



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

NIKO SIMOLA
HYVÄN SISÄILMASTON VARMISTAMINEN RAKENNUKSEN
TAKUUAIKANA

Diplomityö

Tarkastajat: professori Arto Saari ja
projektipäällikkö Olli Teriö
Tarkastajat ja aihe hyväksytty
talouden ja rakentamisen tiedekun-
taneuvoston kokouksessa 8.6.2016

TIIVISTELMÄ

NIKO SIMOLA: Hyvän sisäilmaston varmistaminen rakennuksen takuuajana
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 79 sivua, 6 liitesivua
Kesäkuu 2016
Rakennustekniikan DI-tutkinto-ohjelma
Pääaine: rakennustuotanto
Tarkastajat: professori Arto Saari ja projektipäällikkö Olli Teriö

Avainsanat: Sisäilmaston laatu, toimivuustarkastelu, toimivuuden varmistus, COMBI

Vaativuudet rakennusten energiatehokkuudelle ovat viime vuosina kiristyneet ja uusimpana muutoksena on vaatimus uusien rakennusten lähes nollaenergiatasosta. Siirtymäaika lähes nollaenergiatasoon on lyhyt, sillä jo vuoden 2018 alusta julkisesti omistettujen rakennusten tulee olla lähes nollaenergiatasoa. Samaan aikaan ihmisten tietoisuus ja vaatimukset sisäilmaston laadulle ovat kasvaneet ja sen taloudellinen merkitys on ymmärretty. Tiukentuneet energiatehokkuusvaatimukset asettavatkin omat haasteensa hyvän sisäilmaston varmistamiselle. Kiristyvät määräykset tuovat paksujen eristekerrosten ja aiempaa paremman rakennuksen tiiveyden lisäksi monimutkaisempia talotekniikan järjestelmiä, jolloin kokonaisuuden hallinta vaikeutuu.

Kiireiset aikataulut, monimutkaiset talotekniikan järjestelmät ja niiden työlääät säätötyöt sekä riittämätön valvonta johtavat usein siihen, että rakennus ja sen järjestelmät eivät toimi täysin suunnitellusti, kun rakennus otetaan käyttöön. Rakennuksen jo valmistuttua tarvitaan aktiivisia toimia, jotta rakennuksen toimivuudesta voidaan varmistua. Tätä tehtävää varten tässä tutkimuksessa luotiin kirjallisuutta hyödyntäen prosessi hyvän sisäilmaston varmistamiseksi rakennuksen takuuajana. Prosessia noudattamalla voidaan varmistaa, että rakennus toimii suunnitellusti ja sen sisäilmaston laatu täyttää sille asetetut tavoitteet. Taustateorioina prosessin luomisessa hyödynnettiin erilaisia toimivuuden varmistamisen konsepteja sekä Suomesta että ulkomailta. Tutkimus keskittyi kouluihin ja muihin palvelurakennuksiin, mutta tuloksia voidaan hyödyntää muunkin tyyppisissä rakennuksissa.

Tutkimusten mukaan käyttäjien kouluttamisella rakennuksen käyttöön on vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen ja sisäilmastoon. Kun käyttäjät on koulutettu käyttämään rakennuksen järjestelmiä, he osaavat säätää mieleisensä työskentelyolot energiatehokkaalla tavalla. Käyttökoulutuksella pystytään myös lisäämään käyttäjien hallinnan tunnetta omaan sisäympäristöönsä, millä on positiivinen vaikutus koettuun sisäympäristöön. Myös huoltohenkilöstön osaamisella rakennuksen yksilöllisistä ominaisuuksista ja järjestelmistä on merkitystä rakennuksen hyvä sisäilmaston varmistamisessa.

Rakennuksen toimivuustarkasteluun syvennyttiin tutkimuksessa tarkemmin kolmessa case-kohteessa. Tutkimuksessa havaittiin toimivuustarkastelun olevan yksi merkittävimmistä työkaluista hyvän sisäilmaston sekä rakennuksen toimivuuden varmistamisessa takuuajana. Tarkastelun tuloksien perusteella voidaan tehdä korjaavia toimenpiteitä sekä vaatia yleisten sopimusehtojen mukaisen kahden vuoden takuun piiriin kuuluvia korjauksia urakoitsijoilta. Tarkastelun havaittiin olevan toimiva työkalu myös hieman pidempään käytössä olevien rakennusten sisäilmaston ja toimivuuden parantamiseen.

ABSTRACT

NIKO SIMOLA: Indoor environmental quality commissioning during the building guarantee period

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 79 pages, 6 Appendix pages

June 2016

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Construction Production

Examiners: Professor Arto Saari and Project Manager Olli Teriö

Keywords: Indoor environmental quality (IEQ), Post occupancy evaluation, Building Commissioning, COMBI

Energy efficiency demands for the buildings have increased significantly in the last decade. The newest requirement is that all new government- and municipally-owned buildings must be nearly zero-energy buildings starting from year 2018. At the same time people are more aware of and have bigger requirements for the indoor environmental quality (IEQ). High demands for energy efficiency set many challenges to the IEQ commissioning. Thicker insulations, airtight structures and complex HVAC systems make it more difficult to control the indoor environment.

Busy building schedules, complex HVAC systems with time consuming fine tuning and insufficient supervision often lead to situation where the building doesn't work the way it's designed to work when it's put into operation. That is why active actions such as building commissioning are needed to ensure the building's functionality. In this research a process for IEQ commissioning during the building guarantee period was created. By following this process, it's possible to ensure that building's IEQ meets its requirements. Different building commissioning frameworks from Finland and abroad were used as a background theory for the research. The focus of the research was on schools and other municipal service buildings but the results can also be used in other building types.

Studies show that building occupants can affect the building's energy efficiency and indoor environment by their behaviour. When the occupants are trained to use the building and its systems, they are able to adjust the indoor environment in energy efficient way. It is possible to increase occupants' feeling of control over their environment by educating occupants, which additionally has a positive impact on the occupant's experience of the indoor environment. It's also important to educate the maintenance staff to use and maintain the building properly in order to ensure a good indoor environmental quality.

Post occupancy evaluation (POE) was found to be a significant tool in the IEQ commissioning process. Post occupancy evaluation was researched deeply in three different case-studies. In the case-studies the POE was able to give a lot of information regarding the functionality of the HVAC systems and the indoor environmental quality. Results of the POE can be used to improve the IEQ and to claim the contractor to repair all the flaws under the building guarantee. The post occupancy evaluation can be also used in older buildings for indoor environmental quality commissioning.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisen yliopiston rakennustuotannon ja -talouden yksikössä osana COMBI-tutkimushanketta. Haluan kiittää projektipäällikkö Olli Teriötä työn ohjauksesta sekä mahdollisuudesta päästä mukaan näin mielenkiintoiseen tutkimushankkeeseen. Kiitos myös muulle COMBI-ryhmälle, Juhani Heljolle ja Ulrika Uotilalle. Tutkittujen case-kohteiden kuntien edustajille olen kiitollinen hyvästä yhteistyöstä ja pääsystä tutkimuskohteisiin.

Päysin jatkamaan diplomityössä kandidaatintyöni aihetta eteenpäin, mikä oli mielenkiintoista ja helpotti työn aloittamista, kun aiheesta oli jo melko hyvät lähtötiedot. Työn tekeminen on tutusta aiheesta huolimatta opettanut paljon uutta. Talotekniikkaa ja erityisesti ilmanvaihtoa olen joutunut työtä tehdessä opiskelemaan paljon. Työtä oli jälkikäteen ajateltuna mukava tehdä, vaikka turhauttavia hetkiäkin matkan varrella oli. Niissä hetkissä auttoi kuitenkin hyvänä vertaistukena toinen diplomityöntekijä Timo Tantt.

Äidilleni ja isälleni kiitos sekä asiantuntijaneuvoista tätä työtä tehdessä että tuesta ja neuvoista elämässä yleensä. Kiitos myös vaimolleni Sirkulle tuesta ja ymmärryksestä sekä välillä pitkästä pinnasta.

Tampereella, 23.6.2016

Niko Simola

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen tausta	1
1.2	Tavoite ja rajaukset	1
1.3	Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen suoritus.....	3
2.	RAKENNUKSEN SISÄILMASTO	4
2.1	Sisäilmastoluokitus.....	5
2.2	Lämpöolosuhteet	6
2.2.1	Lämpötila ja ihmisen lämpöaistimus	6
2.2.2	Sisäilmankosteus	8
2.3	Ilmanlaatu.....	10
2.3.1	Ilman hiilidioksidi	10
2.3.2	Ilmassa esiintyvät kemialliset yhdisteet	10
2.3.3	Sisäilman mikrobit	13
2.3.4	Ilman hiukkaset	14
2.4	Hyvän sisäilmaston taloudellinen merkitys.....	14
2.5	Energiatehokkuus ja hyvä sisäilmasto.....	15
3.	RAKENNUKSEN KÄYTTÖ- JA HUOLTO-OHJE.....	21
3.1	Käyttö- ja huolto-ohjeiden nykytila	21
3.2	Rakennuksen käyttöohjeet ja käyttökoulutus	22
3.2.1	Ohjeet ja koulutus huoltohenkilöstölle	23
3.2.2	Ohjeet ja koulutus käyttäjille	23
4.	RAKENNUKSEN TOIMIVUUSTARKASTELU JA TOIMIVUUDEN VARMISTAMINEN.....	25
4.1	Käyttäjähäastattelut osana toimivuustarkastelua.....	26
4.2	Tapre:n mukainen toimivuustarkastelu	27
4.3	ToVa-käsikirja.....	29
4.4	Building commissioning -toiminta.....	29
4.5	Soft Landing Framework	30
4.6	Jatkuva sisäilmaston mittaaminen.....	31
4.7	Korjaushankkeiden erityispiirteet toimivuustarkastelun kannalta	32
5.	TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN SUORITUS.....	34
5.1	Tutkimusote ja -menetelmät.....	34
5.2	Tutkimuksen suoritus	35
6.	TOIMIVUUSTARKASTELUT CASE-KOhteissa	37
6.1	Case A – Tapre:n mukainen toimivuustarkastelu	37
6.1.1	Tutustumiskäynti case-kohteeseen.....	38
6.1.2	Toimivuustarkastelu.....	38
6.2	Case B – Tapre:n mukainen toimivuustarkastelu.....	45
6.2.1	Tekninen tarkastuskierros	46

6.2.2	Käyttäjäkyselyn tulokset	51
6.2.3	Tarkastusmittaukset rakennuksessa	52
6.3	Case C – Tapre:n mukainen toimivuustarkastelu.....	53
6.3.1	Tekninen tarkastuskierros	54
6.3.2	Käyttäjäkyselyn tulokset	57
6.3.3	Lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden trendiseurannat.....	58
6.3.4	Tarkastusmittaukset rakennuksessa	60
7.	HYVÄN SISÄILMASTON VARMISTAMISEN PROSESSI	61
7.1	Rakentamisvaiheen tehtävät	62
7.2	Käyttöönottovaiheen tehtävät.....	63
7.3	Takuuajan tehtävät	64
7.4	Toimivuustarkastelut	65
8.	POHDINTA	68
8.1	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	68
8.2	Tutkimuksen tarkastelu	70
8.3	Jatkotutkimusehdotukset	71
	LÄHTEET.....	72
	LIITE A: KÄYTTÄJÄKYSELYN KYSYMYKSET	80

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Hyvä ja terveellinen rakennuksen sisäilmasto on ollut viime aikoina jatkuva huolenaihe Suomessa. Julkisten rakennusten osalta erityisesti sisäilmaan liittyvistä ongelmista voi lukea lehdistä lähes päivittäin. Omat haasteensa hyvän sisäilmaston varmistamiselle tuovat entisestään kiristyvät energiatehokkuusvaatimukset, joiden mukaan vuoden 2018 alusta alkaen viranomaisten omistuksessa olevien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia. Lähes nollaenergiavaatimukset ohjaavat suuriin eristepaksuuksiin, tiiviisiin rakenteisiin sekä lisääntyvään talotekniikan määrään, jolloin rakennuksen sisäilmaston kokonaisuuden hallinta vaikeutuu. Esimerkiksi hyvin tiiviit rakenteet asettavat entistä suuremmat vaatimukset ilmanvaihdon oikeanlaiselle säädölle ja suuret eristepaksuudet lisäävät jäähdytyksen tarvetta kesällä (Vinha et al. 2013).

Kireät rakentamisvaiheen aikataulut ja monimutkainen talotekniikka johtavat monesti siihen, että rakennuksen eri järjestelmien toimintaa ei voida eikä ehditä rakentamisaikana virittää täysin optimaaliseksi. Myös vuodenaikojen vaihtelun takia esimerkiksi jäähdytysjärjestelmän hienosäätö jää tehtäväksi takuuajana, jos rakennus valmistuu talvella. Rakennuksen käyttö saattaa myös jossain määrin poiketa alun perin suunnitellusta, jolloin talotekniikkaa joudutaan säätämään, jotta se palvelisi rakennuksen käyttöä parhaalla mahdollisella tavalla.

Tämä diplomityö on tehty osana COMBI-hanketta (Comprehensive development of nearly zero-energy municipal service buildings), jonka tarkoituksena on tarkastella kokonaisvaltaisesti palvelurakennusten energiatehokkuuden parantamista lähes nollaenergiatasoon. Hanke on jaettu viiteen eri työpakettiin, jotka keskittyvät arkkitehtuuriin, rakenteiden toimintaan, talotekniikkaan ja energiantuotantoon sekä rakentamisen prosesseihin. Hankkeessa on mukana Tampereen teknillisen yliopiston, Tampereen ammattikorkeakoulun ja Aalto-yliopiston lisäksi Tampereen kaupunki ympäryskuntineen, Helsingin kaupunki sekä 38 eri yritystä. Tutkimusaika hankkeessa on 2015–2017. Tämä tutkimus on tehty osana hankkeen viidettä työpakettia eli rakentamisen prosessit.

1.2 Tavoite ja rajaukset

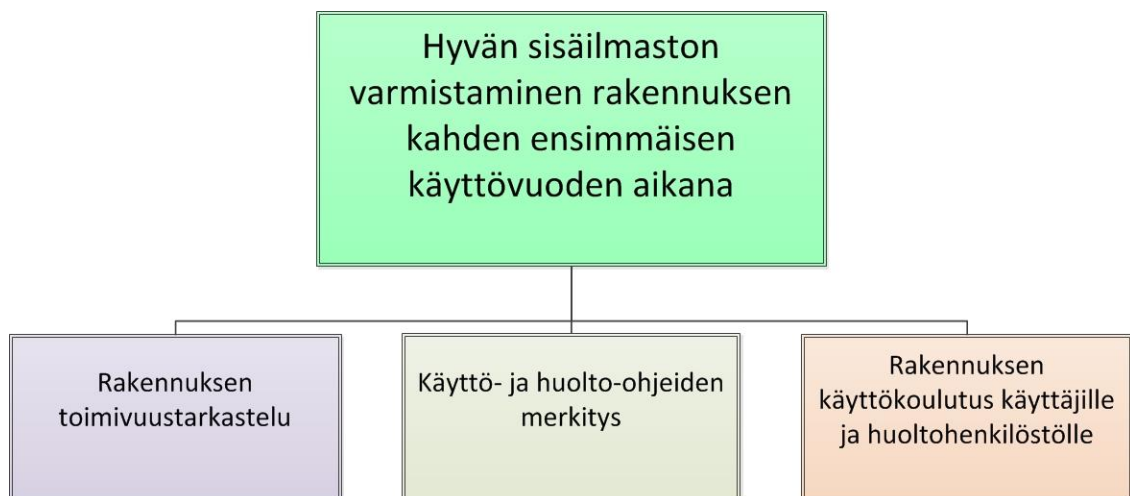
Tutkimuksen päätavoitteena on tutkia, millä tavoin hyvien sisäilmasto-olosuhteiden toteutuminen voidaan varmistaa rakennuksen takuuajana. Takuuajalla tutkimuksessa tarkoitetaan rakennusurakan yleisten sopimusehtojen (YSE 1998) mukaisesti rakennuksen valmistumisen jälkeistä kahta ensimmäistä vuotta. Tarkoituksena tutkimuksessa on luoda

hyvän sisäilmaston varmistamisen prosessi ja kuvata prosessin eri vaiheet ja tehtävät. Rakentamisvaiheen lopusta ja rakennuksen käyttöönottovaiheesta on huomioitu tehtäviä, niiltä osin, kun tehtävät liittyvät kiinteästi takuuajakauteen hyvän sisäilmaston varmistamiseen.

Päätavoitteen saavuttamiseksi tutkimukselle on asetettu kolme osatavoitetta. Ensimmäinen osatavoite on tutkia nykyisiä toimivuustarkastelumenetelmiä ja kuinka niitä voidaan käyttää rakennuksen hyvän sisäilmaston varmistamiseen. Lisäksi nykyisiin menetelmiin pyritään esittämään havaintojen perusteella parannusehdotuksia, mikäli menetelmät havaitaan puutteellisiksi.

Toisena osatavoitteena on tutkia rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeen, eli toisin sanoen huoltokirjan, laadinnan käytäntöjä ja suosituksia. Huoltokirja on tärkeä työkalu suunnitelmalliseen kiinteistönpitoon, joten se on tärkeä työkalu myös sisäilmaston laatu- ja ylläpidossa.

Tutkimuksen kolmas osatavoite on selvittää rakennuksen käyttökoulutuksen nykytilaa ja tutkia sen merkitystä rakennuksen käyttäjien kokemuksille sisäilmastosta. Kirjallisuudesta pyritään löytämään hyviä keinoja käyttökoulutuksen järjestämiseen. Lisäksi tutkimuksessa perehdytään kirjallisuuden perusteella sisäilmaston eri osa-alueisiin ja niiden merkitykseen ihmisen toiminnalle sekä sisäilmaston ja energiatehokkuuden keskinäiseen yhteyteen. Energiatehokkuus ja sisäilmasto kytkeytyvät vahvasti yhteen, joten energiatehokkuutta ei voi täysin rajata tutkimuksen ulkopuolelle. Sisäilmastoa parantaessa tulee huomioida energiatehokkuus ja vastaavasti energiatehokkuutta ei saa parantaa sisäilmaston kustannuksella. Tutkimuksen päätavoitteet ja sitä tukevat osatavoitteet on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1: Tutkimuksen tavoitteet.

Tutkimus keskittyy, kuten koko COMBI-hanke, palvelurakennusten tutkimiseen. Erilaisista palvelurakennuksista keskitytään erityisesti kouluihin ja päiväkoteihin, mutta tuloksia voidaan hyödyntää myös muun tyyppisissä palvelurakennuksissa. Sisäilmaston osaluista tutkimus keskittyy pääasiassa lämpöolosuhteisiin ja rakennuksen ilmanlaatuun, koska niihin liittyvät ongelmat ovat taloudellisesti merkittävimpiä. Valaistus on rajattu tarkemman tarkastelun ulkopuolelle myös siksi, että sitä tutkitaan tarkemmin muissa COMBI-hankkeen osissa.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen suoritus

Tämä tutkimus on luonteeltaan laadullinen tutkimus. Tutkimusmenetelmiksi valittiin kirjallisuusselvitys sekä tapaustutkimus. Tutkimus aloitettiin kirjallisuustutkimuksella, jolla kartoitettiin aihealueen taustateoriaa ja nykyisiä käytäntöjä. Kirjallisuudesta pyrittiin löytämään kaikki tärkeimmät hyvän sisäilmaston varmistusprosessin vaiheet sekä työkaluja ja käytänteitä vaiheiden suorittamiseen. Varsinaisen hyvän sisäilmaston varmistamisen prosessin luomisessa hyödynnettiin konstruktivistista tutkimusotetta.

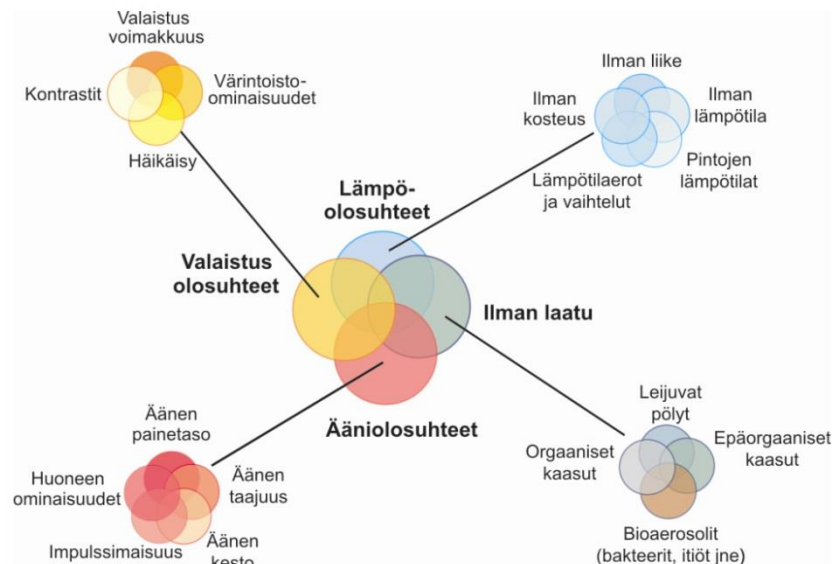
Hyvän sisäilmaston varmistamisen tärkeintä yksittäistä vaihetta takuuajana, eli toimivuustarkastelua, tutkittiin tarkemmin case-kohteissa. Lähtökohtana toimivuustarkasteluille olivat Tapre-ohjeet (Tampereen alueen palvelurakennukset energiatehokkaiksi) rakennuksen toimivuuden tarkasteluun. Tutkimusmenetelmänä case-kohteissa oli osallistuva havainnointi.

Lopullinen hyvän sisäilmaston varmistamisen prosessi muodostettiin kirjallisuusselvityksen ja tapaustutkimuksen havainnot yhdistelemällä. Malliin otettiin mukaan myös rakentamisvaiheen lopun sekä käyttöönottoaiheen tehtäviä, sillä jotkin tehtävät niissä vaiheissa liittyvät hyvin kiinteästi takuuajaisiin varmistustoimenpiteisiin. Varmistamisprosessia ei kuitenkaan ajallisista syistä päästy käytännössä kokeilemaan, sillä koko prosessin läpivienti vie vähintään kaksi vuotta aikaa.

2. RAKENNUKSEN SISÄILMASTO

Ihmiset viettävät keskimäärin 90 % ajastaan sisätiloissa (Kosonen et al. 2011). Täten rakennuksen sisäilmastolla on hyvin suuri vaikutus ihmisten hyvinvointiin ja terveyteen. Luonnollisesti sisäilmasto vaikuttaa hyvinvoinnin ja terveyden kautta myös esimerkiksi työn tuottavuuteen.

Rakennuksen sisäilmaston osa-alueisiin kuuluvat ilmanlaadun ohella rakennuksen lämpö-, valaistus- sekä ääniolosuhteet. Lisäksi eri osa-alueet voidaan jakaa pienempiin osiin kuvan 2 mukaisesti. Tärkeimpinä hyvän sisäilmaston tekijöinä voidaan pitää ilmanpuhtautta, vedottomuutta, sopivaa ilman lämpötilaa sekä kosteutta, äänenpainetasoa ja valaistusvoimakkuutta (Pietiläinen et al. 2007).



Kuva 2: Sisäilmaston osa-alueet (Pietiläinen et al. 2007).

Yleensä eniten huomiota kiinnitetään sisäilmaston osa-alueista ilmanlaatuun, koska sillä on suurin vaikutus ihmisten terveyteen. Vanhoissa rakennuksissa ilmanlaatua voivat eniten heikentää kosteus- ja homevauriot, sillä niistä ilmaan pääsee vapautumaan kemiallisia, fysikaalisia ja biologisia epäpuhtauksia, jotka aiheuttavat muun muassa hengitysteiden limakalvojen ärsytystä, erilaisia hengitysteiden tulehduksia sekä astmaa (Reijula et al. 2012). Uusissa rakennuksissa ilmanlaatua sen sijaan heikentävät eniten rakennusmateriaaleista ja uusista kalusteista huoneilmaan vapautuvat päästöt, kuten haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC-yhdisteet) (Järnström et al. 2008).

Eniten tyytymättömyyttä sisäilmaston osa-alueista aiheuttavat tutkimusten mukaan lämpöolosuhteet, ilmanlaatu sekä ääniolosuhteet. Niihin liittyviä yleisiä ongelmia ovat alhainen lämpötila, ilmanvaihdon aiheuttama vedon tunne, tunkkainen ilma, kylmäsilat sekä toimistoissa yksityisyyden puute keskustellessa. (Takki & Virta 2007.)

2.1 Sisäilmastoluokitus

Suomessa on sisäilmaston tason luokitteluun käytössä sisäilmastoluokitus 2008. Sen tarkoituksena on asettaa sisäilmaston tavoite- ja suunnittelu-arvot, joita noudattamalla voidaan rakentaa entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia (Ratu 437-T 2009).

Sisäilmastoluokituksessa on käytössä kolmitasoinen laatuluokitus

- S1: Yksilöllinen sisäilmasto
 - Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole sisäilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet ja hyviä valaistusolosuhteita tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus.
- S2: Hyvä sisäilmasto
 - Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta yllämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet.
- S3: Tyydyttävä sisäilmasto
 - Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. (Ratu 437-T 2009.)

Tärkeimpiä luokituksen mukaisia tavoitearvoja sisälämpötilalle ja ilman laadulle on esitetty taulukossa 1. Vanhassa, vuonna 2000 julkaistussa, sisäilmaluokituksessa oli annettu maksimi-arvot erilaisille kemiallisille yhdisteille, mutta nykyisessä luokituksessa vaaditaan vain vähäpäästöisten eli M1-luokiteltujen tuotteiden käyttöä.

Taulukko 1: Sisäilmastoluokituksen mukaisia tavoitearvoja lämpötilalle ja sisäilmalle.

	S1	S2	S3
Lämpötilan tavoitearvot			
Lämpötila talvella (°C)	21,5	21,5	21
Lämpötila kesällä (°C)	24,5	24,5	25
Sallittu poikkeama (°C)	±0,5	±1,0	±1,0
Maksimilämpötila kesällä (°C)	26	27	32
Olosuhteiden pysyvyys käyttöajasta	95 %	90 %	-
Sisäilman tavoitearvot			
Hiiidioksidipitoisuus (ppm)	<750	<900	<1200
Radonpitoisuus (Bq/m ³)	<100	<100	<200

Pelkkien tavoitteiden lisäksi sisäilmastoluokitus antaa suunnitteluarvoja esimerkiksi tilojen ilmanvaihtomäärille sekä vaatimuksia käytettäville ilmanvaihtokoneiden suodattimille. Myös rakennustyön pölynhallinnalle ja käytettäville rakennusmateriaaleille on annettu vaatimuksia. Sisäilmastoluokitusta ollaan vuoden 2016 aikana päivittämässä, mutta vielä ei ole julkaistu tarkkaa tietoa siitä, mitä muutoksia päivitys sisältää (Sisäilmautiset 2015).

2.2 Lämpöolosuhteet

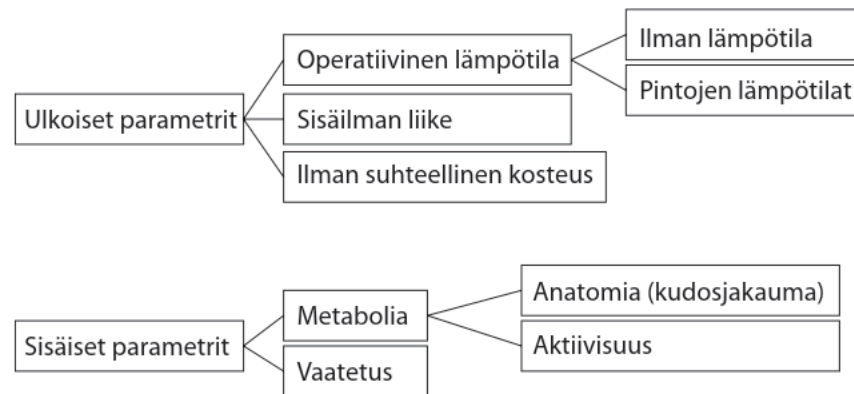
Lämpöolosuhteet ovat merkittävä tekijä rakennuksen käyttäjien viihtymisen kannalta. Ilman lämpötilan lisäksi lämpöolosuhteisiin kuuluu monia muitakin osa-alueita, joilla kaikilla on lopulta merkitystä, millaiseksi ihminen kokee rakennuksen lämpöolosuhteet.

2.2.1 Lämpötila ja ihmisen lämpöaistimus

Ihmisen kokemaan lämpöaistimukseen vaikuttavat huoneilman lämpötilan lisäksi rakenteiden pinnoista tuleva lämpösäteily, ilman virtausnopeus, ilmankosteus, ihmisen vaateus sekä ihmisen oma metabolia eli lämmöntuotto, joka riippuu ihmisen yksilöllisestä anatomiasta sekä aktiivisuustasosta (Tuomaala et al. 2013). Lämpöaistimukseen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa ulkoisiin ja sisäisiin parametreihin kuvan 3 mukaisesti. Rakennuksen vaipparakenteet, ilmanvaihto, lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät ja rakennuksessa tapahtuva toiminta muodostuvat yhdessä rakennuksen lämpöolosuhteet (Asumisterveysopas 2008).

Huoneilman lämpötilan mittausta tulee tehdä 1,1 metrin korkeudelta oleskeluvyöhykkeellä. Oleskeluvyöhykkeellä tarkoitetaan osaa huoneesta, joka rajautuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella ja alueen reunat 0,6 metrin päässä seinistä tai muista kiinteistä rakennusosista (Asumisterveysohje 2003). Kun lämpötilaa mitataan tilassa, jossa on suuria ikkunapintoja, katto- tai lattialämmitys tai kun huoneeseen kohdistuu suoraa auringonsäteilyä, tulee lämpötila mitata operatiivisen lämpötilan avulla. Operatiivinen lämpötila on

ilman ja huoneen pintojen säteilylämpötilan keskiarvo. Operatiivinen lämpötila antaa paremman kuvan ihmisen kokemasta lämpötilasta kuin pelkkä ilman lämpötila. (RT 07-10564 1995.)



Kuva 3: Lämpöaistimukseen vaikuttavat ulkoiset ja sisäiset tekijät (Tuomaala 2013).

Kuten lämpöaistimukseen vaikuttavien tekijöiden määrästä voi päätellä, ilmiötä ei ole helppoa arvioida täsmällisesti. Yksinkertainen ja laajasti käytetty menetelmä lämpöaistimuksen arviointiin on 1970-luvulla kehitetty PMV-indeksi (Predicted Mean Vote), jossa lämpöaistimus arvioidaan välillä -3-+3. Indeksien arvo 0 kuvaa neutraalia lämpöaistimusta, negatiiviset luvut kylmää ja positiiviset lämmintä. Indeksien laskentaan vaikuttavat muun muassa ihmisen tekemä työ, metabolia, tilojen säteilylämpötila, ilmastokosteus sekä ihmisen vaatuset. Menetelmän ongelmana pidetään, että se ei huomioi ihmisen lämpöfysiologian käyttäytymistä eikä suunnasta riippuvaa säteilylämmönsiirtoa kehon eri osien ja ympäristön välillä. PMV-indeksistä voidaan laskea lämpöolosuhteiden tyytymättömien ihmisten osuus eli PPD-luku (Predicted Percentage of Dissatisfied). Indeksien käytössä tulee huomioida, että 100% tyytyväisyys on ihmisten yksilöllisistä ominaisuuksista ja mieltymyksistä johtuen mahdotonta käytännössä saavuttaa. (Tuomaala 2013.)

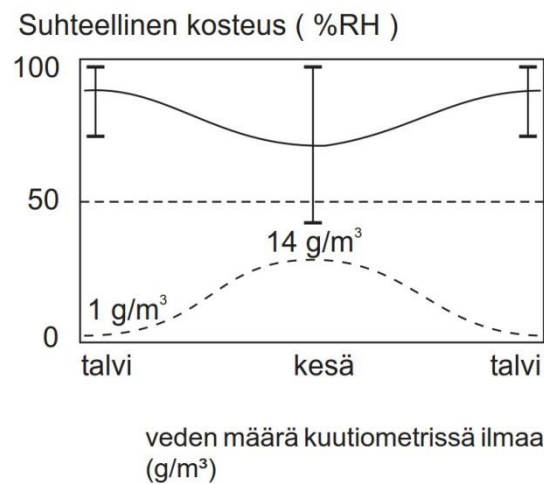
VTT:llä on kehitetty PMV-indeksiä kehittyneempi HTM-malli (Human Thermal Model), joka ottaa paremmin huomioon ihmisen fysiologian. Holopaisen et al. (2014) mukaan HTM-malli ennustaa yksinkertaistettuja laskentamalleja, kuten PMV-indeksiä, pienempiä tyytymättömien määriä samoissa oloissa. Tutkimuksen mukaan lämpöolosuhteita arvioidessa tulisi käyttää kehittyneempiä menetelmiä, sillä vanhat yksinkertaiset laskentamenetelmät saattavat johtaa turhaan lämmitykseen tai jäähtymykseen.

Ihmisen fysiologian vaikutuksista lämpöaistimukseen hyvän kuvan antaa Tuomaalan (2016) esittämä esimerkki HTM-menetelmän käytöstä: ero lihaksikkaan miehen ja ei-lihaksikkaan naisen optimilämpötilojen välillä voi olla jopa 5 °C. Tuomaalan mukaan myös Suomessa ja Sveitsissä tehdyt kenttätutkimukset tukevat HTM-mallilla saatua 5 °C eroa

optimilämpötilassa. Ero asettaa omat haasteensa viihtyisien lämpöolojen luomiselle rakennuksissa.

2.2.2 Sisäilmankosteus

Rakennuksen sisäilman kosteutta arvioidaan useimmiten suhteellisen kosteuden kautta. Suhteellinen kosteus kuvaa ilmassa olevan vesihöyryn määrää suhteessa kyllästyskosteuteen. Kyllästyskosteus on se vesihöyryn määrä, joka ilmassa voi enintään olla niin, että kosteuden tiivistymistä ei vielä tapahdu. Mitä suurempi ilman lämpötila on, sitä enemmän siinä voi olla vesihöyryä. Talvella ilman suhteellinen kosteus on kuvan 4 mukaisesti pääsääntöisesti suurempi kuin kesällä, mutta absoluuttisesti kosteutta on ilmassa kesällä enemmän. (RT 05-10710 1999.)

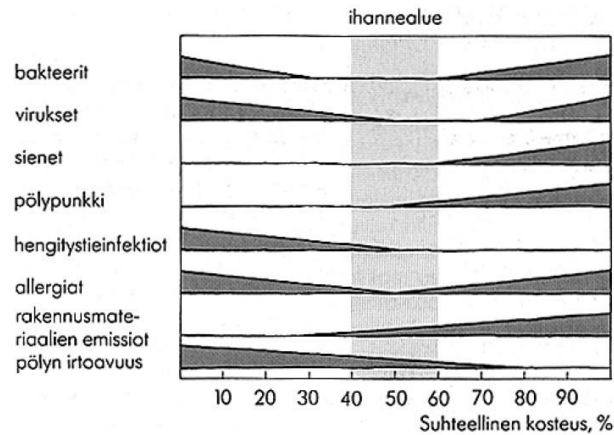


Kuva 4: Ilman absoluuttinen ja suhteellinen kosteus eri vuodenaikoina (RT 05-10710 1999).

Rakennuksen sisäilmaston ja ihmisten hyvinvoinnin kannalta talven alhainen absoluuttinen kosteus tuottaa ongelmia. Kun rakennuksen ilmaa vaihdetaan koneellisesti suuria määriä, siirtyy poistoilman mukana rakennuksessa muun muassa ihmisen toiminnasta ja aineenvaihdunnasta syntynyttä kosteutta ulos. Ulkoa otettavan tuloilman absoluuttinen kosteus on hyvin pieni, jolloin sen suhteellinen kosteus laskee lämmityksen jälkeen hyvin pieneksi. Esimerkiksi toimistorakennuksessa ilman suhteellinen kosteus voi talvella laskea alle 10 prosenttiin (Vinha et al. 2013). Alhaisen (10–20 %) ilman suhteellisen kosteuden on todettu aiheuttavan monia erilaisia ongelmia kuten

- ihon, huulien, silmien ja limakalvojen kuivumista
- kohonneen riskin vilustumiseen ja allergiasairauksiin
- äänen käheyttä
- ilma tuntuu todellista kylmemmältä
- staattista sähköisyyttä. (RT 07-10564 1995; Tupamäki 2012.)

Toisaalta haittaa on myös liian korkeasta ilman kosteudesta. Korkea ilmankosteus vahingoittaa rakenteita ja mahdollistaa homeiden, sienien ja erilaisten bakteerien kasvun. Yhteenveto erilaisista ilman kosteuden vaikutuksista on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5: Ilmankosteuden vaikutukset. Paksumpi viiva tarkoittaa suurempaa vaikutusta. (RT 07-10564 1995.)

Sopivaksi ilmankosteuden arvoksi on esitetty eri lähteissä arvioita. RT-kortti rakennuksen sisäilmasto (1995) määrittää kuvan 5 mukaisesti ihannearvoksi 40 - 60 %, mutta siihen päästään harvoin talvella. Simonson et al. (2001) mukaan sopiva sisäilmankosteus olisi 30 - 60 %. Asumisterveysopas (2008) toteaa, että ilman suhteellisen kosteuden tulisi olla 20 - 60 %, mutta sen saavuttaminen ei ole oppaan mukaan ilmastollisista syistä läheskään aina mahdollista. Sisäilmastoluokituksen S1-tasolla ilmankosteuden tulee olla talvella välillä 25 - 45%. S2- ja S3-tasoilla vaatimuksia ilmankosteudelle ei ole. Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 (Ympäristöministeriö 2012) ilman suhteelliselle kosteudelle ei anneta raja-arvoja, mutta sen mukaan ilman kosteuden ylittäessä 45 % ilmaa saa kostuttaa vain painavista syistä. Luonnoksessa uudeksi asetukseksi rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (Ympäristöministeriö 2016) määrätään, että ilmankosteuden tulee olla tilojen käyttötarkoituksen mukainen ja se ei saa aiheuttaa kosteusvaurioita, mikrobien kasvua tai terveydellistä haittaa.

Suhteellisen kosteuden suositellulle alarajalle on eri lähteissä esitetty hieman toisistaan poikkeavia arvoja väliltä 20 - 40%. Suositusten mukaisiin kosteuspitoisuuksiin on kuitenkin Suomessa talvella kovilla pakkasilla käytännössä hyvin vaikea päästä ilman tuloilman kostuttamista. Selvää kuitenkin on, että ilmankosteuden ollessa alle 20 % alkavat negatiiviset vaikutukset ihmisten hyvinvointiin kasvaa. Ylärajaksi ilmankosteudelle voidaan lähteiden perusteella asettaa selvemmin raja. Suhteellinen kosteus ei saisi kasvaa yli 60 prosentin.

2.3 Ilmanlaatu

Yleisimmät rakennuksen ilmanlaatua heikentävät tekijät ovat ihmisten toiminnasta ja aineenvaihdunnasta syntyvät epäpuhtaudet, rakennus- ja sisustusmateriaalien päästöt, ulkoilmasta tulevat epäpuhtaudet sekä kosteus- ja homevaurioituneissa rakennuksissa mikrobien aiheuttamat epäpuhtaudet (Asumisterveysopas 2008). Paras tapa parantaa ilmanlaatua on mahdollisuuksien mukaan poistaa epäpuhtauslähteet sekä varmistaa tiloissa tapahtuvaan toimintaan sopiva ilmanvaihdon määrä.

2.3.1 Ilman hiilidioksidi

Ihmisten aiheuttamien epäpuhtauksien määrän indikaattorina voidaan käyttää ilman hiilidioksidipitoisuutta (CO₂) (Asumisterveysopas 2008). Suomen rakentamismääräyskoelman osa D2 rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto (Ympäristöministeriö 2012) määrittää, että sisäilman hiilidioksidipitoisuus ei saisi olla käytön aikana yli 1200 ppm. Luonnoksessa uudeksi asetukseksi rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (Ympäristöministeriö 2016) esitetään uudeksi hiilidioksidipitoisuuden ylärajaksi 925 ppm yli ulkoilmanpitoisuuden. Yläraja on siis hieman nousemassa, sillä normaali ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on noin 400 ppm eli huonetiloissa yläraja olisi hieman yli 1300 ppm. Sisäilmastoluokitus (Ratu 437-T 2009) määrittää hiilidioksidipitoisuuden tavoitearvoksi luokassa S1 alle 750ppm ja luokassa S2 alle 900ppm. Luokka S3 vastaa rakentamismääräysten vaatimuksia.

Esimerkiksi Tampereella koulujen hankesuunnitteluvaiheessa määritetään usein suunnittelutavoitteeksi S2-luokka. Hiilidioksidi ei suoranaisesti aiheuta terveyshaittoja ihmiselle, mutta sillä on kuitenkin vaikutusta ihmisen kognitiivisiin kykyihin ja sitä kautta työn tuottavuuteen jo 1000 ppm-pitoisuuksina (Satish et al. 2012; Wargocki & Wyon 2013).

2.3.2 Ilmassa esiintyvät kemialliset yhdisteet

Uusissa rakennuksissa sisäilmanlaatua eniten heikentävät rakennusmateriaaleista ja uusista kalusteista ilmaan haihtuvat päästöt kuten haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VOC-yhdisteet (Volatile Organic Compounds), ammoniakki sekä formaldehydi (Järnström et al. 2008). Näitä päästöjä voidaan pyrkiä minimoimaan käyttämällä vähäpäästöisiä rakennusmateriaaleja eli M1-luokiteltuja tuotteita.

VOC-yhdisteet esiintyvät huoneenlämmössä kaasuina. VOC-yhdisteisiin kuuluvat esimerkiksi aromaattiset hiilivedyt (tolueeni, bentseeni), aldehydit, halogenoidut yhdisteet, esterit sekä alkoholit. VOC-yhdisteisiin on liitetty terveyshaittoina hengitysteiden ärsytysoireet sekä lievempänä ongelmana hajuhaitat. Matalien VOC-pitoisuuksien ei tiedetä aiheuttavan oireita, mutta jotkut yhdisteet voivat aiheuttaa hajuhaittoja jo varsin pieninä pitoisuuksina. Yleensä ongelmia ei VOC-yhdisteiden suhteen ole, jos pitoisuudet ovat

alle $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Työterveyslaitos 2015; Hengitysliitto 2016). Luonnoksessa uudeksi asetukseksi rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (Ympäristöministeriö 2016) esitetään VOC-pitoisuuden maksimiarvoksi $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Määräyksiä ja suosituksia eri lähteistä VOC-pitoisuuksien ylärajaksi on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2: Määräyksiä ja suosituksia VOC-yhdisteiden maksimipitoisuudeksi ilmassa.

Lähde	Suurin sallittu pitoisuus
Luonnos asetukseksi uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta	$300 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Asumisterveysopas, tavanomainen arvo	$200 - 300 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Työterveyslaitos, Hengitysliitto	ei yleensä ongelmia kun $< 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Järnström et al. (2006)	normaali arvo $270 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kohonnut pitoisuus $> 400 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Salonen et al. (2009)	suositus $< 70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kohonnut pitoisuus $> 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Ammoniakki on väritön ja hyvin pistävän hajuinen kaasu. Yleisesti ammoniakkia pidetään kosteusvauriosta kertovana indikaattorina. Kun proteiineja sisältävät rakennusmateriaalit, kuten tasoitteet, kastuvat ja vaurioituvat, vapautuu ilmaan ammoniakkia. Myös viemäreistä voi päästä vuotamaan sisäilmaan viemärikaasuja, jotka sisältävät ammoniakkia. Ammoniakki ärsyttää silmiä ja hengitysteitä, mutta yleensä sen pitoisuudet ovat niin pieniä, että ne eivät aiheuta oireita. Hajuhaitat voivat kuitenkin olla merkittäviä. (Työterveyslaitos 2010a.) Taulukossa 3 on esitetty eri lähteistä määräyksiä ja suosituksia ammoniakkipitoisuuksien maksimiarvoiksi huoneilmassa.

Taulukko 3: Määräyksiä ja suosituksia ammoniakin maksimipitoisuudeksi ilmassa.

Lähde	Suurin sallittu pitoisuus
Suomen rakentamismääräyskokoelma, D2	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Luonnos asetukseksi uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Asumisterveysopas	$10-20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kohonnut pitoisuus $> 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Järnström et al. (2006)	normaali arvo $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kohonnut pitoisuus $> 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Salonen et al. (2009)	suositus $< 12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kohonnut pitoisuus $> 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Formaldehydi on ammoniakkin tapaan väritön ja pistävän hajuinen kaasu. Suurimpia formaldehydin lähteitä rakennuksessa ovat huonekalulevyjen (MDF, HDF) ja lastulevyn liima-aineet sekä mineraalivillojen sidosaineena käytettävä fenoliformaldehydihartsit. Sisäilmassa esiintyvissä pitoisuustasoissa formaldehydi aiheuttaa lähinnä ärsytysoireita silmiin ja hengitysteihin. Formaldehydin on epäilty aiheuttavan astmaa, mutta epäilyä ei ole voitu tutkimuksissa vahvistaa. Herkillä ihmisillä formaldehydi voi aiheuttaa oireita jo hyvin pieninä pitoisuuksina. (Työterveyslaitos 2010b.) Määräyksiä ja suosituksia formaldehydipitoisuuden ylärajaksi on koottu taulukkoon 4. Erikoista on, että määräyksissä formaldehydin pitoisuuden yläraja nousee vanhaan verrattuna uudessa asetusluonnoksessa.

Taulukko 4: Määräyksiä ja suosituksia formaldehydin maksimipitoisuudeksi ilmassa.

Lähde	Suurin sallittu pitoisuus
Suomen rakentamismääräyskokoelma, D2	50 µg/m ³
Luonnos asetukseksi uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta	100 µg/m ³
Asumisterveysopas	100 µg/m ³ , hajukynnys 35 µg/m ³
Järnström et al. (2006)	normaali arvo 25-30 µg /m ³ kohonnut pitoisuus > 40 µg /m ³
Salonen et al. (2009)	suositus < 10 µg /m ³ , kohonnut pitoisuus > 15 µg /m ³

Kuten edellä olevista taulukoista huomataan, tarkkoja arvoja eri yhdisteiden maksimipitoisuudeksi ilmassa ei voida antaa ja eri lähteiden välillä on melko suuria eroja. Välttämättä siis tarkat mittaukset eivät riitä toteamaan onko ilmanlaatu kemiallisten yhdisteiden osalta hyvä. Monesti ihmisen hajuaisti toimii ainakin aluksi hyvänä mittarina kemiallisten yhdisteiden havainnointiin. Lisäksi maksipitoisuuksien määrittämistä vaikeuttaa, että ihmisten herkkyys erilaisille yhdisteille on hyvin yksilöllistä ja joillekin jo pienet pitoisuudet voivat aiheuttaa haittoja.

Järnström & Saarela (2005) tutkivat kahdeksassa eri rakennuksessa VOC- yhdisteiden, ammoniakkin ja formaldehydin esiintymistä rakennuksen luovutusvaiheessa, puolen vuoden käytön jälkeen sekä vuoden käytön jälkeen. Rakennukset oli rakennettu hyvän rakennustavan mukaisesti ja käyttäen vain M1-luokan (vähäpäästöisiä) rakennusmateriaaleja. Ilmanvaihtokertoimet kohteissa olivat välillä 0,8-1,5 1/h. Kohteissa, joissa oli koneellinen poistoilmanvaihto, ammoniakkipitoisuudet olivat yli 100 µg/m³ ja VOC-pitoisuudet yli 600 µg/m³ luovutusvaiheessa. Kohteissa, joissa oli koneellinen tulo-poisto-ilmanvaihto, olivat pitoisuudet hieman pienempiä. Puolessa vuodessa VOC-pitoisuudet laskivat kaikissa kohteissa alle 200 µg/m³. Ammoniakkipitoisuudet pysyivät rakennuksissa koko vuoden yli 100 µg/m³. Formaldehydipitoisuudet olivat kaikissa kohteissa koko seuranta-

ajan hyvin pieniä. Tutkimuksen perusteella ei kuitenkaan voida antaa suoraa ohjetta, kuinka kauan esimerkiksi ilmanvaihtoa tulee tehostaa rakennuksen valmistuttua, sillä tutkimuksessa todetaan pitoisuuksiin vaikuttavan monet seikat aina ilmanvaihdon toimivuudesta, rakennuksen käyttötapaan ja ulkoilman olosuhteisiin. Suomessa rakennetuissa matalaenergiarakennuksissa sisäilmassa esiintyvien VOC-pitoisuuksien ei ole havaittu eroavan tavanomaisesti rakennettujen rakennusten pitoisuuksista (Hartikainen et al. 2014).

Vastaavasti Hodgson et al. (2000) toteavat tutkimuksessaan, että VOC-pitoisuuksien laskulle rakennuksessa ei voida määrittää yleispätevää ohjetta, sillä asiaan vaikuttaa niin moni seikka. Ilmanvaihdon tehostaminen on rakennuksen käytön aikana paras tapa ilman VOC-pitoisuuksien pienentämiseksi. VOC-päästöjen minimoimiseksi tulisi huomio kiinnittää jo suunnitteluvaiheessa materiaalivalintoihin, jotta päästöt rakennuksessa olisivat jo lähtökohtaisesti pienemmät.

Toisaalta Park & Ikeda (2006) eivät havainneet ilmanvaihdolla olevan suurta merkitystä VOC-päästöjen alentumisnopeuteen. Heidän tutkimuksessaan sekä painovoimaisella ilmanvaihdolla että koneellisella tulo-poisto-ilmanvaihdolla varustetuissa asunnoissa kului molemmissa noin vuosi VOC-päästöjen poistumiseen.

2.3.3 Sisäilman mikrobit

Vaikutuksiltaan ja laajuudeltaan vakavimpien sisäilmaongelmien aiheuttajat Suomessa ovat kosteus- ja homevauriot. Reijula et al. (2012) arvioivat kouluissa ja päiväkodeissa esiintyvän merkittäviä kosteus- ja homevaurioita noin 12–18 % kerrosalasta. Lukumääräisesti vaurioituneissa kouluissa ja päiväkodeissa arvioitiin oleskelevan 172 000-259 000 henkeä.

Kasvaakseen mikrobikasvusto eli home-, hiiva- tai bakteerikasvusto tarvitsee lämpöä ja kosteutta. Mikrobit kykenevät kasvamaan ja lisääntymään lämpötilan ollessa 5 – 40 °C. Optimilämpötila kasvulle on yleensä 20–30°C, joten normaali sisälämpötila on erittäin hyvä mikrobien kasvulle. Kasvua säätelevä tekijä onkin kosteus, sillä mikrobien kasvu-alustan suhteellisen kosteuden pitää olla yleensä vähintään noin 75 - 85 %, jotta kasvu alkaa tapahtua. Mikäli rakenteissa on jatkuvasti korkea suhteellinen kosteus, ne eivät toimi kosteusteknisesti oikein. Syy huonoon kosteustekniseen toimintaan ja sitä kautta mahdolliseen kosteusvaurion syntyyn voi olla esimerkiksi suunnittelu- tai rakennusvirhe. Muita yleisiä syitä kosteusvaurioille ovat vesikattovuodot, putkivuodot tai laiminlyöty rakennuksen huolto ja hoito. Mikrobien lähteenä voi joissakin tapauksissa olla myös maa-perä. (Asumisterveysopas 2008; Työterveyslaitos 2014.)

Mikrobeille altistumisen oireina voi esiintyä nuhaa, yskää, hengitystieinfektioita sekä astman syntyä ja pahenemista (WHO 2009). Kaikkia terveyshaittoja ja niiden syntymekanismia ei kuitenkaan vielä tarkkaan tunneta. Sairastumiseen tarvittavia altistusmääriä ei myöskään tunneta (Työterveyslaitos 2014).

Mikrobivaurioita kannattaa ensisijaisesti etsiä kuntotutkimuksen menetelmin. Mikäli näkyviä merkkejä ongelmista ei esiinny, voidaan todentamisessa käyttää mikrobimittauksia. Tutkimusten tulkinta vaatii kuitenkin ammattitaitoa. Mittauksissa tulee myös huomioida, että negatiivinen mikrobimittaustulos ei tarkoita, että mikrobivaurioita ei silti voisi olla. (Asumisterveysopas 2008; Työterveyslaitos 2014.)

2.3.4 Ilman hiukkaset

Ilman hiukkaset voidaan jakaa kokonsa perusteella kahteen ryhmään. Hengitettäviin hiukkasiin (PM₁₀), joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 10µm ja pienhiukkasiin (PM_{2,5}), joiden halkaisija on alle 2,5µm. Lisäksi ilmassa on muita suurempia leijuvia hiukkasia ja kuituja, kuten esimerkiksi mineraalivillakuituja. Sisäilman hiukkasten lähteenä ovat useimmiten ihmisen toiminta, ulkoilmasta sisään tulevat liikenteen päästöt ja muut palamisesta syntyvät päästöt sekä katupöly. Toisin kuin pöly ja muut suuremmat hiukkaset, eivät pienimmät hiukkaset, PM₁₀ ja PM_{2,5}, koskaan laskeudu ilmasta huonepinoille, vaan ainoa tapa poistaa niitä ilmasta on ilmanvaihto. (Asumisterveysopas 2008; Työterveyslaitos 2010c.)

Terveydelle vaarallisimpia hiukkasia ovat kaikista pienimmät hiukkaset (PM_{2,5}), sillä ne kulkeutuvat ihmisen keuhkoihin ja poistuvat sieltä hyvin hitaasti. Hengitettävät hiukkaset (PM₁₀) kulkeutuvat nenään, nieluun ja kurkunpään alueelle ja poistuvat elimistöstä muutamana tunnin kuluessa (Työterveyslaitos 2010c). Pienhiukkasten aiheuttama merkittävin terveyshaitta lyhytaikaisessa altistumisessa ovat erilaiset hengitystieinfektiot, astman ja keuhkohtaumataudin pahentuminen. Pitkäaikainen altistuminen voi aiheuttaa keuhkohtaumaa ja mahdollisesti astmaa ja allergioita. (Salonen & Pennanen 2006.)

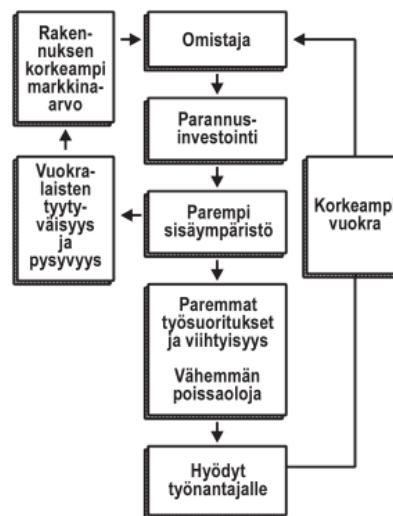
Ilman hiukkasten sisäänpääsyä tuloilman mukana estetään ilmanvaihtokoneiden suodatimilla. Esimerkiksi varsin yleisesti käytetty suodatintyyppi, F7, suodattaa 80 % yli 0,4 µm kokoisista hiukkasista. Erikoiskohteissa, kuten sairaaloissa, käytetään suodatuskyvyllään vielä parempia suodattimia.

2.4 Hyvän sisäilmaston taloudellinen merkitys

Hyvällä rakennuksen sisäilmastolla varmistetaan ihmisten pysyminen terveempinä ja sitä kautta sillä on suuri taloudellinen merkitys. Taloudelliset hyödyt saavutetaan vähentyneiden sairauspoissaolojen, terveydenhoitokulujen laskun sekä parantuneen työtehon ansiosta (Fisk 2000; Tuomainen et al. 2002). Pelkästään huonon sisäilman taloudellinen merkitys on valtava. Sen rahalliselle arvolle on esitetty erilaisia arvioita. Vuonna 1997 arviottiin huonon sisäilman aiheuttamiksi kuluiksi Suomessa noin 3 miljardia euroa (Seppänen 2004). Reijula et al. (2012) mukaan kosteus- ja homeongelmien takia rakennuksia joudutaan korjaamaan 1,2 – 1,6 miljardin arvosta ja realistinen arvio terveydellisten haittojen aiheuttamiksi kuluksi on noin 500 miljoonan vuosittain. Terveydellisten haittojen

arviointi on kuitenkin erittäin vaikeaa, sillä kustannushaarukka niille on 23 – 1000 miljoonaa euroa vuodessa (Reijula et al. 2012).

Yksittäisen kunnan tasolla sisäilmaston, erityisesti sisäilman, aiheuttamien sairauspoissaolojen ja sairastelun takia alentuneen työtehon eli presenteismin aiheuttamien kulujen suuruusluokkaa voidaan arvioida Jyväskylässä tehdyn tutkimuksen perusteella. Seurin (2016) laskelmien perusteella Jyväskylässä sisäilmaongelmat aiheuttivat kouluissa 240 000 € ja päiväkodeissa 200 000 € kulut vuodessa sairauspoissaolojen takia. Presenteismin aiheuttamat kulut olivat kouluissa 345 000€ ja päiväkodeissa 188 000€ vuodessa. Työpäivän hinnaksi oli tutkimuksessa määritelty 250€.



Kuva 6: Hyvästä sisäilmastosta saatavat hyödyt kiinteistönomistajalle sekä kiinteistön käyttäjille (Seppänen 2004).

Paremmasta sisäilmastosta hyötyvät kaikki, sekä kiinteistön omistaja, että käyttäjät. Kuvan 6 mukaisesti kiinteistönomistajat hyötyvät hyvistä sisäilmasto-olosuhteista korkeampien vuokratuottojen, vuokralaisten pysyvyyden ja rakennuksen korkeamman arvon kautta. Rakennuksen vuokralaiset taas hyötyvät paremman työtehon ja viihtyvyyden ja vähentyneiden sairauspoissaolojen kautta hyvästä sisäilmastosta. (Seppänen 2004).

2.5 Energiätehokkuus ja hyvä sisäilmasto

Rakennuksen energiätehokkuutta järkevin keinoin parantamalla parannetaan yleensä myös rakennuksen sisäilmastoa (Djuric & Novakovic 2009). Rakennuksen eri järjestelmillä ja osilla on monilla vaikutus sekä energiätehokkuuteen, että sisäilmastoon, kuten taulukossa 5 esitetään. Siksi rakennuksen sisäilmastoa ei saa unohtaa energiasäästöjä suunnitellessa ja päinvastoin.

Taulukko 5: Sisäilmaston, energiatehokkuuden sekä rakennuksen eri osien ja järjestelmien yhteys (Pietiläinen et al. 2007).

Sisäolosuhteet ja energiatehokkuus						
Rakennuksen järjestelmät	Lämpöolosuhteet	Sisäilman laatu	Valaistusolosuhteet	Ääniolosuhteet	Käyttövesi	
Rakennus ja tilat: laajuus ja ratkaisut	SE	SE	SE	S		
Vaippa	SE	SE	SE	S		
Ilmastointi ja jäähdytys	SE	SE		S		
Lämmitysjärjestelmä	SE	S			E	
Vesi- ja viemärijärjestelmät	E	S		S	SE	
Sähkönjakelujärjestelmä			SE			
Valaistusjärjestelmä	SE		SE			
Automaatiojärjestelmä	SE	S	SE		SE	
S, S = vaikutus sisäolosuhteisiin (punainen vahva) E, E = vaikutus energiatehokkuuteen (punainen vahva)						

Energiatehokkaissa rakennuksissa on lähtökohtaisesti hyvät mahdollisuudet saavuttaa laadukkaat sisäilmasto-olosuhteet. Energiatehokkaan rakennuksen tiiviillä vaipalla on useita rakennuksen sisäilmastoa parantavia vaikutuksia. Rakennuksen sisäpinnat eivät jäähdy epätiivelyskohdista tulevan ilmapvirtauksen johdosta, jolloin vedontunne vähenee, mikrobien ja muiden haitallisten aineiden virtaus rakenteista sisäilmaan vähenee ja kosteuden virtaus vaipparakenteisiin vähenee (Vinha 2012). Toisaalta tiivis vaippa vaatii riittävän ja oikein säädetyn ilmanvaihdon. Talvella lämpöolosuhteita parantaa rakenteiden hyvä lämmöneristyskyky, mutta toisaalta kesällä paksut lämmöneristeet voivat aiheuttaa jäähdytyksen tarvetta (Vinha et al. 2013).

Energiansäästön nimissä voidaan myös heikentää sisäilmasto-olosuhteita. Monissa ruotsalaisissa ja tanskalaisissa koulussa todettiin luokkahuoneiden ilman hiilidioksidipitoisuuden olevan jatkuvasti korkea. Monessa näistä kohteista ilmanvaihdon määrää oli pienennetty energiansäästön nimissä niin pienelle, että ilmavaihtokertoimet kohteissa eivät täyttäneet enää edes paikallisten määräysten minimitasoa. Liian pienen ilmanvaihtomäärän takia ilman hiilidioksidipitoisuus luokissa nousi usein yli 1000 ppm:n. Todellisuudessa säästötoimet olivat hyvin lyhytnäköisiä, sillä korkea sisäilman hiilidioksidipitoisuus laski koululaisten oppimistuloksia (Wargocki & Wyon 2013). Vastaavasti Petersen et al. (2015) havaitsivat vähäisen ilmanvaihdon ja sitä kautta korkean hiilidioksidipitoisuuden heikentävän koululaisten oppimisen tehokkuutta, kun hiilidioksidipitoisuus kasvoi arvosta 900 ppm arvoon 1500 ppm.

Ihmisen aiheuttamien epäpuhtauksien poistoon tarvittava ilmanvaihtomäärä on Healthvent-tutkimuksen (Wargocki 2013) mukaan 4 l/s/henkilö. Todellisuudessa ilmanvaihto-

määrät ovat kuitenkin hieman suurempia, jotta muutkin ilman epäpuhtaudet, kuten rakennusmateriaalien päästöt, saadaan poistettua. Emmerich & Persily (2001) mukaan ihmisperäisten hajujen poistoon vaadittu ilmamäärä on 7 l/s/henkilö. Kouluissa tehdyt tutkimukset (Bakó-Biró et al. 2011) tukevat 8 l/s/henkilö ulkoilmavirtoja, jotta koululaisten oppimistulokset eivät kärsisi liian korkeiden hiilidioksidipitoisuuksien takia. Chatzidiakou et al. (2012) toteavat laajassa kirjallisuustutkimuksessaan, että kouluissa ilmanvaihdon tulee olla vähintään 8 l/s/henkilö ja hiilidioksidipitoisuuden olla alle 1000 ppm, jotta voidaan varmistua, että lapset pysyvät kouluissa terveempinä ja oppivat tehokkaammin. Seppänen (1999) toteaa tutkimuksessaan, että ilmavirtojen ollessa toimistorakennuksissa yli 10 l/s/henkilö, parantuu rakennusten käyttäjien hyvinvointi merkittävästi. Maula et al. (2013) saivat edellisiin tutkimuksiin nähden ristiriitaisia tuloksia, kun he tutkivat ilmanvaihdon vaikutusta työsuoritukseen ja viihtyvyyteen toimisto-oloissa. Tutkimuksessa koehenkilöt tekivät töitä tilassa, jossa on ilmanvaihto 2 l/s/henkilö (CO₂ 2200 ppm) ja tilassa, jossa ilmanvaihto on 28 l/s/henkilö (CO₂ 600 ppm). Toisin kuin muissa tutkimuksissa Maula et al. eivät havainneet eroja työssä suoritumisessa eri koetilanteissa. Suurin ero oli koehenkilöiden kokema huoneen tunkkaisuus huoneeseen tullessa, joka havaittiin pienellä ilmanvaihdolla, mutta tunne hävisi pian huoneessa oleilun jälkeen. Toisaalta Maulan et al. tutkimuksessa käyttäjät arvioivat itse suoritustaan, kun muissa tutkimuksissa suoritustasoa on mitattu kirjallisilla kokeilla.

Eri maiden vaatimuksia koululuokkien ilmanvaihdon käytönaikaiseksi määräksi on kerätty taulukkoon 6. Vaatimuksissa ei ole merkittäviä eroja eri maiden välillä. Vaatimusten ilmamäärät ovat myös melko hyvin linjassa edellä mainittujen tutkimustulosten kanssa.

Taulukko 6: Määräykset eri maissa koulujen luokkahuoneiden käytönaikaisesta minimi-ilmanvaihdosta

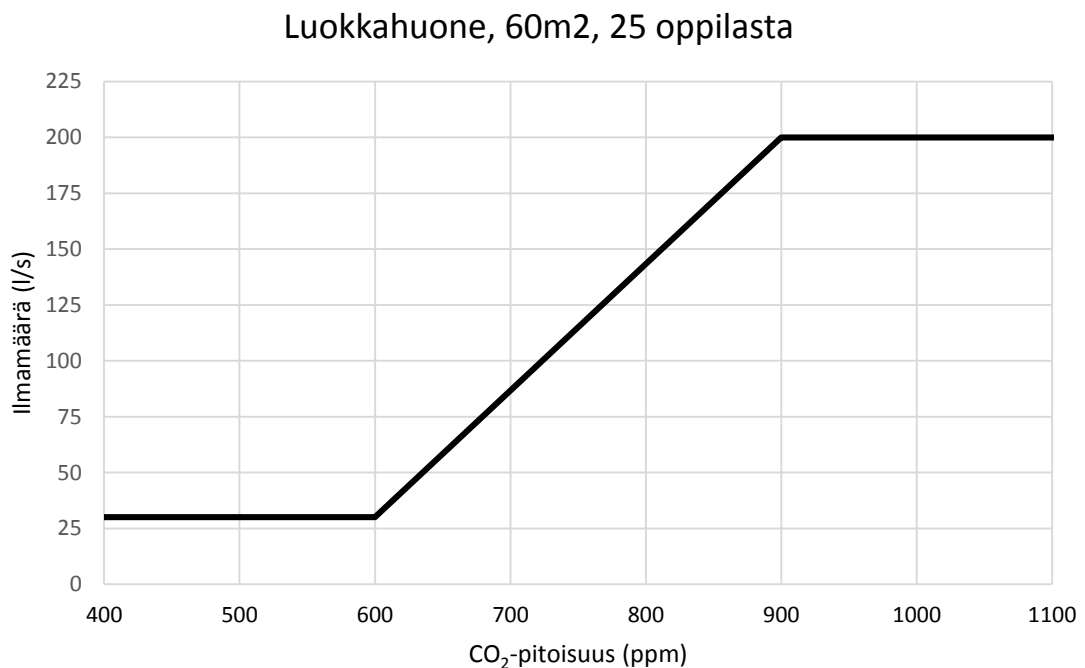
Koulujen opetustilat			
Lait, määräykset, suunniteluohjeet	Ilmamäärä (l/s/henkilö)	Ilmamäärä (l/s/m²)	HUOM
Suomi, Rakentamismääräyskoelma, D2	6 (6)	3 (koko rakennus min. 0,35)	Suluissa uuden D2 luonnoksen arvot. Maksimi CO ₂ -pitoisuus 1200 ppm (ulkoilman pitoisuus + 925 ppm)
Ruotsi, FoHMFS 2014:18	7	0,35	Mitoitus: henkilöt + pinta-ala
Norja, Direktoratet for byggkvalitet	7,2	0,7	
Tanska, The Danish Building Regulations	5	0,35	Mitoitus: henkilöt + pinta-ala, maksimi CO ₂ -pitoisuus 1000 ppm
Iso-Britannia, Building Bulletin 101	8		Maksimi CO ₂ -pitoisuus 1500 ppm
Yhdysvallat, ASHRAE 2004	5	0,6	Mitoitus: henkilöt + pinta-ala
Eurooppalainen standardi, SFS-EN 15251	7	0,35	Mitoitus: henkilöt + pinta-ala

Ilmanvaihto on yksi eniten energiaa kuluttavista järjestelmistä rakennuksissa, sillä rakennukseen sisään tulevaa ilmaa joudutaan Suomen oloissa lämmöntalteenottolaitteista huolimatta suurimman osan aikaa vuodesta lämmittämään. Ihmisperäisten epäpuhtauksien poistamiseksi rakennuksesta ainoa keino on ilmanvaihto. Hiilidioksiditaso on siis pidettävä rakennuksessa riittävän matalalla (alle 1000 ppm), mutta toisaalta ilmaa ei pidä vaihtaa liikaa, sillä se tuhlaa energiaa. Koska ilmanvaihdon ilmamäärien täytyy ihmisten hyvinvoinnin takia olla suuria, energiatehokkuuden kannalta on olennaista säätää ilmavirtoja tilojen käytön mukaan. Tyhjästä tiloista on turha vaihtaa suuria määriä ilmaa.

Ratkaisuna edellä kuvattuun ongelmaan on tarpeenmukainen ilmanvaihto, jota ohjataan ilman hiilidioksidipitoisuuden mukaan. Erityisesti tiloissa, joissa tilojen käyttö ja käyttäjämäärät ovat vaihtelevia, hiilidioksidipitoisuuden perusteella ohjattu ilmanvaihto on hyvä ratkaisu (Emmerich & Persily 2011). Emmerichin ja Persilyn mukaan on melko paljon tapauksia, joissa hiilidioksidiohjaus on säädetty väärin. Tiloissa hiilidioksiditaso ei suurellakaan käyttäjämäärällä nouse niin korkealle, että ilmanvaihto tehostuisi sen perusteella. Tällöin huoneen minimi-ilmanvaihtomäärä on asetettu liian suureksi, koska se riittää palvelemaan käytönaikaistakin tilannetta.

Yleinen tapa ilmanvaihdon tarpeenmukaiseen säätöön on ilmamääräsäätöinen järjestelmä eli IMS-järjestelmä, jossa ilmamäärää säädetään huonetiloissa portaattottomasti hiilidioksidipitoisuuden tai lämpötilan perusteella. Toinen yleinen tapa on varustaa tilojen ilmanvaihtokanavat on/off-tehostuspelleillä, jotka avautuvat hiilidioksidipitoisuuden tai lämpötilan perusteella, jolloin ilmamäärä kasvaa suurempaan arvoon. Laajemman säätöalueen ansiosta IMS-järjestelmä on energiatehokkaampi ratkaisu kuin on-off-tehostus (Jokinen et al. 2014).

Kuvassa 7 on esitetty periaate ilmavirran säätämisestä IMS-järjestelmässä tilan hiilidioksidipitoisuuden perusteella. Kun tila on tyhjä, vaihdetaan vain se määrä ilmaa kuin rakenteet vaativat ja tilan olessa käytössä ilmamäärät kasvavat tasolle, jota tilan käyttö vaatii. Esimerkissä on 60m²:n -kokoinen, 25 oppilaan luokkahuone, jossa vaihdetaan tyhjänä ilmaa 0,5 l/s/m² ja hiilidioksiditason noustessa yli 600 ppm:n ilmanvaihto tehostuu lineaarisesti niin, että hiilidioksidipitoisuuden ollessa yli 900 ppm ilmaa vaihtuu 8 l/s/henkilö.



Kuva 7: Esimerkki tarpeenmukaisen ilmanvaihdon säätöperiaatteesta. Luokkahuoneen ollessa tyhjä ilmaa vaihtuu 0,5 l/s/m². Hiilidioksiditason ylittäessä 900ppm saavutetaan maksimi-ilmamäärä eli 8 l/s/henkilö. Välillä 600 – 900 ppm ilmamäärä kasvaa lineaarisesti.

Hiilidioksidiohjauksella voidaan tutkimusten mukaan saavuttaa merkittäviä energiansäästöjä. Wachenfeldt et al. (2006) vertasivat kahta norjalaista hiilidioksidiohjauksella muuttuvilmavirtaisella järjestelmällä varustettua koulua vakioilmavirtaisilla järjestelmillä varustettuihin kouluihin. Päivittäinen lämmitysenergiankulutus oli hiilidioksi-

diohjatulla järjestelmällä olevissa kouluissa 21 % alhaisempi kuin verrokkiryhmässä. Puhaltimeiden sähkönkulutus oli 87 % pienempää kuin verrokkiryhmässä. Månsson (1993) havaitsi läsnäolosensorein ohjatulla ilmanvaihdolla saavutettavan 50 prosentin energiansäästöt ruotsalaisissa kouluissa. Mysen et al. (2005) vertasivat energiankulutuksia eri ilmanvaihdon säätötavoilla norjalaisissa kouluissa. Tutkimuksessa saatiin tarpeenmukaisen ilmanvaihdon avulla laskennalliseksi energiansäästöksi 12h käyntiajalla 35–45 prosenttia.

Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla voidaan siis saavuttaa merkittäviä energiasäästöjä huonontamatta rakennuksen ilmanlaatua. Suuri osa uusista rakennuksista onkin nykyisin varustettu hiilidioksidiohjauksella. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon kanssa tulee kuitenkin varmistua, että ilmamäärät, erityisesti ei-läsnäolo-tilanteissa, on säädetty oikein tai muuten järjestelmän koko energiansäästöpotentiaalia ei saavuteta.

3. RAKENNUKSEN KÄYTTÖ- JA HUOLTO-OHJE

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa A4 (Ympäristöministeriö 2000) rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeella tarkoitetaan kiinteistönpitoa tukevaa asiakirjakokonaisuutta, johon on koottu kiinteistönhoidon, huollon ja kunnossapidon lähtötiedot, tavoitteet, tehtävät sekä tilojen käyttäjille ohjeet rakennuksen käytöstä. Lisäksi siihen on koottu tiedot rakennusosien kunnossapitotiedoista sekä erilaisten tarkastusten ja huoltojen ohjelmat. Maankäyttö- ja rakennusasetuksen 117 i § mukaan: ”*Rakennushankkeeseen ryhtyvää vastaa siitä, että sellaiselle rakennukselle, jota käytetään pysyvään asumiseen tai työskentelyyn tai rakennusta varten tarvittavan rakennuspaikan tai tontin tekniseen hoitoon tai kunnossapitoon, laaditaan käyttö- ja huolto-ohje. Käyttö- ja huolto-ohje on laadittava myös rakennuksen korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä silloin, kun toimenpide edellyttää rakennuslupaa.*” (Maankäyttö- ja rakennuslaki 2015). Käyttö- ja huolto-ohjeen sisällön asianmukaisuus tarkistetaan rakennuksen loppukatselmuksen yhteydessä (Ympäristöministeriö 2000). Usein käyttö- ja huolto-ohjeesta puhutaan huoltokirjana (Hekkanen & Heljo 2006).

3.1 Käyttö- ja huolto-ohjeiden nykytila

Hekkanen & Heljo tutkivat vuonna 2006 rakennusten käyttö- ja huolto-ohjeiden kelpoisuutta ja kehittämistarpeita. Tutkimuksessa todettiin huoltokirjojen olevan suureksi osaksi tietosisällöltään annettujen ohjeiden ja säädösten mukaisia. Todennäköisesti tilanne ei ole ainakaan huonontunut, ja lisäksi nykyisin on käytössä lähes aina sähköiset huoltokirjat, jotka helpottavat tiedonhallintaa. Suurimmat ongelmat todettiin huoltokirjan laadinnassa, sillä usein laadinta aloitettiin vasta hankkeen loppuvaiheessa, sen sijaan että laadinta olisi aloitettu jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Talotekniikan ohjeellisia toiminta-arvoja sekä paikantamispäätöksiä löytyi tutkituista käyttö- ja huolto-ohjeista niukasti. (Hekkanen & Heljo 2006.)

Hekkanen & Heljo (2006) totesivat tutkimuksessaan käyttäjille suunnatut käyttöohjeet puutteellisiksi. Eri järjestelmien käyttämisestä ei ollut ohjeita. Yksinkertaisten käyttöohjeiden tarve on vuosien saatossa vain lisääntynyt, sillä talotekniikan määrä on lisääntynyt ja esimerkiksi jäähdytysjärjestelmät ovat entistä yleisempiä.

Frank et al. (2015) tutkivat käyttö- ja huolto-ohjeiden laadintaa ja huoltokirjan merkitystä uusissa vähän hiilidioksidipäästöjä tuottavissa rakennuksissa. Tutkimuksessa todettiin Hekkanen & Heljon tapaan, että käyttö- ja huolto-ohjeiden laadinta tulee aloittaa jo suunnittelun aikana. Tutkimuksen mukaan huoltokirjat tähtäsivät liian usein vain viranomaismääräysten täyttämiseen, eivätkä ne antaneet apua todelliseen käyttöön ja huoltoon. Oh-

jeet olivat usein myös liian vaikeita tavallisten käyttäjien ymmärrettäväksi ja niiden esitysmuoto oli vaikeaselkoinen. Tutkijat ehdottivatkin käyttö- ja huolto-ohjeiden selkeää erottamista toisistaan, jotta rakennusten käyttäjät hyötyisivät käyttöohjeista enemmän. Käyttöohjeet olisivat käyttäjiä varten ja huolto-ohjeet kiinteistönhuoltoa varten.

Valitettavasti uutta tutkimustietoa käyttö- ja huolto-ohjeiden laadusta erityisesti Suomen osalta on melko vähän saatavilla, joten täysin tarkkaa kuvaa nykytilanteesta ei saa. Suppean kuvan nykytilanteesta saa Helsingin kaupungin kiinteistöpäällikkö Sari Hildénin käyttöönottovaihe laadun kompastuskivenä -työpajassa (2016) pitämästä puheenvuorosta, jossa hän moitti nykyisiä huoltokirjoja tietosisällöltään puutteellisiksi. Esimerkiksi ilmanvaihdon ohjauksista ei ole yleensä riittävästi tietoa. Erityisesti ongelmia tulee, kun huoltohenkilöstö vaihtuu, jolloin uusi huoltomies ei saa huolto-ohjeen avulla tarpeeksi tietoa rakennuksesta ja sen järjestelmien toiminnasta. Lisäksi Hildénin mukaan rakennusten käyttäjille suunnattuja käyttöohjeita ei ole eikä käyttökoulutuksia järjestetä.

Ongelmia huoltokirjoissa siis on. Niitä voitaisiin kuitenkin parantaa melko yksinkertaisinkin toimenpitein

- asetetaan tarkat vaatimukset käyttö- ja huolto-ohjeiden laadinnalle jo suunnittelu- ja urakkasopimuksia laatiessa
- aloitetaan huoltokirjan laadinta jo suunnittelun aikana
- erotetaan käyttäjille suunnatut käyttöohjeet ja kiinteistöhoitoon tarkoitettu huolto-ohje selkeästi toisistaan
- varmistetaan, että tietosisältö huoltokirjassa on riittävä, erityisesti huolehdittava
 - riittävät tiedot talotekniikan toiminta-arvoista ja ohjauksista
 - paikantamispöytäkirjat löytyvät
- huoltokirja ei ole kopioitu suoraan toisesta rakennuksesta, vaan se on tehty juuri sitä rakennusta ja sen järjestelmiä varten. (Hekkanen & Heljo 2006; Frank et al. 2015; Building Commissioning Association 2016.)

Hyvä periaate huoltokirjan laadintaan on pitää mielessä, että sen avulla rakennusta tuntemattoman kiinteistöhoitajan tulee saada riittävän kattavat tiedot rakennuksesta ja sen järjestelmien toiminnasta, jotta hän voi tehdä huoltotöitä ja taloteknisten järjestelmien säätötöitä rakennuksessa.

3.2 Rakennuksen käyttöohjeet ja käyttökoulutus

Jotta rakennusta voidaan käyttää alusta asti oikein, tarvitaan sen käyttöön koulutusta. Käyttökoulutusta tulee antaa rakennuksen kiinteistöhoitajista vastaavien henkilöiden lisäksi rakennuksen käyttäjille. Energiatehokkaiden rakennusten kohdalla riittävä käyttökoulutus on entistäkin tärkeämmässä roolissa rakennuksen toimivuuden varmistamisessa (Hauge et al. 2011).

3.2.1 Ohjeet ja koulutus huoltohenkilöstölle

Rakennuksen huoltohenkilöstö saa suurimman osan tarvitsemastaan tiedosta rakennuksen huoltokirjasta ja sitä on tärkeää hyödyntää kiinteistönhoidon koulutuksessa. Huoltokirjan tulee olla hyvin laadittu, jotta sitä voidaan todella hyödyntää.

Kiinteistöhoitohenkilöstön koulutus tulisi suunnitella hyvissä ajoin hankkeessa ja aloittaa se jo ennen kuin rakennus on valmis (Way et al. 2014). Ongelmana koulutuksessa onkin usein, että koulutusjakso on liian lyhyt, sillä se aloitetaan vasta rakennuksen käyttöönottovaihteessa. Koulutus on usein myös pintapuolista, eikä koulutettavien osaamisen lähtötasoa oteta huomioon. (Pietiläinen et al. 2007.)

Joskus ongelmana koulutuksen aloittamisessa voi kuitenkin olla, että kiinteistöhoito kilpailutetaan ja hankitaan vasta vähän ennen rakennuksen käyttöönottoa, jolloin koulutusta ei voida järjestää riittävän ajoissa. Usein kunnilla on kuitenkin oma kiinteistöorganisaatio, jolloin ongelmaa ei ole.

3.2.2 Ohjeet ja koulutus käyttäjille

Käyttäjille suunnatuille lyhyille ja helposti ymmärrettäville käyttöohjeille on suuri tarve. Karjalainen (2009) toteaa talotekniikan käytettävyyttä ja sen kehittämistä tutkineessa raportissaan, että keskimäärin eri rakennusten käyttäjien tietämys talotekniikasta on erittäin vähäistä. Karjalainen & Koistinen (2006) tutkivat käyttäjien osaamista lämmönsäätämiseen toimistohuoneissaan. Tutkimuksessa selvisi, että harva osasi säätää huoneensa lämpötilaa. Aina lämmönsäätimen käyttöä ei ymmärretty tai sitä ei löydetty ja jossain tapauksissa luultiin, että siihen voi koskea vain huoltohenkilöstö. Myös järjestelmien olemassa olosta ei aina ollut tietoa. Jossakin tapauksissa käyttäjät ilmoittivat kuumaa tuntiessaan avaavansa ikkunan jäähdyttääkseen toimistoaan, vaikka rakennuksessa oli jäähdytysjärjestelmä. Tutkimuksissa todettiin ratkaisuksi ongelmiin parempaa käyttäjäkoulutusta sekä laitteiden käytettävyyden parantamista.

NCC Rakennus Oy järjestää omissa asuntokohteissaan taloon muuttaville ihmisille niin kutsuttua asumisen koulua. Asumisen koulussa pidetään muutama kuukausi muuton jälkeen yhden illan kestävä tilaisuus, jossa kerrotaan perusasioita viihtyisään sisäilmastoon liittyvistä asioista sekä opetetaan taloteknisten järjestelmien käyttöä. Asumisen koulua on järjestetty yli kymmenen vuoden ajan ja palaute tilaisuuksista on ollut positiivista (Tekniikka & Talous 2005; NCC 2016).

Käyttöohjeiden ja käyttökoulutuksen tarpeellisuutta tukevat myös Yu et al. (2011) tutkimustulokset. Yu et al. tutkivat energiatehokkaan rakennuksen käytön opettamisen vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen. Tutkimuksessa jaettiin 124 asuntoa kahteen ryhmään, joista puolelle asuntojen asukkaista koulutettiin energiatehokasta asumista. Rakennuksissa, joiden asukkaille oli koulutettu energiatehokkuutta, mitattiin keskimäärin 10 %

pienempi energiankulutus. Käyttökoulutuksen saaneet ihmiset ovat myös keskimäärin tyytyväisempiä sisäympäristöönsä kuin henkilöt, jotka eivät ole saaneet käyttökoulutusta (Day & Gunderson 2015). Palvelurakennuksissa motivoiminen energiansäästöön voi tosin olla vaikeampaa kuin asuinrakennuksissa, sillä palvelurakennuksissa käyttäjät eivät normaalisti itse joudu maksamaan energiakuluja.

Tutkimukset tarjoavat melko niukasti tietoa millaisia käyttäjille suunnattujen koulutusten tulisi olla ja missä muodossa asiat tulisi esittää (Carmona-Andreu et al. 2013). Carmona-Andreu et al. esittävät kuitenkin omassa tutkimuksessaan joitakin seikkoja, jotka tulee käyttäjien koulutuksessa ja käyttöohjeissa huomioida. Ohjeiden tulee olla selkeitä ja tarkoitettu käytettäväksi juuri siinä rakennuksessa. Ohjeet eivät saa olla vain valmistajien yleisohjeita. Käyttäjille pitää tehdä selväksi mitä ominaisuuksia rakennuksessa on ja opettaa niiden tehokas käyttö. Lisäksi lyhyet videot ja havainnollistavat kuvat auttavat käytön oppimisessa. Pietiläinen et al. (2007) toteavat internetin kautta tapahtuvan käyttöohjeiden jakelun hyväksi keinoksi, jolloin esimerkiksi juuri ohjevideoiden jakaminen olisi mahdollista. Hallinnan tunteen luominen käyttäjille omaan sisäympäristöönsä on havaittu hyväksi keinoksi sisäilmaongelmista koettujen haittojen estämiseksi ja vähentämiseksi (Holmström et al. 2016). Varmistamalla, että käyttäjät tuntevat rakennuksen ominaisuudet ja järjestelmien käytön, voidaan hallinnan tunnetta lisätä.

4. RAKENNUKSEN TOIMIVUUSTARKASTELU JA TOIMIVUUDEN VARMISTAMINEN

Rakennuksen toimivuustarkastelu on vuosikymmeniä sitten kehitetty käytäntö ja sitä pidetään edelleen erittäin hyvänä keinona varmistua, että rakennus täyttää sille asetetut tavoitteet (Meir et al. 2009; Tookaloo & Smith 2015). Toimivuustarkastelun muita hyviä puolia ovat muun muassa mahdollisuus huoltotoiminnan ja käyttäjien hyvinvoinnin parantamiseen sekä energiankäytön vähentämiseen (Zimmerman & Martin 2001).

Ongelmana toimivuustarkasteluissa on, että vaikka moni tuntee toimivuustarkastelun terminä, tarkasteluita ei silti tehdä tai osata tehdä. Hankaluutena toimivuustarkasteluissa on myös, että jotkin hankeosapuolet saattavat pelätä toimivuustarkasteluiden paljastavan heidän epäonnistumisensa hankkeessa. (Zimmerman & Martin 2001.)

Zimmerman & Martin (2001) sekä Meir et al. (2009) korostavat myös tilaratkaisujen ja rakennuksen käytettävyyden arviointia osana toimivuustarkastelua. Esimerkkinä mainitaan, että arvioimalla koulujen tilojen toimivuutta ja julkaisemalla siitä tietoa, voidaan kehittää suunnittelua ja hyödyntää toimivuustarkastelusta saatua tietoa tulevissa hankkeissa. Näin vältetään tekemästä samoja virheitä uudelleen. Myös Whyte & Gann (2001) korostavat toimivuustarkasteluista tehdyistä havainnoista oppimista ja niiden hyödyntämistä seuraavissa hankkeissa.

Ruotsissa toimivuuden varmistus ilmanvaihdon osalta on ollut pakollista vuodesta 1991 lähtien. Tarkastuksen tekee sertifioitu tarkastaja, joka toimittaa tarkastelun tulokset kiinteistönomistajan lisäksi rakennusviranomaisille. Tarkastelussa tutkitaan, että ilmanvaihtojärjestelmä on määräysten mukainen, järjestelmän käyttö- ja huolto-ohjeet on tehty ja helposti saatavilla sekä ilmanvaihto toimii suunnitellusti. Lisäksi tutkitaan voiko järjestelmään tehdä energiaa säästäviä säätötoimenpiteitä. Tarkastus tulee tehdä kolmen vuoden välein, lukuun ottamatta asuinkerrostaloja, joille tarkastus on tehtävä kuuden vuoden välein. Omakotitaloille tarkastus tehdään vain rakennuksen käyttöönoton yhteydessä. (Boverket 2014.)

Erilaisia toimintamalleja rakennuksen toimivuuden varmistukseen on olemassa useita. Eri toimintamallit käsittävät takuuajan lisäksi yleensä myös muut hankeprosessin vaiheet. Tässä tutkimuksessa käsitellään Tampereella kehitettyä Tapre-mallia, VTT:n kehittämää ToVa-mallia, yhdysvaltalaisista Building Commissioning (toimivuuden varmistus) -mallia sekä englantilaista Soft Landing -mallia.

4.1 Käyttjähaastattelut osana toimivuustarkastelua

Tutkimuksessaan Meir et al. (2009) pitävät toimivuustarkastelua erityisesti keinona rakennusten käyttäjien tyytyväisyyden varmistamiseksi. Tutkimuksessa korostetaan haastattelujen merkitystä tarkastelun osana, sillä niillä voidaan saada Meir et al. mukaan selville jopa 80 prosenttia tarvittavista tiedoista liittyen rakennuksen toimivuuteen. Eri sisäympäristön ominaisuuksia, kuten ilman hiilidioksidipitoisuutta tai lämpötilaa, on hyvä mitata, mutta koska ihmisten ympäristön aistiminen on varsin yksilöllistä, pelkät numeroarvot eivät välttämättä anna täysin tarkkaa kuvaa rakennuksen käyttäjien tyytyväisyydestä.

Zlagreus et al. (2004) tutkivat käyttjähaastatteluiden hyötyjä sekä web-pohjaisten kyselyiden toimivuutta käyttäjätyytyväisyyden mittaamiseen ja rakennuksen ongelmakohtien löytämiseen. Tutkimuksen case-kohteissa todettiin käyttäjäkyselyillä saatavan tietoa, jonka perusteella voitiin parantaa rakennuksen sisäympäristön laatua nopeasti. Standardikysymyksiä avulla voidaan vertailla rakennuksia keskenään, sekä esimerkiksi rakennuksen korjaamisen yhteydessä voidaan arvioida korjaustyön onnistumista vertaamalla kyselytuloksia ennen ja jälkeen korjaustöiden. Myös Kosonen et al. (2011) korostavat käyttäjäkyselyjen hyötyjä rakennuksen hyvän sisäilmaston varmistamisessa, sillä kyselyiden avulla voidaan löytää ongelmat helposti ja halvalla. Käyttäjäkyselyitä tehdessä täytyy huomioida, että vastaajien normaali oleskelualue rakennuksessa täytyy selvittää, jotta mahdolliset ongelmat vain jossain osissa rakennusta voidaan löytää. Joissakin tapauksissa on nimittäin havaittu, että keskimäärin käyttäjät voivat olla varsin tyytyväisiä sisäympäristöönsä, vaikka rakennuksen jossakin osissa ollaan hyvin tyytymättömiä (Takki & Virta 2007).

Dykes & Baird (2014) tutkivat hyviä tapoja käyttäjäkyselyiden tulosten analysointiin ja rakennusten benchmarkaukseen. Käyttäjäkyselyissä kysyttiin tyytyväisyyttä eri sisäilmaston osa-alueista. Kyselyssä käytettiin 7-portaista arvosteluasteikkoa, jossa 1 tarkoitti erittäin tyytymätöntä ja 7 erittäin tyytyväistä. Arvo 4 tarkoitti neutraalia vastausta. Tulosten käsittely tutkimuksessa jaettiin absoluuttisiin ja suhteellisiin arviointeihin. Tuloksina käyttäjäkyselyistä voitiin luoda erilaisia mittareita käyttäjien tyytyväisyydestä eri sisäilmaston osa-alueisiin. Mittareina olivat eri osa-alueiden keskiarvot ja eri osa-alueisiin tyytyväisten osuus vastaajista. Kolmantena menetelmänä oli jakaa asteikko neljään tai viiteen osaan ja antaa pisteitä sen mukaan, mille välille osa-alueen keskiarvo osuu. Saatuja pisteitä voidaan verrata maksimipisteisiin, jotka rakennus voi saada. Mikäli käytössä on suurempi tietokanta eri rakennusten tuloksista, voidaan rakennuksen käyttäjäkyselyn tuloksia verrata muuhun rakennuskantaan niin, että lasketetaan esimerkiksi, kuinka monta prosenttia rakennuksista on huonompaa tasoa kuin tutkittava rakennus.

Käyttäjäkyselyiden asteikoissa kannattaa neutraalivastaus tulkita, että käyttäjä on tyytyväinen (Aronoff & Kaplan 1995). Yleensä ihminen keskittyy varsinaiseen tekemiseensä

eikä kiinnitä huomiota sisäympäristöönsä ennen kuin olosuhteet haittaavat varsinaista toimintaa. Näin toimiessa täytyy tyytyväisten osuutta laskiessa ja tuloksia tulkitessa huomata, että tyytyväisen tuloksen antamia vastausvaihtoehtoja on enemmän kuin ei-tyytyväisen (Dykes & Baird 2014). ASHRAE:n (2003) (American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers) standardin mukaan tavanomaisissa rakennuksissa 80 prosentin tyytyväisyystaso on hyvä. Sisäilmaluokituksen S1-luokan pitäisi tarkoittaa 90 prosentin tyytyväisten osuutta.

Osana tutkimusta kehitettiin sisäilmaston ja rakennuksen yleisen toimivuuden selvittämiseen soveltuva kysymyssarja. Erääseen koulurakennukseen räätälöity kysely on esitetty tutkimuksen liitteessä 1.

4.2 Tapre:n mukainen toimivuustarkastelu

Rakennuksen toimivuustarkastukselle on laadittu yleiset ohjeet Tapre-hankkeen (Tampereen alueen palvelurakennukset energiatehokkaiksi) yhteydessä. Ohjeet (Tampereen tilakeskus 2014) keskittyvät pääasiassa talotekniikan toimivuuden varmistamiseen, mutta tarkastelun yhteydessä voidaan tarkastaa myös rakennuksen vaippa ja muita osia.

Toimivuustarkastelun ohjeen mukaan toimivuustarkastelun tärkein tavoite on varmistaa rakennuksen energiatehokas käyttö, hyvät sisäympäristöolosuhteet sekä asianmukainen käyttö ja huolto. Tarkasteltavat asiat pitää huomioida kokonaisuutena, sillä ne vaikuttavat kaikki toisiinsa. Tarkoituksena on myös saada rakennus vastaamaan käyttäjien tarpeita mahdollisimman hyvin ainakin niiltä osin, joihin voidaan vielä rakennuksen käytönaikana vaikuttaa.

Toimivuustarkastelu voidaan tehdä rakennukselle, kun sen käyttö on vakiintunut. Yleensä sopiva aika on vuosi rakennuksen käyttöönoton jälkeen, jolloin esimerkiksi materiaali-päästöt ovat vähentyneet ja ilmanvaihdon käyntiajat on lyhennetty normaalille tasolle. Ohjeiden mukaan tarkasteluprosessi tulee aikatauluttaa hyvissä ajoin, sillä tarkastelussa on rakennuksen omistajan lisäksi mukana suunnittelijat, urakoitsijat sekä käyttö- ja huoltohenkilöstö. Hyvä toimivuustarkastelu vaatii useampia käyntikertoja tarkasteltavassa kohteessa, sillä esimerkiksi jäähdytyksen toiminta täytyy tarkastaa kesällä ja lämmityksen talvella.

Tapre:n mukaiseen toimivuustarkasteluun sisältyy

- energiatehokkuustarkastelu
 - suunnittelun lähtötietojen toteutuminen
 - talotekniikan toiminnan seuranta
 - laskennallisen energiankulutuksen vertailu toteutuneeseen
- sisäympäristön laadun tarkastelu
 - lämpötilaolosuhteet

- ilmanlaatu
- valaistusolosuhteet
- ääniolosuhteet
- käytettävyyden ja huollettavuuden tarkastelu
 - talotekniikan huollettavuus
 - talotekniikan käytettävyys
 - käyttö- ja huoltohenkilökunnan perehdytys
- lisäksi laajennettuun toimivuustarkasteluun kuuluu
 - tilaohjelman arviointi
 - piha-alueen toimivuuden arviointi
 - tarkistusmittaukset.

Kaikissa hankkeissa ei ole välttämätöntä tehdä kaikkia listattuja toimenpiteitä. Tilaajan harkinnan varaan jää, mitkä osa-alueet valitaan ja missä laajuudessa, jotta toimivuustarkastelulle asetetut tavoitteet täyttyvät (Tampereen tilakeskus 2014).

Tapre-ohjeen mukaan toimivuustarkastelua varten tulee valita vastuullinen toimivuustarkastelun vetäjä, joka huolehtii tarkastelun asianmukaisesta suorittamisesta sekä tilaajaan asettamien tavoitteiden täyttymisestä. Tarkastelun vetäjällä tulee olla hyvä tietämys talotekniikasta, energiatehokkuudesta ja sisäilmastoasioista. Periaatteessa vetäjä voi olla kuka vaan, mutta esimerkkeinä ohje mainitsee rakennuttajakonsultin ja pääsuunnittelijan. Myös täysin hankkeen ulkopuolisen konsultin käyttö on mahdollista.

Tarkastelun vetäjän ei tarvitse itse suorittaa kaikkia tarkastelutoimia vaan voi hyödyntää esimerkiksi kohteen suunnittelijoita ja ulkopuolisia asiantuntijoita tarkastelussa. Tarkastelunvetäjä kuitenkin koostaa käyttämiensä asiantuntijoiden raporteista toimivuustarkastelun yhteenvedon, joka luovutetaan kiinteistön tilaajalle lopetuspalaverin yhteydessä, jossa sen sisältö ja muutosehdotukset käydään läpi. Ohjeiden mukaan suunnittelijoiden ja muiden hankeosapuolien velvollisuuksista osallistua toimivuustarkasteluun tulisi sopia jo suunnittelu- ja urakkasopimuksia laatiessa, jotta heidän asiantuntemuksensa saadaan varmasti toimivuustarkasteluun mukaan.

Sisäilmaston osalta Tapre-ohje esittää tarkastustoimenpiteiksi lämpötila-, ääni-, ilmanlaatu- ja valaistusolosuhtemittauksia. Sisäilmaston toimivuus selvitetään kuitenkin ohjeen mukaan parhaiten käyttäjähaastatteluin. Ohje ei suosita kyselykaavakkeiden käyttöä, vaan ohjeistaa vuorovaikutteiseen keskusteluun rakennuksen käyttäjien kanssa.

Käytettävyyttä ja huollettavuutta toimivuudentarkasteluohje suosittaa arvioimaan haastatteleamalla kiinteistön käyttö- ja huoltohenkilökuntaa. Haastatteluissa käydään läpi muun muassa huoltorutiineja. Haastatteluiden perusteella henkilökunnalle voidaan antaa lisäkoulutusta asioihin, joiden tiedot havaittiin puutteelliseksi.

4.3 ToVa-käsikirja

ToVa-käsikirja (Pietiläinen et al. 2007) eli toimivuuden varmistamisen käsikirja on Suomessa kehitetty ohjeistus rakennuksen hyvän sisäilman ja energiatehokkuuden varmistamiseksi rakennushankkeissa. ToVa-toimintaa on tarkoitus tehdä koko rakennushankkeen ajan. ToVa:n pääperiaate on, että rakennukselle asetetaan toiminnalliset tavoitteet, niiden huomioiminen varmistetaan suunnittelun ja rakentamisen aikana ja lopulta niiden toteutuminen varmistetaan käytön aikana.

Tärkeimmät takuuvaiheen toimenpiteet käsikirjan mukaan ovat

- tarkastaa, että rakennuskohtaiset käyttöohjeet on laadittu ja että ne sisältävät kaikki käytön ja ylläpidon kannalta oleelliset tiedot
- varmistaa, että käyttöhenkilöstö on koulutettu ja hallitsee eri järjestelmien käytön
- todentaa rakennuksen ja järjestelmien toimivuus sekä niiden keskinäinen yhteensopivuus
- organisoida rakennuksen energiakulutuksen seuranta ja tulosten analysointi
- mitata sisäilmaston osa-alueiden toteutuneita arvoja ja verrata niitä tavoitteisiin.

ToVa-käsikirja ohjaa siis rakennuksen takuuajana pääosin samoihin toimivuuden varmistamisen toimenpiteisiin kuin esimerkiksi Tapre-ohje.

4.4 Building commissioning -toiminta

Building commissioning (suomeksi toimivuuden varmistaminen) on Yhdysvalloissa kehitetty menetelmä rakennusten toimivuuden varmistamiseen. Tietoa ja ohjeita aiheesta tarjoaa Building Commissioning Association (BCA). BCA:n mukaan toimivuuden varmistamisen päätarkoitus on tuottaa rakennuksen omistajalle dokumentoitu tieto, että rakennus ja sen järjestelmät toimivat kuten niiden on suunniteltu toimivan. (Building Commissioning Association 2016.)

Toimivuuden varmistaminen on koko hankeprosessin kestävää toimintaa. Pääajatus toiminnassa on samanlainen kuin suomalaisessa vastineessa eli ToVa-käsikirjassa. Aluksi asetetaan tavoitteet, jonka jälkeen varmistutaan eri hankkeen vaiheissa, että niihin päästään. Suomalaisiin ohjeisiin nähden eroa on, että käyttö- ja huolto-ohjeen laadinnan sekä käyttö- ja huoltokoulutuksen merkitystä korostetaan enemmän. Koulutuksen suunnitteluun ja toteutukseen tulee ohjeen mukaan käyttää reilusti aikaa. (Building Commissioning Association 2016.)

Building commissioning -ohjeen mukaan käyttöönottovaiheen ja takuuajan tärkeimmät tehtävät ovat

- pitää lokia havaituista virheistä ja puutteista alusta alkaen
- käyttö- ja huoltokoulutuksen loppuun saattaminen ja lisäkoulutustarpeen arviointi
- käyttäjien perehdyttäminen ja käyttökoulutus rakennuksen oikeaoppiseen käyttöön
- arvioidaan hankkeen onnistumista yhdessä kaikkien hankkeeseen osallistuneiden tahojen kanssa
- talotekniikan järjestelmien hienosäätö
- käyttäjien tyytyväisyyden mittaaminen käyttäjäkyselyin
- toimivuustarkastelu kiinteistöllä
- rakennuksen energiatehokkuuden arviointi.

Toimivuuden varmistamisesta vastaamaan ohje (Building Commissioning Association 2016) esittää erillisen asiaan erikoistuneen konsultin palkkaamista. Konsultti johtaa toimivuuden varmistamisen tiimiä, johon kuuluvat prosessin vetäjän lisäksi kaikkien hankkeosapuolten edustajat.

4.5 Soft Landing Framework

Soft landing framework on alun perin Mark Wayn ja Roderic Bunnin (2014) kehittämä työkalu rakennuksen toimivuuden varmistamiseksi ja sitä kautta rakennuksen tilaajan tavoitteiden täyttämiseksi. Ohjeistuksen päätarkoituksena on nimensä mukaisesti mahdollistaa pehmeä lasku rakennuksen vastaanotosta sen käyttöön.

Ohjepaketti sisältää tehtävälisan, josta selviää, mitä eri hankkeen vaiheissa tulee tehdä. Tehtävät keskittyvät rakennuksen vastaanotto- ja käyttöönottovaiheeseen, mutta tehtäviä on myös hankesuunnittelu- ja suunnitteluvaiheessa. Tärkeitä tehtäviä ennen luovutusta ovat muun muassa selkeän suunnitelman laatiminen rakennuksen toimintavalmiuteen saattamisesta, aloittaa huoltohenkilöstön koulutus, viimeistellä rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje ja opastaa sen käyttö sekä laatia käyttäjille suunnatut yksinkertaiset käyttö-ohjeet.

Ohjeen mukaan käyttäjien rakennukseen muutto tulisi suunnitella yhdessä suunnittelijoiden ja urakoitsijan kanssa. Vaihe ei vie juurikaan aikaa, mutta esimerkiksi urakoitsijan kommentteilla voidaan helpottaa muuttoa, sillä urakoitsijalla on rakennusajalta pitkä kokemus logistiikan hallinnasta ja tavaroiden siirrosta rakennuksessa.

Normaalisti suunnittelijat ja urakoitsijat poistuvat nopeasti rakennusprojektista, kun rakennuksen tilaaja on sen vastaanottanut. Soft Landing -ohjeen mukaan rakennukseen tulisi kuitenkin ainakin osa-aikaisesti jäädä suunnittelijoiden ja urakoitsijan edustajat. Edus-

tajat päivystävät rakennuksessa ja auttavat uusia käyttäjiä rakennuksen käytössä ja vastaavat heidän kysymyksiinsä. Lisäksi he pitävät käyttökoulutuksia ja jatkavat huoltohenkilöstön kanssa rakennuksen ylläpitotehtävien koulutusta. Tämä vaihe kestää noin 1-3 viikkoa rakennuksen koosta ja talotekniikan monimutkaisuudesta riippuen.

Takuuajan toimenpiteet ovat Soft Landing frameworkissa melko samanlaisia kuin Tappressa. Sisäilmasto-olosuhteita sekä energiakulutusta mitataan säännöllisesti ja tarvittaessa tehdään järjestelmiin hienosäätöjä. Rakennukseen tehdään myös toimivuustarkasteluja 1-2 kertaa rakennuksen toisen ja kolmannen käyttövuoden aikana. Käyttäjäkyselyillä kerätään tietoa rakennuksen toimivuudesta. Tietoa käyttäjiltä voidaan hyödyntää rakennuksen hienosäädössä, mutta tietoa toimivuudesta tulee jakaa myös suunnittelijoille, jotta he voivat oppia projektista ja hyödyntää saatua tietoa seuraavissa projekteissa.

Soft landingin käyttö lisää työmäärää erityisesti hankkeen luovutus- ja käyttöönottovaiheissa ja täten lisää kustannuksia. Pieni lisäinvestointi kuitenkin maksaa ohjeistuksen mukaan itsensä takaisin, kun rakennusta voidaan heti alusta lähtien käyttää tehokkaasti.

Soft Landing frameworkin käyttöä tutkittiin useassa englantilaisessa kouluhankkeessa (Buckley et al. 2010). Tutkimuksen mukaan paremmin suunniteltu rakennuksen käyttöönotto ja käytönopastus mahdollistivat, että rakennusten järjestelmät toimivat alusta asti oikein ja että niitä käytettiin oikein. Näin varmistettiin toimivat sisäilmasto-olosuhteet rakennuksen käytön alusta saakka.

4.6 Jatkuva sisäilmaston mittaaminen

Toimivuustarkasteluille ja muille sisäilmaston lyhytaikaisille mittauksille olisi seuraava luonnollinen askel entistä laajempi jatkuva mittaaminen. Nykyisin talotekniikkaan liittyy monia eri mittauksia, jotka kyllä nähdään taloautomaatiojärjestelmässä, mutta usein esimerkiksi käyttäjät eivät saa niistä mitään tietoa.

Tutkimusten mukaan suurimmat hyödyt jatkuvalla sisäilmaston mittaamisella saavutetaan energiansäästöissä (Sharim et al. 2014; Kumar et al. 2016). Säästöt syntyvät muun muassa, sillä että mittauksien avulla eri talotekniikan järjestelmien tarpeenmukaista toimintaa voidaan ohjata paremmin sekä käyttäjien tietoisuus energiankäytöstä paranee, kun he saavat mitattua tietoa omasta ja rakennuksen toiminnasta. Sisäilmaston laatutaso on helpompi pitää yllä, kun sen tasosta saadaan jatkuvaa tietoa (Sharim et al. 2014). Perinteisesti vain hiilidioksidia mitataan ilmanvaihdon tarpeenmukaiseksi säätämiseksi, mutta tekniikka mahdollistaa myös esimerkiksi säädön VOC-pitoisuuksien mukaan, jolloin voidaan optimoida uuden rakennuksen tuuletus materiaalipäästöistä.

Wargoockin & Da Silvan (2015) mukaan hiilidioksidipitoisuuden jatkuvalla mittauksella ja tiedon yksinkertaisella esittämisellä onnistuttiin parantamaan ilmanlaatua tanskalaisissa kouluissa. Hiilidioksidipitoisuuden noustessa liian korkeaksi voitiin luokassa avata

ikkuna sopivaksi ajaksi, jotta ilma vaihtuisi ja hiilidioksidipitoisuus laskisi. Mitattu ilmanlaatu oli mittareilla varustetuissa luokissa parempi kuin muissa luokissa, joissa ikkunoita avattiin vain silloin kun ilma alkoi tuntua tunkkaiselta. Ikkunan avaaminen lämmityskaudella lisäsi luonnollisesti energiankulutusta, mutta toisaalta ikkunoita avaamalla onnistuttiin vähentämään jäähdystarvetta kohteessa, jossa oli koneellinen jäähdytys.

Tutkimusten mukaan laajemman jatkuvan mittaamisen ongelmana kuitenkin on vielä mitalaitteiden melko korkea hinta. Toinen ongelma jatkuvassa mittauksessa on, että mittauksista saatavan suuren datamäärän käsittelyyn ja analysointiin ei vielä ole hyviä ja edullisia ratkaisuita. (Kumar et al. 2016.) Mikäli mittauksia tehdään jatkuvasti, tulee kiinteistönomistajan organisaatiossa olla vastuuhenkilö, joka seuraa ja ymmärtää mitattua tietoa. Mittauksista ei ole hyötyä, jos niistä saatua tietoa ei hyödynnetä.

4.7 Korjaushankkeiden erityispiirteet toimivuustarkastelun kannalta

Korjausrakentamiseen liittyvät omat erityispiirteensä uudisrakentamiseen nähden. Erityispiirre korjausrakentamisessa on esimerkiksi käyttäjien tiivis suhde hankkeeseen, sillä heille täytyy järjestää väliaikaistiloja ja rakentamista voidaan joutua vaiheistamaan käyttäjien toiminnan takia. Erityisen herkkä tilanne on käyttäjien kannalta hankkeissa, joissa korjataan sisäilmaongelmia.

Erityisen tärkeää jälkiseuranta ja sisäilmaston (sisäilman) laadun todentaminen on kohteissa, joihin on tehty homekorjauksia. On lukuisia esimerkkejä, kuinka käyttäjien oireilu ei lopu, vaikka rakennus korjataan. Joissakin tapauksissa on havaittu, että ennakkoasenteet rakennusta kohtaan ovat niin suuret, että vaikka korjaustyö olisi teknisesti onnistunut, ei oireilu silti lopu (Lahtinen et al. 2004).

Jormanaisen (2014) mukaan homekorjatun rakennuksen käyttöönottovaiheessa ja takuu-aikana tulee huolehtia muun muassa seuraavista toimenpiteistä:

- korjattuun rakennukseen ei tuoda vanhoja ”likaisia” huonekaluja ja muuta irtaimistoa ja tavaraa
 - jos irtaimistoa tai tekstiilejä tuodaan, on niille tehtävä asianmukainen puhdistus (pesu yli 60°C)
 - erityisen ongelmallisia ovat vanhat paperit ym. asiakirjat, sillä niitä ei voida käytännössä kunnolla puhdistaa
- tehdään samanlainen käyttäjäkysely kuin ennen korjauksia ja verrataan tuloksia
- muut jälkiseurantatoimenpiteet
 - merkkiainekokeet
 - lämpökuvaukset
- viestiä käyttäjille korjaustöiden onnistumisesta.

Lahtinen et al. 2009 tutkivat case-kohteessa homekorjauksen onnistumisen todentamiskeinoja, jotta käyttäjien luottamus voitaisiin voittaa. Tutkimuksen mukaan homekorjaushankkeessa laaja ja avoin viestintä käyttäjille on ensiarvoisen tärkeää. Ennen rakennuksen käyttöönottoa rakennuksessa tehtiin ilmantiiveysmittaukset merkkiainekokein. Ilmanlaatua rakennuksessa mitattiin kolmessa vaiheessa, rakennuksen valmistuttua ennen kalusteiden sisään tuontia, kalusteiden sisään tuonnin jälkeen ja rakennuksen oltua vuoden käytössä. Mittauksissa mitattiin VOC-pitoisuudet, pölynäytteistä tutkittiin homeita ja bakteereita ja lisäksi pinnoilta tutkittiin kuitujen esiintymistä. Rakennukseen oli myös asennettu kosteusmittareita kosteusteknisesti hankalimpiin rakenteisiin. Lisäksi käyttäjille tehtiin käyttäjäkysely. Mittausten tuloksista tiedotettiin avoimesti rakennuksen käyttäjille. Tutkimuksen mukaan laajasti tehdyt sisäilmaston laadun mittaukset vahvistivat käyttäjien luottamusta. Palomäki & Reijula (2008) suosittavat melko vastaavia varmistustoimia homekorjatuille rakennuksille kuin Lahtinen et al., mutta he korostavat myös, että seurantatoimenpiteistä tulee sopia yhteisesti kaikkien hankeosapuolten kanssa. Näin voidaan vähentää riitoja, jos joidenkin henkilöiden oireilu rakennuksessa jatkuu, vaikka seurannassa ei ole havaittu mitään merkkejä homeesta.

5. TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN SUORITUS

5.1 Tutkimusote ja -menetelmät

Tutkimusstrategia eli tutkimusote tarkoittaa tutkimusmenetelmällisten ratkaisujen kokonaisuutta. Valittu tutkimusstrategia määrittää menetelmien valintaa ja käyttöä teorian ja käytännön tasolla (Lähdesmäki et al. 2016). Kolme perinteistä tutkimusstrategiaa ovat kokeellinen tutkimus, survey-tutkimus sekä tapaustutkimus (case study), joka tässä tutkimuksessa valittiin tutkimusstrategiaksi tukemaan kirjallisuustutkimusta. Tapaustutkimuksessa tutkitaan yksittäistä tapausta tai joukkoa, josta saadaan yksityiskohtaista, intensiivistä tietoa. Kiinnostuksen kohteena tapaustutkimuksessa ovat usein prosessit. Tietoa kerätään muun muassa havainnoin, haastatteluin sekä dokumentteja tutkien. (Hirsjärvi et al. 2007.)

Tutkimusmenetelmänä tapaustutkimuksessa käytettiin osallistuvaa havainnointia. Havainnoinnin yhtenä etuna on, että sen avulla saadaan välitöntä, suoraa tietoa tutkittavasta toiminnosta (Hirsjärvi et al. 2007). Hirsjärven et al. mukaan osallistuvassa havainnoinnissa tutkija toimii osana tutkittavaa ryhmää ja heidän toimintaansa. Käytännössä casekohteessa tämä tarkoitti sitä, että tutkija osallistui toimivuustarkastelun suorittamiseen sen varsinaisten suorittajien mukana tarkkaillen tarkastelun toteutustapaa ja tarkasteltavia asioita.

Tässä tutkimuksessa on hyödynnetty myös konstruktivistista tutkimusotetta, joka on eräs tapaustutkimuksen alametodi. Konstruktivistinen tutkimusote on metodologia, jolla pyritään ratkaisemaan reaali maailman ongelmia tuottamalla innovatiivisia konstruktioita (Lukka 2001). Konstruktioiden ei tarvitse olla täysin uusia ja tyhjästä syntyviä, vaan ne voivat kytkeytyä vanhoihin teorioihin tai malleihin. Hyvän sisäilmaston varmistamisen prosessia voidaan pitää konstruktiona.

Kuvassa 8 on esitetty osat, joista konstruktivistinen tutkimus koostuu. Tutkimus alkaa määrittämällä tosielämän ongelma, johon halutaan löytää ratkaisu. Tutkimusongelmaa lähdetään lähestymään aikaisemman teorian ja tietämyksen kautta. Aiempia teorioita ei tutkita vain siksi, että konstruktio voidaan perustaa niille, vaan se aiempien teorioiden tunteminen auttaa myös tutkimuksen teoreettisen kontribuution analysoimisessa. Tarkka perehtyminen taustateoriaan erottaa konstruktivistisen tutkimuksen konsulttitehtävistä, joissa taustateorioiden tutkimiseen ei käytetä aikaa. Päävaihe tutkimuksessa on konstruktion luominen. Kun konstruktio on valmis, tulisi sitä tutkia käytännössä. Tämä tutkimus poikkeaa siinä mielessä oikeaoppisesta konstruktivistisesta tutkimuksesta, että hyvän sisäilmas-

ton varmistamisen prosessia ei päästy aikataulusyistä käytännössä kokeilemaan. Viimeinen vaihe on tunnistaa ja analysoida koko projektin teoreettinen kontribuutio. Erityisesti viimeisessä vaiheessa on tärkeää, että tutkija etäännyttää itsensä projektista, jotta pystyy objektiivisempaan analyysiin. (Lukka 2001.)



Kuva 8: Konstruktivinen tutkimus. (mukaiillen Lukka 2001.)

5.2 Tutkimuksen suoritus

Hyvän sisäilmaston varmistamisen prosessi on pitkälle aikavälille jakautuva prosessi, joten sen tutkiminen esimerkiksi case-kohteessa ei ollut mahdollista. Tästä syystä prosessi muodostettiin pääasiassa kirjallisuudesta saadun tiedon avulla. Tärkeintä prosessin vaihetta eli toimivuustarkastelua tutkittiin tapaustutkimuksena, jotta siitä saadaan syvällisempää tietoa kuin vain kirjallisuutta tutkimalla voidaan saada. Kirjallista tietoa haettiin aihealueen kirjoista ja oppaista sekä erilaisista tieteellisistä julkaisuista kuten artikkeleista ja konferenssijulkaisuista. Hakuja tehtiin esimerkiksi Scopus- ja Science Direct-tietokannoista.

Toimivuustarkasteluita tutkittiin kolmessa eri kohteessa. Case-kohteissa pyrittiin havainnoimaan, millainen toimivuustarkastelun käytännön prosessi on. Lisäksi tutkittiin toiminnan hyödyllisyyttä hyvän sisäilmaston varmistamisessa muutamien kysymysten kautta

- voidaanko toimivuustarkastelun avulla varmistua hyvistä sisäilmasto-olosuhteista
- mitä työkaluja todentamisessa käytetään (esimerkiksi käyttäjäkyselyt ja mittaukset)
- voidaanko toimivuustarkastelun avulla löytää olosuhteita parantavia toimenpiteitä
- mikä on tarkasteluissa sisäilmasto-olosuhteiden varmistamisen painoarvo
- tulisiko tarkasteluista saatavien havaintojen perusteella Tapre-ohjeita muuttaa?

Toimivuustarkastelukohteita haluttiin valita useampi niin, että ne ovat eri kunnissa ja toimivuustarkastelua on suorittamassa eri toimijoita. Toimivuustarkasteluita ei kunnissa kuitenkaan ollut juurikaan aiemmin tehty eikä niiden teettämistä suunnitteilla, joten valinnanvaraa case-kohteiden valitsemisessa ei lopulta ollut.

Case-kohteiksi valikoituivat lopulta kaikki kolme kohdetta, joihin oli toimivuustarkastelu tulossa tutkimukselle varattuna aikana. Kohteet sijaitsivat kahdessa eri kunnassa. Kaikkiin toimivuustarkasteluihin suorittajaksi oli valittu sama yritys, joten tarkastelun suoritusperiaatteet olivat kohteissa melko samanlaiset. Pieniä eroja tarkasteluissa kuitenkin lopulta oli, sillä painotukset kohteissa olivat erilaisia ja tarkasteluita teki kaksi eri henkilöä. Yksi kohteista on siinä mielessä poikkeuksellinen, että se on ollut toimivuustarkastelun suoritusajankohtana käytössä jo kuusi vuotta.

Lopullinen konstruktio eli hyvän sisäilmaston varmistamisen prosessi luotiin kirjallisuudesta saadun tiedon avulla ja sitä täydennettiin case-kohteista saatujen havaintojen avulla. Tuloksina saatiin hyvän sisäilmaston varmistamisen prosessi kaaviomuodossa sekä toimivuustarkastelun suorittamisen prosessi.

6. TOIMIVUUSTARKASTELUT CASE-KOHITEISSA

Tutkimuksen case-kohteina oli pirkanmaalaisten kuntien kiinteistöjä. Yksi kohteista oli päiväkotia ja kaksi muuta rakennusta olivat kouluja. Kohteisiin tehtiin toimivuustarkastelut Tapre-periaatteisiin pohjautuen.

6.1 Case A – Tapre:n mukainen toimivuustarkastelu

Käytännössä toimivuustarkastelua päästiin ensimmäisenä tutkimaan Pirkanmaalla sijaitsevaan päiväkotiin. Päiväkoti on otettu käyttöön vuoden 2016 alusta, joten se on toimivuustarkastelun suoritusajankohtana ollut käytössä vasta neljä kuukautta. Päiväkodin kokonaislaajuus on 1390 k-m² ja tilavuus 7420m³. Päiväkodissa on 6 hoitoryhmää ja se on mitoitettu 120 lapselle. Normaali käyttöaika päiväkodissa on 6.00–18.00. Heinäkuun ajan päiväkotia on ainakin nykyisten suunnitelmien mukaan kiinni. Rakennus on suunniteltu sisäilmaluokkaan S2, mutta kesän lämpötilojen sallitaan nousevan hellejakson aikana yli S2-luokan tavoitearvojen.



***Kuva 9:** Toimivuustarkastelun kohteena ollut päiväkotia toimivuustarkastelupäivänä kuvattuna.*

Rakennus on kaksikerroksinen. Ensimmäinen kerros on betonielementtirakenteinen ja toinen kerros puurakenteinen. Rakenteiden U-arvot vastaavat rakentamismääräysten minimitasoa.

Päiväkotirakennus on kytketty kunnan kaukolämpöön. Tiloissa lämmitys tapahtuu lattia-
lämmityksellä. Ulko-ovilla ja osassa kulkuteitä on sulanapitolämmitys.

Rakennuksen ilmanvaihto on toteutettu kolmella tulo-poisto-ilmanvaihtokoneella. Yksi kone palvelee ryhmä- ja lepohuoneita sekä salia. Huoneiden ilmamääriä ohjataan ilman hiilidioksidipitoisuuden ja lämpötilan perusteella. Aula-, käytävä- ja WC-tiloja palvelee oma koneensa. Järjestelmä on vakioilmavirtainen. Keittiötiloja varten on yksi kone ja lisäksi keittiössä on erillinen jäähdytysjärjestelmä.

Valaistus rakennuksessa on toteutettu loistevalaisimin. Valaistusta ohjataan läsnäolokytkimin, mutta käyttäjän on myös mahdollista itse sammuttaa valoja ja säätää valaistuksen kirkkautta. Rakennuksen suuret ikkunat mahdollistavat luonnonvalon pääsyn sisään.

6.1.1 Tutustumiskäynti case-kohteeseen

Päiväkotiin käytiin tutustumassa ensimmäisen kerran 4.3.2016 yhdessä kunnan edustajien kanssa. Tarkoituksena käynnillä oli tutustua kiinteistöön ja sopia toimivuustarkastelun käytännön järjestelyistä tämän tutkimuksen kannalta.

Vaikka kierroksella oli tarkoituksena vain tutustua kiinteistöön, tehtiin kierroksella lyhyessäkin ajassa ilman mittalaitteita rakennuksen toimivuuteen liittyviä havaintoja. Rakennuksen keittiössä havaittiin, että huuvat olivat päällä suurella teholla, vaikka keittiössä ei ollut vähään aikaan ollut mitään toimintaa. Lisäksi epäiltiin, että keittiön jäähdytys oli päällä, vaikka sen ei pitäisi olla mahdollista olla päällä samaan aikaan lämmityksen kanssa.

Ryhmähuoneissa kierrellessä havaittiin selkeästi rakennusmateriaaleista lähteviä hajuja. Kunnan edustajien mukaan hajun lähde on aiempien kokemusten perusteella lattian muovimatto.

Suurten ikkunapintojen takia epäiltiin, että rakennuksessa tulee todennäköisesti olemaan ongelmia kesäajan ylikämmenemisen kanssa. Ikkunoiden yläpuolella oli aurinkosuojat, mutta ne olivat liian korkealla ikkunan yläpuolella. Kunnan edustajien mukaan aurinkosuojia joudutaankin todennäköisesti kesällä muuttamaan.

6.1.2 Toimivuustarkastelu

Varsinainen toimivuustarkastelu alkoi huhtikuun alussa kyselytutkimuksen valmistelulla. Vastausaikaa kyselyssä oli viikko. Kyselyssä mitattiin seitsemän kysymyksen avulla käyttäjien tyytyväisyyttä sisäilmaston osa-alueisiin (asteikko 1-5). Kysymyksiin oli mahdollisuus jättää avoimeen vastauksilaan kommentteja. Avointen kysymysten avulla mitattiin tyytyväisyyttä rakennuksen ulkoalueisiin ja sisätiloihin. Avointen kysymysten avulla kartoitettiin myös järjestelmien käytön osaamista ja käyttöohjeiden tarvetta.

Samanaikaisesti käyttäjäkyselyn kanssa tarkastelu aloitettiin käymällä läpi kiinteistön suunnitelmia ja automaatiojärjestelmää. Automaatiojärjestelmästä tarkasteltiin järjestelmien asetusarvoja, aikaohjelmia ja varmistuttiin yleisellä tasolla, että prosessit toimivat oikein.

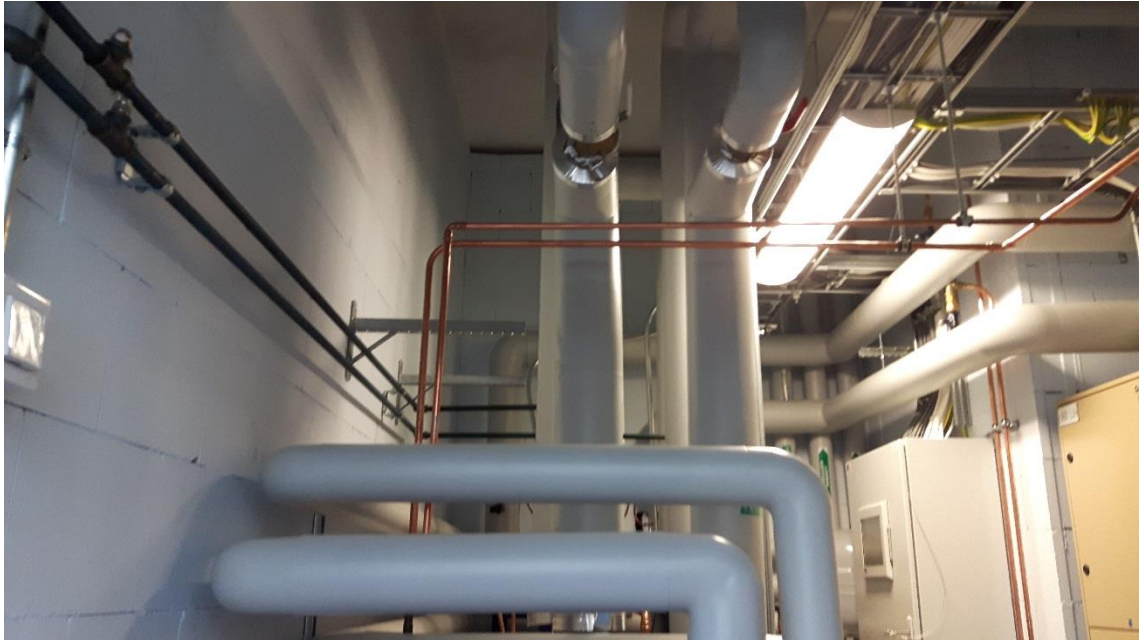
Varsinainen tarkastelukierros rakennuksessa järjestettiin huhtikuussa. Tarkastelupäivänä ulkoilman lämpötila oli $+1^{\circ}\text{C}$, joten lämmityskauden lämpöoloja voitiin arvioida melko hyvin. Tarkastelukierroksen tekemiseen kului aikaa noin kuusi tuntia. Toimivuustarkastelussa olivat toimivuustarkastelun vetäjän lisäksi mukana kunnan LVI-insinööri, tekninen isännöitsijä, käyttäjän edustaja sekä kiinteistöhoitaja, joka oli mukana teknisten tilojen tarkastelun ajan. Urakoitsijoiden ja suunnittelijoiden mukanaoloa ei nähty tarpeelliseksi, sillä kokemusten perusteella rakennuksessa ei ole suuria ongelmia. Tiloissa olleilta käyttäjiltä kysyttiin kommentteja rakennuksesta kierroksen aikana. Rakennuksen siivojaa haastateltiin siivouskäytännöistä ja rakennuksen siivottavuudesta, kun hän tuli kierroksella vastaan.

Tarkastelussa tutkittiin yksi kerrallaan rakennuksen kaikki huoneet. Huoneissa tarkastettiin aistinvaraisesti lämpötila, vedon tunne, hajut, ilmanlaatu, ääniolosuhteet ja valoisuus. Lisäksi tarkastettiin talotekniikan mittaustureiden sijainti sekä tilan yleinen toimivuus. Toimivuuden osalta huomio kiinnittyi lasten turvallisuuteen ja siihen, että lapset eivät riko mitään esimerkiksi roikkumalla putkissa tai johdoissa.

Tekniset tilat käytiin yksitellen läpi. Tiloissa tarkastettiin muun muassa laitteiden huollettavuus, laitteiden merkinnät ja mittarit, sulkuventtiilien sijainnit sekä tilan järjestelmien paperisten suunnitelmien helppo saatavuus laitteiden lähellä. Tilojen tarkastamisen aikana haastateltiin kiinteistöhuoltoa heidän huoltorutiineistaan ja kokemuksistaan rakennuksesta. Kiinteistöhoitajan mukaan rakennus on toiminut tähän mennessä hyvin. Ongelmia on ollut vain ulkoalueiden sulanapitojärjestelmän säätöjen kanssa, mutta nekin on jo korjattu takuutyönä. Tarkastelussa ainoat tiloissa havaitut puutteet liittyivät joidenkin yksittäisten laitteiden merkintöihin ja lämmönjakohuone oli niin pieni, että huoltotöiden teko siellä tulee olemaan vaikeaa. Myös vesimittari oli sijoitettu sellaiseen paikkaan, että sitä on hankala lukea. Talon järjestelmiin kiinteistöhoitajat eivät olleet saaneet koulutusta, vaan koulutus oli järjestetty vain kiinteistönhoidon työnjohdolle. Kiinteistöhoitajan mukaan järjestelmiin tutustuminen on tapahtunut omatoimisesti. Talon järjestelmien erityisominaisuuksiin ja vikatilanteiden hoitamiseen olisi kiinteistöhoitajan mukaan ollut hyvä saada koulutusta.

Lämmönjakohuonetta tarkistaessa havaittiin myös syy miksi käyttäjät ovat valittaneet, että nukkumahuoneeseen kuuluu välillä selvästi kuuluvaa puhetta jostakin viereistä tilasta. Lämmönjakohuoneen kuvassa 10 näkyvää muurattua väliseinää ei ollut tiivistetty

yläpäästään lainkaan. Virheen vakavuutta lisää, että tilat ovat eri palo-osastossa.



Kuva 10: Lämmönjakohuoneen takaseinä, jonka yläpää on tiivistämättä. Kuvasta voi myös nähdä kuinka ahdas lämmönjakohuone on.



Kuva 11: Ilmanvaihtokonehuone oli tilava ja koneet helposti huollettavissa.

Kierroksella todettiin lattian lämpötilassa olevan joissakin tiloissa selvästi eroja naapurihuoneisiin ja osaksi huoneiden sisälläkin. Tarkastelun vetäjä epäili asian johtuvan mahdollisesti lattialämmityksen säätötavasta, joka ei hänen mukaansa ole optimaalinen. Asiaa tutkitaan tarkemmin vielä automaatiosta. Lattian lämpötilaa havainnointiin aistinvaraisesti koko kierroksen ajan, sillä päiväkodissa ei saanut kulkea kengät jalassa. Toinen lämpötilaan liittyvä ongelma oli vetoa aiheuttavat ulko-ovet, erityisesti lasten leikkinurkan

vieressä oleva hätäpoistumistien ovi. Ovet oli jo aiemmin lämpökuvattu ja urakoitsijan pitäisi tehdä ovien tiiveyskorjaukset takuutyönä. Suurista ikkunoista sisään paistava aurinko oli käyttäjien mukaan osissa rakennusta jo nyt aiheuttanut ylikuumenemista. Ongelma todennäköisesti vain pahenee keväällä ja kesällä.



Kuva 12: Suuret ikkunat aiheuttavat ylikuumenemistä auringon paistaessa jo alkukevällä. Ongelmaa on pyritty vähentämään rullaverhoilla ja julkisivulla olevilla aurinkosuojilla.

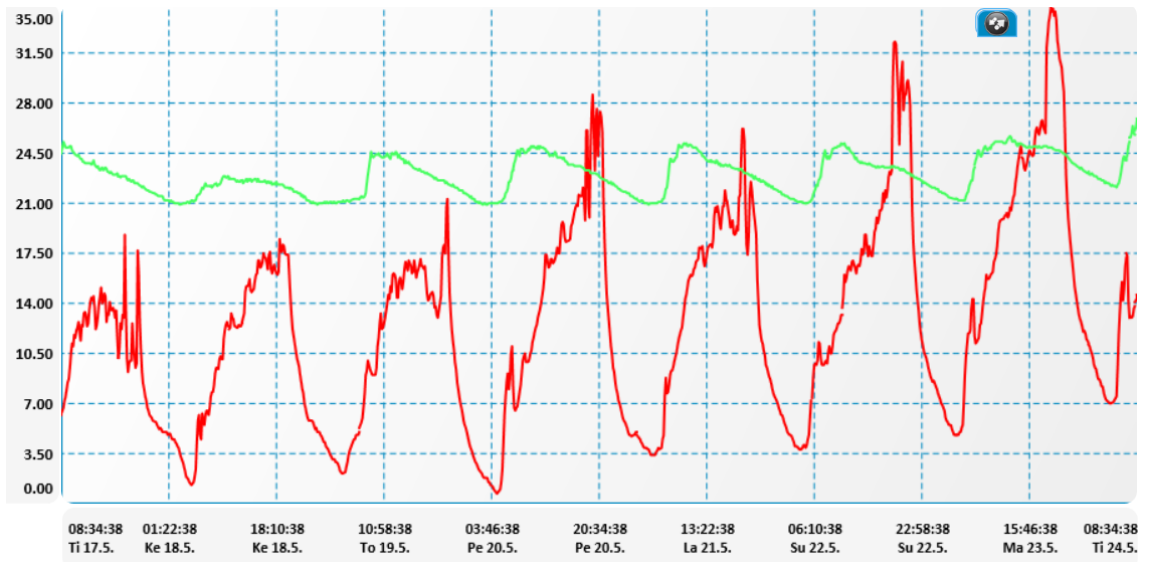
Aistinvaraisella arvioinnilla ilmanlaatu todettiin yläkerran kokoushuonetta lukuun ottamatta hyväksi. Myös käyttäjien mukaan kokoushuoneen ilmanlaadussa on ollut ongelmia. Kokousten aikana tulee tunne, että ilma on tunkkaista ja vaikea hengittää. Ongelmaa pahentaa suuret ikkunat, joista aurinko pääsee lämmittämään huonetta. Lisäksi kokoushuoneessa oli selvästi havaittava haju, joka tuli tilan matosta. Muissa tiloissa matto ei enää haissut, vaikka sama mattotyyppi on muuallakin käytössä. Tarkastelun vetäjän aikomus oli, että kyseisen huoneen ilmamäärät mitattaisiin, mutta ongelmaksi muodostui huoneen korkeus. Mittauksia ja esimerkiksi tulevia lampunvaihtoja varten tulisi selvittää paras tapa päästä huoltokohteisiin käsiksi. Kunnan edustajat aikovat ottaa yhteyttä kiinteistöhoito-organisaatioon, jotta he voivat alkaa selvittää, millä ylös päästään. Tarkastelun vetäjä alkaa lisäksi seurata huoneen lämpötilaa ja hiilidioksiditasoa taloautomaatiosta saatavan mittausdatan avulla.

Kuvassa 14 on esitetty toukokuun lopulta neuvottelutilan lämpötila viikon ajalta. Aurinkoisina päivinä lämpötila nousee huoneessa yli 25°C. Hiilidioksidipitoisuutta tutkittaessa

havaittiin, että neuvottelutilan mittaus näyttää vuorokauden ympäri samaa lukemaa. Anturissa on siis jotakin vikaa. Syy tunkkaisuuteen voikin liittyä korkean lämpötilan lisäksi vialliseen anturiin, jonka takia ilmamäärät eivät säädä oikein.



Kuva 13: Neuvotteluhuoneen ilmamääriä ei päästy tarkastelukierroksella mittaamaan, sillä tilaan pitäisi rakentaa telineet, jotta mittaukset päästäisiin ilmanvaihdon päätelaitteista tekemään.



Kuva 14: Lämpötilan mittaustulos neuvotteluhuoneesta ja ulkoa viikon ajalta touko-kuussa. Vihreä käyrä on neuvottelutilan lämpötila ja punainen ulkolämpötila. Lämpiminä päivinä neuvottelutilan lämpötila nousee yli 25°C. Ulkolämpötila-anturi on kuvaajan perusteella sijoitettu niin, että siihen pääsee paistamaan ilta-aurinko.

Automaatiojärjestelmän mitta-antureiden sijainneissa havaittiin osittain ongelmia. Useimmat anturit oli sijoitettu ovien viereen, jolloin oven avautuessa tai oven ollessa auki käytävältä tuleva ilma saattaa vääristää mittaustulosta. Eniten epäonnistunut mitta-anturin sijoitus oli eräässä märkäeteisessä, jossa anturi on nurkassa hyllyn kohdalla niin, että anturin edessä oli vaatekori ja vieressä oleva kuivauskaappi lämmittää nurkkaa (kuva 15).



Kuva 15: Huonosti valittu lämpötila-anturin sijoituspaikka. Lisäksi vieressä oleva kuivauskaappi lämmittää nurkkaa, jossa anturi on.

Erästä varastoa tarkasteltaessa käyttäjä mainitsi, että usein päiväkodeissa varastot muuttuvat hiljalleen leikkitiloiksi. Varastojen käyttötarkoituksen muuttuessa on tärkeää, että tieto tuodaan kiinteistönhoidon tietoon, sillä ilmanvaihtomäärät ovat varastossa paljon pienemmät kuin mitä leikkitila vaatii.

Keittiössä oli edelleen jäähditys päällä, kuten se oli jo helmikuun tutustumiskierroksella. Järjestelmän ilmoittamista käyttötunneista päätellen laite on ollut päällä rakennuksen käyttöönotosta lähtien. Jäähdytystä ei oltu liitetty automaatiojärjestelmään, mikä mahdollisti samanaikaisen lämmityksen ja jäähdityksen. Jäähdytystä ohjattiin seinällä olevalla säätimellä, jonka käyttöä keittäjälle ei oltu koulutettu, eikä laitteeseen ollut saatavilla käyttöohjeita.

Henkilökunnan WC-tiloissa oli käyttäjän mukaan outo haju. Haju havaittiin myös tarkastelukierroksella, mutta hajun lähdettä ei onnistuttu tunnistamaan. Haju muistutti märän laastin hajua ja se esiintyi lievänä myös vieressä olleessa suihkutilassa.



Kuva 16: Keittiön jäädytyksen ohjauslaite. Jäädytys on todennäköisesti ollut päällä rakennuksen valmistumisesta lähtien. Keittäjälle ei oltu koulutettu laitteen käyttöä eikä käyttöohjeita ollut saatavilla. Ennen kuvanottoa laite vaihdettiin jäädytykseltä kuivatukselle.

Toimivuustarkastelun vetäjän mukaan hänen työnsä jatkuu automaatiojärjestelmän lisätutkimuksilla. Aikomuksena on tehdä huoneiden lämpötiloille ja hiilidioksidipitoisuuksille trendiseurantoja. Lattialämmityksen säätökäyriin tehdään myös tarkempaa tutkimusta. Kun tarkastelu on valmis, tarkastelun vetäjä laatii toimivuustarkastelusta raportin, jossa esitetään tarkastelun havainnot ja korjausehdotukset. Raportti käydään yhteisessä palaverissa läpi kunnan edustajien kanssa. Vastuu jatkotoimenpiteistä ja korjausten teettämisestä on kunnalla.

6.2 Case B – Tapre:n mukainen toimivuustarkastelu

Toisena tutkittavana case-kohteena oli Pirkanmaalla sijaitseva 350 oppilaan yläkoulu. Koulu on otettu käyttöön kesällä 2014, joten toimivuustarkastelusta saatavaa tietoa haluttiin hyödyntää myös tulevassa takuutarkastuksessa. Koulussa on tällä hetkellä enemmän oppilaita kuin on alun perin suunniteltu, sillä läheisen alakoulun oppilaita on koulussa evakossa oman koulun homeongelmien takia. Opetuskäyttöön on jouduttu ottamaan esimerkiksi koulussa oleva nuorisotila, jonka ilmanvaihtoa ei ole suunniteltu koululuokan kokoisille käyttäjämäärille. Iltakäyttöä rakennuksessa on liikuntasalissa ja nuorisotilassa.



Kuva 17: Case B:ssä tutkittu koulurakennus.

Rakennus on kolmekerroksinen ja sen laajuus on 7000 k-m², josta 900 k-m² on vanhasta puretusta koulurakennuksesta säästetty ja korjattu siipi. Rakennuksen vaipalle ei ole asetettu erityisiä energiatehokkuusvaatimuksia, vaan se on rakennettu määräysten mukaiseen minimitasoon. Sisäilmastoluokitus rakennuksessa on S2, mutta kesäaikana sallitaan lämmön nousu yli vaatimusten hellejakson aikana. Rakennuksen runko on teräsbetonia ja julkisivut on muurattu tiilestä, kuten kuvasta 17 havaitaan.

Rakennus on kytketty kunnan kaukolämpöverkkoon. Lämmönjako tapahtuu tiloissa radi-aattorein lukuun ottamatta liikuntasalia, jossa on kattolämmitys. Ilmanvaihto tiloissa tehostuu hiilidioksidipitoisuuden ja lämpötilan mukaan.

6.2.1 Tekninen tarkastuskierros

Rakennuksen toimivuustarkastelu alkoi teknisten järjestelmien tarkastelulla rakennuksessa toukokuun alussa. Tarkastelupäivä oli aurinkoinen ja ulkolämpötila noin +15°C. Tarkastelukierroksella tarkoituksena oli keskittyä rakennuksen tekniikkaan ja huoltokäytäntöihin. Käyttäjäkysely lähetettiin rakennuksen henkilökunnalle ja koulun oppilaskunnan jäsenille tarkastelukierroksen jälkeen. Tarkastelut tehtiin aistinvaraisesti ja esimerkiksi painesuhteita havainnoitiin huoneiden ovien avulla.

Tarkastelussa olivat mukana toimivuustarkastelun vetäjän lisäksi huoltomies sekä ilmastovaihtokonehuoneiden tarkastelun ajan kunnan LVI-insinööri. Tarkastelu alkoi huoltomiehen työpisteeltä, jossa tutkittiin automaatiojärjestelmän käyttöä ja käytettävyyttä. Tarkastelun vetäjä kävi läpi automaatioon liitettyjä järjestelmiä samalla huoltomiestä haastatellen. Haastattelussa yritettiin selvittää erityisesti sitä että, puuttuiko automaatiojärjestelmästä jotakin ja kuinka sen käytettävyyttä voisi parantaa. Suurimpina puutteina havaittiin puuttuvat tasokuvat, joissa esitetään hiilidioksidipitoisuus ja lämpötila huoneittain. Lisäksi loma-aikojen lukitusten asettaminen on vaikeaa, sillä ajastukset joudutaan huoltomiehen mukaan asettamaan oville yksitellen. Kouluun on tällä hetkellä suunnitteilla laajennusosa, johon on suunniteltu saman automaatiojärjestelmätoimittajan uudempi järjestelmä. Tarkoituksena on liittää nykyinen rakennus samaan järjestelmään, jolloin järjestelmän käytettävyyden pitäisi parantua uudemman järjestelmän myötä. Huoltomiehen työpisteeltä löytyivät huoltokansiot, mutta IV-loppukuvat puuttuivat, sillä urakoitsija ei ole niitä useista pyynnöistä huolimatta toimittanut.

Huoltokirjan laatua käytiin huoltomiehen kanssa haastatellen läpi. Kohteessa on käytössä Haahtelan sähköinen huoltokirjaohjelmisto. Huoltokirja ja huoltorutiinit ovat huoltomiehen mukaan muuten toimivat, mutta huoltokirja on tehty osaksi kopioimalla tehtäviä muista kohteista. Tehtävälistalla on esimerkiksi sadevesikourujen puhdistaminen, vaikka rakennuksessa ei ole niitä. Käyttö- ja huolto-opastuksen rakennuksen huoltomies ja päivytyksringissä olevat huoltomiehet olivat saaneet, mutta huoltomiehen mukaan opastus oli lähinnä kierros rakennuksessa ja opastuksen asiasisältö jäi niukaksi.

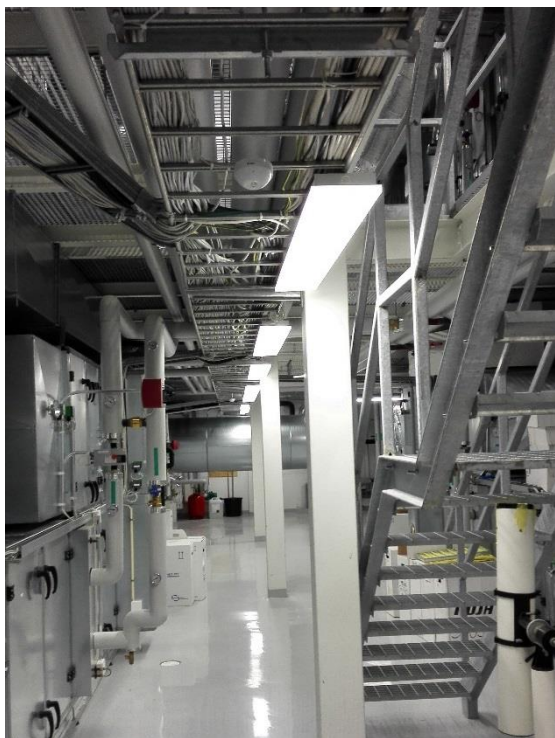
Alkuhaastattelussa kyseltiin myös huoltomiehen tiedossa olevia suurimpia vikoja. Vakavin vika oli 1. ja 3. kerroksen turvavalokeskusten akkujen ajoittainen tyhjeneminen. Vikaa on yritetty korjata takuutyönä, mutta ongelmaan ei ollut vielä tarkastelukierroksen ajankohtana löydetty ratkaisua. Kotitalousluokassa haisee huoltomiehen mukaan ajoittain viemäri, joten siellä päätettiin käydä osana kierrosta.

Varsinainen tarkastelukierros alkoi ilmanvaihtokonehuoneiden tarkastelulla. Huoneissa tutkittiin yleisen tarkastelun lisäksi seuraavat asiat havainnoimalla ja huoltomiestä haastatellen:

- haalausreitit ja huoneen siisteys (ei ylimääräistä tavaraa varastoituna)
- piirustusten ja järjestelmäkaavioiden saatavuus
- kenttälaitteiden merkinnät
- linjasäätöventtiilien säätöarvojen merkinnät
- mittarien ja mittauspisteiden sijainnit
- peltien ja venttiileiden asentojenosoittimet
- riittävä sulkuventtiilien määrä huoltoja varten
- glykoliastian tyyppi ja sijoitus
- putkien kannakoinnit
- laitteiden huollettavuus.

Toisessa ilmanvaihtokonehuoneessa oli myös lämmönjakokeskus, josta tarkastettiin vastaavasti kuin ilmanvaihtokoneista muun muassa laitemerkinnät, sulkuventtiilit, säätöarvojen merkinnät sekä järjestelmäkaavioiden löytyminen laitteiston läheltä. Puutteena havaittiin, että osalla linjasäätöventtiileistä ei ollut riittävää suojaetäisyyttä, mikä vääristää mittaustuloksia.

Konehuoneet olivat siistit ja tilavat ja huoltomiehen mukaan laitteita on helppo huoltaa. Huollettavuudessa havaitut viat olivat, että yhden ilmanvaihtokoneen yhtä luukun kahvaa ei saa käännettyä auki ja konehuoneen ylemmän tason perimmäiselle koneelle ei ole kunnollista haalausreittiä. Huoneen ovi oli konehuoneen ja koneiden kokoon nähden pieni.



Kuva 18: Rakennuksen suurempi ilmanvaihtokonehuone oli kahdessa tasossa ja kulkureitit olivat pääosin hyvät. Kammiovalot olivat koneissa kytketty huonevalaistuksen kanssa samaan aikaan toimivaksi, mikä estää kammiovalojen unohtamisen päälle

Tarkastelussa havaittiin, että lämmöntalteenoton lohkosulatusta ohjasi erillinen järjestelmä eikä sitä oltu kytketty VAK:iin (valvonta-alakeskus), mikä vaikeuttaa järjestelmän toimivuuden havainnointia ja ohjaamista. Järjestelmän toiminnasta ei saatu täyttä selvyyttä tarkastelussa.

Talvisin, kun sataa kevyttä puuterilunta, lumi pääsee huoltomiehen mukaan ulkosäleiköistä sisään koneisiin niin, että lumi tukkii koneiden suodattimet. Lumenpoisto säleiköistä on huoltomiehen mukaan erittäin hankalaa, sillä sinne ei ylety mistään. Edellisenä talvena huoltomies oli poistanut lumet säleiköstä heittämällä säleikköä pallolla. Linjasäätöventtiilien säätöarvot olivat muutamaa venttiiliä lukuun ottamatta kunnossa. Jäähdytyspiirin venttiilien asennonosoittimet olivat kuten lämmityspuolella eli osoittimia ei oltu käännetty jäähdytyspuolelle sopivaksi. Yksi ilmanvaihtokoneelta tuleva kondenssiviemäri oli huoneessa kannakoitu kuvan 19 mukaisesti nippusitein.



Kuva 19: Kondenssiviemäri oli kannakoitu nippusiteillä toisiin putkiin.

Rakennuksen toisesta ilmanvaihtokonehuoneesta tarkastettiin vastaavat asiat kuin ensimmäisestä. Kulkureitit huoneeseen olivat hyvät ja laitteet helposti huollettavissa. Puutteet olivat huoneessa pääosin samat kuin toisessa konehuoneessa. Ilmanvaihtokoneelle tulevissa lämpöputkissa oli puutteellinen kannakointi, sillä putket pääsivät heilumaan sivusuunnassa huomattavasti.

Teknisten tilojen tarkastuksen jälkeen käytiin tarkastelemassa pistokoeluoontoisesti kaksi WC:tä, joista tutkittiin erityisesti ilmanvaihtoa ja sen painesuhteita. Huoltomiehen mukaan WC-tiloissa ei ole ollut muuta ongelmaa kuin oppilaiden tahallaan aiheuttamat viemärien tukkimiset.

Käytävillä ja muissa yleisissä tiloissa kulkiessa kyseltiin huoltomieheltä kulkureittien ja aulatilojen toimivuutta. Niissä ei ole ollut huoltomiehen mukaan suuria ongelmia. Rappukäytävissä havaittiin lievää tunkkaisuutta. Ilmanvaihto rappukäytävissä on toteutettu niin, että rapun yläpäässä on poistopuhallin ja alhaalla ulko-ovien vieressä korvausilmaventtiilit. Kahdessa rapussa korvausilmaventtiilit oli suljettu. Syy sulkemiseen on mahdollisesti niiden aiheuttama veto talvella. Ulko-ovien vetimet löystyvät säännöllisesti ja hankalan kiristystavan johdosta ne aiheuttavat paljon turhaa työtä huoltomiehelle.

Koulun keittiö tarkasteltiin yhdessä keittiön emännän kanssa. Pääosin keittiön henkilökunta oli tiloihin tyytyväinen, mutta joitakin vikoja ja puutteita tiloissa oli. Keittiön lämpötila-anturi oli oven vieressä, joka ei ole paras paikka anturille. Pääsääntöisesti rakennuksen kaikki muutkin mitta-anturit oli sijoitettu ovien viereen. Tilassa oleva kiertojähdytyn piti korkeataajuuksista sirinää, joka oli hyvin häiritsevää. Keittiön lattian kallistukset olivat puutteelliset ja vesi jäi paikoitellen seinän viereen koneiden alle ”makamaan”. Käytön opastusta keittiöhenkilökunta ei ollut saanut, vaan he olivat opetelleet järjestelmien ja laitteiden käytön itse. Reitti lastauslaiturin kautta keittiöltä jäteastiaille oli emännän mukaan huonosti suunniteltu ja kulku on erityisesti painavien biojäteastioiden kanssa hankalaa.

Vesikatolla käytiin tarkastamassa poistoilmapuhaltimet. Osa puhaltimista värisi melko voimakkaasti. Yhtä lukuun ottamatta laitteisiin oli merkitty laitekilvet asianmukaisesti. Puhaltimien turvakytkimet olisi hyvä suojata pienin ”vesilipoin”. Kemianluokan poistoilmapuhaltimen suojapelleissä oli havaittavissa korroosiota (kuva 20). Todennäköisesti vetokaapissa käsitellyt kemikaalit ovat aiheuttaneet ruostumista. Yksi katolla oleva viemäri oli eristetty Armaflexillä, jota aurinko oli haurastuttanut ja linnut repineet (kuva 21).



Kuva 20: Vetokaapin poistoilmapuhaltimen suojapelti oli ruostunut. Laitemerkinnät poistopuhaltimissa olivat yhtä lukuun ottamatta asianmukaiset. Osa katon poistoilmapuhaltimista värisi puhaltimen pyöriessä.



Kuva 21: Putken eriste oli auringon haurastama ja lisäksi linnut olivat nokkineet sen rikki.

Vesikaton tarkastuksen jälkeen tutkittiin teknisentyön luokkatiloja. Tiloissa on paljon erilaisia ilmanvaihdon tehostuksia. Niiden toimivuutta ja painesuhteita arvioitiin aistinvaraisesti huoneiden ovia hyödyntäen. Purunpoistojärjestelmän toimintaan ei tällä kierroksella perehdytty, vaan tarkempi tutkiminen jätettiin toiselle käynnille, jossa tehdään mittaukset.

Lähes kaikissa koulun luokissa oli opetusta, joten niitä ei päästy tutkimaan. Luokkatiloja on tarkoitus tutkia mittausten yhteydessä. Luokkia on myös helpompi tutkia silloin, kun käyttäjäkyselystä on saatu tarkempaa tietoa ja tiedetään mihin asioihin keskittyä. Liikuntasalissa käynti jäi myös opetuksen takia seuraavalle käyntikerralle. Valituksia on tullut lähinnä tiloista, joita ei ole suunniteltu opetukseen, mutta toisen koulun evakon takia niissäkin on opetusta. Koska tiloja ei ole suunniteltu opetukseen, niissä ei ole riittävää ilmanvaihtoa suurelle oppilasmäärälle.

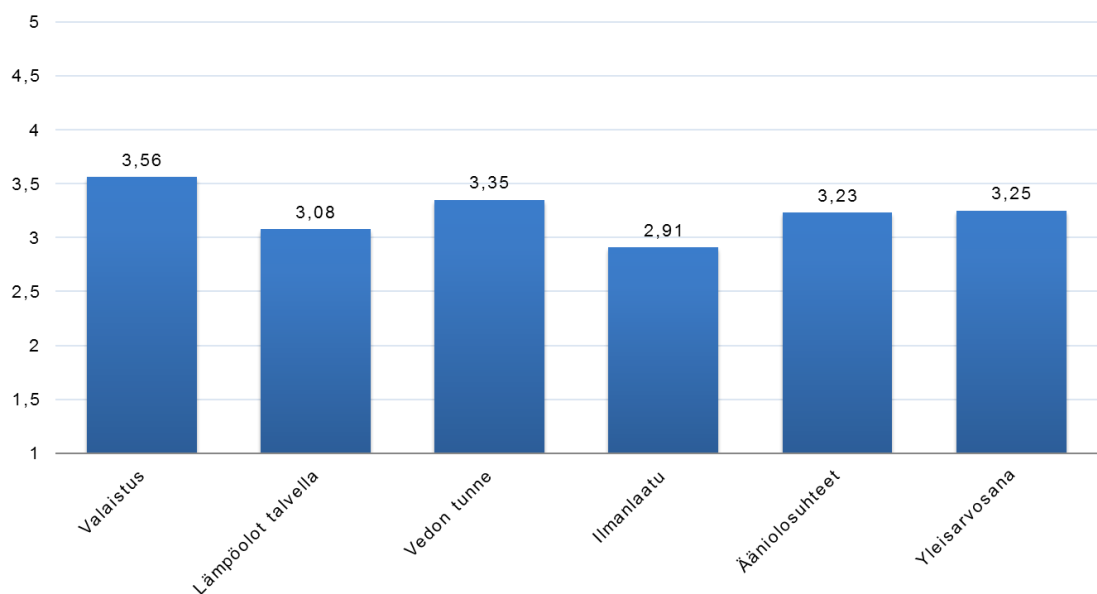
Kotitalousluokassa päästiin kierroksella käymään. Huoltomiehen mukaan toisesta kotitalousluokasta on tullut valituksia ajoittaisesta viemärinhajusta. Tiloissa tutkittiin ilmanvaihdon tehostusten toimintaa, sillä liika alipaine voi aiheuttaa korvausilman tuloa tilaan viemäreistä. Tutkiessa havaittiin säätöpellin akselin olevan irti säätömoottorilta, jolloin ilmanvaihtoa tehostettaessa tuloilma ei tehostu vaan tila muuttuu alipaineiseksi. Tilassa päätettiin tehdä tarkempia mittauksia myöhemmin.

Siivoustilojen tarkastelu unohdettiin tehdä tällä käyntikerralla, mutta tarkastelun vetäjä tiedusteli tilojen toimivuutta sähköpostilla huoltomieheltä. Huoltomies ei ollut kuullut

siivoojilta valituksia siivoustiloihin liittyen. Käyttäjäkysely on lähetetty myös siivoojille, joten jos tiloissa on ongelmaa, tulee tieto myös sitä kautta.

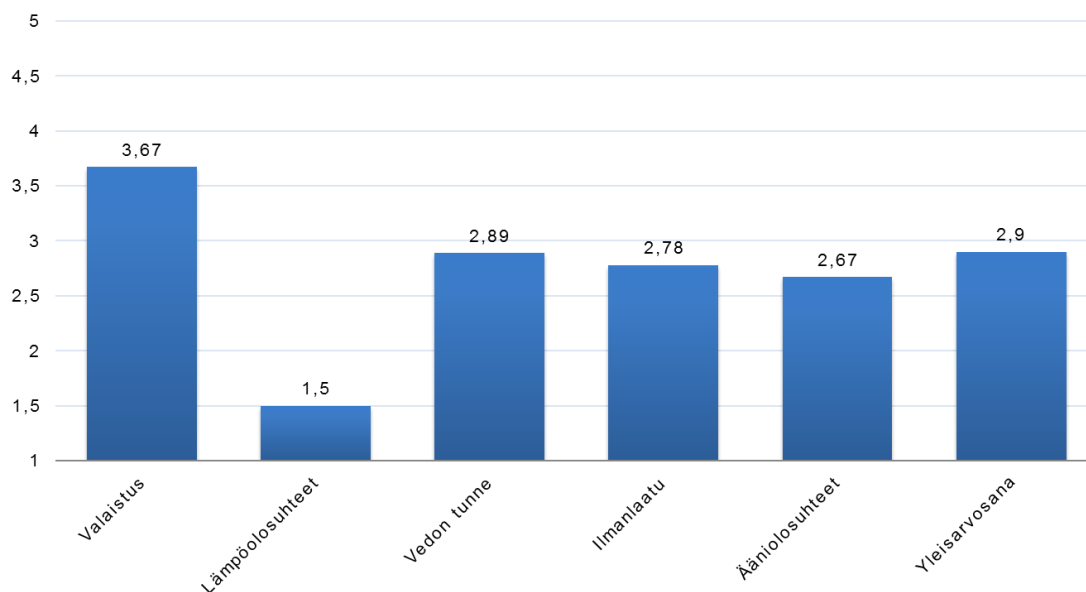
6.2.2 Käyttäjäkyselyn tulokset

Toimivuustarkasteluun liittyvän käyttäjäkyselyn tulokset on esitetty kuvissa 22 ja 23. Kuvassa 22 on henkilökunnan kyselyn tulokset ja kuvassa 23 koulun oppilaskunnan jäsenille tehdyn kyselyn tulokset. Kyselyssä arvoiteltiin eri sisäilmaston osa-alueet välillä 1-5. Vastaus 1 tarkoitti erittäin tyytymätöntä ja 5 erittäin tyytyväistä. Vastausvaihtoehto 3 tarkoitti sopivia neutraaleita olosuhteita. Lämpöolosuhteissa asteikko oli 1 = kylmä, 3 = sopiva ja 5 = kuuma. Vedontunne arvoiteltiin asteikolla, jossa 1 tarkoitti paljon vetoa ja 5 ei lainkaan vetoa.



Kuva 22: Rakennuksen henkilökunnalle tehdyn käyttäjäkyselyn tulokset. Osa-alueet arvoiteltiin kyselyssä välillä 1-5. Vastauksia kyselyssä saatiin 22 kappaletta. Lämpöolosuhteissa asteikko oli 1 = kylmä, 3 = sopiva ja 5 = kuuma.

Henkilökunnan vastausten keskiarvojen perusteella rakennuksen sisäilmasto on melko hyvä. Ilmanlaatua lukuun ottamatta kaikkien osa-alueiden keskiarvo on yli neutraalin mielihyvän eli arvosanan kolme. Valitukset olivat kyselyn eri kysymyksissä pääsääntöisesti samojen henkilöiden antamia. Monessa kyselyn vastauksessa moitittiin, että eri järjestelmien kuten valojen käyttö on vaikeaa. Laitteiden käyttöön ei ole annettu opastusta eikä käyttöohjeita ole.



Kuva 23: Koulun oppilaskunnan jäsenille tehdyn käyttäjäkyselyn tulokset. Osa-alueet arvoستettiin kyselyssä välillä 1-5. Vastauksia kyselyssä saatiin 9 kappaletta. Lämpöolosuhteissa asteikko oli 1 = kylmä, 3 = sopiva ja 5 = kuuma.

Koulun oppilaskunnan jäsenet ovat valaistusta lukuun ottamatta jokaisella osa-alueella tyytymättömämpiä kuin henkilökunta, kuten kuvasta 23 havaitaan. Erityisesti lämpöolosuhteisiin ollaan tyytymättömiä, sillä kaikkien vastaajien mielestä koulussa on kylmä. Kommentteja osa-alueista oppilailta tuli hyvin niukasti, joten tarkempi analysointi niiden perusteella on vaikeaa.

Syyt valitukseen kylmyydestä on seuraavalla lämmityskaudella syytä tutkia, sillä oppilaiden lisäksi osa henkilökunnasta ei ollut täysin tyytyväisiä. Myös ilmanvaihdon aiheuttamasta vedosta tulleet yksittäiset valitukset on hyvä selvittää, sillä todennäköisesti ongelma voi ratketa pienellä päätelaitteen säädöllä.

Lämpötilan ja hiilidioksidin osalta automaatiojärjestelmästä oli tarkoitus käydä läpi trendiseurannat. Seuranta ei kuitenkaan onnistunut, sillä huonetrendejä ei oltu asetettu automaatiojärjestelmään ja asia huomattiin vasta, kun koulun lukukausi oli päättynyt.

6.2.3 Tarkastusmittaukset rakennuksessa

Rakennuksen teknisen tarkastelukierroksen perusteella valittiin tehtäväksi joitakin mittauksia. Mittaukset suunniteltiin tehtäväksi kesäkuun lopulla, kun koulu on suljettu. Valitettavasti mittaukset eivät sopineet tämän tutkimuksen aikatauluun, joten niihin ei päästy mukaan. Tarkoituksena rakennuksesta on mitata kahden päivän aikana tarkastelun vetäjän (2016) sähköpostilla lähettämän listan mukaan

- IV-lämmitys- ja IV-jäähdytysverkostojen kokonaisvirtaamat lämmönjakokeskukselta, verkostojen venttiilit pakotettuna kiinni ja kaikkien tuloilmakoneiden venttiilit auki

- patterikohtaiset lämmitys- ja jäähdytysvirtaamat tuloilmakoneilta
- konekohtaiset tuloilmavirrat tehostuspellit pakotettuina auki
- huonetilojen ilmavirtoja, niin paljon kuin 10 tunnin työpäivänä ehditään
 - tehostuspellit pakotettuna kiinni tulo- ja poistoilmavirta sekä luokan ja käytävän välinen paine-ero
 - tehostuspellit auki vastaavat mittaukset kuin pellin ollessa kiinni
- keittiöstä tuloilmakoneen Retermia-LTO-verkoston virtaamat
- painesuhteiden säilyminen teknisen työn hitsaus- maalaus ja purunpoistojen ollessa päällä
- kotitalousluokan tehostuspeltien toiminta ja painesuhteiden säilyminen. Yksi moottori oli täällä akseliltaan irti.

6.3 Case C – Tapre:n mukainen toimivuustarkastelu

Kolmas toimivuustarkastelu tehtiin samassa kunnassa kuin case B. Tarkasteltava kohde, joka on esitetty kuvassa 24, on syksyllä 2009 käyttöön otettu lukio. Kiinteistöhuolto rakennuksessa ei ole ollut keskitetyn huollon piirissä koko käyttöaikaansa. Tärkein syy toimivuustarkastelun järjestämiselle jo pitemmän aikaa käytössä olleelle rakennukselle on, että tarpeenmukaisen ilmanvaihdon vyöhykesäätöjen epäillään olevan epätasapainossa. Samalla tarkastelun avulla rakennuksen ja sen järjestelmien toimivuudesta saadaan kokonaisvaltainen kuva. Toimivuustarkastelun vetäjä oli kohteessa sama kuin kohteessa B.



Kuva 24: Case C:ssä tarkasteltava rakennus kuvattuna teknisellä tarkastuskierroksella.

Toimintaa rakennuksessa on normaalisti kello 8.00- 18.00. Lisäksi liikuntasalissa on runsaasti ilta- ja viikonloppukäyttöä. Satunnaisesti iltakäyttöä on myös aulatilan esiintymislavalla. Opiskelijoita lukiossa on noin 400.

Tarkasteltavan rakennuksen laajuus on 7000 k-m² ja se on kolmekerroksinen. Sisääntuloaula on koko rakennuksen korkuinen ja sinne on sijoitettu myös suuri esiintymislava. Keittiötä ja ruokalaa rakennuksessa ei ole, vaan opiskelijat käyvät ruokailemassa naapurirakennuksen ruokalassa.

Rakennukselle ei ole asetettu mitään erityisiä energiatehokkuustavoitteita, vaan esimerkiksi rakenteet on tehty rakennuksen suunnittelunaikaisien rakentamismääräysten mukaisesti. Rakennuksen runko on betonielementtirakenteinen. Rakennus lämpenee kaukolämmöllä. Ilmanvaihtokonehuoneita rakennuksessa on kolme, joissa on yhteensä kuusi ilmanvaihtokonetta. Valaistus on toteutettu rakennuksessa koulurakennukselle perinteiseen tapaan loisteputkivalaisimin.

6.3.1 Tekninen tarkastuskierros

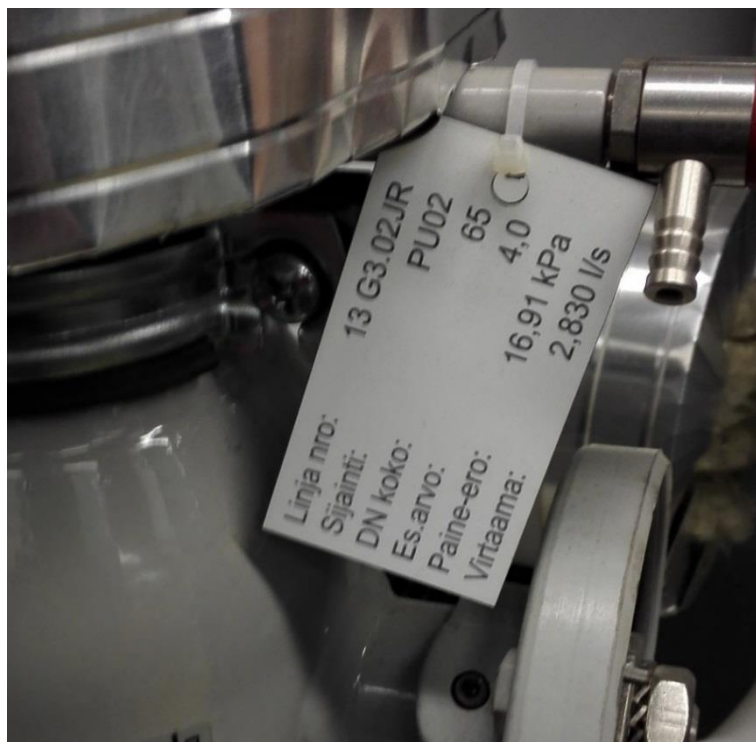
Tarkastelukierros rakennuksessa oli sisällöltään hyvin samankaltainen kuin edellisenä päivänä tehty kierros case B:ssä. Kierroksen tekoa nopeutti myös, että huoltomies oli rakennuksessa sama kuin case B:ssä. Kierrokselle osallistui tällä kertaa tarkastelun vetäjän ja huoltomiehen lisäksi rakennuksen vahtimestari. Rakennus oli siirtynyt kierroksella mukana olleen huoltomiehen kohteeksi viime syksynä, joten kaikki asiat eivät vielä olleet hänelle täysin tuttuja. Vahtimestari on työskennellyt rakennuksessa sen valmistumisesta saakka.

Tarkastelu alkoi tuttuun tapaan vahtimestarin työpisteeltä automaatiojärjestelmän läpikäymisellä. Rakennuksen iästä johtuen automaatiojärjestelmä oli käyttöliittymältään selvästi alkeellisempi kuin esimerkiksi case B:ssä. Sisältö järjestelmässä oli melko hyvä, mutta puutteitakin oli. Case B:n tapaan järjestelmästä puuttuivat pohjakuvat, joissa on esitetty huoneiden mittaustiedot lämpötilan ja hiilidioksidin osalta. Automaatiojärjestelmän mukaan ulkoilman lämpötila oli +23°C, vaikka se todellisuudessa oli vain +12°C. Ero mitatun ja todellisen välillä indikoi siitä, että ulkolämpötila-anturi on asennettu paikkaan, johon paistaa aurinko. Anturi tulisi ehdottomasti siirtää, sillä väärä mittaustieto sekoittaa talotekniikan toimintaa, sillä automaatiossa monen järjestelmän säätäminen perustuu ulkolämpötilaan. Automaatiojärjestelmän tarkastelun ohessa haastateltiin huoltomiestä huoltokäytännöistä. Rakennuksessa on case B:n tapaan Haahtelan sähköinen huoltokirja, jonka huoltokalenteria noudatetaan.

Ilmanvaihdon lisäaikakytkimet olivat sijoitettuna vahtimestarin huoneeseen. Vahtimestari piti kytkinten sijoitusta epäonnistuneena, sillä esimerkiksi esiintymislavan iltakäyttäjät eivät pääse kytkimiä käyttämään, sillä vahtimestarin huone on lukittuna. Parempi paikka olisikin esimerkiksi esiintymislavan valokytkimien yhteydessä, jolloin käyttäjät voivat käyttää kytkimiä. Vahtimestarin mukaan viikonloppuisin töissä olleet opettajat ovat valittaneet ilman tunkkaisuudesta. Viikonloppuisin ilmanvaihtokoneet ovat sammutettuina ja vain erillispoistoja on päällä. Normaalina käytönaikana valituksia ei lukio-

opettajilta ilmanlaadusta ei ole tullut. Homekoulusta evakossa olleilta valituksia ilmanlaadusta on sen sijaan jonkin verran tullut. Huoltomiehen mukaan homekoulusta tulleet valittavat ilmanlaadusta muissakin rakennuksissa, joissa sitä vakituisesti käyttävät eivät valita.

Varsinainen kierros aloitettiin jälleen ilmanvaihtokonehuoneiden tarkastelulla. Ilmanvaihtokonehuoneita rakennuksessa on kolme. Tarkasteltavat asiat olivat samat kuin case B:ssä. Kulku- ja haalausreitit olivat huoneisiin yhtä lukuun ottamatta hyvät. Yhteen konehuoneeseen joutui kulkemaan opettajainhuoneen ja siellä olevan neuvotteluhuoneen läpi. Neuvotteluhuoneessa oli lisäksi kalusteita edessä niin, että ovet eivät auenneet ilman kalusteiden siirtelyä kokonaan. Yhdessäkään konehuoneessa ei ollut suunnitelmia ja järjestelmäkaavioita saatavilla. Koneet ja laitteet oli asianmukaisesti merkitty ja linjasäätöventtiilien asetusarvot oli merkitty esimerkillisen hyvin (kuva 25). Osasta säätö- ja sulkupelejä puuttui pellin asennonosoittimet. Osoittimet tulisi olla, sillä vaikka säätömoottorista näkee asennon, niin pellin akseli voi olla irronnut moottorilta, jolloin moottori voi ilmaista auki-asentoa, vaikka pelti on kiinni.



Kuva 25: Esimerkillisen hyvin tehty säätöventtiilin säätöarvon merkintä.

Ilmanvaihtokonehuoneista siirryttiin vesikatolle. Vesikatolla tarkastelun kohteena olivat poistoilmapuhaltimet. Puhaltimista tarkastettiin merkinnät, turvakytkimet ja että laitteet ovat silmämääräisesti kunnossa. Kahdessa puhaltimessa oli suodattimilla paine-eromittaus. Mittalaitteet oli sijoitettu puhaltimien suojapeltiin kiinni ulos. Kyseiset mittarit eivät kuitenkaan saisi olla ulkotiloissa. Niiden sijoitusta tulisi muuttaa niin, että ne saataisiin lämpimiin tiloihin. Vesikaton kuntoa ja varusteita tutkittiin silmämääräisesti katolla kulkiessa.

Vesikatolta siirryttiin lämmönjakohuoneeseen. Kulkutiet ja ovet huoneeseen olivat hyvät, mutta itse huone oli täynnä sinne kuulumatonta tavaraa. Vahtimestarin mukaan huone on tarkoitettu tyhjentää koulun kesälomien alkaessa. Itse huoneessa tarkastettiin jo aiemmilta kierroksilta tutut asiat

- kenttälaitemerkinnät
- linjasäätöventtiilien säätöarvokilvet ja suojaetäisyydet
- venttiilien asennonosoittimet
- piirustusten ja kaavioiden löytyminen tilasta
- huollettavuus ja käytön helppous
- putkistojen eristykset.

Merkittävin ongelmakohta lämmönjakohuoneessa oli, että lämpimän käyttöveden ja lämmityksen lämpötila-anturit olivat pintamittareita. Pieni viive lämmitysverkon lämpötilan mittauksessa ei vielä haittaa, mutta lämpimän käyttöveden lämpötila voi laskea liian alas, kun muutokset näkyvät mittarissa viiveellä.

WC-tilat tarkasteltiin case B:n tapaan pistokoeluontoisesti, sillä niissä ei ole ollut vahtimestarin ja huoltomiehen mukaan ongelmia. Aulatilat ja eteiset käytiin haastattelemalla läpi myös. Oviverhopuhaltimissa on ollut joitakin ongelmia, sillä ne eivät ole aina käynnistyneet, vaikka pitäisi. Ongelmaan on auttanut virrankatkaisu ja takaisin päälle kytkeminen. Laitteita ei ole kytketty VAK:iin, joten niiden toiminnasta ja ohjauksista on vaikea saada tarkempaa tietoa.

Liikuntasalia tarkastellessa paikalle tuli sattumalta liikunnanopettaja, jolta saatiin paljon tietoa tilaan liittyen. Liikuntasalin voi jakaa kolmeen lohkokoon, mutta valaistusta ei voi ohjata lohkoittain. Sama valaistustaso on siis joka lohkolla, mikä opettajan mukaan häiritsee esimerkiksi silloin, kun toisella lohkolla pelataan ja toisella pidetään esimerkiksi rentoutumisharjoitus. Salissa on myös äänentoistolaitteisto, jonka käyttö on opettajan mukaan vaikeaa. Opettaja on itse opetellut laitteen käytön, mutta sähkökatkon takia asetukset ovat sotkeutuneet niin, että äänen ohjaus salin eri lohkoille ei toimi kunnolla. Järjestelmä näytti hyvin monimutkaiselta, eikä mitään käyttöohjeita ollut saatavilla.

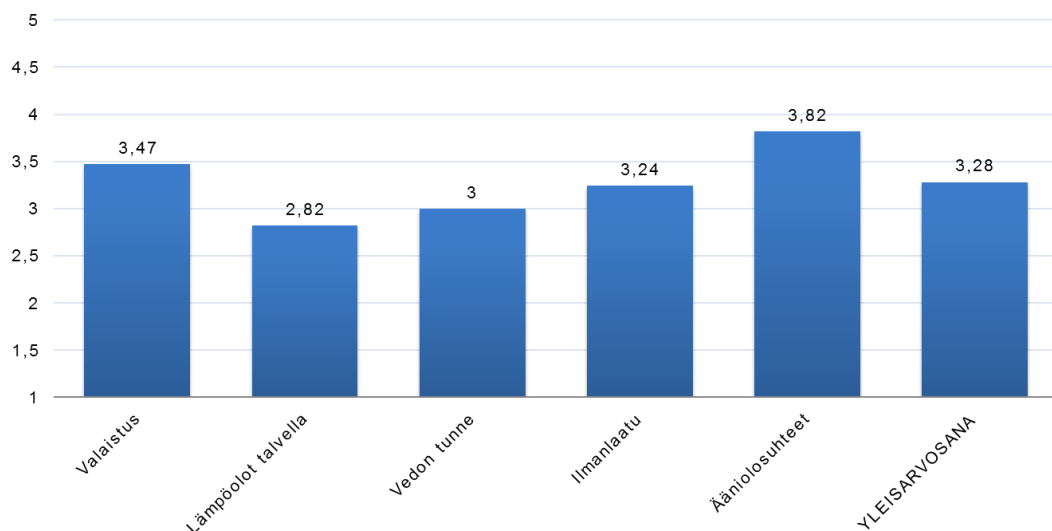
Kierroksen lopulla käytiin tarkastelemassa kolmea luokkaa, joissa ei ollut opetusta. Luokat valittiin talon siltä puolelta, joihin aurinko paistaa. Luokissa oli ollut aluksi ongelmia auringonpaisteen kanssa, mutta tilanne parani, kun luokkiin asennettiin pimennysverhot. Ilmanvaihtoa tiloissa havainnointiin luokanoven avulla normaalitilanteessa ja ilmanvaihdon tehostuksen ollessa päällä. Kuten oli epäiltykin ilmanvaihdon säädöt ovat epätasapainossa. Yksi luokka oli esimerkiksi normaalilla ilmanvaihdolla selvästi alipaineinen ja tehostuksella taas ylipaineinen. Mittausanturit luokissa olivat ovien vieressä, joka ei ole hyvä paikka, sillä käytävän ilma pääsee huuhtelemaan mittaria, kun ovi on auki.

Kierroksella saatiin paljon tietoa rakennuksen toimivuudesta. Tämän kierroksen, käyttäjäkyselyn tulosten ja tulevilla viikoilla tehtävien trendiseurantojen perusteella aletaan suunnitella rakennukseen toista käyntiä, jolla mitataan esimerkiksi ilmamääriä.

6.3.2 Käyttäjäkyselyn tulokset

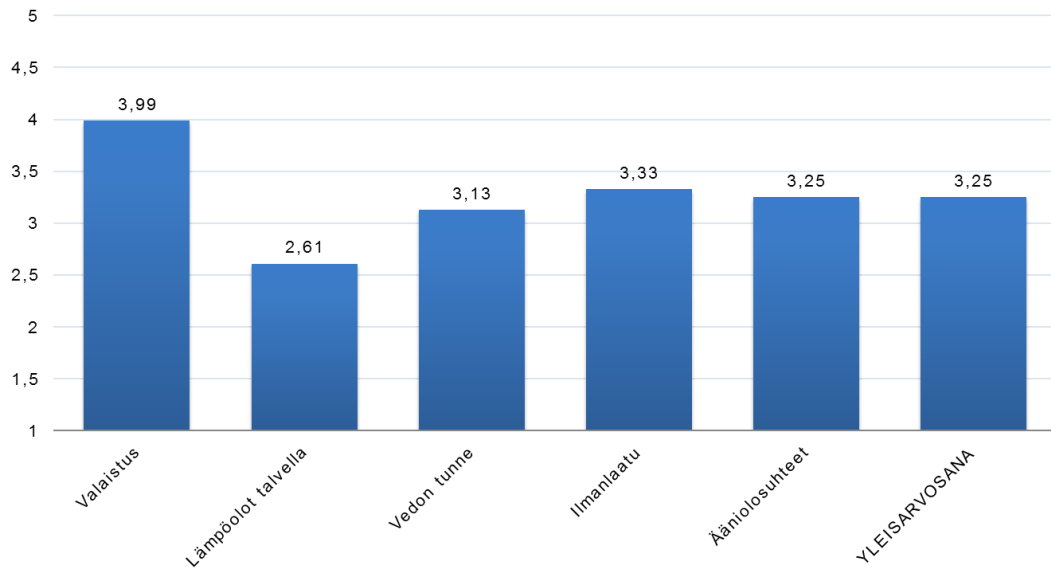
Käyttäjäkyselyn kysymykset olivat case C:ssä samat kuin case B:ssä eli kyselyssä arvoiteltiin eri sisäilmaston osa-alueet välillä 1-5. Vastaus 1 tarkoitti erittäin tyytymätöntä ja 5 erittäin tyytyväistä. Vastausvaihtoehto 3 tarkoitti sopivia neutraaleita olosuhteita. Lämpöolosuhteissa asteikko oli 1 = kylmä, 3 = sopiva ja 5 = kuuma. Vedontunne arvoiteltiin asteikolla, jossa 1 tarkoitti paljon vetoa ja 5 ei lainkaan vetoa.

Kysely teetettiin erikseen koulun henkilökunnalle ja opiskelijoille. Kysymykset kyselyissä olivat samat. Henkilökunnan tulokset on esitetty kuvassa 26 ja opiskelijoiden kuvassa 27.



Kuva 26: Henkilökunnan kyselyn tulokset. Vastauksia kyselyssä saatiin 17 kappaletta.

Henkilökunnan vastausten perusteella mitään erityisen suuria ongelmia rakennuksessa ei ole. Kyselyssä annetut kommentit koskivat pääosin asioita, jotka tulivat jo tarkastelukierroksella esille. Esimerkkeinä salin valot sekä sisään paistava aurinko. Valaistuksen liiketunnistimissa oli muutamien käyttäjien mukaan ongelmana se, että ne kytkevät valot päälle vasta, kun pimeässä käytävässä on ehtinyt kävellä jo jonkin matkaa. Käyttökoulutusta koulun henkilökunta ei ollut saanut. Ilmanlaatuun liittyvät valitukset liittyivät viikonloppuihin ja maanantaiaamuihin, mikä selittynee sillä, että ilmanvaihto rakennuksessa ei ole päällä viikonloppuisin.



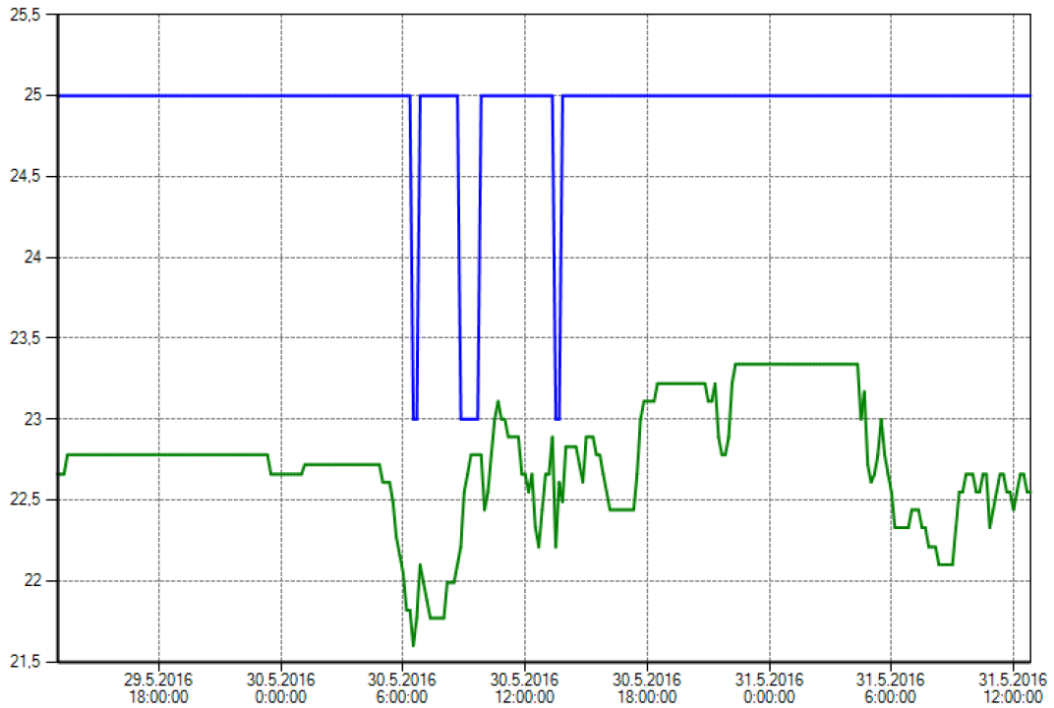
Kuva 27: Opiskelijoiden kyselyn tulokset. Vastauksia kyselyssä saatiin 48 kappaletta.

Vastaavasti kuin opettajat, koulun opiskelijat pitävät rakennuksen sisäilmastoa hyvänä. Hajonta vastauksissa oli kuitenkin paljon suurempaa kuin opettajilla. Esimerkiksi vedon tunteen ja ilmanlaadun osalta vastaukset jakautuivat lähes tasan kaikille vaihtoehdoille. Ääniolosuhteisiin liittyvät valitukset liittyivät kaikki koulussa evakossa olleisiin alakouluun, jotka pitävät huomattavasti enemmän melua kuin mihin koulussa on totuttu.

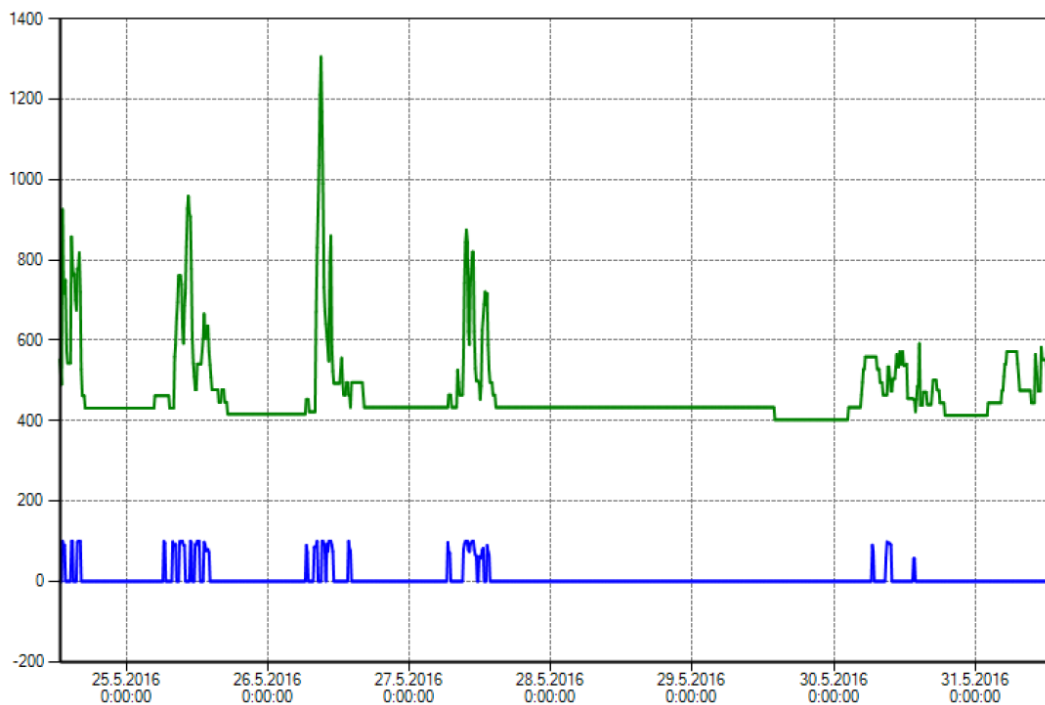
6.3.3 Lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden trendiseurannat

Huonekohtaisia trendejä lämpötilan ja hiilidioksidin osalta käytiin toimivuustarkastelussa läpi. Joitakin puutteita itse trendien muodostamisessa havaittiin, sillä joitakin mittauksia puuttui ja hiilidioksidipitoisuus- ja lämpötilatrendit eivät olleet samalla aikaskaalalla kuten pitäisi.

Kuviin 28 ja 29 on valittu esimerkkinä lämpötila- ja hiilidioksiditrendit historian luokasta, jossa hiilidioksidipitoisuus nousi seurantajaksolla tarkastelluista tiloista korkeimmalle. Lämpötila luokassa on pysynyt ulkoilman lämpötilaan nähden sopivalla tasolla, alle 23,5°C, mutta hiilidioksidipitoisuus luokassa lähentelee päivittäin 1000 ppm-tasoa ja yhtenä päivänä pitoisuus on ollut peräti 1300 ppm. Tulevissa mittauksissa aiotaankin keskittyä juuri näihin ongelmallisimpiin huoneisiin ja niiden ilmamäärien mittaamiseen. Yleisesti sisäilmaston laatu on mittausten perusteella kunnossa. Sisäilmastoluokituksen S2-taso toteutuu lähes kaikissa luokissa. Tiloja, joissa hiilidioksidipitoisuus nousee yli 900 ppm:n on vähän ja ylitykset ovat lyhytaikaisia.



Kuva 28: Lämpötila historian luokassa on esitetty vihreällä viivalla. Sininen viiva kuvaa säätöviestiä. Lämpötilan asetusarvo on 25°C , kun luokka on tyhjä ja 23°C , kun liiketunnistin havaitsee liikettä tilassa.



Kuva 29: Ilman hiilidioksidipitoisuus historian luokassa. Yhtenä päivänä hiilidioksidipitoisuus on noussut korkeaksi, noin 1300 ppm -tasoon. Sininen käyrä kuvaa IMS:n säätöviestiä.

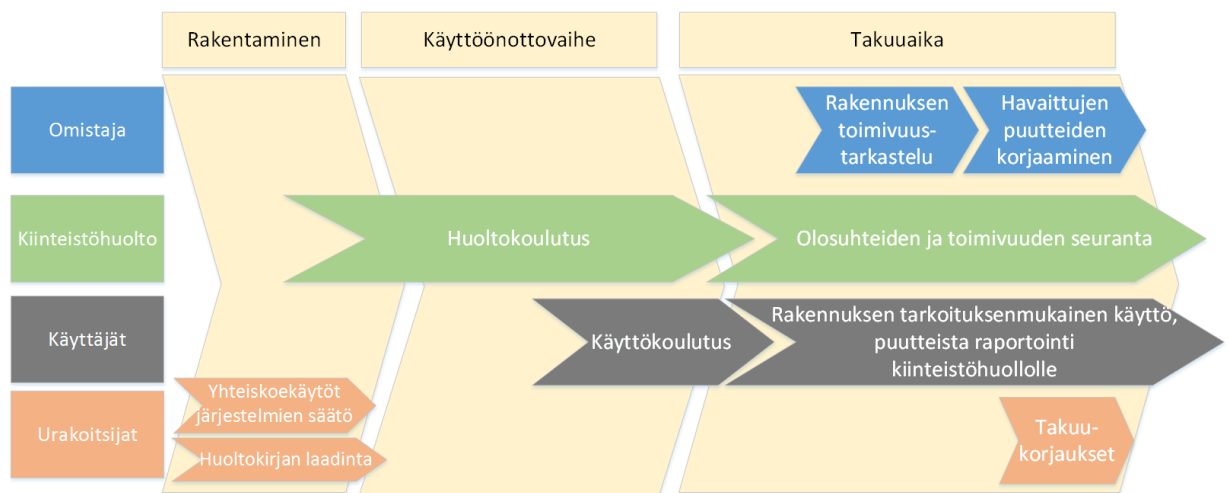
6.3.4 Tarkastusmittaukset rakennuksessa

Vastaavasti kuin case-kohteessa B tarkastusmittaukset kohteessa tehdään kesäkuun lopussa. Sisällöltään mittaukset ovat samankaltaiset kuin case B:ssä. Mittauksille on varattu yksi päivä. Tarkastelun vetäjän (2016) lähettämän sähköpostin mukaan rakennuksesta mitataan

- IV-lämmitys- ja IV-jäähdytysverkostojen kokonaisvirtaamat lämmönjakokeskuksesta, verkostojen venttiilit pakotettuna kiinni ja kaikkien tuloilmakoneiden venttiilit auki
- patterikohtaiset lämmitys- ja jäähdytysvirtaamat tuloilmakoneilta
- konekohtaiset ilmavirtaamat tuloilmakoneilta IMS:it pakotettuina auki
- lopuksi huonetilojen ilmavirtoja, niin paljon että 10 tunnin työpäivä on täynnä
 - tulo- ja poistoilmavirta sekä luokan ja käytävän välinen paine-ero, kun IMS:it ovat pakotettu minimille
 - tulo- ja poistoilmavirta sekä luokan ja käytävän välinen paine-ero, kun IMS:it ovat pakotettu maksimille.

7. HYVÄN SISÄILMASTON VARMISTAMISEN PROSESSI

Hyvän sisäilmaston varmistamisen prosessi on muodostettu kirjallisuusosiossa löydetyn teorian perusteella ja sitä on täydennetty case-kohteissa tehtyjen havaintojen perusteella. Kuvassa 30 on esitelty prosessin tärkeimmät tehtävät ja ne esitellään tarkemmin alaluvuissaan. Rakentamisvaiheen loppu ja käyttöönotto vaihe on esitetty mukana prosessissa niiltä osin kuin niissä olevat tehtävät liittyvät kiinteästi takuuajan hyvän sisäilmaston varmistamiseen.



Kuva 30: Hyvän sisäilmaston varmistamisen prosessi rakentamisvaiheen lopusta takuuajan päättymiseen.

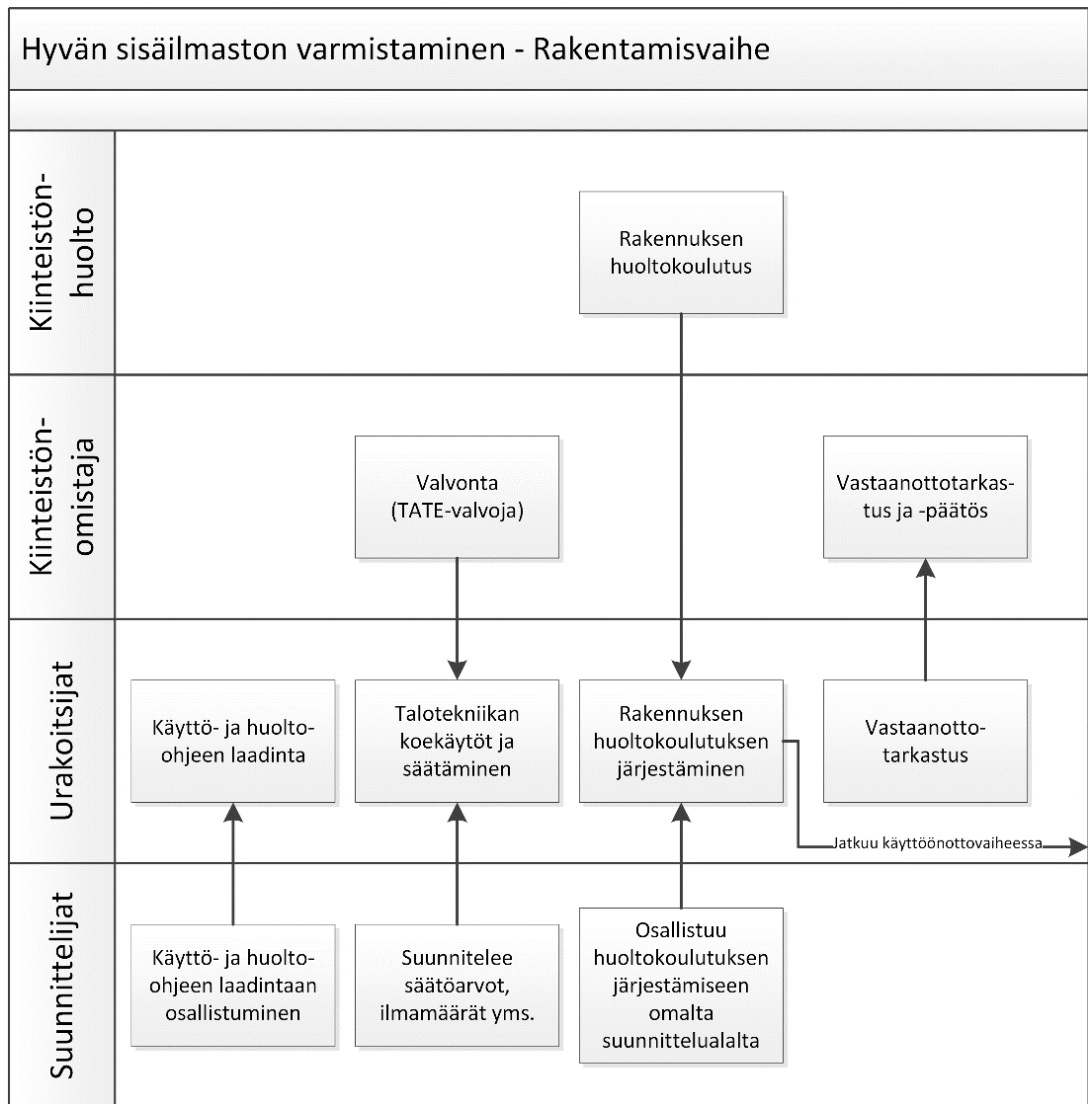
Prosessin osat ovat jo nykyisin yleisesti tiedossa, mutta tutkimuksen havaintojen perusteella monet tehtävät tehdään puutteellisesti tai laiminlyödään kokonaan. Muutoksen prosessin käyttöönottoon tulee lähteä rakennushankkeisiin ryhtyviltä. Tilaajan täytyy itse tiedostaa prosessin vaiheet sekä vaatia ja valvoa, että ne todella tehdään laadukkaasti. Ensimmäinen keino varmistaa hankeosapuolten sitoutuminen prosessin vaiheisiin on, että tehtävät ja niille asetettavat vaatimukset huomioidaan urakka- ja suunnittelusopimuksissa ja vaiheiden suorittamiset sidotaan maksueriin. Toisaalta sitoutumista voisi vahvistaa myös palkitsemalla esimerkiksi käyttökoulutuksen oppimistulosten perusteella.

7.1 Rakentamisvaiheen tehtävät

Rakentamisvaiheen lopussa luodaan edellytykset sille, että rakennuksen sisäilmasto on heti käyttöönottovaiheesta lähtien hyvä ja talotekniikka toimii oikein. Huolella tehdyt talotekniikan koekäytöt ja järjestelmien säädöt ovat tärkein yksittäinen tehtävä hyvän sisäilmaston varmistamisessa rakentamisvaiheen lopussa. Yhteiskoekäyttöille ja säätämislle on varattava riittävä aika, jotta järjestelmät ehditään saada toimimaan suunnitellusti, kun rakennus otetaan käyttöön. Talotekniikan säätötyö voi helposti kestää hyvin suoritettuna yli kuukauden. Talotekniikkaa voi ja pitäääkin hienosäätää vielä käytön aikana, mutta säädöt tulee lähtökohtaisesti saada kuntoon ennen rakennuksen käyttöönottoa.

Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeen laadinta tulee aloittaa jo suunnittelun aikana ja sen tulee valmistua rakentamisen aikana ennen kuin rakennus luovutetaan tilaajalle. Käyttö- ja huolto-ohjeen valmistuttua voidaan aloittaa kiinteistönhoidosta vastaavien käyttö- ja huoltokoulutus. Tässä vaiheessa koulutus on vielä teoriapainotteista, sillä käytännön harjoittelua ei voida vielä täysipainoisesti tehdä. Pääpaino koulutuksessa onkin vasta käyttöönottovaiheessa, kun rakennuksen järjestelmiä päästään käyttämään. Hyvä työnjako käyttö- ja huoltokoulutusten järjestämiseen on, että suunnittelijat kouluttavat järjestelmien toimintaan, toiminta-arvoihin sekä poikkeustilanteiden toimintaan liittyvät asiat ja urakoitsijat vastaavat käyttöön ja huoltoihin liittyvistä asioista. Koulutuksissa tulee huomioida koulutettavien lähtötaso ja suunnitella koulutus sen mukaan. Kirjallisen käyttö- ja huoltokoulutussuunnitelman vaatiminen sekä koulutusten sitominen maksuerään pakottaisi suunnittelijat ja urakoitsijat suunnittelemaan koulutukset paremmin ja myös toteuttamaan ne. Käytännössä koulutuksia ei järjestetä, jos niitä ei vaadita, joten paljon on kiinni myös tilaajan päättäväisyydestä.

Rakentamisvaihe päättyy vastaanottotarkastukseen ja rakennushankkeen tilaajan vastaanottopäätökseen. Hyvän sisäilmaston kannalta tärkeimmät tehtävät rakentamisvaiheen aikana on esitetty kuvassa 31. Kuvassa on esitetty myös eri hankeosapuolten osallistuminen eri tehtäviin.

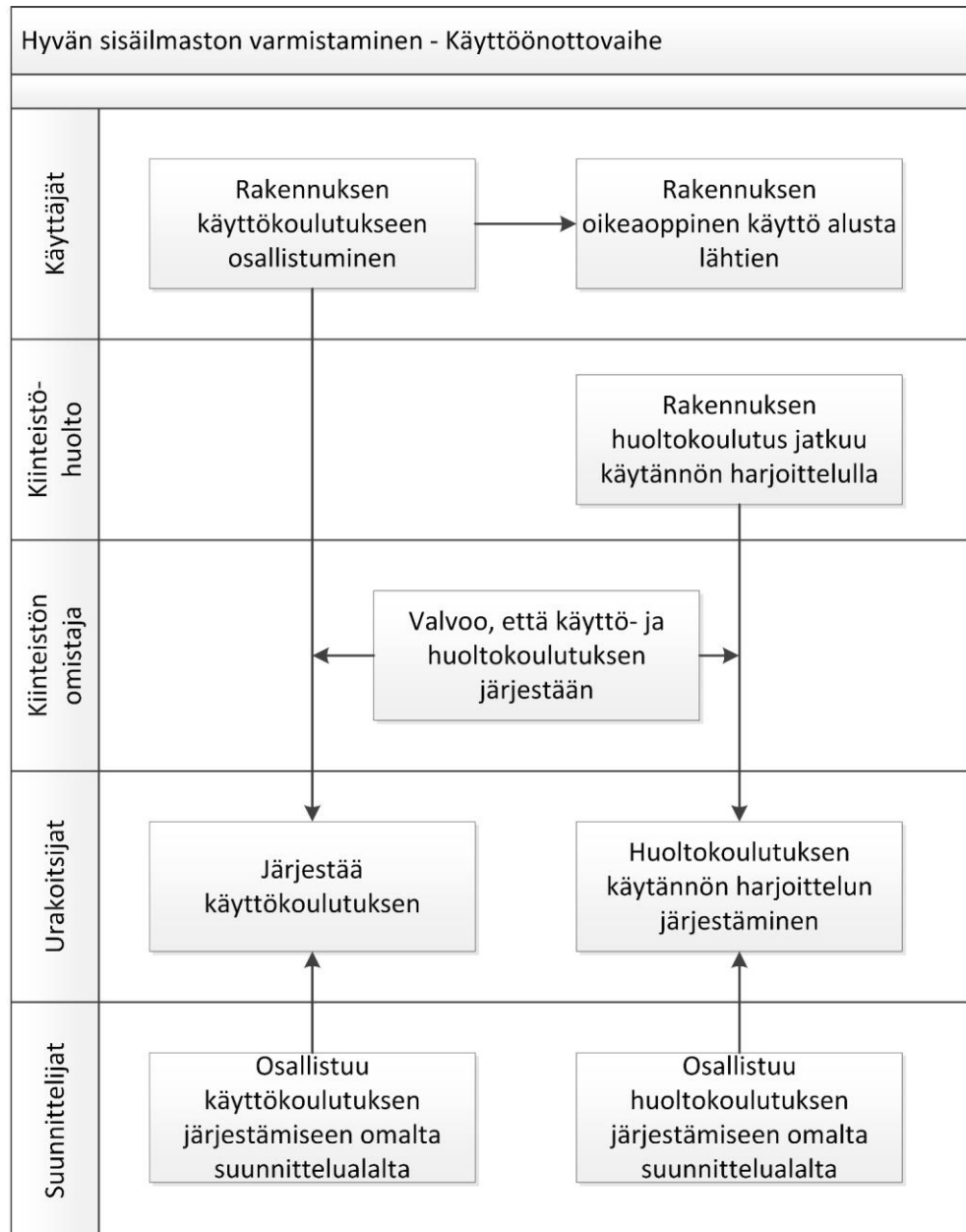


Kuva 31: Rakentamisvaiheen tehtävät hyvän sisäilmaston varmistamiseksi.

7.2 Käyttöönotto- vaiheen tehtävät

Käyttöönotto-
vaiheen tehtävät liittyvät rakennuksen käytön mahdollisimman tehokkaan aloittamiseen. Rakennuksen tehokas ja oikeanlainen käyttö opetetaan käyttäjille heti, kun rakennus on vastaanotettu ja valmiina käyttöön. Samalla opastetaan mistä rakennuksen käyttöön voi saada myös myöhemmin apua esimerkiksi käyttöohjeiden muodossa.

Käyttöönotto-
vaiheessa huoltohenkilöstön koulutus rakennuksen huoltoon päästään aloittamaan käytännössä. Pääpaino koulutuksessa on käytännön säätö- ja huoltotöiden oppimisessa sekä poikkeustilanteissa toimimisen oppimisessa. Käyttöönotto-
vaiheen tehtävät on esitetty kuvassa 32.



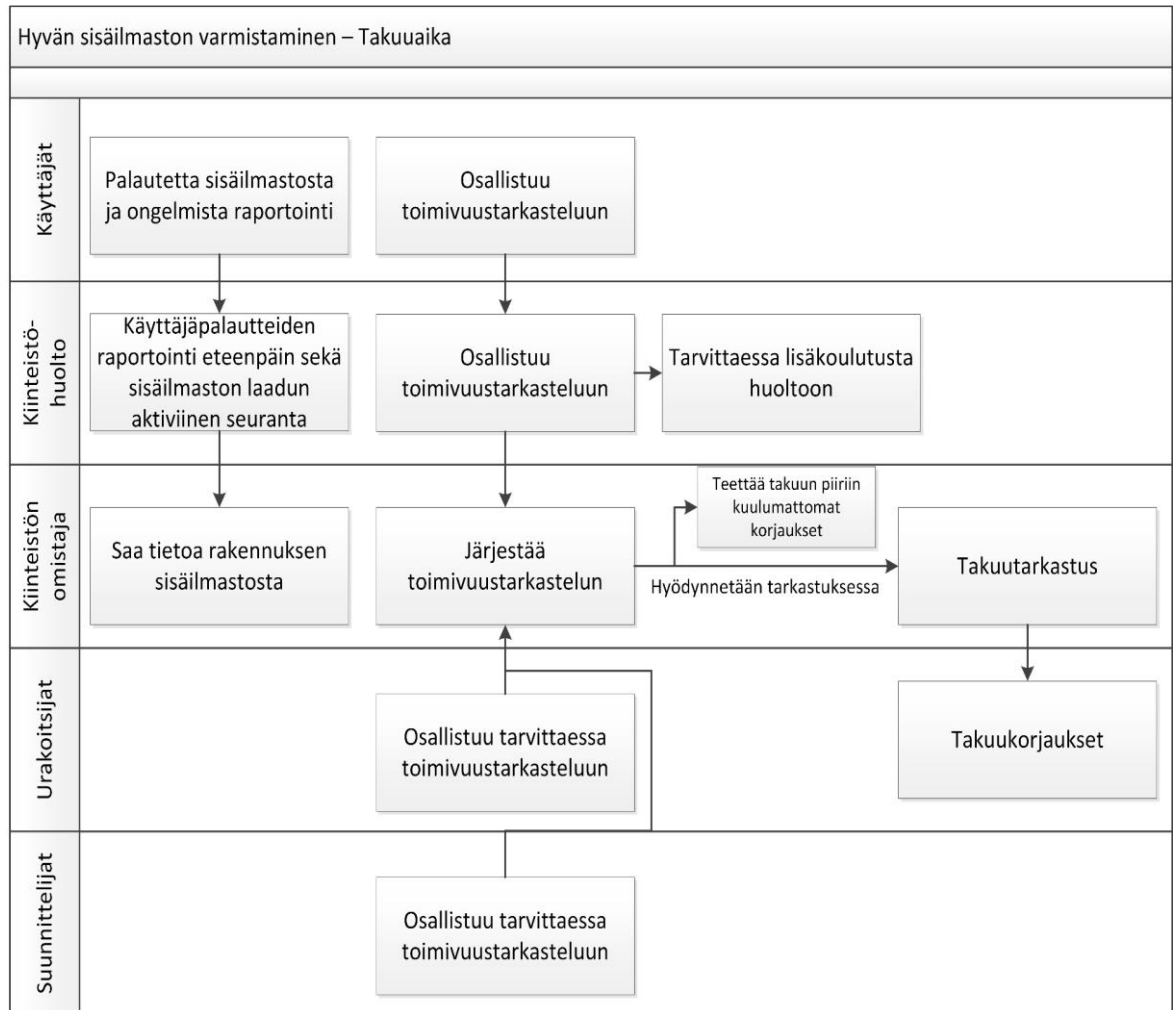
Kuva 32: Käyttöönotto vaiheen tehtävät hyvän sisäilmaston varmistamiseksi.

7.3 Takuuajan tehtävät

Rakennuksen takuuajana rakennuksen huoltohenkilöstön tulee tarkkailla rakennuksen sisäilmastoa ja talotekniikan toimintaa normaalia tarkemmin. Rakennuksen käyttäjien tulee ilmoittaa sisäilmastoon liittyvistä havainnoista kiinteistöhoito-organisaatiolle, jotta mahdolliset vian aiheuttajat voidaan heti löytää ja korjata. Rakennuksen sisäilmastoon, toiminnallisuuteen ja energiatehokkuuteen liittyvät viat tulee korjata heti, kun ne havaitaan eikä kerätä vikalistaa, joka korjataan vasta, kun kahden vuoden takuu aika on lopussa. Pienillä vioilla ja esimerkiksi vain ulkonäköön vaikuttavilla asioilla ei ole yhtä kiire. Sisäilmaston seuranta on erityisen tärkeää korjaushankkeissa, joissa on korjattu sisäilma-ongelmia, jotta voidaan varmistua korjausten onnistumisesta. Korjaushankkeissa, joissa

korjataan sisäilmaongelmia, jälkiseurannasta pitää tehdä erillinen suunnitelma jo hankkeeseen ryhtyessä.

Yksittäisistä takuuajan varmistustoimista tärkein on rakennuksen toimivuustarkastelu. Tarkastelun avulla rakennuksen järjestelmät voidaan virittää sisäilmaston ja energiatehokkuuden kannalta parhaalle mahdolliselle tasolle. Toimivuustarkastelussa tehtyjä havaintoja voidaan hyödyntää myös rakennuksen takuutarkastuksessa. Takuutarkastus ja viimeistään sen perusteella tehtävät takuukorjaukset päättävät rakennuksen takuuajan. Takuuajan tehtävät on esitetty kuvassa 33.



Kuva 33: Takuuajan tehtävät hyvän sisäilmaston varmistamiseksi.

7.4 Toimivuustarkastelut

Case-kohteissa tehtyjen havaintojen perusteella voitiin luoda taulukko toimivuustarkastelun kulusta ja pääperiaatteista. Seuraavan sivun taulukkoon 7 on kerätty tarkastelun keskeisimmät tehtävät pääsisältöineen sekä tehtäviin mahdollisesti osallistuvat henkilöt ja ryhmät. Mukana olevat osapuolet voivat vaihdella kohteista riippuen. Case-kohteissa toimivuustarkastelun hankinnasta ja koordinoinnista vastasi molemmissa case-kunnissa

kunnan LVI-insinööri. Käytäntö todettiin toimivaksi, sillä suurin osa tarkasteluiden parannus- ja korjausehdotuksista liittyy talotekniikkaan. Kun LVI-insinööri on aktiivisesti mukana jo toimivuustarkastelussa, on hänen helpompi ryhtyä tarkastelun jälkeen korjausten järjestämiseen. Vastaavasti erillisen talotekniikka-asiantuntijan käyttö toimivuustarkastelun vetäjänä havaittiin case-kohteiden perusteella hyväksi käytännöksi. Urakoitsijoiden ja suunnittelijoiden osallistuminen toimivuustarkasteluun ei ole case-kohteiden perusteella välttämätöntä. Takuuajana tehtävään tarkasteluun urakoitsijat olisi kuitenkin hyvä ottaa mukaan tarkastelun loppupalaveriin ja raportin läpikäyntiin, jotta urakoitsija saa tiedot takuun piiriin kuuluvista korjauksista.

Taulukko 7: Toimivuustarkastelun tärkeimmät tehtävät pääsisältöineen.

Toimivuustarkastelun kulku		
Tehtävä	Tehtävän sisältö	Osallistujat
Toimivuustarkastelun hankinta	Päätetään tarkastelun sisällöstä ja kilpailutetaan tarkastelu. Laaditaan sopimus toimivuustarkastelun järjestämisestä.	Tilaaaja, tarkastelun vetäjä
Aloituspalaveri	Tarkastelun käytännön suorituksesta, tavoitteista ja aikatauluista sopiminen. Käytännössä vaihe voidaan järjestää sopimusten teon yhteydessä.	Tilaaaja, tarkastelun vetäjä, käyttäjä, huoltomies
Tarkasteltavaan rakennukseen tutustuminen	Tarkastelun vetäjä tutustuu tarkemmin tarkasteltavaan kohteeseen. Tilaaaja mahdollistaa pääsyn huoltokirjaan, automaatiojärjestelmään sekä suunnitelmiin.	Tilaaaja, tarkastelun vetäjä
Käyttäjäkysely	Tarkastelun vetäjä laatii rakennukseen ja tarkastelun tavoitteisiin sopivan käyttäjäkyselyn, joka lähetetään käyttäjille. Kyselyn tuloksia hyödynnetään teknisellä tarkastelukierroksella. Esimerkki kyselystä on esitetty liitteessä 1.	Tilaaaja, tarkastelun vetäjä, käyttäjät
Avainhenkilöiden haastattelut	Sähköistä käyttäjäkyselyä täydennetään avainhenkilöiden haastatteluin. Esimerkiksi koulussa voidaan haastatella rehtoria ja rakennuksen huoltomiestä. Haastattelut on hyvä tehdä tarkastelukierroksen ohessa.	Tarkastelun vetäjä, valitut käyttäjät
Tekninen tarkastelukierros	Rakennus tarkastellaan yhdessä rakennuksen huoltomiehen tai muun tilaajan edustajan kanssa. Tarkastelu painottuu talotekniikan toimivuuteen ja huollettavuuteen sekä rakennuksen sisäilmasto-olosuhteisiin.	Tarkastelun vetäjä, tilaaaja, huoltomies, käyttäjä
Sisäilmaston tarkastelu	Sisäilmaston osa-alueita ja laatua voidaan arvioida automaatiojärjestelmästä saatavien mittaustietojen avulla.	Tarkastelun vetäjä
Tarkastusmittaukset	Käyttäjäkyselyn, haastatteluiden ja teknisen tarkastelukierroksen perusteella kohteeseen tehdään tarvittavia talotekniikan ja sisäilmaston mittauksia.	Tarkastelun vetäjä
Energiatehokkuuden arviointi	Energiatehokkuutta arvioidaan kulutustietojen ja rakennukselle asetettujen energiatehokkuustavoitteiden perustella.	Tarkastelun vetäjä
Toimivuustarkastelun raportointi	Toimivuustarkastelusta laaditaan kirjallinen raportti, jossa on esitetty tarkastelussa tehdyt havainnot korjaus- ja parannusehdotuksineen.	Tarkastelun vetäjä
Loppupalaveri ja raportin läpikäynti	Toimivuustarkastelun loppuraportti käydään yhdessä läpi tilaajan sekä tarkastelun vetäjän kanssa. Tarvittaessa tilaisuudessa voi olla mukana myös esimerkiksi huoltomies, urakoitsija sekä suunnittelijoita.	Tilaaaja, tarkastelun vetäjä, huoltomies, käyttäjä, urakoitsija, suunnittelijat

8. POHDINTA

8.1 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tutkimuksen tuloksena saatua prosessikuvausta voidaan hyödyntää kaiken tyyppisissä rakennushankkeissa hyvän sisäilmaston varmistamiseksi. Prosessin kaikki vaiheet tulee tehdä, vaikka hankkeelle ei olisikaan asetettu erityisiä sisäilmasto- tai energiatehokkuustavoitteita. Prosessin vaiheet tulee huomioida jo suunnittelu- ja urakkasopimuksia laatiessa, jotta kaikki osapuolet saadaan sitoutettua prosessiin. Toimivuustarkastelun tehtävälistaa voidaan hyödyntää toimivuustarkasteluita tilattaessa, sillä tarkasteluista on vielä varsin vähän kokemuksia. Taulukon avulla saadaan pääpiirteissään kuva tarkastelun kuluista ja tehtävistä.

Kirjallisuuslähteiden perusteella havaittiin, että hyvien sisäilmasto-olosuhteiden merkitys ihmisten hyvinvointiin ja tuottavuuteen on suuri. On taloudellisesti järkevää varmistaa, että rakennuksissa on toiminnan kannalta juuri sopivat olosuhteet. Toisaalta ei sovi unohtaa energiatehokkuutta, mutta energiaa ei saa säästä sisäilmaston kustannuksella.

Entisestään kiristyvät energiatehokkuusmääräykset ja -tavoitteet eivät ole este hyvälle sisäilmastolle, vaikka ne omat haasteensa luovatkin. Erityisesti ilmanvaihdon säätötyöhön tarvitaan entistä huolellisempaa työtä, sillä tiiviiden rakenteiden takia ilma ei pääse enää vaihtumaan rakenteiden kautta, jolloin esimerkiksi paine-erot voivat rakennuksessa kasvaa suuriksi. Myös auringon aiheuttamat lämpökuormat tulee ottaa entistä paremmin suunnittelussa huomioon.

Tarpeenmukaisesti säätyvä ilmanvaihto on edellytys energiatehokkaalle rakennukselle. Ilmanvaihdon säätyminen tulee suunnitella huolellisesti, jotta tyhjiä tiloista ei vaihdeta liikaa ilmaa ja toisaalta ilmamäärät riittävät kovassakin kuormitustilanteessa. Tarpeenmukaisesti säätyvää ilmanvaihtojärjestelmää tulee normaalin kiinteistönhoidon ohessa tarkkailla perinteisiä järjestelmiä enemmän. Case-kohteissa havaittiin, että jo uudessakin rakennuksessa mitta-anturit voivat olla rikki tai tarpeenmukaisen ilmanvaihdon vyöhykesäädöt pahasti epätasapainossa esimerkiksi toimimattomien säätöpeltien takia.

Tutkimuksessa havaittiin, että vaikka rakennuksen takuuajana voidaan tehdä toimenpiteitä hyvän sisäilmaston laadun varmistamiseksi, on kaiken edellytyksenä kuitenkin hyvin tehty hankesuunnittelu, jossa on määritetty muun muassa sisäilmaston tavoitetasot ja rakennuksen käyttöprofiili. Lisäksi vaaditaan laadukasta suunnittelutyötä ja rakentamista. Jos rakennus ja sen järjestelmät on huonosti suunniteltu, ei niitä ole enää käytönaikana mahdollista ilman suuria muutoksia saada palvelemaan rakennuksen toimintaa halutulla tavalla. Toisaalta erinomaisesti suunnitellussa ja rakennetussa kohteessa voi olla ongel-

mia, jos järjestelmien säätö ja lopullinen viritys on laiminlyöty. Rakennuksen toimivuuden varmistamisesta täytyy siis huolehtia hankkeen kaikissa vaiheissa. Tärkeää on myös kouluttaa rakennuksen käyttäjät ja huoltohenkilöstö käyttämään ja huoltamaan rakennusta oikein, jotta he eivät toiminnallaan heikennä sisäilmaston laatua.

Sisäilmaston laadunvarmistaminen rakennuksen takuuajana ei ole itsessään monimutkainen prosessi. Kysymys on enemmän asenteesta ja toimintatavoista. Ei saa olettaa, että rakennuksessa kaikki järjestelmät toimivat heti luovutuksen jälkeen optimaalisesti, vaikka siihen tuleekin pyrkiä.

Erilaisia konsepteja rakennusten toimivuuden varmistamiseen on useita. Pääperiaatteet ovat kaikissa melko samanlaiset. Tavoitteena on varmistaa, että rakennuksen omistaja ja käyttäjät saavat sellaisen rakennuksen, joka täyttää sille asetetut tavoitteet. Toimivuuden varmistaminen ei siis jää kiinni siitä, ettei sen toteutukseen olisi ohjeita ja työkaluja tarjolla. Enää edessä onkin vaikein vaihe eli toimivuuden varmistamisen integroiminen nykyistä paremmin osaksi koko hankeprosessia.

Takuuajana tärkein hyvän sisäilmaston ja rakennuksen toimivuuden varmistamisen keino on rakennuksen toisena käyttövuonna tehtävä toimivuustarkastelu. Toimivuustarkastelu voidaan tehdä jo aiemmin, kuten case A:ssa, mutta mahdolliset ongelmat tulevat paremmin esille, kun rakennuksen käyttö on ehtinyt vakiintua. Lisäksi vuoden jälkeen rakennuksen toiminnasta on kokemuksia sekä lämmitys- että jäähdytyskaudelta. Casekohteissa toimivuustarkastelun vetäjänä toimi ulkopuolinen talotekniikka-asiantuntija. Ulkopuolisen tarkastelijan käyttö havaittiin hyödylliseksi, sillä kunnan omilla työntekijöillä on harvoin aikaa tai riittävää osaamista rakennuksen toimivuuden tarkkaan tutkimiseen. Ulkopuolinen tarkastelija tuo myös uudenlaista näkökulmaa asioihin ja osaa jo kierroksen aikana antaa korjausehdotuksia havaittuihin ongelmiin. Ulkopuolisen asiantuntijan raporttia on objektiivisuutensa takia helppo hyödyntää myös rakennuksen takuukorjaustarpeiden todentamisessa. Osa tarkastelussa esille tulevista asioista on luonnollisesti kiinteistönomistajien tiedossa, mutta kun kaikki asiat ovat korjausehdotuksineen yhdessä raportissa listattuna, on korjaustoimiin helpompi ryhtyä.

Casekohteiden toimivuustarkastelut keskittyivät hyvän sisäilmaston varmistamiseen sekä kiinteistöhuollon parantamiseen erityisesti taloteknisestä näkökulmasta. Energiatehokkuutta kohteissa tutkittiin, mutta sen painoarvo oli pienempi. Talotekniikan merkitys hyvän sisäilmaston luomisessa on kiistaton, mutta tarkasteluissa myös rakennustekninen näkökulma tulee huomioida, jolloin tarkastelusta saadaan kaikki hyöty irti. Casekohteissa tarkastelun vetäjä oli talotekniikka-asiantuntija ja joitakin rakennusteknisiä asioita jäikin huomaamatta, jotka kuitenkin mukana ollut rakennusalan tutkija huomasi. Yhdessä casekohteista toimivuustarkastelun havaittiin olevan toimiva käytäntö myös jo pidemmän aikaa käytössä olevissa rakennuksissa, jos rakennuksen toimivuudessa epäillä ongelmaa.

Tapre-ohjeet ovat pääperiaatteiltaan hyvä lähtökohta toimivuustarkastelun tekemiseen, mutta puhtaasti sen mukaan tehtynä toimivuustarkasteluprosessi on liian raskas ja sitä kautta myös kallis. Todellisuudessa yksinkertaisemmilla tarkasteluilla ja muutaman päivän työllä saadaan paljon hyödyllistä tietoa rakennuksen toimivuudesta. Tapre-ohje ei suosita lomakekyselyitä, mutta case-kohteissa havaittiin ne hyödyllisiksi, sillä niillä saadaan tietoa rakennuksen toimivuudesta kaikilta käyttäjiltä ja erilaisista näkökulmista paljon ja nopeasti. Kierroksen aikana on hyvä kuitenkin kysellä tiloissa vastaantulevilta käyttäjiltä, onko rakennuksessa ollut ongelmia, sillä käyttäjät eivät aina muistaneet kirjata kaikkia asioita sähköiseen kyselyyn. Tapre-ohjeen mukaan urakoitsijoiden ja suunnittelijoiden tulee osallistua toimivuustarkasteluun, mikä on käytännössä vaikea toteuttaa. Tarkastelun vetäjäksi ohjeet ehdottavat rakennuttajakonsulttia tai pääsuunnittelijaa, mutta parempi valinta on ehdottomasti henkilö, jolla on vahva talotekniikan osaaminen, sillä tarkastelussa talotekniikalla on suuri painoarvo.

Ruotsissa toimivuustarkastelut määräväläin ilmanvaihdon osalta ovat pakollisia. Rakennuksen toimivuustarkasteluiden tekemistä voitaisiin Suomessakin edistää lainsäädännöllä, mutta toisaalta pakottaminen lainsäädännön keinoin ei ole paras ratkaisu jo valmiiksi tiukasti säädellyllä alalla. Tärkeää kuitenkin olisi, että tarkastelut tulisivat vakio-käytännöksi osaksi hankeprosessia.

8.2 Tutkimuksen tarkastelu

Tutkimuksen pääkysymykseen hyvän sisäilmaston varmistamisen prosessista onnistuttiin tutkimuksessa vastaamaan, sillä prosessi hyvän sisäilmaston varmistamiseksi rakennuksen takuuajana saatiin muodostettua. Case-kohteista saatu tieto toimivuustarkasteluista toi syvyyttä prosessiin, sillä toimivuustarkasteluiden havaittiin olevan tärkein yksittäinen tehtävä hyvän sisäilmaston varmistamisessa.

Osatavoitteisiin liittyen käyttö- ja huolto-ohjeisiin sekä käyttökoulutuksiin ei valitettavasti päästy syventymään niin tarkasti kuin olisi haluttu. Suurin syy aihealueiden pinta-puoliseksi jääneeseen tarkasteluun on, että aiheista on vain vähän tutkittua tietoa. Erityisesti käyttökoulutusten hyväksi havaituista käytännöistä oli vaikeaa löytää tietoa. Todennäköisesti hyvistä käytännöistä tietoa on vähän saatavilla, koska käyttökoulutuksia ei juurikaan järjestetä. Näin oli esimerkiksi tutkimuksen kaikissa case-kohteissa.

Hyvän sisäilmaston varmistamisen prosessin luomisessa olisi ollut hyödyllistä pohtia prosessia tutkijan oman päättelyn lisäksi esimerkiksi workshop-tilaisuudessa. Alun perin prosessia olikin tarkoitus esitellä kuntien edustajille tutkimushankkeen sisäilmasto-workshopissa, mutta tilaisuuden siirryttyä keväältä syksylle, tilaisuus ei sopinut enää tutkimuksen aikatauluihin. Workshopin avulla olisi ollut mahdollista saada tietoa ja palautetta henkilöiltä, jotka pohtivat samoja asioita käytännön tasolla päivittäin.

Case-kohteiksi tutkimuksessa saatiin erityyppisiä rakennuksia kahdesta eri kunnasta. Toimivuustarkasteluun tekijäksi oli kuitenkin kaikissa kohteissa valittu sama yritys. Mikäli tarkasteluita olisi tehnyt useampi yritys olisi tarkastelukäytännöistä saanut todennäköisesti kattavamman kuvan. Valitettavasti kohteiden valinnassa ei ollut valinnanvaraa, sillä nämä olivat ainoat toimivuustarkastelut, jotka tehtiin COMBI-hankkeen case-kunnissa tutkimukselle varattuna aikana.

8.3 Jatkotutkimusehdotukset

Tässä tutkimuksessa koko hyvän sisäilmaston varmistusprosessia päästiin käytännössä kokeilemaan vain joiltakin osin. Jatkotutkimuksena koko prosessin toimivuutta voisi tutkia ja kehittää vielä eteenpäin jossakin vielä suunnittelussa tai rakenteilla olevassa case-kohteessa.

Tutkimuksessa havaittiin, että hyvän sisäilmaston varmistaminen tulee huomioida kaikissa rakennushankkeen vaiheissa. Tätä tutkimusta olisikin syytä täydentää kehittämällä varmistusprosessi koskemaan myös hankkeiden alkuvaiheita.

Kirjallisuuskatsauksessa havaittiin, että rakennusten käyttökoulutuksesta on varsin niukasti tietoa ja niitä järjestetään hyvin harvoin. Erityisesti tietoa tarvittaisiin lisää, kuinka käyttäjille suunnattu käyttökoulutus tulisi järjestää. Myös huoltokirjoihin liittyvät tutkimukset havaittiin melko vanhoiksi. Kymmenessä vuodessa ehtii tapahtua valtavasti ja käytännössä kaikki ammattiomistuksessa olevien rakennusten huoltokirjat ovat siirtyneet sähköisiksi, joten huoltokirjoihin ja niiden laatuun liittyvä tutkimus olisi taas ajankoh- taista.

LÄHTEET

Aronoff, S., & Kaplan, A. 1995. Total workplace performance: Rethinking the office environment. Ottawa: WDL Publications.

ASHRAE. 2003. Standard 62, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers Inc.

ASHRAE. 2004. Standard 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers Inc.

Asumisterveysohje. 2003. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus 2003.

Asumisterveysopas. 2. korjattu painos. Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus Asumisterveysohjeen soveltamisopas. Ympäristö ja Terveystieteiden lehti, Pori, 2008.

Bakó-Biró, Z., Clements-Croome, D.J., Kochhar, N., Awbi, H.B. & Williams, M.J. 2012. Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment*, vol. 48, no. 1, pp. 215-223.

Boverket. 2014. OVK - Obligatory Ventilation Control. Saatavilla: <http://www.boverket.se/en/start-in-english/building-regulations/national-regulations/obligatory-ventilation-control/>

Buckley, M., Bordass, B., Bunn, R. 2010. Soft Landings for Schools. Case studies. Feedback from use of the soft landings framework in new schools. BSRIA Ltd.

Building Commissioning Association. 2016. New construction building commissioning best practices. Saatavilla: http://www.bcxa.org/wp-content/uploads/2016/03/BCxA.NCCx-BestPractices_031616.pdf

Carmona-Andreu, I., Stevenson, F. & Hancock, M. 2013, Low carbon housing: Understanding occupant guidance and training. *Sustainability in Energy and Buildings*, vol. 22, pp. 545-554.

Chatzidiakou, L., Mumovic, D. & Summerfield, A.J. 2012. What do we know about indoor air quality in school classrooms? A critical review of the literature. *Intelligent Buildings International*, vol. 4, no. 4, pp. 228-259.

Day, J.K., Gunderson, D.E. 2015. Understanding high performance buildings: The link between occupant knowledge of passive design systems, corresponding behaviors, occupant comfort and environmental satisfaction. *Building and Environment*, vol. 84, pp. 114-124.

Danish Ministry of Economic and Business Affairs, The. Danish Enterprise and Construction Authority. 2010. The Danish Building Regulations.

Direktoratet for byggkvalitet. 2010. TEK10: Regulations on technical requirements for building works.

Djuric, N., Novakovic, V. 2009. Review of possibilities and necessities for building lifetime commissioning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 2, pp. 486-492.

Dykes, C. & Baird, G. 2014. Performance benchmarks for non-domestic buildings: Towards user perception benchmarks. *Building Research and Information*, vol. 42, no. 1, pp. 62-71.

Education Funding Agency, Iso-Britannia. 2006. Building Bulletin 101. Ventilation of School Buildings. Regulations, Standards, Design Guidance

Emmerich S.J., Persily, A.K. 2001. State-of- Art Review of CO₂ Demand Controlled Ventilation Technology and Application. National Institute of Standards and Technology.

Fisk, W. J. 2000. Health and productivity gains from better indoor environment and their relationship with building energy efficiency. *Annual Review of Energy and the Environment* 25, pp. 537-566.

Folkhälsomyndigheten. 2014. FoHMFS 2014:18. Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation

Frank, O.L., Omer, S.A., Riffat, S.B. & Mempouo, B. 2015. The indispensability of good operation & maintenance (O&M) manuals in the operation and maintenance of low carbon buildings. *Sustainable Cities and Society*, vol. 14, no. 1

Hartikainen S., Leppänen, M., Salmi, K., Tarhanen, J., Hyttinen, M., Kähkönen, E., Holopainen, R., Pasanen, P. 2014. SVOC- ja VOC-yhdisteiden esiintyminen matalaenergiatalojen ja tavanomaisesti rakennettujen pien- ja kerrostalojen sisäilmassa. Sisäilmastoseminaari 2014. SIY Raportti 32. Sisäilmayhdistys ry.

Hauge, A.L., Thomsen, J. & Berker, T. 2011. User evaluations of energy efficient buildings: Literature review and further research. *Advances in Building Energy Research*, vol. 5, no. 1, pp. 109-127.

Hengitysliitto. 2016. VOC-päästöt. Saatavilla: <http://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/hiukkasmaiset-ja-kaasumaiset-epapuhautudet/voc-paastot>

Hildén S. 2016. Casepuheenvuoro käyttöönotto laadunkompastuskivenä -työpajassa 3.2.2016.

- Hirsjärvi, S., Remes, P., Sajavaara, P. 2007. Tutki ja kirjoita 13., osin uudistettu painos. Keuruu.
- Hodgson, A.T., Rudd, A.F., Beal, D., Chandra, S. 2000. Volatile organic compound concentrations and emission rates in new manufactured and site-built houses. *Indoor air*, vol. 10, no. 3, pp. 178-192.
- Holmström J., Lassila, A.-P., Niemi, O., Nenonen, S. 2016. Ennakoi ja estä – käyttäjän hallinnan tunne sisäympäristönkehittämisessä. Sisäilmastoseminaari 2016. SIY Raportti 34. Sisäilmayhdistys ry.
- Holopainen, R., Tuomaala, P., Hernandez, P., Häkkinen, T., Piira, K. & Piippo, J. 2014. Comfort assessment in the context of sustainable buildings: Comparison of simplified and detailed human thermal sensation methods. *Building and Environment*, vol. 71, pp. 60-70.
- Jokinen, L., Pessi, P., Laine, T. 2014. Esimerkkejä tavanomaisten ilmastointilaitosten suunnittelusta. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, toim. Sandberg, E. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- Jormanainen, L. 2014. Korjaushankkeen rakennuttaminen – sisäilmaongelmien huomiointi ottaminen korjaushankkeessa. RAPS 36. Tutkielma/raportti. Aalto University Professional Development – Aalto PRO.
- Järnström H., Saarela, K., 2005. Sisäilman laatu ja rakenteiden emissiot uusissa asuinrakennuksissa. VTT tiedotteita 2281.
- Järnström, H., Saarela K., Kalliokoski, P., Pasanen, A-L. Reference values for indoor air pollutant concentrations in new, residential buildings in Finland, *Atmospheric Environment*, Volume 40, Issue 37. pp. 7178-7191.
- Järnström, H., Saarela, K., Kalliokoski, P., Pasanen, A.-L. 2008. The impact of emissions from structures on indoor air concentrations in newly finished buildings - Predicted and on-site measured levels. *Indoor and Built Environment*, 17 (4), pp. 313-323.
- Karjalainen, S. 2009. Talotekniikan käytettävyys ja sen kehittäminen. Kohti helppokäyttöisyyttä. VTT tiedotteita 2488.
- Kosonen, R., Ahola, M., Villberg, K., Takki, T. 2011. Perceived IEQ Conditions: Why the Actual Percentage of Dissatisfied Persons is Higher than Standards Indicate? Sick Building Syndrome in Public Buildings and Workplaces. pp 75-88.
- Kumar, P., Martani, C., Morawska, L., Norford, L., Choudhary, R., Bell, M. & Leach, M. 2016. Indoor air quality and energy management through real-time sensing in commercial buildings. *Energy and Buildings*, vol. 111, pp. 145-153.

Lahtinen, M., Huuhtanen, P., Vähämäki, K., Kähkönen, E., Mussalo-Rauhamaa, H., Reijula, K. 2004. Good practices in managing work-related indoor air problems: A psychosocial perspective. *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 46, no. 1, pp. 71-85.

Lahtinen, M., Salonen, H., Lappalainen, S., Huttunen, J., Reijula, K. 2009. Renovation of a sick building. The challenge of attaining the confidence of occupants. *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 52, no. 5, pp. 438-445.

Lukka, K. 2001. Konstruktiivinen tutkimusote. Viitattu: 13.4.2016. Saatavilla: <https://metodix.wordpress.com/2014/05/19/lukka-konstruktiivinen-tutkimusote/>

Lähdesmäki T., Hurme, P., Koskimaa, R., Mikkola, L., Himberg, T. Menetelmäpolkuja humanisteille. Jyväskylän yliopisto, humanistinen tiedekunta. Viitattu: 13.4.2016. Saatavilla: <http://www.jyu.fi/mehu>

Maankäyttö – ja rakennuslaki. 5.2.1999/132. Saatavilla: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

Maula, H., Haapakangas, A., Moberg, V., Hongisto, V., Koskela, H. 2013. Ilmanvaihdon vaikutus työsuoriutumiseen ja viihtyvyyteen toimistotyössä – laboratoriokoe. Sisäilmastoseminaari 2013. SIY Raportti 31. Sisäilmayhdistys ry.

Meir, I.A., Garb, Y., Jiao, D. & Cicelsky, A. 2009. Post-occupancy evaluation: An inevitable step toward sustainability. *Advances in Building Energy Research*, vol. 3, no. 1, pp. 189-220.

Mysen, M., Berntsen, S., Nafstad, P. & Schild, P.G. 2005. Occupancy density and benefits of demand-controlled ventilation in Norwegian primary schools. *Energy and Buildings*, vol. 37, no. 12, pp. 1234-1240.

Månsson, L-G. 1993. Demand- Controlled Ventilating Systems: Case Studies. International Energy Agency.

Palomäki, E., Reijula, K. 2008. Evaluating the success of damp building remediation. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, Supplement, no. 4, pp. 35-38.

Park, J. S., & Ikeda, K. 2006. Variations of formaldehyde and VOC levels during 3 years in new and older homes. *Indoor Air*, vol 16, no. 2, pp. 129-135

Petersen, S., Jensen, K.L., Pedersen, A.L.S. & Rasmussen, H.S. 2015. The effect of increased classroom ventilation rate indicated by reduced CO₂ concentration on the performance of schoolwork by children. *Indoor air*.

Pietiläinen J., Kauppinen, T., Kovanen, K., Nykänen, V., Nyman M., Paiho, S., Peltonen, J., Pihala, H., Kalema, T., Keränen, H. 2007. ToVa-käsikirja, VTT tiedotteita 2413, Espoo.

Ratu 437-T. 2009. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustieto Oy.

RT 05-10710. 1999. Kosteus rakennuksissa. Rakennustieto Oy.

RT 07-10564. 1995. Rakennuksen sisäilmasto. Rakennustieto Oy.

Reijula, K., Ahonen, G., Alenius, H., Holopainen, R., Lappalainen, S., Palomäki, E., Reiman, M. 2012. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu 1/2012.

Salonen, H.J., Pasanen, A.L., Lappalainen, S.K., Riuttala, H.M., Tuomi, T.M., Pasanen, P.O., Bäck, B.C., Reijula, K.E. 2009. Airborne concentrations of volatile organic compounds, formaldehyde and ammonia in Finnish office buildings with suspected indoor air problems. *Journal of occupational and environmental hygiene*, vol. 6, no. 3, pp. 200-209.

Salonen R.O., Pennanen P. 2006. Pienhiukkasten vaikutus terveyteen. Tuloksia ja päätelmiä teknologiaohjelmasta FINE Pienhiukkaset – Teknologia, ympäristö ja terveys. Tekes, Helsinki.

Satish, U., Mendell, M.J., Shekhar, K., Hotchi, T., Sullivan, D., Streufert, S. & Fisk, W.J. 2012. Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environmental health perspectives*, vol. 120, no. 12, pp. 1671-1677

SFS-EN 15251. (2007). Sisäympäristön lähtötiedot rakennusten energiatehokkuuden suunnitteluun ja arviointiin ottaen huomioon ilman laatu, lämpöolot, valaistus ja äänitekniset ominaisuudet.

Seppänen, O. 1999. Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor air*, vol. 9, no. 4, pp. 226-252.

Seppänen, O. 2004. Sisäilmasto ja tuottavuus. Viitattu 8.3.2016. Saatavilla: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK050703.pdf>

Seuri, M. 2016. Menetetyn työpanoksen arviointi sisäilmaongelmissa. Sisäilmastoseminaari 2016. SIY raportti 34. Sisäilmayhdistys 2016.

Sharmin, T., Gül, M., Li, X., Ganev, V., Nikolaidis, I. & Al-Hussein, M. 2014. Monitoring building energy consumption, thermal performance, and indoor air quality in a cold climate region. *Sustainable Cities and Society*, vol. 13, pp. 57-68.

Simonson, C.J., Salonvaara, M., Ojanen, T. 2001. *Improving Indoor Climate and Comfort with Wooden Structures*. VTT Publications 431.

Sisäilmautiset. 2015. Sisäilmasto- ja rakennusmateriaaliluokituksia uudistetaan. Viitattu: 12.2.2016. Saatavilla: <http://www.sisailmautiset.fi/?p=3137>

Takki T., Virta, M. 2007. A systematic method for improving indoor environment quality through occupant satisfaction survey. *WellBeing Indoors Clima 2007 10–14 June Helsinki Finland*. Proceedings of Clima 2007.

Tampereen tilakeskus liikelaitos. 2014. Rakennuksen (talotekniikan) toimivuustarkastelu. Saatavilla: http://www.tampere.fi/tilakeskus/material/uusikan-sio/9jA2b76cA/Ohje_07_Toimivuustarkastelu.pdf

Tarkastelun vetäjä, Case B ja C. 26.5.2016 sähköpostiviesti koskien toimivuustarkastelun mittauksia.

Tekniikka & Talous. 2005. Asumisen koulu opettaa asumaan oikein. Saatavilla: <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/rakennus/2005-10-14/Asumisen-koulu-opettaa-asumaan-oikein-3291260.html>

Tookaloo, A., Smith, R. 2015. Post Occupancy Evaluation in Higher Education. *Procedia Engineering* 118, pp. 515-521.

Tuomaala P. 2013. Ihmisen lämpöaistimuksen uusi arviointimenetelmä. *Rakentajain kalenteri 2013*. Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL.

Tuomaala P., Nykänen, E., Piira, K. 2016. Ihmisen yksilöllinen lämpöaistimus – teoriaa ja käytäntöä. *Sisäilmastoseminaari 2016*. SIY raportti 34. Sisäilmayhdistys ry.

Tuomainen, M., Smolander, J., Kurnitski, J., Palonen, J. & Seppänen, O. (2002). Modeling the cost effects of the indoor environment. *Proceedings of Indoor Air 2002*. Vol.1. pp. 814–819.

Tupamäki, O. 2012. Irti kosteusfobiasta kuiva sisäilma on haitaksi ja tuhlaa energiaa. *Sisäilmastoseminaari 2012*. Sisäilmastoyhdistys raportti 30. Sisäilmayhdistys ry. pp. 319–324.

Työterveyslaitos. 2010a. Ammoniakki. Viitattu: 4.2.2016. Saatavilla: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman_epapuhautaudet/ammoniakki/Sivut/default.aspx

Työterveyslaitos. 2010b. Formaldehydi. Viitattu: 4.2.2016. Saatavilla: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman_epapuhautaudet/formaldehydi/Sivut/default.aspx

Työterveyslaitos. 2010c. Sisäilman hiukkaset. Viitattu: 10.3.2016. Saatavilla: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman_epapuhautaudet/hiukkaset/Sivut/default.aspx

Työterveyslaitos. 2014. Kosteus- ja mikrobivauriot. Viitattu: 23.2.2016 Saatavilla: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/kosteus_ja_homevauriot/sivut/default.aspx

Työterveyslaitos. 2015. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC). Viitattu: 4.2.2016. Saatavilla: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman_epapuhautaudet/voc/Sivut/default.aspx

Vinha, J. 2012. Rakennuksen ilmanpitävyys ja ilmatiiviiden rakenteiden toteutus. Rakentamisen teemapäivä, Lahti, 14.3.2012.

Vinha, J, Laukkarinen, A, Mäkitalo, M, Nurmi, S, Huttunen, P, Pakkanen, T, Kero, P, Manelius, E, Lahdensivu, J, Köliö, A, Lähdesmäki, K, Piironen, J, Kuhno, V, Pirinen, M, Aaltonen, A & Suonketo, J. 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tutkimusraportti 159. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos, Tampere.

Wachenfeldt, B.J., Mysen, M. & Schild, P.G. 2007. Air flow rates and energy saving potential in schools with demand-controlled displacement ventilation. *Energy and Buildings*, vol. 39, no. 10, pp. 1073-1079.

Wargocki, P. 2013. Securing adequate indoor air quality (IAQ) across Europe: Developing the health-based ventilation guidelines (HealthVent project).

Wargocki, P., Wyon, D.P. 2013. Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would be cost-effective. *Building and Environment*, vol. 59, pp. 581-589.

Wargocki, P., Da Silva, N.A.F. 2015. Use of visual CO2 feedback as a retrofit solution for improving classroom air quality. *Indoor air*, vol. 25, no. 1, pp. 105-114.

Way, M., Bunn, R. 2014. The Soft Landings Framework. For better briefing, design, handover and building performance in-use. BSRIA Ltd.

WHO. (2009). WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould.

Whyte, J., Gann D.M. (2001) Closing the loop between design and use: post-occupancy evaluation, *Building Research & Information*, vol. 26, no. 6.

Ympäristöministeriö. 2000. Suomen rakentamismääräyskokoelma. A4, Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje.

Ympäristöministeriö. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. D2, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto.

Ympäristöministeriö. 2016. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Luonnos 14.3.2016.

Yu, Z., Fung, B.C.M., Haghghat, F., Yoshino, H. & Morofsky, E. 2011. A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption. *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 6, pp. 1409-1417.

Zagreus, L., Huizenga, C., Arens, E. & Lehrer, D. 2004. Listening to the occupants: A Web-based indoor environmental quality survey. *Indoor Air, Supplement*, vol. 14, no. 8, pp. 65-74.

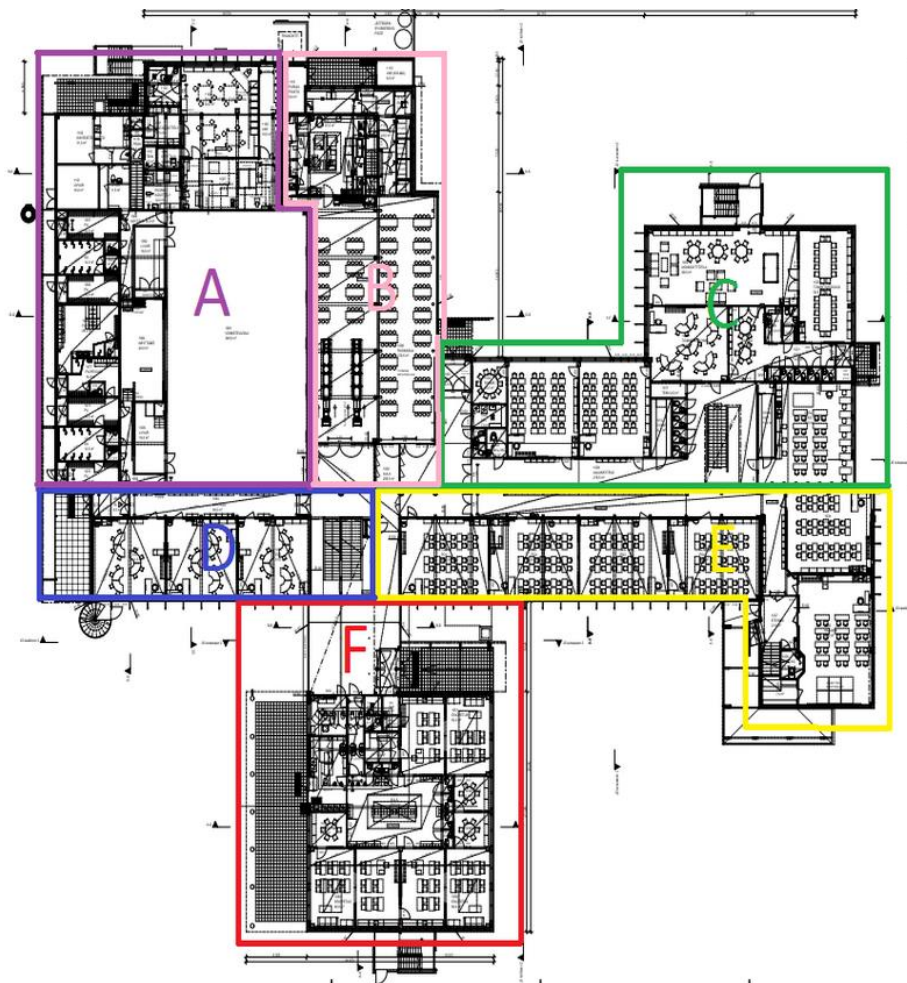
Zimmerman, A., Martin, M. 2001. Post-occupancy evaluation: Benefits and barriers. *Building Research and Information*, vol. 29, no. 2, pp. 168-174.

LIITE A: KÄYTTÄJÄKYSÉLYN KYSYMYKSET

Rakennuksen toimivuustarkastelu, käyttäjäkysely.

Missä osassa rakennusta pääsääntöisesti työskentelet? Valitse oikea alue hyödyntämällä alla olevaa pohjapiirustusta. Avoimeen vaihtoehtoon voit halutessasi kirjoittaa myös huononumeron, jotta tulosten käsittely ja kiinteistöllä tehtävän tarkastelun tekeminen helpottuu. Tietoa huoneesta ei käytetä yksittäisen vastajaan tunnistamiseen.

- A-osa, 1. kerros
- B-osa, 1. kerros
- C-osa, 1. kerros
- C-osa, 2. kerros
- D-osa, 1. kerros
- D-osa, 2. kerros
- E-osa, 1. kerros
- E-osa, 2. kerros
- F-osa, 1. kerros
- F-osa, 2. kerros
- Huonenumero



Oletko tyytyväinen työskentelyalueesi lämpötilaan talvella?

- 3 Erittäin tyytymätön
 - 2
 - 1
 0
 1
 2
 3 Erittäin tyytyväinen

Vastasit ettet ole täysin tyytyväinen työskentelyalueesi lämpötilaan talvella. Miksi et ole? Voit valita useamman vaihtoehdon.

Voit valita monta vaihtoehtoa.

- Liian kuuma
 Liian kylmä
 Epätasainen lämpötila
 Vedon tunne
 Seinäpinnat ovat kylmiä
 Lattia on kylmä
 Ikkunoista vetää
 Ilmanvaihto aiheuttaa vetoa
 Aurinko paistaa suoraan sisään
 Muu, mikä?

Esiintyykö ongelma johonkin tiettyyn aikaan?

- Aamulla
 Iltapäivällä
 Viikonlopun jälkeen
 Ongelma on jatkuva
 Muu, mikä?

Oletko tyytyväinen työskentelyalueesi lämpötilaan keväällä ja kesällä?

- 3 Erittäin tyytymätön
 - 2
 - 1
 0
 1
 2
 3 Erittäin tyytyväinen

Vastasit ettet ole täysin tyytyväinen työskentelyalueesi lämpötilaan keväällä ja kesällä. Miksi et ole? Voit valita useamman vaihtoehdon.

Voit valita monta vaihtoehtoa.

- Liian kuuma
 Liian kylmä
 Epätasainen lämpötila
 Vedon tunne
 Ikkunoista vetää
 Ilmanvaihto aiheuttaa vetoa
 Aurinko paistaa suoraan sisään
 Muu, mikä?

Esiintyykö ongelma johonkin tiettyyn aikaan?

- Aamulla
 Iltapäivällä
 Viikonlopun jälkeen
 Ongelma on jatkuva
 Muu, mikä?

Onko rakennuksen sisäilma puhdasta ja raikasta? Oletko tyytyväinen ilmanlaatuun työskentelyalueellasi?

- 3 Erittäin tyytymätön
 -2
 -1
 0
 1
 2
 3 Erittäin tyytyväinen

Esiintyykö rakennuksessa häiritseviä hajuja?

- Ei
 Ajoittain
 Kyllä

Vastasit, että työskentelyalueellasi esiintyy häiritseviä hajuja. Mikä haju on?

- Viemärin haju
 Uusien kalusteiden/rakennusmateriaalien haju
 Homeen haju
 Siivouksessa käytettävät aineet
 Ihmisperäiset hajut
 Muu, mikä?

Esiintyykö ongelma johonkin tiettyyn aikaan?

- Aamulla
 Iltapäivällä
 Viikonlopun jälkeen
 Pidempien vapaiden jälkeen, esim. hiihtoloma
 Ongelma on jatkuva
 Muu, mikä?

Oletko tyytyväinen työskentelyalueesi valaistuksen määrään?

- 3 Erittäin tyytymätön
 -2
 -1
 0
 1
 2
 3 Erittäin tyytyväinen

Et ole täysin tyytyväinen valaistuksen määrään. Miksi et?

- Yleisvalaistusta on liian vähän
 Kohdevalaistusta on liian vähän
 Valaistus on liian kirkas
 Muu, mikä?

Oletko tyytyväinen valaistuksen laatuun? (häikäisy, heijastukset)

- 3 Erittäin tyytymätön
 -2
 -1
 0
 1
 2
 3 Erittäin tyytyväinen

Miksi et ole tyytyväinen valaistuksen laatuun? (Voit valita useamman vaihtoehdon)

- Valon värisävy on huono
 Valot häikäisevät
 Pinnoista tulee haitallisia heijastuksia
 Muu, mikä?

Oletko tyytyväinen työskentelyalueesi ääniympäristöön?

- 3 Erittäin tyytymätön
 -2
 -1
 0
 1
 2
 3 Erittäin tyytyväinen

Miksi et ole täysin tyytyväinen ääniolosuhteisiin? (voit valita useamman vaihtoehdon)

- Käytävästä kuuluu häiritsevää ääntä
 Ulkoa kuuluu häiritsevää ääntä
 Ilmanvaihto pitää meteliä
 Tiloissa kaikuu
 Muu, mikä?

Oletko tyytyväinen rakennuksen tiloihin? Palvelevatko ne käyttötarkoitustaan?

- 3 Erittäin tyytymätön
 -2
 -1
 0
 1
 2
 3 Erittäin tyytyväinen

Miksi et ole tyytyväinen rakennuksen tiloihin? Mikä ongelma on ja missä tilassa/tiloissa se esiintyy?

Oletko tyytyväinen rakennuksen siisteyteen?

- 3 Erittäin tyytymätön
 -2
 -1
 0
 1
 2
 3 Erittäin tyytyväinen

Vastasi, että et ole tyytyväinen siivouksen tasoon. Miksi et ole tyytyväinen?

- Pinnat ovat pölyisiä
 Paikat joihin on vaikea yltää ovat pölyisiä (kaapin päälliset yms)
 Tiloissa on roskaista
 Roskakorit ovat usein täynnä
 Muu, mikä?

Oletko tyytyväinen rakennuksen kiinteistöhuoltoon?

- 3 Erittäin tyytymätön
 -2
 -1
 0
 1
 2
 3 Erittäin tyytyväinen

Vastasi, että et ole tyytyväinen rakennuksen kiinteistöhuoltoon. Miksi et? (Voit valita useamman vaihtoehdon)

- En tiedä keneen ottaa yhteyttä vikatilanteessa
 Vikailmoituksiin ei vastata
 Vikoja ei korjata riittävän nopeasti
 Ulkoalueiden hoito on puutteellista, miten?
 Muu, mikä?

Oletko saanut käyttökoulutuksen rakennuksen järjestelmien käyttöön (lämmityksen säätö yms.), kun aloitit työt rakennuksessa?

- Kyllä, koulutus oli riittävää
 Kyllä, koulutusta oli kuitenkin liian vähän
 En, aloitin rakennuksessa, kun se oli uusi
 En, aloitin rakennuksessa, kun se oli ollut jo käytössä

Koitosko käyttökoulutuksen hyödylliseksi? Jos et ole saanut koulutusta, olisitko kokenut sen hyödylliseksi?

- 3 täysin hyödytön
 -2
 -1
 0
 1
 2
 3 erittäin hyödyllinen

Onko rakennuksen laitteisiin (esimerkiksi lämmityksen säätäminen) saatavilla tarvittaessa käyttöohjeet?

- Kyllä
 Ei

Jos kaikkiin laitteisiin ei ole käyttöohjeita, mihin koet tarvitsevasi niitä?

Oletko tyytyväinen rakennuksen yhteistiloihin, kuten opettajainhuone, WC-tilat jne, sisäilmaston (lämpötila, ilmanlaatu, valaistus, ääni) osalta?

- 3 Erittäin tyytymätön
 -2
 -1
 0
 1
 2
 3 Erittäin tyytyväinen

Miksi et ole tyytyväinen rakennuksen yhteistiloihin? Voit valita useamman vaihtoehdon.

- Liian kuuma
 Liian kylmä
 Ilma on tunkkainen
 Ilmassa on häiritseviä hajuja
 Valaistusta ei ole tarpeeksi
 Ympäristöstä kantautuu häiritseviä ääniä
 Muu, mikä?

Onko ongelma jossakin tietyssä tilassa? Missä?

- Henkilökunnan tauko- ja työtila
 Kokoushuone
 Liikuntatilat
 WC-tilat, missä?
 Muu, mikä?

Jos sinulla on mielessä muita rakennuksen toimivuuteen liittyviä asioita, joita ei kysymyksissä käyty läpi, voit kertoa ne tässä.