

Jaakko Saukko

**SÄHKÖLÄMMITTEISEN JULKISIVULASIN VAIKUTUKSET SI-
SÄILMAOLOSUHTEISIIN JA LVI-SUUNNITTELUUN**

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Teknologiaosaamisen johtamisen (YAMK) koulutusohjelma
Syyskuu 2020**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Kokkola	Aika Syyskuu 2020	Tekijä/tekijät Jaakko Saukko
Koulutusohjelma Teknologiaosaamisen johtamisen (YAMK) koulutusohjelma		
Työn nimi Sähkölämmitteisen julkisivulasin vaikutukset sisäilmaolosuhteisiin ja LVI-suunnitteluun		
Työn ohjaaja Yliopettaja, KTT Pekka Makkonen		Sivumäärä 62 + 1
Työelämäohjaaja Toimitusjohtaja, Petri Vuorre, Granlund Oulu Oy Osastonjohtaja, Juha Huczowski, Granlund Oulu Oy		
<p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Granlund Oulu Oy:n toimeksi antamana työelämäpohjaisesti nousutta tiedon tarvetta, miten julkisivulasitus vaikuttaa rakennuksen sisäilmaolosuhteisiin ja LVI-suunnitteluun. Tavoitteena oli löytää keinoja siihen, miten sisäilmaolosuhteet saadaan täyttymään ja minkälaisia vaihtoehtoja talotekniikan järjestelmä valintaan ja mitoittamiseen on olemassa.</p> <p>Opinnäytetyössä perehdyttiin ja esitellään muutamia yleisimpiä Suomessa käytettäviä julkisivulasitusratkaisuja sekä keinoja vaikuttaa rakennuksen energiantehokkuuteen. Työn tutkimusosiossa vertailtiin Kokkolan kaupungintalon ravintolasalin sisäilmaolosuhteita ja julkisivulasia ennen ja jälkeen saneeraus- ja teemahaastatteluperiaatteella.</p> <p>Tutkimus tehtiin kahdessa osassa. Ensimmäinen osa käsitti alan keskeisen kirjallisuusosuuden, sekä teorian ja toinen osa teemahaastatteluaineistoon perehtymisen ja analysoinnin. Tutkimuksessani tiedonhankinta perustui perehtymällä kirjallisuuteen, haastatteluilla järjestelmätoimittajilta ja asiantuntijoilta, käyttäjiltä sekä osalta Kokkolan kaupungin tilapalvelun henkilöstöstä. Tutkimuksessa hain erityisesti eri henkilöiden vastauksia yhdistäviä asioita eli teemoja, joiden avulla pystyin toteuttamaan rakentamaan johtopäätöksiä ja havaintoja.</p> <p>Tutkimuksen tulokset ovat hyödynnettävissä tulevaisuuden hankkeissa, joihin halutaan sisällyttää julkisivulasitusta. Tutkimustuloksia hyödynnetään erityisesti Granlund Oulun erilaisissa projekteissa, joissa halutaan erityisesti panostaa lasijulkisivun lähettyvillä sisäilmaolosuhteisiin, sekä välttää ilmanvaihto-, lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien yli- ja alimitoituksilta.</p> <p>Tutkimuksen yhteydessä esille nousseen virtaussimuloinnin tarpeellisuus nykyajan energiatehokkaissa lähes nollaenergiarakennuksissa, korostui. Erityinen tarve simuloinnille on, jos rakennuksessa ei haluta käyttää sähkölämmitteistä julkisivulasia. Sähkölämmitteisen lasin käytöstä on jo kokemusperäistä tietoa niin paljon, että siinä yhteydessä talotekninen suunnittelu voidaan pitkälti toteuttaa laadukkaita olosuhteita ilman simulointiakin helpoissa tavanomaisissa rakennushankkeissa. Vaativissa rakennushankkeissa lasijulkisivun yhteydessä virtaussimulointi on välttämätöntä riippumatta käytettävästä lasijulkisivusta, jotta talotekniikan mitoitus saadaan suoritettua oikein.</p>		

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Asiasanat

sisäilmaolosuhde, talotekniikkasuunnittelu, julkisivulasi, sähkölämmitteinen julkisivulasi, sähkökromaattinen julkisivulasi, teemahaastattelu, ravintolasali, virtaussimulointi, lämmitys, jäähdytys, ilmastointi, rakennusautomaatio

ABSTRACT

CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES Kokkola	Date September 2020	Author Jaakko Saukko
Degree programme Master's Degree for Technology Competence Management		
Name of thesis The effects of an electrically heated glass facade on indoor air conditions and HVAC design		
Instructor Principal lecturer, PhD Pekka Makkonen		Pages 62 + 1
Supervisor CEO, Petri Vuorre, Granlund Oulu Oy Department Director, Juha Huczowski, Granlund Oulu Oy		
<p>This thesis examined the need for information on how facade glazing affects the internal air conditions and HVAC design of the building. The aim was to find ways of how to make indoor air conditions met and what options exist for a system of house engineering for selection and sizing.</p> <p>The thesis introduced and introduces a few of the most common facade glazing solutions used in Finland, as well as ways to influence the energy efficiency of the building. The research section of the work compared the interior air conditions of the restaurant hall in Kokkola City Hall and the facade glass before and after the renovation on a themed interview basis.</p> <p>The study was conducted in two parts. The first part encompassed a key literary component of the field, as well as a theory and the second part themed interview with the material. In my research, road-don-acquisition was based on familiarity with literature, interviews with system vendors and experts, users, and with regard to the staff of the Kokkola city's facilities service. In the study, I sought different things that unify the responses of different persons, namely themes that enabled me to build conclusions and observations.</p> <p>The results of the study are available for use in future projects, which want to include facade glazing. The findings are particularly used in the various projects at Granlund Oulu, where it is particularly keen to invest in indoor air conditions near the glass facade, and to avoid overperformance and underperformance of ventilation, heating and cooling systems.</p> <p>The need for flow simulation, raised in the context of the study, in modern-day energy-efficient near-zero energy buildings, was highlighted. A special need for simulation is if the building does not want to use electrically heated facade glass. The use of electrically heated glass has already been experienced so much that in this context the engineering of the house can largely be carried out in high-quality conditions without simulation in easy conventional construction projects. In demanding construction projects, in the context of a glass facade, flow simulation is necessary independently of the glass facade used in order to correctly perform the sizing of the house technology.</p>		

ABSTRACT

Key words

Indoor climate conditions, building engineering design, façade glass, electrically heated facade glass, electrochromic facade glass, theme interview, dining room, flow simulation, heating, cooling, air conditioning, building automation

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Symbolit

I	Kokonaisäteily
R	Heijastus ($R_1 + R_2$)
A	Absorptio ($A_s + A_u$)
DT	Suora läpäisy
TT	Kokonaisläpäisy ($DT + A_s$)
V_{\max}	Ilman nopeus (m/s)
h	lasielementin korkeus
ΔT	Kahden eri lämpötilan välinen erotus (K).
$\Delta T_{\text{virtaus}}$	Alaspäin virtaavan ilman alilämpöisyys huoneilmaan nähden

Lyhenteet

SG-lasi (Structural Glass) Pintalistaton lasijulkisivu, jossa lasielementit kiinnitetään rakenteeseen liimaamalla tai muulla mekaanisella kiinnityksellä, julkisivussa ei näkyvissä muuta kuin liimasauma lasielementtien välissä.

U-Arvo Lämmönläpäisyn kerroin

G-arvo Auringonvalon kokonaisläpäisyn kerroin ikkunalasissa

CFD-laskenta (Computational Fluid Dynamics) tietokonepohjainen ilmanliikkeen virtaussimulointi

3K-lasi Eristyslaselementti, jossa on kolme lasipintaa ja välissä eristeenä yleisesti argon tai krypton kaasu, matalaemissiviteettipinnoitteita on 1-2 kappaletta välitiloissa, nykyaikana käytetyin lasielementtiratkaisu Suomessa.

DALI-järjestelmä (Digital Addressable Lighting Interface) on valaistuksen ohjauksen digitaalinen, osoitteellinen ohjausjärjestelmä, jolla ohjataan LED-valaisimia. Yhteen digitaaliseen väylään voidaan

kytkeä kerrallaan maksimissaan 64 valaisinta. Valaisimia voidaan kyseisessä järjestelmässä ohjata muun muassa läsnäolon ja valaistuanturin perusteilla, sekä aikaohjelmalla.

Luonnollinen konvektio Tässä työssä ilman lämpötilaeroista johtuva tiheyserojen aikaansaama nostevoiman synnyttämä virtaus, jossa kylmä ilma pyrkii virtaamaan alas ja lämmin ilma pyrkii virtaamaan ylöspäin.

Lämpövuoto Pistemäinen muita pintoja kylmempi paikka rakenteessa.

Lämpöhäviö Tässä opinnäytetyössä puhuttaessa lämpöhäviöstä tarkoitetaan rakennusosien ja järjestelmien kautta rakennuksen vaipan ulkopuolelle johtuvaa lämpöä.

LVI Lämpö-, Vesi- ja Ilmanvaihtotekniikka

LVIS Lämpö-, Vesi-, Ilmanvaihto ja Sähkötekniikka

LVIA Lämpö-, Vesi-, Ilmanvaihto ja Rakennusautomaatio

LVISA Lämpö-, Vesi-, Ilmanvaihto-, Sähkö- ja Rakennusautomaatio

Matalaemissiivisyys Lasielementtiin kohdistuvaa lämpösäteilyn pois heijastuminen. Matalaemissiivinen lasi heijastaa ulkoa tulevaa lämpösäteilyä pois, jotta se ei päädy rakennuksen sisätiloja lämmittämään.

Oleskeluvyöhyke Vyöhyke ulottuu rakennuksen sisällä lattiapinnasta 1,8 metrin korkeuteen ja seinäpinoista tai muista kiinteistä rakenteista 0,6 metriä etäisyydelle

Pluumi Ympäröivää tilaa lämpimämpi esine tai asia, joka aiheuttaa ilman lämpenemistä ja lämminnyt ilma virtaa termisesti ylöspäin pluumin vaikutuksesta.

RAU Rakennusautomaatiojärjestelmä

Sisäilma Tarkoittaa rakennuksen sisällä olevaa ilmaa. Sisäilma koostuu erilaisista kaasuista ja hiukkasista.

Sisäilmasto Koostuu rakennuksen sisätiloihin vaikuttavista tekijöistä, joita ovat muun muassa, sisäiset kuormitustekijät (ihmiset, prosessit, materiaalit jne.), ulkoisista kuormitustekijöistä (sää- ääniolot, ulkoilman laatu ja muut ympäristötekijät) ja rakennuspaikka ja sijainti (Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas, 2020).

Sisäilmaolosuhde Sisätiloissa ihmisten oleskelualueella vallitsevat, lämpötila, kosteus, vedontunne, desibelit nämä vaikuttavat olosuhteisiin.

Vedontunne Ilman liikkeestä syntyvä lämpötila-aistimuksen ero ihmisen eri kehonosien välillä.

Kylmän hohka Selkeästi huonelämpötilaa kylmemmästä pinnasta aiheutuu säteilyvedontunnetta huone-tilaan. Lämpö siirtyy säteilemällä lämpimämmästä pinnasta kylmempää kohti.

Vaiippa Rakennuksen vaippalla tarkoitetaan rakennuksen sisätiloja kylmästä ulkoilmasta erottavia rakenteita.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
1.1 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset.....	1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet	2
1.3 Työn tutkimusmenetelmät ja rajaukset.....	2
2 KORKEA JULKISIVULASI	4
2.1 Julkisivulasituksen merkitys	4
2.2 Energiatehokkuus ja lämpöviihtyvyys.....	5
2.2.1 Auringon säteilyn siirtyminen lasinpinnassa	6
2.2.2 Julkisivulasituksen toimiminen kylmänä vuodenaikana.....	7
2.3 Julkisivulasitusratkaisuja.....	9
2.3.1 SG-lasitus (Structural glass) järjestelmä	9
2.3.2 Pintalistallinen julkisivulasi.....	11
2.3.3 Pilkington Pistekiinnitysjärjestelmä	12
2.3.4 Pilkington Profilit -järjestelmä.....	13
3 SÄHKÖLÄMMITTEINEN JULKISIVULASI	14
3.1 Sähkölämmitys	15
3.2 Kondenssin torjuminen ja lumensulatus	18
3.2.1 Laselementin ulkopinnan kosteus	18
3.2.2 Laselementin sisäpinnan kosteus.....	19
3.2.3 Laselementin välin kosteus.....	20
3.2.4 Lumensulatus.....	21
3.3 G-arvo ja sähkökromaattisuus.....	22
3.4 Julkisivulasin karmit ja kylmäsillat.....	24
4 RAKENNUSTEN ENERGIA TEHOKKUUS	25
4.1 Lainsäädäntö	25
4.2 Lainsäädännön asettamat raja-arvot.....	26
4.3 FinZEB hanke.....	27
4.4 Vertaavat tutkimukset.....	27
5 TALOTEKNIKKASUUNNITTELU	28
5.1 LVI-suunnittelu	28
5.2 Ilmanvaihto.....	29
5.3 Lämmitys	30
5.4 Jäähdytys	32
5.5 Rakennusautomaatio.....	33
5.6 Käyttöönotto ja seuranta.....	34
6 TUTKIMUSKOHDDE	35
6.1 Kokkolan kaupungintalo.....	35
6.2 Saneerauksen tavoitteet vaatimukset sekä käytetyt järjestelmät	36
6.3 Saneerauksessa uusittu sähkölämmitteinen lasijulkisivu	38

7 TEEMAHAASTATTELUT	41
7.1 Tutkimuksen toteutus	41
7.2 Tiedonkeräys, otanta ja haastattelut	42
7.3 Haastattelujen purku	43
7.3.1 Haastattelujen vastaukset	44
7.3.2 Teemahaastattelujen vastausten yhteenveto	48
7.4 Teemahaastatteluiden nostot	49
8 SISÄILMAOLOSUHTEIDEN MUUTOS REMONTISSA	50
8.1 Ravintolasalin sisäilmaolosuhteiden muutos	50
8.2 Ravintolasalin käyttö ennen remonttia	51
8.3 Ravintolasalin käyttö remontin jälkeen	53
9 TULOKSET, JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	55
9.1 Sähkölämmitteisellä julkisivulasilla paremmat sisäilmaolosuhteet	55
9.2 Tutkimuksen luotettavuus	57
9.3 Jatkotutkimusaiheet	58
LÄHTEET	59
LIITTEET	
LIITE 1. Teemahaastattelulomake	63
KUVAT	
KUVA 1. Säteilyn siirtyminen kaksilasisessa eristyslasissa	7
KUVA 2. SG-rakennerekaisu	10
KUVA 3. PURSON SG-lasituksen 3K-lasin kiinnitys rakennerekaisu, ylhäältäpäin kuvattuna	10
KUVA 4. Purso pintalistallinen lasielementin kiinnitysjärjestelmä 3K-lasielementille	11
KUVA 5. Pilkington Planar -lasikiinnitysjärjestelmän erilaisia kiinnitystapoja	12
KUVA 6. Pilkington Profilit-järjestelmän rakenne	13
KUVA 7. Sähkölasielementin rakenne	15
KUVA 8. Sähkölämmitteisen lasin periaatekuva	17
KUVA 9. Lasielementin ulkopinnan huurtuminen	19
KUVA 10. Vaurioitunut lasielementti, Kokkolan kaupungintalo	20
KUVA 11. Vaurioitunut lasielementti, lähikuva, Kokkolan kaupungintalo	20
KUVA 12. Sähkökromaattisen lasin tummeneminen	21
KUVA 13. Sähkökromaattisen lasin tummeneminen	21
KUVA 14. Kokkolan kaupungintalo asemakuva, mukailten. Kuvassa ravintolasali on esitettyinä	35
KUVA 15. Kokkolan kaupungintalon ravintolasali, pohjakuva	38
KUVA 16. Ravintolasalin sähkölämmitteisen lasin rakenne	39
KUVA 17. Kokkolan kaupungintalon ravintolasali ulkoa	40
KUVA 18. Kokkolan kaupungintalon ravintolasali ulkoa	40
KUVA 19. Epäviihtyisyysalueet talvella vanhassa ravintolasalissa	46
KUVA 20. Nykyisen ravintolan miellyttäväksi koetut istumapaikat	48

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Sähkölasin lämmitystehtävät ulkolämpötilaan suhteutettuna	16
TAULUKKO 2. Vastaajien profiili	44
TAULUKKO 3. Vastausten yhteenveto	48

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe on noussut työelämäpohjaisesti esille, olemme useissa eri rakennushankkeissa törmänneet julkisivulasituksen aiheuttamiin haasteisiin ja jopa konsernitasolla ei ole olemassa tarkkaa tietoa, miten lasijulkisivun lähettyvillä pitää talotekniset järjestelmän mitoittaa ja suunnitella, jotta suunnitteluvaiheessa asetetut tavoitteet täyttyvät.

1.1 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset

Suurten lasijulkisivun lähettyvillä on Suomessa (erityisesti talvella), sisäilmaolo-suhteita vaikea saada rakennushankkeessa halutun sisäilmaluokan mukaisiksi. Julkisivulasitus aiheuttaa lähialueille helposti vedontunnetta, kylmän hohkaa ja näiden ongelmien kokemukset korostuvat, mikäli näissä tiloissa oleskellaan pitkäaikaisesti sisävaatetuksessa.

Opinnäytetyössä tutkitaan sähkölämmitteistä julkisivulasitusta ja verrataan sitä normaaliin lasijulkisivuun sisäilmaolosuhteiden ja taloteknisen suunnittelun näkökulmasta. Sähkölämmitteisen lasin käytössä ei esiinny vetoa ja kylmän hohkaa talvella. Opinnäytetyössä tutkitaan julkisivulasin käyttämisen vaikutuksia lasijulkisivujen lähettyvillä rakennuksen sisätiloissa ja tarkastellaan lasin käyttöä erityisesti LVI-suunnittelun näkökulmasta.

Suurten lasijulkisivujen lähettyvillä olevan rakennuksen sisätilan sisäilmaolosuhteisiin on erityisesti talotekniikkasuunnittelijoilla vähän tietoa olemassa. Tässä opin-näytetyössä verrataan saneeratun ravintolasalin sisäilmaolosuhteita samaiseen saliin, johon saneerauksen yhteydessä asennettiin sähkölämmitteiset olosuhdelasit.

Tässä opinnäytetyön tutkimuksessa tuotetaan talotekniikkasuunnittelijoille / tilaajille yms. rakennushankkeiden parissa työskenteleville tietoutta siitä, miten lasijulkisivujen lähettyville voidaan tehdä laadukkaat sisäilmaolosuhteet ja mitä pitää taloteknisessä suunnittelussa huomioida sähkölämmitteisen lasin lähettyvillä. Suurten lasijulkisivujen lähettyvillä olevan rakennuksen sisätilan sisäilmaolosuhteita on tutkittu vähäisesti.

Varsinainen tutkimuskysymys on kaksivaiheinen:

- 1) Miten sähkölämmitteisen lasijulkisivun lähettyvillä sisäilmaolosuhteet eroavat normaalista lasijulkisivusta?
- 2) Mitä LVI-suunnittelijan tulee huomioida taloteknisessä suunnittelussa suurten lasijulkisivujen lähettyvillä, jotta hyvät sisäilmaolosuhteet saadaan pidettyä kylminä vuoden aikoina vaaditulla tasolla lähes nollaenergiarakentamisessa?

Suurten lasijulkisivujen lähettyvillä olevan rakennuksen sisätilan sisäilmaolosuhteisiin on vähän tutkimustietoa olemassa. Tässä opinnäytetyössä verrataan saneeratun ravintolasalin sisäilmaolosuhteita samaiseen saliin, johon saneerauksen yhteydessä asennettiin sähkölämmitteiset olosuhdelasit.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on saada rakennusalan ammattilaisille, erityisesti LVI-suunnittelijoille tietoutta siitä, miten suurten lasijulkisivujen lähettyvillä sisätiloissa luodaan laadukkaat sisäilmaolosuhteet ilman vetoa ja kylmän hohkaa. Tämä tieto tuotetaan teemahaastatteluilla ja tutkimalla sähkölämmitteisen lasiin liittyviä tieteellisiä julkaisuja, joiden pohjalta tehdään tutkimus ja suosituksia julkisivulasi-rakentamiseen.

Opinnäytetyössä halutaan tarkastella myös sähkölämmitteisen julkisivulasiin käytön yhteydessä lähes nollaenergiarakentamisen näkökulmasta. Lisäksi opinnäytetyössä pyydettiin haastattelutietoa muutamilta alan johtavilta asiantuntijoilta, joita tulen ominen tulkintojeni ja mielipiteideni vahvistukseksi tai korjaamiseksi käyttämään opinnäytetyössä, jotta varmistuttiin tutkimuksellinen osion olevan oikeanlaista tietoa antava.

1.3 Työn tutkimusmenetelmät ja rajaukset

Tutkimus toteutettiin kvalitatiivisena tutkimuksena eli laadullisella tutkimuksella, jonka avulla haluttiin ymmärtää erilaisten lasijulkisivujen vaikutuksesta syntyviä eroja sisäilmaolosuhteisiin. Työssäni siis haluttiin ymmärtää sisäilman käyttäytymisen eroavaisuudet erilaisten julkisivulasien välillä. Tämän ymmärtämisen avulla pystyin induktiivisesti päättämään ja luomaan ohjeistusta siitä, miten LVI-

suunnittelun olisi hyvä tapahtua suurten lasipintojen lähettyvillä haluttujen sisäilmaolosuhteiden toteutumiseksi. Opinnäytetyössä tutkittiin kahta erilaista lasijulkisivua teoreettisesti käyttäen kansallisesti ja kansainvälisesti tutkimusaineistoa teorian ja oman laaja-alaisen ymmärtämisen lisäämiseksi erilaisista lasijulkisivuista. Opinnäytetyössäni käytettiin teemahaastatteluja tutkimuksen tekemiseksi. Teemahaastatteluissa haastateltiin valikoidusti Kokkolan kaupungin tilapalvelujen rakennuttamishenkilökuntaa, sekä puhelinhaastatteluina muutamia alan johtavia asiantuntijoita.

Työssä keskitytään julkisivulasituksen osalta 3K-julkisivulasin tarkasteluun, koska tämä on nykypäivänä yleisin käytössä oleva lasiratkaisu. Työssä ei myöskään talotekniikkasuunnittelun osalta keskitytä sähkösuunnitteluun juurikaan, koska sähkösuunnitteluun ei julkisivulämmitys tai lämmittämätön julkisivu aseta tavanomaisesta suunnittelusta poikkeavaa.

2 KORKEA JULKISIVULASI

Tässä kappaleessa esitetään korkeajulkisivulasi, sen merkitystä yhteiskuntaan ja lasituksen vaikutusta auringon säteilyyn ja erilaisia lasijulkisivun kiinnitysratkaisuja.

Rakennuksien lasijulkisivuilla saadaan rakennuksiin näyttävyyttä ja tyylikkyyttä. Valikoiduilla lasipinnoilla voidaan tuoda rakennukseen luonnonvaloa, avoimuutta, sekä korostaa rakennuksen ulkonäköä (Hassinen & Lehikoinen). Ulkoa katsottuna ikkunalasielementtien pinnat voidaan tehdä hyvin erilaisiksi, näillä erilaisilla pinnoituksilla vaikutetaan lasinen valonläpäisyyn ja niillä voidaan piilottaa rakennuksen sisusta tai jopa tuoda esille näyttävästi sisätiloja. (Carmody, Selkowitz, Lee, Arasteh & Willmert 2004, 7). Lasijulkisivun käyttö julkisivussa on erityisesti kaupunkien keskustoissa olevissa ja muutoin arvokkaissa kiinteistöissä, sekä kiinteistöissä missä halutaan luonto tuoda lähelle sisätiloja suosittu rakennusmateriaali. Julkisivulasitus voidaan tehdä lasilistalasisitukseksi, puristuslistakiinnityksellä, profiililasisitukseksi, pistekiinnitysjärjestelmällä tai structural glazing (SG-lasi) eli liima-rakennelasisitukseksi. Suomessa tämä viimeksi mainittu on yleisin ja uusin lasijulkisivujen rakennustapa. (Uusitalo, E., Toikka, R., Olenius, A. 2016. 507). SG-lasisituksessa, kaikki rakenteeseen liittyvät kehykset, listat ja kannattimet ovat kätkeyty rakenteen sisäpuolelle ja näin saadaan julkisivun ilmeestä ehjä, yhtenäinen lasipinta helposti puhdistettava lasipinta. (Uusitalo, E., ym. 2016. 508).

2.1 Julkisivulasituksen merkitys

Julkisivulasitus on kasvattanut merkitystään 1990-luvulla, jolloin tulivat parempien U-arvojen ikkunat markkinoille, samaan aikaan myös lämpösäteilyn estäminen ikkunoissa kehittyi. 1990-luvulla arkkitehtoninen lasijulkisivujen rakentaminen nousi uudelleen esille, koska sillä pystyttiin lisäämään rakennukseen tilantuntua, näyttävyyttä ja erityisesti käyttäjille viihtyisyyttä. Rakennuksen sisävalaistuksessa hyödynnetään usein julkisivulasituksen tuomaa luonnonvaloa, tämä vähentää sähkövalojen käyttöä sisätiloissa.

Julkisivu- ja valokatejärjestelmille voidaan asettaa erilaisia vaatimuksia, jotka liittyvät mm. rakenteen mitoitukseen, ulkonäköön, kestävyys, turvallisuuteen, kosteus-, lämpö-, valo- sekä säteilytekniseen toimivuuteen, akustiikkaan, käyttöikä, asennettavuuteen ja huollettavuuteen. (Rainamo & Riikonen 1999, 120).

Julkisivulasituksella on suuri merkitys myös rakennuksen energiatehokkuuteen. Lasijulkisivu auringonvalonläpäisyllä ja lämpöeristävydestä muodostuu suuri, suora vaikutus rakennuksen sisäilmaolosuhteisiin (jäähdytys ja lämmitystarpeisiin). Pahimmillaan huonosti suunniteltu julkisivulasitus voi aiheuttaa lähiympäristölleen mittavia vahinkoja toimimalla peilipintana. Tällöin lähialueen lämpötilat voivat nousta rajusti ja näistä voi syntyä suuria vahinkoja. Tästä esimerkkinä Lontoossa sijaitseva Walkie Talkie pilvenpiirtäjä, jonka julkisivulasituksesta auringonvalo heijastui voimakkaasti ympäristöön ja aiheutti vahinkoja ympäristöön. Lähiympäristössä lämpötilan nousi heijastumisen vaikutuksesta kohtuuttoman korkeaksi ja aiheutti vahinkoja, jopa autoihin. (BBC. 15.3.2014.)

2.2 Energiatehokkuus ja lämpöviihtyvyys

Nykyaikana pääsääntöisesti rakentamisessa käytetty julkisivulasitusmateriaalina käytetään kolminkertaista eristyslasia, jossa uloimman lasin sisäpinnassa on matalaemissiivinen auringonsuojapinnoite. Tällä vähennetään auringon lämpösäteilyn aiheuttamaa liikalämpöä rakennuksesta. Kyseinen lasi heijastaa siihen kohdistuvan pitkäaaltoisen lämpösäteilyn pääosin pois rakennuksesta, päästäen kuitenkin näkyvän valon läpi. (Uusitalo, E., ym. 2016. 509.) Matalaemissiivilasissa olevalla ohuella metalli- tai metallioksidikerroksella pinnoituksella vaikutetaan lasin läpi menevän säteilynläpäisyyteen ja vaikutetaan säteilyn heijastumisominaisuuksiin nämä edellä mainitut ominaisuudet ovat säteilyn aallonpituuksista riippuvia. Selektiivisyydellä (matalaemissiivisyys) parannetaan ikkunan välistä lämmöneristävyttä, erityisesti se vähentää ikkunalasien välissä tapahtuvaa lämpösäteilyä. (Hemmilä & Heimonen 1999, 13.) Energiatehokkuuteen vaikuttaa myös edellä mainitun matalaemissiivisyyden lisäksi lasielementtien välissä oleva täytekaasu, sen määrä ja koostumus. Eristyslaseissa käytetään täytekaasuna jalokaasuja (argon, krypton ja ksenon), koska jalokaasujen lämmönjohtavuus on huonompi mitä ilmalla. (Hemmilä & Heimonen 1999, 22).

Lähes nollaenergiarakentamisessa nykyään käytössä oleva niin sanotun perustason ikkunan U-arvo on 1,0 W/m²K. Tätä arvoa on mahdollista laskea nykyisillä ratkaisuilla jo huomattavasti alemmaksi. Finzeb hankkeen taustaraportissa selvenee, että pääsääntöisesti ikkunoiden ominaisuuksien parantaminen D3/2012 perustasosta on kustannustehokasta ja energiaa säästävää. (Loisa, Reinikainen & Tyni 2015). Useissa uusissa lähes nollaenergiarakentamisen rakennuksissa lasien energiatehokkuutta on parannettu vähimmäisvaatimusta paremmaksi.

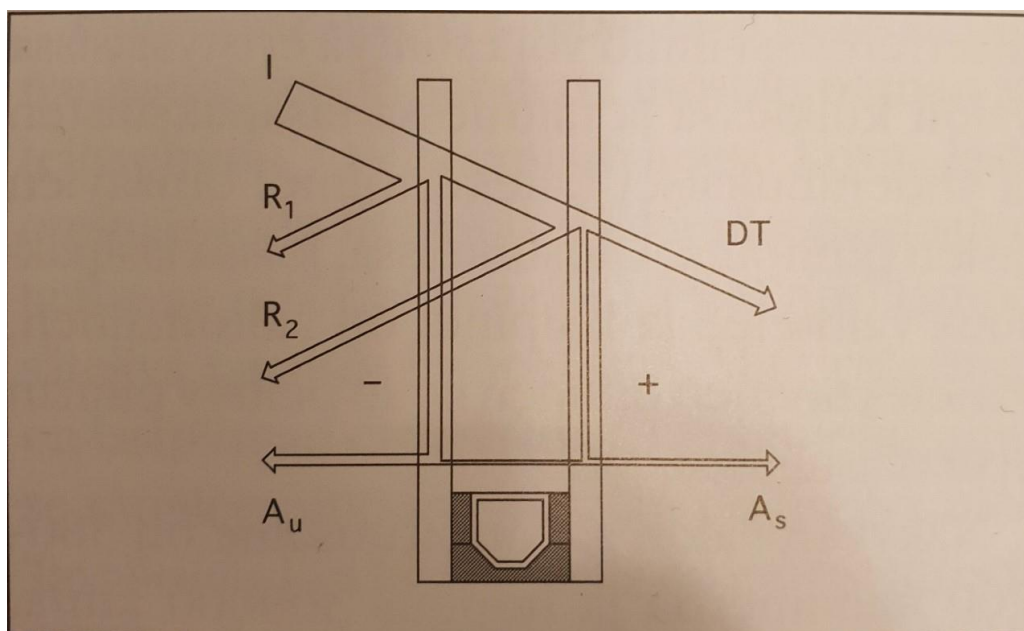
Julkisivulasitus on rakennuksen vaipan huonoiten lämpöä eristävä osa ja täten se on lämpökuormien ja -häviöiden osalta keskeisessä roolissa. Rakennusmääräysten ja käytännön energiankulutuksen näkökulmasta kannattaa valita huolellisesti rakennuksen lasitus aina kulloisenkin tarpeen mukaan. (Lasifakta 2018, 4). Lasituksen materiaalien ja eristävyuden valinnassa voidaan riittävään lopputulokseen päästä useilla erilaisilla lasitusratkaisuilla. Tärkeänä huomiona on myös, mitä parempaa lasitusta haetaan, sitä kalliimpaa se yleensä on, toki paremmilla laseilla käyttöajan energiansäästö ja paremmat sisäilmaolosuhteet tuovat investointi kustannuksia alaspäin.

Energiatehokkuus on parantunut julkisivulasituksessa merkittävästi viime vuosina. Vielä 1990 -luvulla kaksilasisten julkisivulasien U-arvot ovat liikkuneet 2,7-3,5 välillä. 2000-luvulla tyypillisesti käytetyissä julkisivulaseissa U-arvot olivat noin 1,5 ja matalaenergiaikkunoissa 1,0. (Ikkunawiki. U-arvo.) Tällä hetkellä parhaiden julkisivulasielementtien U-arvot liikkuvat 0,5 paikkeilla. Rakennusten energiatehokkuutta parantaessa nykyisillä ratkaisuilla on lasipintojen valinnat keskeisessä roolissa. Energiatehokkailla ikkunoilla voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen energian kulutukseen ja tämä valinta voi vaikuttaa myös suuresti kesäajan lämpötilan nousuun, sillä hyvän U-arvon julkisivulasi päästää lämpöä huonosti sisälle ja samalla myöskin sisältä pihalle. Kesällä ulkolämpötilan noustessa hyvän energiatehokkuuden julkisivulasilla auringon lämpösäteilyä pääsee lasin G-arvon mukaan, aina sisälle ja tällöin sisältä auringon lämpökuorman johtuminen pihalle on vähäistä, tämän seurauksena nousee sisälämpötila epämiellyttävän kuumaksi, mikäli rakennuksessa ei ole koneellista jäähdytystä. Kesäajan lämpötilatarkastelu on tehtävä rakennuksen energiatehokkuustarkastelua tehtäessä kaikkiin muihin rakennuksiin paitsi pieniin asuinrakennuksiin (käyttötarkoitus luokka 1) ja muihin rakennuksiin, joita ovat varastorakennukset, jäähallit, uimahallit, pienet kaupat, siirrettävät rakennukset (käyttötarkoitusluokka 9). (Suomen säädöskokoelma, 1010/2017, 3-4.) Erityisesti nykyajan energiatehokkaissa omakotitaloissa (luokka 1) on noussut tärkeäksi tehdä kesäajan lämpötilatarkastelua, jos rakennukseen ei ole tulossa koneellista viilennystä ja on suuria lasipintoja, vaikka tätä ei rakentamismääräyksissä ja ohjeissa vaadita.

2.2.1 Auringon säteilyn siirtyminen lasinpinnassa

Auringon valo ja lämpöenergia läpäisee lasipinnan osittain, lasipinnan kohtaamisessa valo ja lämpöenergia siirtyy kolmella erilaisella fysikaalisella suureella: osa heijastuu lasin pinnasta takaisin, osa valosta läpäisee lasin suoraan, osa absorboituu lasiin ja kehysmateriaaleihin, joista siirtyy osittain sisä- ja osittain ulkopuolelle riippuen olosuhteista ja rakenteesta lasipinnalla. Kaksi- ja kolmikerroksisessa julkisivulassissa suoraa lasin läpäisevä säteily vähenee joka lasilla ja lasikerrosten välissä eristyskaasuna olevassa

tilassa lämpö siirtyy konvektion ja pitkien aallonpituuksien avulla eteenpäin. (Carmody, Selkowitz, Lee, Arasteh & Willmert 2004, 18; Rainamo & Riikonen. 1999, 23.)



KUVA 1. Säteilyn siirtyminen kaksilasisessa eristyslasissa (Rainamo & Riikonen 1999, 23)

Kuvassa 1 esitetyt suureet ovat seuraavat:

I = Kokonaisäteily

R = Heijastus ($R_1 + R_2$)

A = Absorptio ($A_s + A_u$)

DT = Suora läpäisy

TT = Kokonaisläpäisy ($DT + A_s$)

2.2.2 Julkisivulasituksen toimiminen kylmänä vuodenaikana

Suomessa ulkolämpötila on suurimman osan vuodesta alempi mitä huoneen sisälämpötila. Ikkunapinnan ollessa kylmempi mitä sisälämpötila tapahtuu lämmönsiirtymistä rakennuksesta pihalle. Lämmönsiirtymistä lasin läpi sisältä pihalle kuvataan lasin energiatehokkuudella (U -arvo), tätä käydään läpi tarkemmin kappaleessa kolme. Lämpövuoto julkisivulasin läpi laskee lasin sisäpinnan lämpötilaa alemmaksi, josta aiheutuu ikkunan lähetyvillä olevan ilman kylmenemistä. Tämä kylmentynyt ilma laskee luonnollisen konvektion seurauksena alaspäin lasinpintaa pitkin. Ilman liikkeen nopeuden kasvaminen lasipinnalla, on esitetty hyvin Teknillisen korkeakoulun raportissa B71. (Palonen, Kurnitski & Jokiranta 2001, 10).

Kylmän ilman liikenopeus julkisivulasin alaosassa lasketaan yhtälöstä 1. (Palonen, Kurnitski & Jokiranta 2001, 10).

$$V_{\max} = 0,055 \cdot \sqrt{h \cdot \Delta T} \quad (1)$$

missä,

V_{\max} = Ilman nopeus (m/s)

0,055 = määräytyy nykyisen virtausmittausteknologiaa edustavilla ilman keskinopeuden mittareilla määriteltä arvoa

h = lasielementin korkeus

ΔT = lasin ja huoneilman välinen lämpötilaero (K).

Lasin pinnalla alaspäin virtaavan ilman lämpötila saadaan laskettua yhtälöstä 2. (Palonen, Kurnitski & Jokiranta 2001, 11). Tällä kaavalla saadaan laskettua alaspäin virtaavan ilman alilämpöisyys huoneilmaan nähden.

$$\Delta T_{\text{virtaus}} = 0,3 \cdot \Delta T_{(\text{pintalämpötila} - \text{huoneilman lämpötila})} \quad (2)$$

$\Delta T_{\text{virtaus}}$ = Alaspäin virtaavan ilman lämpötila ja 0,3 = 30% lasin ja huoneilman välisestä lämpötilaerosta

Nämä lämpötilat ja ilman nopeudet pystytään nykyaikana helpoiten ja tarkimmin laskemaan tietokone simuloinneilla. Näissä simuloinneissa pystytään huomioimaan kaikki huonetilassa ilmanliikkeisiin vaikuttavat suureet, kuten kalusteet, lasipinnat, ilmanvaihto, lämmitysmuodot, ihmiset, valaistus jne. Lasielementin pintalämpötilat lasketaan dynaamisella laskentatyökalulla ja dynaamisesta laskentatyökalusta saadut tulokset syötetään CFD-laskentaan (Computational Fluid Dynamics), josta saadaan tarkasteltua kaikki huonetilan ilmavirtauksiin vaikuttavat muuttujat ja huomioitua niiden vaikutukset. Tämä CFD-laskenta vaatii suuren laskentakapasiteetin ja laskenta-ajat ovat isoissa tiloissa, jopa tuhansia laskentatunteja. (Karvinen, 2020.)

Esimerkkinä laskettaessa 10 metriä korkean U-arvoltaan 0,5 olevan lasin alapinnassa ilman nopeus syntyy seuraavasti:

$V_{\max}=0,055 \cdot \sqrt{(h \cdot \Delta T)}$, eli $=0,055 \cdot \sqrt{(8 \cdot 5)}=0,34$ m/s, tällöin ilman nopeus ylittää reilusti sisäilma-
luokitusten mukaiset nopeudet sisäolosuhteissa. Tämän alaspäin virtaavan ilman lämpötila on yhtälön
2 mukaisesti, $\Delta T_{\text{virtaus}}=0,3 \cdot \Delta T$ (pintalämpötila - huoneilman lämpötila)

Eli $0,3 \cdot (16-21) = -1,5$ °C eli alaspäin virtaava ilma on huonelämpötilaan nähden noin 1,5 astetta ali-
lämpöistä. Alaspäin virtaavan ilman lämpötila on siis 19,5 °C.

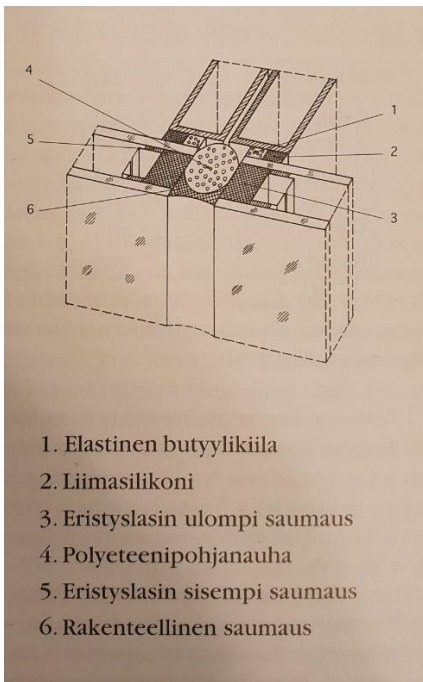
2.3 Julkisivulasitusratkaisuja

Seuraavissa kappaleissa käyn läpi muutamia Suomessa käytetyimpiä julkisivulasitusratkaisuja ja jär-
jestelmiä. Riippumatta julkisivujärjestelmästä on lasielementtien saumakohdassa aina heikompi U-
arvo mitä suorassa lasielementissä. Lasielementin paksuudella on suurin yksittäinen merkitys la-
sielementtien kiinnitysten kylmäsiltojen arvoihin, mitä paksumpi lasielementti sitä paremmin kiinni-
tyskohdan kylmäsilta saadaan katkaistua. (Saukko 2020a; Sievä 2020.)

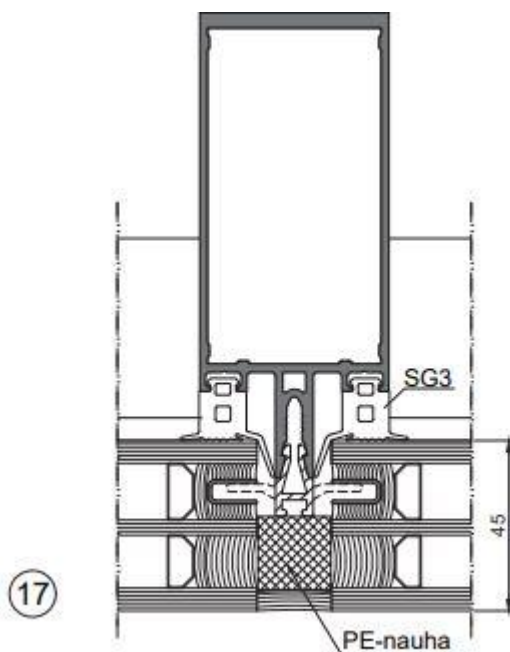
2.3.1 SG-lasitus (Structural glass) järjestelmä

SG-lasituksen rakenne on kuvattu hyvin Rainamon ja Riikosen toimesta Lasirakentajan käsikirjassa.
SG-lasituksessa lasielementit liimataan rakenteeseen kiinni liimasilikonilla tai muulla kiinnitysratkai-
suilla, joista kaksi erilaista versiota on kuvattu alla KUVA 2 ja KUVA 3.

SG-lasitus on maailmalla paljon käytetty lasitusratkaisu ja uusien toteutustapa julkisivulasituksen käy-
tössä. SG-lasituksessa saadaan ulospäin rakennuksesta ehjä tyylikäs kokonaisuus ja myöskin kylmäsil-
tojen määrä pystytään minimoimaan rakentaessa. Rakenne on myös erittäin helppo pitää puhtaana ja
puhdistaa ulkoapäin. Erityinen huomio pitää toteutuksessa pitää kiinnittää käytettävien liimojen ja sau-
mausaineiden laatuun ja UV-valon kestävyys.



KUVA 2. SG-rakennerratkaisu (Rainamo & Riikonen, 1999, 121)



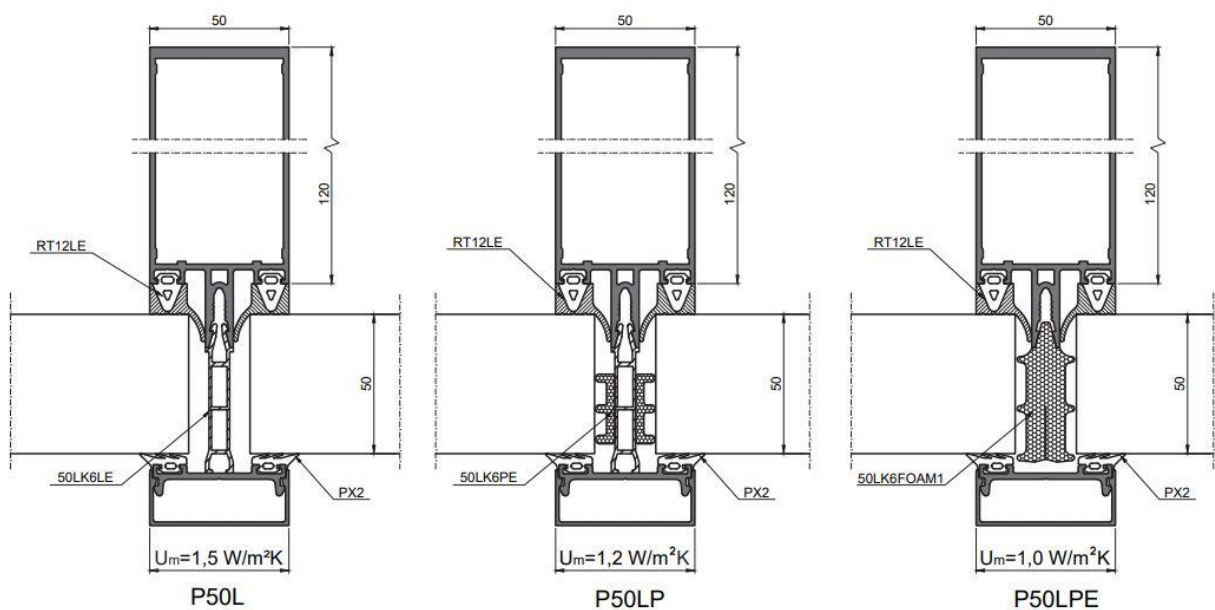
KUVA 3. PURSON SG-lasituksen 3K-lasin kiinnitys rakennerratkaisu, ylhäältäpäin kuvattuna (PURSO P50S, 07/2019, 2.4)

Purson toimittamassa SG-lasituksen 3K-lasin rakenne kiinnitetään lasielementin välistä painokiristimellä runkorakenteeseen. Purson kehittämä kiinnitysratkaisu säästää työmaalla merkittävästi asennusaikaa ja liimasilikonin kuivumista ei tarvitse odotella, kuten vanhemmassa kiinnitystavassa Rainamon &

Riikosen mukaan. Purson kiinnitysratkaisussa lasielementti ei ole rungossa kiinni pelkällä liimauksella ja täten lasin irtoamisriski on pienempi mitä kuvassa 2 esitetyssä ratkaisussa. Toisaalta profiileihin liimattava lasielementtien liimaustyö voidaan tehdä konepajatyönä, jolloin työmaa-aika minimoituu siltä osin ja kustannuksia voidaan säästää. Kohteen koosta riippuu kannattaako lasielementit liimata konepajalla vai työmaalla. Konepajatyössä saadaan olosuhteet vaikoitua ja riski asennus ja liimausviheille vähenee merkittävästi. Työmaalla tehtävän työn määrä ja vähenee ja siten laatu paranee. Isoilla työmailla asennuksen nopeutuminen säästää merkittävästi kustannuksia.

2.3.2 Pintalistallinen julkisivulasi

Julkisivulasituksessa käytetään myös pintalistallista julkisivua, jossa listat tulevat ulos lasielementtien reunoille näkyville, peittäen lasielementtien saumat näkyvistä.



KUVA 4. Purso pintalistallinen lasielementin kiinnitysjärjestelmä 3K-lasielementille. (PURSO P50L, P60L Julkisivujärjestelmät, 03/2019, 6.1)

Kuvassa 3 esitetyt julkisivulasituksen pintalistallisen 3K-lasituksen kiinnitysjärjestelmän U-arvoa on pystytty välitiivisteellä parantamaan merkittävästi, kun käytetään erilasia tiivisteitä, muovisen kiristi-

men ympärille asennettuna ja U-arvot pintalistallisten kiinnitysjärjestelmien välillä huonoimmasta parhaimpaan rakenteeseen paranee $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Pintalistallinen julkisivulasitusjärjestelmä on ollut käytössä jo kymmeniä vuosia.

2.3.3 Pilkington Pistekiinnitysjärjestelmä

Pilkington Planar-järjestelmä on kiinnityksenä kehitetty lasikiinnitysjärjestelmä, jossa ei erillistä kantavaa runkorakennetta käytetä ollenkaan tai runkojärjestelmä on kevytrakenteinen ja siro. Lasit mahdollistavat tukirakenteena avaruusristikkorakenteita, pysty- ja vaakasuuntaisia palkkirakenteita, riippuvia ja kannattavia lasiivekkeitä tai ohuista esijännitetyistä terästangoista ja vaijereista muodostuvia rakenteita. Planar-järjestelmä koostuu lasielementeistä, kiinnikkeistä ja kiinnityselementeistä, joiden avulla lasielementit kiinnitetään toisiinsa tai runkoon mikäli runkorakennetta käytetään. Lasielementtien välille jätetään aina 10-12 millimetrin saumausvaroin ja kantavan lasirakenteen paksuus on 10 mm. Pystysuoralla seinällä kiinnityskohtien välinen etäisyys on normaalisti 1,5-2,0 metriä ja kattotasolla 1,0-1,5 metriä. (Lasifakta 2018, 59-60.)



Pilkington **Planar**™ Intrafix insulated double glazed unit with standard angle spring plates.



Pilkington **Planar**™ 905J fitting to a tubular steel support structure.



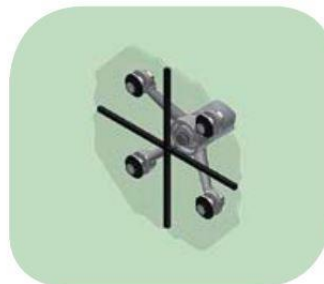
Vertical stainless steel splice plate connecting sections of a glass fin (mullion) together, incorporating Pilkington **Planar**™ 905J fittings.



Pilkington **Planar**™ custom casting connected to a glass fin (mullion) and Pilkington **Planar**™ 902 bolts to façade glass.



Pilkington **Planar**™ 905J fitting to a glass fin (mullion).



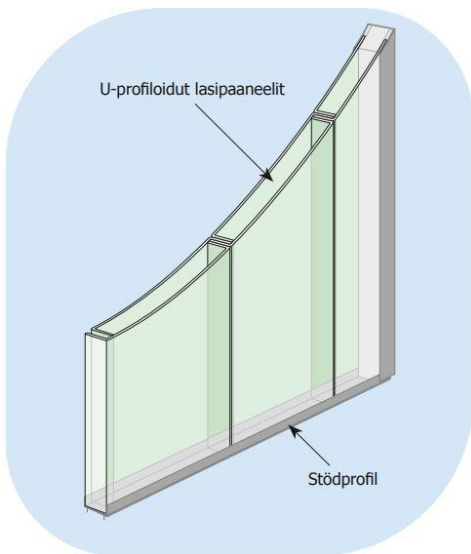
Pilkington **Planar**™ Nexus casting connected to steelwork and Pilkington **Planar**™ 902 bolts to a façade glass.

KUVA 5. Pilkington Planar -lasikiinnitysjärjestelmän erilaisia kiinnitystapoja. (Pilkington Planar Brochure, 2018)

Kuvassa 5 havainnollistuu hyvin Planar-järjestelmän mahdollistama kantavien rakenteiden kevyt rakenne. Tällaisessa lasijulkisivussa toki lasielementtien paksuus nostaa hintaa ja mitoitus on samalla myös vaativaa tehdä. Planar-järjestelmien toteutus ja suunnittelu vaativat erityistä huolellisuutta ja asiantuntemusta, NSG Group toteuttaa järjestelmämitoitukset.

2.3.4 Pilkington Profilit -järjestelmä

Pilkington Profilit järjestelmän avulla voidaan rakentaa ja toteuttaa suuria lasijulkisivuja ilman häiritseviä kantavia profiilirakenteita. Rakenne muodostuu valssatusta U-profiloidusta kuviolasista valmistetusta lasipaneelistä, johon tukiprofiilit tehdään muovista ja alumiinista. Profilit-järjestelmän elementin maksimi mitta on 6000*498 millimetriä. Profilit järjestelmässä seinästä vinonäkyvyys on heikko, läpikuultavuus on hyvä.



KUVA 6. Pilkington Profilit-järjestelmän rakenne. (Lasifakta 2018, 61)

3 SÄHKÖLÄMMITTEINEN JULKISIVULASI

Tässä kappaleessa käydään läpi sähkölämmitteisen julkisivulasin toiminta ja rakenne, sekä soveltamista erilaisiin käyttöolosuhteisiin ja esitellään myös sähkökromaattinen lasi, joka voidaan toiminnaltaan liittää nykyään myös sähkölämmitteisen lasin toimintoihin. Kappaleessa käydään myös julkisivulasirakenteen kannalta kriittisin rakenne eli julkisivulasin karmit ja kylmäsiilat.

Sähkölämmitteisellä lasijulkisivulla voidaan Suomessa saavuttaa halutun mukaiset sisäilmaolosuhteet, kun ulkolämpötilan on kylmempi mitä sisälämpötila. Julkisivulasissa on samalla tärkeää optimoida ikkunoiden G-arvo, jotta valonläpäisy ja auringon tuottama ilmaisen energia voidaan pitää mahdollisimman korkeana, kuitenkin ylikuumentamatta kiinteistöä. Suuret julkisivulasipinnat aiheuttavat lähes aina kiinteistölle jäähdystarpeen, koska auringon säteilyn intensiteetti muuttuu eri vuodenaikojen mukaan ja suuria lasijulkisivuja ei haluta toteuttaa liian tummana, tällöin julkisivun idea tilaa kasvattavana ja luonnonvaloa tuovana heikkenee merkittävästi. Näistä edellä mainituista syistä lähes aina suurten lasijulkisivujen kiinteistöjä pitää jäähdyttää erillisellä jäähdytyskoneikolla. Sähkölämmityksellä voidaan julkisivulasin lähettyvillä estää sisälle syntyvää vedontunnetta ja kylmän hohkaa ja saada siten sisäilmaolosuhteet miellyttäväksi.

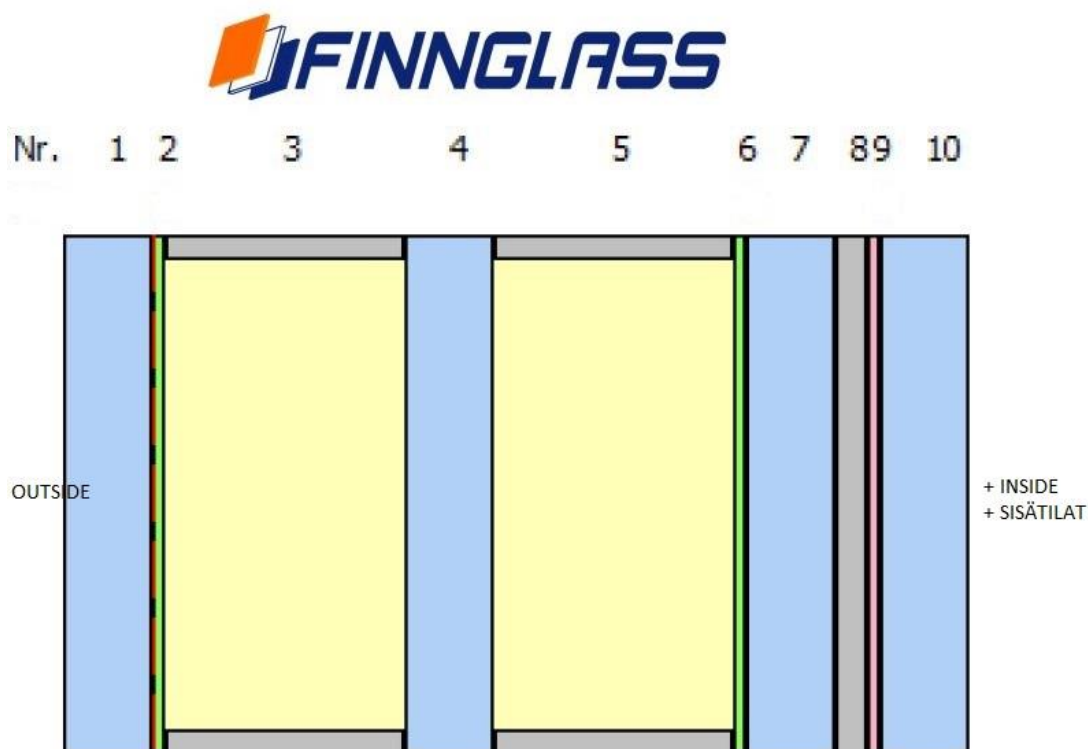
Sähkölämmitteisen lasin käyttöä kannattaa harkita erityisesti korkeissa lasijulkisivuissa, missä ihmisten työskentelyä tapahtuu julkisivun lähettyvillä, kosteiden tilojen lasirakenteissa, lasikattojen ja katteiden lumensulatuksessa. Sähkölämmitteisen lasin tärkeänä hyötynä on sen ominaisuus jakaa lämmitys tasaisesti kokolasipinnalta, riippumatta lasielementin mallista. Sähkölasielementillä voidaan lämpöä tuottaa tarkasti ja tasaisesti. Lasielementtien avulla voidaan tarvittaessa hoitaa, vaikka koko huonetilan lämmitys miellyttävästi. (Lasin Maailma 04/2015, 10-12; Saukko 2020b.)

Ikkunan lämmöneristävyttä kuvataan lämmönläpäisykertoimella eli U-arvolla (yksikkö $W/(m^2K)$), joka on käänteinen arvo lämmöneristävyydelle. (Motiva 2019). U-arvoa voidaan muuttaa monella tavalla. Nykyään parhaat matalaenergia U-arvon lasit ovat 3-kerros ja jopa 4-kerros laseja. Lasielementtien rakenteessa käytetään jalokaasuja eristeenä ja lasien pintoihin laminoidaan PVC- ja PVB-kalvoja, joilla saadaan U-arvo parannettua entisestään. Näistä on eri lasivalmistajilla erilaisia teknologioita käytössä.

3.1 Sähkölämmitys

Sähkölämmitteinen lasi on tuotteena kehitetty Suomessa 80-luvulla. Suurten lasijulkisivujen yleistyttyä on havaittu ongelmia sisäilmaolosuhteissa näiden lähettyvillä ja ongelmia on ratkottu sähkölämmitteisellä lasielementillä. Sähkölämmitteisellä lasilla voidaan myös tarvittaessa toteuttaa samanaikaisesti lämmitys ja huurtumisen esto, sekä lumensulatus kattopinnoilta. Sähkölämmitteisen lasin avulla saadaan toteutettua valikoitujen näyttävien sisäntulojen, ravintoloiden jne. tilojen sisäilmaolosuhteet halutun mukaisiksi.

Julkisivulasien sähkölämmitystekniikka on pääsääntöisesti pinnoitetekniikkaan perustuvaa. Lasien metalli- ja metallioksidipinnoitteet ovat hyvin sähköä johtavia. Sähkölämmitteisessä lasissa metallioksidikerroksena käytetään Finnglass Oy:n ratkaisussa tinanoksidia, joka sijoitetaan lasin välitilaan huonetilaa lähimpään pintaan hyvin lämpöä eristävää erikoiskalvoa vasten kahden lasielementin väliin. Lasielementtien välissä on jalokaasuna Argon- tai Krypton-kaasu, jonka avulla lämpösäteilyä saadaan noin 95% suunnattua sisätiloihin. Kuvassa 7 on esitetty Finnglass Oy sähkölasielementin rakenne ja lasiosat.



KUVA 7. Sähkölasielementin rakenne. (Finnglass Oy, 2020)

1. Lasi 6mm
2. Auringonsuojaukaskalvo (kalvolla estetään liiallinen auringon lämpösäteilyn pääseminen rakennukseen)
3. Argonkaasu 16mm
4. Lasi 6mm
5. Argonkaasu 16mm
6. Matalaemissiiviteettipinnoite, (Emissiviteetti 1%), jolla heijastetaan rakennuksen lämpösäteilyä takaisin rakennukseen sisälle.
7. Lasi 6mm
8. Erikoislämmöneristävä membraanikalvo
9. Metallioksidikerros
10. Lasi 6mm

Sähkölämmitteisellä julkisivulasilla voidaan lämmittää koko tila. Mikäli sitä käytetään tilan lämmitykseen, lasineliön keskimääräiset lämpötehot vaihdelleet 50-300 W/m² välillä. (Tenhunen 2003, 55).

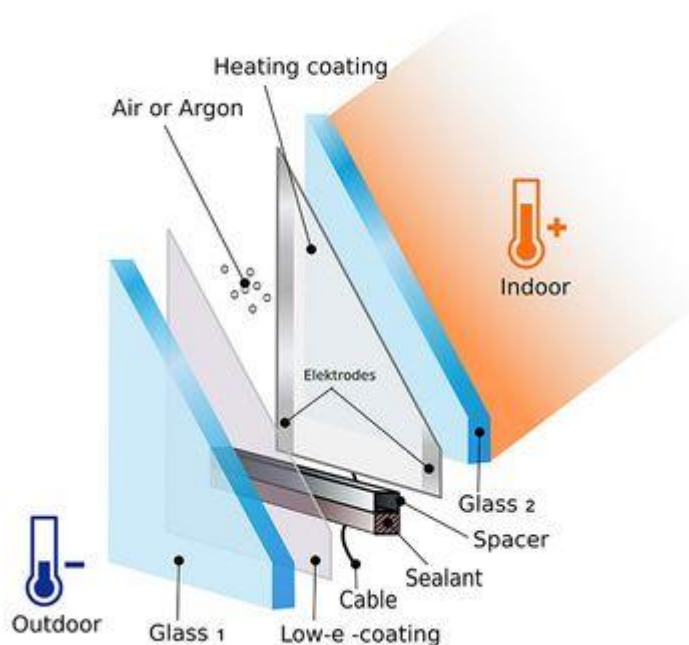
Näitä edellä mainittuja tehoja on käytetty aikaisemmin, koska todellista mitattua tehoa ja tehontarvetta neliötä kohti eri ulkoilman lämpötiloissa ei ollut riittävän tarkasti mitattua ja myös lasiteknologian kehittyminen on pienentänyt sähköntarvetta lasissa. Käytettäessä sähkölämmitteistä lasia vedon ja kylmän hohkan torjuntaan, on mitatut sähkötehontarpeet neliötä kohti kuvassa 7 esitetyllä Finnglass Oy:n lasirakenteella taulukossa 1 seuraavia:

TAULUKKO 1. Sähkölasin lämmitystekot ulkolämpötilaan suhteutettuna (Finnglass Oy, 2020)

Finnglass Lasitus 3k2Laminated		
Ukolämpötila °C	Lämmitys teho W/m ²	Sisälämpötila °C
-35	40	21
-30	35,2	21
-25	30,5	21
-20	26	21
-15	21,8	21
-10	17,7	21
-5	13,8	21
0	10,1	21

Taulukossa 1 on esitetty Finnglass Oy:n mittaamia todellisia sähkötehontarpeita, silloin kuin sähkölämmitteistä lasia käytetään pelkästään vedon ja kylmän hohkan torjumiseen. Tutkitusti jo tämän päivän energiatehokkaissa rakennuksissa voidaan jokin yksittäinen tila, esimerkiksi sisääntulo aula tai ravintola lämmittää pelkästään sähkölämmitteisellä lasilla, yhden tilan lämmittäminen sähköllä nostaa hiukan E-lukua, mutta laskennallisesti sen vaikutus ollessa kuitenkin pieni, koko kiinteistön kokoon nähden. Mikäli tilan lämmitys hoidetaan pelkästään sähkölämmitteisellä lasilla, säästyy samalla myös muissa investointikustannuksissa LVI-tekniikan järjestelmien osalta (radiaattorit, putket, lattialämmitysjärjestelmä, puhallinkovektorit, ilmalämmitys jne.) riippuen lämmitystavasta ja samalla kyseisten järjestelmien putkisäästöt, sekä mahdolliset vaikutukset lämmönsiirtimiin ja mahdolliseen kaukolämmön tilavuusvirtaan.

Sähkölämmitteisen lasin hyötysuhde tarkoittaa sitä sähkötehoa millä voidaan peittää ikkunan lämpöhäviöt ja lämmittää huonetila. (Palonen, Kurnitski & Jokiranta 2001, 25). Aikaisemmin sähkölämmitteisen lasin hyötysuhteet ovat olleet noin 90 % ja nykyään Finnglass Oy:n kehittämällä lasiratkaisuilla päästään noin 95 % hyötysuhteeseen.



KUVA 8. Sähkölämmitteisen lasin periaatekuva. (Finnglass Oy, 2020)

Kuvassa 8 on esitetty sähkölämmitteisen lasin toimintaperiaatetta ja kuvan mukainen rakenne on toki tälle hetkellä jo vanhaa teknologiaa ja kuvassa on 2K-lasitus, mutta toimintaperiaate havainnollistuu kuvasta hyvin.

3.2 Kondenssin torjuminen ja lumensulatus

Nykyajan energiatehokkaissa rakennuksissa esiintyy usein ongelmallista sisälasioiden kondensoitumista. Asumisesta ja tilojen käytöstä syntyy aina rakennuksen sisälle kosteutta, joka tiivistyy huoneessa kylmimmälle pinnalle. (Rainamo & Riikonen 1999, 36). Kosteuskuormaa saattaa rakennuksen sisätiloihin tulla myös erityisesti kesäaikana ulkoilmasta ilmanvaihdon mukana sekä ovien ja ikkunoiden auki pitämisen seurauksena. Kondensoitumisongelmat ovat erityisen voimakkaasti esillä mm. uimahalleissa, joissa halutaan tuoda allasosastoihin yleensä paljon luonnonvaloa ja uima-altaista haihtuu jatkuvasti kosteutta, joka herkästi tiivistyy kylmille ikkunapinnoille. (Aalto 2008, 10). Kondensoitumista voidaan kuitenkin estää erityisen kosteissa tiloissakin sähkölämmitteisellä lasilla. (LVI 06-10451, 3). Kondensoitumista tapahtuu, kun suhteellinen kosteus saavuttaa 100 % RH eli suhteellinen kosteus ilmaisee huoneilman nykyisen höyrypitoisuuden suhteessa maksimihöyrypitoisuuteen kyseisessä lämpötilassa. (Vinha 2009, 368). Kondensoituminen voimistuu energiatehokkaiden rakenteiden ja ikkunalasioiden vähäisen läpimenevän lämpövuodon seurauksena. Vanhoissa rakenteissa, joiden energiatehokkuus oli nykyistä merkittävästi heikompi, oli jatkuva lämpövuoto rakenteen ja lasielementin läpi niin voimakasta, että usein lasipinnat ja rakenteet pysyivät kuivina. Tosin vanhoilla rakenteilla esimerkiksi uimahalleissa kondenssin muodostuminen oli tällöinkin erittäin voimakasta ja lämmityskustannukset samanaikaisesti merkittävästi nykyrakenteita suuremmat. Nykyaikaisilla energiatehokkailla ikkunaratkaisuilla saadaan jo merkittävästi parannettua ja vähennettyä huurtumista ja erilaisilla pinnoitteilla estetään huurteen muodostumista, sekä parannetaan lasin itsepuhdistuvaa ominaisuutta.

3.2.1 Lasielementin ulkopinnan kosteus

Uusilla energiatehokkailla ikkunaratkaisuilla erityisesti syksyisin ja keväisin ulkoilman suhteellisen kosteuden ollessa korkeana ja kun ulkoilma lämpenee nopeasti voi kosteutta tiivistyä huurteena ikkunalasin ulkopintaan. (Ikkunawiki, huurtuminen). Ikkunan läpi sisältä ulospäin virtaava lämpövuoto on niin vähäinen, että lasielementin uloin lasi voi olla ulkoilmaa kylmempi. Tätä ulommaiseen la-

sielementtiin tiivistyvää kosteutta voidaan torjua erilaisilla markkinoilla olevilla pinnoitteilla sekä sähkölämmityksellä, jolloin saadaan hyvin huoltovapaa ja kaikissa olosuhteissa hyvin läpinäkyvä lasielementti.

Trooppisissa olosuhteissa voi tapahtua myös sama ilmiö. Lasin ulommainen pinta on ulkoilmaa viileämpi ja kondensoitumista tapahtuu lasinpintaan. Tästä on olemassa toteutettuja ratkaisuja, sähkölämmitteisellä lasilla, jotta esimerkiksi näköalaikkunoissa säilyy esteettömyys ja sisäolosuhteet yhtä aikaa miellyttävinä.



KUVA 9. Laselementin ulkopinnan huurtuminen (Ikkunawiki)

3.2.2 Laselementin sisäpinnan kosteus

Sisäpintaan voi tiivistyä kosteutta, kun lämmin ja kostea sisäilma kohtaa sisäilmaa kylmemmän lasipinnan. Laselementin sisäpinnan huurtuminen on usein merkinä sisäilman liiallisesta kosteudesta tai puutteellisesta ilmanvaihdosta. (Ikkunawiki, huurtuminen.) Ikkunapinnan lämpötila on tavanomaisesti U-arvon ollessa noin 1,0 ja ulkona mitoituspakkasella noin +14 – +16 astetta, jolloin sisäpinnan tiivistymiselle on jo erittäin otolliset olosuhteet, mikäli sisätiloissa on edellä mainittuja kuormia tai puutteellinen ilmanvaihto.

3.2.3 Laselementin välin kosteus

Ikkunalasin välitilaan voi päästä kosteutta, mikäli huonetila on ylipaineinen ja lasielementti on avatava ikkunalasi. Mikäli erityslaselementin välitilaan pääsee kosteutta on lasielementti vaurioitunut ja erityslaselementistä on karannut eristeenä käytetty jalokaasu pois ja lasin eristysarvo ei enää vastaa luvattua. (Ikkunawiki, huurtuminen.)



KUVA 10. Vaurioitunut lasielementti, Kokkolan kaupungintalo (Saukko 2018)



KUVA 11. Vaurioitunut lasielementti, lähikuva, Kokkolan kaupungintalo (Saukko 2018)

Kuvissa 10 ja 11 näkyy sama lasielementti, josta on tuntemattomasta syystä karannut täytekaasu välistä ja lasin eristämisen ominaisuudet on menetetty. Kuvassa 11 on hyvin selvästi nähtävissä lasielementin sisälle kertynyttä kosteutta, joka tiivistyy kylmään lasipintaan.

3.2.4 Lumensulatus

Mikäli pohjoisen olosuhteissa käytetään lasipintoja katolla tai pinnoissa, joille on mahdollista kerääntyä lumi- ja jääkuormaa, käytetään lumensulatukseen sähkölämmitteistä lasielementtiä, jossa lämmitysvastuspinta asennetaan uloimpaa lasiin siten että lasipinta lämpenee ja sulattaa sen päälle sataneen lumen pois, samalla myös voidaan poistaa talvella syntyvä lasipintojen huurtuminen ja kuuransyntyminen. Lasin lämmitykseen yhdistetään tällöin oma automatiikka, jonka avulla lämmitystä ohjataan tarpeen mukaisesti. Lumensulatuksen ja huurteenpoistoon löytyy maailmalta jo paljon erilaisia esimerkkejä toteutetuista ratkaisuista ääriolosuhteissa.



KUVA 12. Sähkölämmittävän lasin käyttöä haastavissa oloissa. Santa's Hotel Aurora, Luosto. (Finglass, 2020)

Sähkölämmitteisistä lasielementeistä on erityisesti Suomen lapin talven turismiin tehty todellinen hitti-tuote. Näitä erilaisia ”Igluja” eli rakennuksia, joiden muotoilussa on erityisesti haluttu säilyttää näkymät ulkomaailmaan ja revontulien katseluun. Näissä rakennuksissa on lähes poikkeuksetta lämmitykset lasien sisä- ja ulkopinnoissa, jotta näkymät pysyvät esteettöminä.

3.3 G-arvo ja sähkökromaattisuus

Kaikilla nykyajan energiatehokkailla lasielementeillä pyritään, myös leikkaamaan ulkoa sisälle tulevaa lasin läpäisevää turhaa lämpökuormaa kiinteistössä. Pääsääntöisesti ulkoa sisälle tuleva lämpöenergia on auringon säteilyä.

Auringon säteily koostuu kolmesta eri lailla kohtaavasta säteilyn muodosta: maan pinnalla suora säteily, ilmakehän aiheuttamasta hajasäteilystä ja maan pinnalta heijastuvasta säteilystä. Auringosta lähetevä lämpö ja näkyvän valon säteilyt läpäisevät julkisivulasin osittain suoraan, osa heijastuu pois ja osa absorboituu lasiin, kuten kuvassa 2 on esitetty. (Rainamo & Riikonen 1999,23.) G-arvo on suhdeluku, joka kertoo kuinka suuri osa ikkunan ulkopintaan tulleesta auringonsäteilystä, tulee ikkunan läpi huonetilaa lämmittämään. (Motiva 2019). G-arvon yksikkö % tai se vaihtelee välillä 0-1.

G-arvoa muutetaan julkisivulaseissa säätämällä ikkunan valonläpäisyä, joka näkyy sisätiloissa ikkunan tummenemisena. Lasielementin pintaan voidaan silkipainatustekniikalla tuottaa kuvioita ja heikentää auringon valonläpäisyä. (Sundell 2004, 59; Lasifakta 2018, 54). Hyvällä G-arvolla varustettu lasielementti on sisältä katsottaessa hyvin tumma ympärivuotisesti ja usein tummat lasielementit koetaan sisätiloissa harmaana ja epämiellyttävinä. Suurilla lasijulkisivuilla halutaan tuoda rakennusten sisätiloihin luonnonvaloa lasituksen läpi mahdollisimman luonnollisissa värisävyissä ja tämä aiheuttaa aina ristiriitaa energiatehokkuuden ja taloteknisten järjestelmien ja rakennuksen käyttökokemuksen muodossa.

Lasin auringonvalon läpäisyä voidaan muuttaa tarpeen mukaan sähkökromaattisella lasilla (EC-lasi). EC-lasi (Electrochromic glass) muuttaa sähköllä ohjattuna auringon lämpösäteilyn läpäisyä lasituksen läpi. Tästä syntyy väliaikaista esteettistä haittaa, joka ilmenee lasin tummenemisena ja läpinäkyvyyden heikkeneminen. EC-Ikkuna leikkaa auringon aiheuttamaa lämpökuormaa hyvin tehokkaasti ja kuitenkin siten että ikkunan on silloin kun lämpökuorma on vähäistä, hyvin valoa läpäisevä. Sähkökromaattisen ikkunan energian säästöä ovat Sibilio, S., Rosato, A., Scorpio, M., Iuliano, G., Ciampi, G., Va-

noli, G. P. ja de Rossi, F. tutkineet artikkelissaan, jonka mukaan sähkökromaattisen julkisivulasin käytössä voidaan saavuttaa 39-59 % energiansäästöt tavalliseen julkisivuun verrattuna. Sähkökromaattisella lasilla on myönteinen vaikutus kuumissa olosuhteissa, joissa tutkitusti sähkökromaattisella lasilla säästetään energiaa. (Sibilio ym. 2016, 486-487.) Laminoitu lasitus, joka peittää 8,5 % seinäpinta-alasta kuluttaa saman verran sähköenergiaa kuin sähkökromaattinen lasitus, joka kattaa 20 % seinäpinta-alasta. (Lahmar, I., Zemmouri, N., Cannavale, A. & Martellotta, F. 2019, 5-6.)



KUVA 13. Sähkökromaattisen lasin tummeneminen. (SAI Industrial LLC)

EC-ikkunan käyttö on maailmalla lämpimissä maissa yleistä. Sähkökromaattinen lasi (Smart Glass) markkinat ovat vuonna olleet noin 3 miljardia Yhdysvaltain dollaria ja markkinat tulevat kasvamaan teollisuuden arvion mukaan, jopa 10 miljardiin Yhdysvaltain dollariin kansainvälisesti vuoteen 2025 mennessä. (Sai Industrial). Suomessa sähkökromaattisen lasin käyttö on vielä vähäistä. Vähäinen käyttö kansallisella tasolla rakentamisessa johtuu todennäköisesti siitä, että lasilla on korkeammat investointikustannukset ja lasin tummenemistoiminnolle täällä on käyttöä lähinnä kevättalvella ja kesällä sekä alkusyksystä. Ikkunalasien käytön vähäisyyteen saattaa myös vaikuttaa EC-lasien pienet koot. Tällä hetkellä suurimmat valmistettavat sähkökromaattiset ikkunalasit ovat kokoa 1,828 m * 3,048 m. (Sibilio ym. 2016, 483). Suomessa nykyarkkitehtuuri käyttää usein suurempia lasielementtikokoja ja tämä aiheuttaa arkkitehtonisesti haastetta, pienemmällä lasielementin koolla mitä trendin suunta on.

Uusissa lähes nollaenergiarakentamisen rakennuskohteissa tarkastellaan aiempaa kriittisemmin myös rakennuksen sisään pääsevää lämpösäteilyä ulkoa, joka vaikuttaa rakennuksen jäädytystarpeeseen ja sitä kautta myös kiinnostus EC-ikkunoihin tulee kasvamaan ja sähkökromaattiset ikkunat tulevat valikoidusti lähitulevaisuudessa selkeämmin mukaan suomalaiseen rakentamiseen. EC-ikkunoilla voidaan suomalaisissa olosuhteissa kuitenkin hyödyntää täysimääräisenä syksyn, talven ja kevään aikana aurin-
gon tuottama ilmaisenergia ja siten myös voidaan saada säästöjä rakennuksen energiankulutukseen.

3.4 Julkisivulasin karmit ja kylmäsillat

Perinteisesti 1970 – 1990-luvuilla vallinneen trendin mukaan lasijulkisivut olivat nykyisin käytettäviin lasielementteihin nähden huomattavasti pienempiä. Pienemmällä lasielementtikooalla karmien vaikutus on suurempi lasin kylmäsiltoihin ja koko julkisivuratkaisun U-arvoon. Julkisivulasin kehyksistä tulee nykyisillä ratkaisuilla vain vähäinen kylmäsilta, erityisesti jos käytetään rakenteena SG-lasirakennetta tai muuta karmitonta rakennetta. Mikäli lasielementit halutaan taas asentaa kehyksiin siten että kehyksistä tulee osa julkisivun arkkitehtonista ulkonäköä, kasvaa lasin U-arvo ratkaisun mukaan hiukan suuremmaksi. Lasijulkisivulasin paksuudella on karmin kylmäsiltaan riippuva suuri vaikutus, mitä paksuampi julkisivulasitus on sitä enemmän lasituksen ja karmin väliseen tilaan saadaan lämmöneristettä ja sitä parempi U-arvo julkisivulle saadaan. Pääsääntöisesti kaikissa pintalistallisissa lasijulkisivuissa karmien kylmäsillat pitää laskea tapauskohtaisesti, jotta ratkaisun tarkka U-arvo saadaan tietoon. Purson julkisivuratkaisuissa käytetään kiinnitysjärjestelmässä muovikiinnitystä, joka avulla lasi kiristetään paikoilleen, koska muovin lämmönjohtavuus on huomattavasti metalleja heikompi. (Sievä 2020.)
Nykyjulkisivulasituksen lämpötekniisesti haastavimmat ratkaisut ovat lasituksesta rakennettavat nurkat ja ulkonemat sekä liitospisteet muuhun julkisivuseinärakenteeseen. Näihin rakenteellisiin ratkaisuihin tulee kiinnittää erityistä huomiota työmaalla ja suunnitteluvaiheessa, julkisivulasitusjärjestelmien toimittajilla tarkat ohjeistukset kuinka nämä haastavat kohdat toteutetaan ja niiden tekemiseen pitää asennusvaiheessa kiinnittää erityistä huomiota.

4 RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUS

Tässä kappaleessa käydään läpi lain säädännön asettamia vaatimuksia rakennuksille ja rakennusten energiatehokkuutta. Kappaleessa esitellään myös lainsäädännön asettamia raja-arvoja ja rakennuksen energiatehokkuuteen viime aikoina eniten vaikuttanutta FinZEB-hanketta.

Energiatehokkaassa rakennuksessa on matalat lämmityksen- jäähdytyksen- ja sähkönkulutukset. Energiatehokkaassa rakennuksessa on siis myös hyvin eristävät lattia-, seinä-, ja kattorakenteet ja erityisesti nykyrakennuksissa ilmanvaihdolla on suuri merkitys energiatehokkuuteen. Energiatehokkaassa ilmanvaihdossa on hyvä lämmöntalteenotto ja energiatehokkaat puhaltimet. Energiatehokas rakennus tuottaa vähemmän hiilidioksidipäästöjä ja kuormittaa vähemmän ympäristöä, verrattuna tavanomaisella tavalla kyseisen aikakaudella rakennettuun rakennukseen. Erityisesti suurten lasipintojen vaikutus sisäilmaolosuhteisiin on suuri, joten näillä ratkaisuilla voidaan vaikuttaa merkittävästi energiatehokkuuteen. Suurten lasipintojen energiatehokkuus on yleensä normaalia seinä- tai kattorakennetta merkittävästi huonompi ja samalla myös lasin auringonvalonläpäisy on aina näitä muita rakenteita suurempaa.

4.1 Lainsäädäntö

Euroopan unionin 2008 hyväksymät ilmasto- ja energiavoitteet ulottuvat vuoteen 2020 asti. Euroopan parlamentin antama direktiivi (2010/31/EU), jonka mukaan kaikissa jäsenvaltioissa on vuoden 2020 loppuun mennessä rakennettavat uudet rakennukset tehtävä lähes nolla energiarakennuksina ja vuoden 2019 alusta asti kaikki viranomaiskäyttöön rakennettavat rakennukset tehtävä lähes nollaenergiarakennuksina. (Tasauslaskentaopas 2018, 6.)

Maankäyttö- ja rakennuslaki ohjaa alueiden käyttöä ja rakentamista siten että niihin syntyy edellytykset hyvälle elinympäristölle, sekä edistää kestävästä kehityksestä ja turvata rakentamisen laatua.

Maankäyttö- ja rakennuslain muutosasetuksessa 1151/2016 on muutettu lakia (132/1999) 117 g §, ja sen muutoksia laissa 958/2012, ja lakiin on lisätty uusi kohta 115 a §. Lainsäädännön kohdassa 115 a § määritetään lähes nollaenergiarakennuksen määritelmä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivien mukaisiksi, tarkemmat kansalliset määrittelyt on jokainen maa itse tarkentanut. Tässä muutoksessa siis Suomen maankäyttö- ja rakennuslaki muutettiin Euroopan unionin direktiivin mukaiseksi.

Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan rakennus tulee suunnitella siten että kesäajan aurin-gontuottama lämpökuorma pitää pyrkiä poistamaan ensisijaisesti passiivisilla rakenneratkaisuilla. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 9-10). Mikäli rakennuksessa halutaan käyttää arkkitehtoisista tai muista syistä suuria lasijulkisivuja niin rakennuksen jäähdytyskuormaa pitäisi ensisijaisesti pyrkiä poistamaan rakennuksen energiatehokkuuden kannalta optimaalisilla passiivisilla jäähdytysratkaisuilla, joita ovat muun muassa ikkunamarkiisit, lähirakennukset, pihan puusto, sälekaihtimet, ikkunan auringonvalon läpäisyn eli G-arvon optimointi, erilaiset silkkipainatukset ja pinnoitteet lasinpinnoilla.

Ympäristöministeriön uudessa asetuksessa rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta kerrotaan, että rakennuksen sisäilmaolosuhteisiin vaikuttavat tekijät, kuten veto, kylmän hohka, lämpötilojen vaihtelut, lämpötilaerot huonetilassa eikä pintalämpötilat saa heikentää sen viihtyisyyttä. Huonelämpötilan suunnitellaan siten että lämmityskaudella tavoitelämpötila on 21 celsiusastetta. Huonelämpötila saa kuitenkin vaihdella 20–25 celsiusastetta lämmityskaudella. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 2017, 3.)

4.2 Lainsäädännön asettamat raja-arvot

Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 lainsäädännöllisesti asetettu tavoitteet ja vaatimukset uuden rakennuksen energiatehokkuudelle ja kyseisestä asetuksesta löytyy erilaisille rakennuksille asetetut E-luvun raja-arvot kWh_E/(m²a).

Ympäristöministeriön asettamassa tasauslaskentaoppaassa 2018 on havainnollistettu miten, suunnitellaan rakennukset 1010/2017 lainsäädännön asettamalla vaatimustasolle. Opas sinällään ei ole määräysten tasoinen kannanotto. Oppaan avulla havainnollistetaan, kuinka rakennus voidaan toteuttaa määräysten mukaisesti, miten uuden rakennuksen energiatehokkuus ja lämpöhäviöt voidaan osoittaa vaatimuksen mukaisiksi. Oppaassa on annettu lämpöhäviöiden vertailuarvot, joita tulee käyttää rakennuksen energiatehokkuuden vertailussa, mikäli parempia suoritusarvoja ei ole tiedossa. Käytettäessä parempia suoritusarvoja tulee taas näyttää toteen tuotevalmistajan sertifikaateilla tai muulla hyväksyttävällä toteennäytöllä.

4.3 FinZEB hanke

FinZEB-hankkeessa luotiin lähes nollaenergiarakentamiseen kansalliset tulkinnat rakennusten energia-
tehokkuusdirektiivin määritelmiin. Tässä hankkeessa tuotettiin lainsäädännön pohjaksi kansalliset nä-
kemykset siten että tavoitteet olisivat riittävän haastavat ja kuitenkin samalla kustannustehokkaat di-
rektiivin täyttämiseksi, rakenteiden turvallisuus ja hyvät sisäilmaolosuhteet huomioiden. (FinZEB
2015). Hankkeessa nousi esille, että rakennusten ilmanvaihdolla ja ikkunoilla on suurimmat vaikutuk-
set rakennuksen energiatehokkuuteen ja mikäli halutaan käyttää runsaasti lasipintaa rakennuksessa, tu-
lee energiankäyttöä vastaavasti vähentää muualla ja energiankulutuksen vähentäminen onnistuu hel-
poiten esimerkiksi taloteknisten järjestelmien osalta, joihin kuuluu muun muassa valaistus, ilmanvaihto
ja lämmönjakelun hyötysuhde. (FinZeb loppuraportti, 20-21.)

Hankkeessa ei harmillisesti otettu kantaa sähkölämmitteisen julkisivulasin vaikutuksiin sisäilmaolo-
suhteisiin. Sähkölämmitteisen lasin eroavuus normaalista julkisivulasista on merkittävä muutoinkin
kuin pelkästään lämmityselementin osalta. Sähkölämmitteisen lasin läpi syntyvää konvektionaalista
virtausta ei ole juurikaan, koska sähkölämmitys pitää lasin sisäpinnan huonelämpötilassa ja lämmitys-
energiasta noin 95 % voidaan suunnata sisätiloihin. Perinteisen julkisivulasin läpi syntyy aina konvek-
tionaalista virtausta ja mitä tehokkaammin perinteisellä julkisivulasilla kylmän ilman liikettä torjutaan,
sitä voimakkaampaa on myös konvektio lasin läpi pihalle.

4.4 Vertaavat tutkimukset

Sähkölämmitteisen julkisivulasin tutkimuksista löytyy tälle työlle vähän ajankohtaista tietoa. 2000-lu-
vun alussa on julkaistu useampia artikkeleita ja tutkimuksia sähkölämmitteiseen lasin ja sen vaikutuk-
sista sisäilmaolosuhteisiin, mutta niissä on pääsääntöisesti osittain vanhentunutta tietoa mukana.

Lasin Maailman artikkelissa 4/2015 Tuomo Häyrynen esittelee tarkemmin sähkölämmitteisen julkisi-
vun vaikutuksia sisäilmaolosuhteisiin. Artikkelissa käydään läpi perinteisten lasien passiivista raken-
netta, joka ei reagoi sisä- ja ulkoilman olosuhteiden muutokselle ja siitä aiheutuville fysikaalisille ilmi-
öille. Artikkelissa selvenee sähkölämmitteinen lasi kyky antaa tasaisen lämpötilajakauman huoneti-
laan. Artikkelissa esitellään tarkemmin myös sitä, miten tehokkaasti sähkölämmitteisellä lasilla voi-
daan estää kondenssi- ja veto-ongelmat rakennuksissa. Sähkölämmitteisen lasin yksi merkittävimmistä
hyödyistä on suuri tilansäästö. (Häyrynen, 2015.)

5 TALOTEKNIKKASUUNNITTELU

Tässä kappaleessa esitellään erilaiset korkean lasijulkisivun lähettyvillä sisäilmaolosuhteisiin vaikuttavia taloteknisiä järjestelmiä sekä kerrotaan haasteista mitä korkean lasijulkisivun lähettyvillä sisäilmaolosuhteisiin muodostuu. Kappaleessa kerrotaan ja esitellään myös erilaisia ratkaisuja, joilla päästään hyvään lopputulokseen korkean lasijulkisivun lähettyvillä.

5.1 LVI-suunnittelu

Korkeiden ja suurten lasijulkisivutilojen talotekninen suunnittelu on haastavaa ja kyseisten tilojen suunnittelussa on nykypäivään asti pitkälti menty hihavakioarvojen perusteella. Hankkeiden taloteknisen suunnittelun osalta on olemassa vähäisesti tutkittua tieteellistä näyttöä siihen, miten LVI-järjestelmät tulisi valita korkean lasijulkisivun lähettyvillä. Uusissa energiatehokkaissa rakennuksissa vähäisillä mitoitusvirheillä on suuret lopputulosta heikentävät vaikutukset ja energiatehokkuuden myötä on myös vaatimukset talotekniseen suunnitteluun kasvaneet. Virtaussimuloinnin teko suurten lasijulkisivujen lähettyvillä ilman termisten virtauksien, tuloilmasuihkujen sekä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien yhteysvaikutuksien vaikuttavuuksien arviointia ja valintoja varten rakennuksen sisäilmaolosuhteiden on välttämätöntä laadukkaan ja halutun sisäilmaluokan täyttymisen takaamiseksi. Virtaussimuloinnin avulla voidaan tehdä lopputuloksen kannalta laadukkaat ja kestävät suunnitteluratkaisut. Myös elinkaarikustannusten laskenta on hyvä tehdä, jotta järjestelmien todelliset kustannukset saadaan selville.

Pääsääntöisesti rakennuksen vaipan rakentaminen, johon lasijulkisivu kuuluu, sisältyy rakennusurakkaan. Talon tekniset järjestelmät puolestaan jaetaan erillisiin LVIA-urakoihin, joissa usein eritellään ilmanvaihto ja muut putkityöt kahdeksi erilliseksi urakaksi, sekä rakennusautomaatiourakka omaksi urakakseen. Mikäli kaikki urakat ovat erillisiä toisistaan katsotaan usein kustannuksia pelkästään josta alaa erikseen eikä rakennuksen kokonaiskustannuksia saatikka elinkaarikustannuksia.

Samoin myös suunnittelupöydällä suunnittelutöiden ollessa käynnissä LVI-suunnittelijan tulisi ohjata myös rakennuksen julkisivulasituksen valintaa suunnittelun aikana aktiivisessa vuoropuhelussa rakennus- ja arkkitehtisuunnittelujen kanssa, jotta olosuhteissa saavutetaan energiatehokas, laadukas ja elinkaaren kannalta paras mahdollinen lopputulos.

5.2 Ilmanvaihto

Korkeiden tilojen ilmanvaihtosuunnittelussa käytetään usein kattopinnassa olevia säädettävällä heittokuvilla varustettuja tuloilmanpäätelaitteita. Ilmanvaihdon päätelaitte muuttaa kesällä- ja talvella heittokuvion erilaiseksi riippuen huonetilan lämpötilasta ja -kuormasta. (Seppänen 2004, 155, 157.) Pääsääntöisesti tuloilma puhalletaan lämmityskäytössä pystykuviona eli näin tapahtuu kylminä vuodenaikoina ja tuloilmakuvio muutetaan toimilaitteella sähköjännitteen avulla vaakasuuntaiseksi jäähdytyskäytössä, jolloin tuloilma puhalletaan tilaan reilusti alilämpöisenä, huoneilmaa reilusti viileämpi ilma laskeutuu katonrajasta oleskeluvyöhykkeelle. Muuttuvan heittokuvion päätelaitetta käytettäessä riskinä on se, että tilanteessa, jossa olosuhteiden osalta huonetiila on välimaastossa eli ei oikein voida puhaltaa kylmää eikä lämmitä ilmaa eli tarvitaanko vaaka- vai pystykuviollista tuloilmaa, jotta se saadaan oleskeluvyöhykkeelle. Välitilassa voi syntyä vedontunnetta ja kylmäilma voi tipahtaa alas tai oleskeluvyöhykkeen ilmanlaatu heikkenee ja ei vaihdu.

Oleskeluvyöhykkeeksi määritellään se osa huoneesta, jossa sisäilmastovaatimukset on suunniteltu toteutuviksi eli lattiasta 1,8 metrin korkeuteen ja seinästä tms. kiinteästä rakenteesta tai sivupinnasta 0,6 metristä alkaen. (Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas 2019, 3).

Tämän sijaan parempi korkean tilan ilmanvaihdon suunnittelumetodi olisi kerrostava ilmanvaihto. Tällöin poistoilma otetaan katonrajasta, tämä suosii ilman luontaista konvektiota korkeassa tilassa. Tilassa on usein luontaisia lämmönlähteitä ja auringon lämpökuorma luontaista konvektiota parantamassa. Kerrostavalla ilmanvaihdolla saadaan oleskeluvyöhykkeelle raikas ilma siten, että se leviää kokonaan halutulle alueelle ja ilmanvaihdon hyötysuhde merkittävästi parempi, mitä perinteisellä sekoittavalla ilmanjaolla. Sekoittuvassa ilmanjaossa (puhalletaan seinästä tai katosta) hyötysuhde on optimaalisesti toimiessaan noin 50 % ja usein huonosti mitoitettuna tai suunnattua hyötysuhde jää noin 20-30 % tasolle. Kerrostavassa ilmanvaihdossa hyötysuhteella pystytään saavuttamaan, jopa 70-80 % hyötysuhde. (Seppänen 2004, 137; Stravent, 1-4.)

Lasijulkisivun tiloissa erityisesti, mikäli ei käytetä sähkölämmitteistä lasijulkisivua, tulee ilmanjakoon kiinnittää erityistä huomiota. Ikkunapinnalla syntyvän luonnollisen konvektion voimasta alaspäin laskeutuva kylmä ilma heikentää merkittävästi sisäilmaolosuhteita ja tätä ei saa ilmanvaihdolla enää voimistaa. Tuloilmanjako tulee suunnitella siten, että sillä ei voimisteta kylmän ilmanvirtausta huonetiilaan. Käytettäessä sähkölämmitteistä lasia voidaan ilmanjako suunnitella hiukan väljemmin, mutta siinäkin ei tuloilmasuihkuja pidä suunnata ikkunalaseille. Lasipinnan U-arvot ovat aina heikommat mitä

seinärakenteen ja siihen suunnattu tuloilmasuihku heikentää aina lasipinnan energiatehokkuutta entisestään ja lisää elinkaarikustannuksia lämpövuotona lasista ulos tai turhana lämpövuotona lasipinnalta huonetilaan. Mikäli korkean tilan tuloilmasuihkun imupintana halutaan käyttää seinärakennetta, pitäisi tällöin suosia rakennuksen sisäseiniä, jolloin seinäpinalla liikkuva ilma ei heikennä energiatehokkuutta. Käytettäessä seinäpintoja tulee samalla kiinnittää huomiota ilman nopeuteen oleskeluvyöhykkeellä, esteettömään ilman kulkuun ja poistoilmanvaihdon sijoitukseen huonetilassa. Poistoilmanvaihto on hyvä tällöin sijoittaa katonrajaan, jotta oleskeluvyöhykkeen ilma nousee likaannuttua ja lämmentyä ylös, josta se poistuu luonnollisen konvektion avustamana.

Haastavissa tiloissa kannattaa ilmanjakojärjestelmän valinnassa tehdä tilasta CFD-mallinnus, jossa vertaillaan ilmanjakotapoja keskenään valitun ikkunaratkaisun kanssa. Tällöin voidaan myös tilaajalle näyttää, että vaatimukset sisäilmaolosuhteista täyttyvät ja tilassa saavutetaan haluttu sisäilmaluokka. CFD-mallinnus on erityisen tärkeä, mikäli tilassa ei haluta käyttää sähkölämmitteistä julkisivulasia, jotta ikkunapinnan aiheuttama kylmä ilmavirta ja tuloilmavirta keskenään eivät aiheuta oleskeluvyöhykkeelle vetoa ja suunniteltu sisäilmaluokka täyttyy käytönaikana.

5.3 Lämmitys

Lasijulkisivujen lähetyvillä lämmitysmuotoina on käytetty usein normaaleissa lasipinnoissa radiaattoreita, puhallinkovektoreita tai lattialämmitystä. Tilassa olevat erilaiset lämmönlähteet (ihmiset, laitteet, LVI-tekniset lämmityslaitteet) aiheuttavat huonetilaan lämpimän ilmanvirran konvektioita, jotka muuttuvat konvektiovitauksiksi eli pluumeiksi. Näiden pluumien liikkeeseen vaikuttavat huoneen tuloilmanjako, pluumin virtausnopeus, lähellä olevat kylmät pinnat, kuten julkisivulasit ja niin edelleen. (Sandberg 2014, 407.) Pluumien liikkeeseen vaikuttaa huomattavasti myös kyseisessä tilassa toteutettu tuloilmajakotapa ja poistoilmapäätelaitteiden sijoitukset, mikäli tuloilma tuodaan sekoittavana ilmanvaihtona kattopinnasta puhallettuna pluumien toiminta estyy tai ainakin heikentyy. Heikentynyt luonnollisten pluumien toiminta estää oleskeluvyöhykkeellä syntyvien epäpuhtauksien siirtymisen lämmenneen ilman mukana kohti poistoilmapäätelaitetta.

Lattialämmitys ja lämmittämätön suuri lasipinta huonetilassa ovat epäsopeva yhdistelmä. Lattialämmityksen tuottama lämpöteho jakautuu tasaisesti tai piirien ja tihennettyjen putkijakojen mukaisesti huonetilaan, tämä tasaisesti jakautunut lämmitysteho ei pysty katkaisemaan kylmästä ikkunapinnasta syntyvää alaspäin suuntautuvaa konvektiota huonetilassa ja kylmän hohkaa lasialueen lähetyvillä.

Finnglass Oy:n tutkimusten ja CFD-mallinnusten mukaan määräykset täyttävällä normaalilla lasijulkisivuilla ja lattialämmityksen yhdistelmällä ei toimistotilojen täyty sisäilmaluokkien S1 ja S2 mukaiset sisäilmaolosuhteet oleskeluvyöhykkeellä, mikäli lasijulkisivu on esimerkiksi 9 metrin korkuinen. Sisäilmaolosuhteisiin vaikuttaa merkittävästi korkeassa lasijulkisivussa jo 1 asteen lämpötilaerolla lasipinnan ja huonetilan välillä, tällöin syntyy jo vedontunnetta ja olosuhdeviihtyvyyks ei täyty. (Saukko 2020c).

Radiaattorilämmitys ja lämmittämätön lasipinta toimivat suhteellisen hyvin matalissa lasijulkisivuissa. Lasijulkisivun toiminnasta radiaattorilämmityksellä ei ole tehtyä tutkimustietoa miten korkeaan lasijulkisivuun radiaattori sopii, mutta kokemukseräisesti voidaan sanoa, että alle 3 metrin laseissa toimii kohtuudella, riippuen tilan geometriasta ja monista muista asioista. Radiaattorin tuottama lämpö nousee ikkunapintaa ylöspäin ja lämmittää lasin pintaa sekä estää samalla alaspäin liikkuvan konvektion syntymisen. Korkeissa lasipinnoissa radiaattorista ei saada tarpeeksi voimakasta lämpimän ilman virtausta ylöspäin, että se riittäisi vastavoimana kumoamaan alaspäin syntyvän ilmanliikkeen. Radiaattorissa haittana on myös radiaattorin ulkonäkö ja mahdollisesti visuaalinen este ulkoilmaan.

Puhallinkonvektori ikkunapenkissä ja lämmittämätön lasipinta toimivat hiukan paremmin ja korkeammassa lasijulkisivuissa mitä radiaattorilämmitys. Lattiaan tai ikkunapenkkiin sijoitetut puhallinkonvektorit puhaltavat lämmitettyä ilmaa ikkunapinnan myötäisesti ylöspäin ja estävät kylmän ilman liikettä alaspäin. Tämä ratkaisu toimii kohtuudella alle 10 metrin lasijulkisivuissa, tätä suuremmissa konvektoreita pitää asentaa sekä ylös että alas ja lisäksi käyttämään erikoissuuttimia, jolloin konvektorin tuottama äänitaso saattaa nousta tilan käyttötarkoitusta ajatellen liian suureksi. (Karkulahti 2020). Suurten lasijulkisivujen tiloissa neliöhinnat ovat usein todella korkeita tavanomaiseen rakentamiseen nähden. Tämän takia tilojen neliöiden tehokas käyttö on usein todella tärkeä ja konvektorit vievät tehokasta lattiapinta-alaa muulta käytöltä pois. Konvektorilämmitystä suunniteltaessa on erittäin tärkeä tehdä tilaan CFD-simulointi, jolla pystytään tarkasti mitoittamaan järjestelmä, jonka avulla sisäilmaolosuhteet saadaan halutun mukaisiksi ja vältetään ylimitoituksilta.

Sähkölämmitettävää lasijulkisivua käytettäessä tilan lämmitys voidaan, joissain tapauksissa jopa toteuttaa lasielementillä tai tilaan muu lämmitystarve voidaan toteuttaa lattialämmityksellä tai radiaattoreilla. Sähkölämmitteisen lasijulkisivun alle tai välittömään läheisyyteen ei ole erillistä tarvetta asentaa radiaattoria. Sähkölämmitteisen lasijulkisivun lähettyvillä talotekninen suunnittelu lämmityksen ja ilmanvaihdon osalta on pitkälti samankaltainen kuin rakennuksen sisätiloissa.

Nykyaikaisissa energiatehokkaissa rakenne ja talotekniikkaratkaisuissa, eivät enää välttämättä perinteisillä suunnittelu- ja mitoitusratkaisuilla päästä loppukäyttäjän kannalta optimaalisiin sisäilmaolosuhteisiin. Energiatehokkaassa rakentamisessa pienilläkin poikkeamilla on todettu vaikuttavan voimakkaasti työntuottavuuteen ja asumisviihtyvyyteen. (Tuomaala 2013, 2.) Täten nykyaikaisessa suuren lasijulkisivun kohteessa erityisesti tilan simulointi (CFD-simulointi) nousee erittäin suureen merkitykseen, koska tilassa on olosuhteiden kannalta paljon muuttujia, joihin ei hihavakioilla päästä käsiksi, erityisesti tilan olosuhteisiin vaikuttaa eniten kumpaan lasijulkisivuratkaisuun päädytään, tavallista lasia vai sähkölämmitteistä lasia.

5.4 Jäähdytys

Laskennallinen huonelämpötila ei saa ylittää jäähdytysrajan arvoa 27 celsiusastetta kerrostaloissa ja muissa rakennuksissa 25 celsiusastetta enempää kuin 150 astetuntia välillä 1.6-31.8 suunnitteluratkaisun mukaisilla ilmavirroilla. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 2017, 3-4; 14-15). Nämä suunnittelukriteerit määrittelevät jäähdytyksen mitoituksen korkean lasijulkisivun tiloihin.

Lasijulkisivun tiloissa aktiivisen ja passiivisen jäähdytyksen suunnitteluun tulee kiinnittää erityistä huomiota. Passiivisella jäähdytyksellä tarkoitetaan rakennuksen ulkopuolista aurinkosuojausta, ikkunalasin aurinkosuojausta ja muita keinoja millä estetään auringon liiallinen lämpösäteily rakennukseen sisälle. Aktiivisina jäähdytyskeinoina rakennuksen sisällä on mahdollista käyttää esimerkiksi jäähdytettyä ja/tai tehostettua ilmanvaihtoa, puhallinkonvektoreita, ilmalämpöpumppuja, aktiivipalkkeja ja lattiaviilennystä. (Rakennusten energiatehokkuus 2012, 9-10.)

Korkean lasijulkisivun tiloissa yleensä jäähdytys tuotetaan ensisijaisesti ilmanvaihdolla ja mikäli se ei riitä tilaan pyritään asentamaan puhallinkonvektoreita, joilla voidaan jäähdyttää tehokkaasti tarvitsematta pelätä kondenssiongelmaa. Käytettäessä puhallinkonvektoreita korkean lasijulkisivun tilan jäähdytykseen haasteena on konvektorien sijoitus tilassa, jotta niiden tuottama jäähdytysvaikutus oleskeluvyöhykkeelle ja konvektorit olisivat helposti huollettavissa. Säteilijöillä, palkeilla ja lattiaviilennyksellä ongelmana on pieni jäähdytysteho, koska pintalämpötiloja ei voida laskea kovin alas, jotta ei synny kondenssiongelmaa.

Suurissa lasijulkisivun tiloissa, joissa halutaan tuoda auringonvaloa sisätiloihin mahdollisimman paljon ja kuitenkin pitää jäähdytyksen kustannukset kurissa, on sähkökromaattinen lasi erinomainen ratkaisu. Sähkökromaattinen ikkuna muuttaa auringonvalonläpäisyä sisälämpötilan mukaan ja pitää näin jäähdytystarpeen rakennuksen sisätiloissa minimissä. Auringon lämpökuorman ollessa vähäinen ja rakennukseen ei muodostu auringon tuottamana jäähdytyskuormaa on lasin pinta kirkas ja hyvin läpinäkyvä.

5.5 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatiolla (RAU) säädetään LVIS-järjestelmiä ja tarkoitetaan erilaisia rakennuksen sisäisiä automaattisia säätö-, valvonta-, ja ohjaustoimintoja. Rakennusautomaatio huolehtii, että kiinteistön tekniset järjestelmät toimivat halutulla tavalla, sisäilmaolosuhteet ja rakennuksen energiankulutus pysyy halutulla tasolla. (Pietiläinen, Kauppinen, Kovanen, Nykänen, Nyman, Paiho, Peltonen & Pihala 2007, 154). RAU-järjestelmistä kiinteistön ylläpitoon ja huoltoon saadaan automaattisesti hälytykset, jos jokin laite, olosuhteet tai toiminnot eivät vastaa haluttuja arvoja tai ovat epäkunnossa.

Rakennusautomaation vaikutuksesta rakennusten energiatehokkuuteen ei ole olemassa suomalaisia tutkimuksia, vaikka yleisellä tasolla tiedetään että automaatio- ja ohjausjärjestelmillä on suuri vaikutus kiinteistön energiatehokkuuteen ja näillä voidaan vaikuttaa myös suuresti sisäolosuhteiden laatuun, turvallisuuteen ja kysyntäjoustoon. Kiinteistöautomaation osuus on noin 1 – 3 % rakennuksen rakentamiskustannuksista, joihin sisältyy myös suunnittelun kulut. Kiinteistöautomaation laskennallinen elinkaari on noin 15 vuotta, vaikka usein suomalaisissa kiinteistöissä on havaittavissa, että kiinteistöautomaatio uusitaan kokonaisuudessaan vasta kun muutkin talotekniset järjestelmät ovat käyttöikänsä päässä eli noin 20 – 30 vuoden iässä. (RESA Loppuraportti 2019, 12-13.)

Lasijulkisivullisissa tiloissa on auringon aiheuttamaa lämpökuormaa sisätiloihin, sekä huoneilmaa kylmemmän ulkoilman aiheuttamaa lämpövuotoa ikkunalasin läpi pihalle. Näissä molemmissa olosuhteissa on näitä huonetiloja lämmitettävä ja jäähdytettävä järjestelmillä, minkä reagointi ja vasteaika lämmittämiseen tai jäähdyttämiseen on kohtuullisen lyhyt, jolloin järjestelmää voidaan pitää energiatehokkaana ja sillä ei suotta lämmitetä enää, kun aurinko lämmittää tilaa ja tilan lämpötila nousee liiaksi halutusta, tai samoin jäähdytetä, jos ei ole oikeaa tarvetta. Kylmän vuoden ajan aikana on huonetilaa myös energiatehokkuuden vuoksi varottava yllämmittämästä ja kuitenkin lämpötilat pidettävä riittä-

vän korkeina sisäilmaolosuhteiden vuoksi. Rakennusautomaation merkitys älykkäissä ja energiatehokkaissa ratkaisuissa on tärkeässä asemassa. RAU-järjestelmät pystyvät ennakoivasti vähentämään lämmitystä tai jäähdytystä.

Sähkölämmitteisen lasin lähettyvillä kiinteistöautomaatiolla on tärkeä rooli. Tiloissa olevia sähkölämmitteisiä lasielementtejä ei kannata lämmittää käyttäjän ulkopuolella, mikäli niillä halutaan vain toteuttaa mukavuuslämmitystä. Lasien ohjaus toteutetaan rakennusautomaatiolla ja lasien/lasin pintaan asennetaan pintalämpötilamittaus, joka ohjaa lasin lämmitystä oikeaan lämpötilaan, kun rakennusautomaatiosta saadaan aikaohjelmaan ja ulkolämpötilaan asetettujen ehtojen mukaisesti käyntilupa. Mikäli sähkölämmitteiseen lasielementtiin on yhdistetty myös sähkökromaattisuus, on automatiikan ohjaus lasien tummenemiseen ja ennakoivaan lämpökuorman leikkaamiseen myös erittäin oleellinen kiinteistön energian kulutuksen kannalta.

5.6 Käyttöönotto ja seuranta

Rakennuksen valmistumisen jälkeen, kun rakennus on otettu käyttöön, on rakennuksen järjestelmien säätö ja viritys erittäin tärkeässä asemassa. Tällöin voidaan säätää talotekniset järjestelmät toimimaan tilojen käyttötarpeen mukaan. Käytönaikaisella virityksellä ja hienosäädöllä on merkittävä vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen ja käyttömukavuuteen. Nykyaikaisissa toimisto- ja liikerakennuksissa muuntojoustavuus on erittäin usein jo tärkeä suunnittelun lähtökohta. Tilojen käyttötapa ja käyttökuorma muuttuvat, ja talotekniset järjestelmät (LVISA) tulee päivittää aina uutta käyttötarvetta vastaamaan, jotta sisäilmaolosuhteet ja rakennuksen energiatehokkuus pysyy optimaalisena, nämä vaikuttavat erityisesti tilojen viihtyvyyteen ja rakennuksen energiatehokkuuden kautta tuottavuuteen, säästetty energia on suoraa rahaa kiinteistön omistajalle.

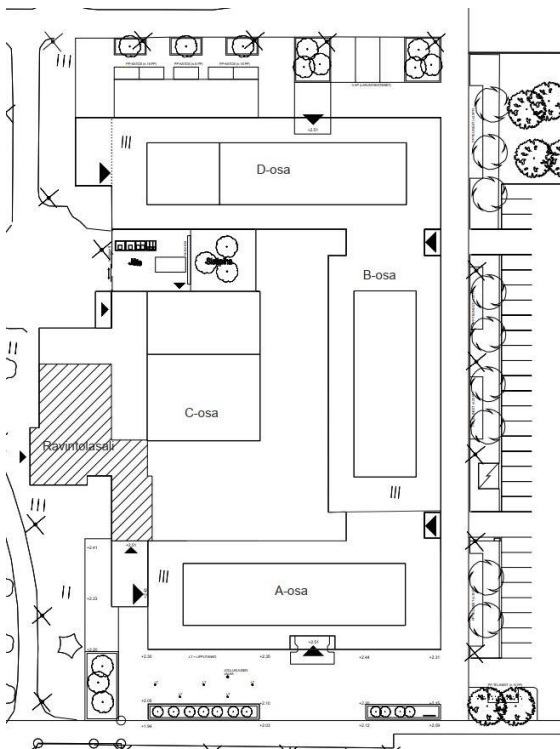
Mikäli rakennuksen käytönaikainen LVISA-järjestelmien ylläpito ja seuranta ovat hyvällä tasolla ja käyttäjien kokemuksia epämuukavuustekijöistä kiinteistössä kuunnellaan ja niihin reagoidaan. Tällöin pystytään olosuhteet ja viihtyvyys pitämään hyvällä tasolla. Käyttäjiltä saatujen viestien perustella tehtävillä säädöillä on myös suuri merkitys rakennuksen energiatehokkuuteen. Usein RAU-järjestelmän trendiseurantaa ja kuntotarkastusta läpikäydessä huomataan, että jokin osa järjestelmästä ei toimi oikein, syy voi olla muuttuneessa käytössä ja muuttuneissa LVIS-järjestelmissä näiden muutosten seurauksena on RAU-järjestelmän päivitys muuttuneiden osioiden kohdalta jäänyt tekemättä tai rikkoonuneissa komponenteissa.

6 TUTKIMUSKOHDE

Tässä kappaleessa käydään läpi Kokkolan kaupungintalon peruskorjaushanke, jonne on tehty koko taloa koskeva energiaremontti ja sisäilmanlaadun parannus. Kappaleessa käydään läpi kaupungintalon eri rakennusosat ja niihin tehdyt talotekniset parannukset sekä

6.1 Kokkolan kaupungintalo

Tutkimuskohteeksi valikoitui työelämäpohjaisesti Kokkolan kaupungintalon C-osan ravintolan lasijulkisivu. Kokkolan kaupungintalo on valmistunut 1980 ja 2002 on kaupungintaloon tehty laajenuksena lisätiloja. Peruskorjaus kaupungintaloon on tehty monessa vaiheessa 2014 alkaen julkisivu ja ikkunalaasi korjauksilla, tämän jälkeen vuonna 2017 valmistui D-siiven peruskorjaus ja B-siiven peruskorjaus valmistui 2018, A-osan peruskorjaus valmistui 2019 ja viimeisenä vaiheena C-osa, joka valmistui tammikuussa 2020. Kaupungintalon bruttoala on nykyisellään noin 11 800 m² ja tilavuus 48 000 m³. Kaupungintalolla on pysyvät työpisteet yli 250 työntekijälle ja lisäksi useita väliaikaisia työpisteitä. (Kokkola, 2020.) Koko kaupungintalon saneerauksen hinnaksi tuli noin 12,5 miljoonaa euroa. (Mustonen, M. 2020).



KUVA 14. Kokkolan kaupungintalo asemakuva, mukailten. Kuvassa ravintolasali on esitettyinä. (Kokkolan kaupunki, tilapalvelut 2019)

Kaupungintalon ravintolassa on ravintolasalin osuudella koko seinän matkalla lasijulkisivua ja julkisivun lähettyvillä on tunnettu vanhastaan vedontunnetta ja saneerauksen yhteydessä havainnoitiin, että lasielementtejä on rikki ja lasielementtien reunalistoja oli irronnut paikoiltaan. Kokemusperäisesti käyttäjiltä tuli havainnointina, että lasijulkisivujen lähettyvillä ei talvipakkasilla istu ketään, ravintolan täyttyi tällöin keskitiloista reunojen suuntaan. Kaupungintalon ravintolasalissa on istumapaikkoja yhteensä 140 ja ravintolan pinta-ala on 240 m². Iasiseinää on suurin osa ravintolasalin seinäpinnasta. Ravintola palvelee keskimäärin 200-300 ruokailevaa ihmistä päivittäin, sekä ravintolassa vierailevia kahvittelijoita ja kaupungintalon erilaisia kokouksia ja tapahtumia kiinteistössä. (Niemi 2020.)

6.2 Saneerauksen tavoitteet vaatimukset sekä käytetyt järjestelmät

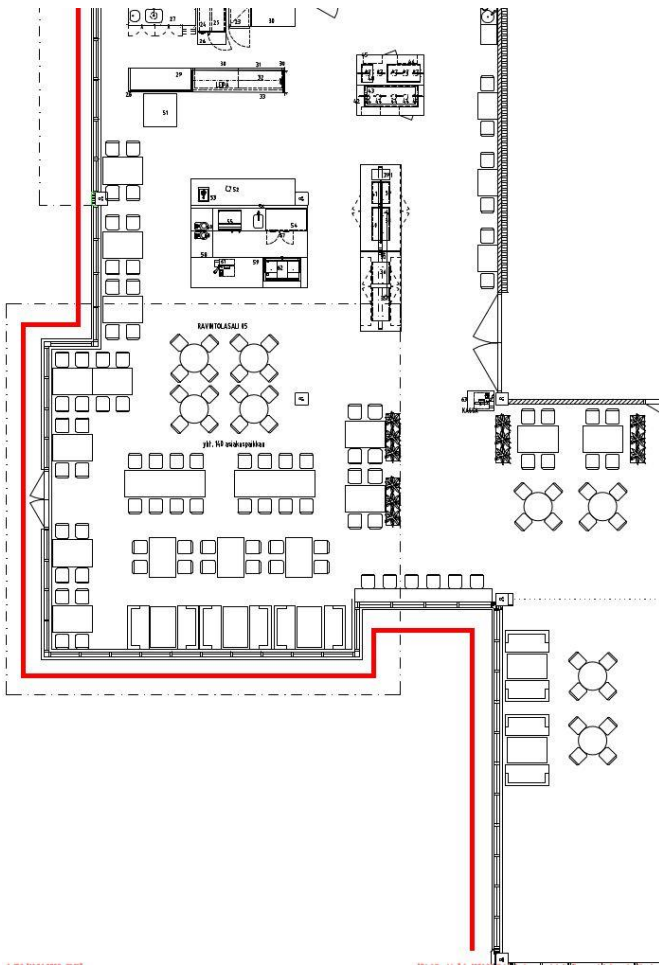
Taloteknisten järjestelmien osalta haastavuuden aiheutti vaatimukset sisäilmastoluokkien täyttymisestä ja tämän takia todettiin, että ainoa mahdollinen tapa täyttää vaatimukset ravintolasalissa on lasijulkisivujen vaihtaminen sähkölämmitteiseen lasijulkisivuun, koska ravintolasalin ikkunaseinustoille ei haluttu puhallinkovektoreita tai suuria radiaattoreita arkkitehtonisesta näkökulmasta johtuen. Ravintolasalin lämmitys oli vanhastaan toteutettu lattialämmityksellä, jonka käyttäjät kokivat riittämättömänä lasijulkisivun lähettyvillä. Kaupungintalon C-osan lasijulkisivujen saneerauksen yhteydessä ei tiloihin tehty CFD-simulointia, koska kokemusperäisesti tiedettiin, että ainoa vaihtoehto saattaa sisäilmaolosuhteet kuntoon haastavassa ja monimuotoisessa lasijulkisivussa on laittaa sähkölämmitteinen julkisivulasi, jonka käytöllä ravintolasalin lasijulkisivun ilme ei muuttunut entisestä eikä ravintolan käyttö pinta-alan pienentynyt yhtään, toisin kuin pattereilla tai radiaattoreilla olisi käynyt.

Kaupungintalon peruskorjauksessa kiinnitettiin erityistä huomiota taloteknisten järjestelmien energia- tehokkuuteen ja sisäilmanlaatuun. Koko rakennuksen saneerauksen aikana käyttäjä on ollut kiinteistössä paikalla ja kaikki saneeraustyöt on tehty P1-puhtausluokassa. Saneerauksen tekeminen vaiheittain, kun käyttäjä on paikalla kiinteistössä, aiheuttaa erityisiä haasteita pölyn, melun ja muiden haittojen hallintaan rakennustyömaalla. Tilojen käyttäjät joutuivat siirtymään saneerauksen alta väistötiloihin ja kiinteistössä jouduttiin sulkemaan väliaikaisesti kulkureittejä ja tiloja.

Saneerauksessa kiinteistöön rakenteita lisäeristettiin ja kaikki talotekniset järjestelmät uusittiin. Alkuperäisesti kiinteistön oli toteutettu ilmalämmityksellä ja nyt saneerauksessa muutettiin lämmönjakotapa radiaattorilämmitykselle, jossa toimistotilojen osalta haluttiin toteuttaa modulaarisena eli helposti

muunnettavana ratkaisuna. Kiinteistön ilmanvaihdot toteutettiin toimistotilojen osalta tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla ja oheistilojen, kuten käytävien, WC-tilojen jne. ilmanvaihto vakioilmavirtaisella järjestelmällä. Ilmanvaihtokoneet päivitettiin korkean nykyaikaisiksi koneiksi, joissa on korkeat hyötysuhteet ja hyvät lämmöntalteenotot. IV-konehuoneiden käytettävissä olevan kerroskorkeuden takia A-, C- ja D-osilla isot IV-koneet on glykolilämmöntalteenotolla, joissa saatiin konelohkot muokattua kerroskorkeuden asettamien vaatimusten mukaisiksi. B-osalla käytettiin ristivirta ja pyörivää lämmöntalteenottoa. Pienet porraskäytäviä ja muita oheistiloja palvelevat ilmanvaihtokoneet on varustettu, joko pyörivällä tai ristivirta LTO:lla (lämmöntalteenotto). Saneerauksessa uusittiin myös vesi- ja viemärijärjestelmät sekä lisättiin siivoustiloja jokaiseen kerrokseen. Rakennusautomaatiojärjestelmät ja sähköt uusittiin samalla myös. Saneerauksessa valaistus muutettiin energiatehokkaaseen LED-valaistukseen (Light-Emitting Diode) ja valaistusta ohjataan DALI -järjestelmällä (Digital Addressable Lighting Interface) läsnäolon perusteella toimistotiloissa. Rakennuksen jäähdytys on toteutettu neuvottelu ja kokoustiloissa tilakohtaisella jäähdytyksellä ja kaikkialla muutoin tuloilma on jäähdytettyä. Osa jäähdytyskoneista oli uusittu juuri ennen remonttia, jolloin kyseiset koneet huollettiin saneerauksessa mutta ei uusittu. Saneerauksessa uusitut jäähdytyskoneet valittiin energiatehokkaina ja hiljaisina malleina sekä varustettiin vapaajäähdytyksellä.

6.3 Saneerauksessa uusittu sähkölämmitteinen lasijulkisivu



KUVA 15. Kokkolan kaupungintalon ravintolasali, pohjakuva. (Kokkolan kaupunki, tilapalvelut 2019; Compass Group FS Finland Oy, 2020)

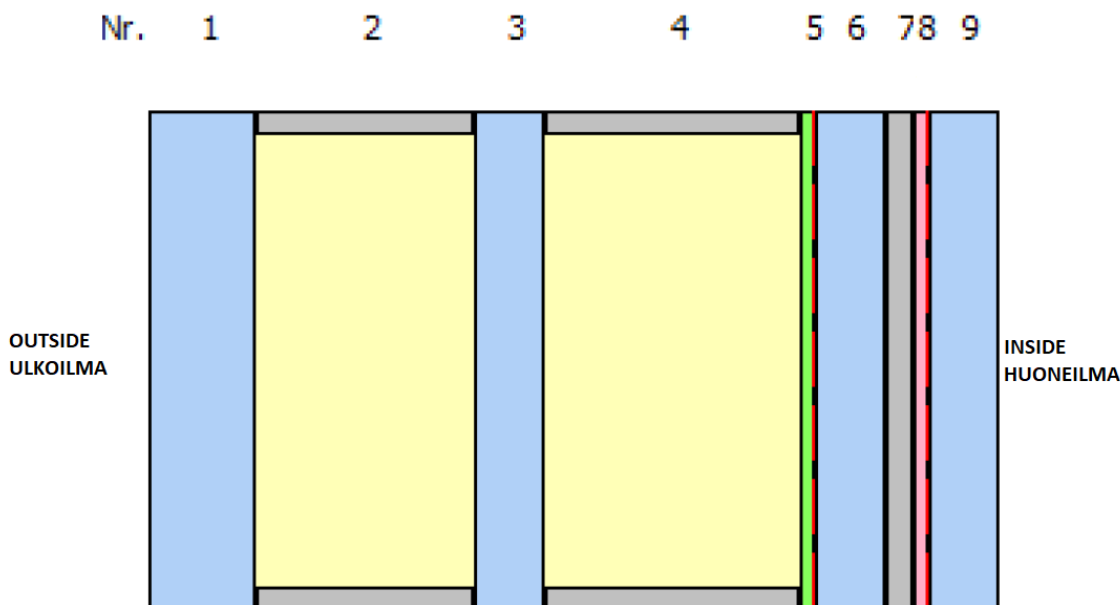
Kuvassa 15 esitetty punaisella viivalla lasiseinän osuus ravintolasalista, josta on hyvin havaittavissa, että julkisivulasia on paljon ravintolasalissa. Sähkölämmitteistä lasia on siis käytetty pelkästään ravintolasalin istumapaikkojen vaikutusalueilla ja aulatilán mahdollisten ravintolalaajennuksen istumapaikkojen alueella. Lasijulkisivu jatkuu keittiön ohitse ja siellä lasielementit uusittiin myös mutta kyseisiin elementteihin ei laitettu sähkölämmitystä. Ravintolasalin lasijulkisivu uusittiin kokonaisuudessaan ja alarivin lasielementteihin asennettiin sähkölämmitys. Sähkölämmitteistä lasijulkisivua ravintolasalin osuudelle on asennettu yhteensä 74,7 m² ja lasielementtejä 42 kpl.

Julkisivun asentaneen urakoitsijan mukaan sähkölämmitteinen lasijulkisivun asennus ei poikkea merkittävästi tavallisen julkisivulasituksen asennuksesta. Kaupungintalon vanha Purson PL50L-lasitusjärjestelmä jäi nykyiselleen, vain lasielementit vaihdettiin ja tiivistykset korjattiin julkisivujärjestelmään.

Sähkölämmitteistä julkisivulasia asennettaessa tulee erityistä huomiota kiinnittää sähköjohtojen reitteihin. Sähkökaapelit lasielementille vietään yleensä lasikehyksen sisällä, katseelta piilossa, joko lattianrajaan tai katonrajaan. Erityistä huomiota tulee asennuksessa kiinnittää sähkökaapelien läpivientien tekoon ja tiivistämiseen, jotta karmirakenteen lämmöneristävyys säilyy suunnitellulla tasolla. (Liedes 2020).

Käytetty sähkölämmiteinen lasijulkisivu oli Finnglass Oy:n toimittamaa ja rakenteeltaan seuraava:

**Kokkolan kaupungintalon ravintolan
sähkölämmitteisen julkisivulasituksen
rakenne**



KUVA 16. Ravintolasalin sähkölämmitteisen lasin rakenne. (Finnglass Oy, 2020)

Lasin rakenne (Finnglass Heated 3K):

1. Uloin 6 mm karkaistu harmaa
2. 12 mm SWS-U vaalean harmaa, AR, Pu kittaus
3. Keskellä 4 mm float kirkas
4. 14 mm SWS-U vaalean harmaa, AR, Pu kittaus
- 5-9. Sisin 4 mm karkaistu iplus A 1.0 T + 1,52 mm PVB + 4 mm karkaistu sähkölämmiteinen lasi



KUVA 17. Kokkolan kaupungintalon ravintolasali ulkoa.



KUVA 18. Kokkolan kaupungintalon ravintolasali ulkoa.

7 TEEMAHAASTATTELUT

Tässä luvussa koko tutkimusprosessin toteutus kuvataan vaihe vaiheelta. Tutkimusongelman ratkaisuun valitut tutkimusmenetelmät esitellään ja niiden valinnat käydään läpi. Tutkimushaastattelujen toteutusvaihe selostetaan perusteellisesti kertomalla haastattelukysymysten ja haastateltavien valinnasta ja siitä, kuinka haastatteluprosessit etenivät. Tutkimushaastattelujen luotettavuutta arvioidaan kriittisesti.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, *miten sähkölämmitteinen lasijulkisivu vaikuttaa sisäilmaolosuhteisiin ja LVI-suunnitteluun*. Tämän tutkimusongelman ratkaisemiseksi muodostettiin kaksi apukysymystä:

1. Miten sähkölämmitteisen lasijulkisivun lähetyillä sisäilmaolosuhteet eroavat normaalista lasijulkisivusta?
2. Miten lvi-suunnittelijan tulee suunnitella ja mitoittaa talotekniset järjestelmät suurten lasijulkisivujen lähetyillä, jotta sisäilmaolosuhteet pysyvät vaaditulla sisäilmaluokan tasolla kylmänä vuodenaikana?

7.1 Tutkimuksen toteutus

Teoreettinen viitekehys määrittelee pitkälle sen, miten kvalitatiivisen tutkimuksen aineistoa kannattaa kerätä ja minkälaista menetelmää analyysissään käyttää. (Alasuutari 1994, 74). Teemahaastattelua kutsutaan puolistrukturoiduksi haastattelumenetelmäksi, jossa dialogi kohdennetaan ennalta laadittujen kysymysten ja aihepiirin ympärille. (Hirsjärvi & Hurme 2017, 47-48). Tutkimus toteutettiin teemahaastatteluperiaatteella käyttäen laadullisen tutkimuksen menetelmää. Teemahaastattelu on menetelmänä hyvin vapaa ja rento, joka sallii haastateltavien henkilöiden luontevan reagoinnin haastatteluun ja vapaamuotoisessa teemahaastattelussa saadaan syvällisissä keskusteluissa esille asioita, joita ei muilla menetelmillä saada. (Hirsjärvi & Hurme 1995, 8). Teemahaastatteluissa esille nousseista yhdistävistä asiateemoista voidaan induktiivisella päättelyllä muodostaa kokonaiskuvia ja teorioita. Kvalitatiivista tutkimusta eli laadullista tutkimusta käytetään silloin kun tutkittavasta ilmiöstä tiedetään vähän ja siitä halutaan muodostaa syvälinen kokonaiskuva. Syvälinen kokonaiskuvan luonti lisää ymmärrystä ilmiöön. Teemahaastattelujen perusteella pystytään aineistosta induktiivisella päättelyllä muodostamaan yleistyksiä. (Kananen 2010, 40-41.)

Teemahaastattelun sisällön suunnitteluun kannattaa käyttää aikaa, jolloin teemahaastattelussa osataan keskustella ja kysellä oikeista asioista. Hyvin suunnitellussa haastattelussa tulee jokaisen haastattelun yhteydessä selkeästi samankaltaisuutta ja niistä voidaan muodostaa yhdistäviä tekijöitä. Teemahaastattelussa pyritään keräämään aineistoa, jonka pohjalta voidaan luotettavasti tehdä tutkittavasta ilmiöstä päätelmiä. (Hirsjärvi & Hurme 1995, 40.) Teemahaastattelussa henkilöt ovat suorassa kielellisessä vuorovaikutuksessa keskenään ja tämä luo mahdollisuuden suunnata tiedonhankintaa haastattelun aikana. (Hirsjärvi & Hurme 2017, 34). Teemahaastattelun luotettavuutta kannattaa arvioida keskeisillä tieteellisillä menetelmillä, joista avainasemassa on luotettavuus. Luotettavuutta punnittaessa on mietittävä mitkä seikat eri vaiheissa vaikuttavat luotettavuuteen. (Hirsjärvi & Hurme 1995, 128.)

Teemahaastattelut toteutetaan valmiiksi laadittujen kysymysrunkojen mukaan yleensä suullisesti. Kuitenkin haastattelut voidaan tehdä, vaikka internetin välityksellä, jolloin haastattelija lähettää kysymyksen kirjallisena ja vastaaja vastaa kirjallisena. Teemahaastattelut voidaan myös toteuttaa puhelinhaastatteluna tai videohaastatteluna. Videohaastattelussa molemmat henkilöt näkevät toisen kehonkielen reagoitua ja sanatonta viestintää keskustelun lomassa. Videohaastattelu on lähimpänä kasvotusten haastattelua ja toisen kehonkielen lukeminen ja äänenpainojen ymmärtäminen on lähimpänä kasvotusten haastattelua ja väärinymmärtämisen riskit vähenevät. (Thomas 2003, 63.)

7.2 Tiedonkeräys, otanta ja haastattelut

Kvalitatiivisessa tutkimuksessa otannalla tarkoitetaan tiedonkeräyksen rajaamista tiettyyn joukkoon tutkittavia. Metodina kannattaa käyttää haastatteluja, jotta saadaan selville mitä he ajattelevat tai miten he ovat kokeneet asioita. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 1997, 185). Teemahaastattelujen henkilöotannaksi valikoitui henkilöitä, joilla oli kokemusta Kokkolan kaupungintalon vanhasta ravintolasalista ja sen sisäilmaolosuhteista sekä kokemusta remontissa tapahtuneen muutoksen jälkeen, eli henkilöitä, jotka pystyivät vertailemaan tilannetta ennen remonttia ja jälkeen remontin. Otantaan valittiin tarkoituksella mukaan tilapalveluiden henkilökunnasta viisi henkilöä ja lisäksi tutkimuksen vertailua varten otettiin mukaan henkilö henkilöä ammattiryhmästä, joilla ei ole työnsä puolesta minkäänlaista ymmärrystä rakennustekniikasta tai talotekniikasta, mutta joka kuitenkin työskentelee lasijulkisivun välittömässä läheisyydessä päivittäin. Tilapalveluiden henkilökunnalla on myös laaja ymmärrys sisäilmaolosuhteista ja niihin vaikuttavista asioista.

Tässä opinnäytetyössäni puolet haastatteluista on tehty puhelimitse ja puolet kasvotusten. Haastattelujen luonne ja tilanne pystyttiin pitämään hyvin rentona ja keskustelunomaisena. Ennen haastattelun aloittamista käytiin haastateltavan kanssa rentona keskusteluna siitä, miten haastattelu etenee ja miten tietoja tullaan käsittelemään tutkimuksessani, sekä erityisesti korostin että haastateltava saa vastata siten mikä hänestä tuntuu luontevalta ja miten hän asiasta ajattelee. Haastatteluissa jokaisen haastateltavan osalla samojen asioiden toistuvuus oli huomattavan yhtenäistä riippumatta haastateltavan taustasta. Haastattelut asetettiin rinnakkain vastausten analysointia varten ja vastauksista etsittiin yhtenäisiä teemoja ja myös asioita mitkä eroavat vastausten välillä. Eroavaisuuksia punnittiin ja niiden merkitystä ja vaikutusta vastauksiin analysoitiin.

7.3 Haastattelujen purku

Koska tutkimuksessa tuotetaan tietoa mielipiteistä ja henkilökohtaisista kokemuksista valittiin haastattelumuodoksi teemahaastattelu. Tämän avulla voidaan tarkastella julkisivulasin vaihtamisen vaikutuksia sisäilmaolosuhteisiin ravintolasalissa. Teemahaastattelun vapaamuotoisessa keskustelussa, rennossa ilmapiirissä haastateltavien kokemukset ja tunteet on pyrittävä kaivamaan mahdollisimman totuudenmukaisesti esille. Haastattelussa on hyvä yrittää samalla myös kartoittaa henkilön taustavaikuttimia vastauksiin. Teemahaastattelun edetessä saadaan haastateltavan puheesta myös syvällisempää tietoa ja haastateltavien vastauksiin voidaan tehdä tarkentavia kysymyksiä. Näillä tarkentavilla kysymyksillä varmistutaan, että haastateltava ja haastattelija ymmärtävät molempien sanomiset samalla tavalla. Tällöin myös saadaan tutkimuksen kannalta oikeanlaisista tietoa.

Teemahaastatteluihin osallistui seitsemän vastaajaa, joista 2 naista ja 5 miestä. Teemahaastatteluissa oli 5 kysymystä, joista keskusteltiin laajalla otannalla, ja samalla kirjoitettiin vastaukset ylös, ja haastattelun lopuksi kerrattiin kysymykset ja niiden vastaukset yhdessä, jotta varmistuttiin asian ylös kirjauksen oikeellisuudesta sisällöltään haastateltavan sanomaksi. Haastateltavien ikäjakauma oli välillä 37- 67 vuotta. Teemahaastatteluille oli varattu aikaa noin 30 minuuttia, vaikka pääsääntöisesti niihin kului noin 20 minuuttia. Vastaajien profiilit on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Vastaajien profiilit

Taulukko 2. Vastaajien profiilit				
Sukupuoli	ikä	asema	toimialue	Kokemus vanhasta ravintolasta vuosina
mies	67	virkamies	kaupunkitoimitilat	yli 5 vuotta
mies	45	virkamies	kaupunkitoimitilat	yli 5 vuotta
mies	53	virkamies	kaupunkitoimitilat	3-5 vuotta
mies	57	virkamies	kaupunkitoimitilat	yli 5 vuotta
nainen	54	virkamies	kaupunkitoimitilat	yli 5 vuotta
nainen	44	työntekijä	ravintolapalvelut	yli 5 vuotta
mies	43	työntekijä	kaupunkitoimitilat	yli 5 vuotta

7.3.1 Haastattelujen vastaukset

Haastattelujen tulokset ovat seuraavat kunkin teeman ja kysymyksen kohdalla

1. Miten koit vanhan ravintolan lasijulkisivun lähettyvillä sisäilmaolosuhteet? (lähettyvillä olevalla vyöhykkeellä tarkoitetaan alle 4 metriä lasijulkisivusta)

Kaikissa vastauksissa tuli yhtenevästi ja selkeästi esille talvella koettu kylmän hohka ja vedontunne. Vanhassa ravintolassa ei haluttu kylmän vuoden ajan aikana istua lasijulkisivun lähettyvillä, mikäli ravintolassa oli vapaata muualla. Kesällä julkisivupaikkojen hyvästä näköalasta nautittiin ruokailun yhteydessä ja lämpimänä vuodenaikana paikoilla mukava istua.

Kaksi vastaajaa antoi seuraavan vastauksen tähän kysymykseen:

”Kokemukseni mukaan lasijulkisivun lähettyvillä olevat sisäilmaolosuhteet olivat kaksijakoiset. Talvella ikkunan lähellä oli hyvin kylmä ja kolea olla eli epämiellyttävää ja kesäisin ikkunan lähettyvillä oli mukava nauttia maisemista ruokailun yhteydessä” (mies, 45)

” Ennen remonttia kylmänä vuodenaikana oli kylmät ikkunat, joista tuli kylmän hohkaa ja vedontunnetta läheisiin ruokapöytiin. Kukaan ei halunnut istua ravintolasalissa ikkunoiden lähettyvillä. Osassa ravintolasalia ikkunan aluskouruissa (lattiaan upotettuna) patterit ja niiden tuottama lämpö ei millään

riittänyt mukaviin olosuhteisiin. *Kaupungin oma henkilökunta istui ravintolasalin keskialueilla pääsääntöisesti.*” (mies, 43)

2. Missä ihmiset yleensä istuivat talvella ravintolassa, piirrä karttaan alue. Entä missä eivät istuneet?

Tässä kysymyksessä haastateltavia pyydettiin piirtämään alue karttaan missä heidän kokemusten mukaan ihmiset istuivat talvella ja alue missä eivät istuneet. Karttapohjaan on kuvattu ravintolasalin kalusteiden sijoittelu samalla tavalla, miten vanhassa ravintolassa ne olivat. Tässä kysymyksessä vastaukset tulivat siis piirroksen ja haastattelukysymyksen muodossa. Henkilöiden oli helpompi merkitä valmiiseen pohjaan missä istutaan ja missä ei ilman että tarvitsee ulkomuistista muistella. Ravintolan pohjakuva palautti haastateltaville hyvin mieleen, miten ja missä pöydissä istuttiin yleensä. Kaikissa vastauksissa yhtenevänä asiana tuli esille se, että kaupungin oma henkilökunta, joka ruokaili ravintolassa päivittäin ympäri vuoden, hakeutui erityisesti kylmänä vuodenaikana syömään aina ravintolan keskiosiin, jossa vedontunnetta ei esiintynyt. Kuvassa 18 on esitetty vastauksista yhdistettynä alueet, joilla ei istuttu eli koettiin epämukavuutta. Mitä tummempi väri, sitä enemmän epämukavuutta tunnettiin alueella.

Tähän kysymykseen tuli hyvin kuvaavia vastauksia:

”Ravintolassa istuttiin aina keskiosan pitkissä pöydissä. Ikkunanviereisissä, pöydissä ei haluttu istua talvella, kylmän hohkan takia. Ikkunan viereiset pöydät täyttyivät, kun muualla ei ollut tilaa.” (nainen, 54)

”Hyvin elävästi muistan, että vanhassa ravintolassa ihmiset istuivat keskialueen pitkillä pöytäriveillä keskellä tilaa ja lämpiön lähetyvillä, kaukana lasijulkisivusta. Reunapöydille istuttiin lähinnä vierailijoiden toimesta, vaihtuvuus reunapöydissä suurta. Talon oma väki hakeutui keskialueille.” (mies, 45)

3. Oliko vanhan lasijulkisivun lähetyvillä vetoa/ kylmän hohkaa? jos oli niin missä oli pahimmat/vaikeimmat paikat?

Kaikissa vastauksissa tuli selkeästi esille se, että haastateltavat olivat omakohtaisesti kokeneet epäviihtyisyystekijöitä eli vedontunnetta ja kylmän hohkaa lasijulkisivun välittömässä läheisyydessä. Näissä tuli erityisesti esille se, että nurkkapaikat olivat erityisen epämiellyttäviä.

Tähän kysymykseen tuli kahdelta vastaajalta seuraavat vastaukset:

”Nurkka-alueilla ja hätäpoistumistien lähetyvillä. Näillä alueilla ei koskaan istunut ketään ihmisiä.”
(mies, 67)

”Kokemukseni mukaan Shuntin puolella (pohjakuvasta katsottuna vasen julkisivu) vetoisemmat ja kylmimmät paikat. Talvella siivouksen yhteydessä laitoin joskus takin päälle, jotta ei tule kylmä lasin lähetyvillä.” (nainen, 44)

4. Miten onko ravintolan istumapaikkojen käytössä tapahtunut muutosta remontin jälkeen talviolosuhteissa, jos on niin minkälaista?

Tässä kysymyksessä haastateltavat pääsivät vertaamaan kysymyksen 2. pohjakuvaa uuteen pohjakuvaan, jolloin eroavaisuuksien hahmottaminen on helpompaa. Vastauksissa tuli selkeästi esille ravintolan muuttunut istumajärjestys ja huomattavasti muuttunut istumakäyttäytyminen. Aikaisemmat epämiellyttävät ikkunapaikat ovat remontin jälkeen muuttuneet suosikkipaikoiksi. Eli tietyllä tavalla lasijulkisivun lähetyvillä olevan sisäilmaolosuhteen muutos on ollut heikosta/välttävästä erinomaiseen ja viihtyisään.

Tähän kysymykseen tuli vastauksia moninaisesti:

”Loossit (4 hengen pehmustetut sohvamaiset ikkunapaikat) ovat erittäin suosittuja lähes aina täynnä nykyään. Etelään päin lasijulkisivussa kiinni olevat korkeat pöydät ovat erittäin suosittuja myös. Reunapaikat ovat erityisesti pienryhmien ja yksittäishenkilöiden suosimia, kokonaisuudessaan ikkunapaikat ovat ravintolan suosituimpia paikkoja nykyään.” (mies, 57)

”Ihan täysin eri tavalla istumapaikat käytössä. Ravintolassa istutaan kahdessa, jopa kolmessa eri tassa ravintolassa. Tämä erikorkuisten pöytien lisäys remontissa, on parantanut kokemusta nauttia ruuasta ravintolassa. Sosiaalisuus ja rohkeus kasvaa miellyttävän ruokailukokemuksen aikana, porukka hakeutuu erilaisiin pöytiin riippuen siitä, haluaako syödä rauhassa yksin vai yhdessä ja jos syödään yhdessä niin miten isolla porukalla.... Ravintolassa avoin hyvä fiilis, joka on parantunut merkittävästi remontissa.” (mies, 43)

”Ruokailuryhmät muuttuneet täysin remontissa. Pystyruokailuryhmät ovat olleet erityisen suosittuja. Pystybaaripaikka on isommalla ryhmällä tosi suosittu ja erityisesti loosit ovat pienemmällä porukalla suosittuja, ruokailun yhteydessä on mukava katsella lasin läpi pihalle ja tuntea lasista huokuva miellyttävä lämpökokemus. Nykyisessä ravintolassa korostuu rauhallisuus, jota parantavat akustiset kalusteet, loosit, akustokatto ja akustoidut valaisimet ovat yhdessä parantamassa viihtyisyyttä. (mies, 53)

5. Mitä mieltä olet ravintolatilassa uudesta sähkölämmitteisestä julkisivulasista ja miten olet kokenut sen vaikutukset sisäilmaolosuhteisiin?

Tähän kysymykseen vastaukset olivat erilaisia riippuen vastaajan omasta näkökulmasta lähestyä asioita, mutta kaikki olivat silti sitä mieltä, että tässä hankkeessa sähkölämmitteisen lasin vaikutuksesta sisäilmaolosuhteet olivat merkittävästi parantuneet entiseen verrattuna. Vastauksissa koettiin, että ravintolan neliöt saatiin tehokkaammin hyödynnettyä, ravintolan istumapaikkojen käyttö muuttui päinvas- taiseksi entiseen nähden eli heikosta erinomaisiin. Sähkölämmitteinen lasi koettiin helppohoitoiseksi, luotettavaksi ja teknisesti toimintavarmaksi tuotteeksi.

”Sähkölämmitteinen julkisivulasi on hyvä ja lasista saadaan katkaistua kylmän säteily ja sisäilmaolo- suhteiden kannalta paljon parempi mitä normaali lasijulkisivu. ” (mies, 53)

”Tämän kokemuksen mukaan sähkölämmitteinen lasi on erinomaisen hyvä ratkaisu laajoissa lasipin- noissa. Laajat lasipinnat tuovat viileyttä sisälle, joita ei voida oikein kompensoida millään muulla lämmitysratkaisulla. Teknisesti erittäin yksinkertainen ja vaivaton järjestelmä. Erityisen hyvä suurten ikkunapintojen lähettyvillä. ” (mies, 43)

”Spekulaatio tilan riittävydestä helpottaa, koska tilaa voidaan hyvin kokonaisuudessaan hyödyntää, ruokailuryhmät voidaan viedä lasijulkisivuun välittömään läheisyyteen. Ei tule lasituksen eteen/lähet- tyville patteripenkkejä, ei tarvetta erillisille pattereille ikkunan lähettyvillä. Ruokalamaisesta ratkai- susta ravintolamaiseen ratkaisuun tekee miellyttävyyttä lisää. (mies, 45)

”Kokemus sähkölämmitteisestä lasista ovat positiiviset mutta se on vielä vähäinen viime talven perus- teella, muutaman seuraavan vuoden aikana nähdään jatkuvatko positiiviset kokemukset. ” (mies, 57)

7.3.2 Teemahaastattelujen vastausten yhteenveto

Tässä taulukossa käydään vielä läpi vastaukset ja niiden hajonnat yhteenvetona

TAULUKKO 3. Vastausten yhteenveto

Taulukko 3. Vastausten yhteenveto			
KYSYMYKS	PÄÄVASTAUS	HAJONTA	KRITISOINTI
1. Miten koit vanhan ravintolan lasijulkisivun lähettyvillä sisäilmaolosuhteet?	Heikoksi, vanhan lasijulkisivun lähettyvillä ei juurikaan istuttu	kaikki vastaajat /ei hajontaa	
2. Missä ihmiset yleensä istuivat talvella ravintolassa, piirrä karttaan alue. Entä missä eivät istuneet?	Kaikissa vastauksissa yhdistävänä, että istutut paikat kaukana lasijulkisivusta, lasijulkisivun lähettyvillä paikat, joissa ei istuttu	kaikki vastaajat /ei merkittävää hajontaa	
3. Oliko vanhan lasijulkisivun lähettyvillä vetoa/ kylmän hohkaa? jos oli niin missä oli pahimmat/vaikeimmat paikat?	Kaikilla vastaajilla kokemuksia lasijulkisivun lähettyvillä ilmeneestä vedontunteesta ja kylmän hohkausta. Erityisesti nurkkapaikkojen läheisyys epämiellyttävä	kaikki vastaajat /ei hajontaa	
4. Miten onko ravintolan istumapaikkojen käytössä tapahtunut muutosta remontin jälkeen talviolosuhteissa, jos on niin minkälaisia?	Istumajärjestys ja kalustus on täysin uusi ravintolassa. Aikaisemmat vältetyt istuma-alueet ovat nykyään suosikkeja.	kaikki vastaajat /ei hajontaa	
5. Mitä mieltä olet ravintolatilassa uudesta sähkölämmitteisestä julkisivulasista ja miten olet kokenut sen vaikutukset sisäilmaolosuhteisiin?	Kokemuksien mukaan erittäin tyytyväisiä, lasista tulee miellyttävä lämpö ja aikaisemmat epämiellyttävät tekijät ovat poissa.	6 vastaajaa	Vähäinen kokemus lasista. Tulevat vuodet näyttävät jatkuuko positiivinen toiminta

7.4 Teemahaastatteluiden nostot

Teemahaastatteluissa kävi erityisesti ilmi se, että ennen saneerausta vanhan lasijulkisivun aikana ikkunan lähellä olevissa pöydissä ei talvella istuttu juurikaan. Ikkunan lähetyvillä olevat pöydät täyttyivät ravintolassa, kun muualla ei ollut enää tilaa istua. Teemahaastatteluissa nousi erityisesti esille myös se, että vanhalla lasijulkisivulla erityisesti hätäpoistumistie ja lasiseinien nurkkapaikat ovat talvella kylmiä. Oven lähetyvillä osa haastateltavista oli havainnut vedontunnetta jaloissa ja kylmän hohkaa. Nurkkapaikoissa erityisen voimakasta ja muualla lasijulkisivun lähetyvillä epämiellyttävää kylmän hohkaa ruokailun aikana. Haastatteluissa nousi myös selvästi esille se, että Kokkolan kaupungin oma henkilökunta, joka ruokailee säännöllisesti ravintolassa ympärivuoden, istui aina ravintola salin keskosissa suurissa pöydissä. Ikkunapöytien käyttö tapahtui talviolosuhteissa lähinnä kaupungintalolla vieraillevien henkilöiden toimesta, joilla ei ehkä ollut kokemusta tai tietämystä lasin lähetyvillä olevista epäviihtyvyystekijöistä. Nyt lyhyen talven aikana ennen kuin korona sulki ravintolan haastatteluissa, nousi esille, että ravintolan käyttö on jakaantunut huomattavasti tasaisemmaksi, mitä aikaisemmin on ollut. Lyhyet kokemukset ravintolasalin viihtyisyydestä ovat nousseet huomattavasti paremmiksi ja ihmiset ovat kokeneet ravintolan viihtyisäksi ja rauhalliseksi, jossa ruokailusta ja seurustelusta voidaan nauttia.

8 SISÄILMAOLOSUHTEIDEN MUUTOS REMONTISSA

Tässä kappaleessa käsittelee ravintolasalin sisäilmaolosuhteiden muutosta ennen ja jälkeen remontin. Tässä kappaleessa esitellään miten ravintolasalissa istumapaikat ovat täyttyneet ennen remonttia ja ravintolasalin viihtyisyys/epäviihtyisyys alueet). Kappaleessa esitellään myös remontin jälkeen tullut muutos ravintolan käyttöön ja viihtyisyysalueisiin.

8.1 Ravintolasalin sisäilmaolosuhteiden muutos

Ravintolasalin sisäilmaolosuhteet ovat nousseet selvästi remontin jälkeen laadukkaimmaksi ja nyt remontin jälkeen ikkunapaikat talvella pääsivätkin epäsuosiosta suosioon ja jopa suosituimmiksi istumapaikoiksi. Osa haastateltavista kävi syömässä isolla ryhmällä, joten heille valikoitui yhä edelleenkin istumapaikaksi salin keskellä olevat isot ryhmäpöydät. Remontissa ravintolan ilmanvaihtoa muutettiin lähinnä siten että suurin osa salin tuloilmapäätelaitteista uusittiin ja muutettiin suunnattaviksi päätelaitteiksi. Poistoilmanvaihtoa ei muutettu, poistoilma hoidetaan osittain siirtoilmasäleiköllä keittiön kautta ja ravintolasalin katossa olevista poistopisteistä. Lisäksi ravintolasalin lämmitysjärjestelmät tasapainotettiin ja ravintolasalin tuloilmakanavistoon asennettiin jälkilämmityspatteri, jolla tuloilman lämpötila pidetään sisäilmaviihtyvyyden kannalta optimaalisena, tuloilmalla myös jäähdytetään ravintolasalia. Palonen ym. 2001 käyvät julkaisussaan läpi lasijulkisivun lähettyvillä sisäilmaviihtyisyyteen vaikuttavia tekijöitä.

Sisäilmaolosuhteisiin vaikuttavat niin sanotut viihtyisyyskriteerit, joita on kolme tekijää:

- ikkunan aiheuttamasta konvektiovirtauksesta aiheutuvan ilman liikkeen aiheuttama vedontunne
- ikkunan alhaisesta pintalämpötilasta aiheutuva operatiivisen lämpötilan lasku
- epätasainen lämpösäteilyn aiheuttama epäviihtyisyys
- edellisten tekijöiden yhteisvaikutus

(Palonen, ym. 2001, 12.).

Teemahaastatteluissa nousi vahvasti esille, että Palosen ym. 2001 mainitsevat lasijulkisivusta aiheutuvat epämukavuustekijät on saatu sähkölämmitteisellä lasilla poistettua ravintolasalista ja viihtyisyyskriteerit täyttyvät. Näistä voidaan todeta, että erityisesti ravintolamaailmassa, myös muissa tiloissa missä viihtyisyyskriteerit ovat tärkeässä asemassa saadaan hyvät sisäilmaolosuhteet toteutettua sähkölämmitteisellä lasijulkisivulla.

Ravintolasalin sisäilmaolosuhteita voitaisiin vielä nykyisestäänkin parantaa, mikäli sinne asennettaisiin tilakohtainen jäähdytys tai ikkunaelementit olisi valittu sähkökromaattisena versiona, jolloin auringon tuottama lämpökuorma tiloihin saataisiin leikattua kokonaisuudessaan pois. Tilakohtaisella jäähdytyksellä ravintolatilassa on tärkeä huomioida jäähdytyksen vedottomuus, jotta sen käytössä ei synny uusia epäviihtyvyystekijöitä.

8.2 Ravintolasalin käyttö ennen remonttia

Ennen remonttia sisäilmaolosuhteet ravintolasalissa olivat ikkunoiden lähettyvillä talviolosuhteissa kestäättömät vedontunteen ja kylmän hohkan vuoksi. Ravintolasalin käyttö keskittyi salin keski-osissa olleisiin pöytiin. Lämpimällä kelillä myös reunapaikat olivat käytössä.

Kokemuksien mukaan talviolosuhteissa, ravintolasalin kalseus tuntui myös aamuisin aamukahviaikaan, jolloin ravintolasalissa oli vähäisästi ihmisiä ja ennen kahvihetkeä siellä ei ollut asiakkaita. Kyseisissä tilanteissa kylmän hohka ja kalseudentunne ulottui aina keskipöytiin asti, vaikka ravintolasalia lämmitettiin lämmityskaudella siten että sisälämpötila oli halutulla tasolla +21 celsiusastetta radiaattori- ja lattialämmityksellä. Lattialämmitys oli pääosassa ravintolasalia ja radiaattorilämmitys vanhalla osalla tarjoilulinjaston kohdalla. Kokemusten mukaan lattialämmitys oli riittämätön vedon tunteen ja kylmän hohkan torjuntaan.

Ravintolasalin vanhoissa lasielementeissä auringon suojaus oli toteutettu massavärjäyksellä harmaansävyyn, joka on ollut aikaisemmin yleinen tapa tehdä auringonsuojausta. Vanhassa lasijulkisivussa oli eristyslaselementtejä, joista oli eristyskaasu karannut ja lasielementtien välissä oli kosteutta, rikkoon-tuneita karmirakenteita ja vanhimmat lasijulkisivun elementit olivat alkuperäisiä. Valtaosa ravintolasalin lasielementeistä oli 2000-luvun alusta, jolloin ravintolasalia laajennettiin ja laajennusosiolle varustettiin lattialämmityksellä ja vanhalle osiolle jätettiin radiaattorilämmitys.



KUVA 19. Epäviihtyisyysalueet talvella vanhassa ravintolasalissa.

Kuvassa 19 esitetty väritetty alue tuo selkeästi esille teemahaastatteluissa nousseiden epämiellyttävien sisäilmaolosuhteiden alueet ja osiot ravintolasalissa. Värisävy kertoo siitä, miten voimakkaasti epäviihtyisäksi olosuhteet kyseisellä alueella on koettu. Mitä tummempi alue sitä epämiellyttävämpi alueella on ollut istua. Pöytäryhmät ikkunoiden lähetyvillä ovat olleet talviolosuhteissa käytössä lähinnä kaupungintalolla vierailevien ihmisten toimesta. Kaupungin oma henkilökunta on niitä käyttänyt silloin kun muualla ei ole tilaa.

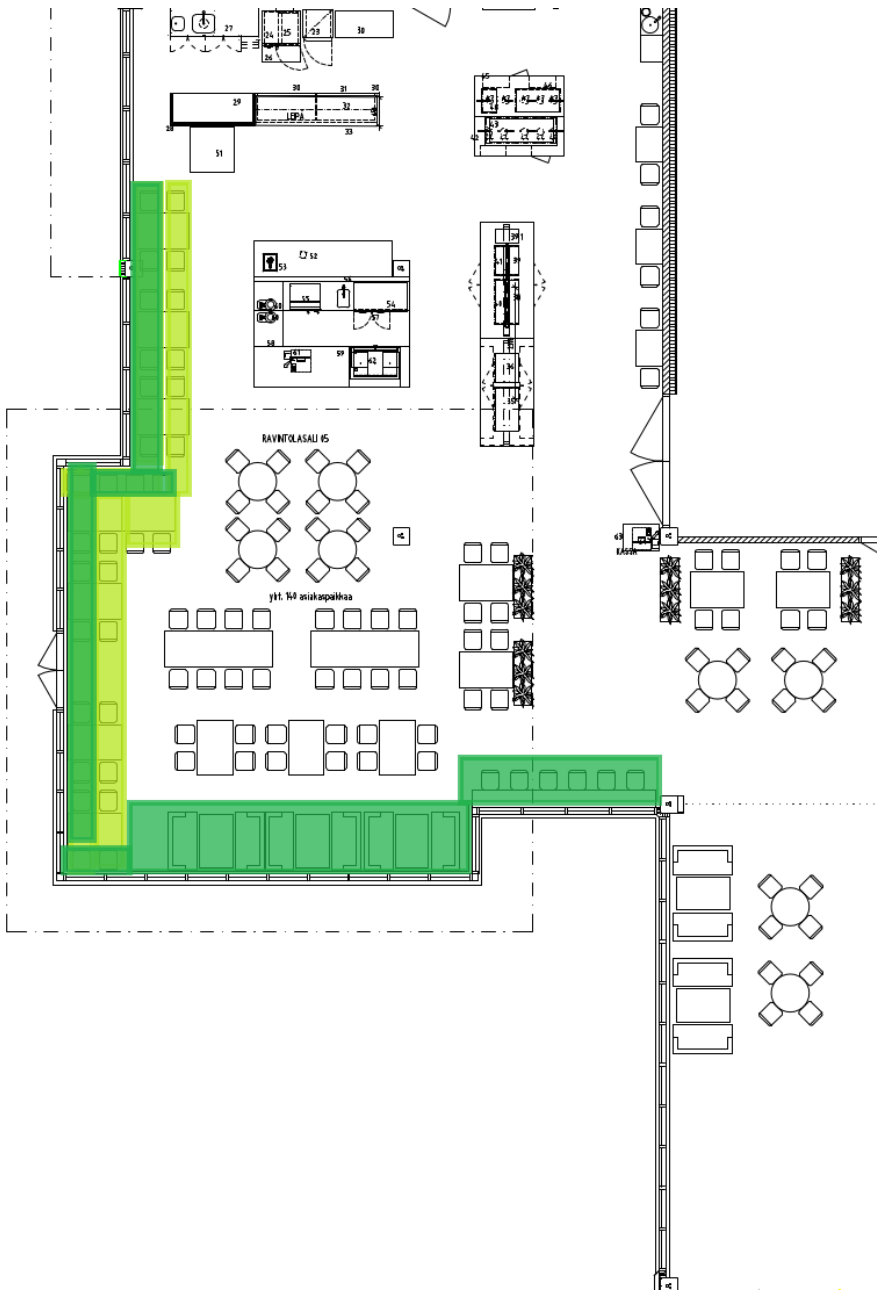
Kuvassa 19 värisävyt nostavat selkeästi esille paikat, joissa on koettu erityisesti sisävaatetuksessa kylmän hohkaa ja vedontunnetta. Vedontunne oli kokemuksina pääasiassa kuitenkin hätäpoistumistien lähettyvillä.

8.3 Ravintolasalin käyttö remontin jälkeen

Remontin jälkeen ravintolasalin käytön muutos on ollut selkeästi havaittavissa reunapöydät ovat viihtyisämmät ja ravintolasalissa vierailevat ihmiset istuvat pääsääntöisesti niissä. Remontissa toki koko ravintolasalin ilme muuttui ruokalatyypisistä tilasta ravintolatyypiseen tilaan. Istumapaikkojen määrä väheni hiukan ja ravintolalle tehtiin mahdolliseksi laajentaa ruokailupaikkoja läheiseen aulatiilaan tarvittaessa. Ravintolasalin kokonaiskäyttö on muuttunut merkittävästi tasaisemmaksi. Kaikissa haastatteluissa nousi esille tyytyväisyys tasaiseen lämpöön ja viihtyvyyteen nykyisessä ravintolasalissa. Haastateltavat kokivat ravintola nykyisellään erittäin viihtyisäksi ja miellyttäväksi paikaksi vierailla. Sähkölämmitteisen julkisivun mukavuusvaikutukset nousivat esille siten, että nykyään ikkunaa lähimpänä olevat istumapaikat valitaan erittäin mielellään, koska lasista säteilevä lämmitys koetaan erityisen miellyttävänä ja samalla voidaan kuitenkin nauttia näköaloista ja ruokailusta.

Ravintolasalin ruokailulinjat, ruokapöytäryhmät, istumakorkeudet ja erityisesti akustiikka on parantunut. Nykyään ravintolassa on ikkunan lähettyvillä korkeita ruokaryhmiä, eritasoinen istuminen tuo oman lisäviihtyvyyden ravintolassa olemiseen. Haastatteluissa nousi myös esille, että nykyisessä ravintolassa on rauhallinen, viihtyisä ja hyvä nauttia ruokailusta, kahvista ja hyvistä keskusteluista ihmisten kanssa. Monen eri osatekijän summana käyttökokemukset nykyisestä ravintolasalista talviolosuhteissa on erittäin positiiviset ja tyytyväiset.

Ravintolasalin vakituisen henkilökunnan mukaan myös ravintolan viihtyisyys on huomattavasti parantunut remontissa. Asiakkaiden istumapaikkojen valinta on tasaantunut ravintolasalissa merkittävästi remontin jälkeen. Henkilökunta myös totesi ravintolan ”kalseuden” vähentyneen remontissa ja erityisesti suosituimmiksi istumapaikoiksi on nousseet paikat lähimpänä lasipintaa, jossa asiakkaat ovat kokeneet erityisen miellyttävän lasista hohkaavan lämmön.



KUVA 20. Nykyisen ravintolan miellyttäväksi koetut istumapaikat.

Kuvassa 20 näkyy nykyisen ravintolasalin miellyttävimmät istumapaikat erivärisävyillä korostettuna. Tummanvihreänä olevat paikat ovat erityisen miellyttävinä koettuja ja vaaleamman vihreät paikat miellyttävinä koettuja istumapaikkoja. Haastatteluissa nousi erityisesti esille, että mikäli ravintolassa vierailaan 1 – 4 hengen ryhmissä valitaan lähes poikkeuksetta ikkunan lähellä olevia istumapaikkoja. Aikaisemmin pienryhmät istuivat ravintolan keskiosilla isoissa pöydissä. Suuret ryhmät ruokailevat edelleenkin ravintolan suurissa pöydissä, tämä johtuu yhteisöllisyydestä ja halusta olla ryhmässä syö-
mässä.

9 TULOKSET, JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tässä luvussa esittelen ja käyn läpi tutkimuksessa syntyneet tulokset, kerrataan tavoitteet, esitellään tutkimuksen analysointia tutkimuksen luotettavuudesta ja esitellään jatkotutkimusaiheita.

9.1 Sähkölämmitteisellä julkisivulasilla paremmat sisäilmaolosuhteet

Tutkimuksen tavoitteena oli saada tietoa sähkölämmitteisen lasijulkisivun vaikutuksista sisäilmaolosuhteisiin ja tässä tapauksessa sitä kannatti verrata vanhaan lasijulkisivuun, josta käyttäjällä oli runsaasti kokemusta ja vertailupohjaa. Lisäksi tutkimuksessa haluttiin saada tietoa lasijulkisivun lähettyvillä sisäilmaolosuhteista ja niihin vaikuttavista seikoista, jotka muodostuvat lähinnä LVI-teknisistä järjestelmistä ja tästä syystä myös LVI-suunnittelun vaikutuksia haluttiin punnita.

Kokkolan kaupungintalon C-osan ravintolan ikkunalasien vaihtaminen sähkölämmitteiseksi julkisivulasiksi voidaan pitää kokonaisuudessaan erittäin onnistuneena ja hyvänä ratkaisuna, samalla lämmitysjärjestelmien tasapainotus ja säätö, akustiikan ja valaistuksen parannus ja istuinjärjestysten muutokset tuovat käyttäjille merkittävästi paremmat ruokailu ja kahvittelukokemukset. Sähkölämmitteisellä lasilla poistettiin ravintolasta täysin ikävä kylmän hohka ja vedontunne, tämän vaikutuksesta lasijulkisivun lähettyvillä olevien ruokailupöytien käyttöaste on noussut kokemusten mukaan vähäisestä käytöstä paljon käytetyiksi pöydiksi.

Kokemusten mukaan suurten lasipintojen materiaaliratkaisuna sähkölämmitteinen lasi on huoleton ja takuuvarma sisäilmaolosuhdehallinnan ratkaisu tilanteisiin, joissa ulkolämpötila on merkittävästi alhaisempi mitä sisälämpötila. Ratkaisulla voidaan suunnitteluvaiheessa huomattavasti keventää erilaisia taloteknisiä lämmitysjärjestelmiä ja saada siten talotekniikasta investointikustannussäästöjä. Sähkölämmitteisen lasin tarvitsema sähköenergian määrän vähyys silloin, kun lasilla halutaan estää kylmän hohka ja vedontunne on vähäinen, kuten Finnglass Oy:n tutkimuksessa (taulukko 1) esittämistä sähkötehontarpeista eri ulkolämpötiloilla selvenee.

Mikäli suurten lasipintojen lähettyvillä halutaan panostaa sisäilmaolosuhteisiin ja välttää kylmän hohkaa ja vedontunnetta on sähkölasilämmityksessä eriomainen ratkaisu. Sähkölämmitystä käytettäessä

voidaan tilan lämmitysratkaisut suunnitella samoilla perusteilla mitä keskellä rakennusta sijaitsevat tilat, jotka ovat lämpimien seinäpintojen ympäröimiä. Talotekninen suunnittelu on suuren lasijulkisivun lähettyvillä erittäin hankalaa nykyaikaisissa energiatehokkaissa rakenteissa tehdä usein käytetyillä vanhoilla hihavakioilla hyväksi. Lähes aina on suositeltavaa suuren lasijulkisivun lähettyvillä tehdä sisäilmaolosuhteista CFD-mallinnus. Erityisesti CFD-mallinnus on tärkeä silloin, jos ei haluta käyttää sähkölämmitteistä lasijulkisivua. Sähkölämmitteisen lasin voidaan todeta olevan erittäin hyvä ja laadukas ratkaisu, mikäli halutaan panostaa sisäilmaolosuhteisiin, tällöin tulee myös taloteknisten järjestelmien suunnittelussa ottaa tämä huomioon ja keventää järjestelmien mitoitusta vastaamaan oikeaa tarvetta.

Erilaisten taloteknisten järjestelmien vaikutukset suhteessa julkisivulasitukseen ovat suuret. Erilaiset järjestelmät vaikuttavat lähes aina toisiin ratkaisuihin ja sisäilmaolosuhteet muodostuvat näiden monien siihen vaikuttavien seikkojen summana. LVI-suunnittelijan näkökulmasta suurimmat riskit epäonnistua syntyvät huomioinnista tuleeko sähkölämmitteinen lasi vai ei ja järjestelmien valinnasta sekä väärästä mitoituksesta. LVI-suunnittelijan pitää pystyä perustelemaan järjestelmä valintansa vahvaan tieteelliseen näyttöön (simuloinnit, tutkimukset ja vahva kokemus kyseisistä ratkaisuista). Tilaajan on erityisen tärkeää valvoa ja ohjata suunnittelua ja vaatia riittävät perusteet siihen, että kyseisillä ratkaisuilla sisäilmaolosuhteet täyttyvät. Tilaajan on tärkeä tarkastella esitettyjä ratkaisumalleja ja niiden vaihtoehtoja rakentavan kriittisesti, koska myöhemmin toteutus ja käyttövaiheessa näiden muuttaminen on erityisen kallista verraten suunnitteluvaiheen vertailuihin ja muutoksiin.

Sähkölämmitteisellä lasilla on myös teemahaastattelujen perusteella myös suuri mukavuus viihtyisyysvaikutus lähellä lasijulkisivua. Tutkimuksessa selveni, että ihmiset mielellään hakeutuvat miellyttävänä koetun säteilylämmön lähettyville. Sähkölämmitteinen lasijulkisivu myös säästää lattianeliöitä tehokkaaseen ravintolakäyttöön ja antaa mahdollisuuden sijoittaa pöytiä ihan ikkunan välittömään läheisyyteen.

Sähkölämmitteisen lasin ohjaukseen käytettävien lasinpintalämpötilamittauksia on tärkeä valita riittävästi, jotta lämmityksessä voidaan huomioida erilaiset olosuhteet riittävän tarkasti. Mikäli lasijulkisivu on monimuotoinen, on lämpötilamittauksille ja lasielementtien lämmityksen ohjaukselle tarpeellista tehdä useita ryhmiä ja ryhmäkohtaisia mittauksia, koska ulkoiset olosuhteet voivat vaihdella reilusti eripuolilla monimuotoista lasijulkisivua. Esimerkkinä monimuotoisessa lasijulkisivussa voi yhdelle suojaisalle sivulle paistaa aurinko, joka lämmittää pakkassäälläkin sisätiloja merkittävästi aiheuttaa lämpötilamittaukselle tiedon, että ei ole tarvetta lämmittää. Samaan aikaan toisella puolella taas voi

tuuli ja pakkaskeli aiheuttaa lämmitystarvetta ja mikäli lasia ei lämmitetä, aiheutuu sisälle kylmän hohkaa ja vedontunnetta.

Tutkimuksen tavoitteet ja alkuasettelukysymykset, sekä tutkimuksen tekemiseen liittyvät apukysymyksille tuli selkeät vastaukset tässä opinnäytetyössä. Teoreettisen viitekehyksen antama alusta tutkimukselle oli äärimmäisen tärkeässä roolissa, jotta tämä tutkimus saatiin tehtyä. Opinnäytetyö on sisällöltään sellaisenaan hyödynnettävissä LVI-suunnittelussa parempien sisäilmaolosuhteiden aikaansaamiseksi ja erityisesti omiaan herättämään LVI-suunnittelijan roolissa olevaan henkilöä tarkastelemaan valintojaan kriittisesti ja hakemaan tietoa kuinka laadukkaat sisäilmaolosuhteet saadaan uusissa energiatehokkaissa rakennuksissa aikaiseksi ja kuitenkin vältytään LVI-järjestelmien ylimitoitukselta.

9.2 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuutta arvioitiin Hirsijärven & Hurmeen (1995, 128-130.) mukaan. Tutkimuksen reliabelius arvioidaan olevan hyvä. Haastateltavalla henkilökunnalla oli yhtä haastateltavaa lukuun ottamatta laaja-alainen ymmärrys rakentamisesta ja rakennustekniikasta sekä yhdellä haastateltavista laajaymmärrys myös talotekniikasta. Yhdellä haastateltavista ei ollut tietämystä rakentamisesta lainkaan. Näistä erilaisista taustoista huolimatta teemahaastattelussa henkilökunnan kokemukset toistuvat jokaisessa haastattelussa hyvin samanlaisina. Tutkimuksen luotettavuuden kannalta olisi ollut tärkeää käyttää vielä enemmän aikaa haastattelulomakkeen tekemiseen ja siihen lisäkysymysten tekemiseen. Tämä olisi saattanut nostaa hiukan tarkemmin henkilökunnan kokemusten eroja ja erilaisia nyansseja haastatteluiden välillä. Tehdyn tutkimuksen vastaukset eivät olleet identtisiä ja niissä varottiin asettamasta vastaajan sanomaksi jotain mielipidettä. Haastateltavien vastauksista haettiin niin sanottua punaista lankaa eli asioita, jotka yhdistävät vastauksia ja jotka toistuvat eri vastaajien välillä.

Opinnäytetyön tekemisessä on luonnollisesti omat rajauksensa resurssien ja ajankäytön osalta ja tutkimuksen otanta oli pelkästään henkilökuntaa, joilla oli kokemusta lähes päivittäin tai päivittäin ravintolasalin käytöstä ja tärkeimpänä valintana oli se, että henkilöt ovat olleet talossa useamman vuoden ennen remonttia ja remontin jälkeen. Sähkölämmitteisen julkisivulasin työssä tutkittuja vaikutuksia sisäilmaolosuhteisiin voidaan pitää erittäin luotettavana. Tutkimuksen luotettavuutta olisi vielä lisännyt, mikäli haastattelututkimuksen aineistoa olisi voitu verrata CFD-simuloinnista saatuihin tuloksiin, jolloin olisi myös pystytty osoittamaan ristiärvioimalla erilaisia heikkouksia.

LVI-suunnittelun soveltuvuutta, ei sinällään pystytty teemahaastattelumuodoissa tässä tutkimuksessa tutkimaan, koska sille ei löytynyt riittävän selkeää otantaa. LVI-suunnittelun tarkan soveltuvuuden olisi pystynyt tekemään CFD-simuloinneilla ja niistä sekin tutkimusaihealue olisi voitu saada hyvin selvitettyä ja hallintaan. Nyt kaikki LVI-suunnittelun sisältämät suositukset ja tiedot ovat laajasti ja laajalta käyttäjä.

9.3 Jatkotutkimusaiheet

Jatkotutkimuksena aihealueesta rajattuna kannattaisi tutkita sähkölämmitteisen ja sähkökromaattisen julkisivulasin vaikutusta sisäilmaolosuhteisiin CFD-virtaussimuloinnin avulla. Tällöin saataisiin merkittävästi alaa edistävää lisätietoa siitä, miten Suomen erilaisissa vuodenaajoissa pystytään tehokkaasti käyttämään auringontuottama ilmaisenergia rakennuksen lämmitykseen ja samalla silti pitämään sisäilmaolosuhteet erinomaisella tasolla. Erityisen kiinnostavaa olisi tietää, miten sähkökromaattisen ja sähkölämmitteisen lasin toiminta kevät talvella, jolloin ulkona saattaa olla vielä kymmeniä asteita pakasta ja aurinko kuitenkin tuottaa jo lämpöä, vaikuttaa sisäilmaolosuhteisiin ja rakennuksen energiatehokkuuteen. Olisi mielenkiintoista tietää kuinka paljon rakennuksen energiankulutuksessa voidaan säästää vuositasolla sähkökromaattisen ja sähkölämmitteisen julkisivulasin ja normaalin julkisivulasin välillä? Lisäksi olisi tärkeää tutkia CFD-virtaussimuloinnin avulla sähkökromaattisen ja sähkölämmitteisen julkisivulasin kanssa erilaiset lämmitys-, jäähdytys- ja ilmanvaihtojärjestelmät ja niiden keskinäiset toimivuudet toisiinsa nähden. Tästä syntyvällä tiedolla voitaisiin jatkossa ohjata Suomen rakentamista merkittävästi sisäilmaolosuhteiden kannalta parempaan suuntaan, sekä tämän pohjalta määrittämään LVI-suunnittelun ohjeistusta korkean lasijulkisivun osalta, jotta päästään laadukkaisiin lopputuloksiin. Sähkökromaattisen ja sähkölämmitteisen julkisivulasin kokonaisenergiankulutuksen vuosittainen simulointi ja vertailu keskenään tuottaisi mielenkiintoista tietoa siitä paljonko eroa rakennuksen kokonaisenergiankulutuksessa vuositasolla syntyy erilaisten julkisivujen välillä.

LÄHTEET

Aalto, P. 2008. Uimahallien ja kylpylöiden sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevat terveydelliset ohjeet. Helsinki, Sosiaali- ja terveydenhuollon tuotevalvontakeskus (STTV). Saatavissa: Luettu: 6.5.2020

Alasuutari, P. 1994. Laadullinen tutkimus. 3. Painos. Jyväskylä: Vastapaino ISBN: 951-9066-78-6

BBC News. Sunshade for Walkie-Talkie skyscraper glare problem. 15.3.2014. Saatavissa: <https://www.bbc.com/news/uk-england-london-27425560> . Luettu 4.5.2020

Carmody, J., Selkowitz, S., Lee, E.S., Arasteh, D. & Willmert, T. 2004. Window Systems for High-Performance Buildings. 1st edition. New York , USA: W.W. Norton & Company, Inc. 400 s. ISBN:0-379-73121-9.

Compass Group FS Finland Oy, 2020. Kokkolan kaupungintalon ravintola Coccolitan kalustussuunnitelma. Ei julkinen.

Hassinen, P. & Lehtikoinen, N. Tasolasirakenteiden mitoituksen nykytilanne, Tasolasiyhdistys ry. Saatavissa: <https://www.tasolasiyhdistys.fi/@Bin/197762/Lasin+mitoitus+Hassinen.pdf> tai <https://bin.yhdistysavain.fi/1593864/LwIgr1rtHPBLWUx4moam0TiJZ4/Lasin%2Bmitoitus%2BHassinen.pdf> Viitattu 23.3.2020

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. 1995. Teemahaastattelu. 7. painos. Helsinki: Yliopistopaino ISBN 951-570-030-2

Hirsjärvi, S. & Hurme, H. 2017. Tutkimushaastattelu. Teemahaastattelut teoria ja käytäntö. Gaudeamus Oy. Helsinki: Unigrafia Oy. ISBN 978-952-495-073-2

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 1997. Tutki ja kirjoita. 22. painos. Porvoo: Bookwell Oy. ISBN 978-951-31-4836-2

Häyrynen, T. 2015. Sisäolosuhteet kuntoon sähkölämmitteisen lasin avulla. Lasin Maailma. 04/2015, 10-12.

Ikkunawiki. Talous ja ympäristö. U-arvo. Saatavissa: <http://www.ikkunawiki.fi/talous-ja-ymparisto/u-arvo/> . Luettu 3.6.2020

Ikkunawiki. Ilmanvaihto. Huurtuminen. Saatavissa: <https://www.ikkunawiki.fi/ilmanvaihto/huurtuminen/> . Luettu 20.7.2020

Kananen, J. 2010. Opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulu julkaisuja 111. Tampereen Yliopistopaino Oy. ISBN 978-951-830-180-9

Karkulahti, T. 2020. Toimitusjohtaja. Stravent Oy. Henkilökohtainen tiedonanto, puhelinkeskustelu. 2.7.2020

- Karvinen, T. 2020. Palvelupäällikkö energiasimulointi ja tekninen laskenta. Granlund Oy, Henkilökohtainen tiedonanto, puhelinkeskustelu. 13.1.2020
- Kokkolan kaupunki, tilapalvelut, 2019. Kokkolan kaupungintalon arkkitehtipohjakuva C-osa. Pääpiirustukset. Ei julkinen.
- Kokkolan kaupunki, 2020. Saatavissa: https://www.kokkola.fi/kokkola_tietoa/yleistietoa_kaupungista/kaupungintalo/fi_FI/kaupungintalo/. Luettu 15.6.2020.
- Lahmar, I., Zemmouri, N., Cannavale, A. & Martellotta, F. 2019. Investigating the impact of electrochromic glazing on energy performance in hot arid climate using parametric design. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 609 (2019) 062027. Luettu 8.6.2020. Saatavissa: doi:10.1088/1757-899X/609/6/062027 (sähköinen)
- Lasifakta 2018, Pilkington, 2018, Saatavissa: https://www.pilkington.com/-/media/pilkington/site-content/finland/architects/0893_lasifakta2017_fi_1002.pdf. Luettu 5.5.2020
- Liedes, J. 2020. Toimitusjohtaja. Aluteräs Oy. Sähköpostikeskustelu aiheesta: Kokkolan kaupungintalon C-osan ravintolan lasijulkisivujen uusiminen YAMK-opinnäytetyö. 22.8.2020.
- Loisa, L., Tyni, A. & Reinikainen, E. 2015a, FinZEB – Lähes nollaenergiarakentamisen käsitteet, tavoitteet ja suuntaviivat kansallisella tasolla. Taustaraportti 4: Energiaa säästävät tekniset ratkaisut. Granlund Oy
- Loisa, L., Tyni, A. & Reinikainen, E. 2015b, FinZEB – Lähes nollaenergiarakentamisen käsitteet, tavoitteet ja suuntaviivat kansallisella tasolla. Taustaraportti 7: Tulevaisuuden sää ja sisälämpötilatarkastelut. Granlund Oy
- LVI 06-10451. 2012. Uimahallien ja virkistysuimaloiden LVIA-suunnittelu. RT-kortisto. Luettu 6.5.2020
- Mustonen, M. Keskipohjanmaa. Kaupungintalo kruunaa Kokkolan – Suurremontin läpikäynyt kaupungintalo avasi ovensa. 13.2.2020. Saatavissa: <https://www.keskipohjanmaa.fi/uutinen/589352> . Luettu 15.6.2020
- Motiva. Ikkunoiden energiatehokkuus. Luettu 26.2.2020. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/ikkunoiden_energialuokitus/ikkunoiden_energiatehokkuus
- Niemi, T. 2020. Senior manager. Compass Group FS Finland Oy. Sähköpostikeskustelu aiheesta: Ravintola Coccolitan päivittäin palvelema asiakasmäärä. 5.8.2020
- Palonen, J., Kurnitski, J., Jokiranta, K. 2001. Sähkölasilämmityksen käyttäminen lämpöolojen hallintaan lasijulkisivun yhteydessä. Raportti B71. Teknillinen korkeakoulu. Konetekniikan osasto. LVI-tekniikanlaboratorio. B. Otamedia Espoo.
- Pietiläinen, Jorma, Kauppinen, Timo, Kovanen, Keijo, Nykänen, Veijo, Nyman, Mikko, Paiho, Satu, Peltonen, Janne, Pihala, Hannu, Kalema, Timo & Keränen, Hannu. 2007. ToVa-käsikirja VTT tiedotteita 2413. Edita Prima Oy. Helsinki.

Pilkington Planar Brochure, 2018. Pilkington Planar järjestelmän esitteet. Saatavissa: http://assetmanager-ws.pilkington.com/fileservlet.aspx?cmd=get_file&ref=2701&cd=cd . Luettu 16.6.2020

Rakennusten energiatehokkuus. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.

RESA Loppuraportti. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muutosten kansallisen toimeenpanon vaikutusten selvitys ja arviointi. Automaatiovelvoite, tekniset järjestelmät sekä lämmitys- ja ilmastointijärjestelmien tarkastukset. 2019. Ympäristöministeriö. Luettu: 2.7.2020. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7B069B79BA-48AE-4D78-B9BB-E995B7F0E06A%7D/146152>.

SAI Industrial LLC. SMART GLASS - A RAPIDLY GROWING MARKET. Saatavissa: <https://www.saiindustrial.com/smart-glass-a-rapidly-growing-market/>. Luettu: 23.7.2020

Saukko, T. Toimitusjohtaja. Finnglass Oy. 2018. Kokkolan kaupungintalon C-osan lasijulkisivun kohdearvioraportti. Ei julkinen.

Saukko, T. 2020a. Toimitusjohtaja. Finnglass Oy. 2020a. Henkilökohtainen tiedonanto, puhelinkeskustelu 5.5.2020.

Saukko, T. 2020b. Toimitusjohtaja. Finnglass Oy. Sähköpostikeskustelu aiheesta: sähkölämmitteisen lasin hyödyt 12.2.2020.

Saukko, T. 2020c. Toimitusjohtaja. Finnglass Oy. Henkilökohtainen tiedonanto, puhelinkeskustelu 2.7.2020.

Sibilio, S., Rosato, A., Scorpio, M., Iuliano, G., Ciampi, G., Vanoli, G. P. & de Rossi, F. (2016) A Review of Electrochromic Windows for Residential Applications. International Journal of Heat and Technology. [Verkkolehti] vol. 34 S. 481-488. Luettu: 20.5.2020 Saatavissa: DOI:<https://doi.org/10.18280/ijht.34S241>. ISSN: 0392-8764(sähköinen).

Sandberg, E. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka osa 2. Talotekniikka-julkaisut Oy: ISBN:978-952-99770-7-9

Sievä, A. 2020. Koulutuspäällikkö. Purso Oy. Henkilökohtainen tiedonanto, puhelinkeskustelu. 8.6.2020

Seppänen, O. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Suomen LVI-liitto. Talotekniikka-Julkaisut Oy. Forssa. ISBN: 952-91-6896-9

Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas, Päivitetty 11.6.2019. Saatavissa: <https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/2-ss-maaritelmat>. Luettu 8.6.2020

Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas, Päivitetty 10.6.2020. Saatavissa: <https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>. Luettu 15.7.2020

Softfo -tekniikka. Luonnonmukaisesti toimiva ilmastointi. Stravent. 2017. Saatavissa: [https://stravent.fi/uploads/file/pdf/Kerrostava ilmanvaihto -esite 2017.pdf](https://stravent.fi/uploads/file/pdf/Kerrostava_ilmanvaihto_-esite_2017.pdf).
Luettu: 6.5.2020

Sundell, K., 2004. Ikkunakäsikirja. Rakennusteollisuus RT ry Puutuotetoimiala. Loviisa.
ISBN: 952-5472-20-5

Tenhunen, O. 2003. Metalli-lasirakenteisen kaksoisjulkisivun materiaalien soveltamiskriteerit. Teknillisen korkeakoulun terästekniikan laboratorion julkaisuja 28. Teknillinen korkeakoulu. Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. Tekniikan lisensiaatintyö.

Thomas, R.M. 2003. Blending Qualitative & Quantitative research methods in theses and dissertations. California, USA: Corvin Press, Inc. ISBN 0-7619-3932-6

Tuomaala, P. 2013 Ihmisen lämpöaistimuksen uusi arviointimenetelmä. VTT. Rakentajain kalenteri 2013. Rakennustietosäätiö RTS. Rakennustieto Oy.

Uusitalo, E., Toikka, R., Olenius, A. Lasi julkisivun materiaalina työmaalla. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020402.pdf>. Luettu 23.3.2020

Vinha, J. 2009. Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja rakentamisen periaatteet. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Artikkelit. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090302.pdf> . Luettu 6.5.2020

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 1009/2017 Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>. Luettu 7.5.2020.

Teemahaastattelulomake:

TEEMAHAASTATTELU YAMK-opinnäytetyö 29.4.2020 Jaakko Saukko

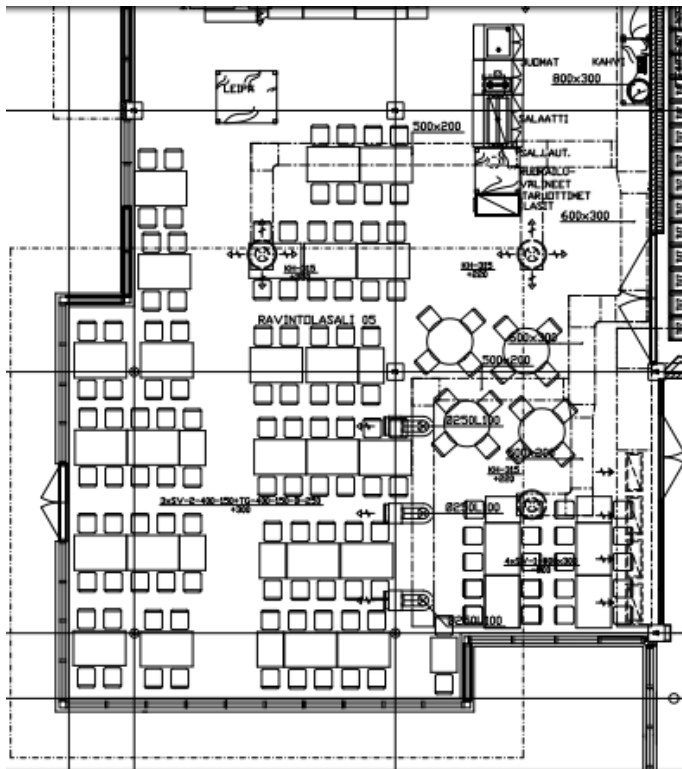
Vastaaja:

Opinnäytetyön nimi: **SÄHKÖLÄMMITTEISEN JULKISIVULASIN VAIKUTUKSET
SISÄILMAOLOSUHTEISIIN JA LVI-SUUNNITTELUUN**

Tässä teemahaastattelussa kysyn Kokkolan kaupungin rakennuttaja ja kiinteistön kunnossapitoryhmiltä kokemuksia Kaupungintalo C-osan ravintolasalin lasijulkisivusta ja sen lähettyvillä olevista oleskeluvyöhykkeistä. Haastattelututkimusten tiedot anonymisoidaan opinnäytetyöhön.

Kysymys 1: Miten koit vanhan ravintolan lasijulkisivun lähettyvillä sisäilmaolosuhteet? (lähettyvillä olevalla vyöhykkeellä tarkoitetaan alle 4 metriä lasijulkisivusta)

Kysymys 2: missä ihmiset yleensä istuivat talvella ravintolassa, piirrä karttaan alue. Entä missä eivät istuneet?



Kysymys 3: Oliko vanhan lasijulkisivun lähettyvillä vetoa/ kylmän hohkaa? jos oli niin missä oli pahimmat/vaikeimmat paikat?

Kysymys 4: Miten onko ravintolan istumapaikkojen käytössä tapahtunut muutosta remontin jälkeen talviolosuhteissa, jos on niin minkälaista?

Kysymys 5: Mitä mieltä olet ravintolatilassa uudesta sähkölämmitteisestä julkisivulasista ja miten olet kokenut sen vaikutukset sisäilmaolosuhteisiin