

Elsa-Maria Kaulanen

**JULKISIVUVAIHTOEHTOJEN VERTAILU TERWA TOWERIN RA-  
KENNUSHANKKEESSA**

# **JULKISIVUVAIHTOEHTOJEN VERTAILU TERWA TOWERIN RA- KENNUSHANKKEESSA**

Elsa-Maria Kaulanen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2019  
Talorakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma, rakennustekniikka

---

Tekijä: Elsa-Maria Kaulanen  
Opinnäytetyön nimi: Julkisivuvaihtoehtojen vertailu Terwa Towerin rakennushankkeessa  
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Comparison of facade options in Terwa Tower construction project  
Työn ohjaaja(t): Teemu Södö (YIT Suomi Oy), Matti Toppi (Oamk)  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: 4/2019  
Sivumäärä: 46 + 5 liitettä

---

Korkean rakentamisen hankkeita on Suomessa vireillä tällä hetkellä useita kymmeniä. Yksi niistä on Oulun Terwa Tower, jonka 22 maanpäälliseen kerrokseen on suunniteltu majoitus- ja toimistotiloja sekä ravintoloita ja kohtaamispaikkoja. Rakentamisen haasteiksi muodostuvat usein keskusta-alueilla tontin ahtaus ja logistiikka yhdistettynä korkean rakentamisen asettamiin vaatimuksiin. Julkisivulta vaaditaan korkeuden ja merenrannan läheisyyden aiheuttamien rasitusten teknisen kestävyuden lisäksi kaupunkikuvan edellyttämää visuaalista toimivuutta. Opinnäytetyön tavoitteena olikin vertailla lasi- ja Sandwichjulkisivuelementtejä ja niiden vaikutusta työmaan toimivuuteen Terwa Towerin rakennushankkeessa.

Tätä opinnäytetyötä varten haastateltiin betonitöihin perehtynyttä työmaamestaria julkisivuvalintojen vaikutuksesta työtapoihin ja aikatauluun sekä vastaavaa mestaria työmaan toimintaan ja aluesuunnitteluun liittyen.

Betonijulkisivun käyttämisestä löytyi useita työmaan aikatauluttamiseen liittyviä hyviä puolia, kun käytössä on yksi torninosturi. Tällöin runkovaiheen toteuttavalla urakkatyöryhmällä on nosturi lähes koko ajan käytettävissä eikä odottelua ja tyhjiä päiviä jää väliin, koska runko ja julkisivu nousevat tasaisesti yhdellä työryhmällä. Lasielementtijulkisivu on näyttävä ja lasipinnat itsessään kosteusteknisesti toimivia. Siinä kuitenkin asennus tapahtuu aliurakoitsijan työryhmällä ja torninosturi on käytännössä nostojen ja asennuksen ajan varattuna.

Haastatteluissa tuli esiin, että työmaan logistiikka ja työvaiheiden yhteensovittaminen on suunniteltava tornitalotyömaalla erityisen hyvin. Holvien tuenta on tiheä, eikä kerrokseen voi varastoida tavaraa, joten työmaa tarvitsee useamman rakennusaikaisen hissien, jotta liikkuminen olisi sujuvaa eikä työntekijöiden tarvitsi käyttää aikaa odotteluun.

---

Asiasanat: julkisivuelementti, tornitalo, rantarakentaminen, elementtiasennus, kunnossapito, betoni, lasirakentaminen

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil Engineering, House Building Engineering

---

Author: Elsa-Maria Kaulanen

Title of thesis: Comparison of Façade Options in Terwa Tower Construction Project

Supervisor(s): Matti Toppi (Ouas), Teemu Södö (YIT Finland Ltd.)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2019

Pages: 46 + 5 appendices

---

In Finland there are currently dozens of high-rise construction projects in progress. Terwa Tower is one of those projects with 22 floors designed for high-quality accommodation and offices, as well as restaurants and meeting places. Usually the problems in construction sites in the city centers are missing storage areas and logistics combined with the demands of high-rise construction in terms of structures, details and façade. Besides the technical durability of structures and joins caused by the height and proximity of the sea, the façade requires visual functionality provided by the cityscape.

The purpose of this thesis is to compare two different façade element systems, structural glazing and concrete Sandwich element, and their impact on the construction site of Terwa Tower. The Thesis is based on articles, literature sources, Eurocodes for regulations and interviews of construction site managers.

For this thesis site supervisors were interviewed, and it revealed that the site logistics and different phases of working must be particularly well planned. The intermediate floor slab must be supported thickly, which means that there is not possible to storage construction material in the stores. More than one service lift is needed during construction to avoid waiting hours.

There were many good aspects for scheduling a construction site when using a concrete façade. In a situation when there is only one tower crane in use, the frame working team has the crane available and there are no unnecessary waiting days. Glass facade work would be done as a sub-contract so the tower crane would be occupied during the façade work. The glass element facade is imposing, and the glass surface itself has a good moisture performance. In the lower stores it is possible to use a truck crane. Effective weather shelters are necessary to keep the temperature inside of the building warm when concrete structures are drying.

---

Keywords: facade element, high-rise building, seashore construction, element installation, concrete, glass façade

## **ALKULAUSE**

Haluan kiittää Arto Inkalaa loputtomasta määrästä rakennustöihin liittyvää nippe-  
litietoa sekä tilaisuudesta kuulla mahdollisista ja mahdottomista keksinnöistä liit-  
tyen rakentamiseen ja luontodokumentteihin. Päivi Pyytä kiitän laajan tietovaras-  
tonsa avaamisesta ja avusta minkä tahansa tilanteen käydessä ylitsepääsemät-  
tömäksi.

Puolisoni Aki Kauranen mahdollisti opinnoista valmistumisen.

Oulussa 17.3.2019

Elsa-Maria Kaulanen

# SISÄLLYS

|  |    |
|--|----|
| TIIVISTELMÄ  | 3  |
| ABSTRACT   | 4  |
| 1 JOHDANTO   | 7  |
| 2 KORKEA RAKENTAMINEN JA SÄÄOLOSUHTEET                       | 8  |
| 2.1 Tuuli  | 9  |
| 2.2 Kosteus  | 12 |
| 2.3 Lämpö  | 13 |
| 3 JULKISIVUVAIHTOEHDOT                                       | 15 |
| 3.1 Määräykset ja ohjeet                                     | 15 |
| 3.2 Korkean rakentamisen tuomat erityisvaatimukset työmaalla | 15 |
| 3.3 Lasijulkisivujärjestelmä                                 | 17 |
| 3.4 SG-järjestelmä   | 18 |
| 3.5 Sandwich-elementit                                       | 22 |
| 4 OULUN TERWA TOWERIN TOTEUTUKSEN SUUNNITTELU                | 25 |
| 4.1 SG-lasijulkisivu-urakka                                  | 27 |
| 4.2 Alumiini-lasielementtityypit ja asennus                  | 28 |
| 4.3 Betonielementtijulkisivun asennus                        | 34 |
| 4.4 Terwa Towerin runkojärjestelmä                           | 36 |
| 4.5 Tietomallin käyttö rakennustyömaan apuna                 | 38 |
| 5 YHTEENVETO   | 40 |
| LÄHTEET  | 42 |
| LIITTEET   |    |
| Liite 1 Aikataulu lasijulkisivulla                           |    |
| Liite 2 Aikataulu Sandwich-elementeillä                      |    |
| Liite 3 Terwa Towerin poikkileikkaus                         |    |

# 1 JOHDANTO

Merenrantaolosuhteet asettavat rakentamiselle ja käytettäville julkisivumateriaaleille haasteita, joita sisämaahan rakennettaessa ei tarvitse usein ottaa huomioon. Sillä on vaikutusta niin rakenteiden suunnitteluun kuin toteutukseenkin työmaalla. Jos lisäksi rakennus on niin kutsuttua korkeaa rakentamista, korostuvat säärasitukset entisestään muun muassa viistosateen, tuulen ja jäätymissulamisykliä muodossa.

Osittain rakentamisen lisävaatimukset johtuvat myös siitä, että vähintään 8-kerroksiset asuinrakennukset suunnitellaan seuraamusluokkaan CC3, mikä vaikuttaa myös työmaalla tehtävään työhön ja valvontaan. Seuraamusluokka määräytyy työn vaativuustason perusteella niin, että CC1 on vähiten vaativa ja CC3 on vaativin taso. Suunnittelija määrittelee toteutusluokan rakenteen toteutukseen ja käyttöön liittyvien riskitekijöiden perusteella.

Tämän insinööriyön tarkoituksena on selvittää eri julkisivuvaihtoehtojen ominaisuuksia ja toteutettavuutta tornitalotyömaalla. Työ perustuu työmaamestareiden ja -insinöörien haastatteluihin ja heidän kanssaan käytyihin keskusteluihin. Opinnäytetyötä varten on myös haastateltu muita tornitalohankkeeseen liittyviä osapuolia.

Tarkasteltava kohde on YIT Suomi Oy:n kehitysvaiheessa oleva 22-kerroksinen Terwa Tower. Kiinteistö sijaitsee Oulun kaupunginkirjaston takana Meritorin alueella. Rakennuksesta on suunniteltu 80 metriä korkea ja siinä on 22 maanpäällistä kerrosta. Julkisivuvaihtoehtoja ovat betoni- sekä alumiini-lasielementit, joiden toteutettavuutta insinööriyössä pohditaan.

Opinnäytetyö tehdään YIT Suomi Oy:lle, joka on kansainvälisesti toimiva toimitalo-, asunto-, kiinteistö- ja infrarakentamiseen suuntautunut rakennusliike.

## 2 KORKEA RAKENTAMINEN JA SÄÄOLOSUHTEET

Vuonna 2000 oli tyypillistä kaupunkialueiden tiivis ja matala rakentaminen, mutta 2010-luvulla alkoivat kaupunkien siluettia hallita ympäröivän rakennuskannan profiilista poikkeavat korkeammat rakennukset. Korkean rakentamisen kanta näyttelee Suomessa tällä hetkellä vain pientä osuutta koko rakennuskannasta mutta sen odotetaan jo lähivuosina alkavan kasvattaa suosiotaan, kun kaupunkien keskusta-alueiden houkuttelevuus pakottaa tiivistämään asuntokantaa rakentamalla korkeammalle. (Hasu – Staffans 2014.)

Korkean rakentamisen määritelmä vaihtelee riippuen siitä, tarkastellaanko aiheetta kaupungin visuaalisen ilmeen kokemisen kautta vai esimerkiksi rakennesuunnittelijan tai arkkitehdin pätevyysvaatimusten kannalta. Korkean rakentamisen selvityksille tyypillistä on määritellä rakennus korkeaksi, mikäli sen mittasuhteet tekevät siitä hoikan rakenteen tai korkeus eroaa muusta ympäristön rakennuskannasta selkeästi. Yleisin määritelmä on kansainvälisen tarkastelun mukaisesti joko 12-kerroksinen tai korkeudeltaan vähintään 35 metriä korkea rakennus. Oulun kaupungin korkean rakentamisen selvityksessä korkeaksi rakentamiseksi määritellään kuitenkin myös rakennukset, joissa on vähintään yhdeksän asuin-kerrosta tai ne ovat vähintään 27 metriä korkeita (Paajanen – Törmänen – Heikkilä – Klami 2014, 3). Näin on menetelty sen vuoksi, että muu rakennuskanta Oulussa on pääosin matalaa.

Vuonna 2017 niin kutsuttuja tornitaloja oli Suomessa 94 kpl, joista asumiskäytössä oli rekisterien mukaan 59 (Kerrostaloasumisen suosio kasvaa. 2018). Kuvassa 1 näkyy Oulun kaupunkikuvaa Pikisaaren suunnalta.



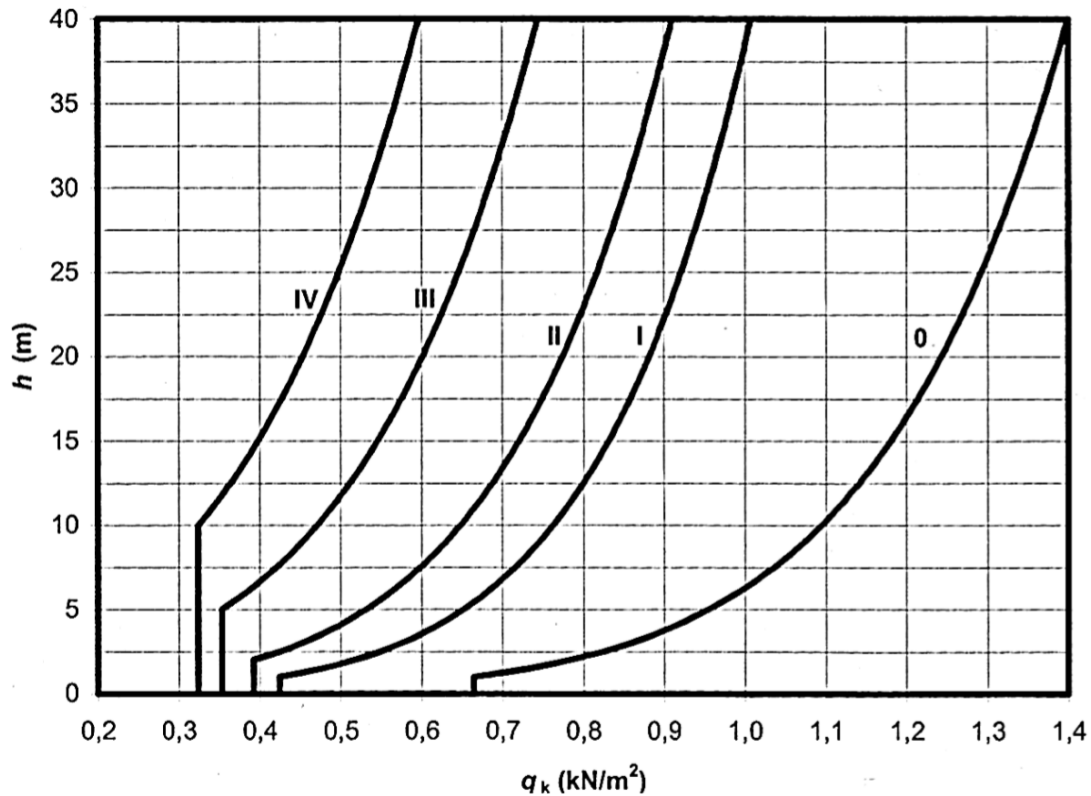


*KUVA 1. Piirros Pikisaaresta Vänmanninsaarelle päin*

## 2.1 Tuuli

Tuuli syntyy ilman lämpötilojen muutosten vaikutuksesta, kun ilmavirrat liikkuvat pyrkiessään tasaantumaan. Mitä nopeampaa on ilmanpaineen muutos, sen voimakkaampi on tuuli. Meren rannalla tuuli on voimakasta juuri meren ja maanpinnan suuren lämpötilaeron vuoksi. Usein säätiedotuksissa ilmoitetaankin nykyisin puuskanopeus tuulennopeuden lisäksi. Tuulisimpia kuukausia Suomessa ovat talvikuukaudet. (Tuulisuus suomessa. 2018.)

Alueen maastoluokka vaikuttaa ilmavirtoihin. Kuvan 2 käyrät osoittavat puuskanopeuspaineen arvot riippuen rakennuksen korkeudesta. Kuvaajassa on huomioitu korkeintaan 40 metriä korkeat rakennukset. Sitä korkeampien rakennusten ilmavirtausten mallintamiseen soveltuvat hyvin tuulitunnelikokeet, tai ne voidaan laskea Eurokoodin kaavoja käyttämällä. Tuulitunnelikoetta suositellaan myös niissä tapauksissa, joissa rakennus ei ole säännöllisen muotoinen tai jos rakennusta ympäröivän maaston muodot aiheuttavat ilmavirtausten voimistumista. Tuulitunnelikoe ottaa huomioon ympäristön muutkin rakennukset ja muodot. (Kiviluoma 2010.)



KUVA 2. Tuulen nopeuspaineen ominaisarvot eri maastoluokissa (Eurokoodi 5, 13)

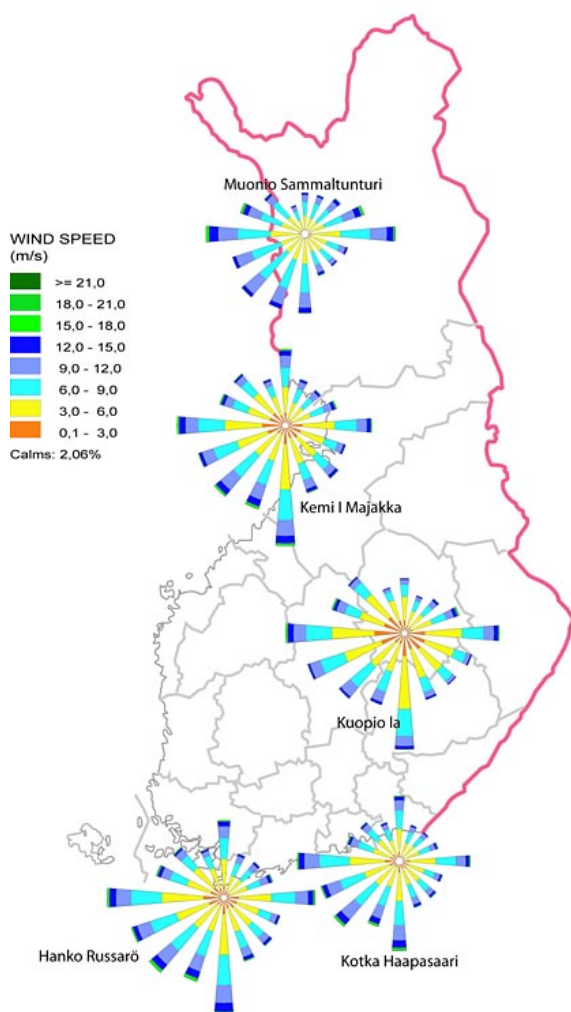
TAULUKKO 1. Maastoluokat kuvan 2 käyttöä varten (Eurokoodi 5, 12)

| Luokka | Maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon kuvaus.   |
|--------|---|
| 0      | Avomeri tai merelle avoin rannikko.   |
| I      | Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä.  |
| II     | Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus. Esim. maatalousmaa. |
| III    | Esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät.   |
| IV     | Yhtenäiset laajat kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15% on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 m.                            |

Rakenteen säilyvyysominaisuudet on otettava huomioon merenrannalle rakennettaessa. Erityisesti yksityiskohtien suunnittelun ja huolellisen toteuttamisen tärkeys korostuu. Näin esimerkiksi ikkunoiden ja ovien detaljit, räystäät sekä liitoskohdat tulee olla harkittuja ja huolella rakennettuja. Myös julkisivumateriaalin tu-

lee kestää kosteus- ja pakkasrasituksia sekä useita jäätymis-sulamissyklejä turmeltumatta. (Pajunen 2012.) Meren rannalla tuuli on puuskittaista ja ikkunoiden aukoissa tulee olla ponttirakenne saumojen pitävyyden varmistamiseksi (Myllykangas 2019).

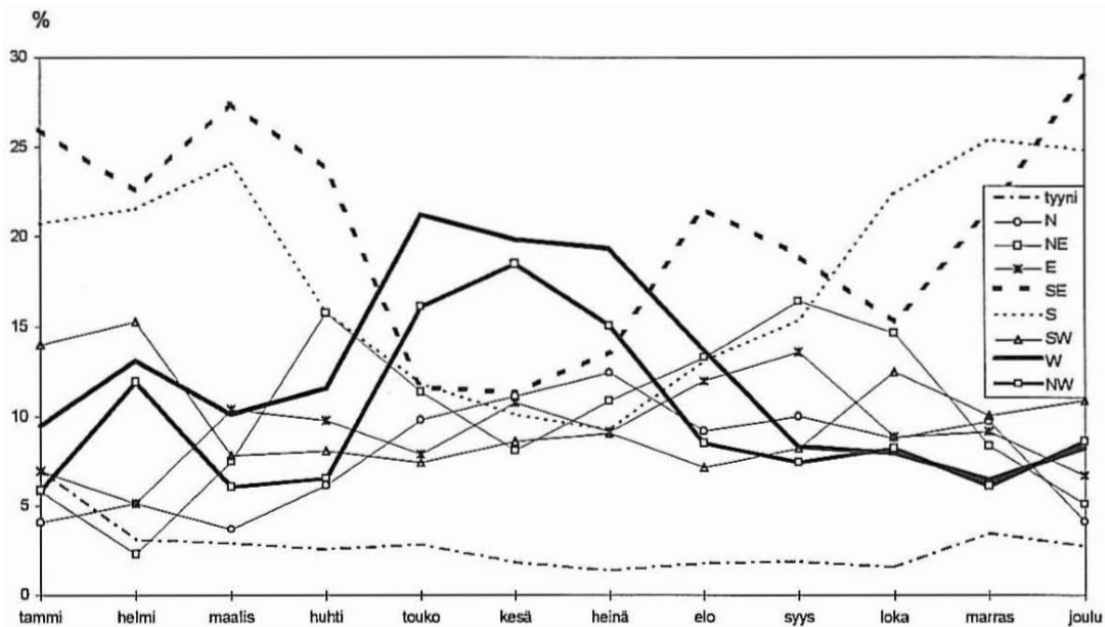
Rakennuksen muoto ja ympäristön rosoisuus vaikuttavat tuulikuormien laskentaan ja arviointiin. Tilastollista tietoa tuulien suunnista ja toistuvuudesta kerätään Suomessa eri sääasemilla (kuva 3) ja tilastot löytyvät Ilmatieteenlaitoksen verkkosivuilta.



KUVA 3. Tuuliruusut (Tuulisuus Suomessa)

Ilmatieteenlaitos on kerännyt tilastoja eri paikkakunnilla tuulien voimakkuuksista ja suunnista. Oulun Torinrannasta on havaintojen pohjalta luotu taulukko, joka kuvaa tuulensuuntien jakautumista alueella vuoden aikana. Tuulitilastoista on

apua julkisivujen suunnittelussa sekä eri työvaiheiden toteuttamisolosuhteiden arvioinnissa. Alla on kuva tuulensuuntien jakautumisesta kuukausittain Oulun torinrannassa vuosien 1991-1995 välillä (kuva 4). Kuvasta näkee, että talvikuukausina tavallisesti tuulen suunnat ovat etelä ja kaakko, kesäkuukausina hallitsevat puolestaan länsi- sekä koillistuulet.



KUVA 4. Tuulensuuntien keskimääräinen jakautuminen kuukausittain vuosina 1991-1995 Kauppatorin rannassa (Oulun ilmanlaatu, mittaustulokset 1995, 1996, 7)

## 2.2 Kosteus

Rakennuksen toteutuksen ja elinkaaren aikana sen julkisivut altistuvat erilaisille kosteuden muodoille. Rakennustuotteiden valmistusprosessissa materiaaliin saattaa kertyä vettä, minkä lisäksi varastoinnin ja asennuksen aikana rakennusmateriaalien kastuminen on suuri riskitekijä työmailla. (Terveelliset tilat. 2008.)

Rakennuksen käytön aikaisia kosteuden lähteitä on sekä sisä- että ulkopuolella. Sisäpuolella syntyvää kosteutta aiheuttaa mm. siivoaminen, peseytyminen, pyykien kuivattaminen sekä vesi-, viemäri- ja lämmitysputkien vuodot. Ulkopuolelta kosteutta aiheuttavat sade, pintavedet ja maaperän kosteus. Kesällä ulkoilman kosteuspitoisuus on noin 14 g/m<sup>3</sup> ja suhteellinen kosteus 60-80 %. Talvella ul-

koilman kosteuspitoisuus on noin 1g/m<sup>3</sup> ja suhteellinen kosteus 80-90 %. Rakenteiden kosteuspitoisuus vaihtelee ympäröivän ilman kosteuspitoisuuden mukaan. Kosteusvaurio syntyy, mikäli rakenteeseen kertyy kosteutta enemmän kuin sitä pääsee rakenteesta poistumaan ja vaurioitumisprosessi yleensä nopeutuu lämpötilan noustessa. (Terveelliset tilat. 2008.)

Meren rannalla sade tulee monesti viistosateena, jolloin rakennuksen vaipan vesitiiveyden tärkeys korostuu. Vesi voi myös liikkua rakennuksen pinnalla ylöspäin. Kosteudenhallinta onkin yksi merkittävimmistä haasteista merenrannan läheisyydessä rakennettaessa. Rakenteet tulee voida asentaa siten, etteivät ne vaurioidu jo rakentamisen aikana. Liitokset tulee suunnitella niin, että ne ovat työmaalla toteutettavissa ja työmaan vastuulla on niiden huolellinen toteutus. Usein työmaalta myös vaaditaan todentamisdokumentteja työn toteuttamisesta ja ne kootaan esimerkiksi Kuivaketju10-sovellukseen, joka on rakennusalan kehittämä yhteinen toimintamalli kosteusriskien kartoittamiseksi ja kosteusvaurioiden syntymisen estämiseksi. (Mikä on kuivaketju10).

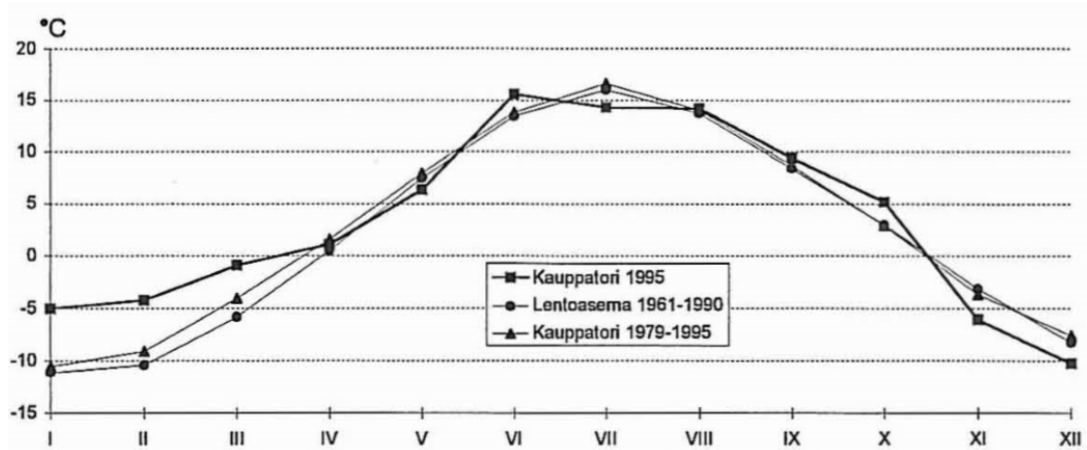
Suomessa merivesi on suolapitoisuudeltaan alhaista murtovettä, mutta se tulee silti huomioida rakenteiden mitoituksessa ja materiaalin ominaisuuksissa merenrannalle rakennettaessa. Kiinnikkeiden täytyy olla korroosio-olosuhteisiin sopivia ja niiden yhteisvaikutus muiden metallien kanssa on tunnettava. (Nousiainen 2009.)

### **2.3 Lämpö**

Tarkasteltaessa rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta tulee ottaa huomioon ilman lämpötila, joka vaikuttaa veden olomuotoon. Vesi voi olla joko kiinteässä, nestemäisessä tai kaasumaisessa olomuodossa. Veden muuttaessa olomuotoa se joko sitoo tai luovuttaa energiaa ja siksi lämpötekniisiä tarkasteluita ei tulisi unohtaa kosteustekniisiä tarkasteluita suoritettaessa. (RATU S-1232. 2013.)

Silikonien käytölle on tuotevalmistajan sivuilla lämpötiloille esitetty alarajaksi +5 C°. Esimerkiksi lasijulkisivujen kittauksia täytyy tehdä pienimuotoisesti myös työmaalla, vaikka alumiini-lasielementit kootaan valmiiksi tehtaalla. Silikonituottei-

den valmistajilla on erillisiä ohjeita silikonitöiden suorittamiseen alle 5 asteen lämpötilassa (Liitokset ja saumat). Kuvassa 5 on esitetty 14 vuoden ajanjakson aikana mitattuja keskilämpötiloja Oulun Torinrannassa.



KUVA 5. kuukauden keskilämpötilat Oulun kauppatorilla v. 1995 ja vv. 1979-1995 (Oulun ilmanlaatu mittaustulokset 2007, 7)

Viime aikoina ilmastonmuutoksen myötä sään ääri-ilmiöt ovat lisääntyneet ja saateiden sekä myrskytuulien on ennustettu lisääntyvän. Maailmanlaajuisesti on tehty kymmeniä ilmastomalleja, joista saatuihin tuloksiin arviot perustuvat. (Suomen muuttuva ilmasto. 2018.) Tammikuussa 2019 mitattiin toistaiseksi Suomen suurimmat merialueiden tuuli-, aallokko- ja vedenkorkeusmittaustulokset. Suurin tuulen nopeuden 10 minuutin keskiarvo oli tuolloin 32,5 m/s, mikä hipoo hirmumyrskyrajaa. Puuskanopeus oli kovimmillaan jopa 41,6 m/s. (Tuuliennätyksiä. 2019.)

### **3 JULKISIVUVAIHTOEHDOT**

Julkisivu ilmentää rakennuksen luonnetta, käyttötarkoitusta ja aikakautta, jolloin se on rakennettu. Se luo rakennuksen ja sen ympäristön visuaalisen ilmeen, minkä vuoksi sen tulisikin olla tarkkaan harkittu ja suunniteltu. Julkisivun toiminnallinen tarkoitus on suojata rakennuksen sisätiloja tuulelta, sateelta ja lämpötilavaihteluilta. Se ei ole kantava rakenne, vaan se kantaa vain sille tulevan tuuli-kuorman sekä oman painon. (Suonto 2007, 7-8.)

#### **3.1 Määräykset ja ohjeet**

Asemakaava ja rakennuspaikka asettavat julkisivun valinnalle reunaehdot. Terwa Towerin sijainti keskeisellä alueella Oulun keskustassa edellyttää ymmärrystä ympäristön ominaispiirteistä. Terwa Towerin matalamman osan kattorakenteet myötäilevätkin perinteisen rakennuskannan harjakattojen muotokieltä (Terwa Tower Oulun uudeksi maamerkiksi. 2018).

Rakennusmateriaalista tulee olla tarpeeksi kokemusta sen kestävyuden, huollettavuuden ja korjattavuuden osalta. Myös materiaalin kierrätettävyydestä tulee olla tietoa. (Oulun kaupungin rakennusjärjestys. 2017.)

#### **3.2 Korkean rakentamisen tuomat erityisvaatimukset työmaalla**

Talvi tuo lisää hankaluuksia työmaaolosuhteisiin kaikilla työmailla mutta ahtaalla tornitalotyömaalla ei ole varaa menettää yhtään enempää varastointialueesta. Lumi on saatava nopeasti kasaan ja pois alueelta ja siihen on oltava resursseja. Kulkureitit on pystyttävä pitämään jäätä vapaana. (Koskenvesa.)

Työnjohtotehtävän vaativuus yli 16 kerrosta käsittävissä rakennuksissa on poikkeuksellisen vaativa. Mikäli vastaavalla työnjohtajalla ei ole jonkun erityisalan kelpoisuutta, on sen työn osalle määrättävä erityisalan työnjohtaja. Työnjohtajien kelpoisuudesta on rakennusvalvonnalle esitettävä selvitykset ennen hyväksymishakemusta. Kaikilla suunnittelualoilla on suunnittelijoiden täytettävä poikkeuksellisen suunnittelutehtävän kelpoisuusvaatimukset. (Ohjekortti YL-04. 2018.)

Riskianalyysi laaditaan kaikista yli 16-kerroksisista rakennuksista ja korkean rakentamisen erityismenettelyt riskianalyyseineen on aloitettava jo ennen rakennuslupavaiheen suunnittelua. Minimivaatimuksiin korkeassa rakentamisessa kuuluu riskianalyysin lisäksi suunnitelmien ulkopuolinen tarkastus. (Ohjekortti YL-05.2018.)

Putoamissuojaukseen on varauduttava laatimalla putoamissuojaussuunnitelma, jossa putoavien esineiden aiheuttamat riskit ja haitat tunnistetaan niiden minimoimiseksi. Putoamissuojaussuunnitelma sisällytetään asennussuunnitelmaan. Työmaan on huolehdittava siitä, että pelastustiet ovat kunnossa ja muutoksista ilmoitetaan pelastuslaitokselle. (Ohjekortti YL-06. 2018.)

Laadunvarmistusta dokumentoidaan kaikissa rakennushankkeissa, mutta korkeassa rakentamisessa siihen liittyy tarkempi viranomaisvalvonta ja riskianalyysiin pohjautuva ulkopuolisen tarkastuksen menettely. Suunnitelmien laadunvarmistusselvitys liitetään osana suunnittelijoiden hyväksyttämisasiakirjoja rakennusvalvontaan toimitettavaksi. Laadunvarmistuksen suorittaja on hankkeen ulkopuolinen henkilö. Suunnitelmakatselmukset ja mallikatselmukset tehdään kaikilta suunnittelulajeilta ja ne liitetään päätoteuttajan laatusuunnitelmaan. Työturvallisuus, ympäristön turvallisuus sekä rakenteiden työnaikainen stabiliteetti on suunnittelussa keskeistä. (Ohjekortti YL-05-2. 2018.)

Vaativia ja riskialttiita vaiheita korkeiden rakennusten suunnittelussa ja toteutuksessa ovat esimerkiksi maanrakennus, perustukset, betoni-, elementti-, teräs- ja julkisivurakenteet ja useat talotekniikkaan liittyvät työt ja niiden vaikutukset rakennusfysikaaliseen toimivuuteen. Näistä vaiheista tulisi tehdä työsuunnittelu- ja laadunvarmistusdokumentit, jotka liitetään työmaan aluesuunnitelmaan, toteutusvaiheen riskikartoitukseen sekä laadunvarmistusselvitykseen. Kyseistä rakennusvaihetta ei saa aloittaa ennen viranomaisen hyväksymää laadunvarmistusselvitystä. (Ohjekortti YL-05-3. 2018.)

Kosteusriskit kartoitetaan riskianalyysin avulla hankkeen kaikissa vaiheissa ja kosteudenhallintasuunnitelma sisällytetään laadunvarmistusselvityksiin. Kosteudenhallinnan toimintamallissa otetaan huomioon korkean rakentamisen erityisriskit ja kyseessä olevan rakennuspaikan olosuhteet. Erityistä huomiota kiinnitetään



ulkovaipan rakennusaikaisiin riskeihin ja ratkaisujen luotettavuuteen. (Ohjekortti RAK-07. 2018.)

### **3.3 Lasijulkisivujärjestelmä**

Julkisivuun tarkoitettujen lasien tulee olla joko laminoituja, karkaistuja tai molempia, eivätkä rakennuksen osat saa aiheuttaa vaaratilanteita ympäristössä liikkuville. Ennen asennustyön aloittamista tulee varmistaa, että lasielementit eivät ole kuljetuksessa rikkoutuneet ja että ne täyttävät muutenkin voimassaolevat SFA-EN-standardien laatuvaatimukset. Lasin tulee olla tasalaatuista eikä sen pinnassa saa olla läiskiä tai naarmuja. Muussa tapauksessa lasia ei asenneta. (RunkoRYL 2010.)

Lasin U-arvolla päästään nykyään reilusti alle 1 W/m<sup>2</sup>K eikä perinteisten rakennusmateriaalien korvaaminen lasilla ole paloturvallisuuden tai ääneneristävyyden kannalta enää ongelma. Sähköä johtava lasi voi toimia myös lämmön lähteenä. Äänieristävyyssominaisuuksia voi parantaa laminoinnilla, lasin paksuudella, lasilevyjen määrällä ja niiden etäisyydellä toisiinsa nähden. U-arvon lisäksi lasin ominaisuuksiin liittyy myös g-arvo, mikä kertoo säteilyenergian kokonaisläpäisevyyden. Mitä matalampi on g-arvo, sitä vähemmän auringon lämpöenergia pääsee lämmittämään tilaa. Mikäli ylikämmenemisen vaaraa ei ole, kannattaa valita mahdollisimman matala U-arvo estämään lämmön karkaamista ulos ja vastaavasti korkea g-arvo, jolloin kaikki mahdollinen lämpösäteily pääsee sisään. (Lasifakta 2018.)

Lasista on jo satoja vuosia toteutettu rakennusten julkisivuja ja kattoja. Nykyisenkaltaisia lasijärjestelmiä on käytetty 70-luvulta lähtien ja lasipinnat yhtenäisinä pintoina ovatkin luotettavia. Ongelmia syntyy lähinnä liitoskohdissa, joista on käytössä useita eri ratkaisuvaihtoehtoja. Koska liitos- ja detaljityyppejä on useita, ei niiden toimivuudesta vielä ole saatu kerättyä tarpeeksi laajaa tietoa. Lasielementtivalmistajien ohjeistuksiin on kerätty muutamia liitosmalleja, jotka kuitenkin soveltuvat vain harvoihin kohteisiin. Toinen tekijä virheiden syntymiselle on huono tiedon kulku ja suunnittelun puute. (Pekkala - Vikman 2008.)

Lasirakenteisessa seinässä kosteuden kondensoituminen rakenteen ulko- tai sisäpuolelle ja myös lasien väliin voi olla ongelma. Kondensoitumiseen liittyvät lasirakenteen U-arvo, lasin pinnan lämpötila, lämpötilaerot ulko- ja sisäilmassa, suhteellinen kosteus ja ilmavirtausten voimakkuus. Näiden ominaisuuksien avulla on myös mahdollista laskea ja analysoida kondensoitumisriskiä. (Lasifakta 2018.)

Sisäpintaan muodostuvaan kondenssiin on syynä ikkunan huono eristävyys ja sisäilman kosteuspitoisuus. Usein lasin reunoilla sijaitsevista reunalistoista aiheutuu kylmäsiltoja lasiin ja kosteus tiivistyy näille alueille. Talviaikaan kostea ilma voi kondensoitua myös lasien väliin, johon on syynä välitilan huono tiiviys. Välitilaan tiivistyvä kosteus aiheuttaa ajan kuluessa lasin samentumista. Ulkopintaan tiivistyvä kosteus taas kertoo siitä, että lasin pinnan lämpötila on pienempi kuin ilman kastepiste. Tämä johtuu siitä, että ikkunan U-arvo on niin hyvä, ettei hukkalämpöä muodostu tarpeeksi lämmittämään lasin ulkopintaa. Ulkopinnan huurtumista voi estää valitsemalla kondenssia estävä lasituote uloimmaksi pinnaksi. (Lasifakta 2018.)

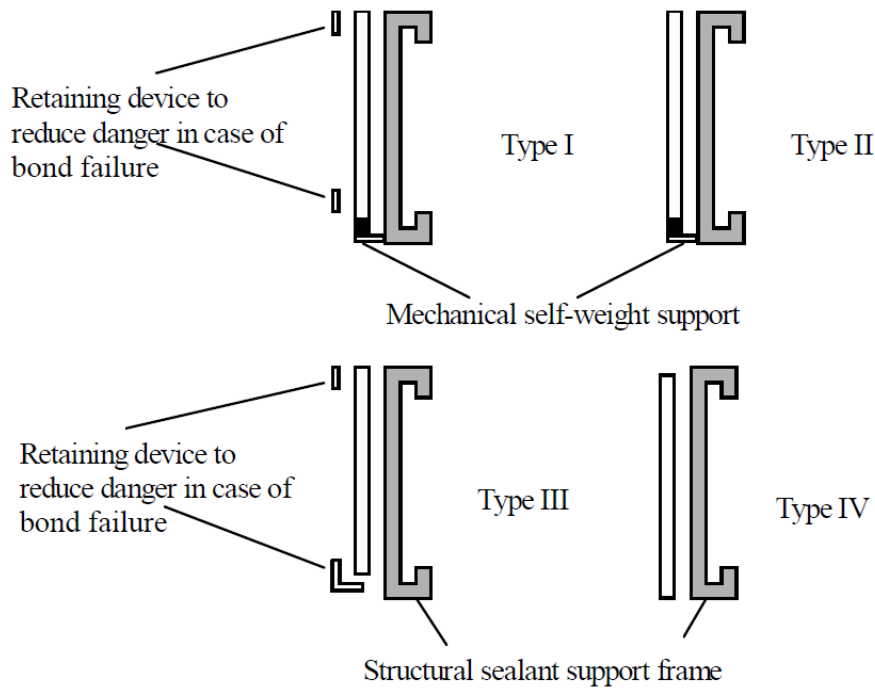
Julkisivun auringonvalon heijastumista ja vaikutuksista ympäristöön pitää tehdä selvitys rakennusvalvontaan. Sen vuoksi julkisivun suunnittelija on tarpeen kiinnittää rakennushankkeeseen aikaisessa vaiheessa, sillä mallinnukset analysoineen sekä simuloinnit on hyvä suorittaa jo hankkeen alussa. (YL-07. 2018.)

### **3.4 SG-järjestelmä**

Structural glazing -järjestelmä on silikonilla kantavaan kehykseen liimattu lasi, jota käytetään yleisesti rakennusten julkisivuissa. Liimaus tapahtuu puhtaissa ja hallituissa tehdasolosuhteissa ja kiinnityksellä on oltava laadunvarmistusmenetelmä. Liimalasijärjestelmän testausmenetelmät sekä mm. käyttöturvallisuus-, vesitiiviys- ja energiataloudellisuusvaatimukset on esitetty eurooppalaisen teknisen hyväksynnän ohjeissa ETAG 002.

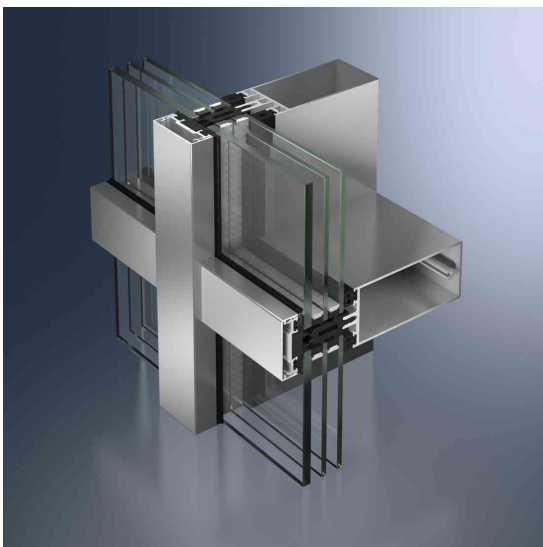
SG-järjestelmän kiinnitys voidaan toteuttaa neljällä eri tavalla. Tyyppi I:ssä on tukirakenne oman painon siirtämiseksi kantavaan rakenteeseen ja liimaus, joka siirtää tuulikuormat sekä kiinnitys, joka toimii silloin, jos liimakiinnitys pettää. Tyyppi II:ssä on myös tukirakenne oman painon siirtämiseksi tukikehykseen ja

sitä kautta rakenteeseen mutta silikoniliima siirtää muut kuormat. Tyyppi III:ssa lasi on kiinnitetty silikoniliimalla sekä mekaanisesti listoilla kantavaan rakenteeseen. Tyyppi IV:ssa silikoniliima siirtää kaikki kuormat mukaan lukien oman painon, eikä mekaanista kiinnitystä ole ollenkaan. (ETAG 002.)



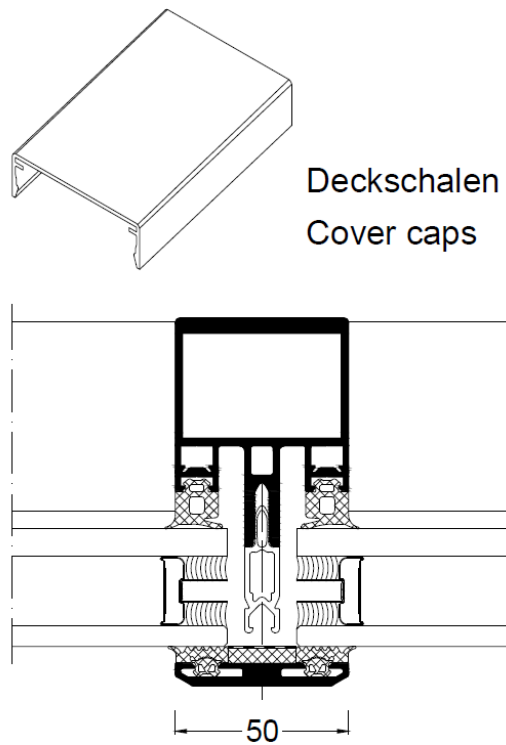
**KUVA 6. Kiinnitysmenetelmät (ETAG 002)**

Liimalasielementit on mahdollista saada pintalistoilla tai ilman. Kuvassa 7 näkyy Schüco FW 50+ SG.SI pintalistalla.

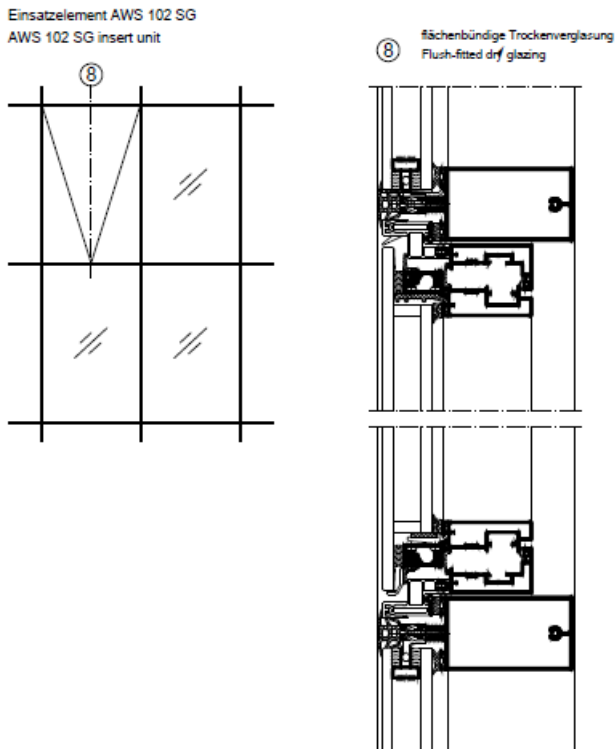


**KUVA 7. Schüco FW 50+ SG.SI (Schüco Suomi. 2019)**

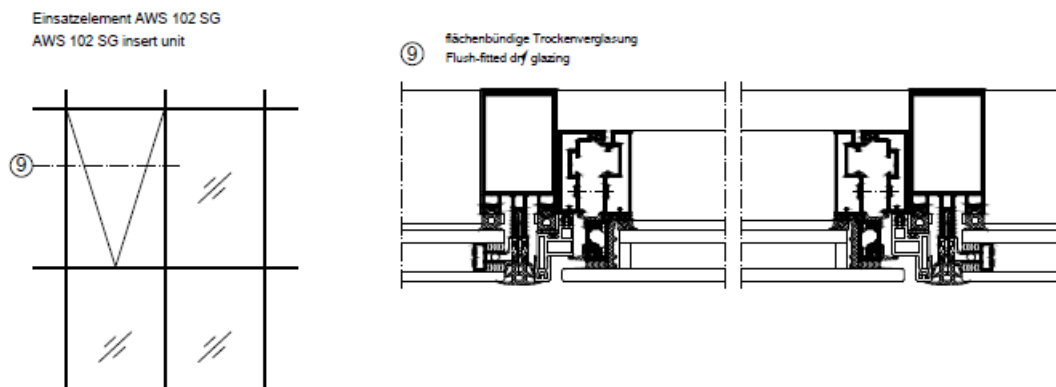
Kuvissa 8-10 on Schücon alumiini-lasielementtien leikkauksia. Ne ovat leikkauksia valmiista elementeistä eikä niissä näy liittymiä muihin rakenteisiin.



KUVA 8. Schücon lasielementtien liitos ja pintalista (Schüco Suomi. 2019)



KUVA 9. Schücon lasielementin pystyleikkaus (Schüco Suomi. 2019)



KUVA 10. Schücon lasielementin vaakaleikkaus (Schüco Suomi. 2019)

Lasielementit kiinnitetään välipohjalaattojen otsaan tai holvin yläpintaan. Betoni-rakenteet, joihin lasielementit on tarkoitus asentaa, tulee mitata ennen asentamista, koska muutoin ei mittapoikkeamien oikaisuun ja korjaamiseen jää aikaa. Suunnittelussa on otettava huomioon lasin lämpöliikkeet ja kantavana rakenteena toimivan materiaalin muodonmuutokset ja betonin kutistuminen. Rakenne mitoitetaan paineelliselle vedelle. Suunnittelun ohjaaminen ja sille kohdennettu

riittävä budjetti on paras tae rakenteen onnistumiselle. Rakenteen teknisen toimivuuden ymmärtäminen on erityisen tärkeää. Vedenpitävyys ei saa olla pelkääntään kumitiivisteiden varassa, koska kumin ja muovin käyttöikä on suhteellisen lyhyt. (Pekkala - Vikman 2008.)

Tuoteosakaupan yhteydessä lasijulkisivu-urakoitsijan täytyy hyväksyttää toimitajan laadunvarmistus selvitys rakennushankkeeseen ryhtyvällä. Suunnitelmakatselmukset toteutusvaiheen mallikatselmuksineen liitetään päätoteuttajan laatusuunnitelmaan. (Ohjekortti YL-5-2. 2018.)

### **3.5 Sandwich-elementit**

Betoni rakennusmateriaalina tuli Suomeen 1920-50-lukujen aikana teollistumisen ja kaupungistumisen myötä ja sitä myös Alvar Aalto käytti rohkeasti useissa suunnittelemissaan kohteissa. Betonielementtirakentamisen aikakausi alkoi Suomessa 60 – 70-lukujen vaihteessa, jolloin kasvavat muuttovirrat vaativat nopeaa asuntotuotantoa, jonka elementtirakentaminen tarjosi monipuolisine ja tilavine pohjaratkaisuineen. Elementtirakentamisen ulkonäöstä ja laadusta huolestuttiin 80-luvun alkupuolella nopean rakentamisen ja kustannustehokkuuden vietyä huomion asuinympäristön ja piharakenteiden viihtyvyydestä. (Elementtirakentamisen historia. 2010.)

Runkojärjestelmä Sandwich-julkisivua käytettäessä on tyypillisesti kantavat väliseinät-laatat -järjestelmä, jossa seinäelementin sisäkuori on kantava ja tukee välipohjalaattaa. Sandwich-rakenteen etuna on korkea esivalmistusaste, joka mahdollistaa nopeamman rakentamisajan ja asennustyön määrän vähenemisen työmaalla. Ikkunat voidaan myös asentaa valmiiksi jo tehtaalla, mikä vähentää turvakaaideaasennuksia sekä ylimääräisiä vaakasiirtoja holvilla. Myös varastoinnin tarve työmaalla vähenee. Toisaalta esiasennettaessa hankinta-ajankohta aikaisuu ikkunoiden osalta. Täytyy myös ottaa huomioon, että kaikilla elementtitehtailla ei välttämättä ole asennusmahdollisuutta tilojen puolesta järjestettävissä. Esi-asennusten edut korostuvat kuitenkin huomattavasti taloudellisuuden ja turvallisuuden näkökulmasta varsinkin korkeissa rakennuksissa. Myös kerroksen lämmitys saadaan käyntiin aikaisemmin. (Elementtisuunnittelu.fi. 2010.)

Betoni rakennusmateriaalina on massiivisuutensa vuoksi äänieristysominaisuuksiltaan hyvä ja sillä voidaan toteuttaa P1-luokan rakennuksen osastoivat rakenteet. Tornitalotyömaalla asennusolosuhteet ovat usein haastavia ja elementtirakentamisen hyöty on valmiiden sisä- ja ulkopintojen mahdollisuus. Tarvittaessa betoninen julkisivurakenne on jo ennen asennusta valmiiksi käsitelty tai pinnoitettu ja siihen on voitu asentaa muut täydentävät varusteet. (Elementtisuunnittelu.fi. 2010.)

Sandwich-elementissä on sisä- ja ulkokuori liitetty tehtaalla toisiinsa ansailla ja kuorien välissä on tuuletusurallinen eriste. Ansaat siirtävät ulkokuoren oman painon ja sille tulevien kuormien voimat sisäkuorelle. Elementin sisäkuori voi olla eikantava, jolloin sen paksuus on 80 mm, tai kantava, jolloin paksuus on 120 mm tai suurempi. Betonin lujuus on ulkokuoressa K35, jolloin sen raudotteiden täytyy olla ruostumatonta terästä. Tavallisia raudotteita käytettäessä betonin täytyy olla vähintään luokkaa K45. (RT 82-10766, 10.)

Betonijulkisivun ulkonäköön vaikuttavat negatiivisesti muun muassa sade, pöly, kalkkivuodot ja julkisivun pinnalle siirtyvä orgaaninen aines. Julkisivun osat, joihin pääsee toistuvasti valumaan likaisempaa vettä katolta ja parvekkeilta, näkyy likaantuneena alueena. Julkisivun kadun tasalla oleva alue taas likaantuu ihmisen toimesta, likaisen veden roiskumisesta liikenteen ja tien kunnossapidon seurauksena sekä kasvillisuuden aiheuttamana. (Betonipinnat ja pintakäsittelyt.)

Julkisivun pitkäaikaiskestävyyteen voidaan vaikuttaa betonityypillä sekä pintakäsittelyllä. Likaantumiseen voidaan vaikuttaa suojaamalla julkisivu pinnoitteella, joka suojaa pintaa kosteuden imeytymiseltä materiaalin läpi. Erilaisia suojapinnoitteita ovat silaanit, siloksaanit, silikonihartsit ja teflonit, joiden avulla pinta saadaan vettä hylkiväksi. (RT 82-10766. 10.)

Erilaiset käsittelyt nostavat betonielementtien neliöhintaa jopa lähes 2,5-kertaiseksi (taulukko 2).

*TAULUKKO 2. Betonipintojen hintasuhteiden vertailutaulukko; Suhteellisin hinnoin taulukoitu siten, että harmaan, harjattupintaisen julkisivuelementin hinta on 100 (RT 82-10766. 2001)*

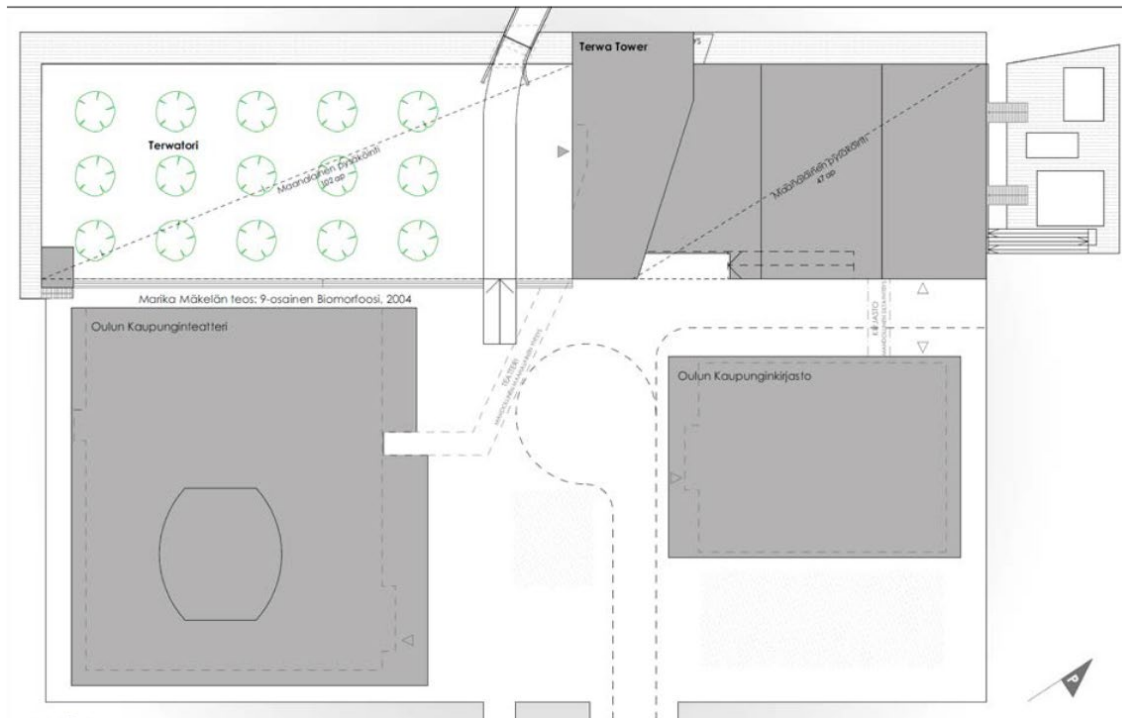
| harjattu pinta | pesubetonipinta, vakiorouhe        |               | hienopesty pinta, valkosementti |              |             | hiekkapuhallettu pinta | happopesty tai lasuuripinta | hiottu pinta tai meislattu pinta |
|----------------|------------------------------------|---------------|---------------------------------|--------------|-------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
|                | harmaa sementti tai maalattu pinta | valkosementti | tuore rappaus                   | väripigmenti | profilointi |                        |                             |                                  |
| 100            | 120                                | 130           | 135                             | 140          | 160         | 165                    | 180                         | 245                              |
| 90...110       | 110...130                          | 120...140     | 120...150                       | 130...180    | 140...180   | 140...190              | 140...220                   | 170...310                        |



## 4 OULUN TERWA TOWERIN TOTEUTUKSEN SUUNNITTELU

Terwa Tower on suunniteltu rakennettavaksi Ouluun torinrantaan keinotekoisesti valmistetulle Vänmanninsaarelle, jonka mantereen puoleisella osalla sijaitsevat Oulun kaupunginteatteri sekä kaupunginkirjasto. Kohteessa tulee olemaan 22 maanpäällistä kerrosta ja maanalainen parkkihalli. Rakennuksen pinta-ala tulee olemaan noin 24 000 kem<sup>2</sup> ja korkeus noin 80 m. Ensimmäiseen kerrokseen on suunniteltu aulan lisäksi ravintolasali, keittiö ja spa sekä merivesialtaita. Toiseen ja kolmanteen kerrokseen sijoittuvat toimisto- ja kokoustilat. Kymmenen seuraavaa kerrosta ovat hotellin tiloja ja 14.-21. kerrokset yksityisomisteisia CitySuites-kaksioita ja kolmioita. Ylimmässä kerroksessa sijaitsee 820 m<sup>2</sup>:n kokoinen kohtaamispaikka. Kohteen rakentaa YIT Suomi Oy ja sen pääsuunnittelijana toimii JK-Arkkitehdit. (Terwa Tower Oulun uudeksi maamerkiksi. 2018)

Rakennus ja siihen liittyvät rakennetut alueet parkkihalleineen rajoittuvat kolmelta sivultaan mereen. Yksi suurimmista työmaan toimivuuteen liittyvistä ongelmista tulee olemaan rakentaminen ahtaalle tontille, jota meri ympäröi kolmelta sivulta. Kuvasta 12 nähdään, että työmaalle johtaa ainoastaan yksi moottoriajoneuvoille tarkoitettu kulkuväylä, joka kulkee kirjaston ja teatterin välitse. Tämä aiheuttaa ongelmia logistiikalle, mikäli kulku tai tavarantoimitus alueelle sitä kautta estyy (kuva 11).



KUVA 11. Vänmanninsaaren asemakaava (Terwa Tower Oulun uudeksi maa-merkiksi. 2018)

Koska rakennuspaikka on meren ympäröimä ja rakentaminen tapahtuu osittain merenpinnan alapuolella, rakennuksen ympärille on tarkoitus rakentaa 6 metriä leveä moreenipato. Rakennuspaikalta poistettavaa maa-ainesta voidaan käyttää moreenipadon rakentamiseen. Moreenipadon päältä voi autonosturilla asentaa julkisivuelementtejä myös meren puoleiselle seinälle. Pikisaarensillan ja Torinrannan välinen kulku järjestetään myös moreenipadon päältä ja myöhemmässä vaiheessa kulku voidaan järjestää vuokrattavista konteista rakennetun käytävän avulla. Käytävää pitkin voi turvallisesti kulkea työmaan ohi. (Myllykangas 2019.)

Suomen sääolosuhteet tuovat lisähaastetta työmaalle lumen, jään ja tuulen muodossa. Jään kertyminen kulkureiteille ja rakenteisiin aiheuttaa työn viivästymistä ja on turvallisuusriski. Esimerkiksi nosturin käyttö pysäytetään, kun tuulennopeus on yli 15 m/s ja saksinostimilla tuuliraja on vain 12,5 m/s (Ratu 1197-S, 15).

#### 4.1 SG-lasijulkisivu-urakka

Opinnäytetyössä haastateltiin erään elementtitoimittajan myyntipäällikköä. Luvussa 4.2 esitetyt, asennustöihin liittyvät asiat perustuvat myyntipäällikön haastatteluun.

Asennusnopeus kevytelementtijulkisivulle on yleensä isoilla elementeillä keskimäärin 5-10 elementtiä työpäivän aikana, jos valmistelut on suoritettu etukäteen. Pienempiä elementtejä saadaan asennettua 20–30 kappaletta työpäivän aikana. Elementit tuodaan työmaalle asennussuunnitelman mukaan ja ne voidaan asentaa joko suoraan autosta tai varastoida fakkiin. Elementtitehdas sijaitsee reilun kuuden tunnin ajomatkan päässä Oulusta. Joskus elementtien välivarastointia varten on vuokrattu varastotilat työmaan läheisyydestä, mikä mahdollistaa elementtien saatavuuden lyhyelläkin varoitusaajalla silloin, kun työmaa on ahdas eikä säilyttämiseen tarvittavia alueita työmaalla ole.

Jos elementti vaurioituu kuljetuksessa tai asennettaessa, siihen varaudutaan puskurilla. Samantyyppisiä elementtejä on siis koko ajan varalla ja saatavissa tai asennusta voidaan jatkaa toisesta kohtaa, kunnes korvaava tuote saadaan työmaalle. Näin varmistetaan aikataulussa pysyminen.

Järjestelmän toteutus suunnitellaan yhteistyössä pääurakoitsijan kanssa, jotta asennustyölle saataisiin hyvät lähtökohdat ja yhteisymmärrys menettelytavoista. Aloituspalaverissa suunnitellaan töiden aloitusajankohta ja nosturin tarve, mutta yleensä lasijulkisivua lähdetään asentamaan tornitaloon, kun rungossa on päästy 3.-4. kerroksen korkeuteen. Silloin, kun nosturi on paljon varattuna, voidaan sopia töiden tekemisestä useammassa vuorossa. Autonosturin käyttö julkisivulasin asennuksessa on mahdollista, mutta sen sijoittaminen ahtaalla työmaalla voi olla haastavaa.

Asennuspaikan tulee asennusten alkaessa olla perussiisti. Asennustoleranssi holvin päälle kiinnitettäessä on noin 15 mm ja välipohjalaatan otsaan kiinnitettäessä noin 20 mm. Asennustoleranssit tarkentuvat projektikohtaisesti. Julkisivuelementit kiinnitetään välipohjiin elementtikannakkeilla. Mikäli julkisivun kannakkeet asennetaan holvin päälle, ei niitä tarvitse valussa huomioida. Ne myös

jäävät pintavalun alle piiloon. Kiinnitys tapahtuu ruuviankkurikiinnityksellä tai joskus hitsaamalla. Kannakkeet voidaan myös kiinnittää välipohjavaluihin valmiiksi upotettuihin kiinnityskiskoihin.

Materiaali nostetaan holville joko torni- tai autonosturilla. Lasiasennus ja esivalmistelut tehdään yleensä kahdella työryhmällä, joista toinen valmistelee ja siistii asennuspinnat ja asentaa kiinnikkeet. Toinen työryhmä nostaa elementit suoraan kuorma-autosta tai varastointipisteeltä. Asennus tapahtuu rakennuksen sisäpuolelta.

Rungon valujen edetessä on tietysti varottava betonin kosketusta alumiini- ja lasirakenteisiin. Betoni vaurioittaa helposti pintoja, joihin jää pysyvät jäljet. Lasielementtijärjestelmät asennetaan suojattuina, joten vaurioita on syntynyt harvoin eikä elementtejä ole ollut tarpeen vaihtaa yksittäisten lasien rikkoutumista lukuun ottamatta. Holvin ja lasielementin välinen aukko on kuitenkin tukittava huolellisesti valujen aikana.

Lasielementtijulkisivun asentamiselle ei ole muista työmaan toiminnoista poikkeavia lämpötilarajoituksia. Elementit kootaan ja kitataan tehtaalla eikä rakenteellisia kittauksia työmaalla tehdä pieniä korjauksia lukuun ottamatta.

Suunniteltuun käyttöikään vaikuttavat useat eri komponentit eristevillasta kittiin, ja eri alumiinitoimittajilla on omat järjestelmänsä luokituksineen. Käyttöikä tarkentuu kohteen vaatimusten ja projektikohtaisten suunnitteluratkaisujen myötä.

## **4.2 Alumiini-lasielementtityypit ja asennus**

Elementtitoimittaja esitti Terwa Towerin lasijulkisivuksi kolmea eri vaihtoehtoa, joita käytiin läpi Skype-palaverissa. Näitä vaihtoehtoja käsitellään luvussa 4.2. Luvun loppupuolella olevissa kappaleissa käsitellään asennusten tekemistä ja olosuhteita työmaan näkökulmasta perustuen kirjoittajan omiin havaintoihin. Niissä pyritään huomioimaan rakentamisalueen asettamat ehdot.

Ensimmäinen, arkkitehdin havainnekuvia eniten mukaileva vaihtoehto, oli vaihtoehtoista näyttävin ja erikoisin ulkonäöltään. Tässä vaihtoehdossa oli saatavilla

paljon erilaisia profiileja, jotka mahdollistavat näyttävät, viistot muodot. Vaihtoehto oli kuitenkin kaikista kolmesta riskialttein kosteusvaurioille ja siinä oli eniten vuotokohtien mahdollisuuksia sekä laskennallisesti huonoin u-arvo. Kustannuksiltaan tämä vaihtoehto oli 1,5-kertainen halvimpaan vaihtoehtoon verrattuna ja se korostuu myös elinkaarikustannusten näkökulmasta entisestään. Elementit ovat 1 m<sup>2</sup>:n kokoisia, joten asennuksia olisi määrällisesti paljon.

Toisen vaihtoehdon detaljiikka oli samanlainen kuin vaihtoehdossa 1. Etuna siinä oli ulkonäön puolesta tasainen ulkopinta, koska tässä vaihtoehdossa ei pintalistoja ole. Vaihtoehto 2:ssa oli suorat ikkunat ja vähemmän riskipaikkoja kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa ja u-arvo oli 0,45 W/m<sup>2</sup>K. Hinta puolestaan oli 1,2-kertainen verrattuna halvimpaan vaihtoehtoon.

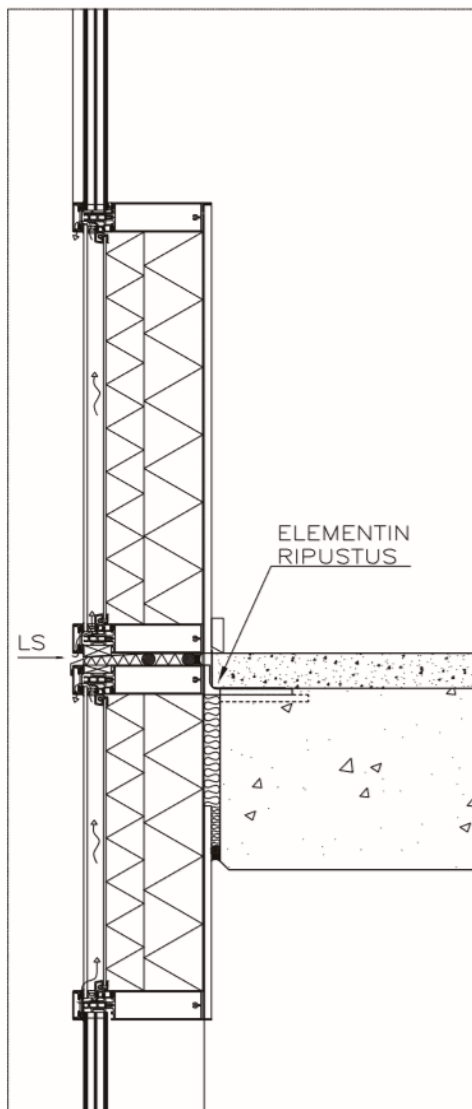
Kolmas vaihtoehto oli asennuseriaatteeltaan sama kuin kaksi ensimmäistä vaihtoehtoa, mutta se oli tiiveyden sekä kosteusteknisen toimivuuden perusteella varmin vaihtoehdoista. Sen u-arvo oli myös 0,45 W/m<sup>2</sup>K. Elementtien pituus on 2 700–4 000 mm, korkeus 3 400 mm ja elementit painavat maksimissaan 1 000 kg, joten ne ovat betonielementtejä paljon kevyempiä ja mahdollisia asentaa autonosturilla ainakin osaan kerroksista. Vaikka kolmas vaihto oli vaihtoehdoista ulkonäöltään yksinkertaisin, on vaihtoehdossa mahdollista luoda pintaan sävyeroja hiomalla eri suuntiin tai anodisoimalla elementin alumiiniosia. Lasi- ja alumiinipintojen suhdetta voi muokata elementissä vapaasti.

Vartenotettavimmaksi vaihtoehdoksi osoittautui julkisivulaseielementtien vaihtoehdoista viimeksi mainittu pintalistallinen Schüco 50+SG. Erityisesti korkean rakennuksen asettamat vaatimukset yhdistettyinä merenrantarakentamiseen puolisivat tätä kosteusteknisesti toimivinta vaihtoehtoa. Ennen toteutusta on kuitenkin oleellista testata kohteessa käytettävien liittymien tiiveyttä ja panostaa suunnitelmien yksinkertaisina pitämiseen (Pekkala. 2010).

Opinnäytetyötä tehtäessä havaittiin, että työmaalla on usein huolena se, ettei suunnittelijalla välttämättä ole käsitystä siitä, miten rakenteet toteutetaan työmaalla. Asennusvaiheessa ei pitäisi enää joutua ongelmakohtia suunnittelemaan. Välipohjien kohdalla on lasiseinän ja välipohjan välisen tilan suunnittelu

muistettava ja sen täytyy täyttää äänieristys-, ilmatiiviys- ja paloneristysvaatimukset.

Kuvassa 12 on Rakennustiedon verkkojulkaisusta otettu esimerkkiliitos, jossa on käsitelty lasiseinien ja -kattojen toteutusta ja ongelmakohtia. Kuvassa elementti on kiinnitetty välipohjalaatan päälle ja pintavalu peittää kiinnikkeen. Toinen vaihtoehto on välipohjalaatan otsaan kiinnitettävät kiskot.



*KUVA 12. Liitos välipohjan kohdalla (Pekkala. 2010)*

Elementin listoissa on reiät tuuletusta varten ja niiden kuivatuskyky on melko pieni, joten eristeet on työmaalla pystyttävä pitämään kuivana eikä kosteutta saa

rakenteeseen tulla juuri lainkaan. Betonin ei saa antaa myöskään kuivua villatiilaan, joten niiden välissä on oltava tehokas höyrynsulku. Myös lasiseinien osien sisäverhouksena usein käytettävä kipsilevy on herkkä kosteudelle. Se kannattaisikin asentaa vasta, kun rakennuksen sisällä on riittävän kuivat olosuhteet. (Pekala 2010.)

Saumojen tulee olla joustavia ja niiden tulee kestää myös paineellista vettä. Alumiinin lämpölaajenemiskerroin on noin kaksinkertainen betoniin verrattuna (taulukko 3). Sen vuoksi lasi ei saa olla kosketuksissa alumiiniin vaan välissä täytyy olla varaa lämpölaajenemiselle. Pienestäkin vuotokohdasta voi päästä rakenteeseen niin paljon vettä, ettei se kuivu riittävän nopeasti ennen kosteusvaurion syntymistä.

*TAULUKKO 3. Eri aineiden lämpölaajenemiskertoimia*

| <b>Aine</b>     | <b>Lämpölaajenemiskerroin (1/°C)</b> |
|-----------------|--------------------------------------|
| <b>Alumiini</b> | 0,000 023                            |
| <b>Betoni</b>   | 0,000 012                            |
| <b>Lasi</b>     | 0,000 006                            |
| <b>Rauta</b>    | 0,000 012                            |

Mallityön tekeminen antaa tilaajalle tietoa asentajan ammattitaidosta ja järjestelmän toimivuudesta kohteessa. Lasirakenteiden asennukseen perehtyneen henkilön tulisi valvoa asennusta ja puuttua tarpeen vaatiessa asennustapaan.

Lasi-elementtien asennus tapahtuu ulkopuolelta kurottajan korista, korkeissa rakennuksissa kuitenkin yleensä rakennuksen sisäpuolella. Holvin reunalla on kaiteet tai asentajat ovat kantaviin rakenteisiin kiinnitetyissä turvavaljaissa. Elementit voidaan joissakin tapauksissa nostaa etukäteen kerrokseen, jossa ne asennetaan kerroksessa olevan, pienemmän nosturin avulla paikoilleen (kuva 13).



*KUVA 13. Laselementtien asennusta kerroksessa olevaa nosturia apuna käyttäen (Schüco Suomi. 2019)*

Havaittiin, että ongelma lasielementtien varastoinnissa holville tulisi olemaan Terwa Towerin hankkeessa se, että paikallavalettu holvi on tiheästi tuettu valutuilla useamman viikon ajan. Jos julkisivuasennus olisi tarkoitus aloittaa, kun runko on noussut 4. kerroksen korkeuteen, olisivat ylemmän kerroksen holvin tuennat vielä todennäköisesti 1-2 viikon ajan tiellä, riippuen rakennesuunnittelijan määrittelemästä purkulujuuden saavuttamisajankohdasta.

Laselementit tulee varastoida pystyasennossa, joten suurten elementtien säilyttämistä kerroksissa rajoittaa kerroskorkeus (RATU 1197-S, 13). Asennus tapahtuisi siis käytännössä alemmissa kerroksissa autonosturilla ja ylemmissä kerroksissa ainoastaan torninosturilla.

Julkisivusaumaus tehdään yleensä silikonipohjaisella saumamassalla, jonka täytyy kestää vaihtelevat sääolosuhteet ja UV-säteilyä sekä sallia elementtien lämpöliikkeet. Saumausta tehtäessä on oltava huolellinen, ettei saumamassa tahraa julkisivua. Saumausmassan yhteensopivuus käytettävien rakennusmateriaalien kanssa on testattava. Ennen saumausta on varmistettava tartuntapinnan puhtaus ja kuivuus. On muistettava ottaa huomioon, että



tiivistysnauhojen pituuskutistuma on 0,5 % ja kasaanpainuma 25 %. Erityisen huolellinen on oltava nurkkien tiivistyksessä sekä nauhojen jatkoskohdissa ja huomioitava lasin tuuletusaukkojen säilyminen avoimina. (Ratu 1197-S, 12-16).

Saumaus voidaan tehdä kuukulkijalla, kurottajan avulla tai katolle kiinnitettävien kiskojen varassa roikkuvasta riipputelineestä. Riipputelinettä voidaan käyttää sekä rakennusaikana, että rakennuksen käytön aikana huoltotöissä (Myllykangas 2019). Jos näkyviä kiskoja ei haluta, voidaan vaihtoehtoisesti käyttää kattovaunua, jossa kiskot sijaitsevat katolla näkymättömissä. Kuvassa 14 on esitetty Rostek Oy:n kiipeävä huoltokelkka ja sen vaikutus rakennuksen ulkonäköön.



*KUVA 14. Huoltokelkka ja kiskot (Huoltokelkat. 2019)*

Valmiin julkisivulasituksen on täytettävä sopimusasiakirjoissa mainitut vaatimukset materiaalin, mittatarkkuuden ja ulkonäön osalta. Pintojen on oltava asianmukaiset ja tiiviiden täytettävä vaatimukset. Saumojen on jatkuttava lasilevyjen kulmien kohdilla ilman pykälää. Kiinnityksiä tulee olla riittävästi ja niiden täytyy kestää määritellyt rasitukset. Asennustöiden jälkeen pidetään

vastaanottotarkastus, jossa ovat osallisina sopimusasiakirjoissa mainitut osapuolet ja tarkastuksesta laaditaan pöytäkirja. (RATU 1197-S.)

### **4.3 Betonielementtijulkisivun asennus**

Ennen elementtiasennusten aloittamista laaditaan asennussuunnitelma, jonka allekirjoittavat päärakennesuunnittelija, asennustyönjohtaja sekä vastaava mestari. Asennussuunnitelmassa huomioidaan elementtien välivarastointi, nostovälineet, liitosten materiaalit, hitsaaminen, juotosvalujen suojaaminen, asennusaikainen tuenta, asennusjärjestys ja tukipinnan leveys. Asennussuunnitelman mahdolliset muutokset hyväksytetään vastaavalla rakennesuunnittelijalla. (Ratu 0392, 3.)

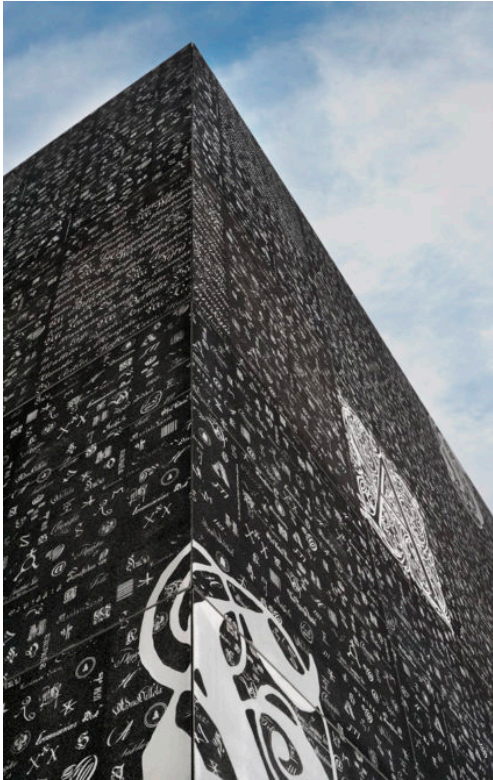
Asennustyön aloituskokouksessa käydään läpi asennussuunnitelma, työmaan olosuhteet, vastuut, työturvallisuus ja työmaan päivitetty aikataulu. Aloituskokous pidetään vähintään viikkoa ennen asennustöiden aloitusta ja siinä ovat mukana työhön osallistuvat työnjohtajat, työntekijät sekä rakennesuunnittelija, joka myös yleensä laatii alustavan asennusjärjestyksen. (Ratu 0392.)

Elementeille suoritetaan vastaanottotarkastus ja puutteet kirjataan ylös. Varastoinnin ja kuljetuksen aikana on usein elementtien reunoista lohjennut palasia. Virheet kuvataan ja lähetetään reklamaationa elementtitoimittajalle tai elementti palautetaan tehtaalte, jos virheen laatu niin vaatii. (Inkala 2019.)

Asennustyön vastaavalla työnjohtajalla tulee olla pätevyys kyseiseen työhön (Ohjekortti YL-2. 2018). Asennustyöryhmällä tulee olla kaikilla suoritettuna ennakkoperehdytys, työmaakohtainen perehdytys sekä asennustyön työkohtainen perehdytys. Yleisimpiä vääriä toimintatapoja perehdytyksestä huolimatta ovat puutteellinen tai vääränlainen suojarustus, vääränlaisten telineiden käyttö ja asenteet turvallisia työskentelytapoja kohtaan. Nostolaitteet tarkistetaan ennen käyttöä ja niistä on löydettävä turvallisen käytön kannalta tarpeelliset merkinnät eikä niiden nostokapasiteettia saa ylittää. (Yleiset työturvallisuusvaatimukset YIT:n työmailla. 2018.)

Terwa Tower on korkea rakennus ja liikennettä kerrosten välillä on paljon, joten työmaa-aikaisia hissejä tulisi olla enemmän kuin yksi. Tavaroiden kuljetus, henkilökunnan ruoka- sekä kahvitauot, jäteastioiden tyhjennys ja muu kulkeminen kuormittaa hissiä ja työtunteja kuluu odotteluun. Materiaalia joudutaan kuljetta-  
maan tavallista enemmän, mikäli holvi on täynnä holvitukia paikallavalettavan vä-  
lipohjan vuoksi. Holvitukien väliin ei saa nostettua keveiden väliseinien materiaa-  
leja, mikä lisää hissin käytön tarvetta. Logistiikka täytyy suunnitella hyvin ja tava-  
rantoimitusten tulee saapua sovittuun aikaan. Toimitusten pitää sisältää oikeat  
määrät tilattua tavaraa. (Inkala 2019.)

Opinnäytetyötä varten tutkittiin erilaisia tapoja käsitellä betonipintoja ja havaittiin,  
että betonijulkisivun pintojen ulkonäön ei tarvitse olla harmaa ja tylsä, vaan eri  
käsittelyillä ja materiaalivalinnoilla saa aikaan erilaisia ja kauniita julkisivuja.  
Muottimateriaalilla ja -pinnalla saadaan aikaan vaihtelevia tekstuureja ja vä-  
risävyjä. Tuoretta betonipintaa voidaan käsitellä hiertämällä ja telaamalla ja ko-  
vettunutta betonipintaa hiekkapuhaltamalla, happopesulla ja hiomalla haluttuun  
kiiltoasteeseen. Betonin väriin voidaan vaikuttaa pigmenteillä sekä kiviainek-  
sen ja sementin värillä. Pigmentointia voidaan käyttää myös paikallavaletuissa  
rakenteissa. Graafisella betonilla saadaan aikaan erikoisia ja näyttäviä pintoja  
(kuva 15).

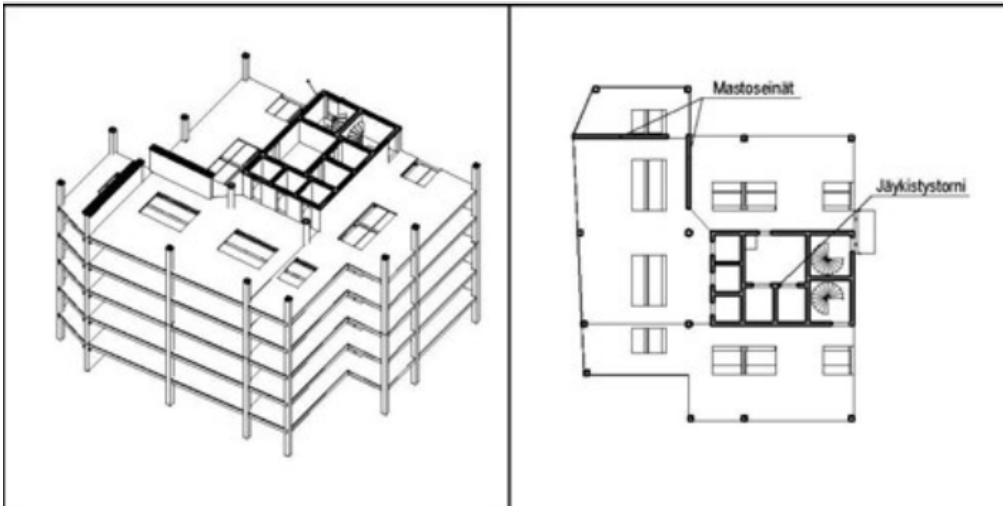


*KUVA 15. Graafista betonia Hämeenlinnan maakunta-arkiston julkisivussa (Pulkkinen)*

Saumat voivat tuoda julkisivuun rytmiä tai ne voidaan myös häivyttää osaksi julkisivua. Oviaukkojen ja ikkunoiden sijainnit ovat melko vapaasti sovitettavissa. (Julkisivut.)

#### **4.4 Terwa Towerin runkojärjestelmä**

Jos päädytään lasijulkisivun valintaan, voidaan olettaa, että rakennuksen runkojärjestelmä on pilarit ja paikallavaletut välipohjat. Jos taas päädytään Sandwich-julkisivuun, suunnitellaan runko todennäköisesti kantavilla väliseinillä ja julkisivuelementtien sisäkuoret ovat kantavia. Toimistorakennusten ja asuinkerrostalojen alimpien kerrosten yleinen runkoratkaisu Suomessa on pilari-laattarunko (kuva 16), joka on jäykistetty hoikalla porras- ja hissikuilulla (Toimistorakennusten runkojärjestelmät. 2010).

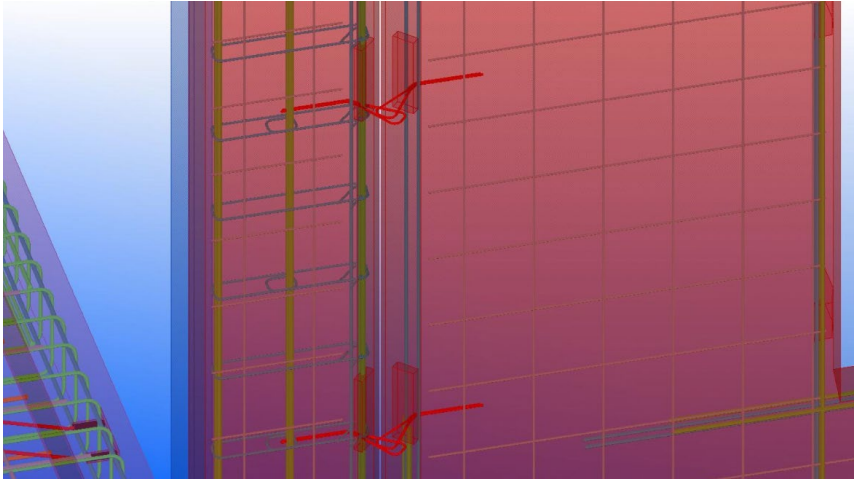


*KUVA 16. Toimistorakennusten yleinen jäykistysjärjestelmä on mastojäykistys (Mastojäykistys. 2010)*

Koska mastojäykistyksessä jäykistävä rakenne on koko rakennukseen nähden hyvin hoikka, on sen rauditus hyvin tiheä ja raskas, minkä vuoksi se myös on hidas toteuttaa. Kantavat ulkoseinät taas jäykistävät rakenteen ja tuulimitoituksessa oma massa kumoaa tuulen vaikutusta. (Heilä 2014, 13.)

Tiheäraudoitteen rakenteen valun tiivistämisen havaittiin työmaalla olevan haastavaa, koska tärysauva ei mahtunut hyvin muottiin, joka oli täynnä raudoitusta. Koloja saattoi jäädä varsinkin aukkojen alapuolelle ja niitä jouduttiin paikkaamaan jälkikäteen.

Toisaalta alimpien kerrosten Sandwich-elementtien asentaminen on haastavampaa ja hitaampaa johtuen pystyliitosten tiheään asennetuista ja jäykistä harjateräsvaarnoista verrattuna matalampien rakennusten vaijerilenkkiliitoksiin (kuva 17). Korkeassa rakentamisessa korostuu valvonnan merkitys ja havaittiinkin, että rakennusvaiheen mestarin on tärkeää olla läsnä kaikissa kriittisissä asennuksissa ja valuissa sekä pitää kiinni aikataulussa pysymisestä yhdessä työryhmän kanssa.



*KUVA 17. Elementin pystysauman liitos (Julkisivut)*

#### **4.5 Tietomallin käyttö rakennustyömaan apuna**

Opinnäytetyöprosessin aikana pohdittiin, että rakennuksen rungon etenemisestä olisi mahdollista luoda aikatauluun perustuva animaatio, jota voisi käyttää havainnollistamaan työntekijöille asennustyön etenemistä. Julkisivuelementtien, raudoituksen ja esimerkiksi lämmitysputkien suunniteltu etenemisjärjestys olisi helppo esittää viikon alussa asennustyöryhmille.

Merivirta (2011, 50–51) on käsitellyt pro gradu -tutkielmassaan tietomallin hyötyjä rakennustyömaalla. Siinä todettiin, että tietomalli on hyvä havainnollistamisen keino rakentamisprosessissa. Elementtien asennusta voitaisiinkin helpottaa tietomallia käyttämällä. Myös elementtitoimittaja voi sisällyttää tietomallinnuksen elementtien suunnitteluun, kuten Tampereen Torni-hotellissa on onnistuneesti tehty (Heilä 2014, 5).

Kuvassa 18 on menossa Oulun Asemantorni 1:n paikallavalettavan porraskäytävän korkean seinän valu IV-konehuoneen kohdalla 13. ja 14. kerroksessa. Huomattiin, että korkeiden elementtien tukeminen oli rakennuksen muodon vuoksi hankalaa ja tukien välisissä sokkeloissa tehtävät juotokset vaikea toteuttaa, koska henkilönostimella ei mahtunut tukien väleihin. Tulevissa kohteissa voisikin kehittää tietomallipohjaisen simulaation keinoin kerroksessa tehtävien rakennus- töiden sujuvuutta suunnittelemalla mallintamalla myös elementtituet. Mikäli työ-

maalla on käytössä esimerkiksi Revit-ohjelma, olisi varastointialueiden suunnittelu ja päivittäminen valmiilla objekteilla helpompaa kuin paperisen version laatiminen.



*KUVA 18. Oikealla reunalla ahdas nurkkaus*

## 5 YHTEENVETO

Vaikka muun maailman mittakaavassa Suomen korkea rakentaminen on vielä kovin matalaa, on siinä sellaisia ilmastollisia haasteita, mitä muualla harvoin on. Suomen talvet ovat kylmiä ja kosteita eivätkä kastuneet rakenteet välttämättä ehdi kesän aikana kuivua. Julkisivun tiiveyden varmistaminen tulee olemaan tärkeässä roolissa, oli julkisivumateriaali mikä hyvänsä. Korkeassa rakentamisessa vaatimusten lisääntyminen niin sääolosuhteiden kuin työturvallisuudenkin kannalta tulevat vaatimaan resurssien kasvattamista tavalliseen työmaahan verrattuna.

Ilmaston on useiden kymmenien ilmastomallien perusteella arvioitu muuttuvan niin, että talvista on tulossa lämpimämpiä sekä kosteampia ja kesistä sateisempia ja tuulisempia. Myös myrskytuulien on ennustettu yleistyvän. Suomen olosuhteissa ei voida käyttää samoja rakenteita kuin esimerkiksi Keski-Euroopassa ja eristeiden paksuus ja liitokset aiheuttavat ongelmia lämpötilavaihteluiden ja kosteuden vuoksi.

Terwa Tower on YIT Suomi Oy:n kehitysvaiheessa oleva 22-kerroksinen rakennus, joka on tarkoitus rakentaa meren rannalle Oulun Vänmanninsaareen. Sen vaihtoehtoisia julkisivurakenteita ovat alumiini-lasi- ja Sandwich-elementit, joiden valintaa ja vaikutusta työmaahan tässä opinnäytetyössä pohdittiin.

Lasijulkisivun valintaa puoltaa sen keveämpi ulkonäkö ja lasipinnan tiiviys. Sen u-arvo on kuitenkin  $0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$  eli huonompi kuin Sandwich-elementillä, jonka u-arvo on  $0,16\text{-}0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tämä kasvattaa rakennuksen elinkaarikustannuksia, minkä lisäksi elementin alumiiniosat johtavat hyvin lämpöä, mikä voi aiheuttaa kylmäsiltoja ja jään kerääntymistä pintalistojen kohdalle. Alumiiniosat voivat myös kolistaa tai pitää ääntä tuulen vaikutuksesta. Lasijulkisivut eivät toimi jäykistävänä rakenteena, mikä lisää raudoitustyön määrää ja betonoinnin haastavuutta työmaalla. Perustuksille tulevat kuormat olisivat kuitenkin pienemmät.

Sandwich-elementeillä voi saada aikaan näyttäviäkin julkisivuja, eivätkä sen riehana ole enää harmaus ja laatikkomaisuus, vaikka toisaalta betonin valmistamisesta aiheutuvia päästöjä pitäisi pystyä paremmin hillitsemään. Ikkunoiden ja



ovien sijoittelu on melko vapaata ja niillä voidaan rytmittää ulkonäköä. Tamperelle rakennettu Torni-hotelli on tehty betonielementtijulkisivuilla ja paikalliset asukkaat ovat olleet tyytyväisiä lopputulokseen, mikä on suhteellisen harvinaista maassamme nykyään.

Sandwich-elementtien asennus pidentää kerroksen valmistumista muutamalla päivällä. Kokonaisaikataulussa se tarkoittaa kahta kuukautta lisää runkovaiheen aikatauluun, vaikka lasijulkisivuvaihtoehdossa runkotyöhön tulisikin nosturin käytöstä johtuen noin neljän viikon tauko (liitteet 1 ja 2). Sisävalmistusvaihe voi kuitenkin alkaa aikaisemmin, koska kerros on säältä suojassa heti seinien asennuksen jälkeen. Sääsuoja ei tarvitse ollenkaan, mikäli ikkunat ja ovet ovat elementeissä paikallaan jo asennettaessa. Pelkät ohuet muovi-suojaseinät eivät pidä sisätiloissa lämpöä, kuten valmiit seinärakenteet ja betonin kuivuminen hidastuu.

Runkotöiden tauko lasijulkisivun asennuksen alettua sattuisi liitteenä olevan aikataulun mukaan heinäkuulle, jolloin siihen voisi sovittaa runkotyöryhmän kesälomat. Todellinen rakennusaikataulu varmistuu kuitenkin vasta myöhemmin eikä välttämättä ole yhtenevä tämän aikataulun kanssa. Betonielementit aiheuttavat perustuksille suuremmat kuormat mutta toisaalta niiden painovoima vähentää tuulen vaikutusta.

Varastointia työmaalla voi molemmissa ratkaisuissa vähentää ajoittamalla toimitukset niin, että elementit asennettaisiin suoraan kuorma-autosta. Mikäli välivarastointi työmaalla on välttämätöntä, on molemmat elementit yhtä lailla suojattava sateelta. Keveämmät ja ohuemmat lasielementit tarvitsisivat kuitenkin hieman vähemmän varastointitilaa kuin Sandwich-elementit. Työmaa-aikaisia hissejä tulisi olla useampi kuin yksi, koska muuten kerrosten välillä tapahtuva liikenne ja rakennusmateriaalien sekä jätteiden kuljettaminen vähentäisi työajan tehokkuutta.

## LÄHTEET

Aatsalo, Johanna 2018. Maakunnissa ja kasvukeskuksissa vireillä yli kymmenen korkean rakentamisen hanketta. Rakennuslehti. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2018/02/maakunnissa-ja-kasvukeskuksissa-vireilla-yli-kymmenen-korkean-rakentamisen-hanketta/>. Hakupäivä 11.4.2019.

Elementtirakentamisen historia. 2010. Elementtisuunnittelu.fi. Betoniteollisuus RY. Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>. Hakupäivä 9.2.2019.

ETAG 002, Guideline for European technical approval for structural sealant glazing kits. 2012. European Organization for Technical Approvals. Saatavissa: <https://www.eota.eu/en-GB/content/etags-used-as-ead/26/27/>. Hakupäivä 15.2.2019.

Hasu, Eija – Staffans, Aija 2014. Korkean rakentamisen pilvilinnat. Yhdyskuntasuunnittelun seura vol 52, nro 4/2014. Saatavissa: <http://www.yss.fi/journal/korkean-rakentamisen-pilvilinnat/>. Hakupäivä 11.4.2019.

Heilä, Sampsa 2014. Tampereen tornihotelli on teollisesti tehty taideteos. Betoni vol. 84, nro 4, 5. Saatavissa: [https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/08/BET1404\\_8-21.pdf](https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/08/BET1404_8-21.pdf). Haettu 14.4.2019.

Huoltokelkat. 2019. Rostek Oy. Saatavissa: <https://www.rostek.fi/fi/huoltokelkka>. Hakupäivä 13.4.2019.

Hyttinen, Arto. 2010. Kipsilevyjen käsittelyohjeita kosteuden huomioon ottamiseksi rakentamisen ja rakennuksen käytön aikana.

Inkala, Arto 2019. Työmaamestari, YIT Suomi Oy. Keskustelu 26.3.2019.

Jaakkola, Tomi 2017. Turvalliset ja toimivat julkisivut korkeissa rakennuksissa. Opinnäytetyö. Helsinki: Metropolia.

Julkisivut. Elementtisuunnittelu.fi. Betoniteollisuus RY. Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/liitokset-ja-saumat>. Hakupäivä 8.4.2019.

Kerrostaloasumisen suosio kasvaa. 2018. Suomen virallinen tilasto (SVT), asunnot ja asuinolot. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: [https://www.stat.fi/til/asas/2017/asas\\_2017\\_2018-05-17\\_tie\\_001\\_fi.html](https://www.stat.fi/til/asas/2017/asas_2017_2018-05-17_tie_001_fi.html). Hakupäivä 19.11.2018.

Kiviluoma, Risto 2010. Suomen korkeimman rakennuksen turvalliset rakennusratkaisut: tuulen vaikutus. Rakennustieto. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK070501.pdf>. Hakupäivä 24.1.2019.

Koskenvesa, Anssi. Talvirakentaminen. Rakennustieto. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK99s697.pdf>. Hakupäivä 11.4.2019.

Lasifakta 2018. Pilkington. Saatavissa: [https://www.pilkington.com/~media/Pilkington/Site%20Content/Finland/Architects/0893\\_Lasifakta2017\\_FI\\_1002.pdf](https://www.pilkington.com/~media/Pilkington/Site%20Content/Finland/Architects/0893_Lasifakta2017_FI_1002.pdf). Hakupäivä 11.4.

Mastojäykistys. 2010. Elementtisuunnittelu.fi. Betoniteollisuus Ry. Saatavissa: [www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/rakennuksen-jaykistys/jaykistysjarjestelmat](http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/rakennuksen-jaykistys/jaykistysjarjestelmat). Hakupäivä 14.4.2019.

Merituuli ja maatuuli. 2018. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/merituuli-ja-maatuuli>. Hakupäivä 19.12.2018.

Merivirta, Maija-Leena 2011. Turvallisuusviestintä rakennusalalla. Saatavissa: <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/26694/URN%3aNBN%3afi%3ajyu-201103221913.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Hakupäivä 14.4.2019

Mikä on kuivaketju10. Rakentamisen Laatu RALA ry. Saatavissa: <http://kuivaketju10.fi/>.  
Hakupäivä 11.4.2019.

Myllykangas, Markku 2019. Vastaava mestari, YIT Suomi Oy. Puhelinhaastattelu  
27.3.2019

Nousiainen, Aimo 2009. Merenrantarakentamisen kosteustekniset haasteet ja ongelmat.  
Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto. Saatavissa: <http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari2/images/stories/File/Vuosikokousseminaari140509/Merenrantarakentaminen%20-%20Nousiainen.pdf>. Hakupäivä 24.1.2019.

Ohjekortti YL-07. 2018, 42. Korkean rakentamisen rakentamistapaohje 2018. Helsingin kaupunki. Saatavissa: [https://www.hel.fi/static/rakvv/ohjeet/KORKEAN\\_RAKENTAMISEN\\_RAKENTAMISTAPAOHJE\\_OHJEKORTIT.pdf](https://www.hel.fi/static/rakvv/ohjeet/KORKEAN_RAKENTAMISEN_RAKENTAMISTAPAOHJE_OHJEKORTIT.pdf). Hakupäivä 14.3.2019.

Oulun ilmanlaatu, mittaustulokset 1995. 1996. Oulun kaupungin ympäristövirasto 1997. Saatavissa: <https://www.ouka.fi/documents/64417/05a95402-79c1-4bc9-894c-cb7b9f12c8f8>. Hakupäivä 11.4. 2019.

Oulun kaupungin rakennusjärjestys. 2017. Saatavissa: <file:///C:/Users/elsak/Documents/Tower/Oulun%20kaupunki%20rakennusjarjestys.pdf>. Hakupäivä 11.4.2019.

Paajanen, Paula – Törmänen, Mikko – Heikkilä, Jari – Klami, Jere 2014. Oulun kaupunki korkean rakentamisen selvitys. Oulu: Oulun kaupunki.

Pajunen, Vesa 2012. Rantarakentamisen julkisivurakenteiden suunnittelun haasteita. Kandidaatintyö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <http://www.julkisivuyhdistys.fi/wp/wp-content/uploads/2012/09/rantarakentaminen.pdf>. Hakupäivä 20.1.2019.

Pekkala, Vilho 2010. Lasiseinät, lasikatot ja niiden liittymät ympäröiviin rakenteisiin, 395. Rakennustieto. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK090401.pdf>. Hakupäivä 24.1.2019.

Ratu 1197-S. 2002. Metall- ja lasijulkisivut. Suunnitteluohje. Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%20S-1197>. (Vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 13.4.2019.

RATU S-1232. 2013. Rakennustyömaan sääsuojaus. Suunnitteluohjeet. Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/tuote.html.stx?RANEget=/index/haku&tuote=/109926> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 24.2.2019.

Lasirakentaminen. 2010. RunkoRYL 2010. Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennuksen runkotyöt. Lasirakentaminen. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezp.oamk.fi:2047/kortit/RT%2014-11016>. (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 24.1.2019.

Pulkkinen, Matti-Pekka. Betoni vol. 80, nro 1, 12. Saatavissa: <https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/09/BET1001-06-15.pdf>. Hakupäivä 14.4. 2019.

Suomen muuttuva ilmasto. 2018. Ilmasto-opas.fi. Saatavissa: <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/8c965cac-6707-4a60-bef9-712f038320be/suomen-muuttuva-ilmasto.html>. Hakupäivä 2.3.2019.

Suonto, Yrjö 2007. Asuinrakennusten julkisivut. Julkisivuyhdistys Saatavissa: [http://www.julkisivuyhdistys.fi/wp/wp-content/uploads/2007/02/julkisivuopas1\\_s07-13.pdf](http://www.julkisivuyhdistys.fi/wp/wp-content/uploads/2007/02/julkisivuopas1_s07-13.pdf). Hakupäivä 26.1.2019.

Terveelliset tilat. 2008. Helsingin, Espoon ja Vantaan Terveelliset tilat. Sisäilmayhdistys ry. Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuslahteet>. Hakupäivä 26.3.2019.

Terwa Tower Oulun uudeksi maamerkiksi. 2018. Terwa Kiinteistökehitys Oy. Saatavissa: <http://www.terwakiinteistokehitys.fi/terwa-tower.html>. Hakupäivä 11.4.2019.

Tuuliennätyksiä. 2019. Ilmatieteen laitos. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/tuuliennatyksiä>. Hakupäivä 11.4.2019.

Tuulisuus Suomessa. Suomen Tuuliatlas. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/>.  
Hakupäivä 11.4.2019.

Yleiset työturvallisuusvaatimukset yit:n työmailla. 2018. YIT Rakennus Oy. Saatavissa:  
<https://www.yitgroup.com/globalassets/images/yit-general/work-safety/yitn-yleiset-tyoturvallisuusvaatimukset-tyomaalla---ohje.pdf>. Hakupäivä 14.4.2019.

