

Mikko Niskanen

Selluvillojen tutkimustarpeet sisäilmanäkökul- masta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Tutkinto-ohjelman nimi

Insinööriyö

30.11.2023

| | |
|--|---|
| Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika | Mikko Niskanen Selluvillojen tutkimustarpeet sisäilmanäkökulmasta 66 sivua 30.11.2023 |
| Tutkinto | Insinööri (YAMK) |
| Tutkinto-ohjelma | Rakennustekniikka |
| Ammatillinen pääaine | Korjausrakentaminen |
| Ohjaaja | Yliopettaja Hannu Hakkarainen |
| <p>Suomessa on ilmaston vuoksi välttämätöntä lämmöneristää rakennukset siten, että niihin saadaan järkevillä kustannuksilla riittävän lämpimät olosuhteet myös kylminä vuodenaikoina. Lämmöneristeiden osuus tämän saavuttamisessa on erityisen tärkeää, ja siitä syystä Suomen rakennuksissa käytetään paljon lämmöneristeitä.</p> <p>Ilmastolliset olosuhteet vaikuttavat myös rakennusten painesuhteiden tavoitetasoihin. Jotta välttyään sisäilman sisältämän kosteuden tiivistymiseltä kylminä vuodenaikoina rakennuksen rakenteisiin, on rakennukset Suomessa suunniteltu pääsääntöisesti alipaineisiksi. Nykyisin alipaineisuus pyritään pitämään mahdollisimman vähäisenä ja rakennusten painesuhteet pyritään pitämään mahdollisimman tasapainossa ilmanvaihdon avulla. Painesuhteisiin vaikuttaa kuitenkin monet tekijät, joihin ei voida teknisillä ratkaisuilla vaikuttaa.</p> <p>Mikäli rakennus on alipaineinen, kuten rakennukset lähtökohtaisesti ovat, kulkeutuu rakenteellisten ilmapuotojen kautta vuotoilmaa rakennuksen sisätiloihin. Näin ollen osa rakennuksen sisäilmasta tulee siis rakenteiden kautta, jolloin rakenteiden mahdollisilla epäpuhauksilla on sisäilman laatua heikentävä vaikutus.</p> <p>Nykyään yksi yleisimmin käytetyistä lämmöneristemateriaaleista on selluvilla, joka valmistetaan pääasiassa kierrätetystä sanomalehtipaperista. Sanomalehtipaperi silputaan ja siihen lisätään palonsuoja-, ja homeenestoaineita, jotta siitä saadaan Suomen olosuhteisiin sopiva ja määräyksien mukainen, toimiva lämmöneristemateriaali. Selluvillaeristeiden palonestoaineiden mahdollisesta haitallisuudesta on käyty rakennuslalla keskustelua. Aiheesta on saatavilla vain vähän tietoa.</p> <p>Opinnäytetyön aineistoa kerättiin asiantuntijakeskusteluilla, joiden mukaan on syytä kehittää tutkimusmenetelmiä liittyen selluvillaeristeiden palonsuoja-aineisiin. Tutkimusmenetelmiä tarvitaan sekä sisäilman laadun kannalta että tulevaisuudessa kiertotalousasiat huomioiden.</p> <p>Myös yläpohjatilan vaihtelevat lämpö- ja kosteusolosuhteet tulee ottaa huomioon mahdollisesti kehitettävissä mittausmenetelmissä. Rakennusmateriaaleille tehtävät päästömittaukset tulisi suorittaa käytönmukaisissa olosuhteissa.</p> | |
| Avainsanat | Selluvilla, sisäilma, paine-ero, olosuhteet, hiukkaset, materiaaliemissio, ilmatiiveys, palonsuoja-aineet, homeenestoaineet |

| | |
|--|---|
| Author Title Number of Pages Date | Mikko Niskanen Research Needs for Cellulose Wool from an Indoor Air Perspective 66 pages 30 November 2023 |
| Degree | Master of Engineering |
| Degree Programme | Civil Engineering |
| Professional Major | Renovation |
| Instructor | Hannu Hakkarainen, Principal Lecturer |
| <p>In Finland, due to the climate, insulating buildings at reasonable costs is essential to maintain sufficiently warm conditions during cold seasons. Insulation is particularly crucial in achieving this, which is why a considerable amount of insulation is used in Finnish buildings.</p> <p>Climate conditions also affect the target pressure levels in buildings. By preventing the condensation of moisture from indoor air into building structures during cold seasons, buildings in Finland are designed to be under negative pressure relative to the outdoor environment. Nowadays, efforts are made to keep the negative pressure to a minimum and balance building pressures with ventilation. However, the pressure levels are influenced by many factors that cannot be controlled with technical solutions.</p> <p>If a building is under negative pressure, as they are, air can flow into indoor spaces through structural air leaks. Consequently, any impurities in the structures can harm indoor air quality.</p> <p>One of the most used insulation materials today is cellulose fiber from recycled newspapers. The newspaper is shredded, and fire retardants and mould inhibitors are added to make it a functional insulation material compliant with Finnish conditions and regulations. There has been a discussion in the construction industry about the potential harmfulness of fire retardants, but there is limited research on this subject.</p> <p>The material for this thesis was collected from expert discussions, indicating the need to develop research methods related to fire retardants in cellulose fibre insulation. These methods are required to determine indoor air quality and circular economy aspects in the future.</p> <p>The varying thermal and moisture conditions in attic spaces should also be considered in potentially developing measurement methods. Emission measurements for building materials should be conducted in realistic situations.</p> | |
| Keywords | Cellulose insulation, indoor air, pressure difference, conditions, particles, material emissions, air tightness, fire retardants, mold inhibitors |

Sisällys

Lyhenteet ja termit

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 1.1 | Suomen rakennusten lämmöneristetarve | 2 |
| 1.2 | Ilmanvaihtotekniikka ja painesuhteet | 2 |
| 1.3 | Yläpohjan lämmöneristeen mahdollinen sisäilmavaikutus | 3 |
| 1.3.1 | Konvektio | 4 |
| 1.4 | Yläpohjissa käytetyt lämmöneristemateriaalit | 5 |
| 1.5 | Lisätiedon kerääminen | 7 |
| 2 | Lämmöneristämisen vaatimukset Suomessa | 8 |
| 2.1 | Yleistä lämmöneristämisestä | 8 |
| 2.2 | Yläpohjan puhallusvillaeristeet | 9 |
| 2.3 | Selluvilla puhallusvillana | 12 |
| 3 | Palonsuoja-aineista | 12 |
| 3.1 | Boori ja booriyhdisteet | 13 |
| 3.2 | Selvitys POP-yhdisteiden ja SVHC-aineiden hallinnasta kiertotaloudessa | 13 |
| 3.3 | Työterveyslaitoksen selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä | 14 |
| 3.4 | Biosidit desinfiointiaineena homevaurioissa ja pintojen desinfiointiaineena | 15 |
| 3.5 | Palonsuoja-aineita sisältävät materiaalit kiertotaloudessa | 16 |
| 4 | Materiaaliemissiot | 17 |
| 4.1 | Emissioiden esiintyminen ja hiipuminen | 18 |
| 4.2 | Kosteus ja lämpötilaolosuhteet ja emissiopäästöt | 19 |
| 4.3 | Yläpohjan olosuhteet Suomessa | 19 |
| 4.4 | Yläpohjan olosuhteiden vaikutus rakennusmateriaaleille tehtäville tutkimuksille | 21 |
| 4.5 | Yläpohjan lämmöneristeille kehitettävät emissiomittaukset | 22 |
| 5 | Hiukkasmaiset epäpuhtaudet | 24 |
| 5.1 | Hiukkasmaisten epäpuhtauksien kulkeutuminen sisätiloihin | 25 |
| 6 | Rakennuksen painesuhteet | 26 |
| 6.1 | Rakennuksen painesuhteiden muodostavat tekijät | 26 |

| | | |
|--------|---|----|
| 6.2 | Savupiippuilmio | 27 |
| 6.3 | Tuulen vaikutus | 28 |
| 6.4 | Ilmanvaihdon vaikutus painesuhteisiin | 29 |
| 6.5 | Painesuhteiden muodostuminen kokonaisuutena | 30 |
| 7 | Selluvillaeristeiden mahdollinen haittavaikutus sisäilmaan | 31 |
| 7.1 | Hirsi- ja perinnerakentamisen asiantuntijoiden ajatuksia | 32 |
| 7.1.1 | Hannu Rinne: Perinnemestarin materiaalioppi | 32 |
| 7.1.2 | Panu Kaila: Talotohtori, Rakentajan pikkujättiläinen | 33 |
| 7.1.3 | Pekka Saatsi: Lisäainein terästettyä luonnollisuutta | 34 |
| 7.2 | Tämänhetkiset selvitystavat selluvilloille | 35 |
| 8 | Yläpohjien kuntotutkimuksia | 36 |
| 8.1 | Kohde 1, toimistorakennus | 36 |
| 8.2 | Tutkimusten lähtötilanne ja tehdyt selvitykset, kohde 1 | 37 |
| 8.3 | Ilmavuotoselvitysten tulokset, kohde 1 | 38 |
| 8.4 | Kohde 2, koulurakennus | 39 |
| 8.5 | Tutkimusten lähtötilanne ja tehdyt selvitykset, kohde 2 | 40 |
| 8.6 | Ilmavuotoselvitysten tulokset, kohde 2 | 40 |
| 8.7 | Kohde 3, hoitoalan rakennus | 42 |
| 8.8 | Tutkimusten lähtötilanne ja tehdyt selvitykset, kohde 3 | 43 |
| 8.8.1 | Ilmavuotoluku ja sen selvitys | 43 |
| 8.9 | Ilmavuotoselvitysten tulokset, kohde 3 | 45 |
| 8.10 | Johtopäätökset esimerkkikohteiden ilmavuotoselvityksistä yläpohjan ja sisäilman välillä | 47 |
| 9 | Kohdeasuntojen yläpohjien olosuhdemittaukset | 48 |
| 9.1 | Olosuhdemittaukset kohde 1, vuonna 2016 valmistunut omakotitalo | 49 |
| 9.2 | Olosuhdemittaukset kohde 2, vuonna 1968 valmistunut paritalo | 51 |
| 9.3 | Olosuhdemittausten tulokset kohteiden yläpohjatiloista | 53 |
| 10 | Asiantuntijahaastattelut | 56 |
| 10.1 | Yleistä asiantuntijahaastatteluista | 56 |
| 10.1.1 | Kuntotutkijat ja sisäilmatutkijat | 56 |
| 10.1.2 | Poimintoja kyselyissä saaduista kommentteista | 57 |
| 10.1.3 | Rakennusmateriaalinäytteitä analysoivat laboratoriot | 59 |
| 10.1.4 | Sisäilma- ja kuntotutkimuksia tilaavat asiantuntijat | 59 |
| 11 | Yhteenveto | 60 |

Lyhenteet ja termit

| | |
|-----------|--|
| C | Celsius, lämpötilan yksikkö |
| Emissio | Materiaalista haihtuva / vapautuva kemiallinen päästö |
| M1 | Rakennusmateriaalin päästöluokituksen vähäpäästöisin luokka |
| Pa | Pascal, paine-eron yksikkö |
| Paine-ero | Rakenteen yli vaikuttavan ilmapaineen erotus, ilmavirtauksen suunta ilmoitetaan +/- merkkisenä |
| RH | Relative Humidity, suhteellinen kosteus, ilman kosteuspitoisuuden prosentuaalinen osuus kyseisessä lämpötilassa ilman suurimmasta mahdollisesta kosteuspitoisuudesta |
| SVOC | Semivolatile Organic Compound, puoli haihtuva orgaaninen yhdiste |
| T | Temperature, lämpötila, ilman lämpötila |
| VOC | Volatile Organic Compound, yleisnimitys haihtuville orgaanisille yhdisteille. Yleinen sisäilmasta mitattava tekijä, jolle on monia lähteitä ja ohjearvoja |
| SVHC | Erityistä huolta aiheuttavat aineet |
| POP | Pysyviä orgaanisia yhdisteitä |

1 Johdanto

Suomi on sisäilman laatuun liittyvissä tutkimuksissa koko maailman kärkeä sekä osaamiseltaan että tutkimuksien määrässä. Silti Suomessa, kuten muuallakin länsimaissa, on tehty sisäilman laatuun liittyviä selvityksiä vasta muutama vuosikymmen. Varsinaiset sisäilmatutkimukset ovat Suomessa alkaneet 1980-luvun loppupuolella, jolloin sisäilmasta tutkittiin lähinnä mikrobeja, formaldehydiä, radonia sekä asbestia. Esimerkiksi asbestin terveysvaikutukset ovat kuitenkin olleet tiedossa jo paljon ennen tätä.

1980-luvulla sisäilmatutkimuksia suorittivat enimmäkseen kuntien ja kaupunkien terveystarkastajat. 1980-luvun lopulla sisäilma-alasta muodostui pikkuhiljaa nykyisenkaltaista liiketoimintaa ja perustettiin sisäilmatutkimuspalveluita tarjoavia yrityksiä, joiden päätoiminta keskittyi aluksi pitkälti asbestin esiintymiseen ja sen haittojen minimoimiseen rakennuksissa. Vielä tällöin alalla ei ollut selkeitä pelisääntöjä ja ohjeita tutkimusten suorittamiseksi, ja varsinaista kehitystyötä alan alkuvaiheissa tekivätkin yliopistot sekä valtion tutkimuslaitokset kuten Työterveyslaitos, Kansanterveyslaitos, THL. [1 s.10–11]

Sittemmin on alettu tutkimaan tarkemmin esimerkiksi ammoniakkin, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden, mineraalivillakuitujen, hiukkasten sekä vaurioiden aiheuttamia haittoja. Ala kuitenkin kehittyy koko ajan, ja uusia tutkimusmenetelmiä sekä lisätietoja mahdollisista rakennusmateriaalien haitoista tarvitaan koko ajan lisää. Rakennusalalle tulee myös uusia tuotteita, joiden pitkäaikaisista mahdollisista sisäilmavaikutuksista ei vielä ole riittävästi tietoa. Kovan kilpailun ja Suomessa vallitsevien olosuhteiden vuoksi myös lämmöneristeitä ja niiden ominaisuuksia kehitetään jatkuvasti.

THL:n koordinoimassa Hitea-tutkimuksessa on ilmennyt, että suomalaisissa kouluissa on alhaiset mikrobipitoisuudet esimerkiksi hollantilaisiin ja espanjalaisiin kouluihin nähden. Myös niin sanottujen kosteusvaurioindikaattorilajien esiintyminen on vähäistä Suomen koulurakennuksissa, mutta oireilevien määrä suomalaisissa kouluissa on edellä mainittuja maita selkeästi suurempaa. [2]

1.1 Suomen rakennusten lämmöneristetarve

Yksi merkittävä ero Suomen rakennuskannassa verrattuna esimerkiksi Espanjan vastaavaan on rakennuksissa vaadittavat lämmöneristeet. Lämmöneristeet ovat Suomen ilmastossa välttämättömiä, mutta ne eivät saisi aiheuttaa mahdollista terveyshaittaa rakennusten käyttäjille.

Suomessa vuodenaikojen vaihtelun aiheuttamat lämpötilaerot johtavat Suomessa rakennusten lämmöneristetarpeeseen. Suomessa on 1950–1970-luvuilla rakennettu runsaasti varsinkin suuriin kaupunkeihin. Kyseisen aikakauden rakennuksiin on ollut usein tarpeen lisätä lämmöneristettä, sillä kyseisen aikakauden rakennuksien on todettu olevan huonoja energiantehokkuuden kannalta.

Mikäli rakennukseen kohdistuu rakennusluvan varaisia korjaustoimenpiteitä, on lain mukaan samalla parannettava rakennuksen energiatehokkuutta, jos se on toiminnallisesti, teknisesti ja taloudellisesti järkevästi toteutettavissa. Mahdollisesti toteutettavia toimenpiteitä voidaan kohdistaa teknisiin järjestelmiin, kokonaisuun rakennusosiin tai yksittäiseen rakenteeseen. Kiinteistön omistajalla on oikeus valita toimenpide tai toimenpiteet, joilla rakennuksen energiatehokkuutta lähdetään parantamaan luvanvaraisten korjaustöiden yhteydessä. Mikäli rakennukseen ei kohdistu luvanvaraisia korjaustarpeita, ei rakennuksen omistaja ole velvoitettu suorittamaan energiatehokkuuden parantamista erikseen. [3 s. 7]

1.2 Ilmanvaihtotekniikka ja painesuhteet

Toinen selkeä ero rakennuksissa on yleisesti käytetty ilmanvaihtotekniikka. Suomessa koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto on nykykoulurakennuksissa sekä muissakin rakennuksissa selkeästi yleisin ilmanvaihtojärjestelmä. Euroopassa sen sijaan on edelleen paljon rakennuksia, joissa on painovoimainen ilmanvaihto [4].

Suomessa rakennukset on suuremmilta osin suunniteltu usein alipaineisiksi, ja näin ollen rakenteiden kautta kulkeutuu ilmavuotoina myös eristeiden mahdollisia epäpuhtauksia ja / tai eristemateriaalin sisältämiä yhdisteitä ja hiukkasia. Vielä vuoden 2003 Suomen rakentamismääräyskokoelman D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto mukaan

rakennukset tulee suunnitella alipaineisiksi. Alipaineisuudella on pyritty ehkäisemään sisäilman kosteuden tiivistymistä ulkovaipan rakenteisiin, jotta rakenteisiin ei muodostuisi kosteuden vaikutuksesta otollisia olosuhteita mikrobikasvustolle. Alipaineisuuden ylärajaksi on asetettu tuolloin 30 pascalia, eli rakennus on saanut olla alipaineinen korkeintaan 30 pascalia suhteessa ulkoilmaan. [5 s.14]

Edellä mainitun kaltaista alipaineisuutta voidaan pitää nykyään poikkeavan korkeana. Sittemmin onkin havahduttu alipaineisuuden aiheuttamiin ilmavirtauksiin / vuotoilmaan ja niiden mukana kulkeutuviin mahdollisiin epäpuhtauksiin. Nykyään rakennukset pyritään pitämään painesuhteiltaan niin sanotusti tasapainossa koneellisen ilmanvaihdon avulla. Tämä toteutetaan siten, että rakennukseen tuodaan yhtä paljon tuloilmaa kuin sieltä poistetaan poistoilmaa. Yleisesti koko rakennuksen painesuhteet pyritään pitämään tasapainossa kokonaisilmamäärien avulla. Yksittäisten tilojen osalla sallitaan poikkeamia varsinkin, jos tilan käyttötarkoitus sen vaatii. Tavoitteena on, ettei ilmanvaihto aiheuta rakennukseen ylipaineisuutta ja, että alipaineisuus on mahdollisimman vähäistä, jotta rakenteiden ilmavuotokohtien kautta kulkeutuvan vuotoilman määrä saadaan minimoitua. Alipaineisuus ei saa olla haitallisen suurta, mikä käytännössä tarkoittaa alipaineisuuden tavoitetasoa alle 5 Pascalia. Mikäli rakennuksessa on esimerkiksi erillisiä aikaohjauksia, jolloin tilojen ilmanvaihtuvuus on suurempaa tai pienempää kuin niin sanotun normaalin käytön aikana, tulee huolehtia siitä, että paine-erot eivät tällöinkään saa olla pitkäkestoisesti haitallisen suuria. Edellä mainitun kaltaisia tilanteita saattaa syntyä esimerkiksi koulurakennuksissa, kun keittiön tehokkaat poistoilmalaitteet poistavat kosteuskuormaa sisätiloista, mutta samaan aikaan ei ole huolehdittu tuloilmamäärän kasvattamisesta samassa suhteessa kuin poistoilmamäärä kasvaa. [6 s. 4–5]

1.3 Yläpohjan lämmöneristeen mahdollinen sisäilmavaikutus

Yleisesti kaikkien rakenteiden kautta kulkeutuvien ilmavuotojen määrä tulee nykytietämyksen mukaan pitää mahdollisimman alhaisena. Vuotoilman määrään vaikuttavat oleellisesti rakennuksen painesuhteet, joihin voidaan vaikuttaa rakennuksen ilmanvaihdon tasapainotuksella. [6 s. 4–5]

Yleisesti mielletään, että painesuhteiden vaikutuksesta suurimmat ilmavuodot rakennuksissa esiintyvät muiden rakenteiden kuin yläpohjarakenteiden kautta. Yläpohjatilaan

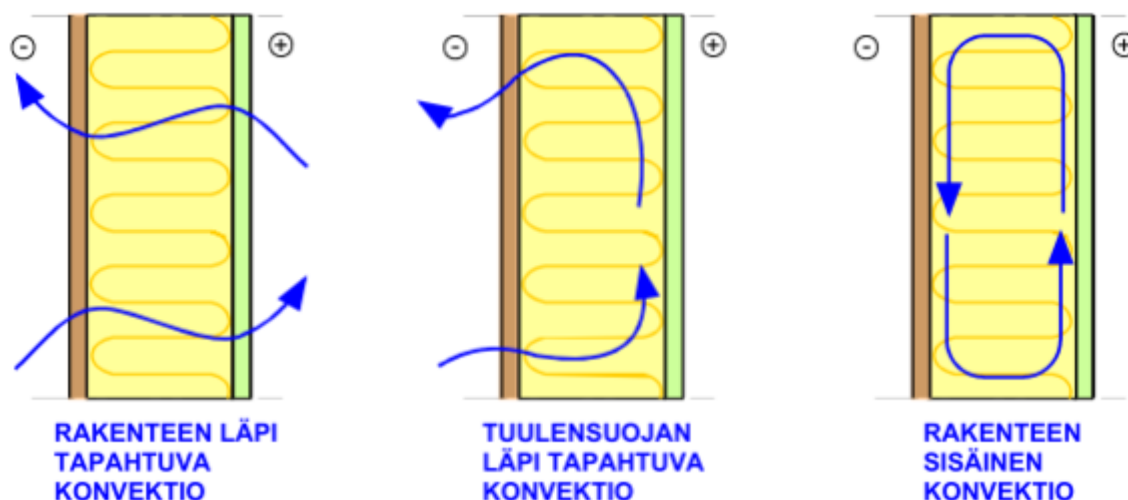
kohdistuu kuitenkin ajoittain, ulkona tapahtuvan tuulen sekä lämpötilaerojen vaikutuksesta, merkittävää ylipainetta ja olosuhteita, joiden vuoksi ilmavirtaukset yläpohjatiloista ovat sisätiloihin päin. Kovan tuulen aikana yläpohjatila toisin sanottuna saattaa ylipaineistua aiheuttaen sisätilan ja yläpohjan eristetilan välille paine-eron, joka mahdollistaa rakenteiden epätiiveyskohtien kautta ilman kulkeutumisen sisätiloihin. [7]

1.3.1 Konvektio

Kaasun tai nesteen virtauksista käytetään yleisesti ilmaisua konvektio. Rakennusten tutkimusten ja rakennusfysiikan kohdalla konvektiolla tarkoitetaan käytännössä aina ilmavirtausta. Konvektiosta puhuttaessa käytetään termejä luonnollinen konvektio tai pakotettu konvektio. Pakotetun konvektion voivat aiheuttaa eri tekijät, kuten luonnollisesti tapahtuva tuuli tai koneellinen tekijä kuten ilmanvaihtopuhallin. Vaikka tuulen aiheuttama ilmavirtaus onkin luonnollinen niin molemmista edellä mainituista konvektion aiheuttajista voidaan puhua niin sanottuna pakottavana konvektiona. Konvektiota ilmiönä on esitetty kuvassa 1 sivulla 5. [8 s.19]

Rakennuksen yläpohjaan voi vaikuttaa siis hyvinkin pakotettu konvektio esimerkiksi tuulen vaikutuksesta tai ilmanvaihtolaitteiston aiheuttamana. Ilmanvaihdon aiheuttama konvektio voi olla suurikin, mikäli ilmanvaihdon tasapainotus ei ole kohdallaan.

Luonnollista konvektiota aiheuttavat lämpötilaerot. Yksinkertaistettuna sanottuna lämmin ilma nousee kevyempänä ylöspäin, ja viileä ilma painuu raskaampana alaspäin. Tässä täytyykin huomioida, että konvektiota voi tapahtua myös jonkin rakennekerroksen sisällä lämpötilaeron vaikutuksesta. Varsinkin vaakasuuntaisissa paksuissa lämmöneristekerroksissa rakenteen sisäisellä konvektiolla voi olla suuri merkitys ilmavirtauksien voimakkuuteen ja ilmavirtauksien suuntiin. Rakenteen sisäinen konvektio on siis esimerkiksi yläpohjan lämmöneristekerroksen sisällä tapahtuvaa ilmankiertoa. Jotta sisäistä konvektiota voi esiintyä lämmöneristeen sisällä, tulee lämmöneristeen olla hyvin ilmaa läpäisevää. [8 s. 19–21]



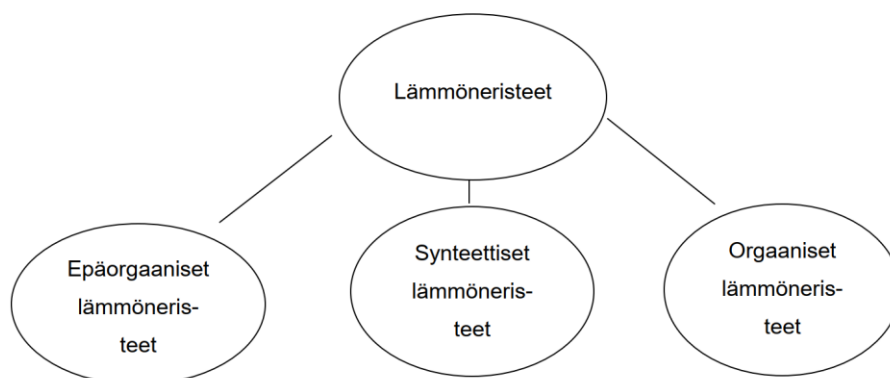
Kuva 1. Erityyppisiä konvektioita. Oikeanpuoleisin kuvaa rakenteen sisäistä konvektiota, jota voi tapahtua esimerkiksi yläpohjan paksuissa lämmöneristekerroksissa. [8 s. 20]

Yläpohjatilat ovat siis yleensä ulkoilman avulla tuulettuvia, jolloin myös yläpohjatilassa olosuhteet vaihtelevat suuresti ulkoisien tekijöiden takia. Esimerkiksi kosteuspitoisuus seuraa pitkälti ulkoilman kosteuspitoisuutta, ja lämpötila yläpohjassa on pääasiassa ulkoilman mukainen. Kuitenkin myös auringon aiheuttama lämpösäteily vaikuttaa yläpohjatilan lämpötiloihin suuresti. Näin ollen yläpohjatiloissa on ajoittain muita rakenneosia selkeästi korkeampia lämpötiloja. [8 s. 37–38]

Todellisia olosuhteita yläpohjatilassa selvitetään tämän opinnäytetyön yhteydessä kahden kohderakennuksen osalta. Kohderakennukset sijaitsevat noin kilometrin etäisyydellä toisistaan Espoossa ja ovat eri aikakauden rakennuksia. Toinen kohderakennuksista on 2016 valmistunut omakotitalo ja toinen on 1960-luvun paritalo, joka on tyypillinen lisälämmöneristämisen kohde. Yläpohjatilan suhteellista kosteutta ja lämpötilaa mitataan pitkäaikaismittauksina kesäkaudella. Talvikauden mittauksia ei toteuteta tämän opinnäytetyön yhteydessä.

1.4 Yläpohjissa käytetyt lämmöneristemateriaalit

Yläpohjissa on eri aikakausina käytetty useita eri lämmöneristemateriaaleja. Lämmöneristeet voidaan karkeasti luokitella luonnonmukaisiin lämmöneristeisiin, epäorgaanisiin lämmöneristeisiin ja synteettisiin lämmöneristeisiin. Kuvassa 2 sivulla 6 on havainnollistettu eristeiden luokitusta. [9 s. 2]



Kuva 2. Lämmöneristeiden karkea jako [9 s. 2]

Kun puhutaan luonnonmukaisista lämmöneristeistä, muodostuu helposti ajatus tuotteen olevan käyttöturvallinen.

Luonnonmukaisia myös yläpohjissa käytettyjä lämmöneristeitä ovat muun muassa sahanpuru, pellavaeristeet, turve, sammal, lampaanvillaeristeet, olki ja kutterilastu [10 s. 509–523].

Näiden lisäksi luonnonmukaisena eristeenä yleisesti pidetään myös selluvillaa, joka on sanomalehtisilpusta valmistettua puhallusvillaeristettä.

Suomessa puhallusselluvilla valmistetaan käytännössä aina kierrätyspaperista. Jotta paperisilpusta saadaan käyttökelpoista, tulee siihen lisätä suoja-aineita palonesto ja homeenestoaineiksi. Puhallusvillat ovat kuitumaisia eristeitä, ja näin ollen niistä voi vapautua kuituja. Lähtökohtaisesti puhallusvilloja asennetaan rakenteisiin, joilla ei ole suoraa ilmayhteyttä sisätiloihin. Puhallusselluvillaa asennettaessa tulee käyttää riittävää hengityssuojainta, suojakäsineitä sekä suojalaseja. Myös paljas ihopinta tulee suojata. Asennustyön aikana syntyvä pöly saattaa aiheuttaa ärsytysoireita, mihin vaikuttaa muun muassa altistumisen kesto, pölypitoisuus sekä henkilökohtainen herkkyys. Toistuva ihokosketus voi aiheuttaa esimerkiksi ihottuman kaltaista ärsytystä. [11 s. 3–4]

Puukuitueristeistä eli selluvillapohjaisista eristeistä ja niiden sisältämistä lisäaineista on huonosti saatavissa olevaa tutkimusaineistoa, mutta lisäaineet sisältävät esimerkiksi booriyhdisteitä. Booriyhdisteiden epäillään aiheuttavan erityyppisiä ärsytysoireita. [9 s. 15]

Suomessa käytettävät yleisimmät selluvillapohjaiset lämmöneristeet ovat tuotenimiltään Ekovilla, Selluvilla ja Termex. Näistä viimeisimpänä mainittu on kehittänyt erikseen tuotteen, jossa ei käytetä palonestoaineena booriyhdisteitä, vaan luonnonmukaista puhdasta savea. [9 s. 14–15]

1.5 Lisätiedon kerääminen

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli saada lisätietoa puhallettavista selluvillapohjaisista yläpohjan lämmöneristeistä. Selluvilla tehdään kierrätysanomalehdistä, jotka valitaan valmistajan toimesta. Jotta sellupohjaisesta puhallusvillasta saadaan paloturvallista, lisätään silputtuun sanomalehtipaperiin palonestoaineita. Samalla aineet suojaavat selluvillaa mikrobikasvuston syntyemiseltä. Tämänhetkisen yleisesti saatavilla olevan tiedon mukaan lisättävien aineiden tarkempi sisältö ei ole tiedossa. [12]

Tuotevalmistajien esitteiden ja vastaavien mukaan selluvilla on turvallista, mutta tarkempia tutkimustuloksia on heikosti saatavilla. Tutkimusten olosuhteista ei myöskään näin ollen ole tietoa, eli onko eristemateriaalin tutkimukset tehty vakioiduissa olosuhteissa esimerkiksi noin +20°C-asteen lämpötilassa. Todellisuudessa yläpohjan lämmöneristeseen voi kohdistua huomattavasti korkeampia lämpötiloja.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään yleisimpien Suomessa käytettyjen yläpohjan selluvillaeristemateriaalien mahdollisesti aiheuttamia riskitekijöitä sisäilman laadun kannalta. Yhtenä selvityksen pääaiheena on selvittää, mitä tutkimuksia vielä tarvitaan, jotta saadaan lisätietoa puhallettavien selluvillaeristeiden käytettävyydestä, turvallisuudesta sekä niiden yhteydessä tarvittavista ilmansulkutuotteista.

Toinen keskeinen tekijä, jonka mahdollisia lisätutkimustarpeita arvioidaan, on palonsuoja- ja homeenestoaineiden pysyvyys selluvillaeristeissä vaihtelevissa olosuhteissa. Toisin sanoen pyritään selvittämään, onko tarpeen jatkotutkimuksien avulla selvittää, poistuuko tai väheneekö palonsuoja- ja homeenestoaineiden vaikutus aikaa myöten, jolloin selluvillaeristeiden homehtumisriski kasvaa ja niiden paloturvallisuus heikkenee.

Kolmas asia, johon kaivataan lisätietoja, on selluvillaeristeiden käsitteleminen jätteenä. Tulevaisuudessa, kun puretaan tai peruskorjataan kohteita, joihin on asennettu

puhallusselluvillaa lämmöneristeeksi, meillä tulee olemaan enenevässä määrin jo kertaalleen kierrätetystä sanomalehdestä syntyvää rakennusjätettä. Tällöin on ratkaistava, onko kyseinen jäte hyödynnettävissä sellaisenaan vastaavaan käyttötarkoitukseen, tuleeko siihen lisätä palonsuoja- ja homeenestoaineita vai tuleeko eristemateriaali toimittaa erityisenä jätteenä jätelaitokselle.

2 Lämmöneristämisen vaatimukset Suomessa

2.1 Yleistä lämmöneristämisestä

Suomessa tarvitaan ulkoilman olosuhteiden takia talvikaudella erilaisia lämmitysjärjestelmiä rakennusten viihtyisän ja riittävän sisäilman lämpötilan saavuttamiseksi. Riittäväällä lämpötilalla voidaan myös ehkäistä rakenteiden pinnoille tiivistyvää kosteutta, jota voi syntyä lämpötilaerojen aiheuttamana.

Lämmitysjärjestelmä yksinään ei riitä toivotun lämpötilan saavuttamiseksi. Rakennusten lämmittäminen ilman nykyisen kaltaisia lämmöneristeitä ei olisi myöskään kustannustehokasta suuren energiankulutuksen vuoksi.

Muun muassa edellä mainituista syistä kylmän ilmastovyöhykkeen alueilla tarvitaan erillisen lämmitysjärjestelmän lisäksi erilaisia lämmöneristeitä rakennusten sisälämpötilan ylläpitämiseksi. Lämmöneristeitä tarvitaan koko rakennuksen ulkovaipan osalle. Lämmöneristetuotteiden tulee olla valittuun käyttötarkoitukseen soveltuvia ja niiden tulee olla toimivia koko käyttöikänsä ajan. Suunnitelmissa tulee esittää tarvittavat tiedot valittavista lämmöneristeistä sekä tarpeen mukaan myös asennustavan suorittamisesta. [13 s. 7]

Nykyisin pyritään mahdollisimman alhaiseen energiankulutukseen. Tämä on osaltaan aiheuttanut lämmöneristeiden paksuuden kasvattamista ja lisännyt tuotekehittelyä eristetoimittajien kesken. Myös lisälämmöneristäminen on kasvattanut suosiotaan.

Voimassa olevissa lämmöneristysmääräyksissä määritellään muun muassa rakennuksen ulkovaipan vähimmäis-U-arvo. U-arvolla kuvataan rakennustekniikassa rakenteen lämmönläpäisykykyä, eli toisin sanottuna lämmöneristävyyttä. Mitä pienempi U-arvo on, sitä paremmin materiaali eristää lämpöä. [14 s. 7]

Eri rakenneosien U-arvojen muutoksia on esitetty taulukossa 1, josta huomataan, että viimevuosina energiavaatimuksia on kiristetty erityisesti rakennusten yläpohjan ja ulkoilmaan rajoittuvan alapohjan osalta [14 s. 9].

Nykyrakentamisessa ulkoilmaan rajoittuvia alapohjia toteutetaan hyvin rajallisesti. Sen sijaan rakennus rajoittuu ulkoilmaan yläpohjan osalta aina, joten kiristyneet energiavaatimukset vaikuttavat oleellisesti yläpohjissa käytettävään eristepaksuuteen / eristeen eristyskykyyn.

Taulukko 1. Energiavaatimusten muutoksia koskien rakenneosien U-arvoja [14 s. 9]

| Rakenneosa | RakMK 2003 | RakMK 2007 | RakMK 2010 |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Yläpohja | 0,16 W/m ² K | 0,15 W/m ² K | 0,09 W/m ² K |
| Ulkoseinä | 0,25 W/m ² K | 0,24 W/m ² K | 0,17 W/m ² K |
| Ovet ja ikkunat | 1,4 W/m ² K | 1,4 W/m ² K | 1,0 W/m ² K |
| Alapohja maanvar. | 0,25 W/m ² K | 0,24 W/m ² K | 0,16 W/m ² K |
| Alapohja ryöm.tila | 0,20 W/m ² K | 0,19 W/m ² K | 0,17 W/m ² K |
| Alapohja ulkoilma | 0,16 W/m ² K | 0,15 W/m ² K | 0,09 W/m ² K |
| Ilmanvuotoluku (n ₅₀) | 4 1/h | 4 1/h | 2 1/h |

2.2 Yläpohjan puhallusvillaeristeet

Yläpohjan lämmöneristys toteutetaan nykyisin usein puhallusvillaeristeillä. Puhallusvilla on yleisnimitys useille eri puhallettaville eristysmateriaaleille. Materiaaleina käytetään pääsääntöisesti kivi-, lasi- ja selluvillaa, joka tehdään kierrätetystä puumateriaalista, käytännössä sanomalehtipaperista.

Ennen puhallusvillaeristeiden asennusta tulee huolehtia seuraavista tekijöistä [15. s. 6]:

- eristeen alapuolisen rakenteen tulee olla riittävän tiivis (ilman-/höyrysulku)
- tuulenohjainten asennus reuna-alueille
- mahdollisten savupiippujen määräysten mukainen eristys
- toimiva yläpohjan tuuletus
- seinien tuuletusvälien vapaa tuuletus
- ilmanvaihtokanavien määräysten mukainen eristys ja läpivientien tiiveys
- viemärin tuuletusputken määräysten mukainen eristys ja läpivientien tiiveys
- kulkusiltojen asennus

Kaikki edellä mainitut puhallusvillaeristeet soveltuvat sekä uudiskohteisiin että korjausrakennuskohteisiin. Kuvassa 3 sivulla 11 on vuonna 2013 valmistuneen omakotitalon rakentamisen yhteydessä asennettu puhallusselluvilla. Niitä voidaan käyttää myös lisälämmöneristeinä. Kuvassa 4 sivulla 11 puhallusselluvillaa on asennettu lisälämmöneristeeksi vuonna 2022 vuonna 2003 valmistuneeseen paritaloon. Toimenpiteet ennen puhallusvillaa on syytä toteuttaa valitusta puhallusvillalaadusta riippumatta. [15. s. 5–6]

Puhallusvilla asennetaan nimensä mukaisesti eristemateriaalia puhaltamalla haluttuun rakenneosaan. Puhallus suoritetaan usein erillisellä puhaltimella, joka on sijoitettu niin sanottuun puhallusautoon. [12]

Puhallusvillan etuja muihin eristämismateriaaleihin nähden on valmistajien mukaan sen nopea asennustapa ja kyky eristää myös kulmat ja muut vastaavat hankalat paikat. Lisälämmöneristämässä puhallusvillaa asennetaan usein vanhan lämmöneristeen päälle, jolloin eristemateriaali tiivistää myös vanhan eristeen liitoskohtia. Eristelevyjä käytettäessä kulmiin joudutaan leikkaamaan pieniä paloja, jolloin eristemateriaaliin tulee väkisinkin epäjatkuvuuskohtia. [12]



Kuva 3. Kuva Harry Damsten 2023, IdeaStructura Oy



Kuva 4. Kuva. Aleksi Keravuori 2023, IdeaStructura Oy

2.3 Selluvilla puhallusvillana

Eloperäisen, sanomalehtipohjaisen selluvillan käyttäminen lämmöneristeinä edellyttää siis eristeiden käsittelemistä erilaisilla kemikaaleilla. Kemikaaleilla pyritään estämään materiaalin homehtuminen ja niillä saavutetaan haluttu palonkestävyys, jotta eristeestä saadaan palomääräykset täyttävä. Sanomalehdet ovat herkästi homehtuvaa materiaalia ja esimerkiksi pahamaineisena pidetty *Stachybotrus*-home viihtyy ja kasvaa erityisesti selluloosapohjaisilla materiaaleilla, kuten kipsilevyn kartonkipinnalla, pahvieristeissä sekä betonivalujen yhteydessä käytettyjen pahvisten irrotuskaistojen pinnoilla. [16]

Homehtumisen estoon ja palonsuojaksi käytetään selluvilloihin booriyhdisteitä. Kansainvälisen kemikaalikortin mukaan booraksi voi aiheuttaa muun muassa hengenahdistusta. Elintarviketeollisuudessa booraksia on käytetty säilöntäaineena, mutta nykyään se on Suomessa sallittu elintarviketeollisuudessa vain kaviaarin säilömisessä. [17]

Lisäaineiden lisäksi selluvilla sisältää sanomalehtien valmistuksessa käytettyjä aineita, kuten painovärejä. Sanomalehtien painoväri sisältää mineraali- ja kasviöljyä. Itse paperi koostuu 60 % kierrätetystä sanomalehdistä, 35 % on uutta puukuitumassaa ja noin 5 % kivimäistä täyteainetta. [18]

Kierrätetyissä sanomalehdissä on siis jo alkujaan painovärejä ja muita haitalliseksi luokiteltavia materiaaleja. Kierrätyksen takia eristemateriaaliin on myös voinut absorboitua muita epäpuhtauksia sen elinkaaren aikana, kuten mahdollisia hajuja säilytystiloista. Kontaminoituneet ja absorboituneet muut aineet ovat kuitenkin määrältään niin vähäisiä, että niillä ei ole suuressa mittakuvassa merkitystä kierrätetyn sanomalehden sisältämille ainesosille. Kierrätysmateriaalia käytettäessä voi tuotteessa olla kuitenkin suuriakin eräkohtaisia eroja muissa epäpuhtauksissa.

3 Palonsuoja-aineista

Tässä osiossa keskitytään palon- ja homeenestoaineista nimenomaan mahdolliseen booripitoisuuteen. Booriyhdisteitä ei juurikaan ole tutkittu lämmöneristeiden osalta.

3.1 Boori ja booriyhdisteet

Tässä osiossa käydään läpi yleisesti booria ja esimerkiksi booraksia. Valtioneuvoston julkaisemassa selvityksessä Kestävä ja turvallinen kiertotalous on mainittu haitalliseksi luokiteltavien aineiden sisältämien kemikaalien huomioiminen sekä tuotteiden valmistuksessa että uudentyypisissä käyttötarkoituksissa.

Esimerkiksi POP-yhdisteistä, jotka ovat pysyviä orgaanisia yhdisteitä, sekä SVHC-aineista tarvitaan lisää tutkimustietoa. SVHC-aineilla tarkoitetaan erityistä huolta aiheuttavia aineita. Jotta tulevaisuudessa voidaan erilaisia rakennusmateriaaleja kierrättää vastuullisesti ja turvallisesti, tulee niiden mahdollisesti sisältämien kemikaalien tutkimusmenetelmiä kehittää.

Päätöksiä tekevät viranomaistahot kaipaavat lisätietoja haitalliseksi luokiteltavista materiaaleista koko rakennustuotteen elinkaaren ajalta. Lisätietoja on tarpeen saada ympäristövaikutusten sekä työturvallisuuden näkökulmasta. Myös jätteenkäsittelyn ja / tai rakennusmateriaalin kierrätyksen kannalta on tarpeen saada lisätietoja rakennusmateriaalien sisältämisestä kemikaaleista. [19 s. 5]

3.2 Selvitys POP-yhdisteiden ja SVHC-aineiden hallinnasta kiertotaloudessa

Sementissä ja laastissa on saatettu käyttää booriyhdisteitä. Booriyhdisteet toimivat biosidina eli desinfiointi-/torjunta-aineena. Tämän vuoksi booriyhdisteitä onkin käytetty myös homeenestoaineena. Booriyhdisteitä ei kuitenkaan saa enää käyttää suoraan biosiditarkoituksiin. [19 s. 5]

Sen sijaan booriyhdisteitä voidaan käyttää palonsuoja-aineena esimerkiksi selluvillapohjaisissa lämmöneristeissä. Booriyhdisteet voivat aiheuttaa erityyppisiä ärsytysoireita, kuten hengitystieärsytystä ja silmien ärsytystä. Ärsytyksen voi aiheuttaa nesteenä tai pölymuodossa esiintyvä booriyhdiste. Eläinkokeiden perusteella booriyhdisteet voivat aiheuttaa myös lisääntymistä haittaavia vaikutuksia, mutta niiden toteutuminen on epätodennäköistä, sillä boorille altistumisen tason tulisi olla yli 10 mg päivässä painokiloa kohden. Haitalliseksi tunnettu pitoisuus (HTP) on boraattien osalla 0,5 mg/m³. Haitalliseksi tunnettu pitoisuus perustuu ärsytysoireisiin, joten tämän pitoisuuden alapuolella

pysyttäessä, on lisääntymiseen heikentävästi vaikuttava altistuminen epätodennäköistä. [19 s. 49]

Rakennusmateriaalien osalta boorille altistumisesta on huonosti saatavilla olevaa tietoa. Myöskään rakennusten purkamisen yhteydessä tapahtuvasta boorialtistumisesta ei ole riittävästi tietoa. Kuten aiemmin mainittiin, on booriyhdisteitä lisätty palonestoaineeksi esimerkiksi selluvillaeristeisiin. Työterveyslaitokselta saatujen mittaustietojen mukaan selluvilloissa esiintyneet booripitoisuudet ovat olleet korkeimmillaan 22 mg/g. Tästä ei voida kuitenkaan päätellä selluvillaeristeen mahdollisesti aiheuttamia booriyhdisteiden päästöjä ilmaan esimerkiksi sellupohjaisen puhallusvillan asennustyön aikana, eikä ilmanäytteillä kerättyä tutkimusdataa ole tällä hetkellä käytettävissä. Tietojen puuttuminen osaltaan viittaa altistumisen olevan alhaista, sillä ärsytysoireiden ollessa tyypillisiä ja toistuvia, on yleensä mittausdataa käytettävissä. [19 s. 49]

Rakennuksissa käytetyistä eristemateriaaleista on tehty selvitys liittyen eristemateriaalien palonestoaineiden sisältämiin kemikaaleihin. Selvitystyön suorittanut Tukes eli Turvallisuus- ja kemikaalivirasto on julkaissut omilla nettisivuillaan, että eristemateriaalien palonestoaineita testattaessa ei löydetty lainsäädännön vastaisuuksia. [20]

Boorihappo on tunnistettu erityistä huolta aiheuttavaksi aineeksi eli SVHC-aineeksi. Kaikki materiaalit, jotka sisältävät SVHC-aineita yli 0,1 painoprosenttia, tulee tuotteen toimitusketjussa ilmoittaa kyseisen tuotteen sisältävän SVHC-ainetta. [19 s. 90]

3.3 Työterveyslaitoksen selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä

Monet maalituotteet sekä puhdistusaineet sisältävät booriyhdisteitä. Booriyhdisteet luokitellaan EU:ssa HPV-kemikaaleihin (High Production Volume). Suomessa booriyhdisteitä käytetään muun muassa palonesto- ja homeenestoaineena sekä lannoitteena. [21 s. 204]

Booriyhdisteille altistumisesta työtehtävissä on hyvin vähän tietoa. Kirjallisuudesta altistumistietoa on saatavilla kaivostöihin ja booraksin tuotantoon liittyvistä työolosuhteista. Työtehtävissä, joissa boraattipitoista puunsuoja-ainetta on levitetty siveltävänä tuotteena, on mitattu alhaisia altistumistasoja. Selluvillan valmistuksesta tai asentamisesta

ei ole käytettävissä mittaustuloksia. On epäilty, että altistuminen olisi suurempaa työtehtävissä, joissa booriyhdisteitä sisältävä materiaali voi esiintyä hengitysilmassa pölyn seassa. Tästä ei kuitenkaan ole esittänyt mittaustuloksia eikä tiedetä, onko altistuminen haitallisen suurta. [21 s. 204–205]

Lisääntymisvaaralliseksi boorihappoa ei ole EU:ssa luokiteltu ja eläinkokeissa on todettu, että altistumistason täytyy olla suurta vaikuttaakseen lisääntymiseen heikentävästi. Kuitenkin on todettu, että riskien hallitsemiseksi booriyhdisteille altistuminen tulee vähentää alhaiselle tasolle. On myös esitetty, että booriyhdisteet tulisi korvata muilla aineilla käyttökohteissa, joissa se on mahdollista. Altistumisen on oletettu olevan haitallisinta töissä, joissa voi muodostua aerosoleja. Lähinnä altistumisen epäillään olevan suurta sellupohjaisten eristemateriaalien valmistuksen yhteydessä. [21 s. 222]

3.4 Biosidit desinfiointiaineena homevaurioissa ja pintojen desinfiointiaineena

Rakennusmateriaalipäästönä booraksia ei ole juurikaan tutkittu, mutta esimerkiksi aikoinaan sitä on käytetty kosteus- ja homevauriokorjauksissa desinfiointiaineena. Nykyään edellä mainitun kaltaisia aineita kutsutaan yleisesti biosideiksi, joita ei yleisesti hyväksytä kosteusvauriokorjauksissa kemikaalien haitallisuuden vuoksi. Biosidit aiheuttavat limakalvoille ja iholle ärsytysoireita kosketuksen kautta. Joidenkin biosidien epäillään olevan haitallisia myös hengitettynä, varsinkin altistuksen ollessa säännöllistä. Ensisijaisesti vaurioituneet materiaalit tulee poistaa ja puhdistaa mekaanisesti. [22 s. 8–10]

Sisätiloissa homeiden ehkäisyssä ja kosteusvauriokorjausten yhteydessä tulee Työterveyslaitoksen suosituksen mukaan siis välttää biosidien käyttöä. Erityisesti polyguanidii-nyhdisteiden (PHMB) ja booriyhdisteiden käyttöä tulee välttää. [22 s. 34]

Terveystieteiden alan rakennuksissa pintoja desinfioidaan säännöllisesti. Niissä esimerkiksi boorihapon käyttö on kielletty tilojen desinfiointiaineena sekä rakennustuotteiden säilytysaineena. [22 s. 32]

3.5 Palonsuoja-aineita sisältävät materiaalit kiertotaloudessa

Viime aikoina rakennusten purkamisten yhteydessä on eri tahojen toimesta kehitetty paljon kiertotaloutta ja rakennusmateriaalien *uusiokäyttöä* sekä *uudelleenkäyttöä*. Tahtotilana on mahdollisimman pienen jätemäärän syntyminen, ja näin ollen pyritäänkin ensisijaisesti käyttämään purettavat tuotteet uudelleen sellaisenaan; tällöin puhutaan tuotteen tai materiaalin *uudelleenkäytöstä*. Kyseinen purettava uudelleenkäytettävä tuote voidaan hyödyntää samalla tontilla tehtävän uudisrakennuksen osana, myydä eteenpäin sellaisenaan tai toimittaa rakennusosia ja -tuotteita vastaanottavaan kierrätyskeskukseen, joka välittää tuotteen eteenpäin uudelleenkäytettäväksi. [23]

Uusiokäytöllä tarkoitetaan, että purettavalle rakennusosalle tai -tuotteelle kehitetään uusi käyttötarkoitus. Näistä tunnetuin lienee betonimurska, jota purettavista rakennuksista saadaan, ja sitä käytetään esimerkiksi joko tierakentamisessa tai esimerkiksi purettavan rakennuksen maatäytöissä. Betonin tulee olla maatäyttöihin soveltuvaa, eikä se saa sisältää haitalliseksi luokiteltavia aineita. Myös lämmöneristeitä voidaan käyttää uusiokäytössä; esimerkiksi väliseinien eristevilloista voidaan valmistaa puhallusvilla silppuamalla. [23]

Materiaalin ensisijainen tavoite on siis sen uudelleenkäyttäminen. Uudelleenkäytettävälle tuotteelle ei tarvita erillistä CE-merkintää, mikäli tuote käytetään sellaisenaan. Uudelleenkäytettävän materiaalin tai tuotteen soveltuvuus uuteen kohteeseen tulee kuitenkin pystyä todentamaan tarvittaessa. Tämä saattaa edellyttää erillisten testauksien tekemistä. [24]

Purettavien rakennusmateriaalien hyödyntäminen joko uusiokäytössä tai uudelleenkäyttävänä edellyttää, että niistä ei aiheudu haittaa rakennukselle tai sen käyttäjille. Tässä tulee huomioida turvallisuus ja terveellisyys, eli esimerkiksi palonsuoja- ja homeenestoaineiden osalta tulisi varmistaa suoja-aineiden riittävyys ja pitoisuus purettavien materiaalien osalta. [24]

4 Materiaaliemissiot

Vielä muutama vuosikymmen sitten rakennukset valmistettiin lähinnä mekaanisesti käsitellyistä materiaaleista, mutta nykyrakentamisessa käytetään niin sanottuun perinnerakentamiseen verrattaessa paljon kemiallisesti prosessoituja materiaaleja. Kemiallisesti käsitellyjä materiaaleja käytetään nykyään paljon varsinkin pintamateriaaleissa, jolloin niillä on suora sisäilmayhteys. [25 s. 7]

Perinnerakentamisessa käytettiin myös kemiallisia yhdisteitä esimerkiksi kosteuden suojaamiseen ja puumateriaalien sinertymisen estoon. Osaa näistä kemikaaleista pidetään nykyään haitallisina aineina, vaikka ne olivat perinnerakentamisen aikana hyväksytyjä suoja-aineita. Aiemmin kosteuden suojaamiseen käytettiin muun muassa kivihiilipikeä sisältäviä suoja-aineita. Kyseisen kaltaisten suoja-aineiden tiedetään nykypäivänä olevan ihmiselle haitallista ja ne luokitellaan yleisesti haitta-aineeiksi rakennuksissa. Kivihiilipien poistamista varten on laadittu oma Ratu-kortti turvallisen työskentelyn takaamiseksi. Lähtökohtaisesti kivihiilipikeä sisältävät purkutyt tulee tehdä ennen muita purkutöitä osastointimenetelmällä ja huolehtimalla henkilökohtaisista suojautumisista. Myös jätteenkäsittelyssä tulee huomioida viranomaisohjeet. Kivihiilen poistamiseen rakennuksista ovat erikoistuneet lähinnä haitta-ainepurkuja suorittavat yritykset. [26 s. 3]

Sinertymisen estoon on käytetty puumateriaaleille lähinnä kloorifenoleita, joista tunnetuin lienee 1930–1980-luvuilla käytetty KY-5. Mikäli kloorifenoleilla kyllästetyn puuaineksen pinnoilla alkaa esiintymään mikrobikasvustoa, ja mikrobit tuottavat omia aineenvaihduntatuotteitaan, syntyy kloorianisoleja. Nämä kloorianisolit aiheuttavat hajua, joka koetaan helposti yleisesti tunnettuna homeen kaltaisena hajuna. Hajukynnyksen tiedetään olevan alhainen, ja näin ollen homeen kaltainen haju voikin aiheuttaa ihmisille oireilua, jonka voi aiheuttaa esimerkiksi stressi yhdessä hajuhavainnon kanssa. Kloorianisoleille ei ole olemassa terveysperusteisia raja-arvoja, ja niiden sisäilman mahdollisista haitatekijöistä on vähän olemassa olevaa luotettavaa tutkimustietoa. [27]

Kemikaalien on tarkoitus antaa suojaa rakennusmateriaaleille niiden altistuessa kosteudelle tai poikkeavalle lämpötilalle. Kemikaalit saattavat olla rakennusmateriaalin suojana toimiessaan myös riski rakennuksen käyttäjän terveydelle. Rakennuksen käyttäjä voi altistua terveydelle haitalliselle rakennusmateriaalin suoja-aineelle sisäilman kautta, edellyttäen, että haitallista kemikaalia päätyy sisäilmaan haitallisissa määrin. [25 s. 7–8]

Emissiolla tarkoitetaan materiaalista vapautuvien yhdisteiden haihtumista ympäröivään ilmaan. Kun aine on vapautunut ilmaan, voi ainetta siirtyä rakenteiden yli diffuusio- tai konvektioilmiön vaikutuksesta. Näistä sisäilman emissioiden kannalta merkittävämpää on konvektiolla emittoituva aine. Konvektion seurauksena emittoitunutta ainetta siirtyy ilmavirtausten mukana rakenteiden lävitse. [25 s. 9]

Molempiin siirtymämuotoihin vaikuttaa oleellisesti ilman ja materiaalin lämpötila ja kosteus. Emission kulkeutumiseen tilojen merkittävänä tekijänä on myös tilojen välinen paine-ero. Emission ja sitä kautta sisäilmassa esiintyviin pitoisuuksiin vaikuttaa ensisijaisesti materiaalin kemiallinen koostumus sekä materiaalin massa. [25 s. 9]

Lopulliseen sisäilmassa esiintyvään emissiopitoisuuteen ilmanvaihtokertoimella on iso rooli [25 s. 9].

4.1 Emissioiden esiintyminen ja hiipuminen

Rakennusmateriaalien aiheuttamat emissiopäästöt ovat suurimmillaan materiaalien elinkaaren alkuvaiheessa. Materiaalin aiheuttamat emissiopäästöt luonnollisesti vähenevät emittoituvan aineen pitoisuuden vähentyessä materiaalissa. Rakennusvaiheessa ja materiaalien emissiopäästöt ovat yleensä suurimmillaan. [25 s. 10]

Rakennusvaiheen aikaisen ja osittain myös sen jälkeisenä materiaalien kuivumisaikana on myös korkeita emissiopäästöjä. Kaikki materiaalit eivät kuivu lopulliseen kosteuspiitoisuuteen ennen rakennuksen käyttöön ottamista. Tästä syystä rakennusta ei tulisi ottaa käyttöön heti valmistumisen jälkeen. Olisi suotavaa, jos rakennusta voitaisiin pitää ilman käyttäjiä, lämmityksen ja ilmanvaihdon ollessa päällä useita viikkoja ennen käyttöönottoa. Tällä pyritään ehkäisemään käyttäjien altistumista emissiopäästöille vastavalmistuneissa rakennuksissa. [25 s. 10–11]

Emissiopäästöjen tiedetäänkin olevan erityisesti uusien kiinteistöjen ongelma. Mutta myös vanhoissa kiinteistöissä on emissiopäästöongelmia varsinkin poikkeavan kosteuden seurauksena. [25 s. 10–11]

4.2 Kosteus ja lämpötilaolosuhteet ja emissiopäästöt

Kosteudella ja lämpötilalla on suuri merkitys emissiopäästöihin. Esimerkiksi lattiamateriaalien päästöjä tutkittaessa on todettu, että kosteuspitoisuudella on selkeä merkitys emissiopäästöjen esiintymiseen. Kosteuden noustessa myös emissiopäästöjen on todettu nousevan. [28 s. 7]

Tunnetuimpia lämpötilaan ja kosteuteen reagoivia emissiopäästöjä on 2-etyyli-1-heksanoli, joka tunnetaan hyvin muovimattojen liimojen emissiopäästönä kohteissa, joissa on poikkeavaa kosteutta muovimaton alapuolella. [28 s. 7–9]

Myös sisäilmamittauksia tehtäessä on todettu, että huoneen kosteuspitoisuuden ja lämpötilan noustessa myös emissiopitoisuudet nousevat. Aikoinaan paljon tutkittu kosteuteen ja lämpötilaan reagoiva emissiopäästö on vanhoista lastulevyistä sekä liimoista emittoituva formaldehydi, joka aiheuttaa hengitystieoireilua ja sen todettu lisäävän astman riskiä. [29 s. 3 ja s. 7]

Myös lämpötilalla tiedetään olevan vaikutusta materiaalien emissiopäästöihin. Eritoten lämpötilan vaihtelulla on jopa pyritty poistamaan vauriokohteissa materiaalien aiheuttamia emissiopäästöjä. Kosteusvauriokohteissa on haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuutta alennettu lämpökäsittelyllä, jossa sisäilman lämpötilaa nostetaan ja lasketaan vuorotellen erillisillä lämmitys- ja puhallinlaitteilla. Koeolosuhteissa materiaalin lämmittäminen ja tuulettaminen poistaa materiaalin yhdisteitä tehokkaasti. [28 s. 27–32]

4.3 Yläpohjan olosuhteet Suomessa

Kuten edellä esitettiin, on ympäristön olosuhteilla merkitystä materiaaleista vapautuvien emissioiden pitoisuuksiin. Tästä syystä yläpohjassa vallitsevilla olosuhteilla on merkittävä vaikutus materiaalipäästöille, joita yläpohjassa käytetyistä rakennusmateriaaleista mahdollisesti emittoituu.

Rakennusten yläpohjassa lämpötila- ja kosteusolosuhteet voivat vaihdella suuresti. Suomessa vaihteluun vaikuttaa oleellisesti vuodenaika. Kaikki ulkoilmassa tapahtuvat olosuhdevaihtelut vaikuttavat myös rakenteiden olosuhteisiin. [8 s. 37]

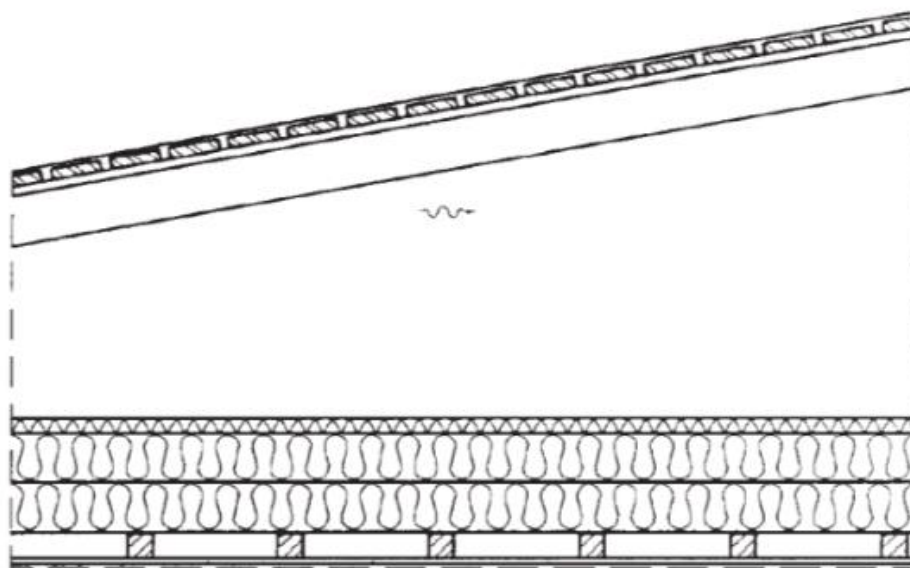
Ulkoilman lämpötilaan vaikuttaa luonnollisesti suurimmissa määrin auringon aiheuttama lämpösäteily. Lämpösäteilyn vaikutus rakennukseen vaihtelee myös rakennuksen sijainnin mukaan. Rakenteiden lämpötila määräytyy ulkoilman lämpötilan lisäksi siis myös suuresti auringon lämpösäteilyn mukaan. Esimerkiksi keväällä yläpohjassa saattaa olla yhden vuorokauden aikana erittäin suuria muutoksia. Aurinkoisena pilvettömänä kevätpäivänä yläpohjan lämpötila voi olla hyvinkin korkea ulkoilman lämpötilan ja lämpösäteilyn vuoksi. Auringon laskiessa ja ilman pysyessä pilvettömänä myös yöllä, pääsee rakenteisiin kerääntynyt lämpö palaamaan avaruuteen, ja näin ollen rakennuksen päivällä lämmenneet rakenteet pääsevät jäähtymään. Saman vuorokauden aikana voidaan näin ollen esimerkiksi rakennuksen yläpohjassa todeta toisistaan paljon poikkeavia lämpötiloja. [8 s. 37–38]

Suomessa on kohtalaisen suurta vaihtelua ilmastossa maantieteellisen sijainnin vuoksi. Vaihtelu on epäsäännöllistä ilmavirtauksien suunnan mukaan, sillä Suomi sijaitsee alueella, johon vaikuttaa ajoittain korkeapaine ja ajoittain matalapaine. Tällä hetkellä Suomen keskilämpötila vuoden aikana on yleisesti -2:n ja +5:n°C-asteen välillä. Tämän opinäytetyön aiheen kannalta on kuitenkin suurempi merkitys suurilla lämpötilavaihteluilla, joita Suomessa tyypillisesti esiintyy. [8 s. 38]

Tulevaisuudessa ilmaston on ennustettu muuttuvan Suomessakin nykyistä lämpimämmäksi. Ennusteiden mukaan talvet tulevat olemaan nykyistä leudompia ja kesällä hellejaksot lisääntyvät. Myös hellejaksojen aikana esiintyvien korkeiden lämpötilojen on ennustettu nousevan nykyistä korkeammiksi. [8 s. 38]

Kuvassa 5 sivulla 21 on tyypillinen yläpohjarakenne, josta ilmenee yläpohjan tuuletustila. Tuuletustilan ja sisätilan välissä on lämmöneristekerros. Lämmöneristekerroksen olosuhteet ovat eristeen yläpinnassa enemmän riippuvaisia ulkoilman olosuhteista kuin eristeen alapinnassa. [30 s. 13]

Yläpohjan eristeen yläpinnan olosuhteita mitattiin tämän opinäytetyön kirjoittajan toimesta kahdessa eri asuinkohteessa Espoossa. Olosuhdemittausten mittaustulokset ovat tämän opinäytetyön osiossa 9.



Kuva 5. Tyypillinen puurakenteinen yläpohjarakenne [30 s. 13]

Kun asuinhuoneistojen olosuhdemittausten tulokset olivat tiedossa, hyödynnettiin niitä asiantuntijahaastatteluissa. Haastatteluissa tuotiin esille mitatut olosuhteet tuulettuvissa yläpohjissa ja niiden mahdollisia vaikutuksia eristemateriaalin emissiopäästöihin ja yläpohjan rakennusfysikaaliseen toimivuuteen pohdittiin yhdessä eri asiantuntijoiden kanssa. Asiantuntijoiksi valikoitiin pitkään alalla toimineita kokeneita asiantuntijoita. Asiantuntijahaastatteluista ja niiden kautta saadusta lisätiedosta on työssä oma osio myöhemmin.

4.4 Yläpohjan olosuhteiden vaikutus rakennusmateriaaleille tehtäville tutkimuksille

Yleisesti rakennusmateriaaleille tehdään emissiopäästömittauksia niin sanotulla bulk-määrityksellä. Bulk-määrityksessä selvitetään rakennusmateriaalin emissioita mikrokammiolaitetta hyödyntämällä. Materiaalin kokonaisemissioiden pitoisuudet ilmoitetaan yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$. Samasta materiaalinäytteestä voidaan analysoida useita eri päästöjä / emissioita kuten VOC-, formaldehydi-, aldehydi- ja ammoniakkiemissiöt. [31]

Rakennusmateriaaleille tehtävät emissiomittaukset tehdään vakioituissa olosuhteissa, joista ei tämän opinnäytetyön yhteydessä otettu tarkemmin selvää. Vakiintuneet mittausmenetelmät perustuvat standardeihin ISO 16000-9 ja EN 16516. Nykyään

rakennusmateriaaleille annetaan usein myös päästöluokituksia, joista tunnetuin ja Suomessa käytetyin on M1-luokitus. M1-luokituksessa hyödynnetään niin ikään kammiotekniikalla tehtäviä materiaalin päästömittauksia. [31]

Suomessa on kehitetty vuonna 2017 RTS-ympäristöluokitus, jonka tarkoituksena on kehittää kestävää rakentamista huomioiden Suomen ilmasto-olosuhteet sekä rakentamista säätelevä lainsäädäntö. Nykyiset säädökset säätelevät, että rakennuksissa käytettävät materiaalit eivät saa aiheuttaa haitallisia päästöjä esimerkiksi ympäristöön tai sisäilmaan. Materiaalien aiheuttamat emissiot on jaettu kolmeen eri osaan, joista suurin osa koostuu höyrinsulkutuotteiden sisäpuolisista materiaaleista. [32 s. 21–27]

Koska lämmöneristeet sijoitetaan lähes kokonaisuudessaan höyrinsulkutuotteiden ulkopuolelle, ei niille sovelleta edellä mainitussa luokituksessa suurinta painoarvoa saavaa osaa.

4.5 Yläpohjan lämmöneristeille kehitettävät emissiomittaukset

Yleisesti bulk-määrittämisessä eli materiaalien emissiomittauksessa käytetään siis vakioituja olosuhteita. Tämä on tärkeä ja hyvä tapa, jotta eri rakennusmateriaalien päästöjä voidaan verrata keskenään luotettavasti. Koska tässä opinnäytetyössä keskityttiin yläpohjan lämmöneristeiden mahdollisesti aiheuttamiin emissiopäästöihin, pohdittiin laboratorioasiantuntijoiden kanssa emissiopäästöille kehitettävää mittaustapaa nimenomaan käytönmukaisissa olosuhteissa. Toisin sanoen emissiokammion sisäpuolisen lämpötilan ja suhteellinen kosteustilanteen tulisi vastata yläpohjassa todettuja olosuhteita.

Samalla selvitettiin mahdollisuuksia ja tarpeita eri näytteenottomenetelmille. Perinteisesti emissiopäästöjä selvitetään eri menetelmillä, joita ovat muun muassa sisäilmasta kerättävät näytteet sekä päästölähteiden selvittämiseen kehitetyt FLEC-mittaukset, kupunäytteet ja materiaalinäytteet, joita kutsutaan BULK-näytteiksi.

Ilmanäyte kerätään rakennuksen sisäilmasta oleskeluvyöhykkeeltä. Ilmanäytteenotosta on esitetty kuva 7 sivulla 23. Ilmanäytteen tulokseen vaikuttavat esimerkiksi ilmanvaihtuvuus, ikkunatuuletus ja sisäilman olosuhteet. Ilmanäytteellä ei voida paikantaa mahdollisesti esiintyvien emissioiden lähdettä. [29 s. 3]

Emissiolähteen paikantamiseen on kehitetty muun muassa *FLEC-mittaus* ja *kupumittaus*. Flec-mittauksesta on esitetty kuva 6 ja kupumittausta havainnollistaa kuva 8 sivulla 24. Näissä tutkittavan rakenteen pintaan asennetaan mittauskammio, jonka sisäpuolelta mitataan haluttuja emissioita. Kupumittauksessa kammion sisään imetään suodatettua sisäilmaa, kun taas FLEC-mittauksessa kammioon syötetään puhdasta synteettistä ilmaa. FLEC-mittaus on standardisoitu. *Materiaalinäytteestä* emissioita tutkittaessa kerätään haluttua materiaalia esimerkiksi puhtaaseen tiiviiseen lasipurkkiin ja materiaalin emissiopäästöjä voidaan tutkia laboratoriossa tehtävillä mittauksilla. Materiaalinäyte tulee toimittaa laboratorioon mahdollisimman pian. [29 s. 5–6]



Kuva 6. Vasemmalla, työmaa-aikainen FLEC-mittaus, kuva Mikael Valkeejärvi, IdeaStructura Oy

Kuva 7. Oikealla, työmaa-aikainen ilmanäyte, kuva Mikael Valkeejärvi, IdeaStructura Oy



Kuva 8. Lattiapäällysteeseen kohdistettu kupunäyte sekä ilmanäyte, kuva Mikko Niskanen, IdeaStructura Oy

5 Hiukkasmaiset epäpuhtaudet

Emissiopäästöjen lisäksi eristemateriaaleista vapautuu hiukkasmaisia epäpuhtauksia. Hengitettävillä hiukkasilla tarkoitetaan hiukkasia, joiden halkaisija on alle $10\mu\text{m}$. Tämän kokoluokan hiukkaset jäävät ylempiin hengitysteihin, eli keuhkoputkiin, nenään ja nieluun. Hengitettävälle hiukkasille on annettu Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen osassa 3 toimenpiderajaksi $50\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. [29 s. 9]

Tätä pienemmille hiukkasille on annettu edellä mainitussa ohjeessa toimenpideraja myös hiukkasille, joiden halkaisija on alle $2,5\ \mu\text{m}$. Tämän kokoluokan hiukkasista puhutaan pienhiukkasina ja ne voivatkin kulkeutua jopa keuhkorakkuloihin saakka. Pienhiukasten toimenpiderajaksi on asetettu $25\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. [29 s. 9]

Hiukkasmaisia epäpuhtauksia kulkeutuu sisätiloihin pääasiassa ulkoilmasta. Sisäpuolisia hiukkaslähteitä syntyy lähinnä ihmisen toiminnan aiheuttamana, kuten ruuanlaitto, kynttilän tai takan polttaminen. Näin ollen sisäisten lähteiden ajallinen kesto on usein rajallista. [29 s. 9]

Hiukkasmaisista yhdisteistä puhuttaessa hiukkaskoolla onkin suuri merkitys niiden liikkeisiin. Kaikista pienimmät hiukkaset, alle 0,1 µm kokoiset, käyttäytyvät kaasumaisesti ja niiden liikkeet ovat ennalta vaikeita päätellä. Hiukkaset, joiden koko on välillä 0,1–1,0 µm laskeutuvat ja liikkuvat käytännössä ilmavirtausten mukana. Ihmiselle haitallisimpia hiukkasia ovat kaikkein pienimmät, alle 2,0 µm kokoiset hiukkaset. [33 s. 259]

5.1 Hiukkasmaisten epäpuhtauksien kulkeutuminen sisätiloihin

Eristevilloista irtoaa yläpohjassa hiukkasmaisia epäpuhtauksia lähinnä ilmavirtausten vaikutuksesta, varsinkin hyvin tuulettuvissa yläpohjatiloissa. Toisin siis kuin sisälähteiden osalla, ihmisen toiminnalla ei juurikaan ole vaikutusta yläpohjan eristemateriaalin hiukkaspäästöihin. Yläpohjan höyrynsulun tai ilmansulun toimiessa moitteettomasti, ei hiukkasmaisia epäpuhtauksia pitäisi kulkeutua sisätiloihin. Opinnäytetyön tekijä on kuitenkin työssään todennut, että yläpohjan höyrynsulun / ilmansulun ilmanpitävyydessä on usein merkittäviä puutteita. Puutteita on tähän asti selvitetty muun muassa ilmavuotoselvityksillä, joissa yläpohjatilaan lasketaan merkkiainetta ja sen kulkeutumista sisätiloihin selvitetään erillisillä kaasuanalysaattoreilla. Yleisimmin merkkiaineina käytetään typpietyseosta sekä rikkiheksafluoridia. Toinen yleinen ilmavuotojen selvitystapa on lämpökuvaukset. Lämpökuvauksia voidaan luotettavasti suorittaa vain tietyissä olosuhteissa, ja niissä näkyvät ilmavuotojen lisäksi myös mahdolliset lämpövuodot ja kylmäsilat, joiden kautta ei välttämättä ole varsinaista ilmavuotoa sisätiloihin.

Sisäilmasta voidaan mitata hiukkasia eri kokoluokissa muun muassa suoraan osoittavilla hiukkamittareilla tai -laskureilla. Kyseisenlaiset laitteet ovat suuntaa antavia niihin liittyvien epävarmuuksien vuoksi. Tarkempien tulosten saamiseksi vaaditaan punnitusmenetelmää. [29 s. 9]

Pelkillä hiukkasmittauksilla ei voida todeta hiukkasten koostumusta, ainoastaan kokonaishiukkaspitoisuutta, jonka perusteella ei voida päätellä hiukkasten alkuperää.

6 Rakennuksen painesuhteet

Suomessa rakennukset usein suunnitellaan kosteusteknisen toiminnan kannalta hieman alipaineisiksi. Käytännössä sisäilman laadun kannalta tulisi paine-eron olla mahdollisimman lähellä 0 pascalia. Ideaali paine-ero on ± 5 pascalia. Tähän on usein erittäin vaikea päästä edes koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla varustetuissa rakennuksissa.

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaan alipaineen ollessa yli 15 pascalia, on alipaineisuuden syy selvitettävä ja alipaineisuutta tulisi pienentää mahdollisuuksien mukaan [34 s. 14].

Käytännön tutkimuksissa todellisissa rakennuksissa opinnäytetyön tekijä on todennut, että rakennukset ovat usein merkittävän alipaineisia ulkoilmaan nähden.

6.1 Rakennuksen painesuhteiden muodostavat tekijät

Alipaineisuudella voi olla merkittävä vaikutus erilaisten epäpuhtauksien kulkeutumiseen sisätiloihin. Ylipaineen vallitessa taasen saattaa olla kylminä vuodenaikoina mahdollisuus kosteuden tiivistymiselle viilleille rakenteille. Ilma siirtyy korkeammasta paineesta alhaisempaan paineeseen, eli ylipaineen puolelta kohti alipaineista tilaa.

Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttaa pääasiassa kolme seuraavaa tekijää:

- Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä
- Ilman lämpötilaerot (niin sanottu savupiippuilmio)
- Rakennukseen kohdistuva tuulen paine
- Ilmanpitävyys ja ilmavuotokohtien sijainti ja määrä

Painesuhteet vaihtelevat suurestikin ulkoisten olosuhteiden ja esimerkiksi ilmanvaihtokoneiden käynnin mukaan. Ilmanvaihdon toiminnalla onkin suuri merkitys rakennuksen ulkovaipan yli vaikuttavaan paine-eroon.

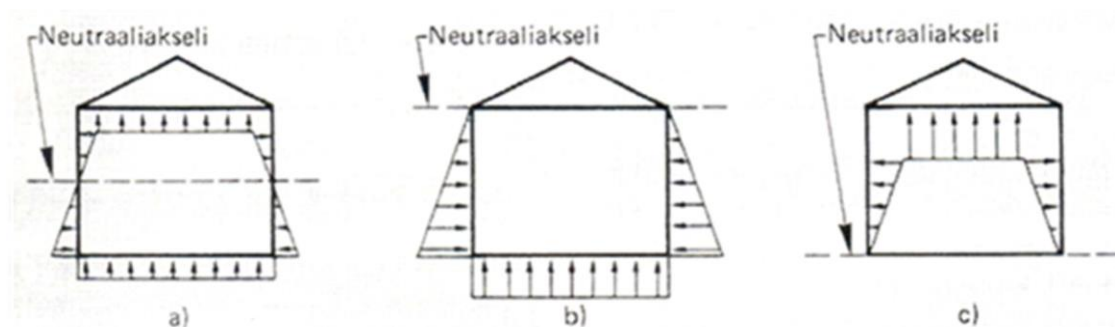
Kaikkiin rakennuksen painesuhteisiin vaikuttaviin tekijöihin on teknillisillä toimenpiteillä mahdotonta vaikuttaa, mutta näistä suurista painesuhteisiin vaikuttavista tekijöistä on helpoin vaikuttaa rakennuksen ilmanvaihtoon. Ilmanvaihdon merkitys painesuhteisiin

onkin nykyrakentamisessa merkittävä, sillä määräysten ja asetusten mukaiset ilmanvaihtokertoimet ovat kasvaneet koneellisen ilmanvaihdon yleistytessä. Toisin sanoen, ilmaa liikutetaan rakennukseen ja rakennuksesta pois isoja määriä ja se toteutetaan nykyään lähes poikkeuksetta koneellisesti. Mikäli ilmanvaihdon säädöissä on puutteita, voi rakennus olla ajoittain tai jopa jatkuvasti merkittävän ali- tai ylipaineinen.

6.2 Savupiippuilmio

Ilman lämpötilaerot vaikuttavat painesuhteisiin suurimmillaan lämpötilaerojen ollessa suuria, jolloin savupiippuilmion vaikutuksesta kylmällä ilmalla rakennuksen alaosaan muodostuu alipainetta ja yläosaan ylipainetta. Savupiippuilmion aiheuttaman paine-eron voimakkuuteen vaikuttaa oleellisesti myös rakennuksen korkeus, siten, että ilmiö korostuu korkeissa rakennuksissa. Savupiippuilmiota havainnollistetaan kuvassa 9. [35 s. 10]

Savupiippuilmio kuitenkin käytännössä kumoutuu rakennuksen sisäisellä toiminnalla ja ilmanvaihdon vaikutuksesta. Mahdollista ylipaineisuutta esiintyy yleisimmin ullakkotiloissa sekä kattorakenteiden yli. Myös puutteellinen poistoilmanvaihto sekä poikkeavan korkea sisäilman lämpötila voivat aiheuttaa rakennuksen yläosiin ylipaineisuutta. Nämä kaikki ovat kuitenkin lähtökohtaisesti tavanomaisesta rakennustavasta poikkeavuuksia.



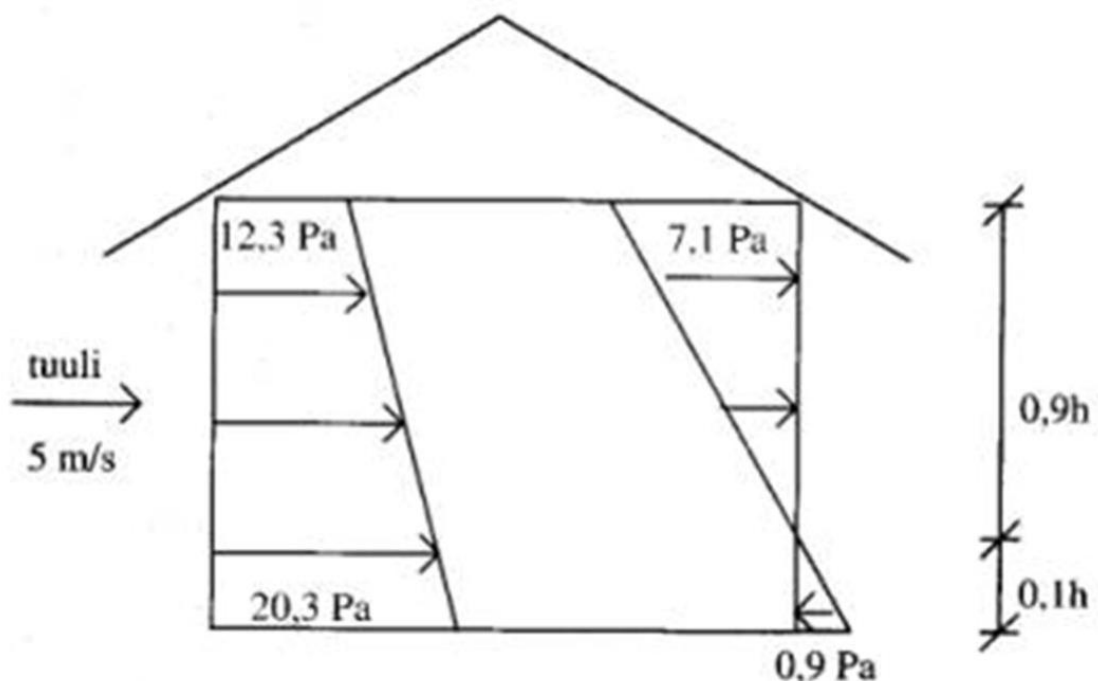
Kuva 9. Savupiippuilmion aiheuttama niin sanottu neutraaliakseli. Neutraaliakseliin vaikuttaa rakennusosissa esiintyvät epätiiveydet. Yllä olevassa kuvassa a) ulkovaipan tiiviys on tasaisesti jakautunut, kuvassa b) esiintyy epätiiveyksiä rakennuksen yläosissa ja kuvassa c) suurimmat epätiiveydet esiintyvät alaosissa [35 s. 10]

Kuvasta 9 huomataan, että savupiippuilmion aiheuttamat painesuhteet ovat riippuvaisia lämpötilaerojen ja rakennuksen korkeuden sekä muodon lisäksi myös rakenteissa sijaitsevien epätiiveyskohtien sijainnista. Mikäli rakennuksen ilmavuodot eli epätiiveyskohdat

sijaitsevat rakennuksen yläosissa, siirtyy neutraaliksi ylemmäs. Jos savupiippuilmiön lisäksi rakennuksen ilmanvaihto mahdollistaa alipaineen muodostumisen, on hyvinkin oletettavaa, että rakennus on alipaineinen koko ulkovaipan osalta. [35 s. 9–10]

6.3 Tuulen vaikutus

Tuulen vaikutus painesuhteisiin on hetkittäistä, mutta sen vaikutus saattaa olla kuitenkin merkittävän suuri. Ensisijaisesti muodostuvaan paine-eroon vaikuttaa tuulen voimakkuus, mutta myös rakennuksen muodolla ja sijainnilla on merkitystä paineen muodostumiseen. Tuulen puolella, sisäpuolelta tarkasteltuna, rakennuksen ulkovaipan yli vaikuttaa alipaine (ilmavirtaus sisätiloihin päin), ja saman aikaisesti tuulen alapuolella rakennuksen ulkovaipan yli vaikuttaa ylipaine (ilmavirtaus sisätiloista ulospäin). Kuva 10 kuvaa tuulen aiheuttamaa painetta rakennukselle. Käytännössä siis rakennuksesta tuulee läpi. Kattorakenteisiin syntyvään tuulen aiheuttamaan paineeseen vaikuttaa myös muun muassa katon muoto ja koko. [35 s. 9–11]



Kuva 10. Suuntaa antava esimerkkikuva tuulen muodostamasta paineesta [35 s. 9]

6.4 Ilmanvaihdon vaikutus painesuhteisiin

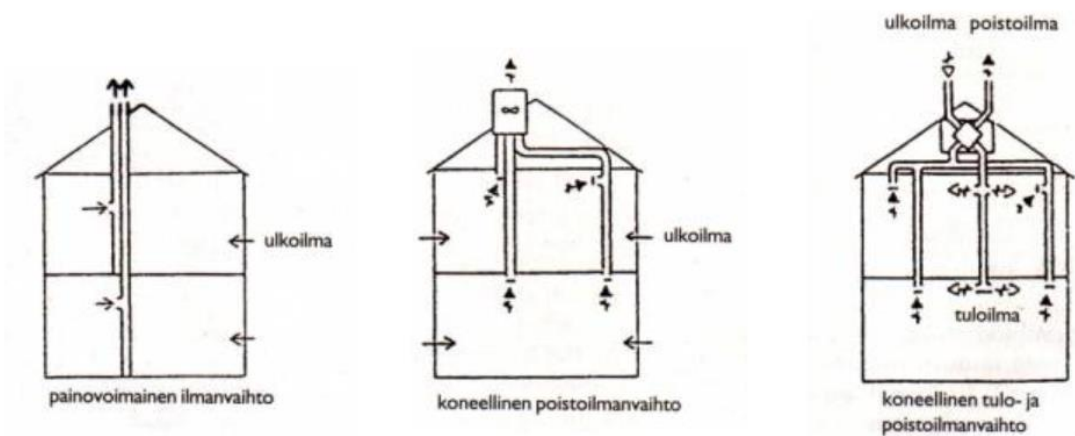
Kuten aiemmin todettiin, ilmanvaihtojärjestelmä on tekijä, jonka muodostamaan paineroon voidaan vaikuttaa teknillisillä toimilla.

Ilmanvaihtojärjestelmiä Suomessa on yksinkertaisesti esitetty kolmea eri tyyppiä. Näitä ovat painovoimainen ilmanvaihto, josta käytetään ajoittain myös nimitystä luonnollinen ilmanvaihto, koneellinen poistoilmanvaihto sekä koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Kuvassa 11 sivulla 30 on esitetty kolmen yleisimmän ilmanvaihtojärjestelmän periaatteet. [33 s. 208]

Painovoimainen ilmanvaihto perustuu savupiippuilmioon ja tuulen aiheuttamaan ilmanvaihtuvuuteen. Näin ollen painovoimainen ilmanvaihto aiheuttaa harvemmin merkittävän suurta ja pitkäkestoista alipaineisuutta itsessään. Teoriassa painovoimaisen ilmanvaihdon rakennuksissa on suurempaa alipaineisuutta rakennuksen alaosissa ja ylipaineisuutta rakennuksen yläosissa. [33 s. 208–209]

Koneellinen poistoilmanvaihto on yleinen ilmanvaihtojärjestelmä varsinkin asuinrakennuksissa. Osa koneellisen poistoilmanvaihdon järjestelmistä on varustettu korvausilma-venttiileillä ja osassa korvausilman saanti rajoittuu rakenteellisiin ilmapuotoihin. Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä ilmaa nimensä mukaisesti poistetaan koneellisesti, joten sen toiminta ja tehokkuus ei ole riippuvainen ulkoisista olosuhteista. Koneellisen poistoilmanvaihdon takia rakennus on yleensä alipaineinen koko ulkovaipan osalta. [33 s. 215]

Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon rakennuksissa pyritään ilmanvaihto säätämään siten, että rakennus on hieman alipaineinen ulkoilmaan nähden. Rakenteellisista ratkaisuista riippuen rakennus saattaa silti olla ylipaineinen ulkoilmaan nähden yläosiltaan. Kun rakennuksen ilmanvaihto hoidetaan kokonaan koneellisesti, pyritään kuitenkin säätämään ilmanvaihdon avulla koko rakennus alipaineiseksi ulkovaipan osalta, jotta välttäisiin kylminä vuodenaikoina sisäilman sisältämän kosteuden tiivistymiseltä viilleille pinnoille [35 s. 12]



Kuva 11. Eri ilmanvaihtojärjestelmien periaatekuvat [33 s. 208]

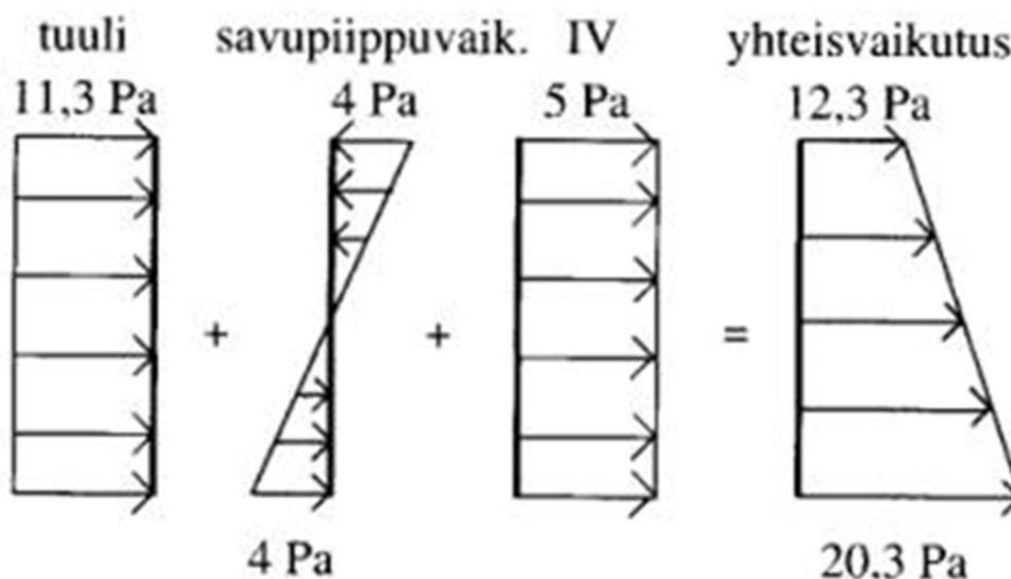
Kuvan 11 mukaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä painovoimaisessa ilmanvaihdossa alipaineisuus on harvoin suurta ja siihen vaikuttavatkin oleellisesti ulkoiset tekijät, kuten tuulen suunta ja voimakkuus sekä lämpötilaerot.

Koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetut rakennukset ovat pääsääntöisesti aina alipaineisia koko ulkovaipan osalta. Rakenteellisten ilmapuotojen esiintymiseen vaikuttaa oleellisesti myös mahdollisten korvausilmaventtiilien määrä, koko ja sijainti.

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto on lähtökohtaisesti näistä järjestelmistä mahdollista tasapainottaa siten, että rakennuksen painesuhteet ovat hyvää tasoa.

6.5 Painesuhteiden muodostuminen kokonaisuutena

Rakennuksen ulkovaipan yli vaikuttavaan paine-eroon vaikuttavat siis useat eri tekijät. Kokonaispaine-eron muodostavat karkeasti esitettynä tuulen aiheuttama paine, savupiippuilmio sekä ilmanvaihto. Kuvassa 12 sivulla 31 on esitetty tuulen, ilmanvaihdon ja savupiippuilmion vaikutus rakennuksen painesuhteisiin. [35 s. 9]



Kuva 12. Tuulen, ilmanvaihdon ja savupiippuilmion vaikutus rakennuksen painesuhteisiin [35 s. 9]

Käytännössä rakennuksen painesuhteita on mahdotonta hallita kaikissa olosuhteissa, ja useimpien rakenteiden yli vaikuttaa ajoittain alipainetta ja ajoittain ylipainetta. Sisäilman laadun kannalta onkin oleellista selvittää aina, mitkä ovat tutkittavan rakennuksen osalta vallitsevat yleisimmät ja näin ollen merkittävimmät painesuhteet. Kun tiedetään vallitsevat painesuhteet, voidaan selvittää, aiheutuuko rakenteen kautta ilmapuotoja sisäilmaan sellaisen materiaalin tai rakenteen lävitse, josta voi kulkeutua epäpuhtauksiksi luokiteltavia hiukkasia tai kaasumaisia yhdisteitä.

7 Selluvillaeristeiden mahdollinen haittavaikutus sisäilmaan

Lämmöneristeet ovat Suomen ilmaston olosuhteissa välttämättömiä. Eristeet eivät kuitenkaan saa aiheuttaa mahdollista terveyshaittaa rakennusten käyttäjille. Yleisesti on tiedossa, että lämmöneristeiden läpi kulkeutuva vuotoilma ei ole puhdasta ja vuotoilman määrä tulisi olla mahdollisimman alhainen. Tämä koskee kaikkia lämmöneristeitä, jotka ovat ilmaa läpäiseviä. Mineraalivillaeristeiden osalta Suomessa on käytössä tutkimusmenetelmiä, joilla voidaan laskeumapölystä selvittää mineraalikuitujen esiintymistä ja laskennallista pitoisuutta. Selluvillapohjaisilla eristemateriaaleilla ei vastaavaa

menetelmää ole, joten tässä opinnäytetyössä on keskitytty selluvillapohjaisten eristeiden tutkimuksiin ja nykytietämykseen.

Kuten aiemmin on todettu, kosteusteknisen toimivuuden kannalta rakennusten tulisi olla Suomessa hieman alipaineisia. Alipaineisuudella pyritään välttämään sisäilman sisältämän kosteuden tiivistymistä ulkovaipan rakenteisiin. Alipaineisuus kuitenkin mahdollistaa ilmavuotojen kautta kulkeutuvien epäpuhtauksien pääsyn sisätiloihin, mikäli ulkovaipan rakenteissa on ilmavuodon mahdollistavia vuotokohtia.

7.1 Hirsi- ja perinnerakentamisen asiantuntijoiden ajatuksia

Niin sanottu perinnerakentaminen on Suomessa edelleen suosittua. Yleisesti perinnerakentaminen on ekologista ja sillä saavutetaan usein myös terveitä ja pitkäikäisiä rakennuksia. Vuonna 2017 rakennetuissa loma-asunnoissa hirsi valittiin jopa 70 % rakennuksista päärakennusmateriaaliksi. Omakotitaloissakin hirren osuus oli lähes 30 %. Osaltaan suosion kasvuun vaikuttaa nimenomaan sen pitkäikäisyys, ekologisuus ja perinteinen rakennustapa. [36 s. 14]

Perinnerakentamista / ekologista rakentamista suositaan myös yksityisten rakentajien piireissä eli niin sanottujen ”tee se itse”-toimijoiden parissa. Omatoimirakentajat ovat aktiivisia tiedon keruussa ja luottavatkin usein alan kokeneisiin ammattilaisiin. Koska selluvillaeristeet ovat yksi keskeinen rakennusmateriaali puurakentamisessa, seuraavaan osioon on koostettu otteita perinnerakentamisen asiantuntijoiden oppaista / kirjoituksista saatuja tietoja selluvillaan liittyen.

7.1.1 Hannu Rinne: Perinnemestarin materiaalioppi

Lähtökohtaisesti puusta valmistetut eristeet palamisen sijaan hiiltyvät. Palonkestävyyttä parannetaan puukuitueristeissä lisäämällä niihin eri lisäaineita. Menetelmien ja kehityksen jatkuvan muutoksen myötä on vaikea saada varmuutta edellä mainittujen lisäaineiden sisällöstä. [37 s. 103]

Palonsuoja-aineina käytetään esimerkiksi booraksia, joka johdetaan boorista. Boori on esimerkiksi kasveille välttämätön hivenaine, mutta suurina pitoisuuksina haitallista. Myös savea voidaan käyttää palonsuoja-aineena lisäämällä sitä selluvillaeristeisiin. [37 s. 103]

Pitkällä aikavälillä sahanpurun on todettu olevan kohtalaisen hyvä lämmöneriste, mutta sen lämmön eristävyyskyky ei ole kuitenkaan yhtä hyvä kuin esimerkiksi mineraalivillalla. Sen sijaan kierrätetystä sanomalehdestä valmistettu selluvilla on niin sanottujen perin-nerakentajien suosiossa, sillä sen lämmönjohtavuuskyky on samaa luokkaa mineraalivillaeristeiden kanssa. [37 s. 103]

Suomessa yleisesti käytössä olevat selluvillaeristeet ovat päästöluokituksestaan M1-luokkaa. Niissä kuitenkin käytetään palonestoaineina yleisesti booraksia, jonka mahdollisesta haitallisuudesta on käyty keskustelua. Lisäaineiden osuus voi olla jopa 14–25 %. [37 s. 103]

Tulipaloissa puukuitueristeiden on todettu toimivan hyvänä suojana rakennukselle. Myös palokokeissa puukuitueristeet ovat toimineet hyvänä palonsuojana, sillä eristeiden pinta hiiltyy mutta ei syty kovinkaan herkästi palamaan. [37 s. 103]

Puukuitueristeitä poistettaessa se voidaan hävittää kompostoimalla [37 s. 103].

7.1.2 Panu Kaila: Talotohtori, Rakentajan pikkujättiläinen

Puukuituvillan pääasiallisena raaka-aineena käytetään nykyisin sanomalehtipaperia. Aiemmin käytettiin myös aikakausilehtiä, mutta niiden paperilaadun takia niiden käytöstä on luovuttu selluvillan valmistamisessa. Aikakausilehtien valmistamisessa käytetty savi aiheutti suurta pölyävyyttä selluvillaeristeiden valmistus- ja asennusvaiheessa. [10 s. 506]

Jo 1830-luvulla julkaistussa C. Stålin Rakennusopissa on mainittu, että paperi voidaan saada palamattomaksi pelkän booraksin tai booraksin ja alunan avulla. Nykyään booraksia lisätään noin 7 % ja boorihappoa 12 % palonsuoja-aineeksi lämmöneristeinä käytettävään paperimassaan. Tällä toimella selluvillasta saadaan hyvin tulipaloa kestävä materiaalia. Sen on todettu toimivan jopa mineraalivillaa parempana materiaalina tulipalon rasituksen aikana. [10 s. 506]

Hyvän paloneston lisäksi boori toimii tehokkaasti ehkäisemään mikrobikasvua, lahoamista sekä se antaa suojaa myös tuhohyönteisiä vastaan. Tästä näkökulmasta ajateltuna puukuitueristeet ovatkin hyvä valinta eristysmateriaaliksi puurakentamisessa. [10 s. 506]

Kuivana puhallettavan selluvillan asennuksen yhteydessä tulee käyttää riittävän tehokkaita hengityksensuojaimia. Asennustöiden aikaisissa pölypitoisuusmittauksissa on todettu, että haitalliseksi tunnettu pitoisuus ylitetään moninkertaisesti. Myös booriyhdisteiden pitoisuuden on todettu nousevan kuivapuhalluksessa yli sallittujen raja-arvojen. Niin sanotussa märkäpuhalluksessa eristeen pölyäminen on huomattavasti vähäisempää, mutta vastaavaa pölymittausta ei ole suoritettu. [10 s. 507]

Orgaanisten yhdisteiden mittauksissa selluvillojen kokonaisemissiopäästöt ovat olleet alhaisempia kuin mineraalivillojen sekä solumuovieristeiden. Formaldehydipitoisuudet ovat olleet niin ikään selluvillapohjaisissa eristeissä alhaisempia kuin esimerkiksi vuorivillaeristeissä. [10 s. 508]

Panu Kaila toteaa kirjassaan, että boorimineraaleja ei ole määritelty myrkyksi. Suuria annoksia tulee kuitenkin välttää. Puukuituvilla voidaan levittää pieninä määrinä lannoitteeksi, kun se hävitetään rakennuksista. [10 s. 508]

Mikäli puukuituvillan palonestovaatimuksista luovuttaisiin ja eristemateriaaleille riittäisi mikrobikasvua ehkäisevä pitoisuus, voitaisiin eristeisiin lisätä nykyistä vähemmän booriyhdisteitä. Suomessa sekä Ruotsissa valmistetaan, myös boorivapaita selluvillaeristettä. Kyseiset boorivapaat eristeet ovat kuitenkin homeutumisherkempiä, kun niissä ei ole lisäaineita estämässä/hidastamassa mikrobikasvun syntymistä. Myös tuhohyönteisten kiinnostus lisäaineettomiin selluvillaeristeisiin on suurempaa. [10 s. 508]

7.1.3 Pekka Saatsi: Lisäainein terästettyä luonnollisuutta

Selluvillat, pellavaeristeet ja esimerkiksi turve soveltuvat perinteiseen hirsirakentamiseen niihin mahdollisesti lisätyistä palonestoaineista huolimatta. Myös lisäaineettomia eristeitä on saatavilla, kuten sahapuru tai sammu. Muovia sisältävät ja mineraalivillasta valmistetut eristeet eivät sen sijaan sovellu hengittävään puurakentamiseen. [38]

Arkkitehti Saatsin mukaan palonestoaineeksi lisätään usein booraksia yli 20 painoprosenttia. Booraksi on boorihapon natriumsuola, jota voidaan pitää terveydelle haitallisena, koska se aiheuttaa hengitysteihin tai nieluun päästessään muun muassa hengenahdistusta. [38]

Booraksia käytetään Suomessa elintarviketeollisuudessa vain kaviaarin säilömisessä. Booraksi on haitallista vesieliöille ja sen takia sen liiallista pääsyä vesistöön tulisi ehkäistä ja huomioida esimerkiksi sitä levitettäessä kasvimaille. [38]

Muissa hengittävään rakentamiseen käytetyissä eristeissä, kuten pellavaeristeessä, käytetään palonestoaineena ruokasoodaa. Saatsin mukaan ruokasooda on luontoystävällisempää kuin booraksi. Turpeesta valmistettavia eristeitä on saatavilla ilman lisäaineita, mutta osaan turvetuotteistakin lisätään palonestoaineita, joiden sisällöstä Pekka Saatsilla ei ole tarkempia tietoja. Turpeeseen lisättävät palonestoaineet eivät kuitenkaan Saatsin mukaan sisällä booraksia. [38]

7.2 Tämänhetkiset selvitystavat selluvilloille

Tällä hetkellä selluvillan mahdollisesti aiheuttamia sisäilmahaittoja on hankala selvittää. Yleisesti käytössä olevilla ja hyväksytyillä tutkimusmenetelmillä voidaan osoittaa ilmayhteys ja ilmavuotojen esiintyminen yläpohjatilasta sisätiloihin. Näillä on kuitenkin vaikea todeta, aiheuttavatko havaitut ilmavuodot mahdollista terveyshaittaa rakennuksen käyttäjille.

Yksi keino selvittää mahdollisia hiukkasmaisia päästöjä sisäilmaan on ottaa pölynkoostumusnäytteitä. Pölynkoostumusnäyte otetaan esimerkiksi suljettavaan muovipussiin rakennuksen sisäpinnoille laskeutuneesta pölykertymästä ja sille otetaan vertailunäyte materiaalista, jonka epäillään olevan hiukkasten lähteenä. Tässä tapauksessa siis tarvitaan vertailunäyte selluvillaeristeestä.

Pölynkoostumusnäytteillä on vaikea päätellä hiukkasmaisten epäpuhtauksien pitoisuutta rakennuksen sisäpinnoilla. Niillä voidaan selvittää ainoastaan kvalitatiivisesti mahdollisia eristemateriaalin päästöjä. Menetelmällä ei voida tunnistaa orgaanisista aineista koostuvia hiukkasia eikä vesiliukoisia hiukkasia. [39]

Pölynkoostumusanalyysi tehdään yleisimmin pyyhkäisyelektronimikroskoopilla sekä siihen liitetyllä alkuaineanalysaattorilla (SEM-EDS) [39].

Seuraavissa osioissa esitetään kolmen esimerkkikohteen yläpohjarakenteille tehtyjä il-mavuotoihin liittyviä tutkimuksia. Näillä tutkimuksilla on pyritty osoittamaan, että yläpoh-jissa käytetyillä materiaaleilla on merkitystä myös sisäilman laatuun, sillä yläpohjatiiloista on todettu ilmavuotoja sisätiloihin rakennusten normaalin käytön mukaisissa olosuh-teissa.

Myös kahden Suomessa tyypillisen pientalon yläpohjassa vallitsevia olosuhteita mitattiin kesäkaudella. Toinen rakennuksista on alle 10 vuotta vanha omakotitalo (valmistunut vuonna 2016), jossa on käytetty nykyaikaista puhallusvillaeristettä. Toinen on tyypillinen paritalo 1960-luvun lopulta. Vanhempi rakennus valittiin, koska se on rakenteiltaan niin sanotusti yleinen lisälämmöneristyskohde, jonka lisälämmöneristäminen onkin toteutettu puhallusvillalla. Molemmat kohteet sijaitsevat Espoossa noin kilometrin säteellä toisis-taan, joten niihin vaikuttavat mittausjakson aikana käytännössä samat ulkoiset olosuh-teet.

8 Yläpohjien kuntotutkimuksia

Tässä osiossa on esitetty kolmen oikean kuntotutkimuskohteen tutkimustuloksia yläpoh-jien osalta. Tutkimukset on suoritettu IdeaStructura Oy:n toimesta tämän opinnäytetyön laatijan ollessa mukana myös kenttätutkimuksissa. Kaikissa rakennuksissa on ollut jon-kinasteista oireilua ja / tai hajuhaittaa, jonka on epäilty johtuvan rakennuksen sisäilmasta.

Tutkimuskohteiden tarkempia sijainti- tai osoitetietoja ei julkaista, mutta tutkimukset ti-lanneelta taholta on saatu lupa käyttää kohteita esimerkkeinä tässä opinnäytetyössä.

8.1 Kohde 1, toimistorakennus

Rakennus on valmistunut 1930-luvulla ja on toiminut sen valmistumisesta lähtien toimis-tokäytössä. Rakennusta on laajennettu kahteen otteeseen sen valmistumisen jälkeen. Yläpohjat ovat alalaattapalkistoja, joissa on vanhan kotelotilan lämmöneristeen lisäksi betonisen palopermannon päälle asennettu lisälämmöneristeeksi puhallusvillakerros.

Seuraavissa osioissa esitettävät tutkimustulokset ja havainnot koskevat alkuperäistä rakennusosaa 1930-luvulta.

8.2 Tutkimusten lähtötilanne ja tehdyt selvitykset, kohde 1

Rakennuksen käyttäjät olivat aistineet poikkeavaa hajua lähinnä ylimmässä kerroksessa. Hajujen oli todettu olevan voimakkaimmillaan aamuisin.

Yläpohjan osalta suoritettiin merkkiainekokeita, joilla voitiin todeta mahdollisten ilmapuotojen esiintymistä tuulettuvan ullakkotilan ja ylimmän kerroksen sisätilojen välillä. Yläpohjatilaan lasketun merkkikaasun leviämistä alapuolella oleviin toimistotiloihin selvitettiin erillisten kaasuanalysaattoreiden avulla. Merkkiainekaasuina käytettiin kahta yleisesti käytettävää merkkikaasua, jotka olivat rikkiheksafluoridi SF₆ ja laimennettu vetykaasu (5 % H₂ + 95 % N₂).

Rikkiheksafluoridi on hieman ilmaa raskaampaa ja laimennettu vetykaasu hieman ilmaa kevyempää. Molemmat kaasut kuitenkin toimivat yleisesti hyvin merkkiainekaasuina rakenteellisten ilmapuotojen paikantamisessa, sillä ne sekoittuvat suurempaan ilmamaasaan ja toimivat näin ollen todellisten ilmapuotojen ilmaisemiseen hyvin.

Kaasuanalysaattoreina käytettiin Drägerin ja Sensistor 9012 XRS-analysaattoreita, jotka reagoivat ainoastaan valittuun kaasuun. Analysaattoreiden herkkyyttä voidaan säätää, jolloin voidaan tehdä selvien rakenteellisten vuotokohtien lisäksi havaintoja myös heikoista vuotokohdista, joiden merkitys rakenteellisen tiiveyden kannalta ei yleensä ole merkittävä.

Yläpohjan palopermantonon tehtiin rakenneavauksia rakenteiden kunnon ja tyyppin toteamiseksi. Rakenneavausten yhteydessä otettiin myös materiaalinäytteitä laboratorioanalyysijä sekä hajupaneelia varten.

Ylimmän kerroksen tiloissa suoritettiin aistinvarainen ja kokemusperäinen sisäilmatutkimus, jossa kiinnitettiin erityistä huomiota mahdollisesti esiintyviin poikkeaviin hajuihin.

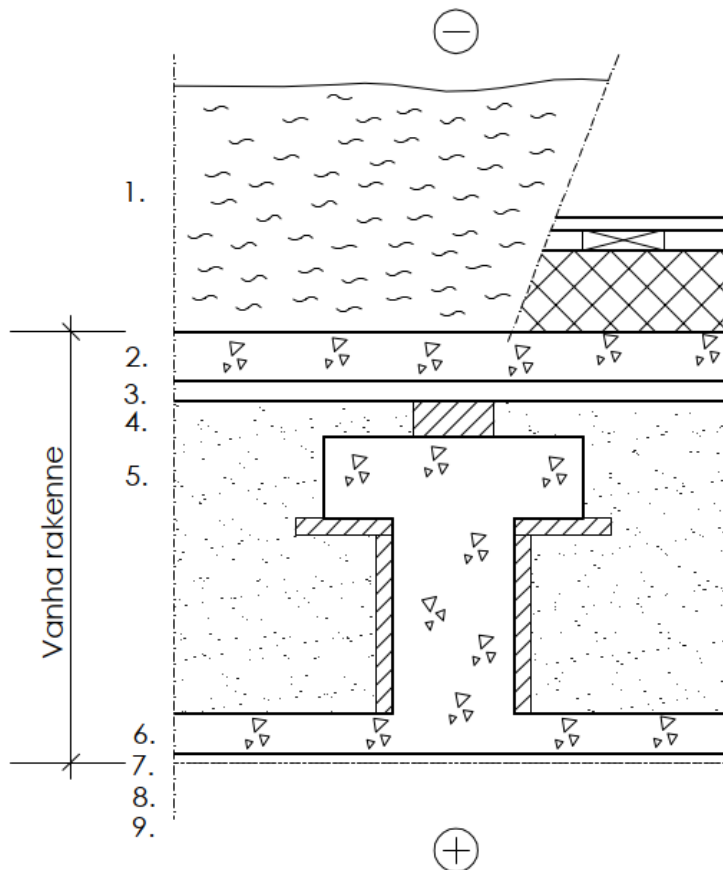
8.3 Ilmavuotoselvitysten tulokset, kohde 1

Mittaukset tehtiin vallitsevissa olosuhteissa normaalin työpäivän aikana, jolloin tulo- ja poistoilmakoneet olivat normaalilla käytöllä.

Merkkiainekoe suoritettiin laskemalla merkkiainekaasua suoraan koko ullakkotilaan ja tarkkailemalla mahdollisia vuotokohtia analysaattorilla ylimmän kerroksen tiloissa. Merkkiainetutkimuksen lisäksi rakenteiden tiivyyttä arvioitiin myös silmämääräisesti. Tuulettuvaan ullakkotilaan laskettujen merkkiainekaasujen ei todettu kulkeutuvan sisätiloihin tai alakattojen yläpuolisiin tiloihin. Näin ollen yläpohjarakenteen ei todettu läpäisevän ilmaa käytön mukaisessa tilanteessa tuulettuvan yläpohjatilan ja sisäilman välillä.

Myöhemmin tehtyjen yläpohjan rakennevausten yhteydessä todettiin yläpohjan eristetilassa voimakasta poikkeavaa hajua. Haju on samankaltaista kuin ylimmän kerroksen tiloissa, ja haju on aistittavissa alakattojen yläpuolisissa tiloissa. Oletettavasti ensimmäisen vaiheen tuulettuvaan yläpohjatilaan laskettu merkkiainekaasu ei ole läpäissyt palopermantoa. Tästä syystä merkkiainekokeet päätettiin suorittaa vielä erikseen yläpohjan eristetilan ja ylimmän kerroksen välillä. Yläpohjan eristetilaan laskettua merkkiainetta todettiin kulkeutuvan ylimmän kerroksen alakattojen yläpuolelle ilmanvaihdon ollessa normaalilla käytöllä. Näin ollen voitiin todeta, että yläpohjan alkuperäisestä lämmöneristekerroksesta kulkeutuu vuotoilmaa rakennuksen ylimpään kerrokseen. Jälkeenpäin asennetusta puhallusvillakerroksesta, joka on puhallettu palopermannon päälle, ei havaittu kulkeutuvan vuotoilmaa rakennuksen sisäpuolisiin tiloihin.

Kuvassa 13 s. 39 on esitetty kohteen 1 yläpohjan rakennetyyppi. Ensimmäisessä ilmavuotoselvityksen vaiheessa merkkikaasua laskettiin suoraan tuulettuvaan yläpohjatilaan kuvassa 13 olevan puhallusvillaeristeen yläpuolelle. Vaiheessa kaksi merkkikaasua laskettiin suoraan alkuperäisen yläpohjan lämmöneristekerroksen yläpuoliseen ilmatilaan yläpohjan niin sanotussa kotelotilassa.



Kuva 13. Yläpohjan rakennetyyppi, kohde 1

1. 300 mm Puhallettu kivivilla, osalla alueesta villalevytys
2. n. 60 mm Vanha betonilaatta
3. n. 25 mm Vanha muottilaudoitus
4. Vanhat puukorokkeet palkkien päällä
5. Vanhat teräsbetonipalkit, k1200-uumassa muottilaudoitus
Täytteenä tiiviiksi pakkautunut kutterinlastu/puru
6. Vanha betoninen alalaatta
7. Vanha rappaustasoitus
8. Vanhat pintakäsittelyt
9. Uusi pintakäsittely tai alakattorakenne arkkitehtisuunnitelmien mukaan

8.4 Kohde 2, koulurakennus

Tutkimuskohteena oli 1940-luvulla valmistunut koulurakennus, ja se muodostuu kolmesta rakennuksen osasta. Rakennuksen yläpohjat ovat betonisia alalaatta- tai kaksoislaattarakenteita. Rakennuksen ullakkotiloihin on aiemmissa saneerauksissa sijoitettu ilmanvaihtokonehuoneita.

8.5 Tutkimusten lähtötilanne ja tehdyt selvitykset, kohde 2

Rakennuksessa on esiintynyt jo pidemmän aikaa epäilyjä sisäilman laadusta. Kohteeseen ollaan käynnistämässä hankesuunnittelua, jonka lähtötiedoiksi teetettiin laaja rakenne- ja kosteustekninen kuntotutkimus. Osana laajempaa rakenne- ja kosteusteknistä kuntotutkimusta suoritettiin myös yläpohjaan kohdistuvia tutkimuksia.

Yläpohjarakenteiden ilmatiiviyttä selvitettiin merkkiainetekniikalla eri rakennusosissa ja kerroksissa yhteensä kolmessa kohdassa. Tutkittuihin tiloihin luotiin noin 5 Pa alipaine yläpohjien täyttökerrokseen nähden erillisellä alipaineistuskalustolla. Merkkiainekokeita ennen rakennuksen painesuhteita oli selvitetty noin 2 viikon ajalta. Painesuhteiden selvityksessä selvisi, että rakennus on ajoittain noin 4...7 pascalia alipaineinen ulkoilmaan nähden. Paine-eroa päästiin mittaamaan ulkoseinien yli, mutta yläpohjarakenteen yli paine-eroa ei päästy teknisten tekijöiden takia mittaamaan. Ulkoseinien yli vaikuttavaa paine-eroa mitattiin kuitenkin eri ilmansuuntiin ja eri kerroksista. Paine-eromittausten perusteella voitiin päätellä, että rakennuksen painesuhteisiin vaikuttaa koneellisen ilmanvaihdon aiheuttaman paine-eron lisäksi tuulen suunta ja voimakkuus. Tulosten perusteella voitiin päätellä myös yläpohjatilan ja sisäilman välillä aiheutuvan paine-erovaihtelua saman kaltaisesti kuin mitatuissa tiloissa todettiin tapahtuvan ulkoseinärakenteiden osalta.

Tässäkin kohteessa tehtiin ilmavuotoselvityksiä merkkiaineikaasun avulla. Kohteesta 1 poiketen merkkikaasuna käytettiin vain laimennettua vetykaasua ja siihen soveltuvaa Sensistor 9012 XRS-analysaattoria. Merkkiaineikaasu laskettiin yläpohjarakenteisiin ullakotiloista. Tarkastelualueiksi valittiin kohtia, joissa esiintyi erityyppisiä yläpohjan rakenneliittyymiä, läpivientejä ja hormirakenteita.

Yläpohjaan kohdistettiin muitakin selvityksiä, mutta niiden havainnoilla ei ole oleellista merkitystä tämän opinnäytetyön aiheen näkökulmasta.

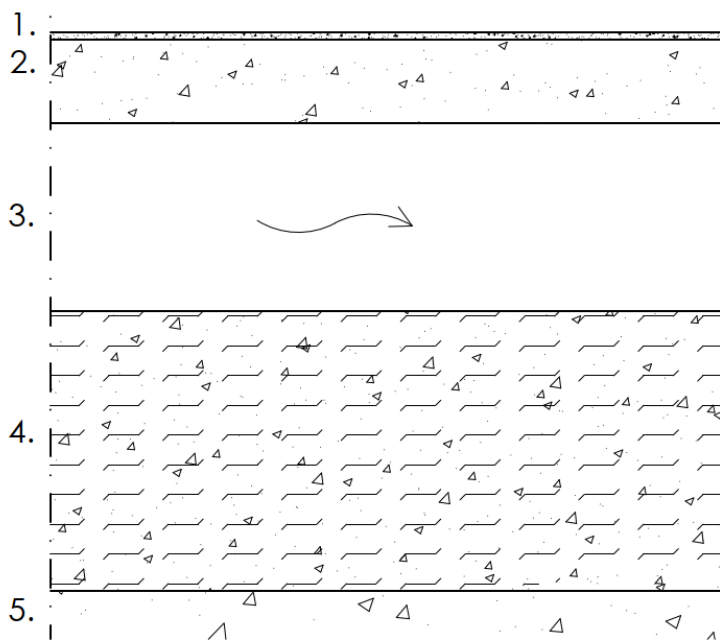
8.6 Ilmavuotoselvitysten tulokset, kohde 2

Ilmavuotoselvitysten ajaksi tutkittaviin tiloihin luotiin erillisellä ovipuhallinlaitteistolla noin 5–7 pascalin alipaine ulkoilmaan nähden. Tämän kaltaisen paine-eron todettiin olevan rakennuksessa tyypillinen aiemmin suoritettujen paine-eromittausten perusteella. Näin

ollen merkkiainekokeen avulla todetut ilmapuodot yläpohjatilasta sisätiloihin toteutuvat myös usein rakennuksen normaalin käytön aikana.

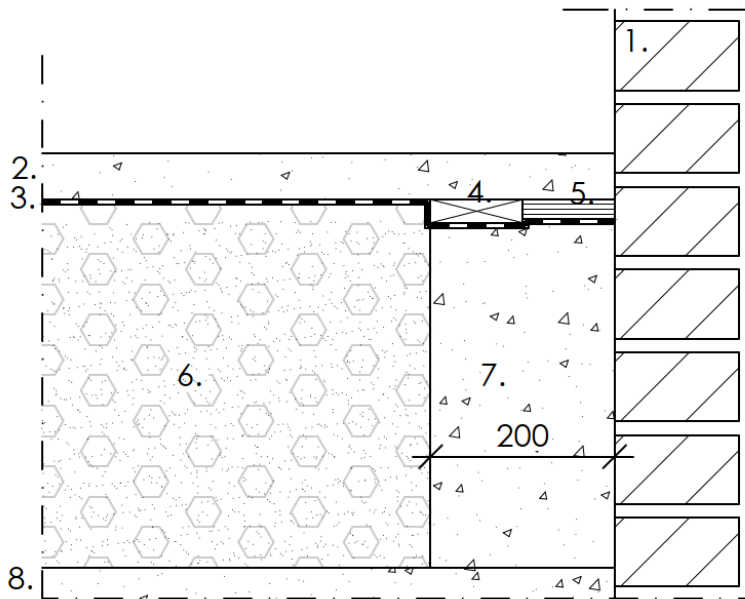
Yläpohjasta todettiin ilmapuotoja lähinnä taloteknisten läpivientien kautta. Kohteeseen aiemmin tehdyn saneerauksen yhteydessä ullakkotilaan on sijoitettu ilmanvaihtokonehuoneita. Konehuoneiden rakentamisen yhteydessä uusia ilmanvaihtokanavia varten on tehty läpivientejä yläpohjaan. Läpivientikohdat itsessään on osittain tiivistetty, mutta myös puutteellisesti tiivistettyjä läpivientejä todettiin. Lisäksi taloteknisten läpivientien läheisyydessä todettiin useita porareikiä, joiden kautta yläpohjasta kulkeutuu vuotoilmaa ylimmän kerroksen alakattorakenteiden yläpuolelle. Porareiät ovat todennäköisesti työmaa-aikaisia koereikiä, väliaikaisten tukien asennusreikiä ynnä muuta sellaista.

Kuvassa 14 ja kuvassa 15 sivulla 42 on esitetty kohteen 2 yläpohjan rakennetyyppejä, joihin ilmapuotoselvityksiä kohdistettiin. Merkkikaasua laskettiin suoraan tuulettuvaan yläpohjatilaan.



Kuva 14. Kohteen 2 yläpohjan rakennetyyppi, merkkiainekoe, vaihe 1

1. Tasoite (bitumi) 10 mm
2. Betoni 90 mm
3. Ilmatila 200 mm
4. Turve 300 mm
5. Betoni (paksuutta ei selvitetty)



Kuva 15. Kohteen 2 yläpohjan rakennetyyppi, merkkiainekoe, vaihe 2

1. Ulkoseinän tiilimuuraus
2. Betoni 50 mm
3. Bitumisively
4. Lauta 25x100m 25 mm
5. Puukuitulevy 10 mm
6. Puhallusvilla 400 mm
7. Betonipalkki
8. Betoni

8.7 Kohde 3, hoitoalan rakennus

Tutkimuskohteena oli 1990-luvulla valmistunut hoitoalan rakennus. Rakennus on toiminut sen valmistumisesta asti nykyisessä käytössään. Rakennus on puurakenteinen, ja sen yläpohjarakenteen kokonaispaksuus vaihtelee rakennuksen osasta riippuen. Osassa rakennusta on viisto sisäkatto ja suuri huonekorkeus, jolloin sisäkattopinta on lähellä vesikatetta. Yläpohjarakenteen kokonaispaksuus on näissä osissa yhteensä noin 450 mm, ja tuuletusvälin paksuus noin 100 mm. Osassa rakennusta sisäkatto on laskettu, ja lämmöneristekerroksen alapuolelle on asennettu talotekniikkaa. Näissä osissa yläpohjan tuuletusvälin paksuus on selvästi suurempi. Yläpohjan lämmöneristeen alapuolella on muovinen höyrynsulku.

8.8 Tutkimusten lähtötilanne ja tehdyt selvitykset, kohde 3

Rakennukseen on kohdistunut jo useita sisäilma- ja kuntotutkimuksia. Selvityksissä on löytynyt lähinnä paikallisia vaurioita / puutteita, joita on korjattu. Rakennuksen käyttäjät ovat kokeneet korjauksista huolimatta tiloissa sisäilman olevan kokemuksiensa mukaan heikkoa, ja tiloissa on aistittu poikkeavaa hajua.

Rakennukseen suoritettiin kohdistettu kuntotutkimus, jossa suoritettiin paine-eromittauksia rakennuksen ulkovaipan yli. Mitatut tilat olivat keskimäärin hieman alipaineisia ulkoilmaan sekä ryömintätilaan nähden. Paine-erot olivat alhaisia, ollen noin 1–2 pascalia. Alhainen paine-ero selittyy rakennuksen huonosti ilmaa pitävillä rakenteilla. Alhainen paine-ero on tyypillistä rakennuksille, jotka ovat rakenteiltaan epätiivitä. Tästä syystä tehtiin myös erillinen ilmavuotolukuseelvitys, jotta saatiin selville rakennuksen ilmanpitävyys. Osiossa 7.8.1 on kerrottu rakennuksen ilmavuotoluvusta sekä sen mittaamisen periaatteista.

Yläpohjan ilmavuotoja selvitettiin myös merkkiainetekniikalla kuten kohteissa 1 ja 2. Merkkiainekokeet tehtiin rakennuksen normaalin käytön aikana.

8.8.1 Ilmavuotoluku ja sen selvitys

Rakennuksen ilmatiiveysmittauksen tavoitteena on selvittää rakennuksen ulkovaipan ilmavuotoluvut n_{50} sekä q_{50} , jotka kertovat montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan ilmavuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 pascalin ali- tai ylipaine. Taulukossa 2 on esitetty ilmavuotoluku eri aikoina. Taulukossa on esitetty myös rakennuksen ilmavuotoluku n_{50} , sillä kyseistä tapaa on käytetty ennen vuotta 2012. Taulukon mukaisia ilmavuotolukuja on käytetty suunnitteluarvoina, mikäli ilmavuotolukua ei ole selvitetty erikseen. [40 s. 11]

Taulukko 2. Rakennusvaipan ja rakennuksen ilmavuotoluku eri aikoina [40 s. 11]

| Rakennusluvun vireilletulo vuosi | 1969 | 1969- | 1976- | 1978- | 1985- | 10/2003- | 2008- | 2010- | 2012 alk. |
|------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-----------|
| Rakennuksen ilmavuotoluku n_{50} | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | |
| Rakennuksen ilmavuotoluku q_{50} | | | | | | | | | 4,0 |

Rakennuksen ilmanpitävyyden mittaaminen painekoemenetelmällä on esitetty standardissa SFS EN 13829. Yleensä käytetään standardissa esitettyä mittausmenetelmää B siten, että rakennuksen ilmanvaihtoa varten tehdyt reitit, tulisijojen hormit yms. suljetaan tiiviisti. Standardin mukaiset tiiviysmittaukset tulee mitata valmiista rakennuksesta. Luotettavan tiiviysmittauksen suorittamiseksi tulee huomioida ulkoilman olosuhteiden vaikutus mittauksen suorittamiseksi. [41 s. 6–10]

Ennen mittauksen suoritusta tulee selvittää tuulen ja savupiippuilmion vaikutus mittamalla niin sanottu alkupaine. Alkupaineen tulee olla alle 5 pascalia luotettavan mittauksen suorittamiseksi. Esimerkkikohde 3:n ilmavuotomittauksissa alkupaine oli 0,6 pascalia, ja ulkona vallitsi kevyt tuuli. Tiedossamme ei ollut tavoitetasoa tai vastaavaa kohteen ilmanvuotoluvulle. [41 s. 17]

Rakennusvaipan rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku. [42 s. 7]

Ennen tiiviysmittauksen suorittamista tehtiin tutkittaville tiloille esivalmistelut onnistuneen mittauksen ja luotettavien tulosten saavuttamiseksi. Esivalmisteluissa tiivistettiin tilojen ilmanvaihtokanavat rakennusmuoveilla / teippauksella. Ennen tiiviyskoetta tarkistettiin myös, että kaikki tutkittavien tilojen ikkunat ja ovet olivat suljettuina, eikä viemäreistä pääse vuotoilmaa.

Mittauksessa käytettiin Retrotec-tiiviysmittauskalustoa sekä Tinytag-paine-eromittareita. Mittaus tehtiin usealla paine-erolla. Paine-eron ylläpitämiseksi tarvittavat puhaltimen ilmamäärät mitattiin FanTestic-ohjelmalla. Mittaussarjasta laskettiin ohjelmistolla vuotoilmakäyrä, jonka avulla voitiin laskea 50 pascalin paine-eroa vastaava ilmamäärä.

Rakennuksen tiiviysmittauksessa saatiin n_{50} ilmavuotoluvuksi 9,0 ja q_{E50} ilmanvuotoluvuksi 9,7. Kyseiset mittaustulokset kertovat rakennuksen huonosta ilmanpitävyydestä. Merkittävimmät ilmavuodot todettiin aiheutuvan rakennuksen yläpohjasta epätiivin höyrynsulkumuovin asennuksen vuoksi. Kuvassa 16 sivulla 45 on epätiivis höyrynsulkumuovi kohteessa 3.

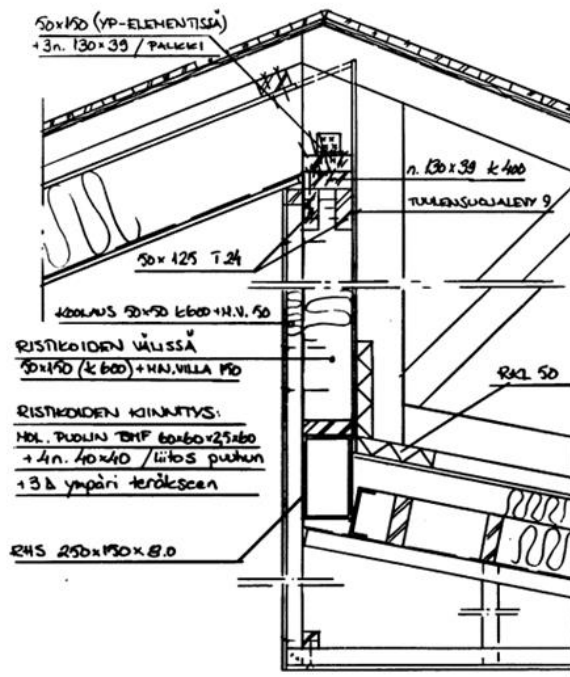


Kuva 16. Yläpohjan höyrinsulkumuovissa todettiin merkittäviä puutteita. Kuva Mikko Niskanen IdeaStructura Oy, 2022

8.9 Ilmavuotoselvitysten tulokset, kohde 3

Edellä mainitussa osiossa kerrottiin ilmavuotoluvun selvityksestä ja sen tuloksista. Tämän lisäksi kohteesta tehtiin merkkiainekokeita eri rakenteiden osalta. Yläpohjaan laskettua merkkiainekaasua levisi välittömästi sisätiloihin laajalle alueelle. Näin ollen yläpohjatilasta todettiin olevan merkittäviä ilmavuotoja sisätiloihin, mikä mahdollistaa hajujen ja epäpuhtauksien kulkeutumisen yläpohjasta sisätiloihin.

Kuvassa 17 s. 46 on esitetty kohteen 3 yläpohjan rakennetyyppejä, joihin ilmavuotoselvityksiä kohdistettiin. Merkkikaasua laskettiin suoraan tuulettuvaan yläpohjatilaan.



Kuva 17. Kohteen 3 yläpohjan rakennetyyppi

Kohteen 3 YP-rakenne ylhäältä alaspäin lukien:

- Pinnoitettu konesaumattu teräspelti
- Ruodelaudoitus, 19 mm
- Kattotuolit
- Vaneriumakannattajat
- Tuulensuojalevy
- Mineraalivilla, 250 mm
- Muovikelmu
- Koolaus 22 x 100 mm, k/k 300 mm
- Kipsi- tai kipsikuitulevy, 13 mm
- Akustointi määräysten mukainen reunalistoitettu, sileä, huopapintainen akustiikkalevy 30 mm

8.10 Johtopäätökset esimerkkikohteiden ilmavuotoselvityksistä yläpohjan ja sisäilman välillä

Kaikissa esimerkkikohteissa todettiin ilmavuotoja yläpohjan eristetilän ja sisäilman välillä. Ilmavuotojen merkitys ja suuruus vaihteli rakennusten osalla suurestikin, mutta kaikissa kohteissa pystyttiin todentamaan vuotoilman kulkeutumista siinä määrin ja sellaisissa olosuhteissa, että niillä voidaan todeta olevan sisäilman laatua heikentävää vaikutusta, mikäli yläpohjan eristetilassa on epäpuhtauksiksi luokiteltavia tekijöitä tai hajuhaittaa aiheuttavaa materiaalia.

Esimerkkikohteessa 1, tuulettuvasta ullakkotilasta ei todettu ilmavuotoja sisätiloihin riittävän tiiviin palopermannon vuoksi, joten palopermannon yläpuolelle jälkeensä lisäystä lämmöneristeestä ei todettu aiheutuvan sisäilmahaittaa. Sen sijaan alkuperäisen lämmöneristeen, joka on yläpohjan niin sanotussa kotelotilassa, ja sisäilman välillä todettiin merkittäviä ilmavuotoja. Alkuperäinen yläpohjan lämmöneriste on kutterilastua, joka tämän kohteen osalta on aikoinaan käsitelty puunsuoja-aineilla, joissa on hyvin herkästi aistittavissa oleva haju. Kyseinen haju sekoitetaan usein mikrobiperäiseen hajuun sen samankaltaisuuden vuoksi. Kutterilastussa esiintyneen hajuhaitan aiheuttajiksi todettiin kloorianisolit. Kloorianisoliin esiintyminen varmistettiin laboratoriossa teetettyjen analyysien avulla.

Kloorianisoleita voi vapautua kloorifenolipitoisilla puunsuoja-aineilla kyllästetystä materiaalista mikrobien hajottaessa puumateriaalia. Kloorifenoleita sisältäviä puunsuoja-aineita on käytetty ainakin 1930–1980-luvuilla. Ensisijainen käyttötarkoitus on ollut suojata puurakenteet lahoamiselta ja sinistymiseltä. [27 s. 1]

Enimmäkseen kloorifenoleita sisältäviä puunsuoja-aineita käytettiin aikoinaan alapohjarakenteissa, joissa puurakenteet voivat altistua suurelle kosteusrasitukselle [27 s. 1].

Kloorianisoleilla tiedetään olevan erittäin alhainen hajukynnys. Haju on mikrobiperäisen hajun kaltainen ja siitä puhutaankin usein homeen hajuna. Kloorianisoleita on voitu tavata rakennuksen sisäilmasta ilman rakennuksesta löydettyä merkittävää kosteusvauriota. Tämä selittyy kloorianisoliin alhaisella hajukynnyksellä. [27 s. 1–2]

Kloorianisoleille, kuten monelle muullekaan sisäilmasta mitattavalle yhdisteelle, ei ole olemassa terveystieteellisiä raja-arvoja. Tällä hetkellä kloorianisolin mahdollisista aiheuttamista sisäilmahaitoista on vain vähän saatavilla olevaa tietoa. [27 s. 2]

Esimerkkikohteessa 2 todettiin yläpohjatilasta ilmavuotoja lähinnä taloteknisten läpivientien ja ”ylimääräisten” yläpohjan betonilaatassa olevien reikien kautta. Vuodot ilmenivät olosuhteissa, joiden todettiin olevan tyypillisiä kahden viikon ajan kestäneissä paine-eromittauksissa.

Yläpohjan ilmatiiveys oli paikan päällä tehtyjen havaintojen mukaan heikentynyt ullakotilaan tehtyjen ilmanvaihtokonehuoneiden rakentamisen yhteydessä. Kokemuseräisesti voidaankin todeta, että vastaavanlaisia ilmavuotoja esiintyy useissa rakennuksissa, joissa on tehty ullakotilan rakennustöiden yhteydessä läpivientejä rakennuksen yläpohjarakenteeseen.

Esimerkkikohteessa 3 rakennuksen todettiin olevan kokonaisuutena heikosti ilmaa pitävä. Merkittävimmät ilmavuodot esiintyivät yläpohjan höyrönsulun kautta. Epätiivisiin yläpohjan höyrönsulun ja koneellisen ilmanvaihdon aiheuttamien rakenteiden läpi kulkeutuvien ilmavirtojen vuoksi yläpohjatilasta todettiin aiheutuvan sisäilma- ja hajuhaittaa rakennuksen käyttäjille.

Rakennus on valmistunut aikana (1990-luvun alkupuolella), jolloin koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto ovat olleet jo yleisesti käytössä vallitsevana ilmanvaihtojärjestelmänä. Rakennuksen valmistumisen aikaan voimassa olleen, vuonna 1987 päivitetyn rakennusmääräyskokoelman D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto mukaan rakennukset tulee suunnitella alipaineisiksi, jotta vältetään kosteuden tiivistymiseltä rakenteisiin. Alipaineisuus on saanut olla kyseisen rakentamismääräyskokoelman voimassaolon aikana enintään 30 pascalia. [43 s. 6]

9 Kohdeasuntojen yläpohjien olosuhdemittaukset

Tätä opinnäytetyötä varten mitattiin kahdessa asuinrakennuksessa yläpohjan olosuhteita, tarkemmin sanottuna tuulettuvien yläpohjatilojen lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Olosuhteet on mitattu kesäkaudelta, jolloin lämpötilat voivat oletettavasti olla ajoittain merkittävän korkeita. Kohderakennukset sijaitsevat lähellä toisiaan ja niihin

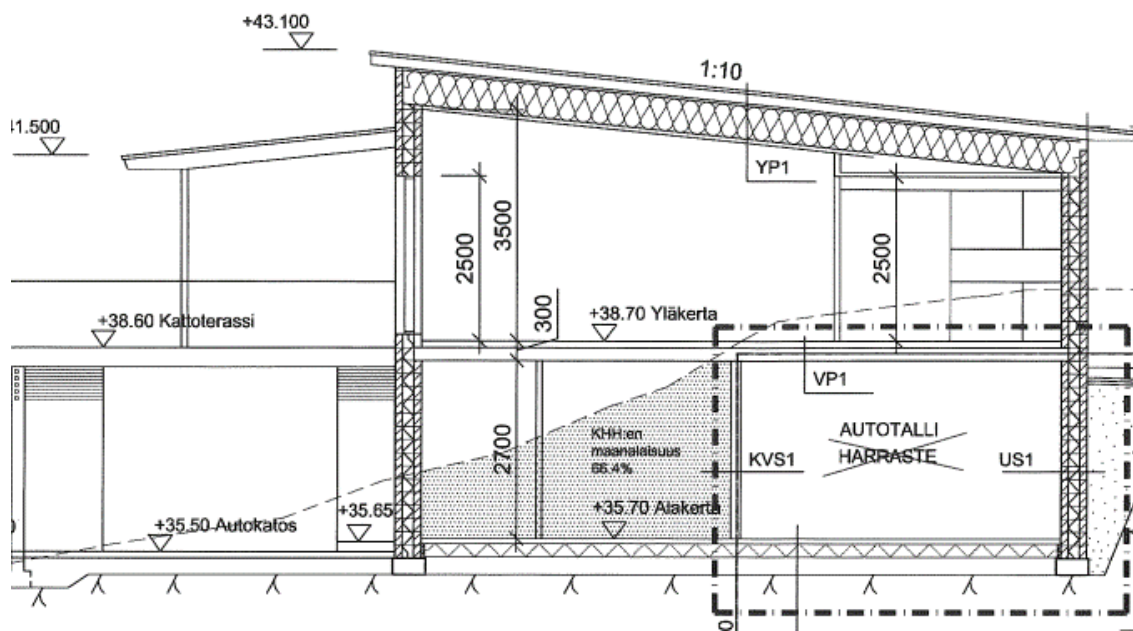
kohdistuva auringon lämpökuorma on samankaltainen. Toisin sanottuna rakennukset sijaitsevat maastoiltaan samantyyppisillä tonteilla, ja puuston ja muiden rakennusten antama suoja auringolta on samansuuruista.

Olosuhdemittaukset on suoritettu tallentavilla mittalaitteilla noin 20 vuorokauden ajalta. Tallennusväliksi valittiin 15 minuuttia ja mittauksiin käytettiin kalibroituja Tinytag-mittalaitteita. Tuulettuvan yläpohjatilän olosuhteet ovat hyvin riippuvaisia ulkoilman olosuhteista. Ulkoilman olosuhteita seurattiin samalta ajalta samanlaisella Tinytagin-mittalaitteella.

9.1 Olosuhdemittaukset kohde 1, vuonna 2016 valmistunut omakotitalo

Mittauksia suoritettiin vuonna 2016 valmistuneen omakotitalon tuulettuvasta yläpohjatilasta. Kuvassa 18 sivulla 50 on esitetty olosuhdemittauskohteen 1 leikkauskuva. Olosuhdemittausten kannalta oleellisia tietoja rakennuksesta:

- Rakennusta ympäröi muutaman metrin päässä aamu- ja keskipäivän auringolta hieman suojaavia havupuita. Iltapäivästä alkaen auringon lämpösäteily vaikuttaa kohtuu vapaasti rakennukseen
- Rakennuksessa on pulpettikatto, jonka kaltevuus on 10%. Vesikatteena 2-kertainen kumibitumikermi.
- Lämmöneristeenä on puhalluskivivilla (kuva 19 s. 50)
- Yläpohjan tuuletus tapahtuu räystäiden alta tuuletusreittien kautta
- Rakennuksen ilmanvaihtona on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto sekä maaviilennys sekä erillinen ilmalämpöpumppu



Kuva 18. Olosuhdemittauskohteen 1 leikkaus



Kuva 19. Vuonna 2016 valmistuneen omakotitalon, olosuhdemittauskohde 1 yläpohjassa käytetty puhallusvillaa, joka on valmistettu silputusta kivivillasta, Kuva Mikko Niskanen 2019

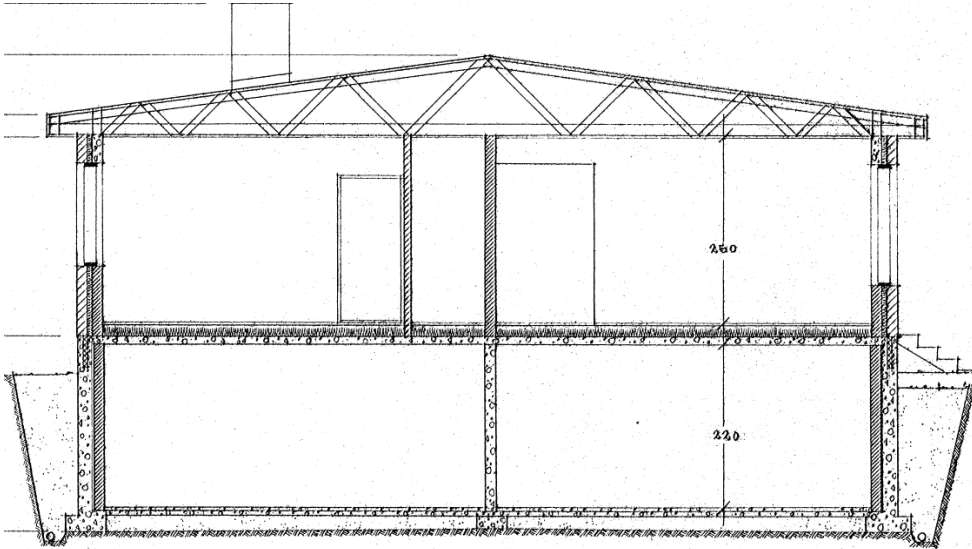
Yläpohjarakenne on ylhäältä päin luettuna:

- 2-kertainen kumibitumikermi
- pontattu vaneri 19 mm
- aluskate
- ristikot k900
- tuuletusväli
- lämmöneriste 500 mm
- höyrynsulku
- sisäkaton koolaus
- sisäkattoverhous

9.2 Olosuhdemittaukset kohde 2, vuonna 1968 valmistunut paritalo

Mittauksia suoritettiin vuonna 1968 valmistuneen paritalon tuulettuvasta yläpohjatilasta Kuvassa 20 sivulla 52 on esitetty olosuhdemittauskohteen 2 leikkauskuva. Olosuhdemittausten kannalta oleellisia tietoja rakennuksesta:

- Rakennusta ympäröi muutaman metrin päässä aamupäivän auringolta suojaavia havupuita. Iltapäivästä alkaen auringon lämpösäteily vaikuttaa kohtuu vapaasti rakennukseen
- Rakennuksessa on harjakatto, jonka kaltevuus ei ole tiedossa. Vesikatteena maalattu peltikate, ei aluskatetta
- Lisälämmöneristeenä on puhalluskivivilla (kuva 21 s. 52)
- Yläpohjan tuuletus tapahtuu räystäiden alta tuuletusreittien kautta
- Rakennuksen ilmanvaihtona on painovoimainen ilmanvaihto. Lisäksi rakennuksessa on ilmalämpöpumppu



Kuva 20. Olosuhdemittauskohteen 2 leikkaus



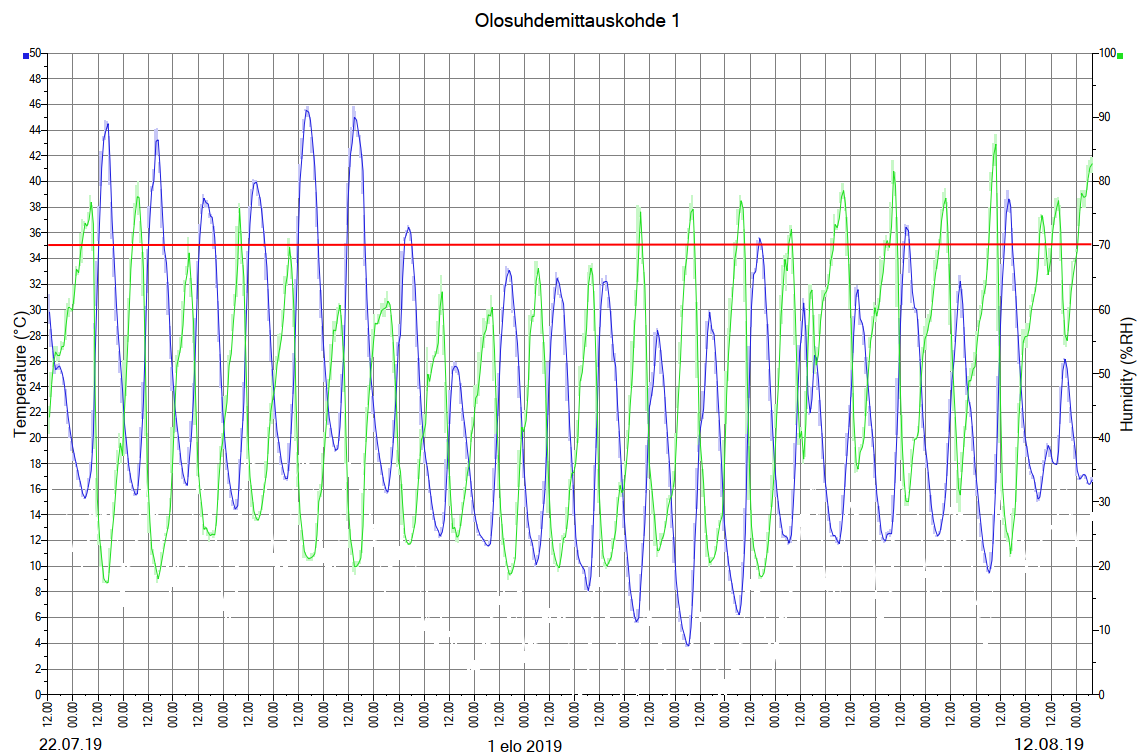
Kuva 21. Vuonna 1968 valmistuneen paritalon, olosuhdemittauskohde 2, yläpohjaan on lisätty puhallusvillaa, joka on valmistettu silputusta kivivillasta. Lisälämmöneristeen asennusajankohta ei ole tiedossa, Kuva Mikko Niskanen 2019

Yläpohjarakenne on ylhäältä päin luettuna:

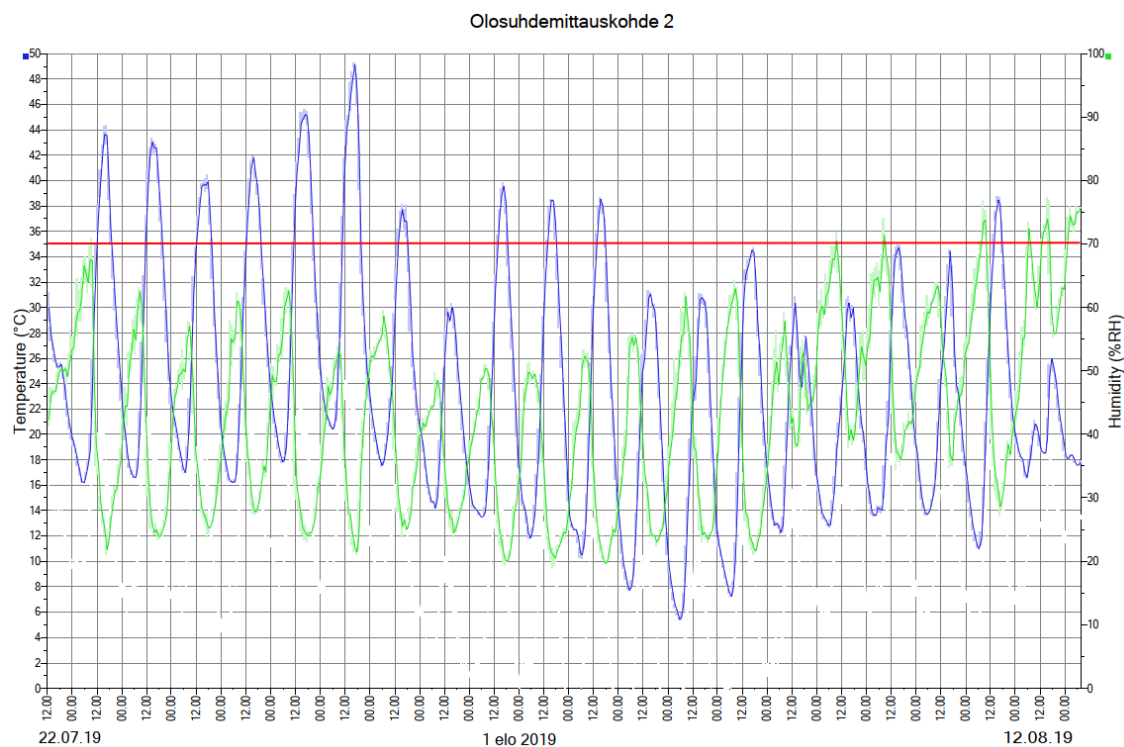
- maalattu peltikate
- ruodelaudoitus
- kattoristikot
- tuuletusväli
- lämmöneriste 125 mm
- ilmansulku
- sisäkaton koolaus
- sisäkattoverhous

9.3 Olosuhdemittausten tulokset kohteiden yläpohjatiloista

Kuvien 22 ja 23 sivulla 54 kuvaajissa on esitetty yläpohjien lämpötilat ja suhteellinen kosteus ajalta 20.7. – 12.8.2019. Sinisen käyrän ollessa punaisen viivan yläpuolella on yläpohjatilassa lämpötila yli +35°C-astetta. Vihreän käyrän ollessa yli punaisen viivan on yläpohjatilassa suhteellinen kosteus yli 70 %.



Kuva 22. Olosuhdemittauskohteen 1 olosuhdemittausten kuvaajat



Kuva 23. Olosuhdemittauskohteen 2 olosuhdemittausten kuvaajat

Taulukossa 3 on esitetty molempien kohteiden olosuhdemittausten suurimmat ja alhaisimmat tulokset sekä mittausajankohdan keskiarvot. Samaan aikaan suoritettujen ulkoilman mittaustulokset on esitetty samassa taulukossa.

Taulukko 3 yläpohjien olosuhdemittausten päätulokset

| | Kohde 1 | Kohde 2 | Ulkoilma |
|------------------------|----------|----------|----------|
| Lämpötila suurin | 45,9 °C | 49,3 °C | 35,0 °C |
| Lämpötila alhaisin | 3,7 °C | 5,3 °C | 6,6 °C |
| Lämpötila keskiarvo | 22,7 °C | 23,7 °C | 18,8 °C |
| Suht.kosteus suurin | 87,4 RH% | 77,3 RH% | 100 RH% |
| Suht.kosteus alhaisin | 17,2 RH% | 19,1 RH% | 28,9 RH% |
| Suht.kosteus keskiarvo | 47,1 RH% | 43,4 RH% | 65,5 RH% |

Yllä olevasta taulukosta 3 nähdään, että tuulettuvien yläpohjatilojen lämpötilavaihtelu on suurempaa kuin ulkoilman samaan aikaan. Ulkoilman lämpötilan vaihteluväli oli 6,6–

35,0°C-astetta, jolloin erotus on 28,4°C-astetta. Kohteessa 1 vastaavat lukemat olivat 3,7–45,9°C-astetta, jolloin erotus on 42,2°C-astetta ja kohteessa 2 vaihteluväli oli 5,3–49,3°C-astetta, jolloin erotus on 44,0°C-astetta. Otanta on pieni ja kohtuullisen lyhyt, mutta voidaan olettaa nyt mitattujen tuloksien olevan tyypillisiä tuulettuvissa yläpohjati-loissa. Suhteellinen kosteus on riippuvainen lämpötilasta ja kuvaajista on pääteltävissä, että kosteussisältö on kohteissa ja ulkoilmassa samansuuruisia.

Koska lämpötilavaihtelun todettiin olevan mittausjakson aikana suurta, selvitettiin mit-taustuloksista päiväkohtaiset vaihtelut, jotka on esitetty taulukossa 4 sivuilla 55–56.

Taulukko 4, yläpohjien lämpötilojen vuorokausivaihtelut

| Päivämäärä | Kohde 1, vrk vaihteluväli | Kohde 1, vrk erotus | Kohde 2, vrk vaihteluväli | Kohde 2, vrk erotus |
|------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|
| 22.7.2019 | 18.8 – 31.2°C | 12.4 °C | 19.5 - 31.2 °C | 11.7 °C |
| 23.7.2019 | 15.3 - 44.8 °C | 29.5 °C | 16.1 - 44.4 °C | 28.3 °C |
| 24.7.2019 | 15.5 - 44.1 °C | 28.6 °C | 16.6 - 43.3 °C | 26.7 °C |
| 25.7.2019 | 16.3 - 39.0 °C | 22.7 °C | 16.9 - 40.5 °C | 23.6 °C |
| 26.7.2019 | 14.4 - 40.1 °C | 25.7 °C | 16.1 - 42.0 °C | 25.9 °C |
| 27.7.2019 | 16.6 - 45.9 °C | 29.3 °C | 17.8 - 45.6 °C | 27.8 °C |
| 28.7.2019 | 18.9 - 45.8 °C | 26.9 °C | 20.4 - 49.3 °C | 28.9 °C |
| 29.7.2019 | 15.6 - 36.6 °C | 21.0 °C | 17.4 - 38.1 °C | 20.7 °C |
| 30.7.2019 | 12.2 - 26.0 °C | 13.8 °C | 14.1 - 30.3 °C | 16.2 °C |
| 31.7.2019 | 11.5 - 33.4 °C | 21.9 °C | 13.5 - 39.9 °C | 26.4 °C |
| 1.8.2019 | 10.0 - 33.0 °C | 23.0 °C | 11.7 - 38.6 °C | 26.9 °C |
| 2.8.2019 | 8.0 - 32.7 °C | 24.7 °C | 10.2 - 38.7 °C | 28.5 °C |
| 3.8.2019 | 5.6 - 28.6 °C | 23.0 °C | 7.7 - 31.3 °C | 23.6 °C |
| 4.8.2019 | 3.7 - 30.0 °C | 26.3 °C | 5.3 - 31.1 °C | 25.8 °C |
| 5.8.2019 | 6.2 - 35.6 °C | 29.4 °C | 7.2 - 34.7 °C | 27.5 °C |
| 6.8.2019 | 11.7 - 30.9 °C | 19.2 °C | 12.1 - 30.9 °C | 18.8 °C |
| 7.8.2019 | 11.7 - 31.9 °C | 20.2 °C | 12.6 - 30.9 °C | 18.3 °C |

| | | | | |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 8.8.2019 | 11.9 - 36.7 °C | 25.7 °C | 13.5 - 34.9 °C | 21.4 °C |
| 9.8.2019 | 12.3 - 32.7 °C | 20.4 °C | 13.6 - 34.6 °C | 21.0 °C |
| 10.8.2019 | 9.4 - 39.3 °C | 29.9 °C | 11.0 - 38.8 °C | 27.8 °C |
| 11.8.2019 | 15.0 - 26.3 °C | 11.3 °C | 16.5 - 26.0 °C | 9.5 °C |

Vuorokauden aikana tapahtuvat lämpötilavaihtelut ovat ajoittain suuria, ollen korkeimmillaan lähes 30°C-astetta. Taulukossa 4 on esitetty lihavoituina ja punaisella yli 25°C-asteen vuorokausivaihtelut. Olosuhdemittauskohteessa 1, vuonna 2016 rakennetussa omakotitalossa, edellä mainittuja vuorokausia oli mittausjakson aikana 9 kappaletta ja olosuhdemittauskohteessa 2, vuonna 1968 rakennetussa paritalossa, 11 kappaletta. Mitävirhemarginaaleja ei ole huomioitu, sillä tuloksilla ei ole vertailudataa, joihin niitä tulisi verrata. Lämpötilamittauksilla pyrittiin saamaan lisätietoja mahdollisesti tarvittavista laboratoriotesteistä ja niissä käytettävistä olosuhteista.

10 Asiantuntijahaastattelut

10.1 Yleistä asiantuntijahaastatteluista

Asiantuntijahaastatteluilla pyrittiin saamaan lisätietoja tämänhetkisestä tiedosta liittyen selluvillapohjaisiin lämmöneristeisiin ja niiden mahdolliseen sisäilmavaikutukseen. Asiantuntijahaastatteluita lähetettiin valikoiduille tahoille, jotka ovat osoittaneet asiantuntijuutensa sisäilma-alalla. Eri asiantuntijatahoille laaditun kyselylomakkeen pohjalta pidettiin pienimuotoisia paneelikeskusteluita, puheluita, Teams-palavereita sekä käytiin sähköpostikeskustelua.

Seuraavissa osioissa on esitetty keskeisimmät havainnot ja tekijät, jotka nousivat esille eri asiantuntijatahojen kanssa käydyissä keskusteluissa.

10.1.1 Kuntotutkijat ja sisäilmatutkijat

Kuntotutkijoille esitettiin heidän työtehtävänsä huomioiden spesifioidut kysymykset omalla kyselylomakkeellaan. Tässä opinnäytetyössä ei pyritty keräämään kappalemäärältään suurta vastausaineistoa, vaan kyselylomakkeet lähetettiin valikoidusti

kuntotutkimuksia pitkään tehneille asiantuntevuutensa alalla osoittaneille asiantuntijoille. Vastanneiden kesken työkokemuksen keskiarvo sisäilma-alalla toimimisesta kuntotutkijoiden osalta oli noin 16 vuotta.

Kuntotutkijoilta saaduista vastauksista kävi yleisesti ilmi, että kaikki kaipaavat lisätietoa selluvillapohjaisten lämmöneristeiden mahdollisesti aiheuttamista sisäilmahaitoista. Lähes kaikki sanoivat, että he hyödyntäisivät tutkimusmenetelmää palonsuoja-aineiden tutkimiseksi, jos niille luotettava sellainen olisi olemassa. Erikseen toivottiin luotettavan ilmanäytteen kehittämistä booriyhdisteiden mittaamiselle.

Kaikki olivat todenneet tutkimuksissaan merkittäviä ilmavuotoja yläpohjan eristetilasta sisätiloihin. Yläpohjan ilmavuotoja oli tutkittu merkkiainekokeilla, lämpökuvauksilla ja merkkisavujen avulla. Useiden kuntotutkijoiden mukaan ilmavuodot ovat kuitenkin usein olleet havaittavissa jo silmämääräisissä tarkastuksissa, eikä tarkempia ilmavuotoselvityksiä ole aina ollut tarpeen edes tehdä. Vastauksissa korostui puurakenteisen yläpohjan olevan ilmavuotojen osalta epätiiviimpi kuin betonirakenteinen yläpohja. Tosin kaiken tyyppisissä yläpohjarakenteissa oli havaittu merkittäviä ilmavuotoja.

Rakennuksen valmistumisvuodella ei ollut selkeää merkitystä ilmavuotojen esiintymiselle, mutta uudemmissa 2010-luvulla tai sen jälkeen valmistuneista ei ilmoitettu havaintoja merkittävistä ilmavuodoista. Tähän yksi merkittävä tekijä on kuitenkin se, että vanhempia rakennuksia on tutkittu huomattavasti enemmän kuin uusia rakennuksia.

10.1.2 Poimintoja kyselyissä saaduista kommentteista

Kysyttäessä ajatuksia, havaintoja ja tuloksia liittyen selluvillapohjaisiin lämmöneristeisiin kuntotutkimusten yhteydessä, asiantuntijat vastasivat seuraavin tavoin.

Tapani Moilanen, RKM, RTA, kokemus sisäilma-alalta yli 15 vuotta:

”Yleensä niissä ei ole löytynyt mikrobeja, jos näyte on otettu eristekerroksen sisältä tai alapinnalta vaikka vettä on ollut läsnä (höyrynsulun päällä vesijälkiä).

Raskasmetallimäärityksissä boorin määrä on heitellyt paljon ja osassa tuloksia boorin määrä on ylittänyt moninkertaisesti valmistajan ilmoittaman boorin määrän.

Epätiivissä rakenteissa (sisäpinta) jos painesuhteet kiinteistössä eivät ole kunnossa niin selluvillapöly sisätiloissa voi aiheuttaa käyttäjillä ärsytysoireita, jos boorin määrä on ylittynyt valmistajan ilmoittamasta.”

Harry Damsten, FM, ympäristötiede, RTA, kokemus sisäilma-alalta yli 15 vuotta:

Booriyhdisteiden pitoisuuksia selvitetty. Haluttu tietää sisältääkö erään terveysaseman yläpohjan puhallusvilla booria ja voisiko se selittää käyttäjien oireita.

Em. näytteessä todettiin booriyhdisteitä, mutta silloin ei ollut määritetty viitearvoja. Ei välttämättä ole nytkään. Haluttiin tietää sisältääkö yläpohjan puhallusvilla booria. Muis-telen, että tästä keskusteltiin TTL:n kanssa ja silloin asiaa ei nähty riskiksi.

Myöhemmin rakennusta tutkittiin tarkemmin ja oireisiin löytyi selkeitä rakenteellisia syitä mm. yleisesti rakenteiden epätiivius ja kuituongelmat.

Asia oli aikanaan esillä, mutta siitä on jo noin 10 vuotta aikaa. Tietoa ei ole tarpeeksi ja asia on hieman painettu taustalle, koska ei välttämättä tiedetä tarpeeksi. Tietääkseni ei ole vielä selkeää näyttöä ainakaan boorin ja sisäilma oireiden yhteydestä.

Hannanoora Junttila, DI, rakennustekniikka, kokemus sisäilma-alalta yli 8 vuotta:

Toisinaan sisäilmassa on ollut havaittavissa selluvillalle ominaista hajua, kun selluvil-lalla eristetyistä yläpohjasta on tapahtunut ilmavuotoa.

Ainakin hajuhaittaa selluvillat voivat aiheuttaa sisäilmaan, jos rakenteet eivät ole ilmatii-viitä ja sisätilat ovat alipaineisia. Joskus on ohimennen mietitty, liittyykö selluvilloissa käytettäviin palonestokemikaaleihin sisäilma-/terveysriskejä. Asiasta olisi hyvä saada lisätietoa.

Ilmavuotoja on sekä vanhoissa että uudemmissa rakennuksissa lähinnä yläpohjan ra-kenneliittymissä ja tiivistämättömissä / huonosti tiivistetyissä yläpohjan läpivienneissä. Ilmavuodot huomaa pölyjäljistä rakenteiden pinnoilla, lämpökameran avulla viileinä alu-eina kattopinnalla ja joskus aistinvaraisestikin, jos vuotoilma on kylmää ja sisätilat alipai-neisia. Useimmiten ilmavuotoreitit ovat niin selviä/suuria, että ne havaitsee paljaalla

silmällä. Yleensä ongelmana ovat yläpohjasta sisätilaan päin tapahtuvat ilmavuodot. Sen sijaan sisätiloista yläpohjaan päin tapahtuvia ilmavuotoja, joista olisi aiheutunut vaurioita yläpohjarakenteille, tulee vastaan hyvin harvoin.

Kyösti Koskinen, ins. (AMK), RTA, AHA, kokemus sisäilma-alalta yli 26 vuotta:

Olen kyllä tietoinen niiden Booripitoisuuksista ja olisi syytä tutkia niitä tarkemmin mahdollisena sisäilmahaittana.

Hyvä ja luotettava ilmanäytemenetelmä, jolla voitaisiin mitata sisäilman booriyhdisteitä olisi tarpeen.

10.1.3 Rakennusmateriaalinäytteitä analysoivat laboratoriot

Laboratorioilta saatiin todella huonosti kirjallisia vastauksia. Suurin tekijä tähän lienee se, ettei booriyhdisteitä rakennusmateriaaleista tutkivia laboratoriopalveluita yleisesti ole Suomessa tarjolla. Puhelinkeskusteluissa ja Teams-palavereissa, joissa asiasta keskusteltiin, ei saatu asiaan suoria vastauksia. Yleinen näkemys oli, ettei asiaan oteta kantaa, sillä tutkimustietoa on liian vähän.

10.1.4 Sisäilma- ja kuntotutkimuksia tilaavat asiantuntijat

Kuntotutkimuksia tilaavilta asiantuntijoilta saatiin myös niukasti vastauksia. Useampi tilaajataho vastasi, ettei osaa ottaa kantaa selluvillaeristeisiin ja niiden mahdollisesti aiheuttamiin sisäilmahaittoihin. Keskusteluista kävi ilmi, että tilaajat luottavat tutkimuksia suorittaviin asiantuntijoihin ja heidän riittävään osaamiseensa ylipäänsä sisäilmatekijöissä ja -tutkimuksissa.

Osa tilaajista ei myöskään antanut lupaa julkaista vastauksiaan tämän opinnäytetyön yhteydessä. Kyseiset vastaukset ja niiden kautta käydyt keskustelut on kuitenkin huomioitu esimerkiksi tämän opinnäytetyön yhteenveto-osiossa.

11 Yhteenveto

Sekä omissa kuntotutkimuskohteissani että nyt käytyjen asiantuntijakeskusteluiden pohjalta voidaan todeta, että yläpohjista on sisäilman laadun kannalta merkittäviä ilmapuujia sisätiloihin. Ensisijaisena toimenpiteenä sisäilman laadun parantamiseksi on riittävän ilmanpitävyyden varmistaminen sekä rakennuksen painesuhteiden hallitseminen. Puhdasta tuloilmaa / ulkoilmaa tulee saada riittävästi suhteessa rakennuksesta poistettavaan ilmamäärään, ja ilmanvaihtuvuuden tulee olla riittävää rakennuksen käyttö huomioiden.

Nämä ovat toimenpiteitä, jotka tulisi huomioida yläpohjan lämmöneristemateriaalin valinnasta huolimatta. Samoin muiden kuin yläpohjarakenteiden osalta riittävä ilmanpitävyys on sisäilman laadun kannalta tärkeä asia. Tässä tulee kuitenkin huomioida, että rakenteiden tulee olla myös kosteusteknisesti toimivia, eikä esimerkiksi lämpötilaeroista aiheutuvaa haitallista kosteuden tiivistymistä saa esiintyä.

Asiantuntijakeskusteluissa kävi ilmi, että lämmöneristeiden palonsuoja- ja homeenestoaineet ovat herättäneet epäilyjä mahdollisen sisäilmahaitan aiheuttajina. Tästä ei kuitenkaan ole nykytietämyksen mukaan näyttöä, ja olisikin tärkeää kehittää tutkimusmenetelmä, jolla voitaisiin varmistaa asian todellinen tilanne.

Opinnäytetyön tekijän näkemys on, että booriyhdisteiden pitoisuudet sisäilmassa ovat turvallisella tasolla, kun valvotaan ja noudatetaan eristemateriaaliin lisättävien booriyhdisteiden määrää ja huolehditaan riittävästä rakenteiden ilmanpitävyydestä ja rakennuksen ilmanvaihdosta. Sen sijaan opinnäytetyön tekijän näkemyksen mukaan on kuitenkin hyvin todennäköistä, että puhallusvilla asentavat työntekijät altistuvat epäpuhtauksille, joilta tulisi suojautua pölyävissä työvaiheissa huolellisesti.

Kymenlaakson ammattikorkeakoululle tehdyssä opinnäytetyössä booripohjaisen kyllästysaineen huuhtoutumisen tutkiminen [44] Matti Kokko on tutkinut miten booripohjaiset kyllästysaineet haihtuvat puumateriaalista eri koerasituksien aikana. Kyseisessä opinnäytetyössä on tehty rasisuskokeita, joissa stimuloidaan puun vanhenemista ja puun suoraa rasisusta vedelle. Booripitoisella kyllästysaineella käsitellylle puulle tehtiin myös kokeita, jotka kuvaavat säänrasitusta.

Booripohjaiset kyllästysaineet eivät kestäneet puunvanhenemistä ja suoraa vesirasitusta, sillä niiden johdosta kyllästysaine huuhtoutui pois lähes kokonaan. Tämän kaltaisia rasituksia ei lämmöneristeille ole odotettavissa.

Sen sijaan sääkaapissa tehdyissä rasituskokeissa kyllästysaineet säilyivät puumateriaalissa hyvin. Kyllästysaineen pitoisuus aleni noin 12 % alkuperäisestä pitoisuudesta. Säärasituskokeen perusteella kyllästysainetta todettiin olevan edelleen riittävä määrä lahoa ja mikrobeja vastaan. [44 s. 36–37]

Edellä kuvatussa säärasituskokeessa todettu kyllästysaineen pysyvyys viittaisi booriyhdisteiden pieneen haihtuvuuteen materiaalista, mutta tilanne ei kuitenkaan vastaa yläpohjan olosuhteita, jossa lämpötila vaihtelut ja tilan tuulettuminen on suurta. Selluvilla on myös huokoisempaa kuin säärasituskokeessa käytetty puuaines.

Tämän opinnäytetyön yhteydessä tehdyissä yläpohjan olosuhdemittauksissa todettiin lämpötilan vaihtelevan hyvinkin nopeasti, ja lämpötilavaihtelua hyödynnetään esimerkiksi betonirakenteissa niissä olevien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksien alentamiseksi.

Opinnäytetyön tekijän näkemys on, että jatkotutkimuksissa tulisi siis selvittää mahdollisen sisäilmatekijän lisäksi myös palonsuoja-aineiden pitoisuuden säilyminen riittävällä tasolla koko rakennuksen elinkaari huomioiden. Samoin kiertotaloudessa tulee huomioida selluvillan uudelleenkäyttö. Uudelleenkäyttöä toteutettaessa tulee selluvillalle tehdä tarvittaessa laboratoriotestejä, joilla voidaan osoittaa selluvillan olevan riittävän boori- ja paloturvallisuuden kannalta.

Mikäli booriyhdisteitä sisältävien selluvillaeristeiden todetaan mahdollisilla uusilla tutkimusmenetelmillä olevan sisäilman laadun kannalta turvallisia ja mikäli laboratorioissa tehtävillä laboratorioskokeilla voitaisiin tulevaisuudessa osoittaa, että booriyhdisteiden pitoisuus pysyy palosuojan ja homeeneston kannalta riittävällä tasolla yläpohjatilaa vastaavissa olosuhteissa, voitaisiin selluvillaeristeitä uudelleen käyttää sellaisenaan.

Haasteita tässä opinnäytetyössä aiheutti vähäinen saatavilla oleva tieto booriyhdisteistä ja niiden mahdollisesti aiheuttamista terveyshaitoista. Luotettavienkin lähteiden mukaan booriyhdisteitä pidetään turvallisina, kun taas toisten luotettavana pidettävien lähteiden

mukaan booriyhdisteet ovat myrkyllisiä / haitallisia. Oman vaikeutensa toivat monimutkaiset kemialliset termit ja nimet eri yhdisteille. Yleisesti jonkin tuotteen tai materiaalin haitallisuudesta puhuttaessa tulisikin aina huomioida altistumisaika, altistumispuite ja altistumispaikka sekä muut mahdolliset samanaikaiset altisteet.

Myös ihmisten henkilökohtaisilla eroavaisuuksilla on suuri merkitys koettuihin oireisiin. Henkilökohtaisten eroavaisuuksien huomioiminen on haastavaa arvioidessa mahdollisen oireilun aiheuttajaa. Oireilun syytä / aiheuttajaa arvioitaessa tulisi arviointiprosessissa olla mukana myös terveydenhuollon ammattilaisia.

Lähteet

- 1 Eija Puhakka, Beatrice Bäck, Seija Kalso, Risto Vahanen, Hannu Viitanen, Hannu Arvela, Anne Voutilainen, Risto Ruotsalainen, Pirkko Koukila-Kähkölä, Kimmo Sarekoski & Jukka Kärkkäinen: Terveellinen sisäilma, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä 1996
- 2 Kaisa Salminen: Pesuaineiden käyttö ei selitä koulujen hengitystieoireita. Rakennuslehti 5.2.2016. <https://www.rakennuslehti.fi/2016/02/pesuaineiden-kaytto-ei-selita-koulujen-hengitystieoireita/> Haettu 16.6.2023
- 3 Jyri Nieminen ja Jari Virta: Rakennusten lisälämmöneristäminen, Kiinteistöalan Kustannus Oy ja ympäristöministeriö 2016
- 4 Olli Seppänen: Kansainväliset ilmanvaihto- ja sisäilmaexpertit kokoontuivat Otaniemessä. Sisäilmauutiset 19.6.2018. <https://www.sisailmauutiset.fi/sisailmayhdistys/kansainvaliset-ilmanvaihto-ja-sisailmaekspertit-kokoontuivat-otaniemessa/> Haettu 12.7.2023
- 5 Ympäristöministeriö: Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 2003
- 6 Olli Seppänen: Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa, Finvac Ry 2020
- 7 Sisäilmayhdistys ry: Vesikatto ja yläpohja 2008. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteusvaurioituminen/Vesikatto-ja-yla-pohja> Haettu 1.7.2023
- 8 Hannanoora Juntila 2014, Pientalojen puurakenteisten tuulettuvien yläpohjien lämpö- ja kosteustekninen toiminta. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto
- 9 Minna Anttalainen 2019, Luonnonmukaisten lämmöneristeiden käyttö uudis- ja korjausrakentamisessa. AMK-opinnäytetyö. Metropolia AMK
- 10 Panu Kaila: Talotohtori, rakentajan pikkujättiläinen, WSOY, Porvoo 1997
- 11 Termex-selluvilla, tuoteseloste 2020
- 12 Rakennustietosäätiö: RT-kortti 103456, Ekovilla-lämmöneristeet 2022
- 13 Ympäristöministeriö: Suomen rakentamismääräyskokoelma C4 2003
- 14 Otto Korteoja 2012, Suunnitteluratkaisut 2010-luvun rakennuskannassa. AMK-opinnäytetyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu

- 15 Niklas Kotonen 2018, Lisälämmöneristyksen vaikutus tuuletustilalliseen yläpohjaan. AMK-opinnäytetyö. Hämeen ammattikorkeakoulu
- 16 Seija Häkkinen: Turun aerobiologian laitos, webinaari *Stachybotrys* -homesuku rakennetussa ympäristössä 2023
- 17 Emilia ja Pekka Saatsi: Hirsitalon lämmöneristeet – luomua vai lisäaineita? Rakennusperinteet ystävät ry. <https://www.tuuma.net/artikkelit/2017/2/hirsitalon-lammoneristeet> Haettu 13.8.2023
- 18 VTT:n esite: Sanomalehden ympäristövaikutukset 2010
- 19 Sari Kauppi, Topi Turunen, Petrus Kautto, Jaakko Mannio, Milja Räisänen, Timo Seppälä, Jani Salminen, Katri Lautala, John Bachér, Margareta Wahlström, Tuuli Teittinen, Sirpa Laitinen, Simo Porras, Tiina Rantio, Tiina Santonen, Kati Suomalainen ja Hannu Kiviranta: Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja Kestävä ja turvallinen kiertotalous, Valtioneuvoston kanslia 2019
- 20 Mediatiedote Tukes: Kemikaalien markkinavalvonnassa hyviä ja huonoja tuloksia. Turvallisuus ja kemikaalivirasto 27.2.2020. <https://tukes.fi/-/kemikaalien-markkinavalvonnassa-hyvia-ja-huonoja-tuloksia#9cd4715e> Haettu 10.8.2023
- 21 Harri Vainio, Jyrki Liesivuori, Marika Lehtola, Kimmo Louekari, Kerstin Engström, Timo Kauppinen, Kari Kurppa, Hannu Riipinen, Kai Savolainen ja Antti Tossavainen: Kemikaalit ja työ, Selvitys työympäristön kemikaaliriskeistä, Työterveyslaitos 2005
- 22 Kyösti Louhelainen, Tiina Santonen, Johanna Moisa, Helene Stockmann-Juvala, Sirpa Pennanen, Tuomo Lapinlampi: Biosidit ja korjausrakentaminen, Työterveyslaitos ja Itä-Suomen yliopisto 2016
- 23 Asumisen rahoitus ja kehittämiskeskus ARA: Rakennusmateriaalien uudelleenkäyttö, kierrätys ja jätehuolto. Ympäristö.fi julkaistu 6.6.2022, päivitetty 1.9.2023. <https://www.ymparisto.fi/fi/rakennettu-ymparisto/rakentaminen/kiinteistojen-yl-lapito-ja-korjaaminen/rakennusmateriaalien-uudelleenkaytto-kierratys-ja-jatehuolto> Haettu 28.9.2023
- 24 Tiedote: Rakennustuotteiden uudelleenkäyttö on Suomessa mahdollista rakennuspaikkakohtaista varmentamista käyttäen. Ympäristöministeriö 21.6.2022. <https://ym.fi/-/rakennustuotteiden-uudelleenkaytto-on-suomessa-mahdollista-rakennuspaikkakohtaista-varmentamista-kayttaen> Haettu 28.8.2023
- 25 Anne Aikivuori: Tutkimusraportti terveen rakennuksen evoluutio, VTT 2001

- 26 Rakennustietosäätiö: Ratu 82–0381, Kivihiilipikeä sisältävien rakenteiden purku 2011
- 27 Merja Korkalainen ja Panu Rantakokko: THL:n lausunto kloorianisolien aiheuttamasta terveyshaitasta asunnon sisäilmassa 2022
- 28 Vesa-Matti Lamminen 2017, Haitallisten VOC-päästöjen poistaminen ontelolaattapohjaisesta betonilattiarakenteesta. AMK-opinnäytetyö. Saimaan ammattikorkeakoulu
- 29 Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osa 3, 2016, Valvira, sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto
- 30 FCG Suunnittelu ja tekniikka, tutkimusraportti: Korjaa ajoissa ja säästä. Koskeus- ja hometalkoot / Ympäristöministeriö 2016
- 31 Uutiskirje: Rakennusmateriaalien testaus. Työterveyslaitos. <https://www.ttl.fi/palvelut/laboratorioanalyysit-ja-testaus/rakennusmateriaalien-testaus> Haettu 19.9.2023
- 32 Annika Toiviainen 2023, RTS-ympäristöluokituksen mukaiset pintamateriaalit uudisasuntokohteessa. YAMK-opinnäytetyö. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
- 33 Olli Seppänen: Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto, Kirjapaino Kiitorata Oy, Helsinki 1996
- 34 Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osa 1, 2016, Valvira, sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto
- 35 Markus Immonen 2013, Rakennuksen vaipan ilmatiivyyden vaikutus energiatehokkuuteen. YAMK-opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu
- 36 Netta Peippo 2019, Hirsirakenteisen pientaloalueen ja tyyppitalojen viitesuunnitelma Lehtojärvelle. Diplomityö. Oulun yliopiston teknillinen tiedekunta
- 37 Hannu Rinne: Perinnemestarin materiaalioppi, WSOY, Helsinki 2018
- 38 Pekka Saatsi: Lisäainein terästettyä luonnollisuutta. Blogikirjoitus 23.5.2017. Saatsi Arkkitehdit. <https://www.saatsi.fi/blogi/lisaainein-terastettya-luonnollisuutta> Haettu 14.8.2023
- 39 Näytteenotto-ohje: Pölynäytteen ottaminen pyyhintämenetelmällä. Työterveyslaitos. <https://www.ttl.fi/palvelut/laboratoriopalvelut/naytteenotto-ohjeet/po-lynaytteen-ottaminen-pyyhintamenetelmalla>: Haettu 10.7.2023

- 40 Suomen säädöskokoelma: Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 2017
- 41 Tommi Leppänen 2012, Rakennuksen tiiviysmittaus. AMK-opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu
- 42 Rakennustietosäätiö: RT-kortti 80–10974, Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje 2009
- 43 Ympäristöministeriö: Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 1987
- 44 Matti Kokko 2010, Booripohjaisen kyllästysaineen huuhtoutumisen tutkiminen. AMK-opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu