

Eerika Haurinen

**RAKENNUKSEN IKKUNOIDEN LÄMPÖKUVAUS SISÄILMAON-
GELMAKOHTEESSA**

RAKENNUKSEN IKKUNOIDEN LÄMPÖKUVAUS SISÄILMAON- GELMAKOHTEESSA

Eerika Haurinen
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Rakennusarkkitehtuurin tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennusarkkitehtuurin tutkinto-ohjelma, rakennusarkkitehti

Tekijä(t): Eerika Haurinen
Opinnäytetyön nimi: Rakennuksen ikkunoiden lämpökuvaus sisäilmaongelma-kohteessa
Työn ohjaaja: Kimmo Illikainen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019
Sivumäärä: 52 + 1 liitettä

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia lämpökuvauksella kulttuurihistoriallisesti arvokkaan rakennuksen ikkunoiden ja ovien tämän hetkistä kuntoa ja toimivuutta. Työssä pohdittiin mahdollisten ilmavuotojen vaikutuksia rakennuksen sisäilmastoon. Lisäksi selvitettiin, onko toimistotilojen ikkunoissa ja ovissa ilmavuotoja, joihin olisi hyvä kiinnittää huomioita kohteen tämänhetkisessä korjaussuunnitelmassa. Tilaajan pyynnöstä kohteen tutkimustiedot käsitellään niin, ettei kohdetta pystytä tunnistamaan. Myös työn tulokset salataan.

Opinnäytetyössä perehdyttiin lämpökuvaukseen, hyvän sisäilmaston edellytyksiin sekä tyypillisimpiin sisäilmasto-ongelmiin. Tutkimuskohteen ikkunat ja ovet lämpökuvattiin lämpökameralla ja kuvauksesta laadittiin lämpökuvausraportti. Tulosten perusteella valikoitiin tietyt toimistotilat, joista tutkittiin savukynää hyödyntäen virtauksien suuntia. Lisäksi käytiin läpi kohteessa työskennelleille järjestetyn sisäilmastokyselyn tulokset, joita verrattiin lämpökuvauksesta saatuihin tietoihin. Lopuksi pohdittiin lämpökuvauksen tulosten mahdollisia vaikutuksia sisäilmastoon.

Opinnäytetyössä selvisi, että rakennuksen ikkunoissa on ilmavuotoja sekä kylmäsiltoja. Kylmäsiltoja havaittiin myös rakennuksen ulkonurkissa, kolmannen kerroksen ulkoseinien ja katon liittymissä sekä kellarikerroksen ikkunoiden yläpuolella vaipan läpi. Se, vaikuttavatko opinnäytetyön tulokset rakennuksen tämän hetkiseen korjaussuunnitteluun, jää tilaajan päätettäväksi.

Asiasanat: lämpökuvaus, ilmavuoto, sisäilmasto, ikkunat, sisäilmaongelma

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Architecture

Author: Eerika Haurinen

Title of thesis: Thermal Imaging of Windows and Viewing of Indoor Climate in Building with Indoor Air Problem

Supervisor: Kimmo Illikainen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2019

Pages: 52 + 1 appendix

The goal of this thesis was to make thermal imaging for to the windows of a target building. The meaning of the thermal imaging was to find out if there would be any air leaks or heat bridges through the building envelope. These findings would have an impact on to the buildings approaching renovation. This thesis also deals with what makes a good indoor climate and discusses how air leaks affect the indoor climate. Certain parts of the thesis and the results of the thesis are non-public information, at the request of the subscriber.

In this thesis thermal imaging of windows was performed by using a thermal imaging camera, and a thermal imaging report was prepared for the client. Also, organoleptic methods, smoke pen and pressure-difference gauge were used of to help to investigate envelope airtightness of the building and air pressure differentials of the building. The results of thermal imaging airtightness show that there are some air leaks in building windows.

Previously, an indoor climate survey had been conducted for those who were working at the site earlier. The results from this survey was used to compare those to the results from the thermal imaging. Some similarities were found between the problematic states and the leaking windows, but the connection could not be established.

The thesis revealed that there were air leaks on the windows and doors. The subscriber decides if the result of the thesis have an impact on to renovation planning of the building.

Keywords: Thermal imaging, air leak, window, indoor climate, indoor air problem

ALKULAUSE

Tämän opinnäytetyön aihealue valikoitui omien kiinnostuksen kohteideni mukaan saatuani mahdollisuuden päästä tutkimaan kohderakennusta tarkemmin. Tilaa-
jan pyynnöstä osa opinnäytetyön aineistosta on salattu. Opinnäytetyön salattua
aineistoa ovat mm. lähtöaineistot, kaikki kohteen tutkimustulokset, osa liitteistä
sekä lämpökuvausraportti. Julkaistu opinnäytetyö on näistä syistä johtuen tiivis-
telmä, jossa käsitellään sisäilmaa, ovien sekä ikkunoiden lämpökuvausta ja ilma-
vuotojen vaikutuksia sisäympäristöön.

Haluan kiittää ohjaavaa opettajaa ja muita Oulun ammattikorkeakoulun rakenta-
mistekniikan osaston henkilöstöä vinkeistä sekä opastuksesta teknisten laitteiden
käyttöön liittyen. Erityiskiitokset kuuluvat Soilille opinnäytetyön kielenohjauksesta
ja tsemppauksesta.

Työn tilaajaa tahdon kiittää yhteistyöstä sekä mahdollisuudesta saada tutustua
kohteena toimivaan rakennukseen, sen historiaan sekä rakenteisiin.

Lopuksi haluan osoittaa kiitokseni ystäväilleni ja kotiväelle tuesta. Ilman teitä ei
tämä työ olisi valmistunut ajoissa.

10.4.2019

Eerika Haurinen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	7
2 SISÄYMPÄRISTÖ	9
2.1 Sisäilmasto	10
2.2 Sisäilma	11
2.2.1 Sisäiset epäpuhtaustekijät	12
2.2.2 Ulkoiset epäpuhtaustekijät	17
2.3 Sisäilmaston fysikaaliset tekijät	18
2.4 Ilmanvaihto	21
3 TIIVEYDEN VAIKUTUKSET SISÄILMASTOON	23
3.1 Ilmanpaineet ja ilmavirtaukset	23
3.2 Ilmanpaine ja kosteus	23
3.3 Ilmavuodot	24
4 TUTKITTAVAN RAKENNUKSEN IKKUNAT	26
5 LÄMPÖKAMERAKUVAUS	33
5.1 Lämpökuvaus menetelmänä	33
5.2 Lämpökuvauksessa käytettävä laitteisto	34
5.3 Lämpötilaindeksi	37
5.4 Lämpökuvausraportti	39
5.5 Lämpökuvauksessa raportoitavat poikkeamat:	39
6 OPINNÄYTETYÖN TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA	41
6.1 Lämpökuvauksen tulokset	41
6.2 Lämpökuvauksen ja sisäilmastokyselyn tulosten tulkinta	46
7 POHDINTA	49
LÄHTEET	50
LIITTEET	
Liite 1 Lämpökuvausraportti (Tilaaajan käytössä)	

1 JOHDANTO

Rakennusten lämpökamerakuvaus on nostanut suosiotaan menetelmänä tutkia rakennuksia pintoja rikkomatta. Infrapunasaiteilyn mittaamiseen perustuva lämpökuvaus on nopea, tarkka ja edullinen tapa tutkia rakennusta. Opinnäytetyön kohteena on kulttuurihistoriallisesti arvokas rakennus, jossa on hiljattain todettu sisäilmaongelmia.

Rakennuksen korjaushistoria on moninainen. Huonejakoja on muutettu useaan otteeseen sen pitkän eliniän aikana. Myös rakennuksen ulkotiloja on muutettu sisätiloiksi ja se on saanut kokonaan uuden yläpohjarakenteen. Ikkuna- ja oviaukotuksia on muutettu ja myöhemmin saneerattu alkuperäisille paikoilleen (1, s. 13). On myös todennäköistä, ettei kaikkia muutoksia ole kirjattu mihinkään. Rakennukseen on tuotu paljon uutta talotekniikkaa vuosien varrella, esimerkiksi ilmanvaihto on muutettu koneelliseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoksi. Kohteen taloteknisiä LVIS-järjestelmiä on päivitetty vuosikymmenien vaihtuessa, muun muassa lämmitysmuoto on muuttunut sekä viemärointi ja käyttövesiputkia on saneerattu jo toistamiseen. (2, s. 9-16.) Viimeisin suurempi saneeraus kohteeseen valmistui vuonna 2010, jonka jälkeen rakennuksessa on suoritettu erilaisia pienempiä toimitilojen muutostöitä (3, s. 4).

Viimeisimpien korjaustöiden jälkeen rakennuksessa työskennelleet henkilöt alkoivat raportoida työterveyteen erilaisista terveysongelmista (4). Työntekijöiden erilaisia oireita liitetään usein erilaisiin sisäilman epäpuhtauksiin (5, s. 32), joten tilannetta työpaikalla alettiin tutkia tarkemmin. Tähän mennessä on selvinnyt, että osa rakennuksen sisäilmaston ongelmista ovat seurausta aiemmin tehdyistä korjaustöistä, osa taas rakennuksen rakenteista ja vanhoista aiemmin yleisesti käytetyistä ratkaisuksista. Tutkimushetkellä rakennuksessa työskenteli enää murtoosa siellä työskennelleistä ja korjaussuunnittelu ongelmien ratkaisemiseksi oli jo aloitettu. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää kohderakennuksen ikkunoiden tiiveys.

Opinnäytetyö toteutetaan perehtymällä aiheita ja rakennusta käsittelevään kirjallisuuteen, rakennuspiirustuksiin sekä jo tehtyihin tutkimuksiin. Tutkimusosio toteutetaan rikkomatta rakenteita tai pintamateriaaleja, lämpökameralla kuvaten, silmämääräisesti arvioiden sekä hyödyntäen savukynää ja ilman paine-eromittaria. Lämpökuvauksen pohjalta tehdään lämpökuvausraportti, johon lasketaan lämpötilaindeksi jokaiseen kuvaan. Kohteeseen on aiemmin suoritettu sisäilmastokysely siellä työskennelleille henkilöille. Sisäilmastokyselyn tuloksia verrataan lämpökuvausraportin tuloksiin ja lisäksi pohditaan vaipan tiiveyden vaikutuksia sisäilmastoon.

2 SISÄYMPÄRISTÖ

Nykypäivänä ihmiset viettävät yhä enemmän aikaa sisätiloissa. Rakennusten sisäilmaston vaikutuksia ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin ei tulisikaan missään tilanteessa väheksyä, sillä on arvioitu, että teollistuneissa maissa ihmiset viettävät jopa 60-90 % ajastaan sisätiloissa. (6, s. 4.) Suomen työvoimasta jopa kaksi kolmasosaa työskentelee toimistoympäristössä tai niihin verrattavissa oloissa. Sisäympäristöä koskevat ongelmat vaikuttavat siis suuren ihmismäärän työskentelyyn ja arkielämään. (5, s. 14.)

Sisäympäristö koostuu fysikaalisten ja kemiallisten olosuhteiden lisäksi myös koetuista asioista. Mikäli sisäympäristön olosuhteet ovat ihmiselle sopimattomat, vaikuttavat ne ihmisten viihtyvyyteen tilassa, työtehoon sekä terveyteen (7). Sisäympäristöä arvioitaessa annetaan painoarvoa sille, miten käyttäjät kokevat ympäristön. Näiden piilevien tekijöiden (taulukko 1) mittaaminen ei välttämättä onnistu käytössä olevilla menetelmillä. (5, s. 11.) Niiden on kuitenkin todettu vaikuttavan ihmisten raportoimiin olosuhteisiin sekä oireisiin sisäilmastossa. Tällaisia piileviä tekijöitä ovat esimerkiksi ergonomiset-, viihtyvyys- ja yksilölliset tekijät. Tilojen esteettömyys, käytettävyys ja turvallisuus vaikuttavat myös kokemukseen tilan sisäympäristöstä. (5, s. 14.)

TAULUKKO 1. Taulukossa esitetään piileviä tekijöitä, jotka vaikuttavat käyttäjien kokemaan sisäympäristöön (6, s. 5; 5, s. 14)

Sisäympäristöön vaikuttavat Piilevät tekijät						
Ergonomiset tekijät työpaikoilla	Käytettävyys Esteettömyys	Turvallisuus	Viihtyvyystekijät	Sosiaaliset tekijät työpaikoilla	Yksilölliset tekijät	
Työskentely asento	Tilan käyttötarkoitus	Yleinen turvallisuuden tunne	Aiemmat kokemukset	Työilmapiiri	aiemmat kokemukset	Psykososiaaliset tekijät
Työskentely tavat	Tilan korkeuserot	toiminnan turvallisuus	Yleinen tyytyväisyys	Työroolit	ikä, persoona	Stressi / Yleinen tyytyväisyys
koneet/laitteen toimivuus	Tilan toimintojen järjestämien	Sisäilman turvalliseksi kokeminen	Työpaikoilla	Muutokset työorganisaatiossa	immunologia	Työpaikoilla
Koneen/Laitteen käytettävyys	yksilölliset erot		Muutokset työssä	Johtaminen	Sairaudet, terveydentila	Työn mielekkyys
Laitteen soveltuminen tehtävään			Sosiaaliset tekijät	Tiedottaminen ja viestintä		Muutokset työssä/ organisaatiossa
				Muiden riskikäsitykset		Työnkuormitus

2.1 Sisäilmasto

On ensiarvoisen tärkeää, että hengitettävä sisäilma on riittävän puhdasta hengitettäväksi. Myöskään biologisia epäpuhtauksia, kuten viruksia, bakteereja, sienien itiöitä tai mikrobeja, ei saa olla ilmassa haitallisia määriä. (8, s. 210.) Taulukossa 2 on havainnollistettu sisäilmaston laatuun vaikuttavia tekijöitä.

TAULUKKO 2. Sisäilma koostuu monista tekijöistä (5, s. 15; 6, s. 5)

SISÄILMASTO				
FYSIKAALISET TEKIJÄT	KAASUT		MIKROBIT	HIUKKASET
	Orgaaniset kaasumaiset epäpuhtaudet	Epäorgaaniset kaasumaiset epäpuhtaudet		
Lämpötila	Erittäin haihtuvat yhdisteet / VVOC	Hiilimonoksidi	Bakteerit	Huonepöly (Ihmisten ja eläinten hilse)
Ilman liike	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet / VOC	Hiilidioksidi	Virukset	Tupakansavun epäpuhtaudet
Ilman kosteus	Puoli haihtuvat orgaaniset yhdisteet / SVOC	Rikkiyhdisteet	Homeet	Liikenteen ja energiantuotannon hiukkaspäästöt
Rakenteiden kosteus	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt / PAH	Typpiyhdisteet	Alkueläimet	Kuidut (Asbesti ja teolliset mineraalikuidut)
Säteily		Radon	<u>Bioaerosolit</u>	
Melu		Otsoni	Eläinpöly	
Valaistus		Ammoniakki	Siitepöly	

2.2 Sisäilma

Terveyden kannalta on merkittävää, ettei sisäilma sisällä haitallisia määriä ihmistä ärsyttäviä epäpuhtauksia. Sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kahteen ryhmään: ulkoisiin ja sisäisiin tekijöihin. Ulkoisia tekijöitä ovat maaperä, ilmastolliset tekijät, vuodenaika, rakennuksen sijainti, korkeus maanpinnasta sekä ilman laatuun vaikuttavat epäpuhtauslähteet, kuten liikenneväylät, tehtaat tai viereisen rakennuksen savupiippupäästöt. Sisäisiä tekijöitä ovat käytetyt rakennus- ja sisustusmateriaalit, rakenneratkaisut ja rakennustapa, sekä ilmanvaihdon toteutus. Myös ihmisestä ja hänen toiminnoistaan voi aiheutua epäpuhtauksia sisäilmaan. (8, s. 198, 208.)

2.2.1 Sisäiset epäpuhtaustekijät

Sisätiloissa suurimpia **hiukkaslähteitä** ovat yleensä tupakointi, lämmitysjärjestelmät, siivous ja ruuan valmistus. Huoneilman hiukkaset voidaan jakaa kokonsa puolesta kokonaisleijumaan, hengitettäviin hiukkasiin ja pienhiukkasiin. Kokonaisleijuman massasta suurin osa on karkeaa pölyä. Hengitettävät hiukkaset ovat aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 10 µm ja pienhiukkaset alle 2,5 µm. (5, s. 26.) Hiukkasten terveysvaikutukset ovat riippuvaisia hiukkasten koosta, sillä mitä pienempiä hiukkaset ovat, sitä syvemmälle ihmisen hengitysteitä ne pääsevät kiinnittymään. Toisin sanoen pienimmät hiukkaset ovat ihmisen terveydelle haitallisimpia. (8, s. 215.)

Hiilimonoksidin lähteitä sisäilmassa voivat olla liikenteen päästöt, tulisijat ja pellettivarastot. Hetkellinen sisäilmapitoisuus ei saa ylittää arvoa 7 mg/m³. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen mukaan sisäilman hiilimonoksidipitoisuus on syytä mitata, jos tilaan epäillään kulkeutuvan hiilimonoksidia sisäilmaan. (10, s. 7.)

Tupakansavulle ja tupakkatuotteiden palamisesta muodostuville epäpuhtauksille asumisterveysasetuksen soveltamisohje antaa sisäilman raja-arvoksi nikotiinipitoisuutena 0,05 µg/m³. Myöskään tupakansavun hajua eikä tupakkatervaa saa esiintyä sisäilmassa. Tupakan savuhaitan toteamiseksi riittää viranomaisen astinvarainen toteaminen, jos savuhaitta on toistuva. (10, s. 8-9.)

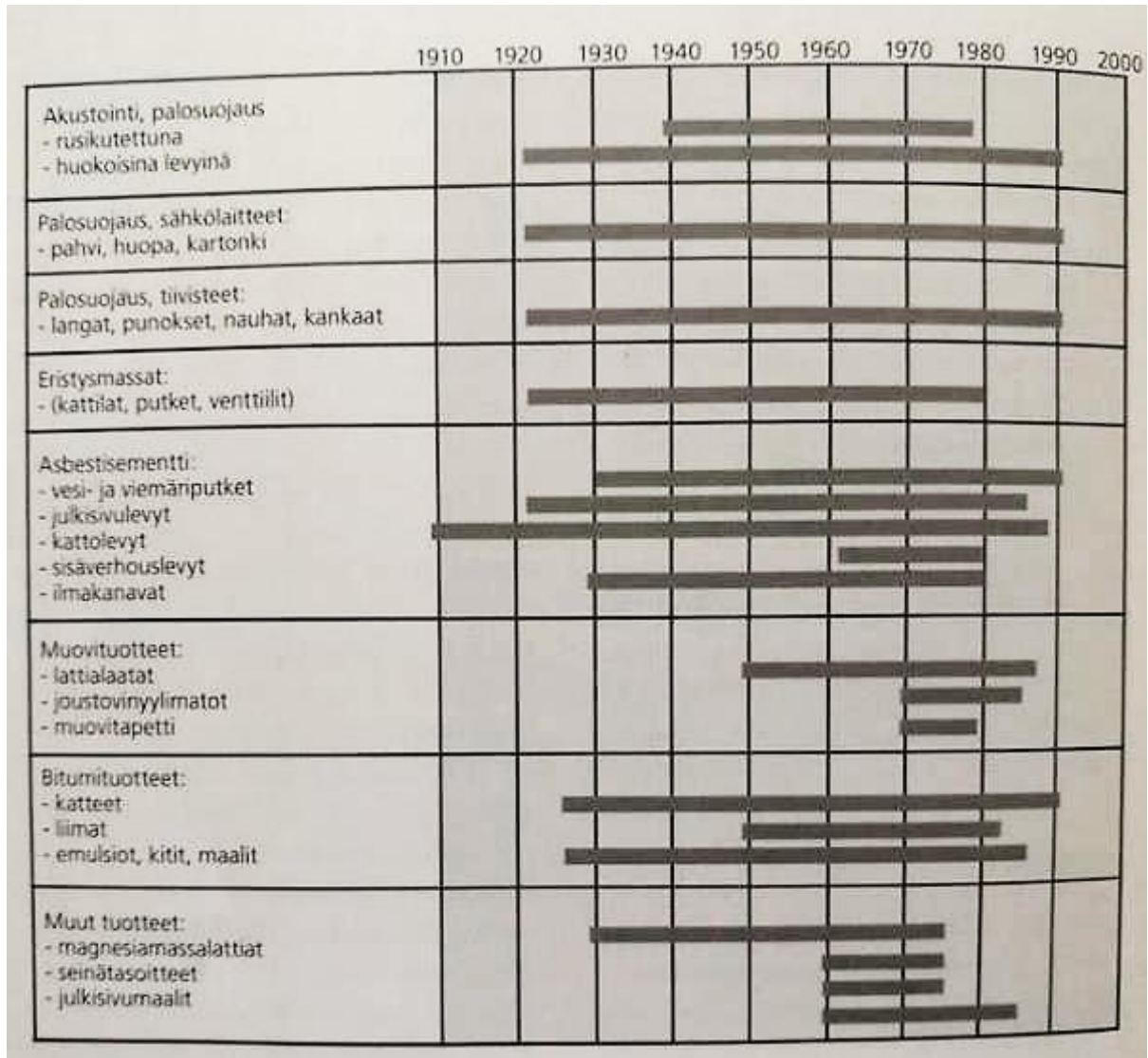
Kuidut sisäilmastossa voidaan jakaa kahteen ryhmään: teollisiin mineraalikuituihin ja luonnossa esiintyviin mineraalikuituihin (8, s. 27; 5, s. 223). **Teollisia mineraalikuituja** ovat lasikuidut, kivivilla- ja kuonavillakuidut sekä keraamiset kuidut. Näitä kuituja on käytetty rakennuksissa 1940-luvulta lähtien rakennuksien äänen- sekä lämmöneristemateriaaleina. Kuitujen vapautumista rakennusmateriaaleista sisäilmaan esiintyy tutkimusten mukaan pääasiassa asennusvaiheessa. Kuitenkin rikkoutuneet tai vanhat ilmanvaihtolaitteiston äänen- ja lämmöneristeet sekä huonetilojen akustiikkalevyt ovat yleisin epätavanomainen lähde sisäilman kuiduille. (5, s. 27, 29.)

Sisäilman kuitupitoisuuden ylittäessä 100 kuitua/m³, halkaisijaltaan yli 3 µm:n osalta saattavat teolliset kuidut olla syyllisiä tilassa koetuille ärsytysoireille (11). Asumisterveysasetuksessa on määritelty asuintiloja koskevat enimmäisrajat kahden viikon aikana pinoille laskeutuneessa pölyssä 0,2 kuitua/cm² (10, s. 9). Ilmanvaihtojärjestelmien kuitupitoisuuksille ei ole vielä olemassa suositusarvoja. Puhtausluokitelluille ilmanvaihtotuotteille on kuitenkin puhtausvaatimukset, joiden mukaan käytössä olevasta äänenvaimentimesta kokonaispitoisuus irtoaville kuiduille tulee olla alle 0,01 kpl/cm². (11.)

Luonnossa esiintyviä mineraalikuituja kutsutaan myös yleisnimellä asbesti. Asbestilaatuja ovat krysotiili, krokidoliitti, amosiitti ja antofylliitti. Asbestipöly sisältää kuituja, jotka ovat pituudeltaan yli 5 µm ja halkaisijaltaan 0,03-3 µm. Tätä pienempiä ei lasketa kuiduiksi. Asbestipitoisista tuotteista leviää käsittelyn yhteydessä ilmaan pieniä neulamaisia kuituja. Liikkumattomassa huoneilmassa leijailvien kuitujen teoreettinen laskeutumisnopeus (halkaisijaltaan 0,5 µm kuidulle) on n. 40 cm/h. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että huoneen ilma on aina sen verran liikkeessä, että osa asbestikuiduista leijailee ilmassa. Tämän takia sisäilmaan päässeet asbestikuidut ovat terveysriski vielä pitkään ilmaan päästyään. (8, s. 225.)

Suomessa asbestia on käytetty rakennusmateriaalina 1920-luvulta lähtien sen hyvien rakennusteknisten ominaisuuksien takia (8, s. 225). Suomessa asbestin uusiokäyttö kiellettiin vuonna 1993 ja EU:n alueella vuonna 2005 sen haitallisten terveysvaikutusten takia (12, s. 5). Asbestipitoisena pidetään rakennusmateriaalia, kun se sisältää asbestia yli 1%:a aineen painosta. Asbestipitoisuus sisäilmassa tulee olla alle 0,01 kuitua/cm³. Pinnoille laskeutuneessa pölyssä asbestikuitujen esiintyminen ei ole hyväksyttävää. (8, s. 224-225.) Nykyisin asbestia esiintyy vaihtelevia määriä kaikenkokoisissa rakennuksissa, jotka on rakennettu tai peruskorjattu vuosien 1930-1980 välillä. Asbestia on käytetty rakennustarvikkeissa kuitenkin vielä 90-luvullakin (kuva 1). Koska asbestipurkutyöt ovat luvanvaraisia, tulee ennen vuotta 1994 valmistuneissa rakennuksissa varmistua, sisäl-

tävätkö purettavat rakenteet asbestia. Mikäli kohteessa olevia asbestimateriaaleja ei pureta, ne tulee pinnoitettua tai koteloida siten, että asbestikuitujen irtoaminen niistä estyy. (12, s. 25, 26.)



KUVA 1. Asbestin käyttö rakennustarvikkeissa (8, s. 224)

Kaasumaisten orgaanisten yhdisteiden (VOC) yleisimpiä lähteitä sisäilmassa ovat käytetyt rakennus- ja sisustusmateriaalit, maalit, kalusteet ja erilaiset tekstiilit. Sisäilmassa nämä epäpuhtaudet voivat esiintyä kiehumisasteesta riippuen joko partikkeleihin absorboituneina, kaasu-, hiukkas- tai höyrymaisessa muodossa. Sisäilmasta onkin jo tunnistettu yli tuhat erilaista haihtuvaa yhdistettä,

jotka Maailman terveysjärjestö WHO:n mukaan luokitellaan neljään (kuva 2) ryhmään kehumispisteensä mukaisesti. (5, s. 23; 8, s. 213.)

Sisäilman VOC-pitoisuus on riippuvainen yhdisteiden lähteestä, sisäpintojen ominaisuuksista, rakennuksen iästä ja ilmanvaihdosta. Uusissa ja peruskorjatuissa rakennuksissa ilmantiiveys on usein parempi, millä on omat vaikutuksensa VOC-päästöihin. Näissä rakennuksissa VOC-tasot saattavat olla jopa 10-100 kertaiset verrattuna vanhempiin remontoimattomiin rakennuksiin. Sisäilman VOC-päästöt voivat olla myös peräisin rakennuksen muista tiloista esim. varastot ja autotallit. (5, s. 23.)

VOC-päästöjä sisäilmaan tuottavat myös ihmisen aineenvaihdunta ja oma toiminta. Tällaisia toimintoja ovat mm. pyykinpesu, kosmetiikkatuotteiden käyttö, tupakointi, ruuan laitto, maalaaminen ja pesu- ja puhdistusaineiden käyttö. On kuitenkin arvioitu, että yli puolet sisäilman VOC-päästöistä ovat peräisin ehjistä tai vioittuneista rakennusmateriaaleista. Eri yhdisteet voivat reagoida keskenään ja muiden sisäilman ainesosien kanssa. (8, s. 213.)

Asumisterveysasetuksessa on määritelty asuintiloja koskevat enimmäisrajat haihtuville orgaanisille yhdisteille. TVOC-kokonaispitoisuudelle toimenpideraja-arvo on $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kun taas yksittäisille yhdisteille toimenpide raja-arvot ovat $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sisäilmapitoisuudessa. Muutamille yhdisteille on asetettu kokonaan omat rajansa. (13, s. 74.) Altistumisen sisäilman orgaanisille yhdisteille on katsottu voivan aiheuttaa terveyshaittaa yhdisteistä riippuen. Sisäilmasta johtuvien terveysvaikutusten selvittämiseen tarvitaan kuitenkin vielä lisätutkimuksia. (8, s. 213.)

Koneet ja laitteet voivat myös olla **kaasumaisten epäpuhtauksien** lähteitä, sillä lasertulostimet ja kopiokoneet tuottavat sisäilmaan mm. otsonia ja muita orgaanisia yhdisteitä (8, s. 210; 5, s. 106-107).

Sisäilman **epäorgaanisia kaasuja** ovat ihmisen itsensä tuottama **hiilidioksidi**, jonka kohonnut pitoisuus sisäilmassa viittaa yleensä ilmanvaihdon riittämättömään ilmanvaihtoon (8, s. 215). Asumisterveysasetuksessa on määritelty hetkelisen hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvoksi sisäilmassa maksimissaan $1\ 450 \text{ mg}/\text{m}^3$ (800 ppm) suurempi kuin ulkoilman pitoisuus (10, s. 3).

Ammoniakki on väritön kaasu, jonka lähteinä sisäilmaan ovat mm. rakennusmateriaalit, puhdistus- ja pesuaineet, lemmikit sekä ihmisen toiminnat, kuten tupakointi. Ammoniakin pistävä tuoksu sisäilmassa voi olla merkki kosteuden vaikutamisesta ammoniakkipitoisessa tuotteessa, kuten jotkut tasoitteet tai liimat. (8, s. 214.) Ammoniakin sallittu määrä asuintilojen sisäilmassa vaihtelee välillä 20 - 40 µm lähteestä riippuen. Ammoniakille raportoitu hajukynnys vaihtelee suuresti ihmiskohtaisesti. (13, s. 74.)

Radon on maaperästä nouseva radioaktiivinen jalokaasu, jota ihminen ei pysty havaitsemaan aistinvaraisesti. Suomessa maaperä on ainoa merkittävä radonlähde. (8, s. 217.) Kuitenkin noin puolet suomalaisten saamasta säteilyannoksesta on peräisin huoneilman radonista (13, s. 75). Säteilyturvakeskuksen mitausten mukaan radonin esiintyvyys Suomessa on alueittaista. Myös vuodenaikalla on vaikutusta radonin esiintyvyyteen maaperässä ja sisätiloissa, sillä talvella jään peittävä maa estää radonin purkautumisen ulkoilmaan. Tämä tulee huomioida uudisrakennuksia ja korjausrakennuskohteita suunniteltaessa. Määräysten mukaan Radonin uudiskohteen enimmäisarvo saa olla 200 Bq ja vanhoissa rakennuksissa 400 Bq. (8, s. 217-219.)

Vaurioitumattomassa rakennuksessa sisäilman normaaleja **mikrobilähteitä** ovat mm. ulkoilma, elintarvikkeet, tilan irtaimisto ja siivouksen yleinen taso (13, s. 65). Sisätiloissa bakteerien pääasiallinen lähde on ihminen itse. (5, s. 18). Myös rakennuksen käytöllä ja toiminnoilla on suuri merkitys sisäilman mikrobi-tasoon, sillä erilaiset mikrobit kulkeutuvat käyttäjien vaatteissa ja kengissä ulkoa sisätiloihin (13, s. 65).

Vaurioituneissa rakenteissa voi esiintyä sisäilmalle tavanomaisia ja epätavanomaisia **sieni- ja bakteerilajistoa**. Vuodenaikalla on todettu olevan huomattava vaikutus sisä- ja ulkoilman sienipitoisuuksiin. Myös sillä on merkitystä, ollaanko kaupungissa vai maalla. Eri sienisukuja ja -ryhmiä esiintyy sisäilmassa yleisesti, ja ne ovat peräisin ulkoilmasta. Kosteusvaurioille tavanomaisia mikrobeja voi myös kantautua sisäilmaan, eikä niiden esiintyminen sisäilmassa välttämättä tarkoita kosteusvauriota rakennuksessa. (5, s. 18.)

Kosteusvaurio tai toimimaton rakenne saattavat luoda home- ja sienikasvustoille otolliset elinolosuhteet. Homeet ja muut mikrobit voivat kasvaa sisätiloissa, kun ilman suhteellinen kosteus pysyy jatkuvasti 70-75 % RH:n yläpuolella ja lämpötila on +10- +55 °C. Nopeaksi mikrobien kasvu ja homehtuminen yltyvät, kun ilman suhteellinen kosteus on yli 90 % RH. (8, s. 215.)

Mikrobit tuottavat aineenvaihduntayhdisteinä sisäilmaan kaasumaisia epäpuhtauksia (MVOC). Aineenvaihduntatuotteiden koostumukseen vaikuttavat mm. kasvualusta, lämpö- ja kosteusolosuhteet sekä kasvun vaihe. Näillä haihtuvilla orgaanisilla yhdisteillä on olemassa sisäilmassa myös muita lähteitä, kuten rakennusmateriaalit, pesuaineet, liikenne ja kasvillisuus. Mahdollisten MVOC:n kuormitus sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispäästöistä on kuitenkin todettu olevan vähäistä. (5, s. 18-21.) Suurten määrien homeita, niiden itiöitä tai aineenvaihduntatuotteita ja toksiineja on todettu voivan aiheuttaa ihmiselle terveyshaittaa (14).

2.2.2 Ulkoiset epäpuhtaustekijät

Sisäilman laatu on aina riippuvainen rakennusta ympäröivän ulkoilman laadusta.

Hiukkaset ulkoilmassa ovat orgaanista tai epäorgaanista pölyä ja niiden pitoisuudet vaihtelevat ilmastollisten seikkojen, kuten lämpötilan, ilmankosteuden sekä tuuliolosuhteiden mukaan. Luonnollisen pölyn määrään vaikuttavat olennaisesti maaperän pölyävyys, kasvillisuus ja niiden siitepölyt sekä tulivuorien läheisyys. Ilman epäpuhtauksista suurin osa on lähtöisin ihmisen toiminnoista. (8, s. 208-209.)

Ilmanlaatu vaihtelee vuorokauden- ja vuodenaikojen mukaan. Esimerkiksi öisin ilman laatu on huomattavasti parempaa kuin päivisin, mikä johtuu liikenteen aiheuttamien epäpuhtauksien vähäisyydestä. (18.) Syksyllä lämmityskauden alkaessa lämmityslaitosten päästöt vaikuttavat hiukkaspitoisuuksien kasvuun ulkoilmassa (8, s. 208). Talvisin maanpinnan läheinen ilmakerros on jäähtynyt ylempää ilmakerrosta voimakkaammin. Tyvennä talvipäivänä ilmakerrokset eivät sekoitu keskenään ja liikenteen pakokaasut jäävät lähelle maanpintaa nostamaan epäpuhtauspitoisuuksia. Keväisin liikenteestä aiheutuvat hiukkasongelmat

näkyvät ulkoilmassa katupölynä. (18.) Autoilusta johtuvien ilmansaasteiden määrä on suuri. Liikenteen tuottamien ilmansaasteiden määrän on arvioitu olevan kaupunkien keskusta-alueilla jopa 90 % ilman epäpuhtauksista, kun taas maaseuduilla sama luku on alle 10 % (8, s. 208.) Valtioneuvosto onkin antanut asetuksessa 29/2017 raja-arvoja ilman epäpuhtauksille ulkoilmassa (20).

Ulkoilman mikrobit ovat tärkeä osa luonnon kiertokulkua ja kuuluvat myös ihmisen luonnolliseen elinympäristöön (14). Sisätiloissa mikrobeja esiintyy rakenteiden pinnoilla sekä sisäilmassa. Sisäilmassa tavatut bakteerit, home-, hiiva- ja lahohtaj sienet ovat peräisin luonnosta, kuten maaperästä, ulkoilmasta ja kasvillisuudesta. (16.) Ulkoilman onkin todettu olevan tärkein sisäilman homeitiölähde sulanmaan aikaan (14).

2.3 Sisäilmaston fysikaaliset tekijät

Sisäilmastoon vaikuttavia fysikaalisia tekijöitä ovat lämpötila, ilman kosteus, rakenteiden kosteus, ilman liike, ilman ionit, säteily, valaistus sekä melu (7). Rakennusfysikaaliset tekijät eivät ole ilman epäpuhtauksia vaan vaikuttavat lähinnä ihmisten viihtyvyyteen ja terveellisyteen tilassa muuttamalla sisäilmaston olosuhteita. Ympäristöministeriön asetuksella näille tekijöille on asetettu tavoitearvoja, joilla pyritään terveelliseen, turvalliseen ja viihtyisään sisäympäristöön. (8, s. 198.)

Lämpöolot ympäristössä vaikuttavat ihmisen henkisiin ja fyysisiin toimintoihin. Lämpöaistimukseen vaikuttavat ilman lämpötila, ilman nopeus, vaatetus sekä kehon lämmöntuotto. Myös ilmankosteudella on vaikutusta lämpöaistimukseen. Lämpöolot tilassa muodostuvat lämpötilasta ja ilman nopeudesta ja ne vaikuttavat ihon ja ilman välisellä konvektiolla lämpöaistimukseen. (8, s. 198-200.)

Ympäristöministeriön asetuksen mukaan rakennuksen huonelämpötilan on oltava käyttöaikana viihtyisä, eivätkä sitä saa heikentää ilman liike, lämpötilasäteily, lämpötilan vaihtelu, lämpötilaerot tai pintalämpötilat. Huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvona on käytettävä lämpötilaa +21 °C. Huonelämpötilan hallinnan suunnittelussa huonelämpötila voi vaihdella +20:n ja +25:n °C:n välillä lämmityskaudella ja välillä +20:n ja +27:n °C:n lämmityskauden ulkopuolella. (18, s.

3.) Huoneen lämpötila pysyy harvoin yhtäjaksoisesti vakiona säätölaitteiden toiminnan ja lämpökuormien vaihteluiden takia. Myös ulkolämpötilan vaihtelut vaikuttavat sisälämpötilaan. (8, s. 201.)

Veto on liian voimakasta paikallista lämmönsiirtoa. Se aiheutuu ilman liikkeestä, lämpötilasta tai näiden yhdistelmästä. Toisin kuin luullaan, vedon syynä ei ole ilman liikkeen mekaaninen ärsyke, vaan tunne vedosta liittyy paikalliseen lämmönsiirtoon. Myös säteilyepäsymmetriaan perustuva säteilylämmönsiirto liittyy vedon tunteeseen. Epäviihtyvyyttä aiheuttavaa huoneilman nopeutta eri lämpötiloissa voidaan arvioida mm. vetokäyrien avustuksella. (8, s. 204.)

Valaistukselle asetettavat vaatimukset sisätiloissa määräytyvät pääasiassa tilaan suunnitellun toiminnan mukaan. Tärkeimpiä vaikuttajia ovat itse tilan ominaisuudet, rakenteet, toiminnat ja niiden turvallisuus, tilassa suoritettavat näkötehtävät ja viihtyisyys. Vääränlaisen valaistuksen tai värimaailman haittavaikutukset ovat harvoin suoraan osoitettavissa. Välillisiä haittoja voivat olla mm. päänsärky, silmien rasitus, väsymys ja ärtyisyys, työhaluttomuus sekä erilaiset työvirheet. (8, s. 236, 230.)

Melulla tarkoitetaan ei-toivottuja ja ihmiselle haitallisia ääniolosuhteita tilassa. Melua voivat olla esimerkiksi liikenteen äänet, työympäristön tai toisten ihmisten ääniä. (8, s. 186-87.) Kansainvälinen suositus ISO 1999 meluallistuksen ja kuulon heikkenemisen riskiarvioinnista antaa kaavan, josta voidaan laskea aikarajoitukset eri melutasoille. Jo vähäisetkin meluäänet voivat haitata nukkumista, unen saantia ja keskittymistä koulu- tai työtehtäviin. Melun häiritsevyys on riippuvainen äänen lähteen taajuudesta ja ympäristön valitsevasta äänitasosta. (19, s. 3.)

Ympäristöministeriön asetuksen mukaan ääniolosuhteet uusiin rakennuksiin tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että tilassa saavutetaan tilan käyttötarkoitusta vastaava puheenerotettavuus (19, s. 3). Vaikka melutaso ei nousisi äänentasonmittauksen mukaan haitallisen korkealle, voi siitä pitkäaikaisesti koettuna seurata elimistön kuormittumista. Sillä voi myös olla vaikutusta koetun sisäilman negatiivisiin vaikutuksiin, kuten lämpötilaan ja epäpuhtauksiin. Hyvät ääniolosuhteet edistävät toimintaa johon tila on tarkoitettu. (8, s. 135, 186.)

Ulkoilman kosteuspitoisuus vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Koska lämmin ilman voi sitoa itseensä enemmän kosteutta kuin kylmä, kesällä vesihöyrynmäärä (g/m^3) on tyypillisesti suurempi kuin talvella. (13, s. 109.) Vesihöyrynmäärä ulkoilmassa vaihtelee talven $1 \text{ g}/\text{m}^3$:sta kesän $10 \text{ g}/\text{m}^3$:aan. Ulkoilman suhteellinen kosteus vaikuttaa rakennusten ja rakenteiden toimivuuteen. Korvausilmana käytettävä ulkoilma voi talvella aiheuttaa huoneilman kuivumista, sillä kylmän ulkoilman päästessä lämpimiin rakenneseisiin sen kyky sitoa itseensä kosteutta kasvaa. Vaikka talvella suhteellisen kosteuden arvo on suuri, silloin ilman vesipitoisuus on vähäinen johtuen kylmän ilman huonosta kyvystä sitoa itseensä kosteutta. (8, s. 206.) Tämä takaa kylmien rakenteiden kuivuminen tuuletusilmalla on talvisin hidasta esim. tuuletusvälillinen ulkoseinä (13, s. 109).

Sisäilman kosteuspitoisuudella on suuri merkitys ihmisen hyvinvointiin ja terveyteen. Ihminen aistii ilman suhteellisen kosteuden laskun ihon ja limakalvojen välityksellä. Sisäilman suhteellisen kosteuden lasku lisää myös materiaaleissa pölyn muodostusta ja auttaa pölyn ja bakteerien kykyä leijaila ilmassa. Asuinhuoneen ihanteellisena suhteellisen kosteuden arvona terveyden kannalta pidetään 30-40 %. Sisäilman kosteuden kasvaessa vaatteiden läpi diffusoituva kosteus kehon pinnalta vähenee. Tämä saa aikaa kosteuden siirtymisen vaatteisiin, mikä taas vaikuttaa viihtyvyyteen ja altistaa vilustumisriskille ulos siirryttäessä. (8, s. 207.)

Sisäilman suhteellinen kosteus määrittyy suurilta osin ulkoilman suhteellisen kosteuden mukaan, jos rakennuksessa ei ole jäädytystä, ilmastointia tai kostutusta (13, s. 61). Sisäilman kosteuspitoisuuteen vaikuttavat voimakkaasti sisäiset kosteuden lähteet, kuten ihmisen elintoimintojen tuottama kosteus, kasvit, ruuanlaitto ja veden käyttöön liittyvät toiminnot. Lämmityskauden aikana sisäilman suhteellinen kosteus on tavallisesti 20-40 %. Sisäilman kostuttamista tulisikin välttää, kun sisäilman suhteellinen kosteus ylittää 45 %:n lämpötilan ollessa $+21 \text{ }^\circ\text{C}$. Liian korkea suhteellinen kosteus sisäilmassa saattaa kondensoitua rakenteiden sisuksiin tai sisäpintoihin. Se mahdollistaa homeiden ja muiden mikro-organismien synnyn rakennusmateriaaleihin. Liika kosteus huoneilmassa voi myös liuottaa huoneen materiaaleista erilaisia yhdisteitä, kuten formaldehydiä. (8, s. 207.)

Ympäristöministeriön asetuksen mukaan sisäilman suhteellisen kosteuden on pysyttävä tiloille suunnitelluissa käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa eikä kosteudesta saa aiheutua kosteusvaurioita, mikrobien kasvua tai terveydellistä haittaa (18, s. 3).

2.4 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon vaikutukset sisäilmanlaatuun ovat merkittävät, koska sen tehtävänä on kuljettaa tiloihin puhdasta ilmaa ja poistaa hiukkasmaisia ja kaasumaisia epäpuhtauksia tilasta (8, s. 204). Sisäilman laadun kannalta ilmanvaihto liittyy useimmiten seuraaviin tekijöihin: Ilmamäärien jakautuminen ja riittävyys, ilmanvaihtojärjestelmän itsensä toimiminen epäpuhtauslähteenä ja ilmanvaihdon vaikutus rakennuksen painesuhteisiin ja epäpuhtauksia kuljettaviin ilmavirtauksiin (13, s. 82). Ilmavirtojen mitoitus tilassa taas perustuu laskennalliseen henkilökuormitukseen sekä hajujen poistamiseen (8, s. 204). Mikäli henkilömäärä ei ole tiedossa, käytetään ilmavirtojen laskussa rakennuksen pinta-ala tietoja (5, s. 61).

Erilaisia ilmanvaihtojärjestelmiä ovat painovoimainen ilmanvaihto, koneellinen poistoilmanvaihto ja koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Koneelliset ilmanvaihtojärjestelmät ovat helpommin hallittavissa kuin painovoimainen ilmanvaihto. Kuitenkin Ruotsin sosiaalhallitus listasi Sick building syndrome- sairastalo syndrooman taloissa ilmeneviä yhteisiä piirteitä, joista yksi oli koneellinen ilmanvaihto. Näissä kohteissa ilmanvaihdon toiminnassa, säädöissä, käytössä ja huollossa oli havaittu puutteita. (8, s. 205, 227.)

Vanhemmissa järjestelmissä tyypillisimpinä ongelmina ovat lumen ja veden kulkeminen ilmanvaihtojärjestelmään, äänenvaimentimien pinnoilta irtoavien kuitujen päätyminen sisäilmaan sekä epätiivit ilmanvaihtokoneet ja -kanavat. Konehuoneiden ahtaus ja laiteiden sijoitus huollon kannalta hankaliin paikkoihin ovat ilmanvaihtojärjestelmän säätöä ja huoltoa hankaloittavia tekijöitä. Lisäksi kalibroittujen ilmavirtojen mittauslaitteiden puuttuminen ilmanvaihtokoneista on huomioitu ongelmaksi. (5, s. 60.) Ilmanvaihtojärjestelmän itsensä toimiessa epäpuhtauksien lähteenä syynä voivat kuitujen irtoamisen lisäksi olla rakentamisen ja

käytön aikana kertynyt pöly. Myös kastuneista suodatin- ja äänieristemateriaaleista ja likaisista kanavapinnoista voi irrota erilaisia kemiallisia ja mikrobiperäisiä epäpuhtauksia. (13, s. 82.)

Ilmanvaihdon mitoituksen minimin ohjearvot on esitetty ympäristöministeriön asetuksessa 1009/2017, joka on asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (18, s. 4). Näillä ohjearvoilla saadaan aikaan vähintään tyydyttävä ilmanlaatu, kun ilmanvaihtokoneiden huollosta ja toiminnasta huolehditaan. Tuloilman suodatustaso määräytyy sisäilmalle asetettujen määräysten ja tavoitteiden mukaisesti. (8, s. 204.) Pienten partikkeleiden pitoisuudet sisäilmassa seuraavat usein ulkoilman tasoa, minkä vuoksi ulkoilman suodattamisen tasolla sekä ilmanvaihtojärjestelmällä on suuri merkitys sisäilman epäpuhtauksien tasoon (5, s. 26).

3 TIIVEYDEN VAIKUTUKSET SISÄILMASTOON

3.1 Ilmanpaineet ja ilmavirtaukset

Rakennuksen ja rakenteiden toimivaan lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan vaikuttavat lämmön ja kosteuden lisäksi rakennuksessa esiintyvät ilmanpaineet ja niiden aiheuttama vaihtelu (8, s. 34). Rakennuksen painesuhteista puhuttaessa tarkoitetaan rakennuksen eri osien välisiä tai sisä- ja ulkoilman välisiä ilmanpaine-eroja (13, s. 86). Ilmanpaine-erot saavat aikaan ilman kiertoliikettä, luonnollista- ja pakotettua konvektiota, joka on merkittävää rakennuksen ja rakenteiden kannalta (8, s. 34). Erilaisista painesuhteista johtuen ilma pyrkii virtaamaan korkeammasta paineesta alhaisempaan (13, s. 86).

Erilaisten ilmanpaine-erojen muodostumiseen rakennuksessa vaikuttavat sisä- ja ulkoilman tiheyseroista syntyvä savupiippuvaikutus, tuuli sekä rakennuksen lämmitys- ja ilmanvaihdon järjestelyt (8, s. 34-39; 13, s. 86). Ilmanvaihdon vaikutus rakennuksen painesuhteisiin on sitä voimakkaampi, mitä tiiviimpi rakennuksen vaippa on (13, s. 82).

3.2 Ilmanpaine ja kosteus

Kosteuden siirtyminen diffuusiolla määräytyy ilman sisältämän kosteuden mukaan. Rakennustekniikassa tämä tarkoittaa yleisesti vesihöyryn liikkumista rakenteen läpi. Paine-erot, jotka aiheutuvat rakenteisiin ilman vesihöyryn osapaineiden diffuusiosta, ovat suuruudeltaan satoja Pa/m², kun ilmanpaine-erot rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välillä ovat voimina vain muutamia Pa/m². Kuitenkin rakennuksille suuremman kosteusvaurioriskin aiheuttaa ilmanpaine-eroista aiheutuva konvektio, mikäli rakennuksessa vallitsee ylipaine. Huonetilassa vallitseva ylipaine saa ilmavirran liikkumaan sisältä ulospäin, jolloin lämpimästä sisäilmasta sitoutunutta kosteutta kulkeutuu rakenteisiin ja se saattaa tiivistyä vedeksi. (8, s. 38, 39, 71.) Näin voi tapahtua erityisesti silloin, kun rakenteet ovat kylmiä ja ulko- ja sisäilman lämpötilaerot ovat suuria (13, s. 86).

Savupiippuvaikutuksesta johtuen jotkin rakennukset voivat olla yläosastaan yli-paineisia. Kosteuskonvektion aiheuttamia vaurioita tavataan usein yläpohjissa. (13, s. 119.)

Alipaineisessa rakennuksessa talvella ulkoapäin sisälle virtaava kylmä ilma kiihottaa lämmitessään rakenteita, sillä kylmä ilma lämpenee virratessaan lämpimään sisätilaan. Lämmitessään ilma kykenee sitomaan enemmän kosteutta. Kesäaikana paine-erojen vaikutuksella saattaa olla väliä erittäin kosteissa huoneistoissa tai korkeissa rakennuksissa, jolloin ns. savupiippuvaikutus kasvaa. (8, s. 34, 39.)

Jo kumotussa Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 ohjeessa kerrottiin, että yleisesti rakennus suunnitellaan alipaineiseksi, jotta välttyttäisiin rakenteiden kosteusvaurioilta ja mikrobien aiheuttamilta terveyshaitoilta. Alipaine ei kuitenkaan saanut yleensä olla suurempi kuin 30 Pa. (20, s. 19.) Uudistuneessa rakentamismääräyskokoelman asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta säädetään, että rakennuksen suunnittelijoiden on suunniteltava rakennus niin, ettei yli- tai alipaineesta aiheudu haittaa rakenteille tai epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan. Käytännössä suunnittelijat päättävät, onko rakennus yli- vai alipaineinen. Hyvän kosteusteknisen toimivuuden kannalta rakennukset tulisi aina suunnitella alipaineisiksi. (8, s. 8, 39.)

3.3 Ilmavuodot

Rakennuksessa vallitseva alipaineisuus mahdollistaa ulkoilman virtaamisen rakenteiden läpi rakenteissa esiintyvien tiivistämättömien kulkureittien kautta (13, s. 86). Rakenteiden rakennuksen vaipan ja tilojen välissä tulee olla ilmanpitäviä niin, etteivät vuotokohtien läpi pääsevät ilmavirtaukset aiheuta haittoja rakennuksen käyttäjille tai rakenteille (8, s. 50). Rakennuksen ilmatiiveydellä on todettu olevan vaikutusta ulkoilmasta sisäilmaan kulkeutuvien mikrobien määrään, sillä rakennuksen ilman vuotoreittien kautta sisäilmaan pääsee hiukkasmaisia epäpuhtauksia (5, s. 20, 26). Rakennuksen alapuolisessa maaperässä ja ulkovaipparakenteissa on lähes aina epäpuhtauksia, kuten radonia tai mikrobeja, jotka heikentävät sisäilmanlaatua päästessään sisäilmaan (13, s. 118).

Liiallinen alipaineistaminen sisätiloissa ei ole suotavaa myöskään epäpuhtauksien kulkeutumisen näkökulmasta. Opinnäytetyössä, jossa tutkittiin paine-erojen vaikutusta sisäilman hiukkaspitoisuuteen, todettiin sisätilojen pienhiukkasten määrän kasvua alipaineen kasvaessa lievästi suositeltua suuremmaksi. Erityisen suureksi alipaineen kasvaessa kasvoi myös suurempien hiukkasten ja vanhoista mineraalivilloista irtoavien kuitujen määrä sisäilmassa. Tutkimuksen mukaan rakennuksen ulkovaipan tiiveydellä voidaan ehkäistä paine-eron vaikutuksesta hiukasmaisten epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan. (9, s. 2, 50.) Myös ulkoilman saasteille altistumisen on todettu tapahtuvan pääosin sisätiloissa (6, s. 4). Ilmanpitävyyden kannalta erityishuomiota on kiinnitettävä rakenteiden läpivientien ja liitosten suunnitteluun sekä huolellisuuteen rakennustyössä (8, s. 50).

Ilmanvaihdon luotettavalle toiminnalle rakennusvaipan hyvä ilmanpitävyys on perusedellytys (21, s. 10). Ilmanvaihtojärjestelmän korvausilmareittien ja -venttiilien tuleekin olla suunniteltu ja järjestetty niin, ettei korvausilmaa kulkeudu rakenneliitosten, läpivientien ja muiden rakennuksen vaipan epäjatkuvuusreittien kautta (13, s. 86).

Huonelämpötilasta poikkeavat pintojen lämpötilat vaikuttavat myös tilan lämpöviihtyvyyteen (8, s. 201).

4 TUTKITTAVAN RAKENNUKSEN IKKUNAT

Opinnäytetyössä tarkastelun kohteena oli kulttuurihistoriallisesti merkittävä, vanha rakennus. Sen julkisivussa ikkunat muuttavat muotoaan kerroksen mukaan. Myös runsas koristeellisuus ikkunoiden ympärillä vaihtelee rakennuksen tyylille tyypilliseen tapaan.

Rakennuksessa on monen muotoisia ja kokoisia ikkunoita. Ikkunat ovat tyyliltään uusrenessanssia sekä hillitympää klassista tyyliä (2, s. 8). Kaikkiaan ikkunoita on 126 kpl. Materiaaleiltaan ikkunat ovat kolmipuitteisia puuikkunoita ja kaikissa ikkunoissa on ulkopuolella veden poistoreiät. Ikkunoihin on tehty monenlaisia korjauksia (kuva 2).



KUVA 2. Ikkunan sisäpuutteen ja lasin välissä on havaittavissa silikonia

Osaa ikkunoista on mahdollisesti korjailtu esim. lisäämällä silikonia ensiapuna irronneeseen lasiin tai asentamalla metallinen lista ikkunarudun alaosaan kitauksen uusimisen sijasta (kuva 3). Ikkunoiden todellinen rakenne ei selvinnyt

tutkimuksissa, sillä ikkunoiden avaamisen kerrottiin olevan niin hankalaa, ettei siihen annettu mahdollisuutta.



KUVA 3. Juhlasalin ikkunasta löytyi muista ikkunoista poikkeava metallilista

Tällä hetkellä rakennuksen ikkunoista lähes kaikki ovat säilyneet vuosien 1978-1982 muutostöistä. Ensimmäisen ja toisen kerroksen osalta ikkuna-aukotukset ovat säilyneet alkuperäisten suunnitelmien mukaisilla paikoillaan, vuosilta 1885-1887. Pohjakerroksen muutostöissä vuonna 1920 kaikki julkisivun ikkuna- ja ovi-aukotukset muutettiin. Ullakko- ja kattokerroksen ikkuna-aukotukset ovat säilyttäneet paikkansa vuodelta 1920. (2, s. 23, 34, 38, 44.)

Ikkunoita on myös poistettu. Alakerran käytävillä oli ennen ikkunat, joista käytävät saivat luonnon valoa. Käytävät poistettiin ensimmäisen perusparannuksen aikana ja nyt valoaukkoina toimivat kattoikkunat. (1, s.13.) Rakennuksen kaksilasilisille kattoikkunoille (kuva 4) vuonna 2008 tehty peruskorjaus sisälsi ikkunoiden karmien, puitteiden, ikkunapenkkien kunnostuksen sekä tiivistyksen.



KUVA 4. Sisäpihaa hallitsee kattoikkuna

Samalla vesipeltien ja helojen kiinnitykset tarkistettiin ja tarvittaessa uusittiin. Uloimmat ikkunalasit on vaihdettu aiemmassa peruskorjauksessa koko rakennuksen ikkunoihin. (23, s. 15; 2, s. 27.)

Lämpökuvaushetkellä ikkunoiden kunto oli hyvä. Erityisesti etelä- ja länsiseinustoiden ikkunoissa oli ikkunan sisässä nähtävissä maalin halkeilua tai hilseilyä, mikä viittaa kosteuden pääsyyn ikkunan sisäpinnoille (kuva 5). Myös auringon aiheuttamaa haalistumista oli havaittavissa näillä ilmansuunnilla sijaitsevilla ikkunoilla.



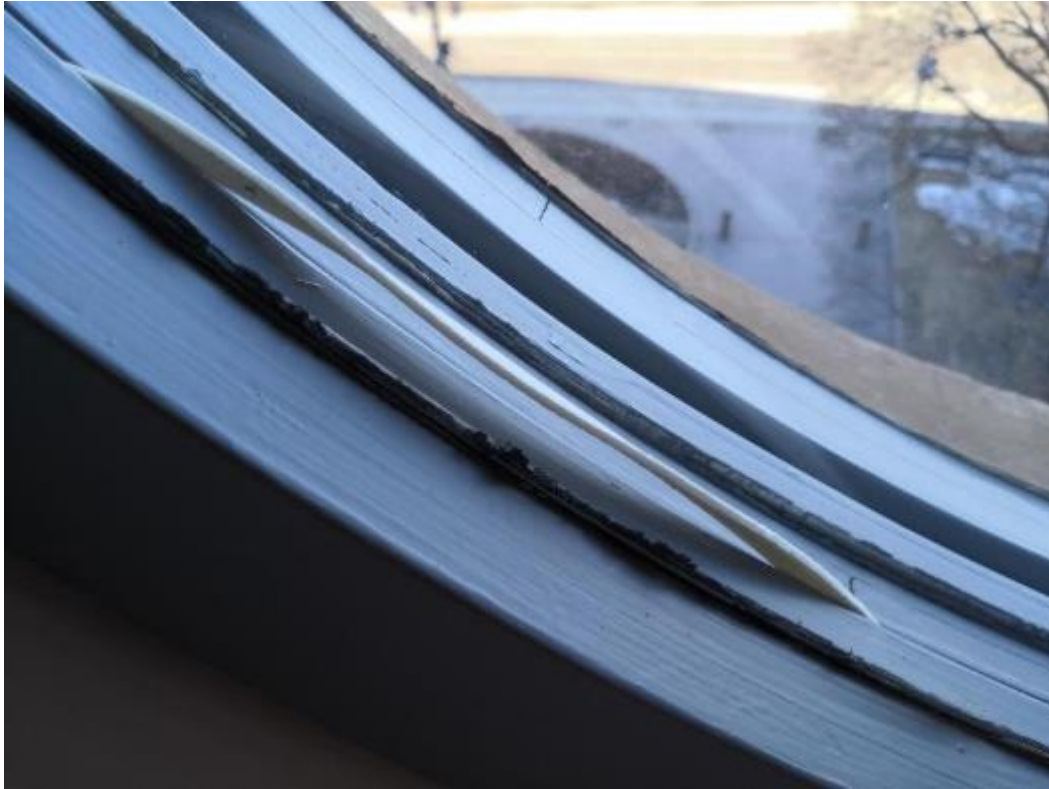
KUVA 5. Ikkunan ulkopuitteen sisäpinnan maali on hilseillyt irti

Osassa ikkunoiden ulkokittauksissa oli nähtävissä rappeutumaa (kuva 6).



KUVA 6. Ikkunan kittaus ulkopuolella on kärsinyt

Edellinen ikkunoiden kunnostus ja maalaustyö aloitettiin kesällä vuonna 2003 (2, s. 28). Tässä ikkunoiden korjausurakassa huoltomaalattiin ikkunoiden sisäpuolien- ja sisäpuitteiden pinnat sekä tiivisteet uusittiin sisäpuitteisin (kuva 7) (23, s. 13). Lämpökuvauksessa havaittiin kuitenkin ilmavuotoja ikkunoiden puitteiden ja karmien väleistä. Tämä viittaa siihen, etteivät kaikki tiivistykset ole täysin onnistuneet.



KUVA 7. Ikkunoita on tiivistetty mm. silikonitiivisteillä

Ikkunoiden ja ovien tiiveydellä on useita tarkoituksia. Tiiviit ikkunat ja ovet ehkäisevät ulkoilman epäpuhtauksien kulkeutumisen sisäilmaan. Muun muassa pöly, saasteet ja pakokaasut voivat kulkeutua ikkunan vuotopaikan läpi sisäilmaan. Oikein tiivistettyinä ne estävät epämiellyttävää vetoa huonetilassa sekä melun kulkeutumista huoneeseen ulkopuolelta. Rakennusfysikaaliselta kannalta tiivis ikkuna estää veden ja kosteuden pääsyn rakenteisiin ja parantaa näin ollen rakenteiden kestävyttä ehkäisemällä laho- ja kosteusvaurioita. Lisäksi rakennuksen ilmanvaihdon kannalta tiiviit ikkunat ja ovet mahdollistavat kohteessa tulo-poistoilmanvaihdon oikeanlaisen toimivuuden. Mikäli rakennuksen vaippa ei ole tiivis, ei ilmanvaihtokaan toimi kunnolla, sillä silloin korvausilma tulee väärästä paikasta. Ilmavuotoina sisälle tuleva ilma on ominaisuuksiltaan kylmää, märkää ja suodattamatonta. (22, s. 10.)

Kattoikkunoilla, joita rakennuksesta myös löytyy, on omat rasituksensa ja kunnossapito-ohjeensa. Talvisin Suomeen olosuhteet asettavat haasteelliset olot

kattoikkunoille. Pakkaskaudella jäätyessään rakenteisiin päässyt vesi voi aiheuttaa suuriakin vahinkoja rakenteessa ja massauksissa. Lasisten kattojen riittäviin huoltoväleihin onkin syytä kiinnittää huomiota. (22, s. 118.)

5 LÄMPÖKAMERAKUVAUS

Opinnäytetyössä selvitettiin kulttuurihistoriallisesti arvokkaan rakennuksen ikkunoiden tiiveyttä kuvaamalla lämpökameralla rakennuksen kaikki ikkunat talvella 2018. Lämpökuvausta ei suoritettu ulkoapäin alhaisen lämpötilan vuoksi. Lämpökuvaus suoritettiin kohteessa useampana eri päivänä ja myöhemmin rakennukselle palattiin tutkimaan toimistotilojen välisiä ilmanpaine-eroja.

5.1 Lämpökuvaus menetelmänä

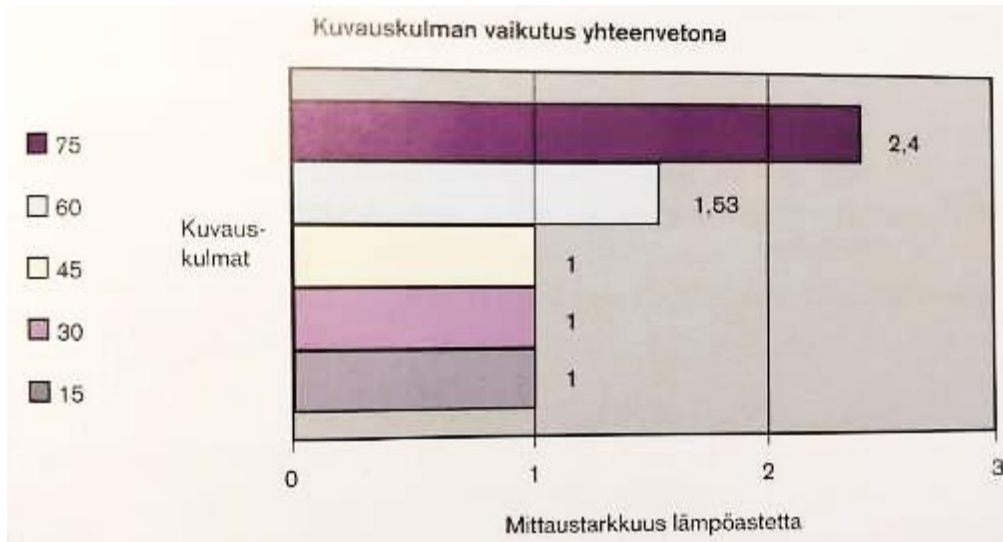
Rakennuksen lämpökuvaus on ainetta rikkomaton tapa tutkia rakennusta ja sen teknistä toimivuutta. Kuvauksella voidaan selvittää mm. rakennuksen lämpöolosuhteita ja rakennusmateriaalien ominaisuuksia. (24, s. 3.) Kuvattaessa etsitään ilmapuotoja, kylmäsiltoja sekä rakennuksen vaipan mahdollisia puutteita.

Lämpökuvaus perustuu lämpökameran vastaanottamaan lämpösäteilyyn. Kaikki pinnat lähettävät säteilyä luontaisesti. Pinnan lähettämän säteilyn voimakkuus on riippuvainen emissiokertoimesta ja pinnan lämpötilasta. Lämpökamera muuttaa vastaan otetun tiedon digitaaliseksi lämpötilatiedoksi. (24, s. 11, 12, 16.)

Pintamateriaalin lämpötila ja kuvauskulma vaikuttavat rakennuksen lämpökuvaukseen. On huomioitava, että lämpökameran mittaama infrapuna-alueen kokonaissäteilyyn sisältyvät myös pintojen heijastama säteily sekä joissain tapauksissa säteily, joka tulee pinnan läpi. Pinnan ollessa kiiltävä tai heijastava emissiokerroin on alhainen, (0-0,5). Emissiokertoimen ollessa lähellä yhtä (1) on suurin osa lämpösäteilystä kohteen itsensä säteilemää. Kuvauskulman muuttuessa myös pinnan emissiivisyys muuttuu näennäisesti (kuva 9). Käytännössä tämä tarkoittaa kohteen pintalämpötilan laskua, joka johtuu kuvauskulmasta. Kuvauskulman ollessa kohtisuoraan 45° kuvattavan pinnan kanssa taustan heijastukset vaikuttavat mittaustulokseen (kuva 8). Tämä on tärkeää muistaa kuvattaessa sisätiloissa. (24, s. 16, 28.)

Kuvausetäisyyden vaikutukset korostuvat kauempaa kuvattaessa, sillä kamera mittaa aina kuvauspisteen kokonaissäteilyä. Mitä kauempaa kuvaus kohde on,

sitä suurempaa aluetta kuvauspiste edustaa ja yksittäinen eroavaisuus jää havaitsematta. (24, s. 16-17.)



KUVA 8. Kuvauskulman vaikutus pintalämpötilan mittatarkkuuteen (24, s. 29)

5.2 Lämpökuvauksessa käytettävä laitteisto

Ominaisuuksiltaan rakennusten lämpökuvauksessa käytettävän lämpökameran (kuva 9) tulee olla mittaava, kuvantava ja tasapainotettu mittalaite. Kameran erotteluherkkyys on oltava minimissään 0,05 °C ja kuvien resoluution tulee olla vähintään 30 000 pikseliä. Kameran tulee olla kalibroitu. (24, s. 19-22, 28.)



KUVA 9. Lämpökameran ominaisuuksille on asetettu virallisia vaatimuksia

Lisäksi tutkimuksissa käytetään ilman suhteellisen kosteuden mittaria (kuva 10), lämpötilamittaria sekä ilmanpaine-eromittaria (24, s. 66).



KUVA 10. Vaisalan mittari näyttää ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan

Tutkituksessa hyödynnettiin savukynää (kuva 11) rakennuksen lämpökamerakuvausten yhteydessä. Savukynä tuottaa savua sydänlangan palaessa, jolloin voidaan aistivaraisesti havainnoida savun liikkeitä.



KUVA 11. Savukynää käytetään lämpökuvauksen oheistutkimuksissa

Työssä mitattiin tilojen välisiä ilman paine-eromittauksia. Tällä pyrittiin tutkimaan huoneiden välistä ilman ja kosteuden liikettä sekä mahdollista vetoa toimistotiloista käytäville ja toisin päin. Ilman paine-eromittarilla myös tarkistettiin rakennuksen alipaineisuus lämpökuvausta varten. (Kuva 12.)



KUVA 12. Paine-ero mittari mittaa tilojen välisiä ilman paine-eroja

5.3 Lämpötilaindeksi

Laskemalla tilan lämpötilaindeksi (TI) voidaan arvioida rakennuksen vaipan rakennusteknistä toimivuutta. Lämpötilaindeksin (kaava 1) laskemista varten määritellään huoneilman, ulkoilman sekä sisäpinnan lämpötila. (24, s. 64; 25, s. 12.)

$$TI = (TSP - T_o) / (T_i - T_o) \times 100 [\%]$$

KAAVA 1

TI = lämpötilaindeksi

TSP = sisäpinnan lämpötila °C

T_i = sisäilman lämpötila °C

T_o = ulkoilman lämpötila °C

Ulkolämpötila saa olla korkeintaan +5 °C lämpötilaindeksiä määriteltäessä. Lämpötilaindeksi on laskennallinen luku ja se vaihtelee 0:n ja 100:n välillä. Lämpötilaindeksi antaa viitteitä viasta tai puutteesta. Mitä pienempi lämpötilaindeksi on, sitä enemmän rakenteessa on kylmäsiltoja ja ilmavuotoja (21, s.5, 95). Lämpötilaindeksiä laskettaessa tulos pyöristetään aina lähimpää prosenttiin. Pääsääntöisesti minimikriteerinä on käytetty TI=61 %:a. On kuitenkin mahdollista, että vanhoissa rakennuksissa liitoskohtien lämpötilaindeksit voivat jäädä alle 61 %:n. Mikäli hyväksytyyn rakenneratkaisun pintalämpötila jää alle tavoitellun miniarvon, voidaan kriteeriä väljentää. Silloin pintalämpötilan laskusta ei saa aiheutua haittaa rakennukselle eikä käyttäjille. (24, s. 96, 103.)

Asumisterveysohjeen soveltamisohjeen osassa 1 on määritelty seinä- ja lattiapinnan sekä pistemäisen pintalämpötilan toimenpiderajat myös lämpötilaindeksinä, jota käytetään, jos mitattavan tilan lämpöolosuhteet eivät vastaa määriteltyä vertailuolosuhdetta. Rakennuksen alipaineisuus huomioidaan pistemäisen lämpötilaindeksin soveltamisessa silloin, kun keskimääräinen alipaineisuus on suurempi kuin 5 Pa (taulukko 3). (26, s. 13-15.) Lämpötilaindeksin paine-erokorjaus lasketaan siten, että jokainen -5 Pa:n ylittävä pakkaali alipainetta vähentää lämpötilaindeksin tulosta 0,5 % (24, s. 98).

TAULUKKO 3. Rakennuksessa mitatun alipaineen vaikutus mitattuun pistemäiseen lämpötilaindeksiin (26, s. 15)

Mitattu alipaine rakennuksessa (Pa)	Korjaus mitattuun pistemäiseen lämpötilaindeksiin
0 - 5	0
6	+ 0,5
7	+ 1,0
8	+ 1,5
9	+ 2,0
10	+ 2,5
11	+ 3,0
12	+ 3,5
13	+ 4,0
14	+ 4,5
15	+ 5,0

5.4 Lämpökuvausraportti

Lämpökuvausraportti sisältää useimmiten mittausraportin, tulosten analysoinnin sekä toimenpide-ehdotuksia tutkimuksen perusteella tehdyistä havainnoista. Mikäli tilaaja katsoo, että hän tarvitsee vain putken paikannuksen tai varmistuksen jostakin rakenteen osasta, voidaan sopia, ettei laajaa raporttia kirjallisin lausuntoineen tarvita. (24, s. 101-102.)

Mittausraporttiin merkitään aina seuraavat tiedot:

- tekijätiedot sekä yhteystiedot
- kohde ja kohteen tiedot: nimi, sijainti, valmistumisvuosi sekä tarvittaessa tietoa kuvaus kohteesta
- kuvauspaikka ja kuvausaika
- lämpökuva, valokuva ja lämpötilamittaustiedot
- käytetty mittauskalusto, tyyppi, malli ja sarjanumero
- kuvausasetukset: pinnan emissiokerroin, kuvausetaisyys, ilmanlämpötila ja taustanlämpötila
- lyhyt kirjallinen yhteenveto. (24, s. 139.)

Mikäli lämpökuvaus koskee sisäpuolisia mittauksia, mittausraporttiin merkitään seuraavat tiedot:

- kuvausten aikana ulkona vallinneet olosuhteet: ulkolämpötila, tuulen nopeus, pilvisuus, auringon säteily sekä sisätilojen painesuhteet ulkoilmaan verrattuna
- lämpötilaindeksi. (24, s. 139.)

5.5 Lämpökuvauksessa raportoitavat poikkeamat:

Lämpökuvauksesta tehtävässä mittausraportissa on aina raportoitava selkeät poikkeavat havainnot, jotka liittyvät rakennuksen lämpöviihtyvyyteen, pitkäaikaiskestävyyteen, rakennuksen tai rakenteiden toimivuuteen tai vaurioitumiseen. Lämpökuvauksessa raportoidaan ja tallennetaan kaikki kohdat rakennuksesta, joissa on havaittavissa:

- epäily kosteusvauriosta
- epäily eristeviasta, joka voi olla asennusvirhe taikka eristeen puuttuminen
- Ilmavuotoja, joita ovat ylipainevuodot ja ilmavuodot sisätiloihin
- ilmavuotoja, joiden lämpötilaindeksi on alle 70 %
- kylmäsiltoja, jolloin lämpötilaindeksi on alle 70 %
- epäilty alenema lattian tai seinän keskilämpötilassa. (24, s. 139.)

Myös muita paikallisia poikkeamia voi ilmetä, ne raportoidaan ja kuvataan tapauskohtaisesti. Tulosten tulkintaa helpottamaan lasketaan lämpötilaindeksi silloin, kun kuvataan sisäpuolisia rakenteita. Toimenpiderajan alittaville poikkeamille tehdään kirjallinen raportointi, jossa pohditaan tilan käyttötarkoitus, poikkeaman laajuus ja sijainti huomioon ottaen tilanteen vakavuutta. Raportoinnissa voidaan myös kertoa seurauksista ja mahdollisista korjaustoimenpiteistä. (24, s. 139.)

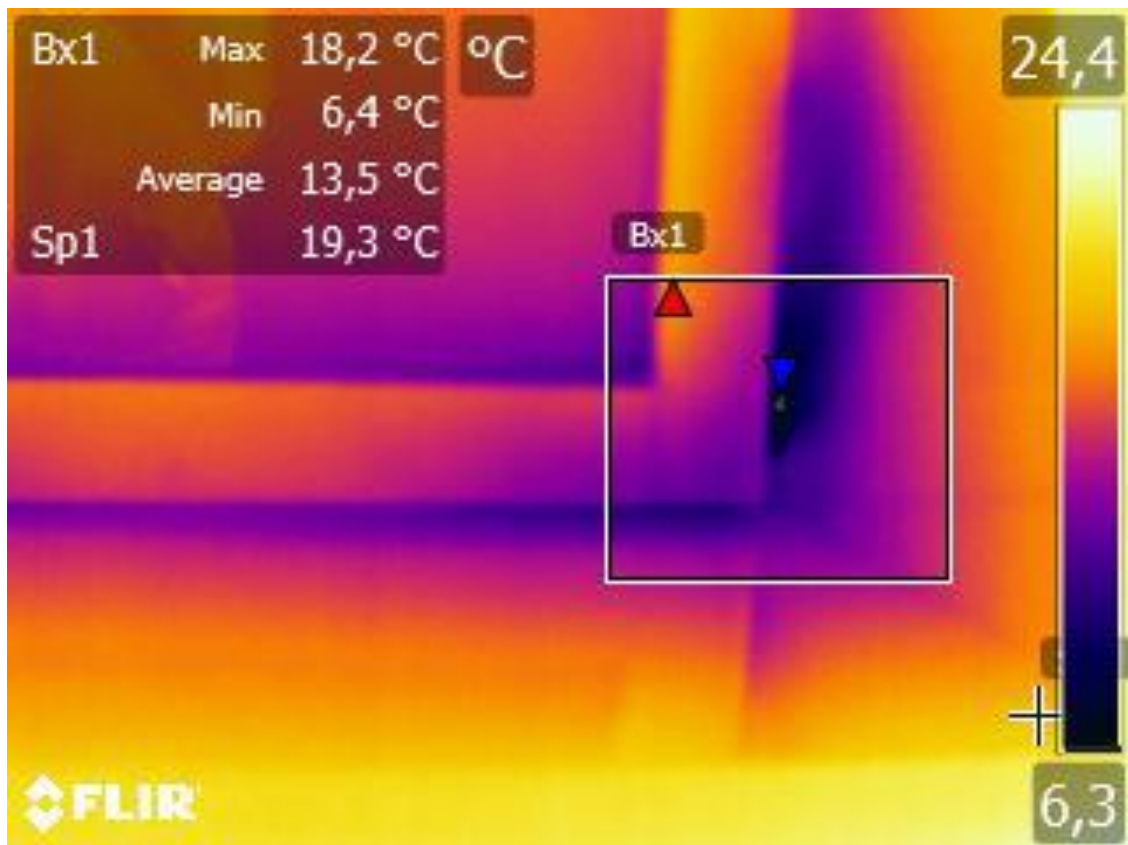
6 OPINNÄYTETYÖN TULOKSET JA NIIDEN TULKINTA

Opinnäytetyössä tehtyjen lämpökamerakuvauksien tulosten analysointia tehtäessä tulee huomioida, että tutkimustulokset kertovat juuri tutkimushetkellä vallinneista olosuhteista rakennuksessa. Lämpökuvausta tehdessä kävi ilmi, ettei rakennuksen ikkunoita tule avata paine-eron mittaamista varten, sillä ikkunoiden sulkeminen on haastavaa. Tämän toiminnallisen haitan kerrottiin koskevan kaikkia ikkunoita.

Suojellun rakennuksen ikkunoiden korjausta suunniteltaessa on otettava huomioon ikkunoiden ikä, käytetyt materiaalit ja työskentelytavat. Arvorakennuksen ikkunat tulee inventoida jokainen ikkuna, ellei jopa jokainen ikkunaruutu, erikseen korjaustarpeen suunnittelua varten. (27.)

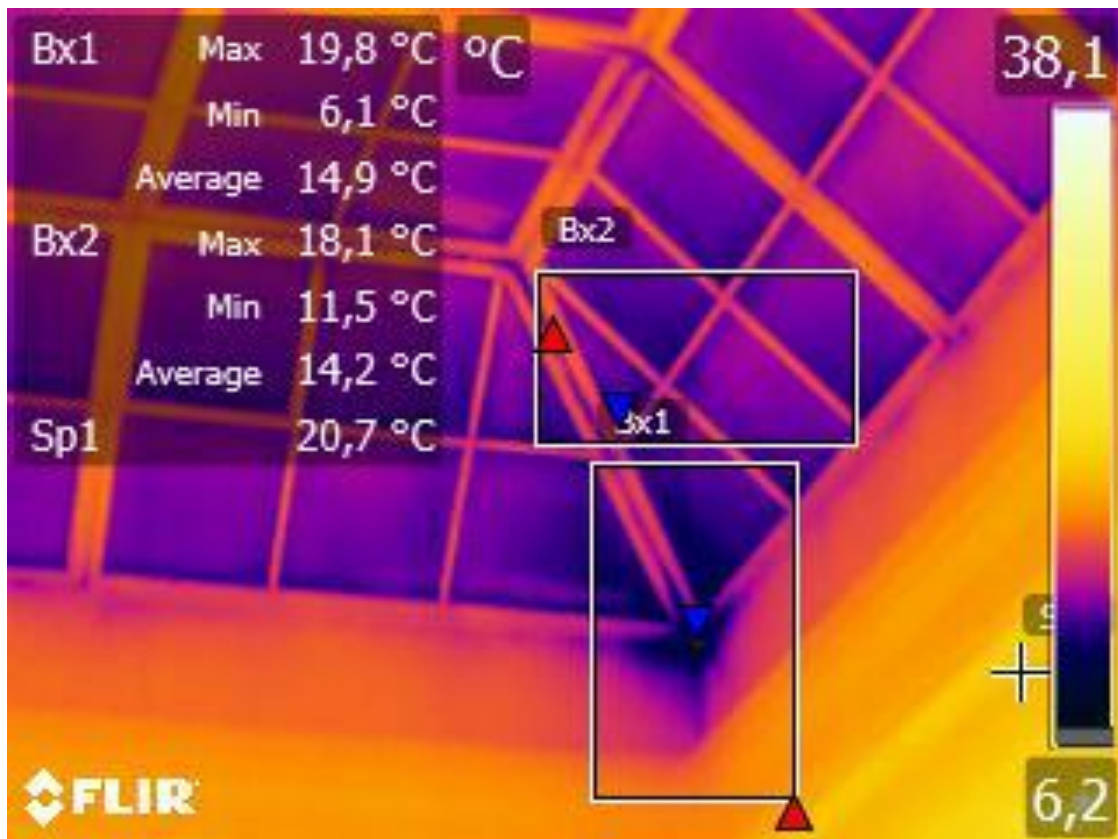
6.1 Lämpökuvauksen tulokset

Ikkunoiden ja ovien lämpökuvauksesta tehtiin tilaajalle lämpökuvausraportti (liite 1), joka sisälsi mittausraportin. Mittausraporttiin merkittiin jokaiseen kuvaan lämpötilaindeksi. Osassa rakennuksen ikkunoita havaittiin ilmavuotoa ja / tai kylmäsiltoja. Ilmavuodot olivat pääosin ikkunan puitteen ja karmin välisiä ilmavuotoja (kuva 13). Ilmavuotoja seinän ja ikkunakarmin välistä ei havaittu. Kylmäsiltoja ikkunoissa olivat pääosin ikkunalasin ja puitteen välisiä kylmäsiltoja. Lisäksi kylmäsiltoja paikannettiin rakennuksen ulkoseinillä.



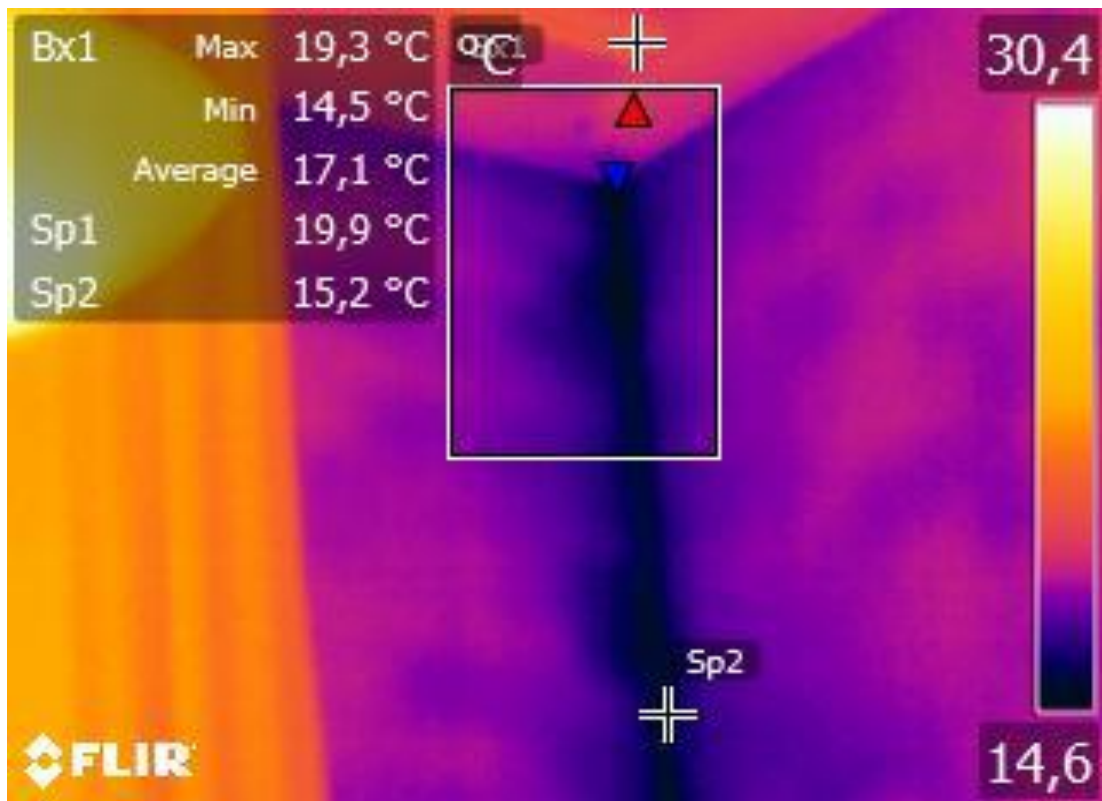
KUVA 13. Ilmavuotoa Ikkunakarmin ja puitteen välistä

Ensimmäisen kerroksen katoikkunoissa havaittiin ilmavuotoja (kuva 14). Rakennuksen työntekijältä kuultiin, että kattoikkunat vuotavat toisinaan vettä sateisella säällä. Veden- ja ilmanpitävyys kattoikkunoissa on syytä tarkastaa, sillä ne vaikuttavat olennaisesti liittyvien rakenteiden toimivuuteen ja kuntoon sekä tilojen sisäympäristöön.



KUVA 14. Kattoikkunassa havaittavissa ilmavuotoa ikkunakarmien nurkasta

Lämpökuvausta suorittaessa huomattiin kolmannen kerroksen käytävillä katoissa viittauksia kylmäsiltaan/kosteusvaurioon yläpohjan ja ulkoseinän liittymistä. Lämpötilaindeksin mukaan näissä kattojen pistemäisistä lämpötiloista ei kuitenkaan ole riskiä, vaan pahaenteiseltä näyttävä kylmän alueen korostuminen johtuu kameran asetuksista. Lämpökuvausta suorittaessa käytävällä havaittiin myös jo kuivuneita vesijälkiä sisäpihan vastaisella ulkoseinällä. Sisäilmakyselyn mukaan myös rakennuksessa työskennelleet olivat havainneet kyseisillä käytävillä kosteusjälkiä niin katossa kuin seinilläkin. Tilaa on syytä tarkkailla todellisen kunnon selvittämiseksi. Kolmannen kerroksen käytävillä ja toimistotiloissa havaittiin ulkoseinillä kylmäsiltoja (kuva 15).



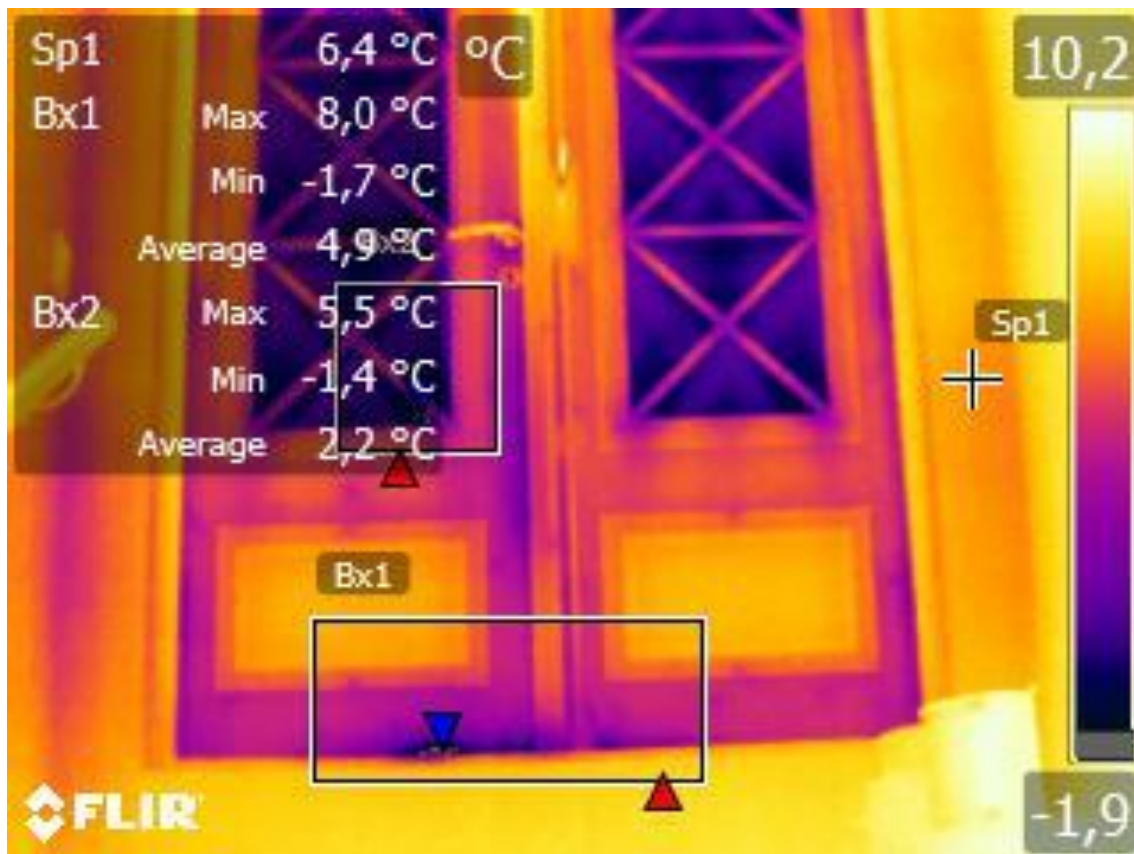
KUVA 15. Kylmäsilta rakennuksen ulkonurkassa

Rakennuksen ullakkokerroksen käytävä todettiin tutkimuksissa osittain ylipainoiseksi savun liikkussa ulospäin (kuva 16).



KUVA 16. Savukynää hyödyntäen tutkittiin rakennuksen sisäisiä ilmavirtoja

Kuitenkin havaittiin myös ilmavuotoa sisälle päin ovilehden ja karmin välistä (kuva 17).



KUVA 17. Ullakko kerroksen ulko-ovessa havaittiin ilmavuotoa oven alaosassa

Toisessa IV-konehuoneessa havaittiin epätavallisen kylmä sisäilman lämpötila. Huomioiden tilan käyttötarkoituksen alhaisella lämpötilalla tuskin on vaikutusta rakennuksen sisäympäristön kannalta. Ullakkotilan katon ja ulkoseinän liittymässä sen sijaan lämpötilaindeksi laski alle sallitun 61 %:n. Kylmäsilta ullakkotilassa voi olla rakennusfysikaalinen riski, vaikkei tila olekaan oleskelukäytössä.

6.2 Lämpökuvauksen ja sisäilmastokyselyn tulosten tulkinta

Sisäilmastokyselyä käytetään apuna sisäilmaongelmien kartoituksessa. Se antaa arvokasta tietoa rakennuksen omistajalle mahdollisen sisäilmaongelman olemassa olostä sekä viitettä haittojen aiheuttajan syystä. Ryhmäkyselynä toteutettuna käyttäjille kysely antaa viitettä oireiden yleisyydestä ja voi auttaa paikantamaan ongelman. Tämä on myös keino todentaa tehtyjen korjaustoimenpiteiden onnistuminen. Sisäilmastokyselyn tuloksia täytyy aina tarkastella yhdessä rakennus- ja taloteknisten selvitysten kanssa. (5, s. 73.)

Opinnäytetyön tutkimuskohteena olleen rakennuksen käyttäjille oli aiemmin teetetty sisäilmastokysely, joten opinnäytetyössä sellaista ei lähdetty teettämään. Aiemmin teetetyn kyselyn tulokset saatiin käyttöön opinnäytetyön toteutusta varten. Sisäilmastokyselystä kävi ilmi, etteivät kaikki käyttäjät ole tyytyväisiä rakennuksen sisäympäristön lämpötiloihin ja ilmanvaihtoon rakennuksen tiloissa. Myös veto sekä ilman tunkkaisuus ja toisinaan esiintyvät hajut koettiin ikävänä häirtana. Näiden tekijöiden hyvää hallintaa edellyttää tiivis rakennuksen vaippa. Sisäilmastokyselyyn vastaajia oli 29 kpl. Jokainen vastaaja oli ilmoittanut tilan, jossa työskenteli, mikäli oli kokenut haittoja työympäristössään.

Sisäilmastokyselyn vastauksia vertailtiin lämpökuvauksesta saatuihin tietoihin. Tarkoituksena oli selvittää mahdollisten ilmavuotojen aiheuttamia häiriötekijöitä sisäilmastossa ja pohtia, voivatko ne aiheuttaa oireilua tiloissa työskentelevillä ihmisillä. Tiloja pyrittiin tutkimaan myös ilmanpaine-eromittaria ja savukynää apuna käyttäen. Ilmanpaine-eroja tutkittiin toimistotilojen ja käytävien välillä ja testattiin savukynällä, mihin suuntaan savu lähti. Missään tilassa savu ei lähtenyt suoraan vetämään käytävälle päin. Portaikoissa 333 ja 401 savu veti ulospäin. Tämän aiheuttaa savupiippuvaikutus, sillä portaikko on ainoa avoin korkealla sijaitseva yhteys ulkoilmaan. Ilmanpaine-eroja tutkimalla ei kuitenkaan saatu selville, toimii koneellinen tulo-poistoilmanvaihto suunnitellulla tavalla. Tilojen huonekorkeus oli niin suuri, ettei savun kulkeutumisesta saanut selville, toimiko ilmanvaihto odotetusti. Savukynää hyödynnettiin myös todentamalla ikkunoiden ilmavuotoja.

Ottaen huomioon rakennuksen keskeisestä sijainnista johtuvan runsaan liikenteen ja tehtaan läheisyyden sekä rakennuksen rakenteissa mahdollisesti piilevät vanhat rakennusmateriaalit, on ilmavuotoihin syytä suhtautua vakavasti sisäilmaa huonontavana tekijänä. Lämpökuvausraportti kertoo, ettei rakennuksen vaippa ole täysin tiivis, sillä ikkunoissa ja ovissa havaittiin ilmavuotoja. Sisäilmastokyselyssä esille nousseista tiloista yhdeksässä todettiin lämpökuvauksen perusteella lämpötilaindeksin alittavan 61 %:a. Nämä tulokset korostavat tiiviiden ikkunoiden tärkeyttä, mutteivat todista koettujen ongelmien johtuvan yksinomaan

alhaisista lämpötilaindekseistä. Vaikka yhteneväisyyksiä löytyi, ei opinnäyetyössä pystytty osoittamaan yhteyttä sisäilmaongelmien ja ilmavuotojen sekä kylmäsiltojen välillä.

7 POHDINTA

Opinnäytetyössä tutkittiin kohderakennuksen ikkunoiden ja ovien kuntoa ja tiiveyttä suorittamalla niille lämpökuvaus. Lisäksi pohdittiin ikkunoiden ja ovien kunnan mahdollisia vaikutuksia sisäilmastoon kohteessa, jossa oli todettu sisäilmaongelmaa.

Lämpökuvaus suoritettiin kahdella eri kuvauskerralla. Kuvaus toteutettiin käyttämällä laadunvalvontakuvauksen vaatimia arvoja. Ensimmäisestä ja toisessa kerroksissa salien ikkunoita ei onnistuttu kuvaamaan lainkaan, sillä ikkunat oli peitetty näkyvyyden rajaamiseksi heijastavilla plekseillä. Lämpökuvauksen tuloksen perusteella valittiin tiloja, joiden ilman paine-eroja mitattiin ja joiden ilmavuotoja pyrittiin tutkimaan savukynää hyödyntäen.

Ikkunoiden ja ovien ilmavuotojen vaikutuksia kohderakennuksen sisäilmastoon ei onnistuttu tutkimaan, sillä tarvittavaa laitteistoa ei ollut saatavilla. Sisäympäristöä ja rakennuksen vaipan tiiveyttä tarkasteltiin tutustumalla aihetta käsittelevään kirjallisuuteen, tekemällä lämpökuvaus sekä etsimällä ilmavirtauksia tilojen välillä. Lämpökuvauksesta tehtiin tilaajalle lämpökuvausraportti, jonka tuloksia vertailtiin rakennuksessa työskennelleille tehdyn sisäilmastokyselyn tuloksiin.

Tutkimuksissa selvisi, että osassa tutkittavan rakennuksen ikkunoissa on ilmavuotoa sekä kylmäsiltoja. Kylmäsiltoja havaittiin myös rakennuksen vaipan lävitse ravintolan ikkunoiden yläpuolella sekä yläpohjan ja ulkoseinän liittymissä.

Opinnäytetyön tulosten vaikutus kohteen tämän hetkiseen korjaussuunnitteluun jää tilaajan päätettäväksi.

LÄHTEET

1. Päivärinne, Satu 1972. Rakennushistoria. Oulun yliopisto, arkkitehtiosasto, Rakennustaiteen historian laitos.
2. Rakennushistoriallinen selvitys. 2005. Arkkitehtitoimisto Kari Huotari. Oulu.
3. Kuntotutkimusraportti, Suunnittelun aikaiset tutkimukset. 2018. Laatija Insinööri Oy.(Luottamuksellinen).
4. Laitinen, Ville 2018. Rakennuttajapäällikkö, Oulun tilakeskus. Keskustelut loppuvuodesta 2018.
5. Backlund, Peter – Holopainen, Rauno – Koskela, Hannu – Lappalainen, Sanna – Lahtinen, Marjaana – Niemelä, Raimo – Palomäki, Eero – Pasanen, Anna-Liisa – Reijula, Kari – Salonen, Heidi 2011. Toimiston sisäilmastontutkiminen. Helsinki. Työterveyslaitos ja kirjoittajat.
6. Huttunen, Kati 2015. Sisäilma ja terveys. Ympäristötieteen laitos, Itä-Suomen Yliopisto. Saatavissa: https://www.avi.fi/documents/10191/5004708/Kati+Huttunen_Jns.pdf/4e05f60b-2d3a-48d2-afee-b282ec1693e0. Hakupäivä 26.3.2019.
7. Perustietoa. 2008. Sisäilmayhdistys Ry. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Perustietoa>. Hakupäivä 22.3.2019.
8. Siikanen, Unto 2014. Rakennusfysiikka. Rakennustieto Oy.
9. Niemelä, Juhani 2017. Paine-eron vaikutus sisäilman hiukkaspitoisuuteen. Opinnäytetyö. Vaasa: Vaasan ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/127478>. Hakupäivä 26.3.2019.
10. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, osa 3. 2016. Valvira. Saatavissa: <https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys>. Hakupäivä 2.4.2019.

11. Hiukkasmaiset epäpuhtaudet. 2008. Sisäilmayhdistys Ry. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Hiukkasmaiset-epa-puhtaudet>. Hakupäivä 1.4.2019.
12. Asbesti rakennustyössä. 2016. Työterveyslaitos. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/11/asbesti-rakennustyossa.pdf>. Hakupäivä 1.4.2019.
13. Pitkäranta, Miia 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Helsinki: Ympäristöministeriö.
14. Sinokki, Marjo 2014. Työpaikan sisäilmasto- Oireillun syy vai syntipukki? Suomalainen lääkäriseura Duodecim. Saatavissa: <https://www.duodecimlehti.fi/lehti/2014/2/duo11450>. Hakupäivä 22.3.2019.
15. Liikenne. 2019. Hengityслиitto. Saatavissa: <https://www.hengityслиitto.fi/fi/terveys-hyvinvointi/ulkoilma-ilmanlaatu/liikenne>. Hakupäivä 28.3.2019.
16. Mikrobit. 2019. Hengityслиitto. Saatavissa: <https://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/kosteus-ja-homevauriot/nain-homevaurio-synty/mikrobit>. Hakupäivä 28.3.2019.
17. Valtioneuvoston asetus ilmanlaadusta. 2017. Finlex. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170079#Pidp446676768>. Hakupäivä 1.4.2019.
18. 1009/2017 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ ja_ohjeet/Rakentamismaarays-kokoelma/Terveellisyys. Hakupäivä 2.4.2019.
19. 796/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä. Ympäristöministeriö. 2018. Saatavissa: https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Meluntorjunta_ ja_aaniolosuhteet. Hakupäivä 4.4.2019.

20. D2 (2010) Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö. 2012. Saatavissa: https://www.ym.fi/fi-FI/Maan-kaytto_ ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ ja_ohjeet/Rakentamismaaraysko-koelma/Kumotut. Hakupäivä 9.4.2019.
21. Vinha, Juha 2009. Rakennusfysiikan perussäännöt suunnittelussa ja rakentamisessa. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikan laitos. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK080303.pdf>. Hakupäivä 26.3.2019.
22. Laaksonen, Mauri Antero 2005. Valoa ikkunoista. Helsinki: Alfamer Kustannus Oy.
23. Rakennusselitys. 2008. Oulun kaupunki. (luottamuksellinen)
24. Haimilahti, Jouni - Paloniitty Juho - Paloniitty, Sauli 2018. Lämpökuvaus rakentamisessa. 2. Rakennustieto Oy.
25. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, osa 1. 2016. Valvira. Saatavissa: <https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys>. Hakupäivä 2.4.2019.
26. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 2015. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>. Hakupäivä 2.4.2019.
27. Tikka, Raimo 2019. Korjausarkkitehti, Pohjois-Pohjanmaan korjausrakentamiskeskus. Keskustelut huhtikuussa 2019.