

Tomi Jaakkola

# Turvalliset ja toimivat julkisivut korkeissa rakennuksissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan insinööri

Insinöörityö

07.3.2017

Tekijä(t) Otsikko	Tomi Jaakkola Turvalliset ja toimivat julkisivut korkeissa rakennuksissa
Sivumäärä Aika	43 sivua + 1 liitettä 07.3.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikan insinööri
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennesuunnittelu
Ohjaaja(t)	Yksikön johtaja Veikko Leino, Sweco Laboratorioinsinööri Matti Leppä
<p>Insinööriyössä oli tavoitteena tutkia julkisivuvaihtoehtoja korkeisiin asuinrakennuksiin ja valita niistä toimivat esimerkit betoniselle sekä teräksiselle rungolle. Opinnäytetyö tehtiin Swecolle. Swecolle insinööriyö tarjoaa pohjatietoa erilaisista julkisivuvaihtoehtoista ja niiden suunnittelua ohjaavista määräyksistä.</p> <p>Insinööriyön tekemisessä käytettiin tutkimusmenetelminä kirjallisuustutkimusta alan kirjallisuudesta sekä eurokoodista, sekä hyödynnettiin Swecon tietoja valmistuneista kohteista. Työssä käytiin läpi korkeiden rakennusten erityisvaatimukset julkisivuilta ja tämän jälkeen vertailtiin julkisivutyyppejen ominaisuuksia. Lisäksi vertailtiin eri materiaalivaihtoehtoja julkisivun pintaan, runkoon sekä eristeeksi.</p> <p>Insinööriyön tulokseksi saatiin tutkimus tämänhetkisistä ja lähitulevaisuuden julkisivuvaihtoehtoista korkeisiin rakennuksiin ja niiden ominaisuuksista, sekä ehdotukset toimivista julkisivuvaihtoehtoista teräksiselle ja betonirunkoiselle korkealle rakennukselle. Lopputuloksena betonirunkoiselle rakennukselle suositeltiin betonista sandwich-elementtijulkisivua, tämän hinnan ja suurten asennustoleranssien takia. Teräsrunkoiselle rakennukselle suositeltiin joko hermeettisesti tiivistä tai alumiinirunkoista lasielementtijulkisivua. Teräksisen rungon julkisivuvaihtoehtoihin vaikutti sen parempi mittatarkkuus.</p> <p>Uusista materiaaleista suositeltiin aerogeelieristeitä tyhjiölevyjen sijaan. Tyhjiölevyt ovat eristyskyvyltään parempia, mutta niiden käyttö vaatii tarkkaa suunnittelua. Aerogeelieristeet ovat helpommin muokattavissa ja huomattavasti kestävämpiä, tarjoten kuitenkin erittäin hyvän eristyskyvyn.</p>	
Avainsanat	julkisivu, asuinrakennus, korkea rakennus

Author(s) Title	Tomi Jaakkola Safe and functional façades on high buildings
Number of Pages Date	43 pages + 1 appendices 7 March 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineer
Specialisation option	Structural Engineering
Instructor(s)	Veikko Leino, Department Manager, Sweco Matti Leppä, Laboratory Engineer
<p>The goal of the thesis was to examine façade options to high residential buildings and choose functional designs for both concrete and steel framed buildings. The thesis was made for Sweco. The thesis offers Sweco's basic information about different façade options and designing regulations.</p> <p>The research for the thesis was made using literature sources on the subject as well as the eurocodes for regulations. Swecos knowledge from previous finished projects was also used. The thesis covered the special requirements for façades that high buildings set and compared different options of façade qualities. Additionally different materials for the frame, surface and insulation of the façade were compared.</p> <p>As the result the thesis contains information about current and near-future options for façades on high buildings and their qualities, as well as suggestions for functional façades for both concrete and steel frame buildings. For a concrete framed building a concrete sandwich element façade was suggested for its low price and for the large installation tolerances. For steel framed buildings it was suggested to either use a hermetically sealed façade or an aluminium framed glass façade. The main reason for choosing these for steel framed buildings was the higher dimensional accuracy of the frames.</p> <p>With regard to the new materials, aerogel was recommended over vacuum insulated panels. The vacuum insulated panels are better insulators, but their use requires careful planning as the panels cannot be modified. Aerogel insulating wool is easier to modify and it is much more rugged while still offering high levels of insulation.</p>	
Keywords	façade, residential, high building

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Korkeiden rakennuksien vaatimukset julkisivuilta	1
2.1	Tuuli	1
2.2	Kosteus	5
2.3	Lämpö	7
2.4	Palonkesto	9
3	Julkisivutyypit	10
3.1	Kaksoisjulkisivu	10
3.2	Tuulettuva julkisivu	12
3.3	Sandwich-elementti	15
3.4	Hermeettisesti tiivis julkisivu	16
4	Materiaalit	18
4.1	Pintamateriaalit	18
4.1.1	Teräs ja alumiini	18
4.1.2	Lasi	20
4.1.3	Betoni	22
4.1.4	Kivi	23
4.2	Eristeet	24
4.2.1	EPS ja XPS	24
4.2.2	Polyuretaanit	25
4.2.3	Villat	26
4.2.4	Tyhjiölevyt	27
4.2.5	Aerogeelieristeet	28
4.2.6	Eistemateriaalien ominaisuuksia	29
4.3	Julkisivun runko	30
4.3.1	Betoni	30
4.3.2	Teräs ja alumiini	30
4.3.3	Puu	31
5	Turvallisuus	32
5.1	Asennus ja huolto	32

5.2	Paloturvallisuus	33
5.3	Putoamissuojat	35
6	Julkisivuehdotukset	36
6.1	Betonirunko	36
6.2	Teräsrunko	39
7	Yhteenveto	41
	Lähteet	44
	Liitteet	
	Liite 1. LCA elinkaariarvio	

## Lyhenteet ja käsitteet

EPS	Expanded polystyrene. Styreenistä valmistettu eristemateriaali, jossa solut ovat avoimia.
Höyrysulku	Rakenne, joka estää ilman ja kosteuden kulkeutumisen sen läpi. Höyrysulkuna käytetään yleisesti muovikalvoa.
Konvektio	Lämmön liikkuminen väliaineen avulla, esimerkiksi lämmön siirtyminen lämmityspatterista ilmaan ja ilmasta huoneen seiniin.
Palokuorma	Tilassa olevan palavan materiaalin vapauttama lämpöenergia tulipalossa.
RH	Suhteellinen kosteus. Ilmassa tai materiaalissa olevan kosteuden määrä suhteessa maksimiin samassa lämpötilassa.
Savupiippuilmio	Korkeassa rakenteessa tulipalossa syntyvä ilmiö, jossa kuumat kaasut nousevat ylöspäin ja imevät alhaalta enemmän ilmaa kiihdyttäen tulipaloa.
U-arvo	Rakenteen U-arvo kertoo, kuinka paljon lämpöä se läpäisee. Pienempi arvo tarkoittaa paremmin eristävää materiaalia. U-arvon yksikkö on $W/(m^2K)$
XPS	<i>Extruded polystyrene foam</i> . Kuin EPS, mutta solut ovat suljettuja. EPS:n verrattuna parempi ilma- ja kosteustiiveys.

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä tutkielma erilaisista julkisivuratkaisuista yli 70 m korkeisiin asuinrakennuksiin ja valita toimivat julkisivuehdotukset betoni- sekä teräsrunkoiselle rakennukselle. Työ rajataan asuinrakennuksiin, koska näissä äänen- ja lämmöneristysvaatimukset ovat tiukemmat kuin toimistoissa tai julkisissa rakennuksissa. Työssä vertaillaan tämän päivän ja tulevaisuuden julkisivuratkaisuja sekä eri pinta- sekä eristemateriaalien ominaisuuksia. Työ tehdään Sweco rakennesuunnittelulle helpottamaan julkisivuvaihtoehtojen valintaa tulevaisuuden projekteissa.

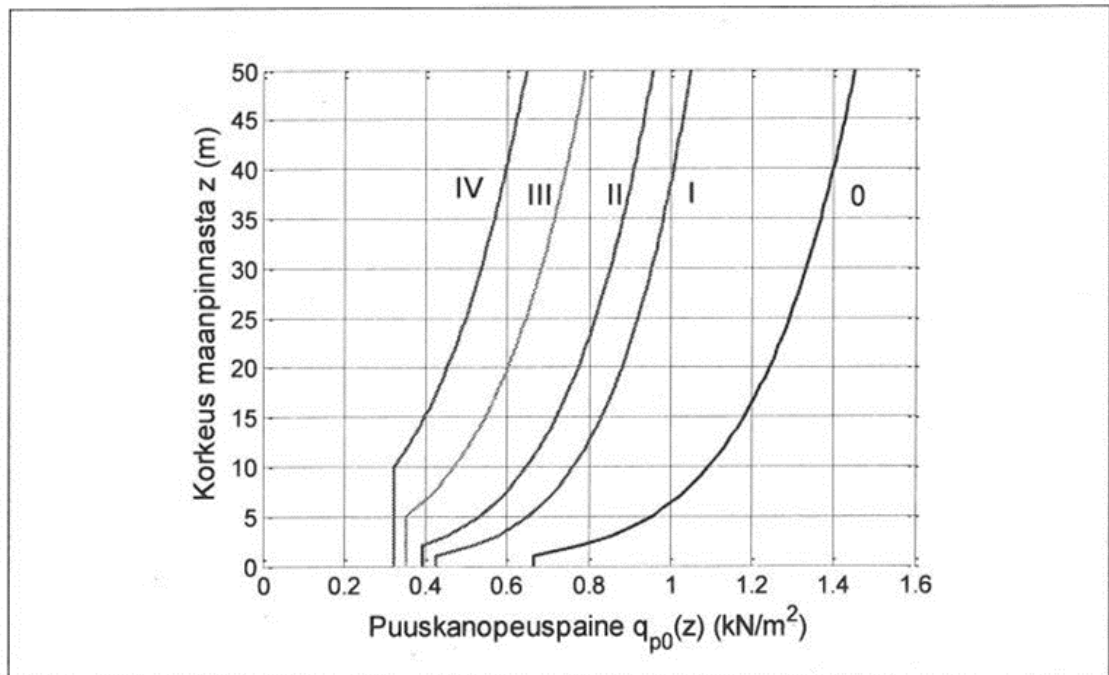
Tutkimusaiheeksi valittiin korkeat asuinrakennukset, koska ne ovat melko uusia Suomessa mutta niiden rakentaminen on yleistymässä jatkuvasti. Kokemusta rakennusten suunnittelusta Suomessa ei ole paljon, eivätkä keskieurooppalaiset ohuemat julkisivurakenteet toimi Suomen kylmemmissä oloissa sellaisenaan. Tutkimusmenetelminä käytetään kirjallisuustutkimusta, materiaalien valmistajien antamia tietoja, sekä hyödynnetään Swecon kokemusta toteutuneista kohteista.

## 2 Korkeiden rakennuksien vaatimukset julkisivuilta

### 2.1 Tuuli

Tuuli on merkittävin erottava tekijä korkeiden ja matalien rakennusten välillä. Tuulen vaikutukset kasvavat korkeuden kasvaessa ja alkavat tulla erittäin merkittäväksi noin 70 metrin korkeudella maanpinnasta. Suurin Suomessa mitattu kymmenen minuutin keskituulennopeus on 31 m/s, jonka viimeksi mittasi ilmatieteen laitos Hangossa 23.01.1995. Hirmumyrskyn määritelmä on yli 32 m/s tuulennopeus 10 minuutin keskiarvona, eli Suomessa ei hirmumyrskyjä ole ollut. Suurin mitattu tuulennopeus maailmalla mitattiin Australiassa Barrow Islandilla 10.04.1996. Tällöin hirmumyrskyssä mitattu tuulennopeus oli 113 m/s. [Ilmatieteenlaitos.] Tuulen suoria vaikutuksia ovat horisontaalivoimat, jotka johdetaan rakenteita pitkin maaperään. Rakennuksia on mahdotonta suunnitella täysin jäykiksi, eli tuuli aiheuttaa rakennuksissa huojuntaa. Vaikka rakennus on suunniteltu kestävään tämä värähtely, noin kaksi prosenttia ihmisistä eivät voi asua tornitaloissa, koska he aistivat rakennuksen heilumisen muita herkemmin. Värähtelyssä käyttömukavuuteen vaikuttaa eniten sen aiheuttama

kiihtyvyyys eikä liikkeen suuruus. Värähtelyn ominaistajuus voi alimmillaan olla likimäärin  $46/h$  (Hz), jossa  $h$  on rakennuksen korkeus metreinä. Värähtelyä ja sivuttaista siirtymää voidaan rajoittaa jäykistämällä rakennusta. Yli 400 metriä korkeissa pilvenpiirtäjissä värähtelyä voidaan hallita käyttämällä massiivisia yli satoja tonneja painavia heilureita rakennuksen keskellä. Heilurit vievät kuitenkin paljon tilaa rakennuksen sisällä, eikä niitä ole taloudellista käyttää matalammissa rakennuksissa.



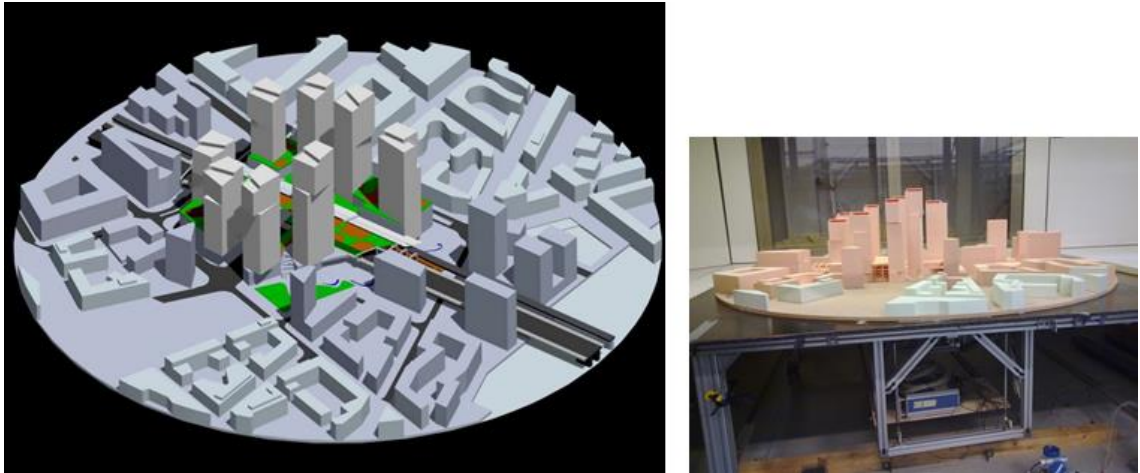
**Kuva 4.5S.** Nopeuspaineen ominaisarvo  $q_{p0}(z)$  eri maastoluokissa ( $= q_p(z)$  tasaisessa maastossa).

Kuvio 1. Eurokoodin EN1991-1-4 puuskanopeuspaineen valmiiksi laskettu käyrästä eri maastoluokille

Eurokoodi EN 1991-1-4 Suomen kansallisilla liitteillä rajautuvat alle 100 metriä korkeille rakennuksille. Rakennuksen korkeus mitataan maan pinnasta rakennuksen vierestä sen suurimpaan korkeuteen. Kuviossa 1 on eurokoodin valmiiksi laskettu käyrästä puuskanopeuspaineelle, joka loppuu viidenkymmenen metrin korkeuteen. Käyrästä näkee, kuinka rakennuksen korkeuden kasvaminen kasvattaa jatkuvasti puuskanopeuspainetta. Eurokoodin kaavoja käyttämällä voidaan kuitenkin laskea tuulikuormia korkeammallakin. Yli sadan metrin korkuisilla rakenteilla tuulikuormat, joita kaavoja käyttämällä saataisiin, olisivat kuitenkin huomattavasti todellisia kuormia suurempia. Näillä kuormilla laskettaessa korkeat rakennukset eivät olisi taloudellisesti kannattavia raken-

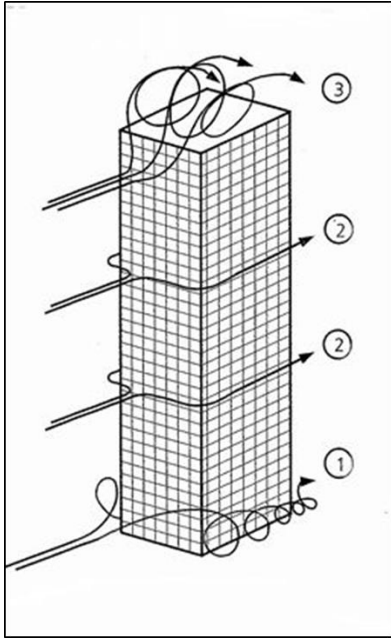


taa. Yli 100 m korkeilla rakennuksilla tuulikuormia mitoitetaan tuulitunnelikokeissa, joilla saadut kuormat ovat lähempänä todellisuutta.



Kuva 1. Kalasataman keskuksen tuulitunnelimalli.

Kuvassa 1 on kuvattu pienoismalli Kalasataman keskuksesta, johon on mallinnettu myös tuulitunnelikokeen kohteena olevien tornien lisäksi ympäröivät rakennelmat. Ympäröivät rakennukset tulee ottaa huomioon, koska varsinkin korkeiden rakennusten aiheuttama turbulenssi vaikuttaa tuuliolosuhteisiin huomattavasti. Keskus on rakennettu pyörítettävälle alustalle, jolloin voidaan tutkia tuulen vaikutusta kaikilta suunnilta. Alustassa olevat anturit mittaavat tuulikuormien suuruutta ja niiden suuntaa. Tuulitunnelista saadut tuulikuormat skaalataan oikean kokoiseen rakennukseen ja ne vastaavat paremmin todellisuutta ottaen huomioon myös ympäröivät rakenteet.



Kuva 2. Ilman liikkuminen korkean tornirakennuksen ympärillä.

Kuvassa 2 nähdään, miten ilma liikkuu neliskanttisen korkean rakennuksen ympärillä. Tuulenpuoleisen seinää vastaan puristavan voiman lisäksi se aiheuttaa tuulen suuntaisille ja vastakkaisella puolella olevalle seinälle imua. Julkisivun raoissa liikkuva ilma voi myös aiheuttaa kovaakin viheltävää ääntä, joka koetaan sisätiloissa epämiellyttävänä. Kiinnityksen tulee myös olla tarvittavan jäykkä, jotteivat ohuet esimerkiksi alumiiniset julkisivuelementit pääse liikkumaan ja kolisemaan tuulessa.

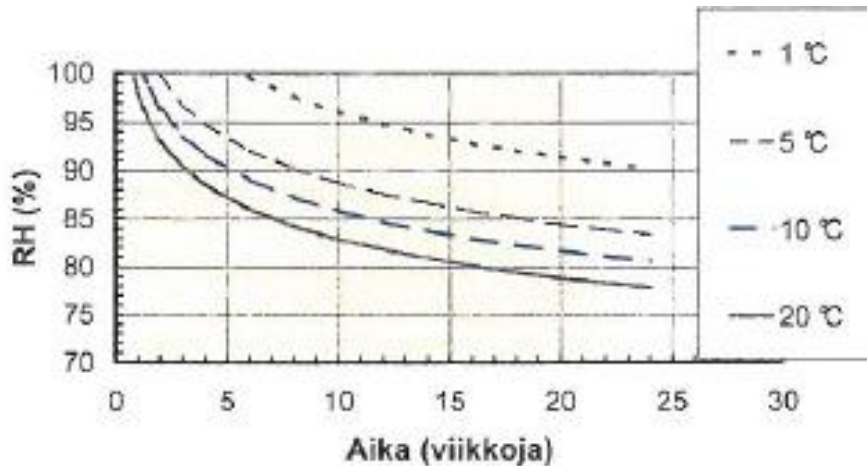
Tuulen ja veden yhteisvaikutus ajaa kosteuden kaikista pienimmistäkin rei'istä sisään ja jopa suoraan seinäpintoja ylös. Ongelma esiintyy matalissakin rakennuksissa jossain määrin mutta korostuu korkeissa rakennuksissa joissa tuulennopeus ja seinän pinta-ala ovat suurempia. Korkeissa rakennuksissa seinän suojaaminen viistosateelta räystäitä käyttämällä ei ole kannattavaa. Julkisivu on siis suunniteltava täysin vedenpitäväksi, tai rakenteiden kuivaminen on mahdollistettava tuulettamalla. Tuulettuvalla julkisivulla uloin osa pitää viinosateen ulkona ja suojaa sisempää seinää tuulelta. Oikein tuulettuva välitila mahdollistaa sinne päässeeseen kosteuden haihtumisen ja ehkäisee näin homehtumista ja korroosiota. [Tuulettuvat julkisivut by61.]

## 2.2 Kosteus

Kosteus eri muodoissaan on julkisivuille suuri rasite. Suomen oloissa kosteuden haittavaikutuksia vahventavat huonot kuivumisolosuhteet syksyisin ja keväisin ilmankosteuden ollessa korkealla ja sateet yleisiä. Kun materiaalin suhteellinen kosteus on alempi kuin ympäröivän ilman, se sitoo kosteutta suoraan ilmasta. Jos taas ilman suhteellinen kosteus on matalampi kuin materiaalin se pääsee kuivamaan. On myös mahdollista, että materiaalin ja ilman suhteelliset kosteudet ovat tasapainossa, jolloin kosteuden siirtymistä ei tapahdu. [RIL 250-2011 s60-62.] Kosteuden välittymistä pyritään estämään minimoimalla ilman liikkuminen eristekerroksessa esimerkiksi tuulensuojalevyillä ja ohuemmillä eristepaksuuksilla. Höyrynsulun sijoittaminen mahdollisimman lähelle seinärakenteen lämmintä puolta estää myös tehokkaasti kostean sisäilman vuotamisen kylmiin rakenteisiin asti.

Lisärasitusta erityisesti huokoisille materiaaleille luo lämpötilan laskeminen jäätympisteeseen alle, jolloin rakenteisiin sisälle päässyt kosteus voi jäätää. Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi betoni, kevytbetoniharkot ja luonnonkivet. Vesi imeytyy betoniin hyvin ja tuore betoni sisältää vielä paljon kosteutta joka voi jäätää. Luonnonkivestä valmistetut julkisivut eivät läpäise vettä, mutta pinnassa oleviin halkeamiin jäänyt vesi voi jäätyessään aiheuttaa vahinkoa. Vesi laajenee jäätyessään ja jos materiaalin huokoisissa ei ole tilaa tälle laajenemiselle aiheuttaa se materiaaliin sisäisiä vetorasituksia. Jos jään aiheuttama paine ylittää materiaalin vetolujuuden, se halkeaa. Jäätymisen ja sulamisen toistuessa halkeamat rakenteessa kasvavat ja kosteus pääsee taas tunkeutumaan syvemmälle aiheuttaen enemmän vahinkoa. Betonissa tätä pyritään estämään lisäämällä betoniin huokoistinta, jonka betoniin lisäämät huokoiset antavat vedelle tilaa laajentua sen jäätyessä ilman että betoni rapautuu.

Rapautumisen ja korroosion lisäksi kosteus mahdollistaa homeen kasvamisen pinnoilla ja eristeissä. Homeitiöitä on joka paikassa ilmassa ja pinnoilla, eikä niistä ole mahdollista päästä eroon. Home vaatii kuitenkin kasvualustan, ravintoa, lämpöä, happea ja kosteutta kasvaakseen.



Kuvio 2. ensimmäisen homekasvuston esiintyminen mäntypuun pinnalla kosteuden ja ajan funktiona

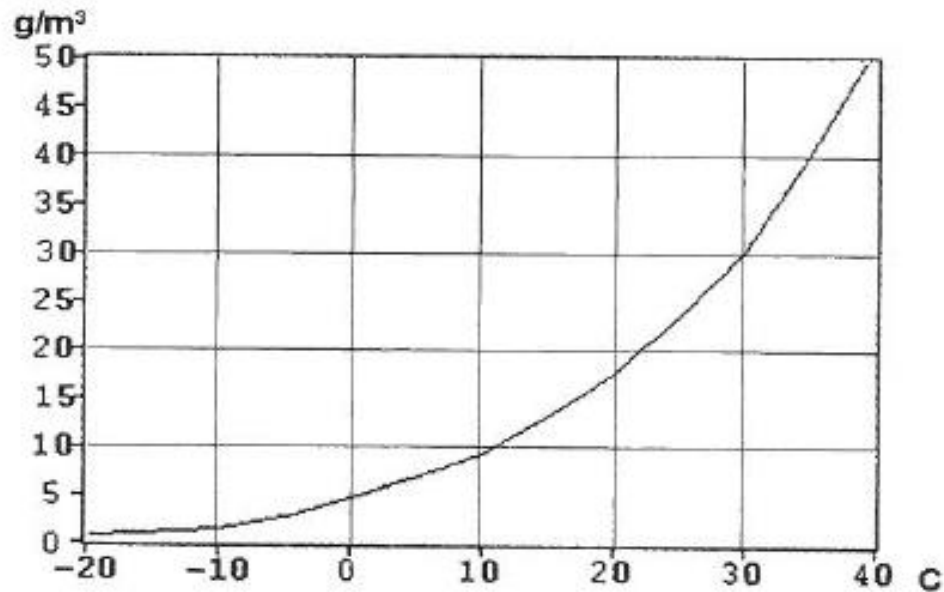
Yleisesti homekasvustoja pääsee syntymään, kun rakennetta ympäröivän ilman suhteellinen kosteus tai materiaalin huokoiskosteus on yli 75-80% ja lämpötila välillä 5-50°C. [RIL 250-2011 s152-155] Ravinnoksi käy kaikki eloperäinen materiaali, jonka home hajottaa. Kuviossa 2 kuvataan kuinka paljon lämpötila vaikuttaa homeen kasvamiseen. Korkeammassa lämpötiloissa home pystyy kasvamaan suhteellisesti kuivemmassa ilmassa ja nopeammin. Materiaalin valinta vaikuttaa homeen kasvuun. Kivillä ja betoni eivät homehdu helposti, kun taas eloperäiset materiaalit kuten puu, paperi ja kuitulevyt homehtuvat nopeasti. 20°C lämpötilassa ja suhteellisen kosteuden ollessa 100% kuitulevyn pinnalla näkyy selkeitä kasvustoja alle neljässä kuukaudessa, kun taas kivillä on vuoden jälkeen havaittavissa vasta mikroskooppisia kasvustoja. [RIL 250-2011 s155.]

Kaikki homeet eivät ole ihmiselle haitallisia, mutta osa homeista tuottaa bakteerimyrkkyjä jotka aiheuttavat terveysongelmia ihmisissä. Homeen torjumiseksi pyritään pääsemään eroon kosteudesta ja välttämällä eloperäistä materiaalia. Puurakenteiden käyttäminen julkisivuissa lisää riskiä rakenteen homehtumiselle, koska käsittelemättömänä se tarjoaa homeelle erittäin hyvän kasvualustan, jos kuivumisesta ja puun suojauksesta ei ole huolehdittu oikein. Kesällä ja syksyllä kuivuminen on kuitenkin korkean ilman kosteuden takia heikkoa ja tämä lisääkin homeongelmia Suomessa. Home voi kasvaa piilossa eristeissä tai rakenteiden pinnoilla hyvinkin pitkän aikaa ennen kuin rakennuksen käyttäjät havaitsevat sitä. Hometta aletaan epäillä vasta terveysongelmien ilmaantuessa. Homekasvusto ei välttämättä tarkoita homevauriota, rakenteen pinnalla olevat kasvustot voidaan poistaa ja rakenne puhdistaa, kunhan suurempaa vauriota ei ole

syntynyt. Pitkälle edenneessä kosteusvauriossa on homeen lisäksi havaittavissa lahoamista, lahottajasieniä sekä hyönteisiä. Tässä vaiheessa rakenteen puhdistaminen ja säilyttäminen eivät ole kannattavia vaan se täytyy uusii. Oli kyseessä sitten puhdistaminen tai rakenteen kokonaan uusiminen tulee kuitenkin korjauksissa tehdä sellaisia muutoksia rakenteeseen, ettei homekasvustot pääse kasvamaan uudestaan. Tämä normaalisti hoidetaan parantamalla tuulettumista, jolloin rakenteen kosteus pääsee haihtumaan tarpeeksi usein.

### 2.3 Lämpö

Lämmön eristäminen on yksi tärkeimmistä julkisivun tehtävistä. Suomen oloissa tämä korostuu koska lämpötilaerot sisä- ja ulkotilojen välillä voivat olla yli 50°C. Suuret lämpötilaerot vaativat paksumpia eristekerroksia sekä lämpökatkoja kantaviin rakenteisiin kylmäsiltojen estämiseksi. Kylmäsiltojen ulkoseinässä ovat hyvin lämpöä johtavia rakenteita, jotka jatkuvat yhtenäisenä julkisivun läpi. Yleisiä tällaisia rakenteita ovat välipohjien tuennat kantaviin seiniin tai vanhoissa rakennuksissa parvekkeiden tukeminen käyttämällä teräksisiä tukia välipohjiin. Tällöin eristeen keskellä on sitä ympäröivää eristettä kylmempi rakenne. Kylmäsiltojen ja ohuiden eristekerrosten takia keskierooppalaiset vaipparakenteet eivät sovi sellaisenaan Suomeen. Eristepaksuudet Suomessa ovat kasvaneet jatkuvasti viimeisen viidenkymmenen vuoden aikana. 1970-luvun alussa sandwich-elementeissä oli seitsemän senttiä eristettä, kun nykyään sitä on noin 24 senttiä [Rakennuslehti]. Suomessa rakennuksen ulkovaipan U-arvo saa olla korkeintaan 0,6 W/m<sup>2</sup>K [rakentamismääräyskokoelma]. Matalaenergia rakennuksilla ja passiivitaloissa ulkovaipan U-arvot ovat alle 0,16 W/m<sup>2</sup>K. Enemmän tietoa eri rakenteiden U-arvovaatimuksista ja yleisistä saavutetuista arvoista on liitteessä 1.



Kuvio 3. Vesihöyryllä kyllästyneen ilman kosteussisältö lämpötilan funktiona.

Kuviossa 3 esitetään ilman kosteussisältö suhteellisen kosteuden ollessa 100%. Tällöin ilmassa on sitoutuneena maksimi määrä vesihöyryä kyseisessä lämpötilassa. Kylmä ilma pystyy sitomaan itseensä vähemmän kosteutta kuin lämmin. Kun 20°C:n ilma, jonka suhteellinen kosteus on 100% jäähtyy 0°C:n, vettä tiivistyy 12 g/m<sup>3</sup> ilmaa [RIL 250-2011 s. 60]. Kun eristeen sisältämä lämmin ilma osuu kylmään rakenteeseen, ilman sisältämä vesi kondensoituu pinnalle esimerkiksi ikkunoihin kylminä öinä. Ikkunoiden huuruuntuminen on vain esteettinen ongelma mutta kosteuden kertyminen rakenteiden sisälle, josta se ei pääse kuivumaan, aiheuttaa ongelmia pitkällä aikavälillä.

Kesäisin suuret lasiseinät päästävät sisään paljon auringon lämpösäteilyä ja tämä lisää rakennuksen jäähdytystarpeita. Tämä on ongelmallista erityisesti toimistorakennuksissa sekä julkisissa rakennuksissa, joissa lasipinta-alaa on paljon. Suurten ikkunoiden yleistyttyä asuinrakennuspuolella voimakas auringonpaiste tuottaa sielläkin ongelmia. Matalista rakennuksista poiketen korkeissa rakennuksissa ei voida luottaa ympäristön luomiin varjoihin, esimerkiksi puiden tai toisten rakennusten. Jäähdytystarpeita voidaan vähentää esimerkiksi käyttämällä lasia, joka laskee vähemmän lämpösäteilyä läpi tai estämällä auringon suora paiste ikkunoihin kaksoisjulkisivun välitilaan asennettavilla kaihtimilla.

## 2.4 Palonkesto

Rakennustuotedirektiivissä 89/106/ETY asetetaan vaatimukset tulipalon riskien rajoittamiseksi:

Rakennuskohde on suunniteltava ja rakennettava siten, että tulipalon sattuessa:

- Kantavien rakenteiden voidaan olettaa kestävän tietyn ajan
- tulen ja savun kehittyminen ja leviäminen rakennuksen sisällä on rajoitettu
- tulen leviäminen naapurirakennuksiin on rajoitettu
- henkilöt pääsevät poistumaan rakennuksesta tai heidät voidaan pelastaa muilla keinoilla
- pelastushenkilöstön turvallisuus on otettu huomioon. [SFS-EN1991-1-2 s.10.]

Rakennuksen julkisivua näistä erityisesti koskevat kantavien rakenteiden kestävyys, tulen leviäminen naapurirakennukseen, sekä henkilöiden ja pelastushenkilöstön turvallisuuden takaaminen. Julkisivun pintojen täytyy olla palamattomasta materiaalista valmistettuja yli kolme kerrosta korkeissa rakennuksissa [RMK E1 8.8.3]. Muovieristeet eivät kuitenkaan ole rakennuksen julkisivun ulkopinnassa, joten niitä voidaan käyttää. Korkeat rakennukset kuuluvat käyttötarkoituksestaan riippumatta paloluokkaan P1 rakennuksen korkeuden takia. P1-luokassa vaatimukset palonkestolle ovat P2 ja P3-luokkia vaativampia.

Palokuorma	MJ/m <sup>2</sup>	
Yli 1200	600-1200	alle 600
R240	R180	R120

Kuvio 4. Kantavien rakenteiden paloluokka yli 8 kerroksisella rakennuksella [Fire safety of buildings s. 14]

Kuviossa 4 on poimittu palonkestoarvot kantaville rakenteille yli kahdeksan kerroksisissa rakennuksissa. Kuviosta nähdään, että vaatimukset rakenteille kasvavat, kun tilaan lisätään palokuormaa. Palokuorma kuvaa tilassa olevan palavan materiaalin vapauttamaa energiamäärää per neliometri palotilanteessa. Asuinrakennuksessa palokuormaan kuuluvat esimerkiksi huonekalut, matot, verhot ja muut palavat materiaalit. R240 merkintä tarkoittaa, että rakenteen pitää säilyttää kantavuutensa 240 minuutin tulipalossa.

Muita palonkestoluokkia ovat E ja I. E-luokiteltu rakenne säilyttää muotonsa tulipalossa annetun ajan ja I-luokiteltu rakenne eristää palon ja palokaasut tämän aikaa. Vaativimmillaankin julkisivuilta ei tämän mukaan vaadita kuin kykyä kantaa niille tulevat kuormat, jos seinät ovat kantavia. Korkeiden rakennusten julkisivuissa käytetään palokatkoja kerrosten välillä, joilla estetään palon leviäminen kerroksesta toiseen. Tämä erityisesti sen takia, että kerrokset toimivat omina palo-osastoinaan ja palon leviäminen saadaan joko pysäytettyä tai hidastettua. Jos rakennuksia on hyvin lähellä toisiaan, voidaan julkisivulta vaatia kokonaan palokatkona toimimista, jottei palo pääsisi leviämään rakennuksesta toiseen. Korkeilla rakennuksilla tämä ei yleensä ole tarpeellista, koska rakennuksia ei rakenneta aivan toistensa viereen.

### **3 Julkisivutyypit**

#### **3.1 Kaksoisjulkisivu**

Kaksoisjulkisivussa on nimensä mukaisesti kaksi erillistä julkisivua. Sisempi julkisivu toimii lämmöneristeenä, eikä vinosadetta tai tuulikuormia tarvitse huomioida. Ulkoinen julkisivu on usein lasia ja alumiinia/terästä mahdollisimman hyvän valonläpäisyn takia ja tämä on suunniteltu pysäyttämään tuulen ja suoran vesisateen pääseminen sisempään kuoreen. Oikein suunnitellulla kaksoisjulkisivulla saavutetaan säästöjä sekä lämmityksen että jäähdytyksessä ja parannetaan näin käyttömukavuutta rakennuksessa. Kaksoisjulkisivun ääneneristys on myös parempi kuin yksikerroksisella julkisivulla. Äänen eristävyys on tärkeä parametri asuintalojen ja hotellien rakentamisessa asuinmukavuuden takaamiseksi meluisilla alueilla.





Kuva 3. Kaksoisjulkisivu Berliinissä, jossa näkyy hyvin huoltosillat joka kerroksessa, sekä kaihtimet.

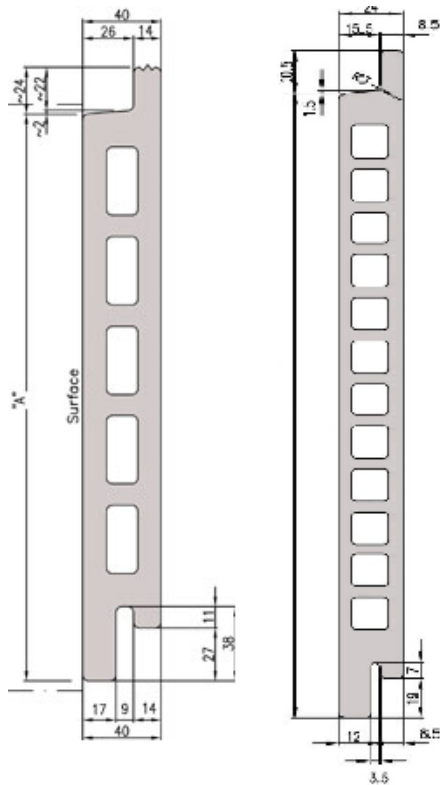
Suuret ikkunapinta-alat aiheuttavat kuitenkin ongelmia erityisesti aurinkoisella säällä tai silloin kun aurinko paistaa matalalta. Sisään paistava suora auringonvalo lämmittää rakennusta ja lisää näin jäähdytuskustannuksia, eikä häikäisyä pidetä toivottavana. Kuvassa kolme on esimerkki kaihtimista kaksoisjulkisivun välitilassa. Ulompi julkisivu suojaa kaihtimia tuulelta, sateelta ja lumelta. Kuumalla säällä kun kaihtimet ovat käännettynä kiinni, jää niiden absorboima auringon lämpöenergia samaan välitilaan, josta se voidaan tuulettaa ulkoilmaan. Jos kaihtimet olisivat esimerkiksi lasielementin sisällä tavallisessa julkisivussa, tämä lämpöenergia johtuisi osittain sisätiloihin. Kuvassa näkyvät myös kaksoisjulkisivuissa usein käytetyt huoltosillat, jotka mahdollistavat kaihtimien huollon ja ikkunoiden pesun. Huoltosilltojen käytölle vaihtoehdona on käyttää huoltokoria, joka roikkuu julkisivun yläreunassa olevista kiskoista.

Kaksoisjulkisivun käyttöä rajoittaa eniten sen hinta. Lisäkustannukset toisen julkisivun rakentamisesta useimmiten jättävät sen edut varjoonsa ja rakennuksessa tyydytään johonkin muuhun julkisivuratkaisuun. Lontoon the Shard -tornirakennuksessa törmättiin myös erikoisempaan kaksoisjulkisivun aiheuttamaan ongelmaan. Koska rakennus ei ole neliskanttinen vaan sisältää paljon eri suuntaisia kulmia, ulompi lasinen julkisivu

peilasi öisin viereisiin huoneisiin. Ongelma voidaan korjata joko sisempään lasielementtiin asennettavilla kaihtimilla, tai suunnittelemalla rakennukset siten, ettei ulompi julkisivu toimi peilinä viereisiin huoneistoihin. Tulipalossa suuri avoin välitila voi toimia savupiippuna, joka imee tulipalon ylöspäin rakennuksen julkisivua pitkin. Tätä ominaisuutta pystytään kuitenkin lieventämään käyttämällä lasina tavallista karkaistua lasia laminoidun sijaan. Karkaistu lasi rikkoutuu tulipalossa, jolloin savupiippuilmiötä ei pääse muodostumaan.

### 3.2 Tuulettuva julkisivu

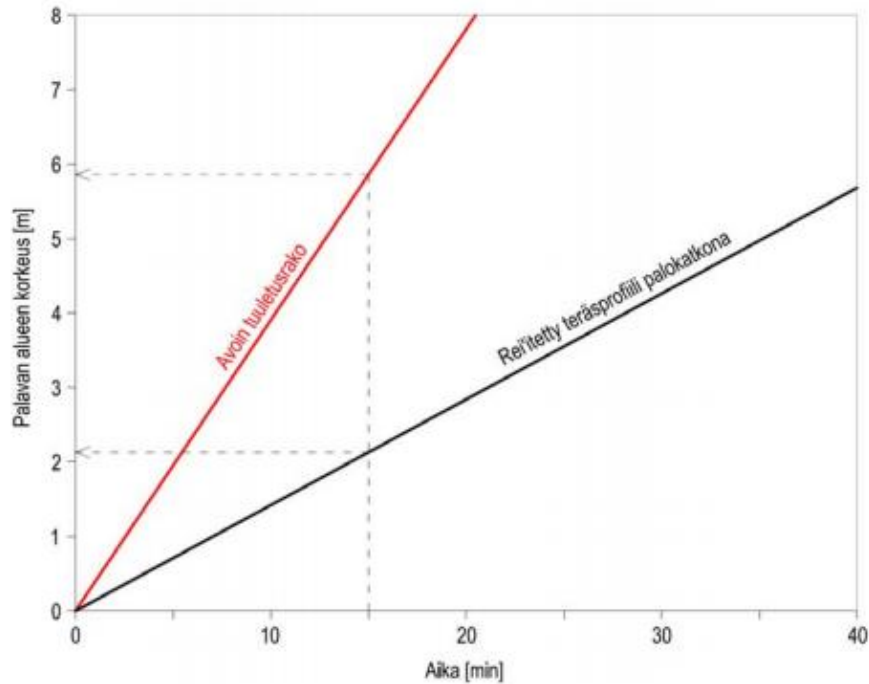
Tuulettuva julkisivu on periaatteeltaan hyvin samanlainen kuin kaksoisjulkisivu, mutta julkisivujen välinen tila on huomattavasti pienempi. Kosteuden kannalta uloin rakennekerros on tiiviimpi kuin kaksoisjulkisivussa, koska pienempi tuuletusrako ei mahdollista kuivumista yhtä tehokkaasti, eivätkä vinosateesta aiheutuvat roiskeet pysähdy välin ilmatilaan. Tuulettuvissa julkisivuissa käytetään myös uloimpana materiaalina useimmiten lasin sijaan esimerkiksi terästä, alumiinia tai kivilevyjä. Vaihtoehtona julkisivun pintaan on myös terracotta-levyt. Levyt valmistetaan savesta polttamalla ja niitä on saatavilla eri kokoisina ja värisinä. Asentaminen tapahtuu nopeasti seinään kiinnitettyihin kiskoihin ja näitä kiinnitysjärjestelmiä on saatavilla erilaisia toimittajasta riippuen.



Kuva 4. NBK:n valmistamia terracotta julkisivulevyjä

NBK valmistaa levyjä maksimissaan 1800 mm pitkäksi ja 800 mm korkeaksi. Levyjen paksuus on noin 40 mm. Kuvassa 4 on esimerkkileikkaukset kahdesta NBK:n valmistamasta terracotta-julkisivulevystä. Leikkauksissa näkyy levyjen sisään tehdyt keventävät ontelot, sekä reunojen muotoilu, joka sopii seinään asennettuihin tukirankoihin.

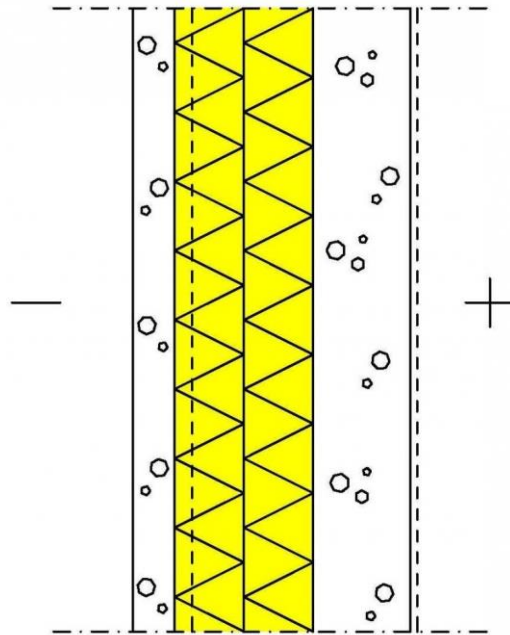
Kustannukseltaan tuulettuva julkisivu on halvempi ja perinteisempi ratkaisu kaksoisjulkisivuun verrattuna mutta arkkitehtuurisesti se ei mahdollista yhtä suuria jatkuvia lasipintoja. Kaksoisjulkisivusta poiketen tuulettuvilla julkisivuilla käytetään monimuotoisempia pintamateriaaleja. Asentaminen voi myös materiaalista riippuen olla helpompaa. Erilaiset levyt voidaan kiinnittää seinärakenteessa oleviin kiskoihin hyvin nopeasti ja niiden vaihtaminen on vaivatonta. Korjausrakentamisessa tuulettuvat julkisivut ovat yleinen ratkaisu vanhojen sandwich elementtien lämmöneristävyyden parantamiseen.



Kuvio 5. Rei'itetyn teräsprofiilin toiminta palokatkona puujulkisivussa.

Tuulettuvissa julkisivuissa on suuri riski sille, että tuuletusrako toimii savupiippuna tulipalossa. Tällöin nousevat palokaasut vetävät julkisivun alareunasta lisää ilmaa rakoon ja kiihdyttävät tulipaloa. Tällöin muuten heikosti palavat materiaalit kuten muovieristeet voivat palaa hyvin nopeasti ja voimakkaasti. Julkisivuun täytyykin tehdä palokatkoja tämän estämiseksi. Palokatkot tehdään metallisilla rei'itetyillä listoilla tuuletusraossa, reiät ovat tarpeeksi suuret, jotta normaali tuulettuminen onnistuu, mutta tarpeeksi pienet jottei tulipalossa ilman virtausnopeus kasva liikaa. Reikien koon tulee olla vähintään  $200\text{cm}^2/\text{m}$ . [BY64 tuulettuvat julkisivut] Kuviossa 5 näytetään, kuinka hyvin palokatkot hillitsevät palon leviämistä julkisivun sisällä. Kuvio on laadittu testituloksista puujulkisivuilla, mutta sama periaate pätee heikosti palavilla muovieristeillä sekä tuulensuojilla. [Puuinfo palokatkot s. 3.]

### 3.3 Sandwich-elementti



Kuva 5. Betonisandwich-elementti, vasemmalta oikealle: ulkkokuori, uritettu kova eriste, kantava sisäkuori. [ISOVER]

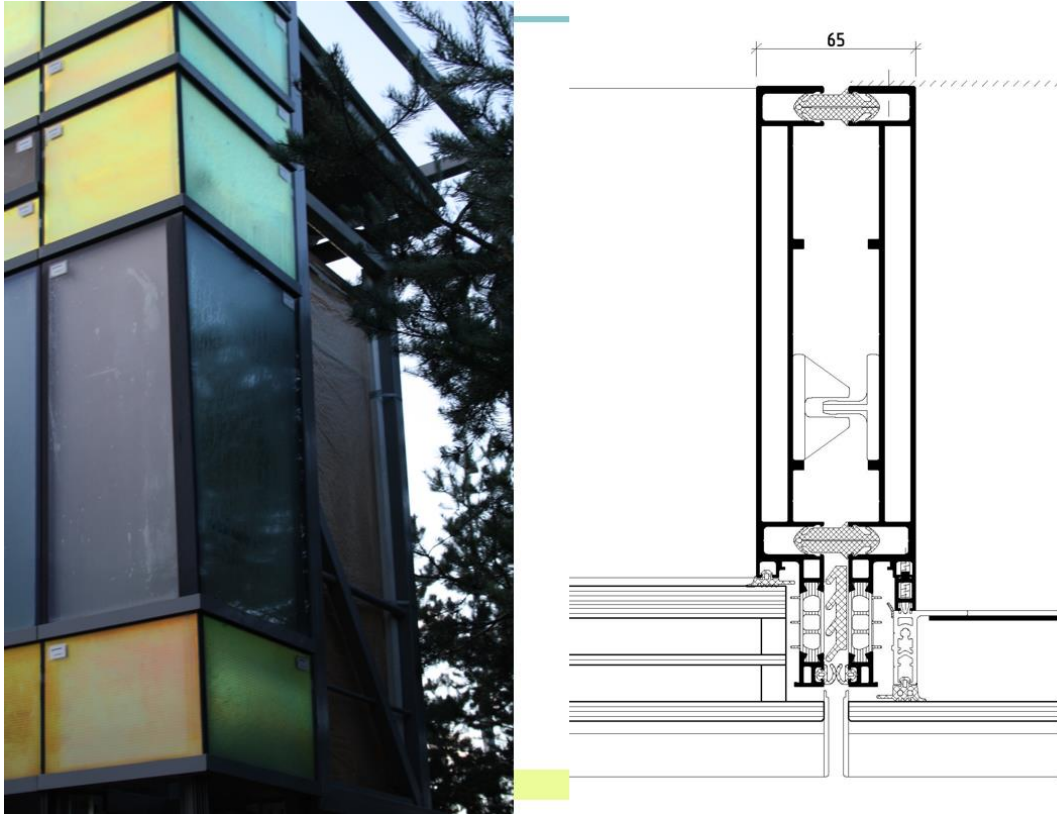
Sandwich-elementtien käyttö suomalaisissa korkeissa rakennuksissa on vanhastaan tuttu rakennusmenetelmä. Kuvassa 5 on leikkaus betonisandwich-elementistä, jossa ei ole tuuletusrakoa eristeen ja ulkobetonin välissä. Elementeissä maksimissaan noin 300 mm paksu eristekerros on sijoitettu kahden betonivalun väliin, joista sisempi on kantava paksumpi kerros. Eristeinä käytetään joko kovaa mineraalivillaa, joka takaa paremman ääneneristävyyden ja palonkeston, tai EPS-eristelevyä, joka eristää lämpöä paremmin ja on tiiviimpää. Mineraalivilla on halvempi vaihtoehto, mutta paksumpi eristekerros lisää kustannuksia elementin kuljettamisessa. Eristeistä ja niiden paksuudesta riippuen seinän U-arvo vaihtelee välillä 0,17-0,09 W/m<sup>2</sup>K. Sandwich-rakenteen sisäkuoren ollessa vähintään 80 mm ja ulkkokuori vähintään 70 mm vaaditaan 220 mm mineraalivillaa, jotta 0,17 W/m<sup>2</sup>K U-arvoon päästään. Vastaavasti 180 mm EPS riittäisi samaan eristävyyteen. [Betonikeskus ry.] 0,09 W/m<sup>2</sup>K täyttää passiivitalon vaatimukset, mutta näin hyvä lämmöneristys vaatii jo 430 mm mineraalivillaa tai 350 mm EPS:ää. Betoninen ulkkokuori toimii suojaavana rakenteena eristeelle, joten muovieristeiden käyttö ei ole yhtä riskialtista kuin tuulettuvissa julkisivuissa. [Elementtisuunnittelu.fi.] Valmis seinäpinta voidaan jättää joko paljaaksi betoniksi, tai se voidaan maalata tai

rapata. Erilaiset rappaukset antavat monipuolisia vaihtoehtoja valmiin julkisivun ulkonäölle. Korkeissa rakennuksissa jälkikäteen tehtävä rappaus on kuitenkin kallista työkentelyn hankaluuden takia.

Elementit voidaan valmistaa joko tehtaalla tai työmaalla. Elementtien valmistaminen työmaalla on kuitenkin nykyään hyvin harvinaista sen vaatiman tilan ja laadunvarmistamisen hankaluuden takia. Kun elementit valmistetaan tehtaalla, työmaalla ei tarvitse tehdä muuta kuin nostaa seinäelementit paikalleen, kiinnittää ne ja tiivistää saumat. Työmaalla tehtävän työn määrän vähentäminen parantaa rakenteiden laatua, koska laadunvalvonta on tehokkaampaa tehdasolosuhteissa. Tehtaalla elementtien valmistusta voidaan myös optimoida paremmin ja elementtejä voidaan valmistaa suuremmisissa erissä, jolloin valmistuskulut pienenevät elementtiä kohden. Sandwich-elementtien etuna on se, että niitä voidaan käyttää kantavana rakenteena. Tällöin rakennuksen jäykistys voidaan osittain hoitaa ulkoseiniä käyttämällä ja rakennuksen sisäisiä jäykistyksiä voidaan karsia. Tornihotelli Tampereella rakennettiin käyttämällä kantavia betonielementtejä julkisivuissa. Pintamateriaalina on värjätty musta betoni, teräs, sekä punainen julkisivupelti. [Projektuiutiset.]

#### 3.4 Hermeettisesti tiivis julkisivu

Hermeettisesti tiiviit julkisivut valmistetaan toimimaan täysin kosteus- ja ilmatiiviinä. Julkisivu jää tällöin ohuemmaksi kuin tuuletusraollista tai kaksoisjulkisivua käyttäessä. Oikein suunniteltuna ja toteutettuna se on hyvin huoltovapaa julkisivu. Huonot kuivumisolosuhteet eristeelle kuitenkin vaativat tarkat tiivistykset saumoissa ja aukkojen ympärillä, koska seinärakenteen sisään päässyt kosteus pääsee poistumaan sieltä huonosti. Tuulettuminen tiiviissä julkisivussa tapahtuu vain pienien reikien kautta, joten varsinaisesta tuulettumisesta ei voida puhua.



Kuva 6. Hermeettisesti tiiviin julkisivun liitosdetalji.

Kuvassa 6 on kuvattu hermeettisesti tiiviin julkisivun liitosdetalji. Saumojen tiivistämiseen voidaan käyttää saumauskitin sijasta liitoskappaleita, joissa kumimaisesta materiaalista valmistettu saumanauha puristuu tiiviisti elementtien reunoihin valmistettuihin uriin. Hermeettisesti tiiviit julkisivut ovat erittäin mittatarkkoja, sekä usein ohuempia kuin muut vaihtoehtoiset julkisivut. Näin ne mahdollistavat rakennuksissa erittäin terävien kulmien tekemisen tiiviisti ja toimivasti. Rakennusmateriaaleina hermeettisesti tiiviissä julkisivussa käytetään alumiinia ja terästä yhdessä lasin kanssa.

Hermeettisesti tiiviit julkisivut ovat rakennuskustannuksiltaan kalliimpia kuin perinteisemmät tuulettuvat tai sandwich-julkisivut vaativampien rakenteiden ja kalliimpien materiaalien takia. Teräs- ja alumiinirakenteet johtavat lämpöä erittäin hyvin puuhun tai betoniin verrattuna, joten lämpökatkojen tekeminen ohuisiin rakenteisiin vaatii erityistä suunnittelua.

## 4 Materiaalit

### 4.1 Pintamateriaalit

#### 4.1.1 Teräs ja alumiini

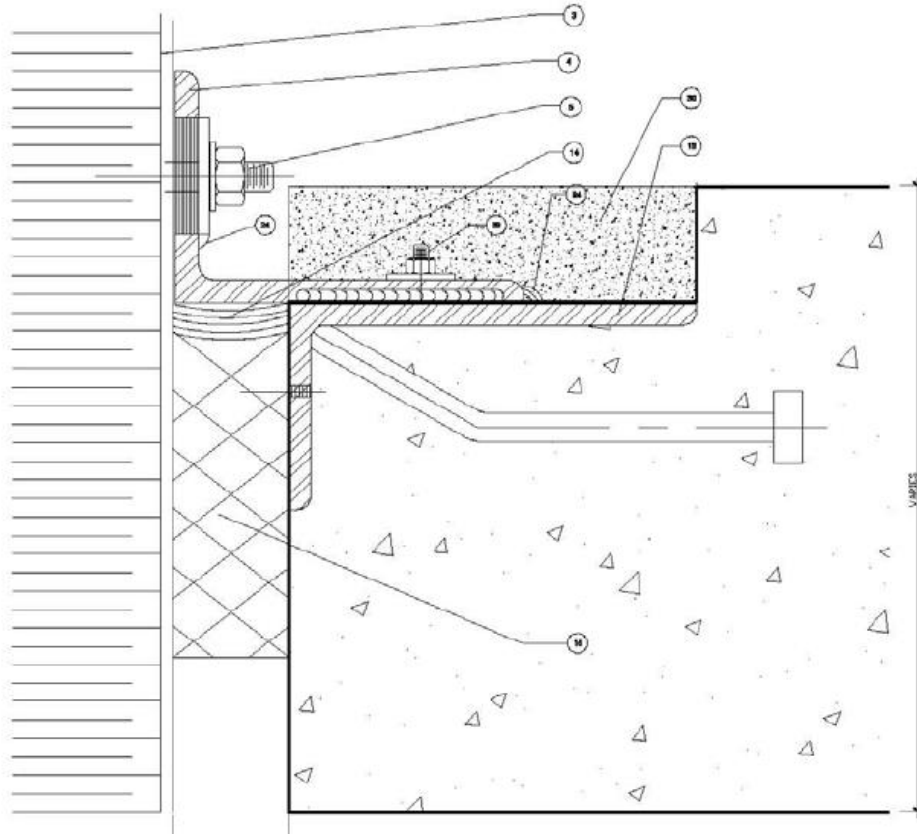
Alumiini on rakennusten julkisivuissa laajalti käytetty materiaali. Sen etuja teräkseen verrattuna ovat korkeampi korroosiokestävyys, keveys ja kierrätyksellä saavutettava energiasäästö. Teräs taas on julkisivumateriaalina perinteisempi ja sen etuihin lukeutuu joidenkin teräslaatuojen halvempi hinta, parempi saatavuus ja pienempi lämpölaajenemiskerroin ( $10\text{-}13\cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  <  $23.1\cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ ). Teräs ei myöskään reagoi emäksisten aineiden kuten betonin kanssa toisin kuin alumiini. Terästä käytetään yleisesti myös julkisivujen kiinnikkeissä, joissa pitää ottaa huomioon sähkökemiallinen korroosio muiden metallien kanssa.

Alumiinin erittäin hyvä korroosiokestävyys on suuri syy sen yleisyyteen julkisivuissa. Ilman kanssa kosketuksiin joutuessaan alumiinin pinnalle muodostuu läpinäkyvä oksidikerros joka suojaa alla olevaa alumiinia hapettumiselta. Tätä kutsutaan passivoitumiseksi. Ulkokäyttöön päätyvä alumiini joko maalataan tai anodisoidaan, jolloin pinnalle muodostuu luonnollista paksumpi oksidikerros. Passivoitunut kerros paikkautuu itsestään naarmujen kohdalla, joten alumiinipinnat eivät ole yhtä herkkiä mekaaniselle rasitukselle kuin teräksiset. Alumiini ei julkisivuissa tarvitse paljaana tai maalattuna pintana pesua lukuun ottamatta minkäänlaista huoltoa [Sustainability of aluminium buildings s. 8].

Alumiinin suurempi lämpölaajenemiskerroin tuottaa kuitenkin ongelmia sen liittämisesä muihin rakenteisiin. Teräksen lämpölaajenemiskerroin on hyvin lähellä betonin omaa ( $10\text{-}13\cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  ja betonin  $10\cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ ) jolloin näiden välisiin liitoksiin ei tule juurikaan jännityksiä lämpötilamuutoksista huolimatta.

Alumiinin kierrättäminen on taloudellisesti hyvin kannattavaa. Kierrätyksessä alumiinijäte sulatetaan yhteen ja epäpuhtaudet poistetaan. Tämän jälkeen alumiini voidaan seostaa kuten täysin uusiotuotantona tuotettu, eikä sen laatu kärsi prosessista. Kierrätetyn alumiinin tuottaminen käyttää 5% kokonaan uuden alumiinin jalostamiseen kuluvaista energiamäärästä. Euroopassa käytetystä alumiinista yli puolet onkin kierrätettyä kokonaan uuden materiaalin sijaan. [Sustainability of aluminium buildings s. 2.]





Kuva 7. Fultonin julkisivujärjestelmän kiinnitysdetalji betoniseen välipohjaan.

Alumiinirunkoinen lasijulkisivu kiinnitetään rakennuksen kantavaan runkoon kiinnityskappaleilla välipohjien kohdalla. Kuvassa 7 on detalji Fultonin julkisivun kiinnittämisestä betoniseen välipohjaan Tallinnan Radisson Blu -hotellista. Kiinnityksiin jätetään varaa lämpölaajenemiselle, sekä rakennuksen taipumiselle tuulessa. Fultonin julkisivujärjestelmässä annetaan jokaiselle elementille 50 mm asennusvara, joka mahdollistaa julkisivun elämisen. Lämpökatkot pitää suunnitella julkisivuprofiilissa, koska kiinnittäminen rakennuksen kantavaan runkoon tapahtuu useimmissa järjestelmissä hyvin lämpöä johtavilla metallisilla kiinnikkeillä.

Teräksen korroosiokestävyys on huomattavasti alumiinia heikompi. Täysin käsittelemätön rakennusteräs ruostuu ulkotiloissa päivissä ja tämän takia lähes kaikki näkyvät teräsrakenteet ovat maalattuja, sinkittyjä tai austeniittisiä ruostumattomia teräksiä. Ruostumattomaksi teräkseksi määritellään EN-10088-2-standardin mukaan teräkset, joissa korroosiokestävyys on tärkeä ominaisuus ja jotka sisältävät korkeintaan 1,2% hiiltä sekä vähintään 10,5% kromia. Kromi on näissä teräksissä tärkein korroosiota estävä seosaine. Julkisivuissa nämä minimivaatimukset täyttävä ruostumaton teräs ei kuiten-

kaan huonoissa oloissa, esimerkiksi suolaisessa meri-ilmastossa, kestäisi kauaa vaan on käytettävä kalliimpaa ja korroosiokestoltaan parempaa runsasseosteista austeniittista terästä. Austeniittisissa teräksissä kromipitoisuus on välillä 16-26% ja nikkelpitoisuus 7-26%. Hiiltä seoksessa on enintään 0,15% ja korroosiokestävyyden parantamiseksi 2-5% molybdeeniä. [RIL 235-2009 s62-73.]

Terästä käytettäessä korroosiota voidaan käyttää myös tehokeinona. Corten-teräksellä pyritään hallitsemaan ruostuminen siten, että korroosio pysähtyy teräksen pintaan. Corten-seos on pääasiassa terästä ja kuparia, sekä pienempiä määriä kromia, mangaania ja nikkeliä. Oikealla seoksella saadaan aikaan materiaali, joka ainakin teoriassa ruostuu vain pinnastaan tasaisen ruskeaksi mutta kestää sään rasitusta hyvin. Vaikeissa suolaisissa ja kosteissa oloissa korroosio ei välttämättä kuitenkaan pysähdy, jolloin julkisivun käyttöikä jää hyvin lyhyeksi. Esimerkiksi Omni coliseum Atlantassa oli päällystetty corten-teräksellä, mutta korroosio ei pysähtynyt liian kosteista sääolosuhteista johtuen. 25 vuoden päästä julkisivu oli ruostunut purkamiskuntoon. [Wikipedia, corten.]

#### 4.1.2 Lasi

Rakentamisessa käytetyn lasin kolme perustyyppiä ovat tavallinen float-lasi, karkaistu lasi sekä laminoitu lasi. Turvalasiksi luokittelu edellyttää pientä sirpalekokoa joka saavutetaan karkaisulla. Kaikkiin lasityyppeihin on mahdollista saada erilaisia pintakäsittelyitä sekä laminoituun lasiin erilaisia laminointikerroksia. Lasin tärkeimmät ominaisuudet rakentamisessa ovat valonläpäisy ja lämmöneristävyys. Lasin teoreettinen puristuslujuus on hyvin korkea jopa 1000 MPa, mutta lasissa aina olevat pienet halkeamat pienentävät todellisen lujuuden noin 1% tästä [Pilkington lasifakta].

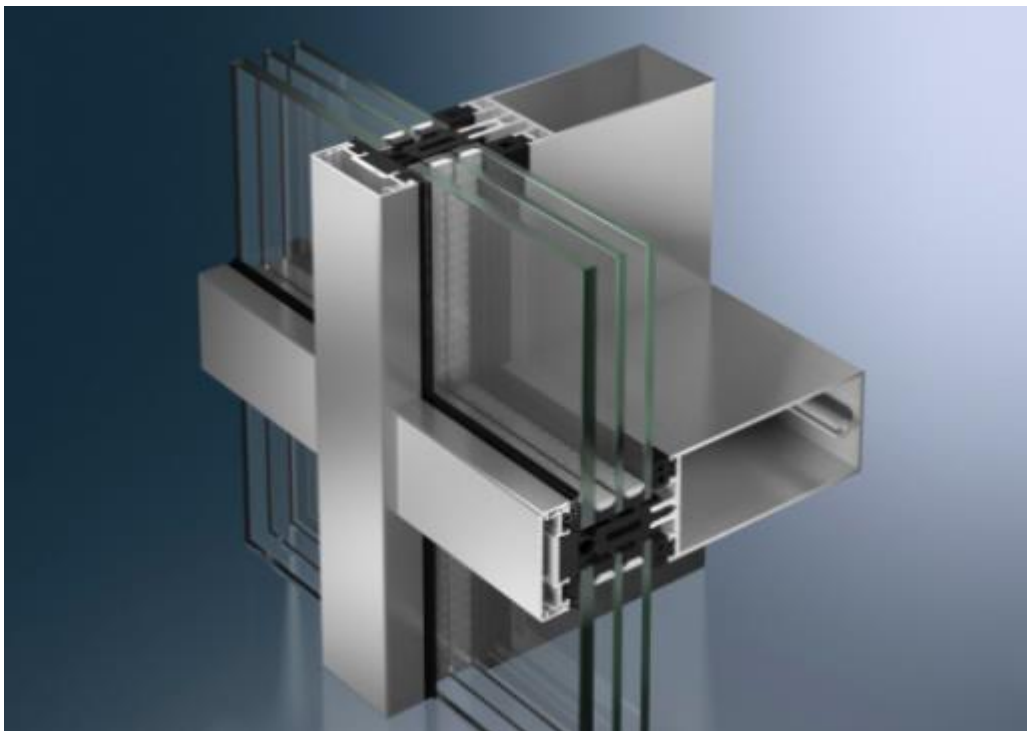
Float-lasi on kaikista yleisin lasityyppi. Rakennusten sisäikkunat ovat hyvin usein tästä lasista tehtyjä sen halvan hinnan ja erinomaisen valonläpäisyn takia. Huonona ominaisuutena float-lasi hajotessaan särkyä suuriksi ja teräviksi kappaleiksi, jotka pudotessaan voivat aiheuttaa pahoja vammoja. Tulipalossa sen voidaan olettaa hajoavan välittömästi, joten palosulkuihin se ei ole soveltuva materiaali.

Karkaistu lasi on samaa materiaalia kuin tavallinen float-lasi mutta se on karkaistu kuumentamalla ja tämän jälkeen kylmällä ilmalla nopeasti jäädyttämällä. Käsittely muodostaa lasin pintaan puristusjännityksen ja keskustaan vetojännityksen. Jännityksen lasissa lisäävät sen lujuutta, koska voiman on ensin ylitettävä karkaisusta synty-

neet jännitykset ennen kuin se alkaa rasittaa lasin vetolujuutta. Korkeampi lujuus mahdollistaa karkaistun lasin kiinnittämisen läpi pulttaamalla, joka float-lasilla on mahdotonta. Karkaisun toinen tärkeä seuraus on se, että hajotessaan lasi sirpaloituu pieniksi muruiksi, jotka eivät pudotessaan aiheuta vaaraa, eikä niihin voi leikata itseään pahasti. [Pilkington lasifakta.]

Laminoitu lasi on joko tavallista float-lasia tai karkaistua lasia, jossa kahden lasikerroksen väliin on puristettu kovassa paineessa ja kuumuudessa muovikalvo. Muovikalvo toimii tukirakenteena lasille siinä tilanteessa, että lasi hajoaa. Lasinsirpaleet pysyvät yhdessä muovikalvossa, eivätkä aiheuta suurta riskiä viiltohaavoille tai läpi putoamiselle. Tällainen lasi on erittäin kestävä ja sitä käytetäänkin paljon turvalasina esimerkiksi kaiteissa tai lattiaan asti yltävissä ikkunoissa. Laminoitua lasia on myös mahdollista saada palosuojalasina, jolloin lasilevyjen väliin on laminoitu vettä sisältävä kalvo. Kuumassa kalvon sisältämä vesi höyrystyy ja kalvo vaahdotuu eristäen palon. Pilkingtonin 15 mm paksu Pyrostop-lasi täyttää EI30 vaatimukset, eli se toimii palokatkona ja suojaa sen toisella puolella olevia rakenteita palon kuumuudelta [Pilkington pyrostop].

Kaikkiin lasityyppeihin on mahdollista saada erilaisia pintakäsittelyitä ja kalvoja, joilla voidaan vaikuttaa lasin valon- ja lämmönläpäisyyseen, ulkonäköön tai tehdä siitä itsepuhdistuvan. Korkeissa rakennuksissa, joissa on suuria lasipinta-aloja, auringonvalon tuoma lämpöenergia voi olla hyvinkin haitallista. Sen lisäksi, että se häikäisee, nostaa se myös koneelliseen jäähdytykseen kuluvaan energiamäärää. Toisaalta talvisin varsinkin kylmemmissä ilmastoissa toivotaan sisään mahdollisimman paljon lämpöä, jolloin lasien tarvitsisi läpäistä ulkoa tulevaa säteilyä hyvin. Ikkunoilta vaaditaan korkeintaan 1,0 W/m<sup>2</sup>K U-arvoa ja nykyisillä alumiinirankaisilla ikkunaelementeillä päästään noin 0,8 W/m<sup>2</sup>K U-arvoon [Meriläinen elinkaarianalyysi]. Sisään paistava auringonvalo ei ole ainoastaan positiivinen asia, vaan häikäisyä pitää pyrkiä estämään rakennusta suunniteltaessa, esimerkiksi ikkunoiden sijoittelulla ja varjostamisella.



Kuva 8. Schüco FW 50 lasiseinäprofiili.

Rakennusmateriaalina lasi on monilta ominaisuuksiltaan huono. Se eristää lämpöä ja ääntä heikosti yleisesti käytetyillä rakennepaksuuksilla. Lasin reunat ovat herkkiä rikkoutumaan ja sen kiinnittäminen yksinään on työmaaoiloissa haasteellista. Kuvassa 8 on esimerkki lasin käyttämisestä julkisivuissa. Lasit ovat kiinnitettynä alumiinirunkoon, jossa ulommat ja sisemvät rungon osat ovat erottu toisistaan muovista valmistetuilla profiileilla lämpökatkon luomiseksi. Alumiinia käytetään lasin kanssa sen erinomaisen korroosiokestävyyden, muovattavuuden ja keveyden takia. Lämmön- ja ääneneristävyyden parantamiseksi elementit valmistetaan eristelasiksi, jossa kahden tai useamman lasikerroksen välissä käytetään eristeenä esimerkiksi argonia pienentämään lasin u-arvoa. Paremman lämmöneristävyyden lisäksi eristelasi parantaa ääneneristävyyttä merkittävästi. Ääneneristävyyden kannalta merkittävintä ovat erikokoiset välit lasien välillä, sekä eripaksuisten lasien käyttäminen. Eripaksuiset lasit värähtelevät eri ominaisuuksilla, joka parantaa ääneneristävyyttä. [Pilkington lasifakta.]

#### 4.1.3 Betoni

Betonin käyttö julkisivuissa on hyvin yleistä sen halvan hinnan ja hyvän keston takia. Luonnonkivestä poiketen betonia on yleisesti nopeasti saatavilla ja sen laatu on hyvin tasaista. Betonia voidaan käyttää joko laattoina tai koko julkisivu voidaan tehdä betoni-

pintaisina sandwich-elementteinä. Korroosiokestoltaan betoni on erinomaista, mutta sen raudoitusteräksset eivät. Betoni karbonisoituu, eli reagoi ilman hiilidioksidin kanssa ja sen lujuus kasvaa näin ajan myötä. Betoni on normaalisti emäksistä ja tämä emäksisyys suojaa raudoitteita korroosiolta. Kun betoni karbonisoituu se myös happamoituu eikä pysty suojaamaan raudoituksia korroosiolta. Raudoitusten hapettuessa lopputuotteena syntyy rautaoksidia, jonka tilavuus on suurempi kuin teräksen. Ruoste aiheuttaa painetta betonissa ja murtuu lopulta. Ohuita suojabetonikerroksia voidaan kuitenkin käyttää, jos tavallisen harjateräksin sijaan käytetään ruostumattomia teräksiä. Tällöin elementtien hinta kuitenkin kasvaa ja ruostumattoman teräksen työstettävyys on huonompaa. Betonin terästä suojaava emäksisyys taas vaurioittaa alumiinia. Alumiinia ei tulisikaan päästää kosketuksiin varsinkaan tuoreen tai märän betonin kanssa, jottei alumiinin korroosiolta suojaava passivoitunut kerros pääse vahingoittumaan.

Ulkoisesti betoniseinistä saadaan hyvin monimuotoisen näköisiä. Pinnat voidaan rapata, maalata, pinnoittaa teräksellä tai niissä voidaan käyttää erilaisia pintakäsittelyitä. Pintakäsittelyitä ovat esimerkiksi erilaiset hiertämiset ja hiomiset, hiekkapuhallus tai happopesut. Paljaaksi jätetty betoni kuitenkin huokoisena materiaalina likaantuu helposti. Varsinkin valkobetonia käytettäessä on otettava huomioon, että ajan myötä liikennepöly ja muu lika tahrivat seinäpinnat.

#### 4.1.4 Kivi

Luonnonkiven käyttö korkeissa rakennuksissa ei ole kovin yleistä uudisrakentamisessa. Se oli suosittu materiaali pilvenpiirtäjien alkuaikoina, ennen teräs-, alumiini- ja lasijulkisivujen yleistymistä. Suosiota selittävät yksinkertaiset rakenteet ja erinomainen säänkesto. Useissa vanhoissa pilvenpiirtäjissä seinän pohjana toimiikin tiiliverhous, johon on tarttumaraudoilla kiinnitetty luonnonkivistä valmistettu julkisivu. Luonnonmateriaalina sen laatu voi vaihdella ja saatavuus voi olla rajattua. Kivilaatuja on saatavilla monenlaisia ja kivi täytyykin valita ympäröivien olosuhteiden mukaan. Kivilajit eroavat toisistaan ulkonäön lisäksi haponkestoltaan ja kovuudeltaan. Happamat sateet kaupungeissa voivat aiheuttaa kiville voimakasta korroosiota. Oikeita kivilajeja käyttämällä saadaan julkisivu, joka on pitkäikäinen ja huoltovapaa saumoja lukuun ottamatta.

Luonnonkivistä valmistettu julkisivu on kuitenkin raskas. Toisin kuin betoni, johon voidaan valmistuksen aikana lisätä kuituja tai raudoitusta sitomaan muuten vetolujuudeltaan heikkoa materiaalia yhteen, kivilaatat murtuvat helposti. Murtumisen estämiseksi

laatat valmistetaan paksummiksi, joka taas lisää niiden massaa. Kiinnityksen varmistamiseksi graniittilaatan pitää olla vähintään 25 mm paksu sen pinta-alan ollessa korkeintaan 0,6 m<sup>2</sup> [luonnonkivet ja julkisivut 45-56]. Mitä suurempia laattoja halutaan tehdä, sen paksumpia niistä täytyy valmistaa. Kivilaattojen koko on edullisinta pitää 0,5-1,2 m<sup>2</sup> välillä. Tällaisella laattakoolla valmistaminen, kuljetus, säilytys ja asentaminen on taloudellista.

Kivijulkisivua valitessa pitää ottaa myös huomioon kiven saatavuus. Luonnonkivi nimensä mukaisesti louhitaan sellaisenaan maasta ja riittävän laadun saavuttavaa kivi-materiaalia ei välttämättä ole nopeasti saatavilla suuria määriä. Tämän lisäksi haluttua kivilajia ei välttämättä esiinny rakennuspaikan lähistöllä tai edes samassa maassa ja kivi joudutaan tuottamaan toisessa maassa. Saatavuus ja siitä johtuvat pitkät toimitusajat tulee ottaa erityisesti huomioon aikataulutuksessa.

Empire state building on yksi kuuluisimmista korkeista luonnonkivipintaisista rakennuksista. Pilvenpiirtäjän julkisivuna on tiilipohjan päälle kiinnitetty kalkkikiviverhous. Kiviverhouksen pitkäikäisyydestä kertoo se, ettei julkisivua tarvinnut korjata kuuteenkymmeneen vuoteen. Korjauksen tarpeessa olivat laastiliitokset kivien välissä, joista kosteus oli päässyt seinärakenteeseen ja ruostuttanut kivien kiinnitysteräket. Säältä suojaava kalkkikivipinta oli vieläkin lähes uutta vastaavassa kunnossa vaativassa meriilmastossa. [Structure mag.]

## 4.2 Eristeet

### 4.2.1 EPS ja XPS

EPS-levyt ovat polystyreenistä valmistettuja levyjä, joiden käyttö rakennuseristeinä on laajalle levinnyttä. Sen yleisimpiä käyttökohteita ovat routaeristeet rakennusten ympärillä, sekä lattioiden eristäminen pientalorakentamisessa. Eristeiden laajaa käyttöä selittävät edullisuus ja työstettävyys. EPS ja XPS -levyt ovat jäykkiä ja niitä voidaan leikata veitsellä. EPS:n lämmönjohtavuus on noin 0,031-0,039 W/mK. Lämmönjohtavuutta voidaan kuitenkin pienentää lisäämällä eristeeseen grafiittia, joka parantaa eristävyttä 16-25%. Nämä tummat grafiitti-EPS-levyt ovat kuitenkin tavallista kalliimpia ja niiden käyttö rajoittuukin erityiskohteisiin. EPS-levyt läpäisevät ilmaa ja vettyvät joten tämä on otettava suunnittelussa huomioon. Routaeristeinä vettyminen ei ole niinkään ongelma

koska salaojituksen pitäisi pitää maaperä kuivana, mutta seinien tai kattojen eristämässä kuivuminen on varmistettava. [Finfoam.]

XPS on suulakepuristettua polystyreeniä, eli materiaali on samaa kuin EPS. Se on rakenteeltaan tiiviimpää ja solurakenne on suljettu, jonka ansiosta ilman- ja kosteudenläpäisy on pienempi kuin EPS-eristeillä. XPS-levyjä voidaankin käyttää höyrysulkuna, jos saumat tiivistetään eikä levyjen pintaa rikota. Pinna rikkoutuessa kosteus pääsee levyn sisään ja XPS vettyy tällöin yhtä helposti kuin EPS. Paremman ilman ja kosteuden eristämisen lisäksi rakennusmaailman testissä (8/11) XPS oli myös tasalaatuisempaa kuin EPS. [Finfoam XPS.]

Molemmat EPS ja XPS eivät ole paloeristeenä toimivia, koska ne sulavat noin 240°C:ssa ja syttyvät palamaan 400°C:n lämpötilassa. Varsinkin julkisivuissa, joissa tuuletusraot voivat toimia savupiippuna styreenit palavat voimakkaasti. Routaeristeenä käytettäessä tämä ei aiheuta ongelmia, mutta rakenteiden eristämässä se pitää ottaa huomioon. Materiaalin palavuus onkin pääsyy minkä takia polystyreeni eristeiden käyttö korkeiden rakennusten julkisivuissa ei ole yleistynyt. [TTL.]

#### 4.2.2 Polyuretaanit

Polyuretaania (PUR ja PIR) käytetään rakentamisessa tiivistämiseen ja eristämiseen laajasti. PUR on polyuretaanipohjainen kun taas PIR on polyisosyanuraattipohjainen. Sen lämmönjohtavuus on 0,023 W/mK eli se on lämmöneristävyydeltään parempaa kuin mineraalivillat tai EPS ja XPS. Polyuretaania on saatavilla joko valmiina levyinä, tai se voidaan ruiskuttaa paikan päällä. Levyjä käyttäessä kannattaa ottaa huomioon, että tehtaalla valmistetut levyt ovat lähes aina metallilevyllä pinnoitettuja ja ne heikentävät näin huomattavasti matkapuhelin signaaleja. Paikan päällä ruiskuttaessa letkun päässä oleva suutin sekoittaa kaksikomponenttisen polyuretaanin yhteen, jolloin kemiallinen reaktio käynnistyy ja uretaanivahto kovettuu. Kovettuessaan vahto myös painuu täyttäen pienet raot tiivistäen rakenteen. Polyuretaania myydään myös pienempiin tiivistystarkoituksiin painetölkeissä, jotka toimivat samalla periaatteella. Uretaani on erittäin ilma- ja kosteustiivistä valmiina levyinä tai ruiskutettuna. Tosin vain uretaanin pinnat ovat tiiviitä, joten jos pinta vaurioituu, eristeen ilma- ja kosteustiiveys pienenee merkittävästi. Tämä tulee vastaan erityisesti ikkunoiden ja oven karmien tiivistämisessä, jossa ylitäytetyt saumat pursuavat ulos. Tässä tapauksessa saumat pitäisi täyttää uudestaan sen sijaan, että vain yli pursuneet osat leikattaisiin pois. [PU-eristeet.]

Polyuretaanit ovat palavia ja niiden itsesyttymislämpötila on noin 400°C. Ne kuitenkin toimivat palokatkoissa savua eristävänä materiaalina, mutta tulen suoralta kuumuudelta se pitää suojata esimerkiksi mineraalivillalla. Polyuretaanilevyjen käyttöä julkisivuissa rajaakin sen palo-ominaisuudet. Seinärakenteet sisällä syntyvät helposti savupiippuilmiö, joka imee paloon vielä normaalia enemmän happea, jolloin avoimessa tilassa heikosti palava polyuretaani palaa nopeasti ja voimakkaasti. [PU-eristeet.]

#### 4.2.3 Villat

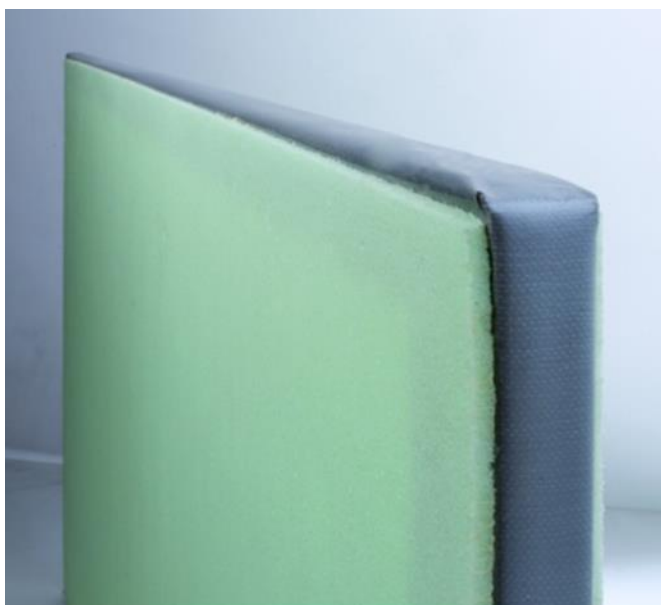
Erilaisia villoja käytetään rakentamisessa lämmön-, äänen- sekä paloneristeenä. Villoja on saatavana kovina ja pehmeinä levyinä, sekä ruiskutettavana silppuna jota käytetään lähinnä yläpohjien eristeenä. Kivi- ja lasivillassa materiaalina toimiva mineraali tai lasi sulatetaan ja puhalletaan pienistä rei'istä kylmään ilmaan, jossa materiaali kovettuu kuiduksi. Ekovilla tehdään puukuiduista, muuten se vastaa ominaisuuksiltaan mineraalivilloja. Nämä kuidut liimataan yhteen fenoliformaldehydihartsilla, jolloin muodostuu hyvin muotonsa pitäviä levyjä tai pehmeää villaa liimasta ja sen määrästä riippuen. Vaikka hartsiliimat ovat useimmiten palavia, lasketaan kuitenkin yli 50 kg/m<sup>3</sup> painavat mineraalivillat palamattomiksi rakennustarvikkeiksi. Villan pehmeys mahdollistaa rakojen tiivistämisen palotiiviisti. Sitä käytetäänkin laajasti esimerkiksi ei kantavien muuratujen seinien yläreunojen ja läpivientien tiivistämiseen. Mineraalivillojen lämmönjohtavuus arvot ovat noin 0,036 W/mK ja ekovillan 0,039 W/mK. Villat läpäisevät ilmaa hyvin, joten paksuissa kerroksissa syntyy helposti ilmavirtauksia, jotka laskevat eristävyyttä. Ilmanläpäisevyyden takia tuulensuojalevyt ja höyrysulut ovat villaa käyttäessä välttämättömiä.

Toisin kuin mineraalivillat, on ekovilla hygroskooppista eli se pyrkii sitomaan kosteutta ympäriltään. Se sitoo ja luovuttaa kosteutta hyvin, joten paksummat eristekerrokset ovat mahdollisia. Villan sitoma kosteus myös hidastaa palon leviämistä. Villan sitoman kosteuden pitää kuitenkin päästä kuivamaan aivan kuten muitakin eristeitä käytettäessä, jottei homekasvustoja pääse syntymään joko villaan tai ympäröiviin rakenteisiin. Ekovilla ei pala vaan hiiltyy kuten massiivipuu vaikkakin nopeammin. Ekovillan hiiltymisnopeus on 50...150 mm/h kun taas massiivipuu hiiltyy 48mm/h [Ekovilla.com].



#### 4.2.4 Tyhjiölevyt

Tyhjiölevyt ovat uutta tekniikkaa, jossa lämmöneristysmateriaalina toimii tyhjiö. Lämpö ei pysty liikkumaan tyhjiössä konvektiona tai johtumisena, joten se pystyy vain säteilemään eristeen pinnasta toiseen. Suurimmat lämpöhäviöt normaaleissa eristemateriaaleissa tulevat lämmön johtumisesta materiaalin pinnasta toiseen, joten tyhjiölevyillä pystytään teoriassa saavuttamaan erinomainen lämmöneristävyys. Materiaalipaksuudet saadaankin pidettyä hyvin ohuina kuitenkin lämmöneristävyttä uhraamatta.



Kuva 9. Isoverin vacupad 007 tyhjiöeriste

Isoverin tarjoamilla tyhjiöeristeillä varsinainen eristävä tyhjiö on 20, 25 tai 30 mm paksu ja sen molemmilla pinnoilla on 5 mm paksu XPS-levy suojaamassa mekaaniselta rasitukselta. Kuvassa 9 näkyy esimerkkinä Isoverin Vacupad 007, jolla 50 mm paksulla eristeellä saavutetaan teoreettinen 0,007 W/mK lämmönjohtavuus. Todellisuudessa rakenteessa on kylmäsiltoja ja esimerkiksi tyhjiölevyjen reunatiivisteet johtavat lämpöä paremmin kuin levyjen keskusta. Koko rakenteen U-arvoa laskiessa tuleekin ottaa huomioon levyjen saumat, sekä pienet raot joihin suuria tyhjiöeristelevyjä ei saada. [Isover vacupad.]

Tyhjiöeristeiden käyttö rajoittaa niiden hinta ja se, ettei niitä pystytä enää muokkaamaan työmaalla. Levyjen leikkaaminen tai vaurioittaminen rikkoo tyhjiön ja päästää eristeen sisään ilmaa. Ilman tyhjiötä eriste ei toimi lainkaan ja levy onkin silloin vaihdettava. Tässä suhteessa tyhjiöeristeet ovat erittäin herkkiä, koska pienikin naulan tai ruu-

vin aiheuttama reikä tekee koko eristelevystä käyttökelvottoman. Myös erilaiset jälkikäteen tehtävät läpiviennit hankaloittavat niiden käyttöä. Muut eristemateriaalit ovat tässä suhteessa huomattavasti juostavampia. Isommissa rakennusprojekteissa levyjen joustamattomuus voitaisiin ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Tyhjiöeristeitä voitaisiin käyttää suurilla yhtenäisillä pinnoilla, jossa niitä ei tarvitsisi leikata. Pienemmät välit esimerkiksi ikkunoiden tai ovien ympärillä voitaisiin eristää perinteisemmällä materiaaleilla tai aerogeeli eristeillä.

#### 4.2.5 Aerogeelieristeet

Aerogeeli on huokoista materiaalia, jonka tiheys voi pienemillään olla samaa luokkaa ilman kanssa eli noin  $1200 \text{ g/m}^3$  ja sitä nimitetäänkin kiinteäksi savuksi. Aerogeelissä tyhjiö, ilma tai jokin muu täytekaasu on suljettuna huokoiseen vaahtomaiseen rakenteeseen. Vaahdon pohjamateriaalina käytetään usein silikaattia, josta valmistetut pienet muutaman nanometrin kokoiset partikkelit ovat liittyneet toisiinsa muodostaen kenomaisen rakenteen. Silikaatit ovat yleisin pohjamateriaali niiden vaihtoehtoihin verrattuna halvan hinnan ja helpon saatavuuden ansiosta. Muita mahdollisia pohjamateriaaleja aerogeelille ovat hiili ja eri metallien oksidit kuten rauta- ja neodymiumoksidi. Näitä käytetään lähinnä silloin kuin vaaditaan erittäin hyviä eristysominaisuuksia tieteellisiin tarkoituksiin. Aerogeeli on tullut tunnetuksi avaruusajan materiaalina ja NASA on käyttänyt sitä avaruusalusten ja -pukujen eristeenä sekä hiukkasten kaappaamiseen luotaimilla. Kuten useat muutkin avaruuteen kehitetyt materiaalit, myös aerogeeli on siirtymässä arkisempaan käyttöön rakennuseristeenä.

Aerogeelin eristyskyky perustuu huokoisen rakenteen heikkoon lämmönjohtoon. Ilma ei itsessään toimisi näin hyvänä eristeenä vaan aerogeelissä käytetään hyväksi Knudsenefektiä, jonka mukaan kaasun lämmönjohtokyky pienenee huomattavasti, kun kaasun sisältävän huokoisen koko on tarpeeksi pieni. Aerogeelissä huokoiset ovat erittäin pieniä, halkaisijaltaan noin  $100 \text{ nm}$  eli  $100 \times 10^{-9} \text{ m}$ , ja tämän kokoisilla huokoisilla Knudsenefekti pääsee vaikuttamaan.  $10 \text{ mm}$  paksun aerogeeli levyn tai pehmeän huovan lämmönjohtavuus on  $0,014 - 0,016 \text{ W/mK}$  eli noin kaksinkertainen tyhjiöeristelevyn keskikohdan lämmönjohtavuuteen verrattuna. Aerogeelin tilavuudesta laadusta riippuen on ilmaa noin  $98-99\%$  millä selittyy sen erittäin pieni tiheys. Puhdas aerogeeli kestää tiheyteensä nähden kovaakin puristusta mutta on hyvin haurasta.

Käytännössä rakennuseristeinä käytetty aerogeeli ei tämän takia ole puhdasta vaan se on sidemateriaalissa, jolla saavutetaan tarpeellinen muokattavuus ja mekaanisen rasituksen kesto. Sidemateriaalina voidaan käyttää polyesteriä tai polyeteeniä, jolloin eristeen tiheys on noin  $70 \text{ kg/m}^3$ . Valmis eriste on koostumukseltaan huopamaista, joten pehmeää villaa käsittelemään tottuneille vaihtaminen on helppoa. Silikaatit eivät ole käyttäjälle vaarallisia, mutta levyistä irtoava pöly ärsyttää keuhkoja, silmiä ja ihoa, joten suojarustus on tarpeellista aivan kuten lasivillaa käsitellessä. Kovat aerogeeli-levyt kestävät erinomaisesti puristusta, mutta isku- ja vetolujuus eivät ole hyviä.  $6200 \text{ kg/m}^2$  kuormituksella 10 mm paksu kova aerogeeli-levy puristuu kasaan 1 mm eristyskyvyn pysyessä samana. Aerogeelin erinomaisiin ominaisuuksiin kuuluu myös palonkesto. Silikaattipohjaisena ne eivät pala lainkaan eivätkä ne myöskään sula tulipalojen lämpötiloissa. Sidemateriaalin takia suositellut käyttölämpötilat ovat kuitenkin välillä  $-200^\circ\text{C}/+160^\circ\text{C}$ .

Rakennuskäytössä aerogeelin käyttöä rajoittaa sen hinta ja saatavuus. Neliöhinta on moninkertainen kivivillan verrattuna ja aerogeelin edut ovat vain ohuempi rakenne ja parempi puristuslujuus. Paikoissa, joissa kuitenkin tarvitaan erityisen hyvää eristystä pienessä tilassa kuten ikkunoiden reunoissa tai kylmäsiltojen katkoissa sillä voisi olla perusteltua käyttöä.

#### 4.2.6 Eristemateriaalien ominaisuuksia

ERISTE	Lämmönjohtavuus w/mK	Ilmanläpäisevyys K [m <sup>3</sup> /msPa]	vesihöyryn läpäisevyys [*10 <sup>-12</sup> kg/msPa]	Palokatko
EPS	0,031-0,039	30...500 x 10 <sup>-6</sup>	6	EI SOVELLU
XPS	0,028-0,031		1,6	EI SOVELLU
Polyuretaani(PIR,PUR)	0,023		0,1	SOVELTUU MINERAALIVILLAN KANSSA
MINERAALIVILLA	0,036	15...800 x 10 <sup>-6</sup>		SOVELTUU, EI PALA
EKOVILLA	0,039	80...120 x 10 <sup>-6</sup>		SOVELTUU (hiiltyy 50-150mm/h)
TYHJIÖERISTEET(vacupad 007)	0,007			EI SOVELLU
AEROGEEELIERISTEET	0,014			SOVELTUU, EI PALA

Kuvio 6. Taulukko eristemateriaalien ominaisuuksista

Kuviossa 6 on koottuna eristemateriaalien ominaisuuksia taulukkoon. Tietojen ollessa puutteellisia, jätettiin taulukosta solu tyhjäksi. Varsinkin uusien materiaalien kuten tyhjiöeristeiden ja aerogeelin kohdalla tietoa muusta kuin lämmönjohtavuudesta on haasteellista löytää. XPS:n ja polyuretaanin ilmanläpäisevyys on pienempi kuin EPS:llä, johtuen näiden tiiviimmästä rakenteesta. Tyhjiöeristeen vesihöyrynläpäisevyyden ja

ilmanläpäisevyyden voidaan olettaa olevan pieni sen tiiviin rakenteen takia. Jos levy pitää sisällään tyhjiötä, ei kosteuskaan voi päästä sen lävitse.

### 4.3 Julkisivun runko

#### 4.3.1 Betoni

Betonirunko on yleisesti käytetty sandwich-elementteihin. Sandwich-elementeillä on pitkä historia elementtirakentamisessa ja kokemus valmistamisesta ja niiden käytöstä lisäävät rakentamisen laatua. Betonin etuina ovat sen hinta, ääneneristävyys sekä palonkesto. Rakennuksen jäykistyksen kannalta betoniset sandwich-elementit ovat erinomaisia, koska niitä voidaan käyttää osana rakennuksen jäykistävää runkoa. Tällöin elementit mitoitetaan kantaviksi rakenteiksi. Rakennuksen jäykistämisen kannalta rakenteet toimivat paremmin, kun ne ovat kauempana kiertokeskipisteestä. Julkisivut jäykistävänä rakenteina toimivat siis hyvin. Betoniset julkisivuelementit ovat kuitenkin herkkiä vaurioille, sekä virheille valmistuksen aikana. Sandwich-elementit saivat paljon huonoa mainetta niiden alkuaikoina juuri valmistusvirheiden takia. Jos betonikuorien välinen eristekerros pääsee puristumaan kasaan, syntyy elementtiin kohta, jonka lämmönjohtavuus on suuri suunniteltuun arvoon verrattuna. Nykyisillä valmistusmenetelmillä näistä ongelmista on päästy eroon ja sandwich-rakenteet ovat toimivia. Elementit ovat vieläkin herkkiä vaurioille asentamisen aikana. Ne täytyykin nostaa varoen ja käyttäen vain suunniteltuja nostolenkkejä, joilla elementti on tasapainotettu niin, etteivät kulmat pääse vaurioitumaan nostettaessa tai laskiessa.

#### 4.3.2 Teräs ja alumiini

Paljon lasia sisältävissä julkisivuissa teräs tai alumiini ovat yleisimmät runkomateriaalit. Alumiinilla ja teräksellä saadaan rakennettua kevyitä ja jäykkiä seinärakenteita. Metallirunkoista julkisivua käytettäessä suurimpana haasteena on lämmöneristys metallin hyvän lämmönjohtavuuden takia. Erityistä huomiota pitää kiinnittää kylmäsiltoihin, joita muodostuu, kun yhtenäinen metallirakenne jatkuu seinän sisäpinnasta ulkopintaan. Kylmäsiltojen muodostuminen seinärakenteen lävitse estetään katkaisemalla lämpöä johtava rakenne. Kun kyseessä on metalliprofiili, lämpökatko voidaan tehdä esimerkiksi muovisella väliskappaleella. Tällöin seinän sisäpintaa lähempänä oleva metallirakenne pysyy lämpöisempänä kuin ulkoinen. Ulkoseinien U-arvo voi olla Suomen määräysten

mukaan  $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Alumiinirunkoinen julkisivu lämpökatkoineen ja solumuovieristeellä saavuttaa yleensä noin  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  U-arvon, mikä on selvästi vaatimuksia parempi [Meriläinen elinkaarianalyysi].

Paloturvallisuus metallirakenteisella julkisivulla on haasteellista. Teräs tai alumiini eivät pala normaaleissa oloissa mutta niiden lujuus pienenee tai häviää kokonaan tulipalojen lämpötiloissa. Teräs menettää lujuutensa noin  $700^\circ\text{C}$ :n lämpötilassa alumiinin ollessa jo täysin sulanutta tässä vaiheessa. Heikon palonkeston takia metallirakenteet, joiden pitää kestää kuormia, tulee suojata kuumuudelta joko eristämällä ne toisella rakenteella tai käyttämällä palosuojapinnoitteita.

Kantavien rakenteiden lujuuden menetys tarkoittaa useimmiten ainakin rakennuksen osan sortumista, purkutuomiota tai vähintään erittäin korkeita korjauskustannuksia. Korjauskustannukset tulipalon sattuessa eivät ole suurin prioriteetti, vaan rakennuksen sortumisen estäminen ja henkilövahinkojen minimointi tulisi olla etusijalla.

#### 4.3.3 Puu

Puu on julkisivujen rungoissa paljon käytetty materiaali pientalorakentamisessa. Se on muihin runkomateriaaleihin verrattuna edullista ja sen saatavuus on erinomaista. Sen muokattavuus työmaalla on erittäin helppoa ja liitosten tekeminen tai osien katkominen onnistuvat teräkseen tai betoniin verrattuna yksinkertaisesti. Puu on myös hengittävä materiaali ja se pystyy sitomaan itseensä kosteutta sekä luovuttamaan sitä erojen tasaamiseksi. Puupintojen huolto on myös yksinkertaista, pinnat voidaan maalata uudelleen ja vahingoittuneita osia voidaan korvata uusilla.

Korkeissa rakennuksissa sen käyttöä kuitenkin rajaavat puun huonot ominaisuudet. Palavana materiaalina se lisää rakennuksen palokuormaa ja sen käyttäminen julkisivupinnoissa vaatii näin erikoislupaa viranomaisilta, mutta hitaan hiiltymisnopeuden takia puu kestää kuormitusta palotilanteessakin. Käsittelemätön puu tarjoaa myös homeelle ja hyönteisille hyvän kasvualustan sekä ravintoa, joten sen suojaaminen ja kuivuminen ovat erittäin tärkeitä. Puurakenteiden kuivuminen pitääkin varmistaa ja kosteudelle altistaminen minimoida. Kuivissa oloissa ja tasaisessa lämpötilassa puu voi käsittelemättömänäkin kestää käyttökelpoisena vuosikymmeniä. Suunnittelun kannalta massiivipuuta ei ole tasalaatuista ja sen lujuus riippuu syysuunnasta. Puun veto- ja puristuslujuus on suurin syysuunnassa, kun taas syitä vastaan se on huomattavasti heikompaa. Ok-

sakohdat massiivipuussa eivät kestä lainkaan vetoa eli palkkien alareunassa olevat oksat voivat vähentää palkin momenttikestoa.

## 5 Turvallisuus

### 5.1 Asennus ja huolto

Asennusturvallisuus korkeiden rakennusten julkisivuissa on hyvin tärkeää. Korkeat rakennukset sijaitsevat lähes poikkeuksetta paikoilla joissa on paljon liikennettä hyvin lähellä rakennusta ja rakennustyöt kestävät kauan. Tällöin kaikkia teitä lähistöllä ei voida pitää jatkuvasti kiinni ja putoavat materiaalit voisivat osua lähellä kulkeviin ihmisiin sekä ajoneuvoihin. Rakennuksista voidaan myös ottaa joitain osia käyttöön muiden ollessa vielä kesken, jolloin riskinä on elementin tippuminen jo valmiin osan päälle. Lisäksi korkeat rakennukset ovat lähes aina julkisesti hyvin näkyviä rakennelmia, joten niillä sattuneet onnettomuudet eivät jää medialtakaan huomaamatta tuottaen huonoa julkisuutta projektille ja siihen osallistuville osapuolille.

Asennusturvallisuuteen liittyy myös rakennuksen käytön aikainen huolto. Julkisivuelementtejä on pakko päästä puhdistamaan tai mahdollisesti vaihtamaan rakennuksen käyttöiän aikana. Rakennuksen ulkopuolisten liikuteltavien nosturien käytettävyys korkeissa rakennuksissa on usein käytännön syistä mahdotonta. Korkeat rakennukset sijaitsevat tiheään rakennetuilla alueilla ja korkeat nosturit vaativat vakaan perustan ja paljon tilaa. Rakennusvaiheessa käytetään rakennuksen runkoon asennettavia nostureita, joilla nostaminen onnistuu pienessäkin tilassa ja hyvin korkealle. Nostureita ei kuitenkaan jätetä valmiin rakennuksen katolle vaan ne puretaan pois, joten julkisivun huoltaminen pitää järjestää jollain toisella menetelmällä. Huoltoa varten kerrokseen voidaan rakentaa kiinteitä tai puolikiinteitä nostureita, joilla pystytään kurottamaan rakennuksen vaipan läpi julkisivun ulkopuolelle. Huoltonosturit ovat mitoitettu siten, että niillä pystyy turvallisesti vaihtamaan vaurioituneita julkisivuelementtejä. Tällöin esimerkiksi lasi- tai alumiinijulkisivuun ei tarvitse tehdä huoltoa korkealla ulkotiloissa vaan vahingoittunut elementti korvataan kokonaan uudella. Tämä pienentää putoamisriskiä sekä materiaalille että ihmisille kun ulkopuolella tehdyn työn määrää pienennetään. Lisäksi uuden elementin laadunvalvonta on helpompaa tehdasoloissa verrattuna paikalla tehtyyn korjaukseen.



Kuva 10. Huoltokorin kiskot rakennuksen vesikatolla.

Toinen vaihtoehto kiinteille nostureille on käyttää huoltokoria. Kuvassa 10 on kuvattuna kiskot, joista huoltokori roikkuu. Kiskot kiinnitetään vesikatton puolelle räystäään ylitse läpiviennin tiivistämisen helpottamiseksi. Mitoittaessa käytetään 2,5-kertaista murtovarmuutta, koska rakenteiden pettäminen johtaisi välittömiin henkilövahinkoihin. Koria voidaan liikuttaa sivuttaissuunnassa kiskoja pitkin ja sitä voidaan nostaa ja laskea kaapeleilla. Näin suhteellisen pienillä pysyvillä rakenteilla mahdollistetaan suuren julkisivupinta-alan turvallinen ja käytännöllinen huolto. Huoltokorin rajoittava tekijä on rakennuksen korkeus. Mitä pidemmällä kaapeleilla koria roikutetaan sitä suuremmat tuulen vaikutukset siihen ovat. Huoltokorit ovat erinomainen vaihtoehto kaksoisjulkisivuihin, joiden välinen tila mahdollistaa korin käytön. Kori on julkisivujen välissä tuulelta suojassa, mutta julkisivujen väliset tuet rajoittavat sen liikettä. Kaksoisjulkisivuissa on vaihtoehtona käyttää myös huoltosiltoja, jotka sijaitsevat välitilassa kerroksittain.

## 5.2 Paloturvallisuus

Paloturvallisuus on korkeiden rakennusten julkisivuissa tärkeää, koska varsinkin tuuletuvaa julkisivua käyttäessä on vaarana, että tuuletusrako toimii savupiippuna, jota pitkin tuli pääsee leviämään kerroksesta toiseen rakennuksen sisäisten palokatkojen ohitse. Julkisivua pitkin leviävä tulipalo on myös riski muunkin tyyppisissä julkisivuissa. Niissä käytetty lasi hajoaa tulipalossa välittömästi ja seinää pitkin nousevat liekit voivat levitä

ylempään kerrokseen. Tuulettuvissa julkisivuissa palokatkot tehdään usein teräksisellä palokatkokiskolla, joka täyttää julkisivujen välisen raon kokonaan. Tuulettumisen varmistamiseksi kisko on kuitenkin reiätetty. Julkisivu voidaan myös tehdä kerroksittain toisistaan erillään olevista lohkoista. Tällöin vältetään myöskin korkeissa rakennuksissa ongelmalliseksi tuleva savupiippuilmio joka aiheuttaisi suuren ilmapirran rakenteiden välissä jo ilman palotilannettakin.

Kaksoisjulkisivulla suurimmaksi ongelmaksi palotilanteessa muodostuu putoava lasi ja lasin tukirakenteet. Lasi hajoaa lähes välittömästi palon lämpötilassa eikä kaksoisjulkisivu pääse toimimaan savupiippuna ja näin levittämään paloa. Putoavan lasin aiheuttamaa vaaraa ihmisille ja rakenteille pienennetään käyttämällä karkaistua lasia jota ei ole laminoitu. Karkaistu lasi hajoaa pieniksi paloiksi, jotka eivät aiheuta tulipalon sammuttajille vaaraa. Jos nämä julkisivulasit ovat kuitenkin myös laminoituja, eivät ne tipu pieninä paloina vaan laminointikerros pitää lasin yhdessä. Suuret tippuvat rakenteet hankaloittavat sammutus- ja pelastustoimia rakennuksessa, koska sammutusajoneuvoja ei saada rakennuksen viereen, putoava lasi rikkoo letkuja ja rakennukseen tai sieltä pois kulkeminen on erittäin vaarallista. Esimerkiksi First interstate towerin tulipalossa 1988 putoava lasi aiheutti suuria ongelmia sammuttamiselle. Rakennuksessa tulipalo pääsi leviämään julkisivun ulkopuolella kerroksesta toiseen sprinklerijärjestelmän asen- tamisen ollessa vielä kesken. Rakennuksen julkisivun ikkunat ja niitä tukevat rakenteet hajosivat tulipalon lämpötiloissa nopeasti ja nämä rakenteet tippuivat alla olevaan ka- tuun. Koska rakennuksen sammutusjärjestelmä oli vielä keskeneräinen, oli palokunnan pakko käyttää pumppuautoja. Tien poikki vedetyt vesiletkut ja niitä korjaavat palomie- het olivat kuitenkin alttiita tippuvalla palavalle materiaalille. Rakennukseen kulkemisen mahdollisti tien ali kellariin kulkeva tunneli.



### 5.3 Putoamissuojat



Kuva 11. Rakentamisen aikaisia putoamissuojia oikeanpuoleisessa rakennuksessa. Sydney Australia

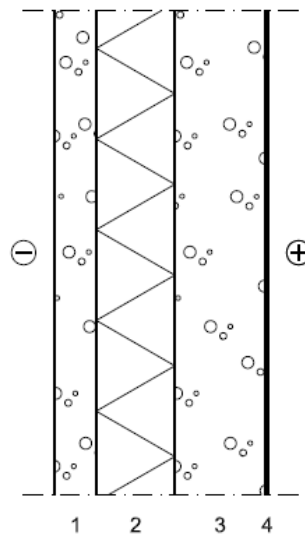
Korkeiden rakennusten julkisivuihin kuuluvat nykyään erilaiset putoamissuojat. Rakentamisen aikana putoamissuojilla varmistetaan, ettei työkaluja tai materiaaleja pääse putoamaan maanpinnalla työskentelevien tai kulkevien ihmisten päälle. Putoamissuojia ovat erilaiset julkisivusta ulospäin ulottuvat verkot kuten kuvassa yksitoista, kiinnityspisteet turvalajalle sekä rakennuksen julkisivuun suunniteltu porrastus. Julkisivun porrastus tehdään enemmän arkkitehtuurisista syistä, mutta se estää myös korkealta tippuneiden esineiden osumisen rakennuksen ympärillä liikkuviin ihmisiin. Verkkoja voidaan käyttää rakennusvaiheen lisäksi myös käytön aikana. Esimerkiksi monilta näköalatasanteilta ihmisten ja esineiden putoaminen on estetty verkoilla. Verkkoja ei kuitenkaan pidetä erityisen miellyttävän näköisenä, joka rajoittaa niiden käyttöä. Kiinnityspisteitä turvalajalle käytetään lähinnä rakentamisen ja huoltamisen aikana, koska niiden käyttö vaatii erityisiä valjaita. Kiinnityspisteet tulee suunnitella siten, että ne kestävät putoavan ihmisen painon. Lisäksi pisteiden pitää olla riittävän lähellä toisiaan, jotta kiinnitys-

pistettä voidaan vaihtaa siten, että henkilö on jatkuvasti kiinni rakennuksessa vähintään yhdellä turvanarulla. Valjaiden oikealla käytöllä voidaan estää henkilövahingot putoamisesta täysin.

## **6 Julkisivuehdotukset**

### **6.1 Betonirunko**

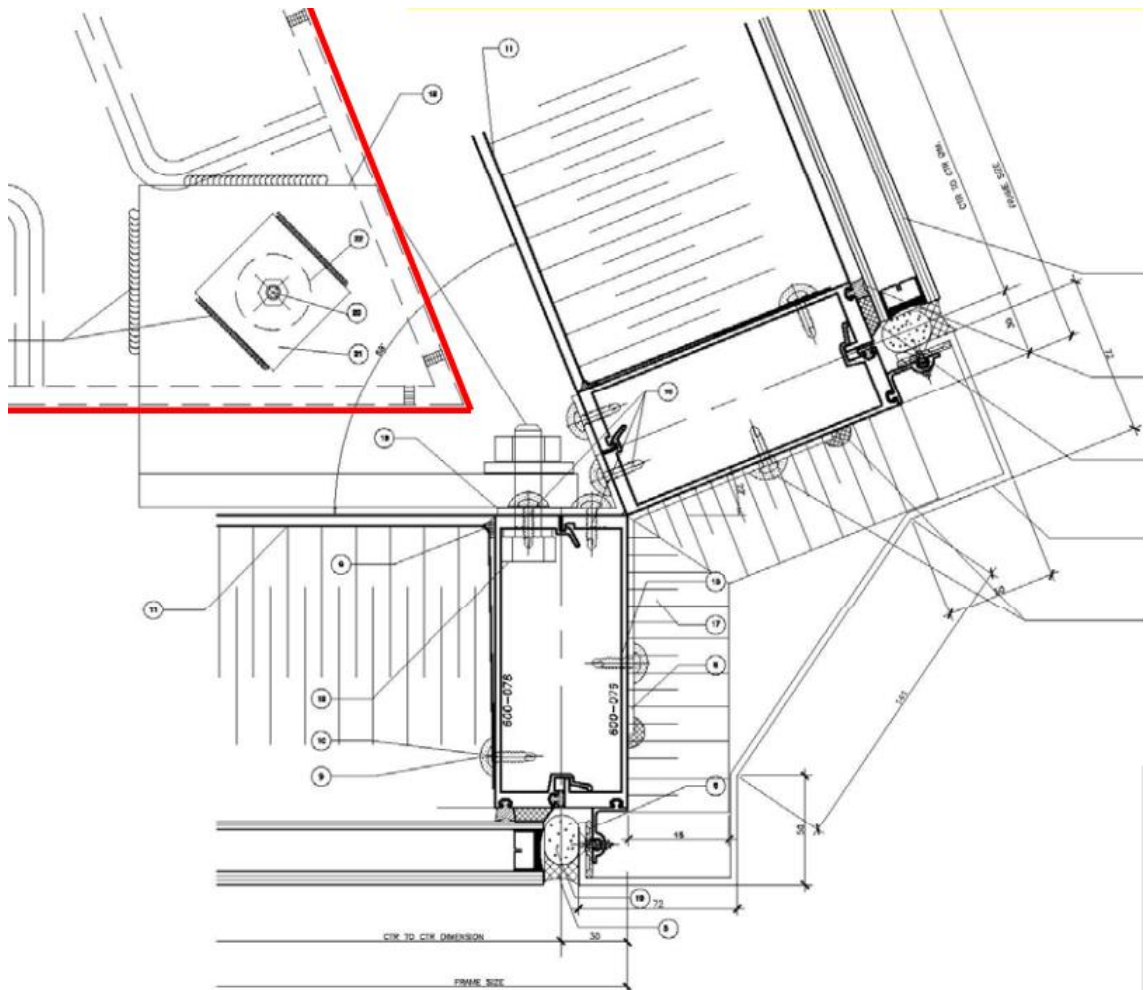
Korkeiden rakennusten rakentaminen betonirungolle tarjoaa useita etuja teräsrunkoon nähden. Materiaalina betoni on terästä halvempaa, mutta varsinkin paikallavalut ovat työllisesti teräsrunkoa kalliimpia. Betonielementit ovat myös raskaampia kuin vastaavat teräksiset ja vaativat näin joko isomman nosturin tai elementtien koot on pidettävä pienempänä. Betonirungolla saavutetaan helpommin hyvä palonkesto, koska betonirakenteita ei tarvitse erikseen suojata kuumuudelta. Askel- ja ilmaääneneristävyys on myös parempaa kuin yksinkertaisilla teräsrakenteilla. Betoni ei myöskään johda lämpöä yhtä hyvin kuin teräs, joten kylmäsiltojen välttäminen ei ole yhtä vaikeaa. Betonirunkoisissa rakennuksissa täytyy kuitenkin ottaa huomioon riittävä asennusvara julkisivun kiinnikkeissä, koska lattiapinnoilla on tapana taipua niiden kuivuessa. Tästä johtuen reunat, joihin julkisivut kiinnitetään eivät välttämättä ole täysin oikeilla koroilla ja kiinnityksiltä vaaditaan suurempia säätövaroja.



Rakenne	1	Ulkokuori $\geq 70$ mm
	2	Kingspan Therma™ TW58 130 mm, saumat vaahdotetaan, ei uritusta
	3	Betoni $\geq 150$ mm
	4	Tasoite ja pintakäsittely huoneselityksen mukaan
U-arvo		0,17 W/m <sup>2</sup> K (TW58 $\lambda_U$ 0,022 W/mK)

Kuva 12. Kantava betonisandwich elementti

Betonirunkoa käyttäessä kuvan 12 mukainen betonisandwich-elementti toimii hyvin. Julkisivurakenne on tällöin yksinkertainen ja edullinen. Rakenteen tärkeimmät osat ovat kantava sisäkuori, eriste ja suojaava ulkokuori. Sisäkuoren paksuus vaihtelee kuormituksen mukaan, kantavilla ja mahdollisesti jäykistävillä seinillä se mitoitetaan näille kuormille. Rakennuksen jäykistys voidaan osittain hoitaa kantavilla betoni sandwichelementti seinillä. Ei-kantavilla seinillä pienemmät paksuudet riittävät, kunhan äänen- ja lämmöneristys vaatimuksiin päästään. Julkisivun runkomateriaalina betoni on terästä tai alumiinia paljon halvempi vaihtoehto, eikä sen valmistaminen ole yhtä työlästä. Sandwich-elementeillä ei saada aikaiseksi yhtä suuria ikkunapinta-aloja kuin muita vaihtoehtoja käyttämällä, mutta asuinrakennuksissa suuret ikkunat eivät ole yhtä tärkeitä, kuin esimerkiksi toimistoissa tai julkisissa tiloissa kuten ravintoloissa. Vaihtoehdot julkisivun pinnoille ovat hyvin monimuotoiset erilaisine rappauksineen ja betonin pintakäsittelyineen. Kuvioituja muotteja käyttämällä betonin pintaan saadaan kohokuviota, tai pinnat voidaan esimerkiksi happopestä tai hiekkapuhaltaa.



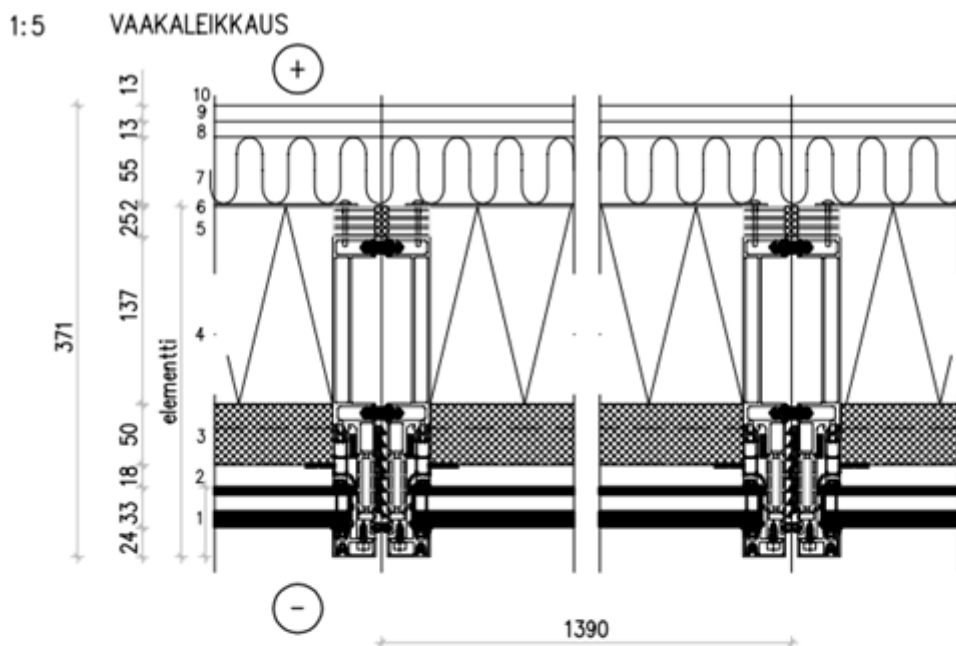
Kuva 13. Esimerkki alumiinirunkoisen julkisivun mahdollistamasta terävästä kulmasta

Toinen toimiva vaihtoehto ovat alumiinirunkoiset ja lasiset julkisivut. Näiden julkisivujen käyttö betonirunkoisessa rakennuksessa vaatii hyvää mittatarkkuutta rungolta. Korkeissa rakennuksissa mittatarkkuus on kuitenkin poikkeuksetta tarpeeksi hyvä niiden käyttöön. Kuvassa 13 on esimerkkidetali alumiinirunkoisella julkisivulla toteutetusta kulmasta. Toisin kuin betonisandwich-elementeillä, näillä pystytään valmistamaan myös teräviä kulmia, ilman että rakenteiden lujuus tai eristävyys kärsii. Alumiinirunkoisilla julkisivuilla saavutetaan isommat ikkunakoot ja kevyemmät rakenteet, mutta niillä ei voida hoitaa rakennuksen jäykistystä. Myös kylmäsiltojen riski on suurempi kuin sandwich-elementeillä.

## 6.2 Teräsrunko

Toisin kuin paikalla valetussa betonirungossa, teräksisellä rungolla rakennus saapuu elementeissä. Elementit vaativat myös paljon vähemmän työstöä työmaalla paikalla valettuun betoniin verrattuna. Aikataulut elementtien työmaalle saapumiselle on kuitenkin tarkkaa, koska useimmilla työmailla ei ole tilaa säilyttää suurta määrää elementtejä ja työmaan seisottaminen ilman töitä on kallista. Palonsuojaus teräsrunkoisessa rakennuksessa on vaativampaa betonirunkoiseen verrattuna. Teräs menettää lujuutensa noin 700°C:n lämpötilassa, joka saavutetaan tavallisessa palossa. Tämän takia kantavat teräsrakenteet suojataan pinnoittamalla ne palonsuoja-aineella, joka toimii tulipalossa eristeenä pitäen teräksen viileänä kauemmin. Palonkesto aika riippuu siitä, kuinka paksu kerros ainetta levitetään. Vaihtoehtoisesti teräsrakenteet voidaan myös koteloida palamattomalla materiaalilla.

Teräs- tai alumiinirunkoinen julkisivu toimii erinomaisesti teräsrunkoisella tai liittorakenteisella rakennuksella. Hermeettisesti tiivis tai kaksoisjulkisivu ovat tällä hetkellä hyvin toimivia ja niiden valmistamisesta on kokemusta. Näillä julkisivuvaihtoehdoilla mahdollistetaan suuret ikkunat, jotka ovat toivottuja ylempien kerroksien asuinnoissa maisevien ja valon takia. Kaksoisjulkisivu on vaihtoehdoista rakentamisvaiheessa kalliimpi ja julkisivu on paksumpi, vieden näin asuintilaa rakennuksen sisältä. Julkisivujen välinen tila antaa kuitenkin mahdollisuuden käyttää suuria kaihtimia, jolloin suurista ikkunoista seuraava voimakas lämpösäteily ja häikäisy voidaan hallita. Kaksoisjulkisivun asentaminen on kuitenkin haastavampaa kuin yksinkertaisempien yksi kerroksisten julkisivujen. Periaatteessa täytyy rakentaa kaksi erillistä julkisivua ja tämä nostaa kustannuksia ja rakennusvaiheen kestoa.



1. Julkisivujärjestelmä ja 2K-umpiolasi.  
Kiinnitys, tiivistys ja tuuletus toimittajan ohjeiden mukaan.
  2. 18 mm Hermeettisen tiivis ilmapäli, ilmanpaineen tasaus- ja kondenssiveden poistoreiät valmistajan ohjeiden mukaan
  3. 50 mm Tuulensuojalevy, levy-saumoissa T-tukilistat, max 2 kpl per elementti korkeus, ei pystyyn.
  4. 137 mm Alumiininen pystyrunko, h=160mm.  
Lämmöneriste palamaton min.villa 160 mm
  5. 25 mm lämpökatko.
  6. 2 mm Hörysulku, alumiinilevy, saumat tiivistetty
  7. 55 mm Vaakarunko, Kevytorret Z55 t=1,0mm k600. Lämmöneriste, mineraalivilla
  8. 13 mm Kipsilevy GN
  9. 13 mm Kipsilevy GN
  10. Pintakäsittely huoneselityksen mukaan
- Ruuvikiinnikkeet ulkona austeniittista RST-teräslajia EN 1.4529  
Ulkoseinän ja ikkunan lämmönläpäisykerroin  $U \leq 0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$   
Täyttää ääneneristysvaatimuksen  $R_w+C_{tr}=39-44 \text{ dB}$  liikennemelua vastaan

Kuva 14. Hermeettisesti tiiviin julkisivun esimerkkipoikkileikkaus

Hermeettisesti tiiviillä julkisivulla pystytään säilyttämään enemmän asuinneliöitä rakennuksessa, mutta kylmäsiltoja muodostuu helpommin eikä julkisivussa ole välitilaa kaihtimille. Kuvassa 14 on leikkaus hermeettisesti tiiviistä alumiinirunkoisesta julkisivusta, jossa ulkokuori on lasia. Leikkauksesta nähdään kuinka paljon monimutkaisempia alumiinirunkoiset julkisivut ovat betoniin verrattuna. Suurin syy tähän on alumiinin tai teräksen betonia paljon parempi lämmönjohtavuus, jonka takia rakenteisiin syntyy hel-

posti kylmäsiltoja. Metallirunkoisissa julkisivuissa näitä kylmäsiltoja katkokaan yleensä muovista valmistetuilla lämpökatkoilla, jotka erottavat kylmät ulkokuoren rakenteet julkisivun rungon kantavista rakenteista. Metallirunkoisten julkisivujen monimutkaisuus ja metallin työstämisen haastavuus tekevät niistä kalliimpia valmistaa betonirunkoisista julkisivuista. Kuvan neljätoista esimerkki rakenteella on päästy alle 300 mm paksulla alumiini ja lasirakenteella 0,57 W/m<sup>2</sup>K U-arvoon ja vieläkin alemmat arvot ovat mahdollisia paksummilla eristekerroksilla.

Alumiini- tai teräsrunkoiset julkisivut mahdollistavat useiden pintamateriaalien käytön. Kaksoisjulkisivuilla käytännössä koko näkyvä pinta voi olla lasia, joka tekee julkisivusta kevyeen näköisen ja tuo rakennukseen paljon valoa. Lisäksi julkisivujen välissä oleva tila toimii kesäisin viilentävänä rakenteena ja kylminä aikoina eristeenä. Hermeettisesti tiiviillä julkisivulla käytetään lasin lisäksi usein teräksisiä tai alumiinisia levyjä, joiden pintakäsittelytapoja on monia. Alumiini voidaan anodisoida ja jättää paljaaksi tai se voidaan maalata. Metallisia levyjä voidaan käyttää myös vain arkkitehtuurisista syistä, jolloin ne eivät toimi kosteutta eristävänä kerroksena julkisivussa. Tällöin levyjä on mahdollista rei'ittää ja niihin voidaan printata erilaisia kuvioita. Näkyvät teräsrakenteet ovat joko korkeaseosteista austeniittista terästä, tai vaihtoehtoisesti maalattuja. Usein paljaaksi jääviä teräsrakenteita ovat kaksoisjulkisivun lasisen ulkokuoren tukirakenteet. Hermeettisesti tiiviillä julkisivulla voidaan metallisten julkisivulevyjen sijaan käyttää myös keraamisia terracotta-levyjä, joita on saatavilla erikokoisina ja -värisinä.

## 7 Yhteenveto

Korkeiden rakennusten rakentaminen Suomessa on vasta alkamassa ja Suomen erityiset olosuhteet asettavat tiukat vaatimukset julkisivuille. Perinteisesti Suomessa kaupungit ovat laajentuneet ympäristöön, mutta kiinnostus korkeampiin rakennuksiin on kasvanut tilan loppuessa keskustoista. Suomessa korkeiden rakennusten rakentamista helpottavat pienet tuulikuormat, sekä maanjäristysten puute. Helsinki vaatii kuitenkin tekemään tutkimukset korkeiden rakennusten maanjäristyskestosta, mutta tuulikuormat ovat aina määrääviä.

Julkisivuratkaisut muualta maailmasta eivät välttämättä kuitenkaan toimi sellaisenaan Suomessa. Erityistä Suomessa ovat kylmät talvet ja kosteat syksyt. Suomessa rakennuksilta vaaditaan matalaa U-arvoa, eli eristekerrokset ovat huomattavasti paksumpia

kuin esimerkiksi keskieuropalaisissa maissa. Suomen olojen vaatimat paksummat eristekerrokset hankaloittavat kuivamista, eivätkä kosteat vuodenaajat helpota tilannetta. Kylmät olot ja paksut eristerakenteet ovat myös erittäin riskialttiita kylmäsilloille ja niistä aiheutuville kondensaatio ongelmille rakenteissa. Jos julkisivut halutaan pitää ohuina mutta kuitenkin hyvin toimivina ja eristävinä, täytyy niiden detaljiikkaan ja käytettyihin materiaaleihin kiinnittää suurta huomiota. Matalammissa rakennuksissa ei välttämättä ole kannattavaa käyttää uusinta uutta, koska rakennusten pinta-alat ovat pienempiä. Korkeissa rakennuksissa rakennuskustannukset ovat muutenkin eri luokkaa, joten jokainen lisäneliö mikä paremmilla ja ohuemmillä julkisivuilla saadaan käyttöön, on sen arvoinen. Näkisinkin, että varsinkin uusien eristemateriaalien kuten aerogeeli- ja tyhjiöeristeiden ensimmäiset kannattavat käyttökohteet olisivat nimenomaan korkeat rakennukset. Kun kokemusta niiden käytöstä ja suunnittelusta saadaan ensiksi isoissa projekteissa, on osaamisen siirtäminen pienempiin projekteihin helpompaa.

Uusista eristemateriaaleista erityisesti aerogeelieristeet näyttävät hyvin lupaavilta. Tällä hetkellä ainoa sen käyttöä rajoittava tekijä on sen korkea hinta. Se vastaa koostumukseltaan ja käsittelytuntumaltaan hyvin paljon nykyisiä eristeitä, joka on selvä etu verrattuna tyhjiöeristeisiin. Tyhjiöeristeet tarjoavat kyllä paremman lämmöneristyskyvyn, mutta ovat käytännössä hankalia käyttää rajallisten muokkausmahdollisuuksien takia. Aerogeelieristeillä taas kävisi sellaisenaan esimerkiksi mineraalivillan korvikkeeksi. Tyhjiöeristeiden heikko mekaanisen rasituksen kesto hankaloittaa myös niiden käyttöä. Levyjen kolhiminen tai puhkaiseminen tapahtuu työmaalla helposti, jonka jälkeen levy on vaihdettava ehjään. Jos hajoamista ei huomata, syntyy seinään koko levyn kokoinen kylmäsilta.

Julkisivun pintavaihtoehdot ovat eriste- tai runkomateriaalia paljon monimuotoisempia. Niiden valinnassa eniten ohjaakin ulkonäköseikat käytännöllisyyden tai kestävyysajan sijaan. Teräs alumiini ja lasia ovat kaikki erittäin suosittuja korkeissa rakennuksissa, koska ne mahdollistavat suurien ikkunoiden käyttämisen ja niiden odotettu käyttöikä on pitkä. Metalliset levyrakenteet julkisivupintoina voivat kuitenkin aiheuttaa mahdollisesti odottamattomia ongelmia tuulessa vinkumisen tai lämpölaajenemisesta johtuvan äänen muodossa. Nämä ongelmat voivat esiintyä myös muunlaisilla pinnoilla, mutta ohuet pellit ja niiden väliset pienet raot ovat omiaan aiheuttamaan ääntä tuulessa. Betoniset tai erilaiset levypinnat ovat yleisempiä vaihtoehtoja, kun käytetään betonirunkoista julkisivua. Pintana betoni tai luonnonkivi on erittäin kestävä eivätkä ne vaadi juuri minikäänlaista huoltoa. Huoltoa näissä pinnoissa vaativat lähinnä saumarakenteet, joiden



odotettu elinikä on huomattavasti lyhyempi kuin esimerkiksi luonnonkivilevyjen. Pinta-  
materiaalin kestävyys ja käytännöllisyys ovat kuitenkin vain toinen puoli, joka vaikuttaa  
valintaan. Arkkitehtuuriset syyt ovat vähintään yhtä tärkeitä kuin käytännön syyt.

## Lähteet

Ilmatieteenlaitos Tuuliennätyksiä, verkkodokumentti, luettu 03.01.2017,  
<http://ilmatieteenlaitos.fi/tuuliennatyksia>

Tuulettuvat julkisivut 2016 by64, Suomen betoniyhdistys, 2016

RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen, RIL, 2011

E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, 2002

Rakennuslehti, verkkodokumentti, luettu 25.01.2017,  
<http://www.rakennuslehti.fi/2014/04/suomi-on-maailman-paras-energiansaastaja/>

D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma rakennusten energiatehokkuus, 2012

NBK terracotta, verkkodokumentti, luettu 25.01.2017, <http://nbk.de/en-us/products-services/terrart/terrart-light/>

Puuinfo puujulkisivun palokatko, verkkodokumentti, luettu 06.01.2017,  
[http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/TEKNINEN\\_TIEDOTE\\_Puujulkisivun%20palokatko.pdf](http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/TEKNINEN_TIEDOTE_Puujulkisivun%20palokatko.pdf)

Projektiutiset, verkkodokumentti, luettu 03.01.2017,  
<http://www.projektiutiset.fi/tornihotelli/#>

Betonikeskus ry minimieristepaksuudet, verkkodokumentti, luettu 05.02.2017,  
[http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23965/Minimieriste\\_paksuudet\\_24-04-2013.pdf](http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23965/Minimieriste_paksuudet_24-04-2013.pdf)

Elementtisuunnittelu betonisandwich-elementit, verkkodokumentti, luettu 07.01.2017,  
[www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23645/Betonisandwich-%20elementit.pdf](http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23645/Betonisandwich-%20elementit.pdf)

Sustainability of aluminium buildings, verkkodokumentti, luettu 08.01.2017,  
<http://www.wicona.com/globalassets/upload/24268/sustainability-of-aluminium-buildings.pdf>

RIL 235-2009 Uimahallin rakenteiden suunnittelu ja kunnonhallinta, 2009

Wikipedian sivu cortenista, verkkodokumentti, luettu 08.01.2017,  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Weathering\\_steel](https://en.wikipedia.org/wiki/Weathering_steel)

Pilkington lasifakta, verkkodokumentti, luettu 08.01.2017,  
[http://www.pilkington.com/resources/lasifakta201236\\_412.pdf](http://www.pilkington.com/resources/lasifakta201236_412.pdf)

Pilkington Pyrostop, verkkodokumentti, luettu 22.01.2017,  
<http://www.pilkington.com/europe/finland/finnish/products/bp/bybenefit/fireprotection/pyrostop/default.htm>

Luonnonkivet ja julkisivut, Rakennuskirja, 1989

Structure mag, verkkodokumentti, luettu 08.01.2017, <http://www.structuremag.org/wp-content/uploads/2014/09/Empire-State-Building1.pdf>

Finfoam EPS, verkkodokumentti, luettu 11.02.2017, <http://www.finfoam.fi/tuotteet/ff-eps/>

Rakenneristeteollisuus, eps ominaisuudet, verkkodokumentti, luettu 12.02.2017,  
[http://www.eps-eriste.fi/images/stories/pdf/tekniset\\_ominaisuudet2.pdf](http://www.eps-eriste.fi/images/stories/pdf/tekniset_ominaisuudet2.pdf)

Työterveyslaitos kemikaalikortti, verkkodokumentti, luettu 11.02.2017,  
<http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/khtml/nfin1043.htm>

Finfoam eristelevyjen ominaisuudet, verkkodokumentti, luettu 11.02.2017,  
<http://www.finfoam.fi/tuotteet/finfoam-eristelevyt/ominaisuudet/>

PU-erusteet, verkkodokumentti, luettu 11.02.2017, <http://www.pueristeet.fi/pu-eristeet/>

Isover vacupad, verkkodokumentti, luettu 08.01.2017, <http://www.structuremag.org/wp-content/uploads/2014/09/Empire-State-Building1.pdf>

Puuinfo Liimapuu, verkkodokumentti, luettu 11.01.2017,  
<http://www.puuinfo.fi/puutieto/insin%C3%B6%C3%B6ripuutuotteet/liimapuu>

Elinkaariarviointi LCA, Teuvo Meriläinen, 30.11.2010

Teuvo Meriläinen

30.11.2010

**LCA elinkaariarvio****Elinkaariarviointi LCA**

Elinkaarianalyysissa (LCA) tarkastellaan yksittäisen tuotteen elinjaksoa raaka-aineesta valmistuksen ja jalostuksen kautta kulutukseen sekä käytön jälkeen tapahtuvaan hyötykäyttöön joko kierrätykseen, energianlähteiksi tai uusiokäyttöön raaka-aineena tai tuotteena taikka loppusijoituksena kaatopaikalle. Elinkaarianalyysilla selvitetään yksityiskohtaisesti tuotteen raaka-aineiden energiakulutus, päästöt ilmaan, veteen ja maahan sekä kiinteiden jätteiden tuottaminen koko sen elinkaaren ajalta ja näistä aiheutuvat ympäristövaikutukset. Tuotteen ympäristökuormituksia voidaan tarkastella MET-matriisin avulla. Matriisissa tarkastellaan materiaalin käyttöä (M), energian kulutusta (E) sekä ympäristölle ja ihmisille haitallisia päästöjä (T) tuotteen elinkaaren eri vaiheessa. Viime aikoina elinkaarianalyysi on yleistynyt hiilijalanjäljen laskemismenetelmänä. Laskenta voidaan tehdä VTT:n kehittämällä laskentamenetelmällä.

Tehtäessä MET-matriisia materiaalien käytön tarkastelukohteita ovat mm. raaka-aineiden niukkuus ja uusiutumiskyky, materiaalien uudelleenkäyttö ja kierrätys, kierrätettävien materiaalien käyttö sekä tuotteen ja sen eri osien käyttöikä. Energiakulutuksen osalta analysoidaan tuotantoprosessien ja tuotteen käytön aikaista energiankulutusta sekä eri materiaalien valmistukseen kuluva energia. Päästöjen kohdalla kirjataan tuotteen elinkaaren eri vaiheissa syntyvät myrkylliset päästöt.

VTT on ollut kehittämässä Kansallista menetelmää rakennustuotteiden ja rakennusten ympäristövaikutusten hallintaan, julkaistu 2004. Tulostuksena rakennustuotteen ympäristöseloste.

VTT:n rakennustuotteiden ympäristövaikutusten arviot ja selvitykset kattavat seuraavat tuoteriikot:

Rakennuseristeet (sellu, PUR, lasivilla), Terästuotteet, Maalit, Bitumikatteet, Asfaltit, Kuitulevyt, Vanerit, Lastulevyt, Kertopuu ym., Kalusteet.

VTT on kehittänyt ympäristövaikutusten arvioinnin työkaluja (laskentaohjelmia) teollisuudelle sekä tuotevalmistajille mm. seuraavista tuotteista:

- Sementit (LCA-Sementti)
- Betonituotteet (Bertta, Betteri)
- Luonnonkivituotteet (KIVITYÖKALU)
- Kalliorakenteet, talorakenteet (BeCost)
- Muuratut rakenteet (Optiroc-Tuote, Optiroc-Talo)
- Puutuotteet (LCA-SAHA)
- Ikkunat (LCA-WINDOW)
- Lattiamateriaalit (EcoStep, LCA-parketti)
- Talotekniset tuotteet (TAKE-LCA- useita tuotteita)
- Terästuotteet (parvekkeet, paaluosat)

Teuvo Meriläinen

30.11.2010

Ohjelman BeCost avulla voidaan vertailla vaihtoehtoisia rakennusratkaisuja ja se soveltuu ympäristövaikutusten laskentaan ja elinkaariarviointiin.

Rakennusten ympäristövaikutusten tuloksen käyttö ja tarkoitus

- Tutkia vaihtoehtoisten rakenteiden ja materiaalien ympäristövaikutukset, jotta voidaan tehdä ekologisia valintoja (suunnittelija ja rakentaja)
- Todentaa ympäristökriteerejä, jos nämä ovat rakenteelle asetettuja (suunnittelija)
- Rakennuskannan ympäristöparametrit (omistaja)
- Ylläpidon ja korjauksen vaikutus ympäristöön
- Samanarvoisten rakenteiden ympäristöominaisuuksien vertailu
- Rakennusmateriaalien vertailu (valmistajat)

Tuotteiden ympäristöprofiilitietoa voidaan hyödyntää tuotemallipohjaisessa suunnittelussa (BIM).

Lähteet:

Rakennustieto, Arto Saari: Rakennusten ja rakennusosien ympäristöselosteet

Suomen ympäristökeskus, Jyri Seppälä: Ympäristövaikutusten arviointi elinkaariarvioinnissa

VTT: Rakentamisen ja rakennusten ekotehokkuus

VTT:n miniseminaari: Ympäristödatan integrointi rakennusprosesseihin, Sirje Vares, VTT

**Elinkaarianalyysin (LCA)** avulla on arvioitu erilaisia materiaalivaihtoehtoja käyttäen apuna soveltuvia Rakennustiedon julkaisemia rakennusosien ympäristöselosteita ja analyysin tuloksia on hyödynnetty materiaalivalinnoissa seuraaville rakennusosille:

**(a)...Ulkoseinät:**

Perusvaihtoehtona kevytrakenteisia lasijärjestelmään kuuluvia elementtejä, joissa runkona alumiiniprofiilit lämpökatkoineen, lämmöneristeenä hyvin eristävä solumuovieriste ( $\lambda$ -arvo 0,023), U-arvo-tavoite 0,1 W/m<sup>2</sup>K, joka on määräystasoa (0,17) selvästi parempi. Käyttöikä 50 vuotta.

Vaihtoehtona edellä mainitulle ratkaisulle mineraalivillaeriste( $\lambda$ -arvo 0,036) + kuumasinkityt termorangat, kipsilevyt. U-arvo-tavoite 0,17. Rakenteet tulevat paksummiksi verrattuna solumuovieristeseen, eikä yhteensopivuus lasirakenteiden kanssa ole yhtä hyvä kuin alumiinijärjestelmällä. Käyttöikä 50 vuotta.

Ulkoseinien ympäristöselosteiden mukaan mitä parempi U-arvo, sitä pienempi on uusiutumattoman energian tarve ja sitä pienemmät ovat päästöt, jotka vaikuttavat ilmaston lämmenemiseen. Suhteelliset arvot seuraavat liki U-arvojen suhteessa. Rakentamisen ja kunnossa-

Teuvo Meriläinen

30.11.2010

pidon osuus on noin 5...6 % kiinteistöhoiton energian kulutuksesta ja sama suuruusluokkasuhde pätee päästöihin.

Metalliset osat voidaan kierrättää ja uusiokäyttää. Eristystuotteet voidaan osittain uusiokäyttää. Levytuotteet ja osa eristeistä käytön jälkeen ovat jätettä.

## **(b)... Ikkunat:**

Alumiinilistat lämpökatkoin ja alumiinirunkojärjestelmä, U-arvo 0,8 W/m<sup>2</sup>K, joka on määräystasoa 20% parempi eristävyydeltään. Käyttöikä 50 vuotta.

Vaihtoehtona alumiinirungolle on teräsrunko, mutta yhteensopivuus ja mittatarkkuus on huonompi kuin alumiinilla. Käyttöikä 50 vuotta.

Ympäristöselosteiden mukaan alumiinirungolla tai teräsrunulla on vain vähäinen vaikutus uusiutumattoman energian käyttöön tai päästöihin, jotka vaikuttavat ilmaston lämpenemiseen. Alumiinirungon voidaan katsoa antavan n. 5 % edullisemmat arvot verrattuna teräsrunkoon.

Lasi ja metalliosat voidaan kierrättää ja uusiokäyttää. Alumiinirakenteet ovat korroosiota paremmin kestäviä ja niiden elinkaaren voidaan katsoa olevan pidempi kuin teräsohutelvyrakenteilla ja ne soveltuvat paremmin uusiokäyttöön.

## **(c)... Kantavat rakenteet, vaihtoehdot VE1 ja VE2:**

VE 1 Runko paikallavalettua betonirakennetta, käyttöikä 100 vuotta.

VE2 Runko osin liittorakennetta ja osin ontelolaattaelementtejä WQ-palkein, käyttöikä 100 vuotta.

Ympäristöselosteiden vertailujen mukaan paikallavalettu runko vaatii noin 25% enemmän uusiutumattomaa energiaa kuin välipohjana on ontelolaattaelementit. Uusiutumattoman raaka-aineen tarve paikallavalettaessa on noin 40 % suurempi kuin ontelolaattavaihtoehdossa. Ilmaston lämpenemiseen vaikuttavat päästöarvot ovat paikalla valussa noin 40 % suuremmat kuin ontelolaatan tapauksessa. Erot ovat merkittävän suuria ontelolaattavaihtoehdon eduksi.

Teräsosat voidaan uusiokäyttää. Paikalla valettu betoni voidaan murskata esim. piharakenteiden ja tienrakennuksen täyttöihin tai uuden betonin runkoaineeksi, raudoitukset voidaan irrottaa magneetilla ja uusiokäyttää raaka-aineena. Elementtirakenteet ovat purettavissa ja voidaan rajatussa laajuudessa uusiokäyttää. Teräs- ja betonielementtirakenteet soveltuvat näin ollen paremmin kierrätykseen ja uusiokäyttöön kuin paikalla valetut rakenteet.

## **(d)... Yläpohja:**

Yläpohjan kantavana rakenteena paikallavalettu betonilaatta tai ontelolaattaelementti, lämmöneristyksenä solumuovieriste U-arvo 0,05 ... 0,09 W/m<sup>2</sup>K. Vedeneristyksenä bitumikermit tai PVC-yksikerroskate. Vedeneristyksen käyttöikä 30 vuotta.

Teuvo Meriläinen

30.11.2010

Yläpohjan kantavan rungon osalta energia-/päästöarvot noudattavat samaa suhdetta kuin edellisessä osassa tehty vertailu paikallavalun ja ontelolaatan vaihtoehtojen välillä. Ontelolaatta on tässä suhteessa edukseen.

Ympäristöselosteita vertailemalla voidaan todeta, että lämmöneristyksen parantuessa uusiutumattoman energian tarve vähenee noin 20 % eristyskyvyn tuplaantuessa. Ilmaston lämpenemiseen vaikuttavat päästöarvot vähenevät vastaavasti noin 25 %. Uusiutumattomaan raaka-aine määrään eristyskyvyn parantuminen ei oleellisesti vaikuta.

Eristystuotteet käytön jälkeen ovat jätettä. Kantavaan runkoon liittyvät elementtirakenteet voidaan purkaa ja uusiokäyttää. Paikalla valettu betoni voidaan murskata ja käyttää täyttöihin ja uuden betonin raaka-aineeksi.

## Yhteenveto

Elinkaaritarkastelun ja käytettävissä olevien ympäristöselosteiden vertailujen perusteella on valittu soveliaain materiaalivaihtoehto, joka myös soveltuu järkevään kierrätykseen ja uusiokäyttöön. Lämmöneristyksen parantaminen vähentää selvästi uusiutumattoman energian tarvetta ja vähentää myös ilmaston lämpenemiseen vaikuttavia päästöarvoja. Tarkempi yksityiskohtainen analyysi tehdään valitulle materiaalivaihtoehdolle soveltuvalla VTT:n kehittämällä laskentaohjelmalla, kuten BeCost.

## Lähteet:

- 1 Rakennustieto, Arto Saari: Rakennusten ja rakennusosien ympäristöselosteet
- 2 Suomen ympäristökeskus, Jyri Seppälä: Ympäristövaikutusten arviointi elinkaariarvioinnissa.
- 3 Jyri Seppälä: Vaikutusluokkien laskenta elinkaariarvioinnissa. Päästöjen ympäristövaikutusten vertailu.
- 4 VTT: Rakentamisen ja rakennusten ekotehokkuus.
- 5 VTT:n miniseminaari: Ympäristödatan integrointi rakennusprosesseihin, Sirje Vares, VTT.
- 6 VTT Materiaalit ja rakentaminen, kotisivut: Ympäristövaikutusten arviointiohjelmat, BeCost rakennusten ja kalliorakenteiden arviointiin.

## LIITE 1: Esimerkkilaskelma asuinkerrostalon ympäristöselosteesta.

## LIITE

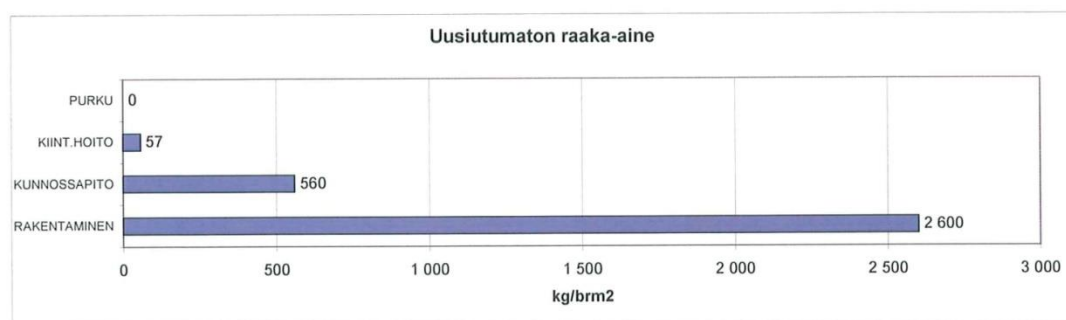
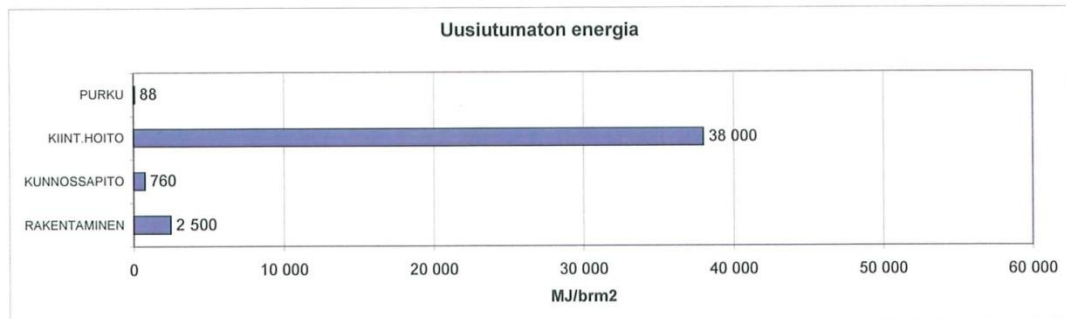
1

YMPÄRISTÖSELOSTE							
Laskennan kohde:		Vertailukerrostalo, 3.krs					
Laskelman tarkasteluajanjakso:		50 vuotta					
Laskentayksikkö:		1 brm2					
Energia ja raaka-aineet sekä päästöt							
	Yksikkö/ laskenta- yksikkö	Rakentaminen	Kunnossa- pito	Yht	Kiinteistönhoito vuotta tarkastelu- kohden	Yht tarkastelu- jaksoa kohden	Purku
Energia ja raaka-aineet							
Uusiutumaton energia	MJ	2 500	760	3 200	750	38 000	41 000
Uusiutuva energia	MJ	690	450	1 100	84	4 200	5 300
Tuotteisiin varastoitunut energia		560	300	860	0	0	860
uusiuutumaton raaka-aine	kg	2 600	560	3 100	1	57	3 200
uusiuutuva raaka-aine	kg	36	18	50	0	0	54
Päästöt							
Ilmaston lämpeneminen	g CO2 -ekv	220 000	47 000	260 000	60 000	3 000 000	3 300 000
Tuotteisiin varastoitunut CO2	g CO2	48 000	25 000	74 000	0	0	74 000
Happamoituminen	g SO2 -ekv	1 200	230	1 400	110	5 700	7 200
Oksidanttien muodostuminen	g eteeni -ekv	100	40	140	1	57	200
	Yksikkö/ laskenta- yksikkö	Rakennus- osat	LVI- järjes- telmät	Vuoto- ilman- vaihto	Ilmais- energiat	Sähkö- järjes- telmät	Yht
Energia ja raaka-aineet							
Uusiutumaton energia	MJ	18 000	23 000	5 100	-10 000	5 700	41 000
Uusiutuva energia	MJ	2 100	2 000	500	-900	1 600	5 300
Tuotteisiin varastoitunut energia		860	0	0	0	0	860
uusiuutumaton raaka-aine	kg	3 200	0	0	0	0	3 200
uusiuutuva raaka-aine	kg	54	0	0	0	0	54
Päästöt							
Ilmaston lämpeneminen	g CO2 -ekv	1 500 000	2 000 000	500 000	-900 000	220 000	3 300 000
Tuotteisiin varastoitunut CO2	g CO2	74 000	0	0	0	0	74 000
Happamoituminen	g SO2 -ekv	4 000	3 500	890	-1 600	390	7 200
Oksidanttien muodostuminen	g eteeni -ekv	180	20	5	-9	4	200

Esimerkki asuinkerrostalon ympäristöselosteesta, jossa energian kulutus ja päästöarvot on eritelty.

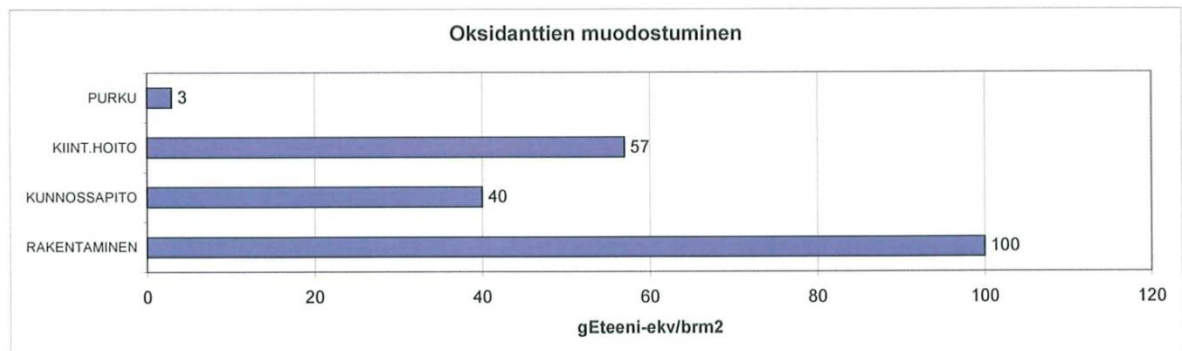
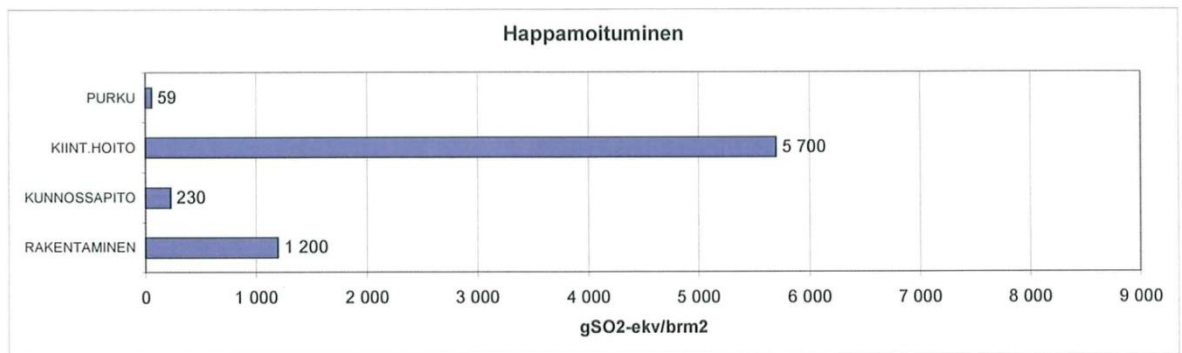
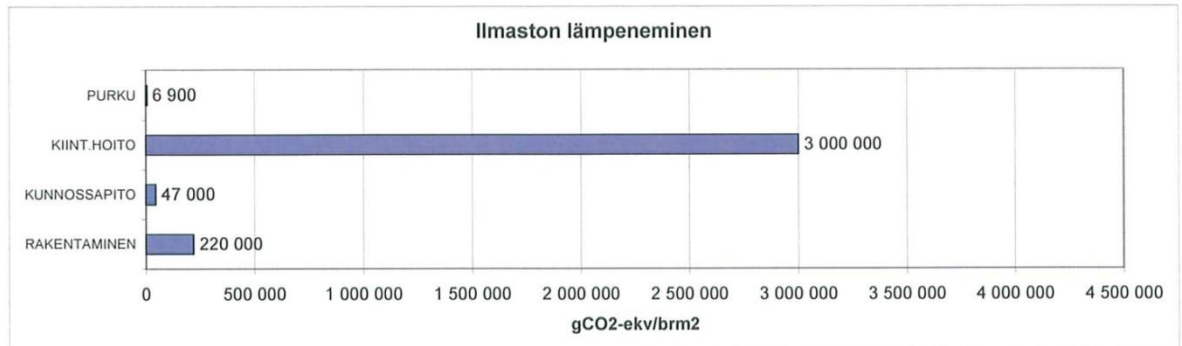
Tarkasteluajanjakso 50 vuotta.





Asa 19.12.2000\vert3kg\_ku2ja3

Esimerkki energian ja raaka-aineen eritellystä kulutuksesta rakennuksen elinkaaren (50v) aikana.



Asa 19.12.2000\vert3kg\_ku2ja

Esimerkki päästöarvojen erittelystä rakennuksen elinkaaren aikana. Laskemien tarkasteluajanjakso 50 vuotta.