

Hanna Hartikainen

**RAKENNUSTEN
YMPÄRISTÖLUOKITUSJÄRJESTEL-
MIEN SISÄILMAN
LAATUMITTAUKSIEN VERTAILUA ERI
JÄRJESTELMISSÄ
Tapaus - kampuskiinteistö**

Opinnäytetyö

Master of Engineering

Master's Degree Programme in Environmental Technology

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

| | |
|-----------------|---|
| Tutkintonimike | Master's Degree Program in Environmental Technology |
| Tekijä/Tekijät | Hanna Hartikainen |
| Työn nimi | Rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmien sisäilman laatumittauksien vertailua eri järjestelmissä, Tapaus - Kampuskiinteistö |
| Toimeksiantaja | Sweco Finland Oy |
| Vuosi | 2024 |
| Sivut | 45 sivua, liitteitä 21 sivua |
| Työn ohjaaja(t) | Tuomas Suur-Uski (Sweco Finland Oy) & Hanna Jylkkä (XAMK) |

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, mitkä ovat eri ympäristöluokitusjärjestelmien (BREEAM, LEED, WELL ja Rakennustiedon ympäristöluokitus) vaatimukset sisäilman laatumittauksien osalta sekä ovatko eri ympäristöluokitusjärjestelmien sisäilman laatumittausten raja-arvot saavutettavissa. Opinnäytetyössä tehtiin myös sisäilman laatumittaukset haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) ja formaldehydin osalta kampuskiinteistöön Rakennustiedon ympäristöluokituksen toimitila- ja palvelurakennukset manuaalin 2018 ohjeiden mukaisesti.

Sisäilman laatumittauksien eri järjestelmien eroavaisuuksia vertailtiin ympäristöluokitusjärjestelmien manuaalien avulla. Formaldehydin ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden raja-arvot vaihtelivat eri järjestelmissä riippuen siitä mihin kansalliseen tai kansainväliseen lähteeseen raja-arvot perustuvat. Eroavaisuuksia järjestelmien välillä oli esimerkiksi Rakennustiedon ympäristöluokituksen mittauksien toistettavuus ennen käyttöönottoja ja puolen vuoden päästä käyttöönotosta sekä BREEAM-järjestelmän rinnakkaisnäytteenotto. BREEAM:ssa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mittausaika on 8 tuntia, Rakennustiedon ympäristöluokituksessa ja LEEDissä se on 30 minuuttia. WELLissä mittaukset perustuvat jatkuvatoimiseen mittaukseen. BREEAM:n ja WELL:n raja-arvot eivät ole siis vertailtavissa Rakennustiedon ympäristöluokituksen mukaisiin mittauksiin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden osalta.

Mittaukset tehtiin kahdeksasta mittauspisteestä. Tulokset alittivat Rakennustiedon ympäristöluokituksen raja-arvot. Uudemman Rakennustiedon ympäristöluokituksen toimitila- ja palvelurakennukset 2022 raja-arvot olisivat ylittyneet kahdessa tilassa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden osalta, jos tuloksia olisi vertailtu siihen. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden osalta LEEDin raja-arvot ylittyivät yhdessä tutkitussa tilassa. Tilassa oli voimakas kemikaalin tai rakennusmateriaalin tuoksu, joten raja-arvon ylitys johtuu todennäköisesti siitä, että tilassa tai sen läheisyydessä oli käytetty kemikaaleja. Formaldehydin osalta mittaustulokset alittivat kaikkien vertailtavien järjestelmien (BREEAM, WELL ja LEED) raja-arvot. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että Rakennustiedon ympäristöluokituksen mukaiset raja-arvot ovat saavutettavissa, jos mittausolosuhteisiin kiinnitetään huomiota.

Asiasanat: Ympäristöluokitusjärjestelmät, sisäilmanlaatu, BREEAM, RTS

| | |
|------------------|---|
| Degree title | Master's Degree Program in Environmental Technology |
| Author (authors) | Hanna Hartikainen |
| Thesis title | Comparison of indoor air quality measurements in building environmental classification systems across different systems, Case - Campus Property |
| Commissioned by | Sweco Finland Oy |
| Time | 2024 |
| Pages | 45 pages, 21 pages of appendices |
| Supervisor | Tuomas Suur-Uski (Sweco Finland Oy) & Hanna Jylkkä (XAMK) |

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to investigate the requirements for indoor air quality measurements in different environmental classification systems (BREEAM, LEED, WELL, and RTS) and whether the threshold values for indoor air quality measurements are achievable. The thesis also included indoor air quality measurements for volatile organic compounds (VOCs) and formaldehyde in a campus property following the guidelines of the RTS manual for office and service buildings in 2018.

Differences between the various systems in terms of indoor air quality measurements were compared using the manuals of the environmental classification systems. Threshold values for formaldehyde and volatile organic compounds varied between the systems depending on which national or international source the values were based. For example, differences between the systems included the repeating of RTS system measurements before occupancy and six months after occupancy and BREEAM's requirement for simultaneous sampling. In BREEAM, the measurement time for volatile organic compounds is 8 hours, while in RTS and LEED it is 30 minutes. WELL's measurements are based on continuous monitoring. Therefore, the threshold values of BREEAM and WELL are not directly comparable to the RTS's guidelines measurements for volatile organic compounds.

Measurements were taken at eight points. The results were below the RTS threshold values. If the results had been compared to the newest RTS manual for office and service buildings 2022, the threshold value would have been exceeded in two spaces. For volatile organic compounds, the LEED threshold values were exceeded in one of the spaces. This space had a strong chemical or construction material smell, so the exceeding is likely due to the use of chemicals in or near the space. The measurement results were below the threshold values of all the systems which were compared for formaldehyde, (BREEAM, WELL, and LEED). In conclusion, it can be stated that the threshold values according to the RTS can be achieved if attention is paid to the measurement conditions.

Keywords: Environmental classification systems, indoor air quality, BREEAM, RTS, LEED, WELL

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 6 |
| 2 | KIRJALLISUUSKATSAUS..... | 8 |
| 2.1 | Lait ja ohjeistukset..... | 8 |
| 2.2 | Ympäristöluokitusjärjestelmät..... | 10 |
| 2.3 | Yleisimmät ympäristöluokitusjärjestelmät Suomessa..... | 11 |
| 2.4 | Hyvä sisäilma..... | 13 |
| 2.4.1 | Haihtuvat orgaaniset yhdisteet..... | 14 |
| 2.4.2 | Formaldehydi..... | 18 |
| 2.5 | Edelliset tutkimukset aiheesta..... | 18 |
| 2.6 | Sisäilman laatumittausmenetelmät eri järjestelmissä..... | 20 |
| 2.6.1 | Rakennustiedon ympäristöluokitus Asuinkerrostalot sekä toimitila- ja palvelurakennukset..... | 20 |
| 2.6.2 | BREEAM International New Construction, V6 ja Non Domestic Re-furbishment 2015..... | 21 |
| 2.6.3 | LEED v4.1, Building design and construction..... | 22 |
| 2.6.4 | WELL..... | 24 |
| 3 | AINEISTO JA MENETELMÄT..... | 25 |
| 3.1 | Sisäilman laatumittauksien vertailu eri järjestelmissä..... | 25 |
| 3.2 | Tutkimuskohde ja tutkittavat tilat..... | 25 |
| 3.3 | Sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden näytteenotto..... | 27 |
| 3.4 | Sisäilman formaldehydin näytteenotto..... | 29 |
| 4 | TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU..... | 30 |
| 4.1 | Sisäilman laatumittauksien vertailua eri järjestelmissä..... | 30 |
| 4.2 | Sisäilman laatumittauksien tulokset..... | 34 |
| 4.3 | Havainnot kohteessa..... | 37 |
| 5 | JOHTOPÄÄTÖKSET..... | 38 |
| | LÄHTEET..... | 41 |

LIITTEET **VIRHE. KIRJANMERKKIÄ EI OLE MÄÄRITETTY.**

LIITTEET

Liite 1. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja formaldehydin mittaustulokset

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen myötä kestäväään rakentamiseen on laajasti herätty ja yhtenä työkaluna voidaan käyttää erilaisia rakennuksien ympäristöluokitusjärjestelmiä. Suomessa käytettyjä rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmiä ovat brittiläinen Rakennustutkimuslaitoksen ympäristöarviointimenetelmä eli Building research establishment environmental assessment method (BREEAM), yhdysvaltalainen Energia ja ympäristösuunnittelun johtaminen eli Leadership in energy and environmental design (LEED), suomalainen Rakennustiedon ympäristöluokitus, WELL sekä Joutsenmerkki.

Laadukas sisäympäristö on ihmisen terveyden kannalta olennaista. Työikäiset viettävät Suomessa noin 90 prosenttia ajastaan sisätiloissa, joten terveyden kannalta on hyvin merkittävää minkälaisissa olosuhteissa ja rakennuksissa ihmiset oleskelevat. Rakennusteknillisesti hyvin toimiva ja käyttötarkoitustaan vastaava rakennus, jossa on turvalliset tilat ja joka täyttää sisäympäristöolosuhteiltaan sille asetetut vaatimukset edistää käyttäjiensä hyvinvointia sekä terveyttä. (Sisäilma 2022.) Ympäristöluokitusjärjestelmissä sisäympäristön hyvä laatu on yksi kriteereistä.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään BREEAM- ja LEED-ympäristöjärjestelmien sekä Rakennustiedon ympäristöluokituksen sisäilman laatumittauksiin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden sekä formaldehydin osalta. Edellä mainitut yhdisteet valittiin tutkimukseen, koska niitä mitataan jokaisessa ympäristöjärjestelmässä. Näin ollen tässä tutkimuksessa saatuja tutkimustuloksia pystytään arvioimaan alittavatko ne eri ympäristöjärjestelmien raja-arvot

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia eri ympäristöluokitusjärjestelmien sisäilman laatumittauksien vaatimuksia ja ovatko eri järjestelmien sisäilman laatumittausten raja-arvot saavutettavissa. Opinnäytetyössä tehdään sisäilman laatumittaukset Rakennustiedon ympäristöluokituksen Toimitila- ja palvelurakennukset (2018) manuaalin ohjeiden mukaisesti. Mittauksia tehdään haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) ja formaldehydin osalta yhdessä

kohteessa. Saatuja tutkimustuloksia verrataan eri ympäristöluokitusjärjestelmien sekä referenssitutkimuksen raja-arvoihin edellä mainittujen yhdistelmien osalta. Opinnäytetyön tutkimuskysymyksinä ovat:

1. Mitkä ovat sisäilman laatumittauksien vaatimukset eri ympäristösertifiointijärjestelmissä?
2. Ovatko ympäristösertifiointijärjestelmien asettamat sisäilman laatumittauksien raja-arvot saavutettavissa?

Nykyaikaista tutkimustietoa on aiheesta hyvin vähän saatavilla. Suomessa on tehty muutamia tutkimuksia aiheesta 2000-luvun puolivälissä. Yleisesti rakennuksen sisäilmasta ei mitata haihtuvia orgaanisia yhdisteitä tai formaldehydiä juuri sen valmistuttua, koska pitoisuudet ovat pintamateriaalien asennuksen jälkeen suuria. Ympäristöluokitusjärjestelmien mukaan rakennetuissa rakennuksissa käytetään yleensä M1-luokiteltuja materiaaleja, joiden pitoisuustasot ovat pieniä, joten teoriassa sisäilman laatumittauksien tulisi alittaa ympäristöluokitusjärjestelmien määrittämät raja-arvot.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Lait ja ohjeistukset

WHO on julkaissut "Air quality guidelines for Europe"-ohjeistuksen vuonna 1987 ja se on ensimmäinen WHO:n tekemä ohjeistus sisäilman epäpuhtauksiin liittyen. Ohjeistuksessa on ohjearvoja 35 erilaiselle kemikaalille tai yhdisteelle, jotka ovat yleisiä sisäilmassa ja voivat aiheuttaa terveyshaittaa. Ohjeistus on päivitetty viimeksi vuonna 2000. (Air quality guidelines 2000, 1 – 2.)

WHO:n ohjeistuksen "WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants" (2010) tarkoituksena on suojella kansanterveyttä erilaisilta epäpuhtauksilta sisäilmassa. Ohjeistuksessa tarkasteltavia yhdisteitä ovat bentseeni, hiilimonoksidi, formaldehydi, naftaleeni, typpidioksidi, polyaromaattiset hiilivedyt (erityisesti bentsoapyreeni), radon, trikloorietyleeni ja tetrakloorietyleeni. Yhdisteet ovat tunnettuja terveydelle haitallisia yhdisteitä ja ne voivat aiheuttaa sisäilmassa erilaisia sairauksia ihmisille. Ohjeistuksessa on esitetty edellä mainituille yhdisteille sisäilman ohjearvoja, joiden ylittäminen voi lisätä sairastumisen riskiä rakennuksessa oleskeleville. WHO:n ohjeistus sekä "Air quality guidelines for Europe"-ohjeistus ovat toimineet tärkeässä roolissa eri maiden sisäilmaan liittyvän lainsäädännön kehittämiseen. (WHO guidelines for 2010, 1 – 3.)

Suomen Asumisterveysasetuksessa 23.4.2015/2015 on määritelty fysikaalisille, kemiallisille ja biologisille altistumistekijöille vaatimuksia sekä toimenpiderajoja. "*Tätä asetusta sovelletaan terveydensuojelulain (763/1994) nojalla tehtävään asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisten olosuhteiden valvontaan.*" (Asumisterveysasetus 545/2015 1. §). Laissa on myös määritelty ulkopuolisen asiantuntijan pätevyysvaatimukset ja muun muassa määritelty toimenpideraja-arvoja asunnon ilmanvaihtoon, haihtuville orgaanisille yhdisteille sekä formaldehydille. (Asumisterveysasetus 545/2015, 9. §, 15. §, 16. §, 21. §).

Sisäilmastoluokitus 2018 (RT 07-11299:2018) on tehty rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennustarviketeollisuuden avuksi, jolloin

sisäympäristön tavoite- ja suunnitteluarvojen valitseminen ja asettaminen selkeytyy. Sisäilmaluokituksen avulla voidaan rakentaa sisäympäristöltään terveellisiä, turvallisia sekä viihtyisiä rakennuksia. Luokituksen ensimmäinen osa käsittelee sisäympäristön tavoitearvoja, joihin kuuluu lämpöolot, ilman epäpuhtaudet sekä ääni- ja valaisuominaisuudet. Toisessa osassa, suunnittelu- ja toteutusohjeet, käsitellään suunnittelun ja rakennustyömaan eri vaiheiden periaatteiden ja menettelytapojen noudattamista. Luokituksen kolmas osa käsittelee rakennustuotteiden vaatimuksia ja sen periaatteena on edistää vähäpäästöisten rakennusmateriaalien ja puhtaiden ilmanvaihtotuotteiden käyttöä sekä kehittämistä. Luokitus on kolmiluokkainen; yksilöllinen sisäilmasto (S1), hyvä sisäilmasto (S2) ja tyydyttävä sisäilmasto (S3).

M1-päästöluokituksen kriteeristö on julkaistu ensimmäisen kerran vuonna 1996. M1-luokituksen avulla rakennuksista saadaan rakennusmateriaalien ja kalusteiden osalta hajuttomia ja vähäpäästöisiä ja sen tarkoituksena on vähäpäästöisten rakennusmateriaalien ja kalusteiden käytön edistäminen. Luokitus asettaa raja-arvot materiaaleille ja kalusteille haihtuvien orgaanisten yhdisteiden, formaldehydin ja ammoniakkin osalta, myös tuotteen hajua arvioidaan. Luokitusmerkki on EN ISO 14024:2018- standardin mukainen eli se on rakennusmateriaalien tai kalusteiden sisäilmaan aiheutuviin päästöihin rajattu tyyppin I ympäristömerkki. M1-luokitus on maahantuojille ja valmistajille vapaaehtoinen, mutta sitä suositellaan useiden tahojen toimesta, koska sen käyttöönotto edistää rakentamisen laatua. Rakennustietosäätiö voi myöntää M1-luokituksen. (Mikä on M1 2023).

ISO 16000-2:2004 on formaldehydin näytteenottostrategian standardi ja se on tarkoitettu avuksi sisäilman formaldehydimittausten suunnitteluun. Standardin mukaan näytteenoton suunnittelu ja oikeaoppinen näytteenotto on tärkeää, koska mittausten tuloksilla on kauaskantoisia vaikutuksia. Esimerkiksi mittaus tulosten perusteella voidaan rakennukseen tehdä erilaisia korjaavia toimenpiteitä. (ISO 16000-2:2004).

Sisäilman formaldehydiä tutkitaan laboratoriossa ISO 16000-3:2011-standardin mukaisesti nestekromatografialla ja yhdisteet havaitaan ultraviolettiabsorption avulla. (ISO 16000-3:2011).

ISO 16000-5:2007 on tarkoitettu avuksi haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) sisäilman mittauksia suunniteltaessa. Myös tämän standardin mukaan oikeaoppinen näytteenotto on tärkeää, koska mittaustulosten perusteella voidaan rakennuksiin tehdä erilaisia korjaavia toimenpiteitä. (ISO 16005:2007.)

ISO 16000-6:2021 standardi määrittelee menetelmän haihtuvien orgaanisten yhdisteiden määrittämiseen sisäilmassa sekä tuotteissa ja materiaaleissa. Menetelmässä käytetään sorbenttinäytteenottoputkia ja putkien analysointiin käytetään korkealuokkaista massaelektiivisellä detektorilla varustettua termodesorptio-kaasukromatografilaitteistoa. Menetelmä soveltuu useimpien orgaanisten yhdisteiden mittaukseen pitoisuuksilla, jotka vaihtelevat mikrogrammoista kuutiometrissä useisiin milligrammoihin kuutiometrissä. (ISO 16000-6:2021.)

ISO 16017-2:2003-standardi antaa yleisiä ohjeita haihtuvien orgaanisten yhdisteiden näytteenotolle ja analysoinnille sisäilmasta. Standardi on sovellettavissa laajaan joukkoon eri yhdisteitä; hiilivetyjä, halogenoituja hiilivetyjä, estereitä, glykolieettereitä, ketoneita ja alkoholeja. Edellä mainittujen yhdisteryhmien näytteenottoon suositellaan erilaisia sorbentteja, esimerkiksi erittäin polarisoituneet yhdisteet vaativat yleensä erittäin matalan kiehumispisteen ja sorbentti pidättää niitä vain osittain, jolloin niitä voidaan arvioida vain laadullisesti. Standardi on sovellettavissa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden massapitoisuuden mittaamiselle noin $0,002 \text{ mg/m}^3$ - 100 mg/m^3 yksittäiselle orgaaniselle yhdisteelle 8 tunnin altistumisajalle tai $0,3 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ - $300 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ yksittäiselle orgaaniselle yhdisteelle neljän viikon altistumisajalle. (ISO 16017-2:2003).

2.2 Ympäristöluokitusjärjestelmät

Ympäristöluokitusjärjestelmät ovat työkaluja, joiden avulla rakennusten käyttäjät, sijoittajat ja viranomaiset voivat vertailla, mitata ja todentaa kiinteistöjen ympäristötehokkuutta. Niiden avulla kiinteistöjen ympäristöystävällisyyden tasoa voidaan mitata sekä eri kiinteistöjen ympäristöystävällisyyttä voidaan vertailla keskenään. Korkean luokitusason saanut kiinteistö varmistaa sen, että hankkeen kestävä kehitys on ajateltu hankkeen alusta lähtien. Oleellisena

osana sertifiointiprosessia eri järjestelmissä on ulkopuolinen arviointi, joka varmistaa, että rakennus on suunniteltu ja rakennettu ympäristöjärjestelmän mukaisesti. (Ympäristöluokitukset s.a.) Rakennuksien arvioinnin pääpainona on erilaiset kategoriat, jotka on jaettu eri osa-alueiden mukaisesti ja ne vaihtelevat riippuen ympäristöluokitusjärjestelmästä. Kategoriat sisältävät asetettuja raja-arvoja, jotka perustuvat joko kansallisiin tai kansainvälisiin säännöksiin. Jokaisella järjestelmällä on erilaiset painotuskertoimet, joiden avulla kohteen kokonaisarvosana muodostuu. (Ympäristöluokitukset tekevät kiinteistöistä s.a.)

Rakennuksen ympäristösertifikaatti, joka on todistus rakennuksen ympäristöluokituksen tasosta, kertoo rakennuksen omistajan ympäristömyönteisyydestä. Organisaatiot ja yritykset käyttävät luokitusjärjestelmiä parantamaan rakennuksien energiatehokkuutta, kustannuksien ja maapallon rajallisten resurssien säästösyistä. Kiinteistösijoittajat voivat rakennusta ostaessa luotettavasti todentaa myytävän tai ostettavan kohteen ympäristövastuullisuuden tason ympäristöluokitusten avulla ja näin ollen vähentää sekä hallita kiinteistökaupan riskejä. (Ympäristöluokitukset s.a.)

2.3 Yleisimmät ympäristöluokitusjärjestelmät Suomessa

BREEAM on kansainvälisesti käytössä oleva rakennetun ympäristön ympäristöluokitusjärjestelmä ja se on kehitetty Isossa-Britanniassa vuonna 1990.

BRE-Global myöntää lisenssejä riippumattomille BREEAM-lähettiläille, jotka arvioivat hankkeen ympäristöluokituksen pisteytyksen perusteella. Esimerkiksi BREEAM International New Construction (2021) järjestelmässä pisteitä kerätään kymmenestä eri kategoriasta, jotka ovat projektin johto, terveys ja hyvinvointi, energia, liikennöinti, vesi, materiaalit, jätehuolto, maankäyttö ja ekologia, saasteet ja innovaatiot. (BREEAM 2021, 6 – 7.) Luokitukset ovat paremmuusjärjestyksessä; 1. Outstanding, 2. Excellent, 3. Very Good, 4. Good ja 5. Pass. (BREEAM 2021, 18).

LEED on ympäristöluokitusjärjestelmä, jonka on kehittänyt Yhdysvaltain vihreän rakentamisen neuvosto eli United States green building council (USGBC) Yhdysvalloissa. LEED-sertifiointijärjestelmä perustuu kolmannen osapuolen

tekemään arviointiin tilan, rakennuksen tai aluekehityshankkeen ympäristöominaisuuksista ja -kuormituksesta. LEEDin mukaisen ympäristösertifikaatin projektille myöntää Vihreän rakentamisen sertifiointi instituutti eli Green building certification institute (GBCI), jos projekti täyttää USGBCn määrittelemät kriteerit. Sertifikaatin taso määräytyy LEEDin pisteytysjärjestelmän kokonaispisteytymäärän mukaan. (Leed rating system 2022). Pisteitä kerätään 8 kategoriasta, jotka ovat; kestävä maankäyttö, vedenkäytön tehokkuus, energian käyttö ja ilmastovaikutukset, materiaalivalinnat ja jätteiden määrä, sisäilman terveellisyys ja viihtyvyys, sijainti ja yhteydet, tietoisuus ja koulutus sekä innovatiivinen suunnitteluprosessi. (LEED v4.1 Building 2020. 7 – 8). Ympäristöluokitukset ovat paremmuus järjestyksessä; 1. Platinum, 2. Gold, 3. Silver ja 4. Certified. Erilaisille rakennustyypeille ja aluekehityshankkeille on olemassa omat ohjeensa. (LEED rating system 2022).

Rakennustiedon ympäristöluokitus on kehitetty erityisesti Suomen oloihin ja siinä otetaan huomioon niin Suomen olosuhteet ja lainsäädäntö kuin kiinteistökannan monipuolisuus. Hankkeelle tehdään puolueeton kolmannen osapuolen tarkastus ja Rakennustietosäätiö Rakennustiedon ympäristöluokituksen päätoimikunta PT20 myöntää sertifikaatin. Rakennustiedon ympäristöluokitus perustuu eurooppalaisiin standardeihin (CEN TC 350 standardit) ja siihen on otettu mukaan hyviä kotimaisia käytäntöjä; Sisäilmaluokitus, M1-luokitus, rakennusten elinkaarimittarit, Kuivaketju 10 ja Viherkerroin-menetelmä. Rakennustiedon ympäristöluokitus soveltuu uudisrakennus- ja peruskorjaushankkeisiin sekä käyttötarkoituksen muutoksiin. (RTS-ympäristöluokitus rakennushankkeelle 2022.)

Rakennustiedon ympäristöluokituksessa on kaksi kriteeristöä; kriteeristö toimisto- ja liikerakennuksille sekä kriteeristö asuinrakennuksille. (RTS-ympäristöluokitus 2021, 5). Ympäristöluokituksen kriteeristö muodostuu viidestä pääkohdasta; prosessi, talous, ympäristö ja energia, sisäilma ja terveellisyys sekä innovaatio ja 28:sta alakohdasta. Jokaisen kriteerin saavuttamisesta saa määrätyn määrän pisteitä ja hankkeen kokonaispistemäärä määrittelee hankkeiden luokituksen tason. Hankkeen arvosana on esitetty viisiportaisella tähtiluokituksella paremmuusjärjestyksessä; 5 tähteä (erinomainen ympäristölaadun taso), 4 tähteä (korkea ympäristölaadun taso), 3 tähteä (hyvä ympäristölaadun taso),

2 tähteä (tavanomaista parempi ympäristölaadun taso) sekä 1 tähti. (tavanomainen ympäristölaadun taso). (Asuinrakennukset 2018 arviointikriteeristö 2020, 4 – 5.)

WELL on standardointijärjestelmä, joka keskittyy rakennuksien käyttäjien hyvinvointiin. Sen tarkoituksena on tuoda terveystieteitä mukaan suunnitteluun, toimintatapoihin sekä edistää ihmisten terveyttä ja hyvinvointia. WELL on kolmannen osapuolen varmistama luokitus ja se perustuu näyttöihin. WELL projektityypit jaetaan kahteen ryhmään; Owner-occupied ja WELL Core. Owner-occupied (omistajan käytössä) projekteissa tilat ovat joko vuokrattuja tai yrityksen omia, mutta rakennuksen käyttäjät (työntekijät) ovat yrityksessä töissä. WELL Core on rakennuksen omistajalle kehitetty työkalu, jolla se voi vakuuttaa tilojensa vuokraajille niiden olevan standardin mukaisia. (WELL v2 2020, 1 – 3.) Järjestelmän kriteeristö koostuu 10 eri kohdasta ja ne ovat; ilma, vesi, ravinto, valo, liikkuminen, lämpömukavuus, ääni, materiaalit, mieli, yhteisö ja innovaatiot. (WELL v2 2020, 10). Jokaisesta kriteeristön osa-alueesta saa pisteitä ja sertifiointin taso määräytyy pisteytyksen mukaan. Tasot ovat paremmuusjärjestyksessä WELL Platinum, WELL Gold, WELL Silver ja WELL Bronze. (WELL v2 2020, 5.)

2.4 Hyvä sisäilma

Laadukas sisäympäristö on ihmisen terveyden kannalta olennaista. Työikäiset viettävät Suomessa noin 90 prosenttia ajastaan sisätiloissa, joten terveyden kannalta on hyvin merkittävää minkälaisissa olosuhteissa ja rakennuksissa ihmiset oleskelevat. Rakennusteknillisesti hyvin toimiva ja käyttötarkoitustaan vastaava rakennus, jossa on turvalliset tilat ja se täyttää sisäympäristöolosuhteiltaan sille asetetut vaatimukset edistävät käyttäjiensä hyvinvointia sekä terveyttä. (Sisäilma 2022.)

Hyvä sisäilma on hajutonta sekä sen lämpötila ja ilmankosteus on miellyttävää. Sisätiloissa syntyy normaalissa ihmisen toiminnassa epäpuhtauksia esimerkiksi ruuanlaitosta sekä hengitysilmaasta. Yleisimmät epäpuhtauslähteet normaalin toiminnan lisäksi ovat peräisin muun muassa rakennus- ja sisustus-

materiaaleista, liikenteestä, kotitalouksien puun poltosta, maaperästä ja tupakoinnista. Erilaiset epäpuhtauslähteistä peräisin olevat yhdisteet, mikrobit sekä kaasut voivat aiheuttaa rakennuksen käyttäjille oireita ja lisätä sitä kautta sairastumisen riskiä. Yleensä sisäilman epäpuhtaudet aiheuttavat pääosin lieviä oireita ja rakennuksesta poistuttaessa oireet häviävät. Kuitenkin altistumisen pitkittyessä ja pitoisuus tasojen ollessa suuria, vakavan sairastumisen riski kasvaa. Esimerkiksi rakennusten kosteusvaurioista peräisin olevat mikrobikasvustot voivat aiheuttaa rakennuksen käyttäjille astmaa. (Sisäilma 2022.)

2.4.1 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Haihtuville orgaanisille yhdisteille ei ole tiettyä kansainvälistä määritelmää, mutta yleisesti haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VOC-yhdisteet ovat mitä tahansa hiiliä sisältäviä yhdisteitä, joilla on normaalissa huoneenlämpötilassa merkittävä höyrynpaine ja ne esiintyvät kaasumaisessa muodossa sisä- tai ulkotilojen tyypillisissä lämpötiloissa. Niiden sulamispiste on normaalia huoneilman lämpötilaa alhaisempi ja kiehumispiste on noin 50 – 260 astetta. Ne voidaan jakaa haihtuvuuden mukaan kolmeen eri ryhmään: 1) erittäin haihtuvat orgaaniset yhdisteet VVOC (very volatile organic compounds), 2) haihtuvat orgaaniset yhdisteet VOC (volatile organic compounds) ja 3) puolihaihtuvat orgaaniset yhdisteet SVOC (semi volatile organic compounds). (Wallenius ym 2021, 8; Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden 2012, 2.)

Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä voidaan analysoida esimerkiksi ISO 16000-6:2021 mukaisesti. Yhdisteitä kerätään pumpun avulla Tenax adsorbentteja sisältävään putkeen. Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä voidaan analysoida kaasukromatografisesti. Kaasukromatografiassa inertti kaasu toimii liikkuvana faasina, jonka avulla tutkittavat yhdisteet kulkeutuvat kolonnin lävitse. Kaasuna käytetään tavallisesti esimerkiksi typpeä tai vetyä. Näyte höyrytetään injektioammiossa ja höyrystyneet yhdisteet kulkeutuvat kantokaasun mukana kolonniin. Kolonnissa yhdisteet liikkuvat erilaisilla nopeuksilla, joka riippuu niiden haihtuvuudesta ja vuorovaikutuksesta kolonnin nestefaasikerroksen kanssa. Kolonnin läpi kuljettuaan yhdisteet menevät detektorille (liekki-ionisaatiodetektor), joka havaitsee yhdisteet. Yhdisteet näkyvät piikkeinä kromatogrammissa

ns. signaaleina. Jokaiselle yhdisteelle on oma retentioaika, jonka avulla ne tunnistetaan toisistaan. (2.5. Kaasukromatografia s.a.).

Orgaaniset yhdisteet voidaan luokitella kemiallisen rakenteen ja toiminnallisten ryhmien perusteella mm. alifaattisiin hiilivetyihin, aromaattisiin hiilivetyihin, terpeeneihin, alkoholeihin, alkoholi- ja fenolieettereihin, aldehydeihin, happoihin, ketoneihin ja estereihin. VOC-yhdisteiden pitoisuuksien vaihtelu on rakennuksen sisäilmassa suurta ja siihen vaikuttavat sisäilman sekä ulkoilman päästölähteet. (Wallenius ym. 2021, 9.) Sisäilmassa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksiin vaikuttaa mm. rakennus- ja sisustusmateriaalit, kalusteet, tekniset järjestelmät sekä tilojen käyttäjät (esimerkiksi hajusteet, käyttäjien toiminta) sekä siivouksessa käytettävät kemikaalit. Ulkoilmasta sisäilmaan voi kulkeutua päästöjä esimerkiksi puun pienpoltosta, liikenteestä sekä teollisuudesta. (Wallenius ym. 2021, 13.)

Alla olevassa taulukossa on esitetty yleisimmät sisäilman orgaaniset yhdisteet, niiden rakenteet sekä mahdolliset lähteet sisäilmassa. Kuitenkaan sisäilmasta mitatun yhdisteen lähdettä ei voida päätellä mittausten perusteella, koska toisistaan hyvinkin paljon eroavat materiaalit voivat tuottaa samoja haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. (Wallenius ym. 2021, 14.) Alla olevasta taulukosta voidaan havaita, että esimerkiksi alkoholit ja alifaattiset hiilivedyt ovat rakenteeltaan hyvin erilaisia, mutta molempien päästölähteinä voivat toimia rakennusmateriaalit ja puhdistusaineet.

Taulukko 1. Tyypillisimmät orgaaniset yhdisteet sisäilmassa, niiden kemiallinen rakenne ja mahdolliset päästölähteet sisäilmassa. (Wallenius ym. 2021, 10 – 13.)

| Yhdiste | Kemiallinen rakenne ja muut tiedot | Mahdollinen lähde sisäilmassa |
|--|---|---|
| Alifaattiset hiilivedyt mm. alkaanit, alkeenit, alkyylit | Suoraketjuisia, haaroittuneita tai rengasrakenteisia eli sykliisiä hiilivetyjä. Sisältävät yksinkertaisia (alkaanit), kaksois (alkeenit)- tai kolmoisidoksia (alkyyylit). | - Rakennusmateriaalit, puhdistusaineet ja kosmeettiset tuotteet |
| Aromaattiset hiilivedyt mm. bentseeni, ksyleeni, tolueni | Bentseenirengas eli muodostaa tasomaisen rengasrakenteen kuuden hiiliatomin kanssa Muodostuvat kahdesta tai useammasta bentseenirenkaasta | - Liikenne ja luottimet (tolueeni ja ksyleeni) - Kivihillertava sisältävät rakennusmateriaalit (esim. vanhat kosteuseristeet) - Epätäydellinen palaminen (liikenne, puun ja kynttilöiden poltto ja ruoan valmistaminen) |
| PAH-yhdisteet eli polysykliset aromaattiset hiilivedyt mm. naftaleeni | | |
| Terpeenit mm. limoneeni, α -pineeni | Isopreeni, jonka polymeerejä terpeenit ovat | - Hedelmät, puut ja yrtit, - Hajusteet ja elintarvikkeet (limoneeni) - Puumateriaalit (α -pineeni) |
| Alkoholit mm. etanoli, 2-metyyli-2-propanoli, 2-propanoli, 1-butanoli, 2-etyyli-1-heksanoli, 1,2-propanidioli | Tyydytynyt hiiliatomi, johon on kiinnittynyt hydroksyyli-ryhmä (-OH) | - Pesu- ja puhdistusaineet, desinfiointi, (etanoli, 2-etyyli-2-propanoli, 2-propanoli ja 1,2-propanidioli), - Vesiohenteiset liimat ja PVC-materiaali (1-butanoli), - PVC:n pehmittimien hajoaminen (2-etyyli-1-heksanoli), - Rakennusmateriaalit, kosmetiikka, elintarvikkeet (1,2-propanidioli) |
| Fenolit | Yksi tai useampi hydroksyyli-ryhmä, jotka ovat kiinnittyneet suoraan bentseenirenkaaseen | - Luonnonkorkki, muovimateriaalit ja sähkölaitteet |
| Alkoholi- ja fenoleetterit | Kahden tyydytynen hiilen välissä on happisilta (-O-). | - Rakennusmateriaalit, pesu- ja puhdistusaineet |
| Aldehydit mm. formaldehydi (=metanaali), asetaldehydi (=etanaali), heksanaali, nonanaali, bentsaldehydi | Terminaalinen karbonyyli-ryhmä (-CHO) on aldehydien toiminnallinen rakenneosa | - Tupakointi (formaldehydi), - Puun ja kynttilänpoltto (formaldehydi, asetaldehydi), - Puupohjaiset rakennus- ja sisustusmateriaalit (formaldehydi, asetaldehydi, heksanaali), - Kosmeettiset tuotteet (formaldehydi, asetaldehydi), tekstiilit (formaldehydi), - Hajusteet, luonnonmateriaalit ja aromiaineet (nonanaali, bentsaldehydi) |
| Ketonit mm. asetoni | Karbonyyli-ryhmä on hiiliketjun keskellä. | - Rakennusmateriaalit, ihminen. |
| Orgaaniset hapot mm. etikkahappo, propaanihappo, heksaanihappo | Karboxyylihappoja, toiminnallinen ryhmä on karboxyyli-ryhmä (-COOH) | - Rakennusmateriaalit, pesu- ja puhdistusaineet ja elintarvikkeet (etikkahappo) |
| Esterit mm. 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidiolimonisobutyraatti (Texanol), 2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidiolidi-isobutyraatti (TXIB) | Karboxyylihapon ja alkoholin reaktiotuote, jossa hydroksyyli-ryhmä on korvautunut O-alkyyli-ryhmällä | - Maalit (Texanol), - PVC:stä valmistetut tuotteet (TXIB) |
| Orgaaniset pilyhdisteet mm. dekametyyliisoklopentasiloksaani | Pii-happi-runkoiset, suorat, haaroittuneet tai sykliiset polymeerit, joihin on liittynyt hiilivetyryhmiä | - Pesu- ja puhdistusaineet, tekstiilien käsittely-aine, kosmetiikka ja tiivistysmassat |
| Halogenoidut hiilivedyt mm. fluorihilivedyt (HFC-yhdisteet), kloorifluorivedyt (CFC-yhdisteet), tetraklooriteeni, 1,4-diklooribentseeni, DDT, kloorifenoli | Vetyatomi korvataan teollisesti kloorilla, fluorilla tai bromilla. Useimpien halogenoitujen yhdisteiden käyttö Suomessa ja Euroopassa rajoitettu tai kielletty kokonaan. | - Kylmälaitteiden kylmäaineet (HFC- ja CFC-yhdisteet), - Kuivapesuaineet (tetraklooriteeni), - Ilmanraikastimet (1,4-diklooribentseeni), - Puunsuoja-aineet (kloorifenoli), - Torjunta-aineet (DDT) |

Materiaaliemissiöt voidaan jakaa primäärisiin, sekundaarisiin tai tertiäärisiin päästöihin. Primääriemissiolla tarkoitetaan päästöjä, jotka muodostuvat ensimmäisinä materiaalista ja ne ovat useimmiten melko korkeita pitoisuuksia, esimerkiksi maalaaminen. Ne vähenevät merkittävästi ensimmäisten kuukausien aikana ja niiden korkeat päästötasot voivat tuoda työterveyshaittaa rakennustyöntekijöille. Sekundaariemissio taas tarkoittaa rakennusmateriaalin pitempiaikaisia ominaispäästöjä, jotka eivät muodostu kemiallisen reaktion seurauksena. Sisäilman kemialliset tekijät ovat suurimmaksi osaksi sekundaariemissioita. Kahden tai useamman yhdisteen kemiallista reaktiota materiaalissa kutsutaan tertiääriemissioksi. Materiaali voi reagoida esimerkiksi otsonin, veden tai valon vaikutuksesta. (Wallenius ym. 2021, 14.) Esimerkiksi 2-etyyliheksanoli on muovimattojen pehmentimenä käytetyn flataatin hajoamistuote, jota esiintyy sisäilmassa, kun kosteutta on päässyt muovimaton alle. (Järnström 2005, 17.)

Sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksiin vaikuttaa moni eri tekijä. Esimerkiksi päästölähteen laajuus, laatu ja sijainti, ilmanvaihto, huonetilan suhteellinen kosteus ja lämpötila, ihmisen toiminta sekä erilaiset kemialliset ja mikrobiologiset prosessit vaikuttavat sisäilman emissioihin ja niiden suuruuteen. (Abbatt 2020.) Saarisen ym. (2002) tutkimuksessa havaittiin TVOC-pitoisuuksien olevan suurempia kosteammassa sisäilmassa. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että kosteammassa ilmassa yhdisteet alkavat reagoimaan voimakkaammin (Paciencia ym. 2016). Asumisterveysasetuksen 16. § pykälän 5 mukaan *”huoneilman kosteus ei saa olla pitkäkestoisesti niin suuri, että siitä aiheutuu rakenteissa, laitteissa taikka niiden pinnoilla mikrobikasvun riskiä.”* Huonetilan lämpötilan toimenpiderajat ovat Asumisterveysasetuksen 16 § liitteen 1 mukaisesti lämmityskauden ulkopuolella oppilaitoksissa +20 - + 32 astetta.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet voivat aiheuttaa niitä hengittävälle henkilölle terveyshaittaa. Jotkin VOC-yhdisteistä aiheuttavat ärsytysoireita ja osa niistä on karsinogeenisiä eli syöpää aiheuttavia. Hengitettynä sisäilmassa ne voivat aiheuttaa ihmisille muun muassa päänsärkyä, pahoinvointia, ärsytystä hengitysteissä ja astman kaltaisia oireita. (Järnström 2005, 29.)

2.4.2 Formaldehydi

Formaldehydi on väritön, syttyvä ja reaktiivinen yhdiste. Se kuuluu aldehydeihin ja sillä on tyypillinen pistävä hajua. Hajua ilmaantuu erityisesti uusista materiaaleista ja se yleensä poistuu sisäilmasta. Jos sisäilma on olosuhteiltaan hyvin kosteaa ja lämmintä, materiaalista, erityisesti lastulevyistä, voi sisäilmaan tulla pistävää eli formaldehydin hajua. (Air quality guidelines 2000, 103 – 104.)

Formaldehydi sisäilmassa on peräisin yleensä liima-aineena käytetystä ureaformaldehydihartsista, jota on käytetty muun muassa lastulevyissä ja paneeleissa. Formaldehydiä on mahdollisesti käytetty myös happokovetteisissa lakoissa, maaleissa, pinnoitteissa, itsesiliävissä tekstiileissä sekä kokolatiamatoissa, joista se voi vapautua sisäilmaan. (Asumisterveysohje 2003, 62).

Formaldehydi voi aiheuttaa lieviä ärsytysoireita jo pienessä pitoisuustasossa, kun pitoisuustaso ylittää $0,5 \text{ mg/m}^3$. Oireina ovat mm. hengitysteiden ärsyyntyminen. Suuremmissa pitoisuuksissa $2,5 - 5 \text{ mg/m}^3$ formaldehydi voi aiheuttaa voimakasta ärsytystä hengitysteissä sekä aiheuttaa allergisia reaktioita ihoon. Formaldehydi on luokiteltu EU:n luokituslainsäädännön mukaan mahdollisesti syöpää aiheuttavaksi ja sillä on myös epäiltyjä perimävauriovaikutuksia. (Formaldehydi s.a.)

Sisäilman formaldehydiä voidaan tutkia laboratoriossa nestekromatografialla ja yhdisteet havaitaan ultraviolettiaabsorption avulla. (ISO 16000-3:2011). Nestekromatografiassa erotettavat yhdisteet liukenevat liuottimeen tai liuotinseokseen, jonka laitteisto analysoi. 2.6. (Nestekromatografia s.a.)

2.5 Edelliset tutkimukset aiheesta

Helena Järnströmin vuonna 2005 tehdyssä julkaisussa ”*Sisäilman laatu ja rakenteiden emissiot uusissa asuinrakennuksissa*” mitattiin kahdeksasta eri asuinrakennuksesta ammoniakkaa, formaldehydiä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä sisäilmasta sekä rakenteista. Rakennuksissa käytettiin M1-luokiteltuja materiaaleja. Mittaukset toistettiin rakennuksista, kun ne olivat vastavalmistuneet (luovutusvaihe) sekä 6:n ja 12:n kuukauden käytön jälkeen. Sisäilman

haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksia mitattiin vastavalmistuneista rakennuksista 12 eri mittauspisteestä ja pitoisuudet vaihtelivat välillä 311 – 2106 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Alhaisimmat haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet (311 – 379 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) mitattiin asunnoissa, joissa oli koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä (3 rakennusta). Suurin pitoisuus (2106 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) mitattiin asunnossa, jossa ilmanvaihto oli ollut toiminnassa alle viikon, muissa asunnoissa ilmanvaihto oli ollut toiminnassa useita viikkoja. Ilman suurinta pitoisuutta haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksien vaihteluväli oli 311 – 1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja pitoisuustasojen keskiarvo oli 701 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Formaldehydiä tutkittiin 10 asunnosta ja pitoisuudet vaihtelivat välillä 13 – 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ammoniakin pitoisuudet vaihtelivat asunnoissa välillä 26 – 64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (Järnström 2005, 3, 41 – 43.).

Yhteenvedona tutkimuksesta voidaan todeta, että uusissa rakennuksissa luovutusvaiheessa pitoisuudet ovat korkeita haihtuvien orgaanisten yhdisteiden osalta ja pienenevät ensimmäisen puolen vuoden aikana merkittävästi. Formaldehydipitoisuudet eivät merkittävästi muuttuneet puolen vuoden aikana, sen sijaan ammoniakkipitoisuudet jopa nousivat luovutusvaiheen mittauksista ensimmäisen käyttövuoden mittauksiin nähden. Tämä johtuu todennäköisesti ulkoisista olosuhteista, asumisesta aiheutuvista päästöistä sekä ilmanvaihdosta. (Järnström 2005 3, 79.). Edellä mainittua tutkimusta käytettiin myös tässä tutkimuksessa sisäilman laatumittauksien vertailuun, koska tutkimuksessa on mitattu sisäilman laatua juuri valmistumisen jälkeen.

Järnström 2007 tutkimuksessaan "Reference values for building material emissions and indoor air quality in residential buildings" tutki sisäilman pitoisuuksia (VOC, formaldehydi ja ammoniakki ja rakenteiden emissioita kahdeksassa asuinrakennuksessa rakentamisen aikana sekä käyttöönoton jälkeen ensimmäisen vuoden aikana. Tutkimuksia tehtiin kahdeksaan asuinrakennukseen. Sen tarkoituksena oli selvittää kuinka Sisäilmastoluokituksen 2008 määrittelemät sisäilmastoluokat (S1, S2 ja S3) haihtuvien orgaanisten yhdisteiden, formaldehydin ja ammoniakin osalta toteutuvat oikeissa rakennuksissa. Ennen rakennuksen luovutusta haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuus oli yli S3-luokan (yli 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), mutta pitoisuus saavutti yleensä kuuden kuukauden päästä S3 tason ja muutamissa rakennuksissa jopa S1-tason. Formaldehydipitoisuus pysytteli koko ajan alle S2-luokan (alle 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). (Järnström

2005 3, 5 – 6.) Huomioitavaa on, että päivitetystä Sisäilmastoluokituksessa 2018 ei ole enää määritetty edellä mainituille yhdisteille raja-arvoja. Kuitenkin Rakennustiedon ympäristöluokitus 2018 viittaa edellä mainittuihin sisäilmastoluokkiin, joten tutkimus otettiin tähän työhön mukaan.

2.6 Sisäilman laatumittausmenetelmät eri järjestelmissä

2.6.1 Rakennustiedon ympäristöluokitus Asuinkerrostalot sekä toimitala- ja palvelurakennukset

Rakennustiedon ympäristöluokituksen Asuinkerrostalot ja toimitila- ja palvelurakennuksien arviointikriteeristöt ovat samanlaisia huoneilman laatumittauksien osalta. Mittaukset tehdään kertamittauksina ennen käyttöönottoa ja käyttäjäksi. Mittaukset tehdään siis samoista tiloista kahteen kertaan. Huoneilman pitoisuuksien täytyy alittaa raja-arvot valmiissa rakennuksessa, jos pitoisuustasot ylittävät raja-arvot, mittaukset tulee suorittaa uudestaan. Pistettä ei ole mahdollista saada, jos tulokset ylittävät raja-arvot. Mittaukset tulee toteuttaa formaldehydin osalta ISO 16000-3 standardin mukaisesti ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden osalta ISO 16000-6:2021 ja SFS-ISO 16017-1:2000-standardien mukaisesti. Analyysilaboratorioilla tulee olla ISO/IEC 17025 akkreditointi ja laboratorion pätevyysalueisiin tulee kuulua formaldehydi- ja VOC-analyysit. (RTS-ympäristöluokitus, toimitila- ja 2022, 72).

Mittauksia tehdään Rakennustiedon ympäristöluokituksen 2022 mukaisesti vähintään 10 prosenttiin asuntojen määrästä ja jokaisesta tutkittavasta tilasta tulee ottaa näyte. Näytteitä otetaan eri tiloista vaihtelevasta keskittyen tiloihin, joissa on erikoismateriaaleja tai kiintokalusteita. (RTS-ympäristöluokitus, toimitila- ja 2022, 72.) Rakennustiedon ympäristöluokituksen tilatyypitaulukon 2022 mukaisesti sisäilman emissioita tulee mitata esimerkiksi opetus- ja tutkimustilarakennuksessa luokkatilasta, opetustilasta, luentosalista, auditoriosta, ammattioppilaitoksen työhallista, laboratoriotilasta ja valvomosta.

Vanhemman Rakennustiedon ympäristöluokituksen 2018 mukaisesti mittauksien lukumäärä määräytyy tilojen tai asuntojen lukumäärästä otetun neliöjuuren mukaan. Tilatyyppeihin kuuluu toimitila- ja palvelurakennuksissa työtilat ja ryhmätyötilat, esimerkiksi kokoustilat, opetustilat, katsomot, auditoriot, ruokalot

ja liikuntatilat. (Luokitusryhmän päätökset 2018 2021.) Toimitila- ja palvelurakennuksissa pukuhuonetiloja, WC-tiloja ja isoja valmistuskeittiöitä ei tarvitse mitata. (Jaarto 2023). Asuinrakennuksissa jokaisesta asunnosta tulee ottaa 3 mittausta, esimerkiksi olohuoneesta, kylpyhuoneesta, keittiöstä tai makuuhuoneesta. (Luokitusryhmän 2021.)

2.6.2 BREEAM International New Construction, V6 ja Non Domestic Refurbishment 2015

Tässä opinnäytetyössä käsitellään BREEAM Kansainvälisiä uusia rakennuksia eli International New Construction (BREEAM INC) V6 2021 ja BREEAM ei-asuinkäytössä olevien rakennuksen peruskorjaus Non-Domestic Refurbishment (BREEAM RFO) 2015. BREEAM INC:ssä 2021 sekä RFO:ssa 2015 mukaisesti sisäilman laatumittauksia ei tehdä asuinrakennuksiin (BREEAM International New 2021, 105). Sisäilmamittaukset tehdään ennen rakennuksen käyttöönottoa. Mittaukseen valitaan tiloja, joissa käyttäjät oleskelevat eniten, esimerkiksi toimistotilasta. Jos samantyyppisissä tiloissa on erilaiset pintamateriaalit tai eri ilmanvaihtokone, molemmat tilat tulee tutkia. Suurista avoimista tiloista, esimerkiksi avotoimistoista suositellaan otettavan useampia näytteitä. BREEAM INC:ssä näytteenoton epävarmuustekijöiden takia on suositeltavaa ottaa rinnakkaisnäytteet jokaisesta näytteenotto paikasta, mieluiten vähintään kolme rinnakkaista näytettä. Rinnakkaisnäytevaatimusta ei ole BREEAM RFO:ssa. Tutkittavat tilat, joissa on painovoimainen ilmanvaihto, tuuletetaan voimakkaasti 15 minuutin ajan, jonka jälkeen ulko-ovet ja ikkunat suljetaan vähintään 8 tunnin ajaksi ennen mittauksen alkua. Jos rakennuksessa on koneellinen ilmanvaihto, ilmanvaihtokoneiden tulisi olla normaalilla käytöllä vähintään 3 tuntia ennen mittausta BREEAM INC:n mukaan. BREEAM RFO:n mukaan lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät tulisi olla käynnissä 12 – 24 tunnin ajan ennen mittauksien aloitusta. Näytteenotto paikan tulee olla vähintään 1 – 2 metrin päässä seinästä ja 1 – 1,5 metrin korkeudella lattiasta. Analyysilaboratorioilla tulee olla ISO/IEC 17025 akkreditointi ja laboratorion pätevyysalueisiin tulee kuulua formaldehydi- ja VOC-analyysit. (BREEAM 2021, 110; BREEAM 2017, 98 – 99.)

BREEAM INC:ssä haihtuvat orgaaniset yhdisteet mitataan ja analysoidaan noudattaen standardeja ISO 16000-5:2007 ja ISO 16000-6:2011 tai ISO

16017-1:2001 ja BREEAM RFO:ssa standardeja ISO 16000-6:2011 ja ISO 16017-2:2003. 8 tunnin keskiarvo ei saa ylittää $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. (BREEAM2021, 99, 110; BREEAM 2017, 88.) BREEAM:n haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mittausaika 8 tuntia eroaa Suomessa totutusta lyhytaikaisesta (noin 30 – 45 minuuttia) mittausajasta. Tällä on todennäköisesti haettu sitä, että mittaus olisi työpäivän mittainen. 8 tunnin mittausajan takia pumppu kalibroidaan virtausnopeudelle 20 ml/min, jolloin 8 tunnin näytteen tilavuus on 9 – 10 litraa. (Hovi 2023).

Formaldehydi mitataan ja analysoidaan BREEAM INC:ssa noudattaen standardeja ISO 16000-2:2006 ja ISO 16000-3:2011 ja BREEAM RFO:ssa standardeja ISO 16000-4:2011 ja ISO 16000-3:2011. 30 minuutin keskiarvo ei saa ylittää $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. (BREEAM 2021, 99; BREEAM 2017, 88.) Jos saadut tutkimustulokset BREEAM INC:ssa ylittävät edellä mainitut arvot, projektitiimi teettää uudet tutkimukset tai ryhtyy sisäilmanlaatusuunnitelmassa mainittuihin toimenpiteisiin arvojen pienentämiseksi. (BREEAM 2021, 99, 110.) BREEAM RFO:ssa projektitiimi ryhtyy myös sisäilmanlaatusuunnitelmassa mainittuihin toimenpiteisiin, jotta raja-arvot alittuisivat. Myös uudet mittaukset on tehtävä toimenpiteiden jälkeen. (BREEAM 2017, 88.)

2.6.3 LEED v4.1, Building design and construction

Tässä opinnäytetyössä perehdytään paremmin LEED v4.1 rakennuksen suunnittelu ja rakentaminen eli building design and construction (BD+C) ohjeeseen, joka on ohje uusille rakennuksille. LEED v4.1:ssä sisäilman laatumittaukset suoritetaan rakentamisen valmistuttua, mutta ennen käyttöönottoa ilmanvaihdon ollessa jo päällä. Sisäilman laatumittauksiin valitaan tiloja, joissa tulee olemaan käyttäjiä. Järjestelmässä voi valita joko hiukkasten ja epäorgaanisten kaasujen mittauksen, josta saa yhden pisteen tai/ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mittaamisen, josta saa myös yhden pisteen. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet mitataan ja analysoidaan ISO 16000-6, EPA TO-17 tai EPA TO-15 standardien mukaisesti. TVOC-pitoisuudet lasketaan standardin EN 16516:2017, CDPH-standardimenetelmän v1.2 2017 kohdan 3.9.4 tai vaihtoehtoisen laskentamenetelmän mukaan. Vaihtoehtoinen laskentamenetelmän

tulee olla kuvattuna testiraportissa. Jos haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuus ylittävät $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, etsitään suurelle pitoisuudelle mahdollista selitystä vertaamalla yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksia manuaalisissa määritettyjen 12 yhdisteen viite-arvoihin. Formaldehydiä ja asetaldehydiä mitataan ja tutkitaan ISO 16000-3- ja ISO 16000-4-standardien mukaisesti. Bentsaldehydille, betnseenille, heksaanille, naftaleenille, fenolille, styreenille, tertrakloorieteenille, tolueenille, vinyylisetaatille, diklooribentseenille ja kokonais-ksyleenipitoisuudelle on määritelty omat viite-arvonsa ja ne tutkitaan ISO 16000-6-standardin mukaisesti. Myös muita standardimenetelmiä voidaan käyttää, mutta nämä ovat Suomessa tunnetuimmat standardit. Analyysilaboratorioilla tulee olla ISO/IEC 17025 akkreditointi ja laboratorion pätevyysalueisiin tulee kuulua formaldehydi- ja VOC-analyysit. (LEED 2022, 237 – 238).

Laatumittauksissa yksittäisten yhdisteiden ei tarvitse alittaa määriteltyjä viitearvoja, ne toimivat enemmänkin seulontamittareina, jotka kertovat eri yhdisteiden pitoisuustasoista rakennuksesta. Projektin pitää kuitenkin raportoida pitoisuuksien määrät ja jos haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus ylittää $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, korkeiden pitoisuuksien syy tulee selvittää ja tehdä mahdolliset korjaavat toimenpiteet, jotta pitoisuustaso laskisi. (LEED 2022, 238 – 239.)

Mittauksen tekijällä tulee olla pätevyys mittauksien suorittamiseen. Kaikki tilatyypit, joissa on käyttöä, esimerkiksi luokkatilat ja toimistotilat, otetaan mukaan mittaukseen. Mittauspisteiden lukumäärä riippuu rakennuksen koosta, mutta ainakin yksi mittauspiste tulee olla eri ilmanvaihtojärjestelmien alueelta sekä eri kerroksista. Tutkittaviksi tiloiksi valitaan ne tilat, joissa on epäily korkeimmista pitoisuuksista. Toimistotiloissa, vähittäismyyntitiloissa, kouluissa, hotelleissa ja kerrostaloissa tutkittavan tilan tulee olla alle 465 neliometriä. Varastojen ja suurten avotilojen (esimerkiksi hotellit ja koulujen liikuntasalit) koon tulee olla alle 4654 neliötä. Tutkittavasta tilasta riittää yksi näyte, jos tilassa on hyvä ilmanvaihto ja jos on oletus siitä, että tilassa olevat yhdisteet ovat samanlaisia koko tilan laajuudelta. Jos rakennuksessa on monia täysin identtisiä tiloja rakenteiden, pintamateriaalien, koon ja ilmanvaihtojärjestelmän suhteen, mittauspisteeksi voidaan valita joka seitsemäs tila. (LEED Reference guide 2017, 689.)

2.6.4 WELL

WELL-ympäristöluokitusjärjestelmän sisäilman laatumittaukset tulee teemmään rakennukseen koulutettu "WELL Performance Testing Agent", joka työskentelee WELLin omalle mittausorganisaatiolle. Näytteenottaja tekee testauksen, lähettää näytteet analysoitavaksi laboratorioon, analysoi saadut tulokset, ottaa valokuvia kohteesta todistusaineistoksi sekä toimittaa tulokset WELL-kohteen arvioitsijalle. WELL-järjestelmässä on kaksi eri vaihtoehtoa määrittää sisäilman laatua. Ensimmäinen vaihtoehto on kertamittauksiin perustuva näytteenotto, jossa on määritelty raja-arvot bentseenille, formaldehydille ja toluenille. Toinen vaihtoehto on, että rakennukseen on asennettu kiinteät haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mittalaitteet, jotka mittaavat haihtuvien orgaanisten yhdisteiden määrää kerran tunnissa ja niitä on asennettu yksi mittari 325 neliötä kohden. 90 prosentissa tiloja pitoisuustasojen tulee olla 500 µg/m³ tai vähemmän ja pitoisuus tasoja tulee olla seurattuna vähintään kuukauden ajan. Projektitiimin tulee osoittaa, että näytteenottajalla ei ole eturistiriitaa hankkeessa. WELLssä mittaukset tulee tehdä vähintään 2,5 prosenttiin kokonaispinta-alasta. (The WELL certification 2020, 16.)

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Sisäilman laatumittauksien vertailu eri järjestelmissä

Kirjallisuuskatsaukseen käytettiin apuna BREEAM-, LEED- ja WELL-ympäristöjärjestelmien sekä Rakennustiedon ympäristöluokituksen manuaaleja. Manuaaleista etsittiin tietoa eri järjestelmien sisäilman laatumittauksista ja erityisesti miten eri järjestelmien sisäilman laatumittaukset eroavat toisistaan. Vertailu tehtiin havainnollisesti taulukkomuodossa (taulukko 3, s.31), koska taulukko sopi erinomaisesti erilaisten väittämien vertailuun. Väittämiksi valittiin 7 erilaista väittämää, jotka kuvasivat eri järjestelmissä havaittuja eroavaisuuksia tai yhtäläisyyksiä. Väittämät on kuvattu alla.

1. Uusintamittaus käyttäjaksolla
2. Mittaukset perustuvat ISO-standardeihin
3. Mittaajalla pätevyysvaatimuksia
4. Mittausaika 30 min
5. Yksittäisille yhdisteille viite-/raja-arvoja
6. Rinnakkaisnäytteenotto

3.2 Tutkimuskohde ja tutkittavat tilat

Tutkimuskohteena on syksyllä 2023 valmistunut kampuskiinteistö Helsingissä. Kohteessa on 5 kerrosta ja hankkeen kokonaislaajuus on noin 10 350 brm². Rakennuksessa on käytetty M1-luokiteltuja materiaaleja. Mittauspisteet määriteltiin Rakennustiedon ympäristöluokituksen Toimitila- ja palvelurakennusten Arviointikriteeristöön 2018 ohjeiden mukaisesti neliöjuuri tilatyypin määrä ja mittaukset suoritettiin ennen rakennuksen käyttöönottoa ja kalustamista. Ilmanvaihto oli rakennuksessa mittauskertojen aikana käynnissä rakennuksessa. Tilatyypeiksi otetaan huomioon vain ne tilat, jotka Rakennustiedon ympäristöluokitus on määritellyt tilatyypitaulukossa. Opetusrakennuksien osalta tilatyyppejä ovat mm. luokkatilat, opetustilat, ammattioppilaitoksen työhallit ja laboratoriotilat. Rakennuksessa on tämän tyyliä tiloja 49 kappaletta ja neliöjuuri tästä on 7 kappaletta Tutkittavien tilojen määräksi valittiin kuitenkin 8 kap-

paletta, koska tutkittiin myös sellaisia tiloja, jotka olivat tilatyypiltään samanlaisia, mutta tiloissa oli erilaisia pintamateriaaleja tai kiintokalusteita. Tutkimukset suoritettiin 28.6.2023 ja 17.7.2023.



Kuvat 1, 2 ja 3. Valokuvat tutkituista tiloista; yrityslabyrintti-tila 1029 (kuva 1) opinto-ohjaajan työtila 2043 (kuva 2) ja tietopaja 3036 (kuva 3)



Kuvat 4, 5 ja 6. Valokuvat tutkituista tiloista; taitopaja, rakennus ja talotekniikka, 3040 (kuva 4), ravintolasali 1001 (kuva 5) ja monikäyttöiset työskentelytilat 2005 (kuva 6)



Kuvat 7 ja 8. Valokuvat tutkituista tiloista; tietopaja 4032 (kuva 7) ja tietopaja 4034 (kuva 8)

Yrityslabyrintti-tilassa 1029 on lattiapinnoitteena tekstiilimattolaatta, sekä seinällä puusta tehtyjä ääneneristys/koristelevyjä, tila on kuvassa numero 1. Opinto-ohjaajan työtilassa, kuva 2 2043 on lattiapinnoitteena polyuretaanipinnoite sekä tilassa oli kiinteitä kaapistoja. Tietopajassa 3036 lattiapinnoitteena on polyuretaanipinnoite ja seinällä puusta tehtyjä ääneneristys/koristelevyjä, jotka näkyvät kuvassa 3. Kuvassa 4 on kuva taitopaja, rakennus ja talotekniikka tilasta, jonka 3040 lattiapinnoitteena on betonilattia. Se on päällystetty kuivasirotepinnoitella ja seinällä on puusta tehtyjä ääneneristys/koristelevyjä. Ravintolasalissa 1001 lattiapinnoitteena on hiottu betoni ja siikaattipinnoite, ravintolasalin kuva on esitetty kuvassa 5. Monikäyttöisissä työskentelytiloissa 2005, kuva 6, lattiapinnoitteena on tekstiililaattamatto ja tilassa on kiintokalusteita. Tietopajassa 4032 lattiapinnoitteena on tekstiililaattamatto ja seinällä on puusta tehtyjä ääneneristys/koristelevyjä, kuten kuvasta 7 havaitaan. Tietopajan 4034 lattiapinnoitteena on ESD-matto, joka on esitetty kuvassa 8.

3.3 Sisäilman haihtuvien organisten yhdisteiden näytteenotto

Tarvikkeet

- Kalibroitu SKC 210-1002 MTX-pumppu
- Tenax-TA hartsiputki
- kenttänolla-näyte
- jakoavaimet Tenax-putkien sulkutulppien avaamiseen.

Sisäilman haihtuvia orgaanisia yhdisteitä kerättiin pumpun avulla Tenax-TA-adsorbentilla. Ennen näytteenoton alkua näytteenottoputken päissä olevat messinkiset mutterit avattiin jakoavaimilla ja ne irrotettiin. Putki kiinnitettiin pumppuun urapuoli poispäin pumpusta. Pumppu käynnistettiin painalla yhtä aikaa ”nuoli ylös” ja ”nuoli alas” näppäimiä. Näytettä otettiin 30 minuuttia Rakennustiedon ympäristöluokituksen ohjeiden mukaisesti. Pumppu sammutettiin painamalla jälleen ”nuoli ylös” ja ”nuoli alas” näppäimiä. Mittausaika, putken numero ja tutkittava tila kirjattiin näytteenottolomakkeeseen. Mittauksen jälkeen näytteenottoputken messinkisen mutterit kiinnitettiin tiukasti kiinni jakoavaimen avulla. Yksi näytteenottoputkista toimi nollanäytteenä. Nollanäytteenästä irrotettiin messinkimutterit ja ne kiinnitettiin välittömästi takaisin. Näytteenottoputket toimitettiin laboratorioon välittömästi mittauksen jälkeen. Jos putkia ei pystyisi jostain syystä toimittamaan heti laboratorioon, ne tulisi säilyttää huoneen lämmössä hajuttomassa tilassa. (VOC-ilmanäyte ATD-putken aktiivikeräyksellä 2023.) Kuvassa 9 on mittauskohteessa kuvattu käynnissä oleva näytteenotto.



Kuva 9. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja formaldehydin mittaus käynnissä tutkimuskohteessa 17.7.2023

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden analysointiin käytettiin laboratoriona Metropolilab Oy:tä, joka on FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T058, akkreditointivaatimus on SFS-EN ISO/IEC 17025:2017. Tulokseen liittyy mittausepävarmuustekijöitä laboratorion analyysimenetelmän osalta. Metropolilab Oy:n analyysimenetelmän mittausepävarmuus ja haihtuville orgaanisille yhdisteille 30 prosenttia.

3.4 Sisäilman formaldehydin näytteenotto

Tarvikkeet

- pumppu
- Sep-Pak-keräin
- tilaus- ja lähetelomakkeet.

Sisäilman formaldehydiä adsorboidaan pumpun avulla patruunaan, joka sisältää DNPH-nimisen aineen. DNPH reagoi formaldehydin kanssa ja muodostaa siitä johdoksen, joka analysoidaan Metropolilab Oy:ssä nestekromatografisesti UV-detektorin avulla. Pumpun virtaus on noin 1 litra/min, joka on säädetty laboratoriossa. Keräimestä poistettiin sen päissä olevat tulpat, jonka jälkeen se kiinnitettiin tiiviisti pumpun letkuun. Näytteenottolomakkeeseen kirjattiin keräimen tunnus sekä pumpun numerotunnus. Pumppuun kytkettiin virta painamalla Power/Enter-näppäintä. Näytteenotto aloitettiin painamalla pumpusta päälle/pois kytkintä. Näytteenoton aloitusaika kirjattiin näytelomakkeelle. Näytettä otettiin Rakennustiedon ympäristöluokituksen ohjeiden mukaisesti 30 minuuttia. Näytteenotto lopetettiin painamalla päälle/pois kytkintä. Näytteenoton lopetusaika kirjattiin lähetelomakkeelle. Näytteet toimitettiin laboratorioon samassa pakkauksessa ja samanlailla pakattuina, kun laboratorio oli ne lähettänyt. Jos näytteitä ei pystyittäisi välittömästi toimittamaan laboratorioon, keräimet tulisi säilyttää hajuilta suojattuna jääkaappilämpötilassa. (Formaldehydin näytteenotto-ohje DNPH-patruunalla 2022.)

Formaldehydin analysointiin käytettiin laboratoriona Metropolilab Oy:tä, joka on FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T058, akkreditointivaatimus on SFS-EN ISO/IEC 17025:2017. Näytteenottoon liittyy mittausepävarmuustekijöitä laboratorion analyysimenetelmän osalta. Metropolilab Oy:n analyysimenetelmän mittausepävarmuus formaldehydituloksille on 15 prosenttia.

4 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Sisäilman laatumittauksien vertailua eri järjestelmissä

Sisäilmanlaadun mittaamisella voi saada lisäpisteen ympäristöluokitteluun kaikissa muissa järjestelmissä paitsi Joutsenmerkissä, jossa ei vaadita sisäilma-mittauksia. Useissa järjestelmissä noudatetaan formaldehydin ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mittaamisen ja laboratorioanalyysien osalta erilaisia ISO-standardeja.

Taulukossa 1 on esitetty eri järjestelmien raja- sekä toimenpideraja-arvoja formaldehydin ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden osalta. Formaldehydin raja- ja toimenpideraja-arvot vaihtelevat välillä 20 – 100 µg/m³ ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden 200 – 1000 µg/m³ riippuen siitä, mitä lähdettä, lakia tai asetusta järjestelmä on käyttänyt raja-arvonsa määrittelyyn. WELLin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus perustuu jatkuvatoimiseen mittaukseen, joten kokonaispitoisuuden vertailu ei ole mahdollista muiden järjestelmien kanssa, joissa mittaus perustuu kertamittaukseen. WELLissä on annettu bentseenille, formaldehydille ja tolueenille omat viite-arvot kertamittauksien osalta.

BREEAM INC:n ja RFO:n formaldehydin raja-arvona on käytetty WHO:n sisäilmanlaadun ohjeistuksesta peräisin olevaa raja-arvoa. (BREEAM 2021, 447; BREEAM 2015, 88; WHO guideline for 2010, 142.) BREEAM INC:n haihtuvien orgaanisten yhdisteiden arvo on peräisin Euroopan komission tekemästä julkaisusta, joka käsittelee ilmanvaihdon vaatimuksia laadukkaaseen sisäilmaan. (BREEAM 2021, 447; Guideline for ventilation 1992, 5.)

WELL:n viitearvot ja mittausmenetelmät pohjautuvat eri kirjallisiin lähteisiin, muun muassa formaldehydin osalta WHO:n julkaisuun ”Burden of disease from household air pollution for 2012”. (WELL v2 2020, 13 – 14.)

Rakennustiedon ympäristöluokituksen toimitila- ja palvelurakennuksien sekä asuinrakennusten uudemmassa arviointikriteeristössä (2022) raja-arvot poh-

jautuvat Työterveyslaitoksen 2021 ”Haihtuvat orgaanisen yhdisteet toimistotyypisissä työympäristöissä” julkaisuun. (RTS-ympäristöluokitus, toimitila- ja palvelurakennukset 2022, 72). Julkaisuun on kerätty Työterveyslaitoksessa 2010-2019 analysoidut haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja formaldehydimitauksien tulokset. VOC-yhdisteiden keskiarvopitoisuus oli tutkimuksien mukaan 90 µg/m³ ja formaldehydin 13 µg/m³ (Wallenius ym. 2021, 3 – 4). Edellä mainitun tutkimuksen arvot eivät kuitenkaan ole samat kuin

Rakennustiedon ympäristöluokituksen toimitila- ja palvelurakennuksien sekä asuinrakennusten vanhemmassa arviointikriteeristössä (2018) raja-arvot pohjautuvat Helena Järnströmin (2007) tutkimukseen, jossa tutkittiin, voidaanko oikeissa rakennuksissa täyttää vanhan Sisäilmastoluokituksen (2008) määritämät luokka-arvot (S1, S2 ja S3) haihtuvien orgaanisten yhdisteiden, formaldehydin ja ammoniakkin osalta. Tutkimuksessa havaittiin formaldehydipitoisuuden alittavan S2-luokan arvon 50 µg/m³. (RTS-ympäristöluokitus, toimitila- ja palvelurakennukset 2018, 72 – 73; Järnström 2007, 5 – 6). Vanhan sisäilmastoluokituksen S1-luokan raja-arvo on ollut 200 µg/m³, joka on sama arvo kuin Rakennustiedon ympäristöluokituksen käyttöjaksolla oleva raja-arvo.

LEED:ssä ja WELL:ssä on raja-arvoja myös hiilimonoksidille, otsonille ja pienhiukkasille sekä WELL:ssä radonille. Tässä opinnäytetyössä keskitytään haihtuvien orgaanisten yhdisteiden sekä formaldehydin mittaamiseen, joten edellä mainitut sisäilman epäpuhtauslähteet on rajattu tästä opinnäytetyöstä pois.

Taulukko 2. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja formaldehydin viite-arvot eri luokitusjärjestelmissä. (BREEAM 2021, 99; LEED v4.1 building 2022, 238 ; RTS-ympäristöluokitus, asuinrakennukset 2022 ,70; RTS-ympäristöluokitus, toimitila- ja palvelurakennukset 2022, 72; RTS-ympäristöluokitus, Asuinrakennukset 2018 2020, 65 – 66; RTS-ympäristöluokitus, Toimitila- ja palvelurakennukset 2018 72 – 73, 2020; Asumisterveysasetus 23.5.2015/545, 16. §.)

| <i>Sisäilmanlaatumittaus</i> | <i>BREEAM INC ja RFO</i> | <i>LEED</i> | <i>Rakennustiedon ympäristöluokitus (2022)</i> | <i>Rakennustiedon ympäristöluokitus (2018)</i> | <i>WELL</i> | <i>Asumisterveysasetus</i> |
|---|--|-----------------------------|--|--|--|---|
| <i>Formaldehydi</i> | 100 µg/m³ | 20 µg/m³ | 25 µg/m³ | 100 µg/m³ (ennen käyttöönottoa), 50 µg/m³ (käyttökäyttöjakso) | 50 µg/m³ | Vuosikeskiarvo <50 µg/m³ , 30 min arvo 100 µg/m³ |
| <i>Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)</i> | 300 µg/m³ (8 h mittaus) | 500 µg/m³ | 300 µg/m³ | 1000 µg/m³ (ennen käyttöönottoa), 200 µg/m³ (käyttökäyttöjakso) | Bentseeni ≤ 10 µg/m³ Tolueeni ≤ 300 µg/m³ tai jatkuvatoiminnan seuranta: keskiarvo 20 µg/m³/h tai 500 µg/m³ kuukausikeskiarvo | 400 µg/m³ Yksittäinen yhdiste: 50 µg/m³ |

Ympäristöluokitusjärjestelmien pääperiaate on sisäilmalaatumittausten osalta samanlainen: mittaukset suoritetaan rakennuksen valmistuttua ennen kalustamista ja tulokset kirjataan järjestelmien omien internet-sivujen raportointipohjiin. Ympäristöluokitusjärjestelmien sisäilmanlaatumittaukset kuitenkin toimintamallit eroavat jonkin verran toisistaan, kuten taulukosta 3 havaitaan.

Taulukko 3. Ympäristöluokitusjärjestelmien sisäilman laatumittausten vertailu

| Verrattava väittäjä | BREEAM | LEED | Rakennustiedon ympäristöluokitus | WELL |
|--|---------------|-------------|---|-------------|
| Uusintamittaus käyttökäytössä | | | x | |
| Mittaukset perustuvat ISO-standardeihin | x | x | x | |
| Mittaajalla pätevyysvaatimuksia | | | | x |
| Mittausaika 30 min | | x | x | |
| Yksittäisille yhdisteille viite-/raja-arvoja | | x | | x |
| Rinnakkaisnäytteenotto | x | | | |

Taulukosta 3 havaitaan, että Rakennustiedon ympäristöluokituksessa tehdään uusintamittaus käyttöjaksolla eli silloin kun rakennuksessa on kalusteet ja käyttäjät ovat muuttaneet rakennukseen sisälle. Käyttöjakson mittaus suoritetaan yleensä noin puolen vuoden päästä rakennuksen käyttöönotosta.

Sisäilman laatumittaukset ja laboratorioanalyysit perustuvat manuaalien mukaan BREEAMissa, LEEDissä ja Rakennustiedon ympäristöluokituksessa ISO-standardeihin, joita mittauksen tekijän ja analyysilaboratorion tulee noudattaa, kuten taulukosta 3 havaitaan. Todennäköisesti myös WELLissä käytetään standardeja, mutta järjestelmän manuaalissa niitä ei mainita. WELLin sisäilmanlaatumittaukset tekee WELLin kouluttama ”Performance Testing Agent”, jonka takia näytteenottomenettelyä ei ole manuaalissa kuvailtu tarkemmin, koska mittaajalla on jo järjestelmän vaatima mittausmenettely hallussaan.

LEEDissä ja Rakennustiedon ympäristöluokituksessa sisäilman laatumittauksien mittausajaksi formaldehydin ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden osalta on määritetty 30 minuutin mittaiseksi, kuten taulukosta 3 havaitaan. BREEAM-järjestelmässä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mittausaika on kahdeksan tuntia ja formaldehydin osalta 30 minuuttia. WELLin manuaalissa mittausaikaa ei ole formaldehydin osalta määritetty, koska tutkimukset suorittaa WELLin kouluttama ”Performance Testing Agent”.

Kuten taulukosta 3 havaitaan, WELL- ja LEED-järjestelmissä on määritelty yksittäisille yhdisteille viite- ja raja-arvoja. WELLissa raja-arvoja on 3 eri yhdisteelle vaihtoehto 1 mukaisesti suoritetuissa mittauksissa ja LEEDissä 12 eri yhdisteelle. WELL-järjestelmässä mittaustulosten tulee alittaa määritellyt raja-arvot, LEEDissä näin ei ole.

BREEAM on ainut järjestelmä, jossa mittauspisteestä tulee ottaa vähintään kaksi rinnakkaisnäytettä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden sekä formaldehydin osalta, kuten taulukosta 3 havaitaan.

4.2 Sisäilman laatumittauksien tulokset

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Saatuja tutkimustuloksia verrataan Rakennustiedon ympäristöluokituksen Toimitila- ja palvelurakennusten Arviointikriteeristöön 2018 määriteltyihin raja-arvoihin, koska rakennusta on alettu rakentaa ja suunnitella ennen kuin uusin Rakennustiedon ympäristöluokituksen (2020) on julkaistu.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet on esitetty alla olevassa taulukossa. Kokonaispitoisuus vaihtelivat välillä 61 – 641 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Suurin kokonaispitoisuus havaittiin Taitopajassa 3040.

Taulukko 4. Haihtuvien orgaanisen yhdisteiden kokonaispitoisuudet

| Näytteen- ottopiste | Tila | Näytteenottopisteen kuvaus | Pvm | Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC), $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |
|------------------------|------|---------------------------------------|---------|--|
| M1 | 1029 | Yrityslabyrintti | 28.6.23 | 83 |
| M2 | 2043 | Opinto-ohjaaja | 28.6.23 | 129 |
| M3 | 3040 | Taitopaja, rakennus- ja talotekniikka | 28.6.23 | 641 |
| M4 | 3036 | Tietopaja | 28.6.23 | 63 |
| M5 | 4032 | Tietopaja | 28.6.23 | 64 |
| M6 | 4034 | Tietopaja | 28.6.23 | 64 |
| M7 | 2005 | Monikäyttöiset työskentelytilat | 17.7.23 | 91 |
| M8 | 1001 | Ravintolasali | 17.7.23 | 437 |

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet on esitetty taulukossa 4. Kokonaispitoisuus vaihtelivat välillä 61 – 641 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Suurin kokonaispitoisuus havaittiin Taitopajassa 3040.

Taulukko 5. Yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet haihtuvien orgaanisen yhdisteiden osalta

| Yhdiste | Näytteenottopiste/ Pitoisuus, µg/m ³ | | | | | | | |
|--|---|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
| Alifaattiset hiilivedyt | | | | | | | | |
| C6-C8 | | | 5,2* | | | 1,9* | 1,8* | 2,7* |
| >C8-C12 | | | | | | | | 4,1* |
| Alifaattiset hiilivedyt yhteensä | 0,0 | 0,0 | 5,2 | 0,0 | 0,0 | 1,9 | 1,8 | 6,8 |
| Alkoholit: | | | | | | | | |
| 2-Etyyli-1-heksanoli | 3,5 | 3,0 | 2,8 | 1,9 | 1,4 | 2,8 | 1,0 | 0,7 |
| Butanoli | 1,9 | 4,2 | 3,1 | 1,6 | 1,3 | 1,1 | 3,6 | 2,3 |
| Fenoli | 3,3 | 2,3 | 1,1 | 4,9 | 3,6 | 3,4 | | |
| Propyleeniglykoli (1,2-Propani- dioli) | | | | | | | | |
| Bentsyylialkoholi | 10,3* | 8,6 | 2,8* | 0,9* | | 1,3* | | |
| Alkoholeja muita | 21,8* | 24,5* | 599,5* | 21,2* | 17,5* | 14,6* | 36,8* | 366,6* |
| Alkoholit yhteensä | 40,8 | 42,6 | 609,3 | 30,5 | 23,8 | 23,2 | 41,4 | 369,6 |
| Aromaattiset yhdisteet: | | | | | | | | |
| Bentseeni | 3,6 | 12,5 | | | 4,4 | 2,8 | 0,8 | |
| Tolueeni | | 2,8 | | | | | | |
| Etylibentseeni | | 0,3 | | | | | 0,5 | 0,6 |
| 1,3+1,4-Ksyleeni | | 0,8 | 0,3 | | | | 0,4 | 0,4 |
| Styreeni | | | | | 0,4 | 0,4 | 1,1 | 1,3 |
| 1,2-Ksyleeni | | 0,4 | | | | | 0,5 | 0,5 |
| Propylibentseeni | | | | | | | 0,2 | 0,3 |
| 1,3,5-Trimetylibentseeni | | 0,2 | | | | | | 0,4 |
| 1-Metyylinaftaleeni | | | | | 0,2 | | 0,3 | 0,3 |
| Bifenyylit | | | | | 0,6 | | 0,7 | 0,8 |
| Aromaattiset yhdisteet yhteensä | 3,6 | 17,0 | 0,3 | 0,0 | 5,6 | 3,2 | 4,5 | 4,6 |
| Esterit | | | | | | | | |
| Etyyliasetaatit | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 0,3 | | |
| Butyylisetaatti | 0,8 | 2,8 | 1,3 | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 1,4 | 1,1 |
| Esterit muita | 1,6* | 2,7* | | 1,4* | 1,2* | 1,7* | 8,7* | 6,1* |
| Esterit yhteensä | 2,6 | 6,1 | 1,7 | 2,5 | 1,9 | 2,2 | 10,1 | 7,2 |
| Glykoleetterit ja niiden asetaatit | | | | | | | | |
| Dietyleeniglykoli-monobutyli- eetteri (2-(2-Butoksietoksi)eta- noli) | | | | | | | | 21,6 |
| 2-Butoksietanoli | | 0,8* | | | | | | |
| Glykoleetterit muita | | | 1,8* | | | | | 5,4* |
| Glykoleetterit ja niiden asetaatit yhteensä | 0,0 | 0,8 | 1,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 27,0 |
| Halogenoidut yhdisteet: | | | | | | | | |
| Tetrakloorieteeni | | | | | | | 0,4 | 0,4 |
| 1,1,2,2-Tetrakloorietaani | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | | |
| Halogenoidut yhdisteet yhteensä | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,4 |
| Karbonyylit: | | | | | | | | |
| Heksanaali | 3,8 | 6,9 | 0,8 | 7,2 | 5,4 | 2,6 | 5,5 | 2,4 |
| 2-Furankarboxialdehydi (fur- furaali) | | | | | | | | |
| Bentsaldehydi | 3,8 | 5,2 | 2,7 | | 2,9 | | | |
| Oktanaali | | | 0,8 | | | | | |
| Nonanaali | 4,7 | 4,6 | 5,6 | 9,2 | 6,4 | 11,5 | | 4,2 |
| Dekanaali | 1,1* | 1,4* | 1,4* | 3,5* | 2,0* | 2,4* | | 1,5* |
| Asetofenoni | 1,4* | 2,3* | 1,7* | 1,2* | 3,1* | 1,6* | 1,2* | 3,5* |
| Karbonyylejä muita | | | | 1,8* | 1,6* | | 3,1* | 2,5* |
| Karbonyylit yhteensä | 14,8 | 20,4 | 13,0 | 22,9 | 21,4 | 18,1 | 9,8 | 14,1 |
| Orgaaniset hapot: | | | | | | | | |
| Etikkahappo | 3,0* | 5,4* | 2,4* | 4,1* | 4,1* | 3,6* | 5,5* | |
| Orgaanisia happoja muita | | 1,9* | | 2,0* | 3,8* | 3,0* | | |
| Orgaaniset hapot yhteensä | 3,0 | 7,3 | 2,4 | 6,4 | 7,9 | 6,6 | 5,5 | 0,0 |
| Terpeenit: | | | | | | | | |
| Pineeni | 15,0 | 19,4 | 3,9 | 1,6 | 1,4 | 1,7 | 8,0 | 8,3 |
| delta-3-Kareeni | 6,3 | 8,0 | 1,6 | 0,7 | 0,5 | 0,5 | 2,5 | 3,1 |
| Limoneeni | 0,9 | 1,5 | | | | | 0,9 | 1,1 |
| beta-Pineeni | 0,7* | 0,7* | | | | | | |
| Terpeenit yhteensä | 22,9 | 29,6 | 5,5 | 2,3 | 1,9 | 2,3 | 11,4 | 12,5 |
| Muut yhdisteet: | | | | | | | | |
| Heksametyylisyklotrisiloksaani | | 0,7* | | | | | | |
| Oktametyylisyklotetrasiloksaani | | 0,9* | | | | | | |
| >C12 Orgaaniset hapot yhteensä | | | | | 8,6** | | | |
| >C16 Aromaattiset hiilivedyt | | | | | 5,2** | | | |
| Asetoni | 7,0** | 14,8** | 14,6** | 13,0** | 9,7** | 7,3** | 13,2** | 11,6** |
| Difluorodimetyylisilaani | | 5,6** | | | | | | |
| Muut yhdisteet yhteensä | 7,0 | 22,0 | 14,6 | 13,0 | 23,5 | 7,3 | 13,2 | 11,6 |
| Tunnistettuja yhdisteitä yh- teensä, µg/m ³ | 94,8 | 146,0 | 654,3 | 77,8 | 86,2 | 64,9 | 98,1 | 453,8 |

* Määritetty tolueenina.

** TVOC -alueen ulkopuolella.

Edellä mainittujen näytteiden tärkeimmät yksittäiset yhdisteet on kuvattu yllä olevassa taulukossa 5. Suurimpina yksittäisinä yhdisteinä tiloissa havaittiin muita alkoholeja (14,6 – 599,5 µg/m³). Alkoolien lähteinä voi toimia pesu- ja puhdistusaineita, liimat, rakennusmateriaalit ja elintarvikkeet. Rakennus on

uusi, joten rakennusmateriaalit toimivat todennäköisenä suurten alkoholipitoisuuksien lähteinä sisäilmassa. Terpeeneihin kuuluvaa pineeniä havaittiin muihin yhdisteisiin verrattuna suurempina pitoisuuksina yrityslabyrintti-tilassa 1029 ja opinto-ohjaajan tilassa 2043 (15 – 19,4 µg/m³). Pineenin lähteenä voi sisäilmassa toimia puumateriaalit. Yrityslabyrintti-tilan seinällä oli puumateriaalista tehty koriste-/akustointilevy ja opinto-ohjaajan tilassa oli kiinteä puumateriaalista tehty kaapisto, jotka voivat emittoida tilaan pineeniä. Opinto-ohjaajan tilassa 2043 havaittiin myös muihin tiloihin nähden suurempi pitoisuus bentseeniä (12,5 µg/m³), jonka lähteenä voi toimia esimerkiksi liikenteen pakokaasut. Asetonia havaittiin myös kaikissa tiloissa (7 – 14,8 µg/m³) ja sen lähteenä voivat toimia erilaiset rakennusmateriaalit. Nonanaalia havaittiin kahdessa tilassa (3036 ja 4034) hieman muita tiloja suurempina pitoisuuksina (9,2 – 11,5 µg/m³). Nonanaalin lähde sisäilmassa voi olla esimerkiksi hajusteet tai luonnonmateriaalit (Wallenius ym. 2021, 10 – 13).

Formaldehydinin mittaustulokset

Formaldehydinin pitoisuudet on esitetty alla olevassa taulukossa 6. Kokonaispitoisuus vaihtelivat välillä 5,5 – 9,5 µg/m³. Suurin pitoisuus havaittiin Monikäyttöisissä työskentelytiloissa 2005 (9,5 µg/m³). Pienen pitoisuus havaittiin Tietopajassa 3036.

Taulukko 6. Sisäilman formaldehydipitoisuudet

| Näytteen-otto-piste | Tila | Näytteenottopisteen kuvaus | Pvm | Formaldehydi-pitoisuus, µg/m ³ |
|---------------------|------|---------------------------------------|---------|---|
| M1 | 1029 | Yrityslabyrintti | 28.6.23 | 7,5 |
| M2 | 2043 | Opinto-ohjaaja | 28.6.23 | 7,5 |
| M3 | 3040 | Taitopaja, rakennus- ja talotekniikka | 28.6.23 | 6,4 |
| M4 | 3036 | Tietopaja | 28.6.23 | 5,5 |
| M5 | 4032 | Tietopaja | 28.6.23 | 5,7 |
| M6 | 4034 | Tietopaja | 28.6.23 | 6,3 |
| M7 | 2005 | Monikäyttöiset työskentelytilat | 17.7.23 | 9,5 |
| M8 | 1001 | Ravintolasali | 17.7.23 | 6,5 |

Suurin pitoisuus havaittiin Monikäyttöisissä työskentelytiloissa 2005 (9,5 µg/m³). Formaldehydipitoisuudet olivat suhteellisen pieniä, mikä kertoo todennäköisesti siitä, että formaldehydiä ei ole käytetty rakennusmateriaaleissa.

Sisäilman lämpötilan ja kosteuden mittaustulokset

Sisäilman lämpötilaa tutkittiin samoista mittauspisteistä kuin haihtuvia orgaanisia yhdisteitä ja formaldehydiä.

Taulukko 7. Sisäilma lämpötilan ja kosteuden mittaustulokset

| Näytteenotto-piste | Tila | Näytteenottopisteen kuvaus | Pvm | Kosteus, % | Lämpötila, °C |
|--------------------|------|---------------------------------------|---------|------------|---------------|
| M1 | 1029 | Yrityslabyrintti | 28.6.23 | 58,6 | 22,1 |
| M2 | 2043 | Opinto-ohjaaja | 28.6.23 | 59,9 | 21,9 |
| M3 | 3040 | Taitopaja, rakennus- ja talotekniikka | 28.6.23 | 55,7 | 22,3 |
| M4 | 3036 | Tietopaja | 28.6.23 | 49,7 | 22,0 |
| M5 | 4032 | Tietopaja | 28.6.23 | 52,7 | 22,2 |
| M6 | 4034 | Tietopaja | 28.6.23 | 54,3 | 22,1 |
| M7 | 2005 | Monikäyttöiset työskentelytilat | 17.7.23 | 67,2 | 21,6 |
| M8 | 1001 | Ravintolasali | 17.7.23 | 65,1 | 21,9 |

Sisäilman lämpötila ja kosteus on esitetty taulukossa 7. Sisäilman kosteus vaihteli tutkituissa tiloissa välillä 49,7 – 67,2 % ja lämpötila vaihteli välillä 21,6 – 22,2 astetta.

4.3 Havainnot kohteessa

Taitopajassa 3040 ja ravintolasalissa oli rakennusmateriaaleja sekä roska-astioita. Monikäyttöisissä työskentelytiloissa 2005 ja ravintolasalissa 1001 havaittiin tutkimuksen aikana hajua, jonka oletetaan olevan peräisin uusista materiaaleista.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön tutkimuskysymyksiin saatiin vastaukset. Ympäristöluokitusjärjestelmien sisäilman laatumittaukset ovat pääperiaatteiltaan samanlaisia, mutta myös eroavaisuuksia eri järjestelmien väliltä löytyy. Rakennustiedon ympäristöluokituksen Toimitila- ja palvelurakennusten Arviointikriteeristöön 2018 verrattuna tutkimustulokset alittivat määritellyt raja-arvot.

Ympäristöluokitusjärjestelmien pääperiaate on sisäilmalaatumittausten osalta samanlainen. Mittaukset suoritetaan rakennuksen valmistuttua ennen kalustamista ja tulokset kirjataan järjestelmien omien internet-sivujen raportointipohjiin. Ympäristöluokitusjärjestelmien sisäilmanlaatumittauksilla on kuitenkin käytännössä hyvin erilaisia toimintamalleja. Esimerkiksi Rakennustiedon ympäristöluokitus on ainoa järjestelmä, joka vaatii uusintamittauksen käyttöjaksolla, WELL on ainoa järjestelmä, jossa mittaajalla on pätevyysvaatimuksia ja BREEAM vaatii mittauksiin rinnakkaisnäytteenottoa.

Saatuja tutkimustuloksia verrataan Rakennustiedon ympäristöluokituksen Toimitila- ja palvelurakennusten Arviointikriteeristöön 2018 määriteltyihin raja-arvoihin, koska rakennusta on alettu suunnitella ennen kuin uusin Rakennustiedon ympäristöluokituksen -versio (2022) on julkaistu. Tutkimuskohteessa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja formaldehydin pitoisuudet alittivat Rakennustiedon ympäristöluokituksen toimitila- ja palvelurakennuksien 2018 arviointikriteeristön raja-arvot. Huomioon otettavaa on se, että pitoisuudet eivät olisi läpäisseet Rakennustiedon ympäristöluokituksen uudemman version (2022) raja-arvoja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden osalta tiloissa 1001 ja 3040. Todennäköisesti tiloissa tai tilojen läheisyydessä, joissa suurimmat pitoisuudet havaittiin, oli ennen mittausta tehty rakentamiseen liittyviä toimenpiteitä. Esimerkiksi liima- tai pesu- ja puhdistusaineita oli voitu käyttää tiloissa tai tilojen läheisyydessä, jonka takia pitoisuudet olivat suuria. Molemmissa tiloissa analysoitiin suuri pitoisuus muita alkoholeja, mikä voi viitata edellä mainittujen rakennusmateriaalien käyttöön. Formaldehydipitoisuus tutkituissa tiloissa alitti uudemman arviointikriteeristön raja-arvon, joka on $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Muihin ympäristöluokitusjärjestelmiin verrattuna tutkittujen tilojen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet ylittivät LEEDin määrittelemän raja-arvon yhdessä tilassa eli taitopajassa 3040. BREEAMin raja-arvo $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ei ole verrattavissa tässä tutkimuksesta saatuihin tuloksiin, koska järjestelmä vaatii 8 tunnin mittausta. Myöskään WELL-järjestelmän raja-arvot haihtuville orgaanisille yhdisteille eivät ole vertailukelpoisia, koska WELLissä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden raja-arvo on määritelty jatkuvatoimiseen seurantaan.

Muissa ympäristöluokitusjärjestelmissä (BREEAM, LEED ja WELL) tutkittujen tilojen formaldehydipitoisuudet alittivat järjestelmien asettamat raja-arvot. Raja-arvot vaihtelevat $20 - 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ välillä eri järjestelmissä.

Tutkimusten tuloksien perusteella LEEDin ja Rakennustiedon ympäristöluokituksen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja formaldehydin raja-arvot ovat saavutettavissa rakennuksissa. Taitopajan 3040 korkea pitoisuus oli yli LEEDin määrittelemän raja-arvon, mutta tilassa tuoksui voimakkaasti jokin rakennusmateriaali. Ennen sisäilman laatumittauksien toteuttamista olisi siis varmistettava, ettei tutkittavien tilojen läheisyydessä ole juuri ennen mittauksia käytetty rakennusmateriaaleja, esimerkiksi maaleja, liimoja tai silikoneja tai pesuaineita, joista voi aiheutua tilaan hetkellisiä suuria pitoisuuksia sisäilmaan. BREEAMin, LEEDin ja Rakennustiedon ympäristöluokituksen formaldehydipitoisuudet ovat tutkimuksen tulosten perusteella helposti saavutettavissa.

Referenssitutkimukseen (Järnström ym, 2005) verrattuna haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet tutkimuskohteessa alittivat referenssiarvot samantlaisissa ilmanvaihdon olosuhteissa (koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto) kaikkien muiden tilojen osalta paitsi tilojen 3040 ja 1001 osalta. Referenssitutkimus oli tehty asuinrakennuksille ja nyt tutkimuskohteena oli kuitenkin kampuskiinteistö, joten vertailtavuus on suuntaa antavaa. Molemmissa rakennuksissa oli kuitenkin käytetty M1-luokituksen mukaisia vähäpäästöisiä materiaaleja.

Jatkotutkimuksena tähän tutkimukseen voisi tutkia sisäilman laatua kuuden kuukauden päästä valmistumisessa samassa rakennuksessa Rakennustiedon

ympäristöluokituksen vaatimusten mukaisesti. Mahdollinen uusi tutkimus ympäristöluokitusjärjestelmistä ja niiden sisäilman laatumittauksista olisi hyvä tehdä niin, että tutkimuksessa olisi mukana useampia rakennuksia vertailtavuuden vuoksi. Yhtenä jatkotutkimusehdotuksena tähän tutkimukseen voisi olla myös BREEAM-, LEED- tai WELL-järjestelmien mukaiset sisäilman laatumittaukset.

LÄHTEET

Abbatt, JPD. & Wang, C. 2020. The atmospheric chemistry of indoor environments. *Environmental Science: Processes & Impacts*. Verkkolehti. Saatavissa: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/em/c9em00386j> [viitattu 24.7.2023].

Air Quality Guidelines for Europe. 2000. World Health Organization Regional Office for Europe. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.who.int/publications/i/item/9789289013581> [viitattu 14.9.2022].

Asuinrakennukset 2018 arviointikriteeristö. 2020. Rakennustietosäätiö RTS. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://tiedostot.rakennustieto.fi/ymparisto/yl/rts-ympristluokitus-v1-11-asuinkiinteist_080920_voimassa-oleva-1%20\(1\).pdf](https://tiedostot.rakennustieto.fi/ymparisto/yl/rts-ympristluokitus-v1-11-asuinkiinteist_080920_voimassa-oleva-1%20(1).pdf) [viitattu 14.9.2022].

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksesta 23.4.2015/545.

Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. 2021. Sosiaali- ja terveysministeriö. Osa 3.

Asumisterveysohje. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriö.

BREEAM International New Construction. 2021. BRE Global LTD. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://breeam.com/standards/new-construction/> [viitattu 14.9.2022].

BREEAM International Non-Domestic Refurbishment 2015. 2017. BRE Global LTD. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://breeam.com/standards/refurbishment> [viitattu 14.9.2022].

Formaldehydi. s.a. Työterveyslaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvaluisuus/altistuminen-tyoympariston-haittatekijoille/kemiallisten-tekijoiden-hallinta-tyopaikalla/kemikaalit-ja-tyo-altistumistietosivusto/formaldehydi> [viitattu 18.9.2022].

Formaldehydinin näytteenotto DNPH-patruunalla. 2022. Metropolilab Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.metropolilab.fi/fi/lahetteet> [viitattu 26.7.2023].

Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings. 1992. Commission of the European Communities. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a536eeb5-beb8-11e7-a7f8-01aa75ed71a1> [viitattu 8.9.2022].

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) ilmasta ja materiaaleista. s.a. Työterveyslaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/palvelut/laboratoripalvelut/naytteenotto-ohjeet/haihtuvat-orgaaniset-yhdisteet-voc-ilmasta-ja-materiaaleista> [viitattu 23.2.2023].

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden (TVOC) tavoitetasot teollisten työympäristöjen yleisilmassa. 2012. Työterveyslaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa Saatavissa: <https://www.ttl.fi/teemat/tyoturvaluisuus/altistuminen-tyoympariston-haittatekijoille/tyoympariston-tavoitetasot> [viitattu 18.9.2022].

Hovi, H. 2023. Erityisasiantuntija. Sähköpostiviesti 25.4.2023. Työterveyslaitos.

ISO 16000-2:2004 Indoor air — Part 2: Sampling strategy for formaldehyde. 2004. ISO Org. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.iso.org/standard/29048.html> [viitattu 23.2.2023].

ISO 16000-3:2011 Indoor air — Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor air and test chamber air — Active sampling method. 2011. ISO Org. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:16000:-3:ed-2:v1:en> [viitattu 23.2.2023].

Jaarto, P. 2023. Tuotepäällikkö. Sähköpostiviesti 7.6.2023. Rakennustieto Oy.

Järnström, H. 2005. Muovimattopinnoitteen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa. VTT. PDF-julkaisu. Saatavissa: <https://publications.vtt.fi/pdf/publications/2005/P571.pdf> [viitattu 8.8.2023]

Järnström, H. & Saarela, K. 2005. Sisäilman laatu ja rakenteiden emissiot uusissa asuinrakennuksissa. VTT. PDF-julkaisu. Saatavissa: <https://publications.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2005/T2281.pdf> [viitattu 8.8.2023].

2.5. Kaasukromatografia. s.a. Opetushallitus. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat_2-5_kaasukromatografia.html [viitattu 8.8.2023].

Wallenius, K., Hovi, H., Mahiout, S., Remes, J., Rautiala, S., Jokela, P., Leino, K. & Liukkonen T. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet toimistotyypisissä työympäristöissä. 2021. Työterveyslaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/140940/TTL_978-952-261-957-0.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 30.8.2022].

Kemialliset epäpuhtaudet. 2008. Sisäilmayhdistys ry. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Kemialliset-epapuhtaudet> [viitattu 18.9.2022].

Leed Rating system. 2022. US Green building Council. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.usgbc.org/leed> [viitattu 23.8.2022].

LEED v4.1 building design and construction. 2020. U.S. Green Building Council. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://dcqpo543i2ro6.cloudfront.net/sites/default/files/file_downloads/LEED_v4.1_BD_C_Beta_Guide_1_22_19___with_requirements_final.pdf [viitattu 23.8.2022]

LEED Reference guide for building design and construction V4. 2017. Opas. U.S. Green Building Council. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.usgbc.org/resources/leed-reference-guide-building-design-and-construction> [viitattu 18.9.2023].

Lehtonen P. & Sihvonen M. 2004. Laboratorioalan analyttinen kemia. 4. painos. Helsinki: Opetushallitus.

Luokitusryhmän päätökset 2018-2021. 2021. Rakennustieto. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://tiedostot.rakennustieto.fi/ymparisto/yl/rts-kriteeristt-2018_uk_k_tyryhmn-ptkset-ja-innovaatiot_18-6-2021.pdf [viitattu 18.9.2023].

Mikä on M1?. 2023. Rakennustietosäätiö. WWW-dokumentti. Saatavissa: 10.5.2023. <https://cer.rts.fi/rakennusmateriaalien-paastoluokitus-m1/mika-on-m1/> [viitattu 10.5.2023].

2.6. Nestekromatografia. s.a. Opetushallitus. WWW-dokumentti. Saatavissa: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/analyysimenetelmat_2-6_nestekromatografia.html [viitattu 8.8.2023].

Paciencia I., Madureira J., Rufo J., Moreira A. & Fernandes O. 2016. A systematic review of evidence and implications of spatial and seasonal variations of volatile organic compounds (VOC) in indoor human environments. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B. Critical Reviews*. Saatavissa: <https://sci-hub.se/10.1080/10937404.2015.1134371#:~:text=A%20systematic%20review%20of%20evidence%20and%20implications%20of,Toxicology%20and%20Environmental%20Health%2C%20Part%20B%2C%2019%282%29%2C%2047%E2%80%939364.doi%3A10.1080%2F10937404.2015.1134371> [viitattu 8.8.2023].

Rakennettu ympäristö ja ilmastonmuutos. s.a. Rakennusteollisuus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Materiaalitehokkuus/> [viitattu 24.8.2022].

RT 07-11299. 2018. Rakennustieto. Sisäilmastoluokitus 2018.

RTS-ympäristöluokitus rakennushankkeelle. 2022. Rakennustietosäätiö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://cer.rts.fi/rts-ymparistoluokitus/mika-on-rts-ymparistoluokitus/> [viitattu 23.8.2022].

RTS-ympäristöluokitus. RTS-ympäristöluokituksen työkalun toiminnalliset käyttöohjeet- rakennushankkeen kriteeristö. 2021. Rakennustietosäätiö RTS. [viitattu 23.8.2023].

Ruuska, A., Häkkinen, T., Vares, S., Korhonen M. & Myllymaa, T. 2013. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/41423> [viitattu 23.8.2023].

Saarinen A., Vartiala T. & Viinikka M. 2002. Asukkaiden vaikutus sisäilman VOC- ja NH₃-pitoisuuksiin. SIY. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://data.nationallibrary.fi/bib/me/W00094699300#I00094699301> [viitattu 23.8.2024].

Sisäilma. 2022. Työ- ja hyvinvointilaitos THL. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/sisailma> [viitattu 24.8.2022].

Suomen rakentamismääräyskokoelma. s.a. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/rakentamismaaraykset> [viitattu 19.9.2022].

The WELL Certification Guidebook. 2020. International WELL Building Institute pbc (IWBI). PDF-dokumentti. Saatavissa: https://a.storyblok.com/f/52232/x/cd23af17a1/well-certification-guidebook-with-q1-2020-addenda_final.pdf [viitattu 19.9.2022].

WELL v2. The next version of the WELL Building Standard. 2020. International Building Institute, pdc. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://v2.wellcertified.com/en/wellv2/overview> [viitattu 19.9.2022].

WHO guideline for indoor air quality: Selected pollutants. 2015 World Health Organization. Saatavissa: www.who.int/indoorair/publications/9789289002134/en/ [viitattu 8.9.2022]

Yleistä sisäilmasta. s.a. Työterveyslaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/oppimateriaalit/sisailma-tyopaikalla/1-yleista-sisailmasta#:~:text=Sis%C3%A4ilmasto%20%3D%20sis%C3%A4ilman%20ja%20%C3%A4mp%C3%B6olosuhteiden%20muodostama%20konaisuus%20Sis%C3%A4ymp%C3%A4rist%C3%B6,sek%C3%A4%20viihtyvyyteen%20vaikuttavat%20tekij%C3%A4t%20kuten%20v%C3%A4rit%20ja%20materiaalivalinnat> [viitattu 24.8.2022].

Ympäristöluokitukset, s.a. Green Building Council Finland. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://figbc.fi/ymparistoluokitukset> [viitattu 19.10.2023].

Ympäristöluokitukset tekevät kiinteistöistä vertailukelpoisia. s.a. Rakennusteollisuus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rt.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentaminen-ja-vaaralliset-aineet/Ymparistoluokitukset/> [viitattu 19.10.2023].

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä. 2022. Oikeusministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=70fe9e3d-e065-4143-ba6e-4e1f63299842&proposalLanguage=da4408c3-39e4-4f5a-84db-84481bafc744> [viitattu 23.2.2023].

VOC-ilmanäyte ATD-putkeen aktiivikeräyksellä (pumppu). 2023. Metropolilab Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.metropolilab.fi/fi/lahteet> [viitattu 26.7.2023]