisi myös vaikuttaa ilmanvaihtomenetelmän valintaan.

LÄHTEET

Ahola, M. & Säteri, J. (2018). *Sisäilmaluokitus 2018*. Sisäilmayhdistys ry. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Sisailmayhdistys/Sisailmastoluokitus>

Airtechsolutions. (i.a.). *Staatinen sähkö*. <https://airtechsolutions.fi/blogi/airtec-blog/airtec-blog/staatinen-sahkoe>

Allergia. (2020). *Rakennus- ja sisustusmateriaalit*. <https://www.allergia.fi/allergia/kemikaalit-ja-ymparisto/kodin-kemikaalit/rakennus-ja-sisustusmateriaalit/>

Allergia. (2022). *Sisustustuotteet ja -tekstiilit*. <https://www.allergia.fi/allergiatunnus/kriteerit/sisustustuotteet-ja-tekstiilit/>

Baumed. (i.a.). *Suurin osa sisäilmaoireista johtuu VOC-yhdisteistä*. <https://baumed.fi/blog/2021/02/11/suurin-osa-sisailmaongelmista-johtuu-voc-yhdisteista/>

Consair. (i.a.). *P1-puhtausluokan rakentaminen*. <https://consair.fi/p1-rakentaminen/>

Hengitysliitto. (i.a.). *Huoneilman kosteus*. <https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/sisailman-laatu/sisailman-olosuhteet/huoneilman-kosteus/>

Honka. (i.a.). *Hirsivaihtoehdot omakotitaloon, vapaa-ajan asuntoon tai julkirakentamiseen*. <https://www.honka.fi/fi/hirsitalon-rakentaminen/hirsivaihtoehdot/>

Ionloop. (2017). *The Harmful Effects of Positive Ions on Your Health*. <https://www.ionloop.com/blog/the-harmful-effects-of-positive-ions-on-your-health/>

Kaila, P. (1997). *Talotohtori: Rakentajan pikkujättiläinen*. WSOY.

Kivitaloinfo. (i.a.). *Kennoharkko*. [valokuva]. <https://kivitaloinfo.fi/tiilet/poltetut-tiilet/kennoharkko/>

Knauf. (i.a.-a). *Kipsi*. <https://knauf.fi/knauf-oy/ymparisto-laatu-ja-turvallisuus/kipsi>

Knauf. (i.a.-b). *Yläpohjaratkaisut*. <https://knauf.fi/ratkaisut/ylapohja>

Kosteudenhallinta. (i.a.-a). *Rakennushankkeen osapuolet*. <http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/rakennushankkeen-osapuolet/toteuttaja>

Kosteudenhallinta. (i.a.-b). *Osapuolet rakennuttaja*. <http://kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/rakennushankkeen-osapuolet/rakennuttaja>

Kotowood. (2020). *Viisi syytä miksi hirsirakentaminen on loistava juttu*. <https://www.kotowood.fi/ajankohtainen/viisi-syyta-miksi-hirsirakentaminen-on-loistava-juttu/>

Lahtinen, K. (2014). *Viri ja valkee: vanhan rakennuksen lämpö- ja energiatalous*. Lunette rakennusperinnepalvelut.

Leca. (i.a.). *Tuulettuva alapohja eli rossipohja Leca harkoista*. <https://www.leca.fi/ratkaisut/perustukset/tuulettuva-alapohja-eli-rossipohja-lecar-harkoista>

Museovirasto. (2021). *Painovoimainen ilmanvaihto käyttö- ja huolto-ohje*. [Sähköinen tietoa-aineisto]. https://www.museovirasto.fi/uploads/Meista/Julkaisut/PVIV_korjauskortti.pdf

Oivawood. (i.a.). *Yksirunkoinen ulkoseinä*. [kuvio] <https://oivawood.com/tuote/seinat/ows-us1/>

Peda. (i.a.). *Lämmön siirtyminen*. <https://peda.net/kotka/perusopetus/kotkansaaren-koulu/kt/oppiaineet/fysiikka/jannen-ryhmat/l%C3%A4mp%C3%B6/s>

Puuinfo. (2020). *Lastulevy*. <https://puuinfo.fi/puutieto/puulevyt/lastulevy/>

Rakennuslehti. (2016). *Juha Vinha tyrmää ylimitoitettua nollaenergiavaatimuksia ja toivoo tolkkua määräykseen*. <https://www.rakennuslehti.fi/2016/04/juha-vinha-tyrmaa-ylikireat-nollaenergiavaatimukset-ja-toivoo-tolkkua-maaraykseen/>

Rakennustieto. (2010,-a). *Alapohjarakenteet RT 83-11009*. [kuvio]. <https://kortistot-rakennustieto-fi.libts.seamk.fi/resource/juha/content/197#page=1>

Rakennustieto. (2010,-b). *Yläpohjarakenteet RT 83-11010*. [kuvio]. <https://kortistot-rakennustieto-fi.libts.seamk.fi/resource/juha/content/10239#page=1>

Raksystems. (2021). *Kotisi vesikatto ja yläpohjarakenteet ovat tärkeitä rakenteita*. <https://raksystems.fi/talotohtori/kotisi-vesikatto-ja-ylapohjarakenteet-ovat-tarkeita-rakenteita/>

Raksystems. (2022). *Huonosti tuulettuva rossipohja kuuluu riskirakenteisiin*. <https://raksystems.fi/ajankohtaista/huonosti-tuulettuva-rossipohjainen-puurakenteinen-alapohja-kuuluu-riskirakenteisiin/>

Rätti, J. (2022). *Hirsiseinän kosteustekninen toiminta mallinnettu Dof-lämpöohjelmassa*. [kuvio]

Rätti, J. (2022). *Lamellihirsiseinä*. [kuvio]

Rätti, J. (2022). *Sisäpuolelta eristetyin seinän toiminta*. [kuvio]

Saatsi, P. (2017). *Massiivirakenne on terveellinen, kestävä ja ekologinen*. <https://www.saatsi.fi/blogi/massiivirakenne-terveellinen-kestava-ekologinen/>

Siikanen, U. (1987). *Puurakennusten suunnittelu*. Rakentajain kustannus Oy.

Simonson, J., Salonvaara, M., & Ojanen, T. (2001). *Improving indoor climate with wooden structures*. [Sähköinen tietoaiteiston]. VTT. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2001/P431.pdf>

Sisäilmacenter. (i.a.). *Alipaine vai ylipaine?*. <https://www.sisailmacenter.fi/kodin-sisailma-ja-ilmanvaihto/alipaine-vai-ylipaine>

Sisäilmayhdistys. (i.a.-a). *Terve talo -kriteerit*. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Terve-Talo-kriteerit>

Sisäilmayhdistys. (i.a.-b). *Sisäilmasto perustietoa*. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Perustietoa>

Sisäilmayhdistys. (i.a.-c). *Maanvastainen betonilaatta*. <https://www.sisailmayhdistys.fi/~sisailma/Terveelliset-tilat/Kunnossapito-ja-korjaaminen/Maanvastaiset-rakenteet/Maanvastainen-betonilaatta>

Sisäilmayhdistys. (i.a.-d). *Kosteuslähteet*. [kuvio]. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuslahteet>

Sisäilmayhdistys. (i.a.-e). *Kemialliset epäpuhtaudet*. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Kemialliset-epapuhtaudet>

Sisäilmayhdistys. (i.a.-f). *Psykologiset tekijät*. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Psykologiset-tekijat>

Stuk. (i.a.). *Radon*. <https://www.stuk.fi/aiheet/radon>

Systemair. (i.a.). *Kosteuden säätö rakennuksissa*. [kuvio]. <https://www.systemair.com/fi/tuki/kiva-tietoeae/kosteuden-saaetoe-asuinrakennuksissa/>

Terve pieni hirsitalo. (2020,-a). *Kuvafiilistelyä rakentamisen edistymisestä*. [kuvio]. <https://www.tervepienihirsitalo.fi/blogi/2020/4/30/kuvafiilistely-rakentamisen-edistymisest>

Terve pieni hirsitalo. (2020,-b). *Painovoimainen ilmanvaihto ja kylmä vintti*. [kuvio]. <https://www.tervepienihirsitalo.fi/blogi/2020/7/23/painovoimainen-ilmanvaihto-ja-kylm-vintti>

Työsuojelu. (2019). *PAH-yhdisteitä sisältävät rakennusmateriaalit huomioitava purkukohteissa*. <https://www.tyosuojelu.fi/-/pah-yhdisteita-sisaltavat-rakennusmateriaalit-huomioitava-purkukohteissa>

Työterveyslaitos. (i.a.). *Formaldehydi*. <https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvallisuus/altistuminen-tyoympariston-haittatekijoille/kemiallisten-tekijoiden-hallinta-tyopaikalla/kemikaalit-ja-tyo-altistumistietosivusto/formaldehydi>

Vtt expert services oy. (i.a.). *Vtt-sertifikaatti terve talo*. [sähköinen tietoaineisto]. VTT.
https://cdnmedia.eurofins.com/european-east/media/2847908/terve_talo_sertifikaatti.pdf

Webmd. (2002). *Negative ions create positive vibes*. <https://www.webmd.com/balance/features/negative-ions-create-positive-vibes>

Wienerberg. (i.a.). *Tiilen pääraaka-aine on savi*. <https://www.wienerberger.fi/inspiroidu-tiilesta/tiilen-valmistus/savi-raaka-aineena.html>