



# **MUURATTAVAN JULKISIVUN KOSTEUDENHALLINNAN KEHIT- TÄMINEN**

Riku Haavisto

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2015  
Rakennustekniikka  
Rakennustuotanto

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikka  
Rakennustuotanto

RIKU HAAVISTO:

Muurattavan julkisivun kosteudenhallinnan kehitys

Opinnäytetyö 57 sivua, joista liitteitä 1 sivua  
Toukokuu 2015

---

Tässä opinnäytetyössä on tarkasteltu erilaisten eristeratkaisujen käyttöä betonirunkoisen rakennuksen seinässä, jonka julkisivu toteutetaan tiilimuurauksella. Opinnäytetyössä on pyritty ottamaan huomioon rakennusaikaiset rasitukset, viranomaismääräykset ja eri eristeratkaisujen ominaisuudet. Lähtökohtana tälle opinnäytetyölle on ollut kehittää tämän hetkisiä toimintamalleja kosteusteknisesti turvallisemmiksi. Opinnäytetyössä on käsitelty kosteuden lisäksi muitakin rakenteen toteutukseen vaikuttavia asioita, jotta rakenne olisi kokonaisuudessaan toteutettava ja toimiva.

Työmaaolosuhteet osiossa on pyritty huomioimaan kaikki rakennuksen seiniin kohdistuvat rasitukset ja niiden vaikutukset. Tarkasteltuja rasituksia ovat sade, tuuli, auringon säteily, lämpöliikkeiden vaikutukset, veden jäätymisreaktio ja kosteuden aiheuttamat muutokset. Tarkastelussa on otettu huomioon myös kosteuden vaikutusta rakenteisiin ja rakenteen asteittaisen toteutuksen luomat haasteet.

Seinärakenteiden tarkasteluosiossa on tarkasteltu seinärakenteita niiden pääasiallisen eristemateriaalien perusteella. Tarkasteltavia rakenteita on kolme: polystyreeni, mineraalivilla ja polyuretaani. Tarkastelussa on huomioitu eri eristeiden ominaisuuksia, viranomaismääräysten täyttävää rakennetta, materiaalin vaikutusta betonisen sisäkuoren kuivumiseen ja kosteusteknisesti turvallista toteutusta. Viranomaismääräyksiä on tulkittu rakentamismääräyskokoelman määräyksistä ja ohjeista. Rakenteet on tarkkailtu siten, että ne täyttävät vaatimukset paloturvallisuuden, lämmöneristävyyden ja kosteuden osalta. Eristemateriaalin vaikutusta betonisen sisäkuoren kuivumiseen on tarkkailtu WUFI Pro 5.2 ohjelmalla ja kosteusteknisesti turvallista toteutusta on arvioitu eri eristeiden ominaisuuksien vaatimalla tavalla.

Esimerkkiosiossa opinnäytetyössä esiin tulleita tietoja on sovellettu yli 40 metrisen asuinkerrostalon toteutukseen. Tässä osiossa on tarkasteltu kolmen eri toteutustavan kustannustekijöitä. Tarkastelussa on laskettu lämmöneristyksen kustannusarvio tarkastelluille rakenteille. Kustannusarvio on tehty markkinoilta saaduilla kustannuksilla ja siinä on otettu huomioon myös erityyppiset toteutusmallit. Esimerkkiosiossa on myös tarkasteltu korkean julkisivumuurauksen tuomien ominaisuuksien huomioimista toteutuksessa. Näitä ominaisuuksia on muuan muassa tiilimuurin vedenpitävyys ja lämpöliikkeet.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Name of the Degree programme  
Name of the Option

**RIKU HAAVISTO:**  
Moisture controlling in masonry wall facade

Bachelor's thesis 57 pages, appendices 1 pages  
April 2015

---

This thesis is about moisture controlling while building is under construction. Under consideration is wall of building that made of concrete elements and façade is made of bricks. Main idea is to compare three different kinds of thermal insulation materials. Those materials are polystyrene, mineral wool and polyurethane. Consideration is based on what actions different materials need to make a safe structure.

Weathering actions that effect on wall of building is taken into account. Those are rain, wind, solar radiation, thermionic movements, freezing dilation and humidity effects. Challenge to build this kind of structure is also taken into account.

Every material is checked at individual structure based on main thermal insulation material. One criterion is that structure will fill all the Finnish building regulations. Also effect of thermal insulation material to inside concrete wall is checked. That is made by using computer software.

---

Key words: moisture, brick, facade

## SISÄLLYS

JOHDANTO .....	6
1.1 Tausta.....	6
1.2 Tavoite .....	6
1.3 Rajaukset.....	6
2 TYÖMAAOLOSUHTEET .....	7
2.1 Rasitukset.....	7
2.2 Kosteuden vaikutus rakenteisiin .....	15
3 VIRANOMAISMÄÄRÄYKSET .....	17
3.1 Rakenteen lämmöneristävyys .....	17
3.2 Paloluokitukset.....	18
3.3 Kosteus.....	19
4 JULKISIVUMUURAUKSEN TOTEUTUKSEN HAASTEET .....	20
5 SEINÄRAKENTEET ERISTEMATERIAALEITTAIN.....	25
5.1 Polystyreeni (EPS).....	26
5.1.1 Tarkasteltava rakenne.....	27
5.1.2 Lämmöneristävyys .....	28
5.1.3 Eristeen vaikutus betonin kuivumiseen.....	29
5.1.4 Toteutus.....	31
5.2 Mineraalivilla.....	32
5.2.1 Tarkasteltava rakenne.....	33
5.2.2 Lämmöneristävyys .....	34
5.2.3 Vaikutus betonin kuivumiseen .....	35
5.2.4 Toteutus.....	37
5.3 Polyuretaani .....	38
5.3.1 Tarkasteltava rakenne.....	39
5.3.2 Lämmöneristävyys .....	40
5.3.3 Vaikutus betonin kuivumiseen .....	41
5.3.4 Toteutus.....	43
5.4 YHTEENVETO.....	44
6 ESIMERKKIKOHDE: RANTA-TAMPELLAN 14-KERROKSI- ASUINKERROSTALO .....	45
6.1 Toteutusvertailu .....	46
6.2 Muuraus .....	48
7 POHDINTA.....	53
LÄHTEET.....	54
LIITTEET .....	56

**LYHENTEET JA TERMIT**

YIT	YIT Rakennus Oy Talonrakennus Tampere ja Pohjanmaa
U-arvo	Lämmönläpäisykerroin $W/m^2K$
RakMK E1	Rakentamismääräyskokoelma E1, Rakennusten paloturvallisuus, määräykset ja ohjeet 2011
RakMK C2	Rakentamismääräyskokoelma C2, Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998
RakMK C3	Rakentamismääräyskokoelma C3, Rakennusten lämmöneristys, määräykset 2010
RakMK C4	Rakentamismääräyskokoelma C4, Lämmöneristys, ohjeet 2003
BY 201	Betonitekniikan oppikirja by201, 2004
UV-säteily	Ultraviolettisäteily
IR-säteily	Infrapunasäteily
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT
EPS	Muottimenetelmällä tai jatkuvatoimisella linjalla valmistettu polystyreenieriste

## **JOHDANTO**

### **1.1 Tausta**

YIT:n aloitteesta on lähdetty tutkimaan muurattavan julkisivun kosteusteknistä toteutusta. Tavoitteena on löytää kosteusteknisesti, tuotantoteknisesti ja taloudellisesti järkevin eristeratkaisu muurattavaan betonirunkoiseen rakennukseen. Jo toteutetuissa kohteissa on huomattu ongelmia eri eristeiden käytössä. Muun muassa tuuli on rikkonut joissain kohteissa eristeen pintaa aiheuttaen korjauksia rakennusvaiheessa. YIT aloittaa lähitulevaisuudessa Ranta-Tampellan asuinalueen rakentamisen Näsijärven rantaan. Ranta-Tampellaan rakennettavien kohteiden julkisivut ovat ainakin osittain muurattavia ja yli 40 m korkeita. YIT:n halu kehittää rakentamisen laatua parempaan suuntaan on luonut edellytykset tälle opinnäytetyölle.

### **1.2 Tavoite**

Tavoite on löytää muurattavan julkisivun seinärakenteen toteutukseen oikeanlaiset materiaalit ja työmenetelmät. Tarkoitus on huomioida seinärakenteen asteittaisen toteutuksen tuomat riskit sekä siihen kohdistuvat rasitukset. Tarkastelun kohteina ovat eri eristeratkaisut ja niiden turvallinen kosteustekninen toteutettavuus työmaaolosuhteissa siten, etteivät rakenteet pääse vaurioitumaan. Opinnäytetyössä myös pohditaan julkisivumuurauksen ja sen detaljien vaikutusta kosteuden poistoon sekä sovelletaan tietoja esimerkkikohteeseen.

### **1.3 Rajaukset**

Massiivisen rakenteen vuoksi eri eristeratkaisuille toteutettujen seinärakenteiden ääneneristävyyttä ei ole tarkasteltu tässä opinnäytetyössä. Betonisen sisäkuoren kuivumista on tarkasteltu valmiilla rakenteella.

## 2 TYÖMAAOLOSUHTEET

Elementtirungon pystytys alkaa yleisimmin maanvaraisen lattian ja anturoiden valmistamisen jälkeen. Seinäelementit asennetaan ensin, jonka jälkeen seuraavan kerroksen lattia toteutetaan joko paikalla valuna tai ontelolaatoilla. Kun seuraavan kerroksen lattiarakenne on vaadittavan jäykkä, aloitetaan seuraavan kerroksen elementtien asennus. Tämä kierto jatkuu kunnes päästään vesikattokorkeuteen ja vesikattotyöt voi alkaa. Yleisesti julkisivumuuraus aloitetaan vesikattotöiden jälkeen. Ennen julkisivumuurausta elementtirunko ja sen rakenteet ovat altistuneina ympäröiville olosuhteille mm. tuulelle ja sateelle. Esimerkiksi muurattavan julkisivun ulkoseinä on tämän ajan puutteellisena ja mahdollisesti elementin mukana tullut eriste rasiusten alaisena. Ulkoseinään kohdistuvia rasituksia voidaan vähentää erilaisilla suojauksilla, mutta ne voivat olla haasteellisia toteuttaa eri runkovaiheissa.

### 2.1 Rasitukset

Elementtirunkoon kohdistuu vuodenajasta riippuen erilaisia rasituksia. Tässä kappaleessa käydään läpi rakennuksen seinärakenteisiin kohdistuvia rasituksia ja niiden vaikutuksia. Käsiteltäviä rasituksia ovat sade, tuuli, lämpöliikkeet, veden jäätymisreaktio, kosteus ja auringon säteily. Rakennuspaikasta ja vuodenajasta riippuen rasiusten voimakkuus voi vaihdella suuresti. Rasiusten yhteisvaikutus voi myös lisätä niiden aiheuttamaa haittaa. Esimerkiksi sateen ja tuuleen yhteisvaikutus lisää veden mahdollisuutta tunkeutua rakenteisiin.

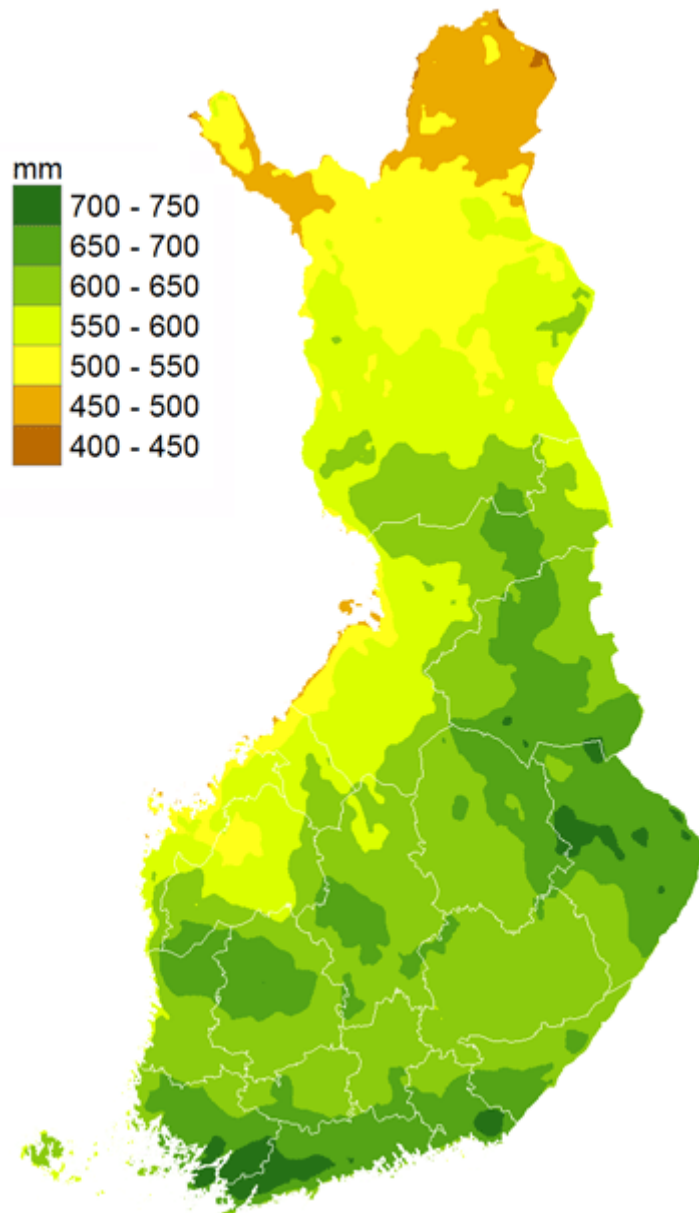
## Sade

Rakennus joutuu elinkaarensa aikana alttiiksi sateen tuomalle kosteusrasitukselle. Sade saattaa ilmentyä vetenä, lumena tai jäänä. Saderasitus riippuu pääasiallisesti rakennuksen sijainnista ja ilmansuunnasta. Kuitenkin saderasitukset voivat vaihdella paikoittain esimerkiksi isojen aukeiden tai vesistöjen johdosta. Lisäksi ympäröivät rakennukset voivat luoda ns. tuulitunneleita joiden suulla kosteusrasitus voi olla sateisella säällä suu-  
rempaa.

Sade voi ilmentyä tuulen vaikutuksesta viistosateena, jolloin se painaa seinärakennetta päin viistosti. Arvioitu viistosateen määrä kokonaissateesta on n. 20-30 %, eli 100-200 mm vuodessa (RIL 255-1-2014,s.120- 121). Puolet tästä sataa syksyisin, jolloin rakennuksen runkovaihe on yleisimmin vielä viimeistelemättä ja täten alttiina saderasitukselle. Rakennuksen korkeus vaikuttaa siihen kohdistuvaan saderasitukseen. Jo pelkästään korkeuden tuoma lisäpinta-ala korottaa julkisivuun satavan veden määrää, mutta myös korkeammalla vaikuttavat kovemmat tuulet lisäävät viistosateen vaikutusta.

Rakennuksen eristeitä kuormittaa myös suurissa määrin pystysuorasade. Rakennuksen ollessa vielä runkovaiheessa eristeet ovat alttiina ylhäältäpäin satavalle ja holvilta valulle vedelle. Varsinkin paikalla valettujen holvien betoni ohjaa helposti ylhäältäpäin satavan veden reunoille ja sitä kautta eristetilaan, josta se valuu painovoimaisesti alas. Eristetilaan ohjautuvaan veden määrään vaikuttavat eristeen kyky johtaa vettä, eristeen suojaus, betonilaatan kaadot ja vallitsevat olosuhteet. Sateen imeytyminen rakenteeseen riippuu rakennusmateriaalien ominaisuuksista. Näistä merkittävin on materiaalin vedenimukyky. Esimerkiksi tiileen vesi imeytyy kohtalaisesti, mutta metallipinnalla pinnoitettuun rakenteeseen vain epätiiviyiskohtien kautta. On eri materiaaleista riippuvaa kuinka haitallinen rakennusaikainen sade on. Orgaaninen aine esimerkiksi puu homehtuu herkästi ollessaan lämpimässä ja kosteassa olosuhteessa pitkän ajan, mutta esimerkiksi vasta kovettunut betoni sietää puuta pidemmän kosteusrasituksen. Ilmatieteenlaitoksen kuvaajasta (kuvio 1) voi havainnollistaa keskimääräisen vuosisateen määrän vuosina 1981-2010.





Kuvio 1 Keskimääräinen vuosisadanta v.1981-2010 ([www.ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot))

Kun käytetään julkaisussa RIL 255-1-2014 ilmoitettua karkeaa arvoa viistosateen osuudesta koko vuoden sadannasta, voidaan arvioida Pirkanmaan alueella viistosateen keskimääräiseksi arvioksi:

$$V_{viistosade,min} = V_{keskimääräinen,min} * viistosateenosuus_{min} = 600l * 20\% = 120l$$

$$V_{viistosade,max} = V_{keskimääräinen,max} * viistosateenosuus_{max} = 650l * 30\% = 195l$$

$$V_{vuosittaisen\ viistosateen\ keskimääräinen\ sadanta\ 1981-2010} = 120l \sim 195l$$

Lasketaan hypoteettinen eristetilaaan johtuvan vedenmäärä Helsingin Kaisaniemessä elokuiden v.1981-2010 keskiarvoilla (taulukko 1). Oletuksena on betonirunkoinen talo, jossa on paikallavaluholvi. Työmaan työvaiheet kulkevat niin, että holvi on otollinen ohjaamaan vettä suoraan eristeisiin 1 metrin matkalta 4 pv viikossa. Muutoin eristettä rasittaa vain pystysuorasade. Viistosadetta ei huomioida. Eriste on vettä johtavaa, eikä sitä ole suojattu. Eristeen paksuus on 170mm ja valumaa tarkkaillaan metrin kaistalla.

$$V_{suora} = \text{keskimääräinen sade v. 1981 – 2010} * \text{eristeen paksuus} * 1\text{metri}$$

$$V_{suora} = 80\text{mm} * 170\text{mm} * 1000\text{mm} = 13600000\text{mm}^3 = 13,6\text{l}$$

$$V_{holvilta} = \text{Veden ohjausosuus} * \text{keskimääräinen sade v. 1981 – 2010} * 1\text{m} \\ * 1\text{metri}$$

$$V_{holvilta} = \frac{4pv}{7pv} * 80\text{mm} * 1000\text{mm} * 1000\text{mm} \approx 45,7\text{l}$$

$$V_{Eristeistä\ valuva\ vesi,elokuu} = V_{suora} + V_{holvilta} = 13,6\text{l} + 45,7\text{l} \approx 59\text{l}$$

Hypoteettisen laskennan tuloksesta voidaan havaita, että eristetilaa läpi voi virrata kuu-kauden aikana huomattava määrä vettä.

**Taulukko 1 Elokuun sademääriä ([www.ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot](http://www.ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot))**

Paikkakunta	2014 (mm)	2013(mm)	1981-2010(mm)
Kaarina Yltöinen	216	66	80
Hki-Vantaa lentoasema	119	91	79
Hki Kaisaniemi	121	143	80
Nokia Tottijärvi	107	66	75
Jyväskylä lentoasema	92	89	78
Seinäjoki Pelmaa	122	64	67
Maaninka Halola		63	75
Siikajoki Revonlahti	44	48	72
Sodankylä	54	42	66
Utsjoki Kevo	84	23	57

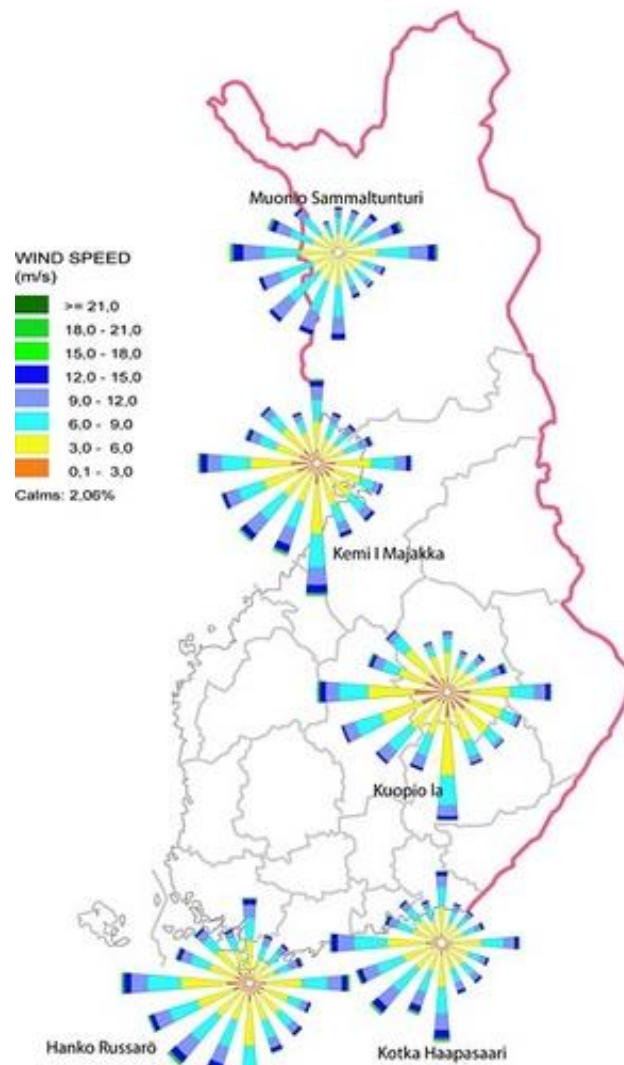
## Tuuli

Tuuli on ilmassojen välisistä paine-eroista johtuvaa ilman liikettä. Tuulen voimakkuus vaihtelee suuresti vallitsevien sääolosuhteiden mukaan. Myös korkeus maanpinnasta ja maanpinnan muodot vaikuttavat yleisesti tuulen nopeuteen. Rakennetussa ympäristössä ympäröivät rakennukset voivat ohjata tuulikuormia ja luoda niin sanottuja tuulitunneleita. Myös aukeiden paikkojen läheisyydessä olevat rakenteet joutuvat yleensä suuremmalle tuulirasitukselle. Suomessa yleisesti merialueilla ja niiden rannikoilla mitataan suurimmat myrskytuulet. Kuviossa 2 on esitetty tuulen nopeuksien ja eri tuulemissuuntien jakaumaa tarkastelu vuosina 1990- 2008. Kuvioista voidaan havaita tuulen olevan yleisesti voimakkaita rannikkoseudulla, mutta myös sisämaassa tuulen nopeus voi nousta suureksi. Ilmatieteenlaitoksella on mittauspiste muun muassa Tampereen Näsijärvellä sijaitsevalla Siilinkarilla. Siilinkari on hyvin lähellä Ranta-Tampellan aluetta ja täten oletettavasti kuvaa hyvin Ranta-Tampellan rakennuksiin kohdistuvia rasituksia. Tampereen Siilinkarin mittauspisteellä mitatuista kuukausittaisista keskituulen nopeuksista voidaan havaita, että tuulen keskinopeus vuosien 2006 - 2014 aikana on ollut 4-6 m/s (ilmatieteenlaitos/ilmastopalvelu). Tämä tarkoittaa, että Siilinkarin mittauspisteellä tuulee kohtalaisesti koko vuoden ympäri. Taulukossa 2 on viimeisen viiden vuoden tuulenpuuskien huippulukemat Siilinkarin mittauspisteeltä. Siilinkarin mittauspisteellä havaitut tuulenpuuskat ylittävät ajoittain jopa 20 m/s nopeuden. Tämän asteiset tuulenpuuskat aiheuttavat suuren tuulikuorman rakenteeseen.

Tuulen tuoma paine-ero luo rakennuksen julkisivupintaan joko alipaineen ansoista vetovoimaa tai ylipaineen muodossa puristusta. Tuulen kovuuteen vaikuttaa rakennuspaikka ja sen ympäröivät olosuhteet. Tuuli itsessään luo rasituksia ja siten vaatimuksia rakennuksen ulkoseinän pinnoitteille. Myös tuulen ja sateen yhteisvaikutus varsinkin myrskyisellä säällä voi olla kosteusteknisesti haastava. Tuuli painaa rakennetta päin vettä paineella ja täten vesi saattaa painua rakenteeseen. Varsinkin suojaamattomat ovi- ja ikkuna-aukot ovat riskialttiita tuulisella ja sateisella säällä. Tuuli voi myös rikkoa rakenteita sen tuoman paine-eron seurauksena. Esimerkiksi voimakas tuuli voi rikkoa heikon vetolujuuden omaavan materiaalin.

Taulukko 2 Siilinkarin tuulenpuuskien huiput v.2010-2014 (ilmatieteenlaitos/ilmastopalvelu)

Kuukausi	2010(m/s)	2011(m/s)	2012(m/s)	2013(m/s)	2014(m/s)
Tammikuu	14,8	23,7	19,8	15,7	14,5
Helmikuu	15,4	15,4	17,6	13,7	16,1
Maaliskuu	16,1	22,4	22,7	21,1	21,8
Huhtikuu	16,4	19,7	17,2	17,6	19,2
Toukokuu	16,3	20,7	19,1	17,1	16,1
Kesäkuu	17,0	16,1	19,4	15,4	22,7
Heinäkuu	16,3	15,5	22,4	20,2	28,2
Elokuu	24,8	16,0	17,5	14,6	18,3
Syyskuu	20,2	27,5	20,6	16,7	19,4
Lokakuu	22,7	19,8	21,2	20,0	17,0
Marraskuu	20,5	19,4	22,9	25,8	17,1
Joulukuu	17,7	23,8	19,0	25,1	18,8

Kuvio 2 Tuulen suunnan ja nopeuden jakauma eräillä sääasemilla tuuliruusulla kuvattuna. Tarkastelujakso 1999-2008. [www.tuuliatlas.fi/tuulisuus](http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus)

## **Lämpöliikkeiden vaikutus**

Lämpötilan muutokset aiheuttavat rakenteisiin lämpölaajenemisen vuoksi rasituksia. Lämpölaajeneminen on riippuvainen materiaalien lämpölaajenemiskertoimesta ja lämpötilan muutoksesta. Lämpötilan noustessa materiaalit laajenevat ja lämpötilan laskiessa supistuvat. On materiaalista riippuvaa kuinka voimakasta lämpölaajeneminen on. Lämpöliikkeet saattavat aiheuttaa rasituksia rakenteisiin, jos eri tahtiin laajenevat materiaalit ovat liitettynä toisiinsa. Seinärakenteessa julkisivumuuraus joutuu yleensä kovimmalle rasitukselle, koska se voi altistua jopa 70...100 celsiusen lämpötilan vaihteluille vuoden aikana. Täten julkisivumuuraus elää eri vuoden aikojen mukaan. Tähän ilmiöön tulee ottaa huomiota muun muassa eri rakennedetaljien esimerkiksi yläräystään suunnittelussa.

## **Veden jäätymisreaktio**

Lämpötilan vaihtuessa positiivisesta alle 0°C rakenteissa oleva vesi jäätyy. Jäätyessään vesi laajenee. Jos vesi ei pääse laajenemaan vapaasti, luo se sisäisiä rasituksia rakenteisiin ja materiaaleihin. Rakennusmateriaaleista riippuen tämä ilmiö voi vaurioittaa rakennetta. Jäätymis- ja sulamissyklien määrä lisää riskiä rakenteen vaurioitumiselle.

## **Kosteuden aiheuttamat muutokset**

Materiaalit elävät niiden kosteuspitoisuuden mukaan. Kosteus elämiseen vaikuttaa suuresti materiaalin ominaisuudet ja sen hygroskooppisuus. Kovettunut betoni kutistuu kuivuessaan ja taas laajenee kostuessaan. Betonin kuivumiskutistuma on 0,4-0,6 promillea (BY201, s.90). Betonirakenteen kuivumiskutistuma ei vaikuta suuremmin käytössä pehmeitä eristeitä, jotka materiaaliominaisuuksiensa vuoksi kestävät rakenteen muutoksen repeämättä. Kuitenkin kuivumiskutistuma tulee ottaa huomioon, jos elementissä käytetään kovaa eristettä betonia vasten.

Kuivumiskutistumaa ilmenee myös muissakin materiaaleissa niiden hakeutuessa lopulliseen tasapainokosteuteensa. Kuivumiskutistumat voivat synnyttää rakenteiden liittymiin halkeamia ajan kanssa

## Auringon säteily

Auringon säteily koostuu kolmesta erityyppisestä säteilystä: UV-säteily (8%), näkyvä valo (39%) ja IR-säteily (53%). Eritoten IR-säteily ja UV-säteily vaikuttavat rakennusmateriaalien ja rakennusosien käyttäytymiseen.

UV-säteily on säteilyä, jonka aallonpituus on 100 nm-350 nm. Sen voimakkuus on riippuvainen vuodenajasta, sääolosuhteista, otsonikerroksen määrästä ja maantieteellisestä sijainnista. UV-säteily on monille rakennusmateriaaleille haitallista vaurioittaen niiden pintarakennetta. UV-säteilystä noin puolet on suoraa säteilyä, jolta voi suojautua esimerkiksi aurinkosuojalla, mutta noin puolet säteilystä ilmenee niin sanottuna hajasäteilynä. Hajasäteilyä syntyy ilmakehän kaasujen ja hiukkasten hajottaessa säteilyn (Rakennusfysiikka, perusteet ja sovelluksia, s. 22-23).

IR-säteily on säteilyä, jonka aallonpituus on 780 nm-1000 nm ([www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily](http://www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily)). Sitä hyöty käytetään muun muassa aurinkoenergiassa. IR-säteilyä ilmenee muistakin alkuperistä, mutta auringon IR-säteily on voimakasta. Säteily saa materiaalin pinnan lämpötilan muuttumaan. Lämpötilan muutokseen vaikuttaa säteilyn voimakkuus ja materiaalin pinnan ominaisuudet. Auringon IR-säteily voi nostaa jonkin rakenneosan lämpötilaa suuresti aiheuttaen lämpöliikkeitä. Parhaiten kyseinen ilmiö havainnollistuu kesällä auringon lämmittäessä tummaa pintaa.

## 2.2 Kosteuden vaikutus rakenteisiin

Rakenteilla olevassa betonitalossa työmaa-aikainen kosteus on suurta jo pelkästään rakenteiden itsensä sisältämän kosteuden vaikutuksesta. Muun muassa betonin valmistuksessa käytetty vesi haihtuu ajan kanssa betonista ulko- ja sisäilmaan. Kastuessaan betoni voi sitoa itseensä kosteutta yli 140 l/m<sup>3</sup> (RIL-255-1-2014 s. 463). Yleinen 300 mm betoniholvi voi täten sisältää kosteutta yli 40 l/m<sup>2</sup>. Muutkin rakennusmateriaalit varastoinnista riippuen voivat sisältää enemmän kosteutta, kuin ne lopullisessa käyttöolosuhteissaan sisältävät. Rakennusaikana ja etenkin runkovaiheessa rakenteisiin johtunut vesi lisää kosteusrasitusta. Työmaa-aikana eri työsuoritteet esimerkiksi tasoitus- ja maalaus-työt lisäävät kosteutta sisäilmassa.

Kosteus voi vaikuttaa rakenteisiin eri tavoilla. Pitkäaikainen kosteuden ja lämpötilan yhteisvaikutus voi mahdollistaa mikrobikasvuston rakenteessa. Lyhyt aikainen kosteus voi pilata jonkin rakennusosan esimerkiksi ikkunan karmirakenteet, jos ne pääsevät kastumaan ja karmirakenteet vääntyilemään. Ilman ja materiaalien suhteellinen kosteus ja lämpötila ovat kriittisiä tekijöitä erilaisten mikrobi- ja homekasvustojen esiintymiselle. VTT on tutkinut kokeissa ja testeissä eri materiaalien homehtumisriskiä. Homeisuutta tarkkaillaan homeisuusasteikolla (taulukko 3). Asteikko kuvaa homeen kasvuastetta visuaalisen tarkkailun perusteella arvioituna. Eräässä VTT:n tutkimuksessa tutkittiin betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisasteen kehittymistä eri kosteusolosuhteissa (Hannu Viitanen, VTT, Betoni ja siihen liittyvien materiaalien kriittiset olosuhteet - betonin homeenkesto). Tutkimuksessa havaittu yleinen piirre on että eri eristeet ja betoni tarvitsevat pitkäaikaisen ja suuren kosteusrasituksen, mutta rakenteeseen päätyneet orgaaniset aineet reagoi kosteuteen huomattavasti nopeammin. Kuvaajasta 1 voidaan tarkastella eri materiaalien homeisuusasteen kehitystä esitetyissä olosuhteissa. Orgaaninen aine voi olla rakennusvaiheessa syntyvää sahanpurua tai tuulen kuljettamaa ainetta. Tutkimus tehtiin laboratorio-olosuhteissa joten ulkoisten tekijöiden vaikutus on minimaalinen.

Eri materiaalit ovat alttiimpia mikrobikasvustoille kuin toiset, kuten kuvaajasta (kuvaaja 1) voidaan havaita. Esimerkiksi kuitulevyn homeisuusaste ylittää arvon 1 jo kuukauden rasituksen jälkeen, kun taas betonilla arvo ylittyy vasta kuuden kuukauden kohdalla. Tuoreen betonin alkalisuus hillitsee mikrobikasvuston kasvumahdollisuuksia betonin

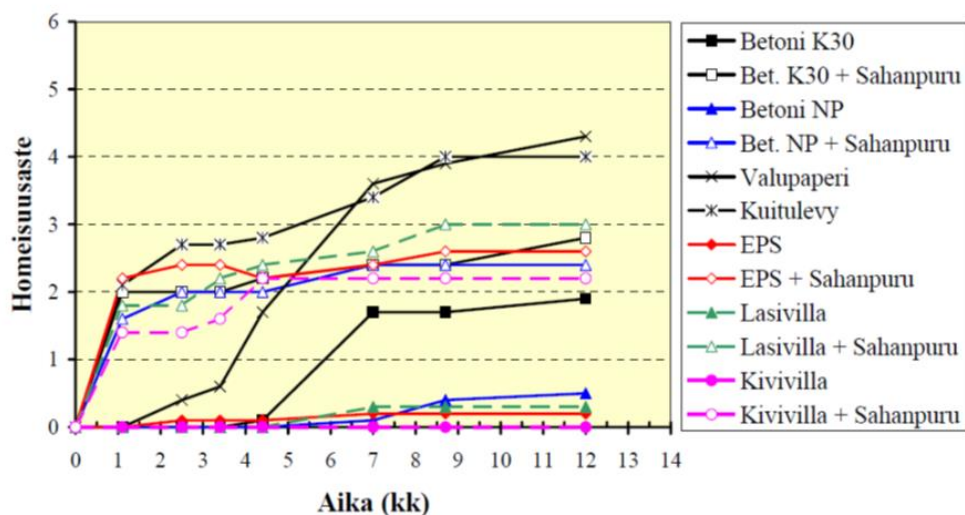
pinnalla (Juha Vinha, FRAME / Betonisandwich elementtirakenteet). Kuitenkin orgaaniset aineet, kuten puumateriaalit ovat otollisempia mikrobikasvustoille.

Mikrobikasvustot ja homeet erittävät ihmiselle haitallisia yhdisteitä ilmaan, jotka saattavat olla vaarantaa ihmisten terveyden. Rakenteisiin syntyneet kasvustot voivat elää pitkiä aikoja ilman optimaalista kosteus- ja lämpötilaolosuhteita ja aktivoitua olosuhteiden muuttuessa. Rakentamisvaiheessa seinärakenteeseen syntynyt homekasvusto voi vaikuttaa sisäilmaan, koska rakennuksissa vallitsee ilmaston vuoksi pieni alipaine. Alipaine imee haitallisia yhdisteitä mahdollisten epätiiviyiskohtien kautta. Näitä voivat olla huolimattomat liitokset tai halkeamat rakenteissa.

Taulukko 3 VTT Homemalli

Home-indeksi	Luokitusperusteet
0	Ei kasvua, pinta puhdas
1	Mikroskoopilla havaittava kasvu, Paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma
2	Mikroskoopilla havaittava kasvu, useita rihmastopesäkkeitä muodostunut
3	Silmin havaittava kasvu, rihmaston peitto alle 10 % alasta (alkavaa itiöiden muodostusta) TAI Mikroskoopilla havaittava kasvu, peitto alle 50 %
4	Silmin havaittava kasvu, rihmaston peitto noin 10–50 % alasta TAI Mikroskoopilla havaittava kasvu, peitto yli 50 %
5	Silmin havaittava kasvu, paikoin runsas tai rihmaston peitto yli 50 % alasta
6	Erittäin runsas kasvu, rihmaston peitto lähes 100 %

Materiaalit yksinään, vakio-olot RH 95 - 97 %, T=20 °C



Kuvaaja 1 Mikrobikasvuston kehittyminen eri materiaaleissa VTT, Hannu Viitanen



### 3 VIRANOMAISMÄÄRÄYKSET

Tässä kappaleessa käydään läpi viranomaismääräyksiä, jotka vaikuttavat seinärakenteen toteutukseen. Viranomaismääräykset edellyttävät rakenteilta tiettyjä vähimmäisvaatimuksia, jotta rakenteet olisivat turvallisia ja toimivia. Tässä osiossa keskitytään rakentamismääräyskokoelmasta löytyviin määräyksiin, jotka koskevat julkisivumuuratun betonirunkoisen seinän toteutusta. Tarkastelussa on viranomaismääräykset rakenteen paloturvallisuudesta, lämmöneristävydestä ja kosteusteknisestä toiminnasta.

#### 3.1 Rakenteen lämmöneristävyys

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C3 uudisrakennuksen seinän U-arvoksi määrätään vähintään  $U=0,17\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ . Ohje U-arvon laskennalle löytyy rakentamismääräyskokoelman osasta C4. U-arvo epätasa-aineisia kerroksia sisältävässä rakenteessa on eri rakennekerrosten lämmönvastusten yhteen lasketun arvon käänteisluku ja rakenteen U-arvo lasketaan kaavalla:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

jossa  $R_T$  on rakenteiden yhteenlaskettujen lämmönvastuksien summa

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_{se}$$

jossa  $R_{si}$  ja  $R_{se}$  on sisä- ja ulkopuolisia pinnanvastuksia ja  $R_{1\dots}$  eri rakennekerrosten lämmönvastus.

Rakenteen lämmönvastus  $R$  voidaan laskea kaavalla:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

jossa  $d$  on rakennekerroksen paksuus ja  $\lambda$  lämmöneristävyys.

### 3.2 Paloluokitukset

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa E1 asetetaan rakennusten paloturvallisuudelle määräyksiä. Asetuksessa annetaan määräyksiä ja ohjeita rakenteiden ominaisuuksille, jotta ne olisivat turvallisia myös mahdollisessa tulipalotilanteessa. E1 jakaa rakennukset kolmeen eri luokkaan riippuen niiden koosta ja käyttötarkoituksesta. Taulukossa 4 on listattu yleisimmät asuinrakennuksen paloluokkaa määräävät tekijät. Taulukosta voidaan havaita, että Ranta-Tampellan tulevat asuinrakennukset kuuluvat paloluokkaan P1.

Taulukko 4 Asuinrakennusten paloluokat

Luokka	Kerrosluvu	Korkeus	Kerrosala
P1	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta	Ei rajoitusta
P2	≤4 kerrosta	14m	Ei rajoitusta
P3	≤2 kerrosta	9m	1.krs 2400m <sup>2</sup> 2.krs 1600m <sup>2</sup>

Rakennuksen paloluokasta riippuen edellytetään sen rakenteilta ja materiaaleilta tiettyjä ominaisuuksia. P1-luokan rakenteille asetetaan kovemmat määräykset kuin P3-luokan. Asetuksessa otetaan kantaa P1-luokan rakennuksen tuulettuvan julkisivurakenteen lämmöneristyksen pinnan paloluokitukselle määräten sen olevan vähintään B-s1, d0. Tampereen rakennusvalvonta edellyttää P1-luokan rakennuksen uloimman eristepinnan luokaksi minimissään B-s1, d0 (sähköposti: Ottman Jyrki). Taulukossa 5 on eri luokitukset ja niiden selitteet.

Taulukko 5 Paloluokitusten selitteet

Luokitus	Selite
A1	Tarvikkeet, jotka eivät osallistu lainkaan paloon.
A2	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu.
B	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu.
C	Tarvikkeet, jotka osallistuvat paloon rajoitetusti.
D	Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä.
E	Tarvikkeet, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävissä.
F	Tarvikkeet, joiden käyttäytymistä ei ole määritetty.
s1	Savuntuotto on erittäin vähäistä.
s2	Savuntuotto on vähäistä.
s3	Savuntuotto ei täytä s1 eikä s2 vaatimuksia.
d0	Palavia pisaroita tai osia ei esiinny.
d1	Palavat pisarat tai osat sammuvat nopeasti.
d2	Palavien pisaroiden tai osien tuotto ei täytä d0 eikä d1 vaatimuksia.

### 3.3 Kosteus

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa C2 annetaan määräyksiä ja ohjeita rakennuksen kosteustekniseen toteutukseen. Olennaisena vaatimuksessa määräyksessä edellytetään, että rakennus suunnitellaan ja toteutetaan siten, ettei siitä aiheudu hygienia- tai terveystarvikkeiden riskiä kosteuden vaikutuksesta rakenteisiin. Lisäksi määräyksessä edellytetään että rakennustarvikkeet ja osat ovat suojattava haitalliselta kastumiselta kuljetusten, varastoinnin ja rakentamisen ajan. Kosteiden rakenteiden tulee saada kuivua ennen kuin ne pinnoitetaan kosteuden haihtumista hidastavalla pinnoitteella.

Määräyksen mukaan seinärakenne tulee suunnitella ja rakentaa siten, ettei ulkoverhouksen taakse pääse vettä tai ulkoverhous on suunniteltava siten, että sinne tunkeutuva vesi pääsee poistumaan rakenteesta aiheuttamatta rakenteelle vaurioita. Tiilistä muuratun ulkoverhouksen tuuletusraoksi määräyksessä esitetään minimissään 30 mm.

#### 4 JULKISIVUMUURAUKSEN TOTEUTUKSEN HAASTEET

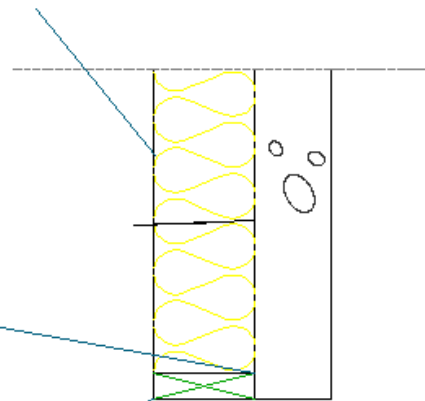
Suuri haaste muurattavan julkisivun toteutuksessa on sen vaiheittainen toteutusmalli. Toteutusmallista ja rakennuksen koosta riippuen seinärakenne voi olla useita kuukausia altistuneena säärasituksille. Esimerkiksi pakkaneen voi keskeyttää muuraustyön, jolloin julkisivurakenne saattaa jäädä keskeneräiseksi seuraavaan kevääseen saakka.

Seuraavissa kuvissa on havainnollistettu eri toteutusvaiheiden yleisiä rasituksia ja niiden vaikutuksia. Toteutusvaiheet ovat elementin asennuksen jälkeinen tilanne (kuva 1), ikkunan asennuksen jälkeinen tilanne (kuva 2), julkisivumuurausten ollessa käynnissä (kuva 3) ja rakenteen ollessa valmis (kuva 4). Kuvissa ei ole huomioitu mahdollisten työmaa-aikaisten suojausten käyttöä. Kuvissa on otettu huomioon suojaamattomaan rakenteeseen kohdistuvat rasitukset ja niiden yleiset seuraukset.

Kuvassa 1 on havainnollistettu rakennustyömaan runkovaiheen yleistä tilannetta, jolloin seinäelementti on asennettu. Eristeiden teipattavien saumojen on havaittu vaurioituvan tuulen ja sateen vaikutuksesta. Vaurioitumiseen voi vaikuttaa muun muassa huono toteutus ja teipin laatuongelmat. Suojaamattoman eristeen läpi virtaava vesi valuu seinärakennetta pitkin alaspäin ja saattaa kerääntyä apukarmin päälle nostaten sen kostetta. Tämä voidaan ottaa huomioon muun muassa estämällä sadeveden ohjautuminen eristetilaa tai toteuttaa apukarmi eritavalla. Eristetilasta ja eristeen ulkopinnasta valuva vesi voi kääntyä apukarmia pitkin sisälle ja vesi johtuu hallitsemattomasti sisätiloihin. Tämä voidaan estää esimerkiksi apukarmin erilaisella toteutuksella. Tuulen on havaittu hajottavan joidenkin eristeiden tuulensuojapinnoitteita. Tätä ilmiötä voidaan rajoittaa muun muassa teippaamalla eristeen saumat mahdollisimman nopeasti ja varmistua eristeen kestävydestä kovissa tuuliolosuhteissa. Yleisesti suurin kosteusrasitus syntyy suojaamattoman ikkuna-aukon läpi pääsevästä vedestä. Tuulen ja sateen yhteisvaikutuksesta sade ilmenee viistosateena, joka mahdollistaa sadeveden pääsyn rakennuksen sisälle. Tätä voidaan hallita muun muassa ikkuna-aukon työmaa-aikaisella suojauksella.

## SAUMATEIPIT IRTOILEVAT

SADEVESI JA HOLVILTA  
OHJAUTUVA VESI VALUU  
ERISTETTÄ PITKIN  
IKKUNAPUUN PÄÄLLE JA  
NOSTAA SIINÄ  
KOSTEUTTA

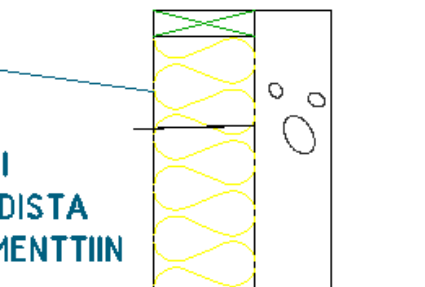


VESI KÄÄNTYY  
PUUTA PITKIN  
SISÄLLE

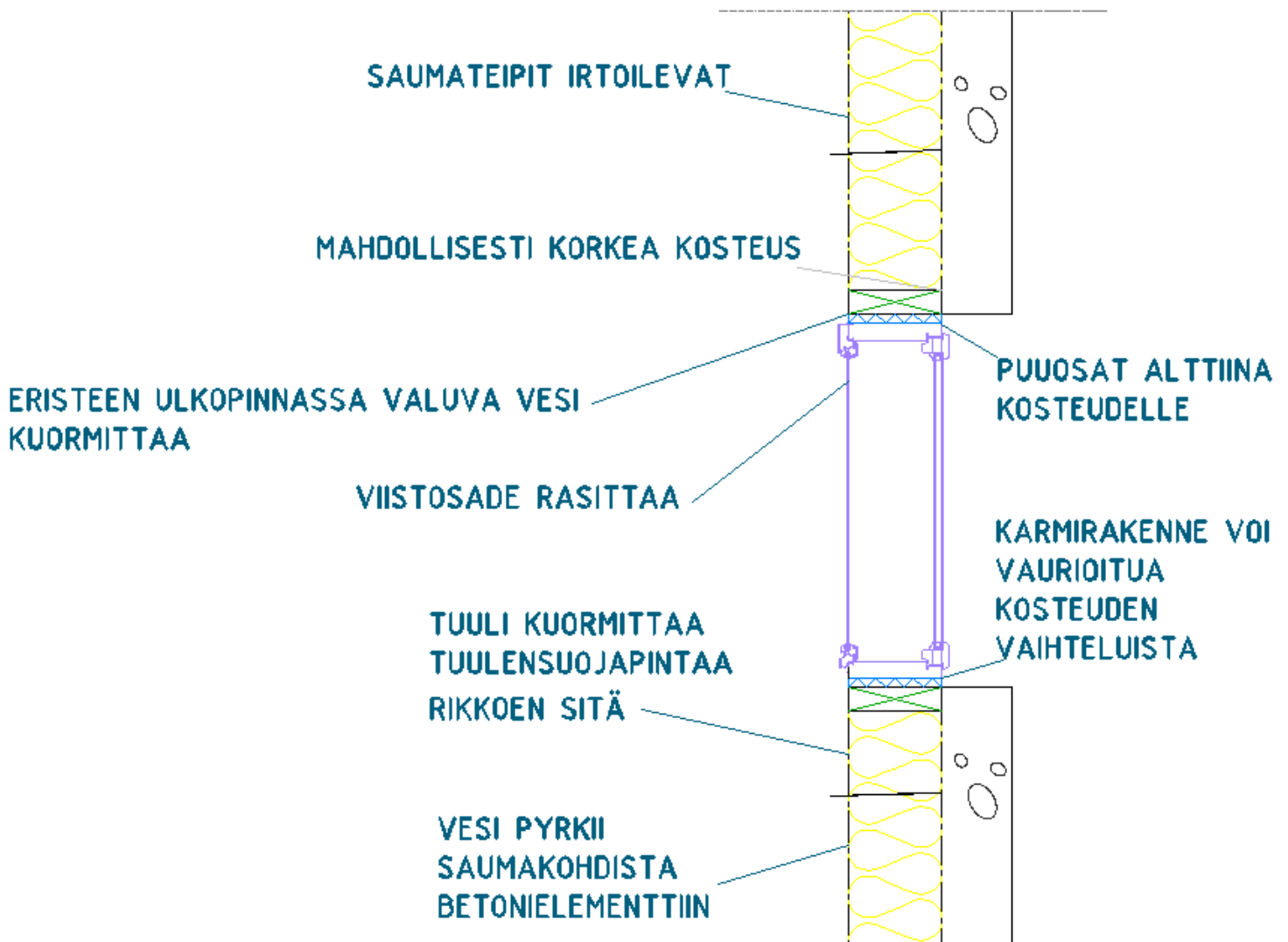
IKKUNA-AUKKO  
RISKIALTIS  
SADEVEDELLE -> SUURIA  
MÄÄRIÄ VETTÄ VOI  
SATAA SISÄÄN

TUULI KUORMITTAA  
TUULENSUOJAPINTAA  
RIKKOEN SITÄ

VESI PYRKII  
SAUMAKOHDISTA  
BETONIELEMENTTIIN

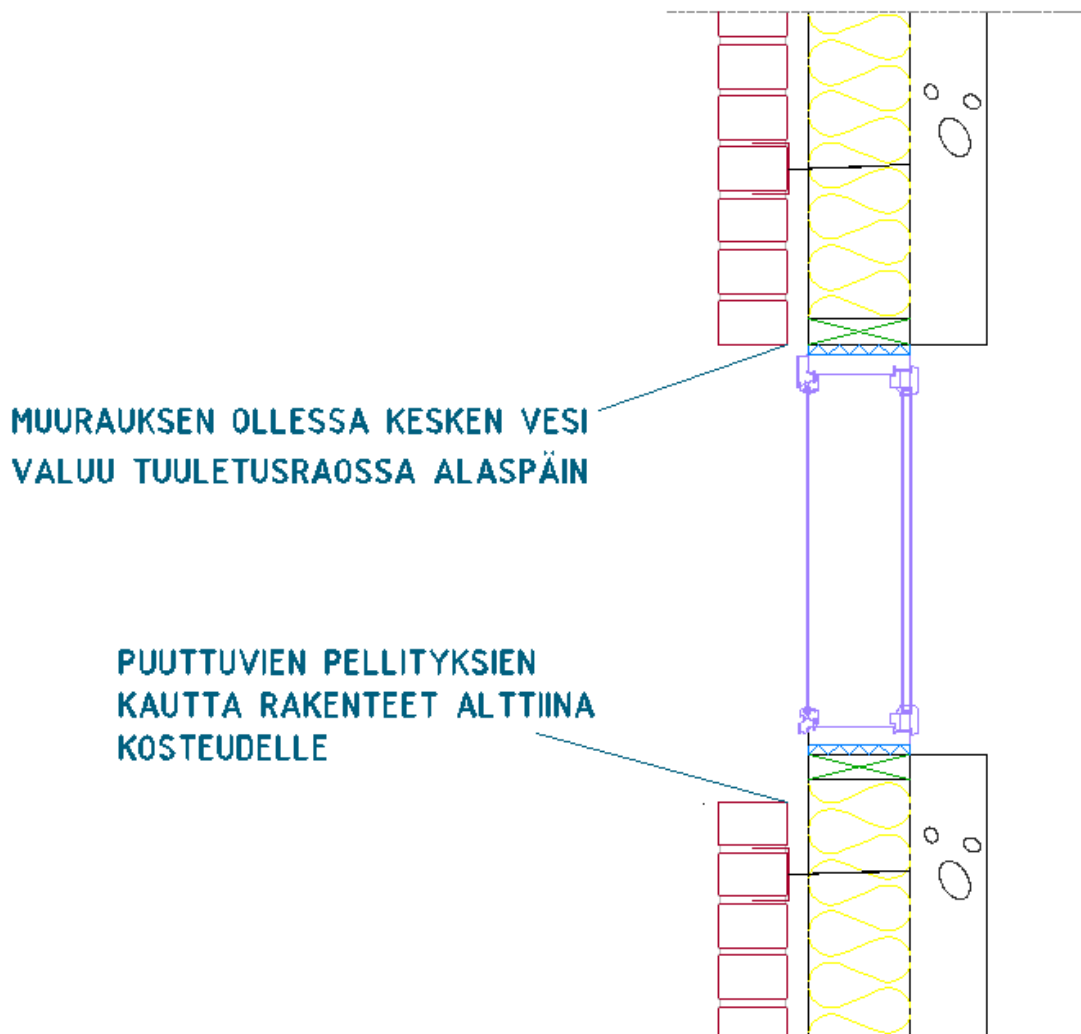


Kuva 1 Elementti asennettu



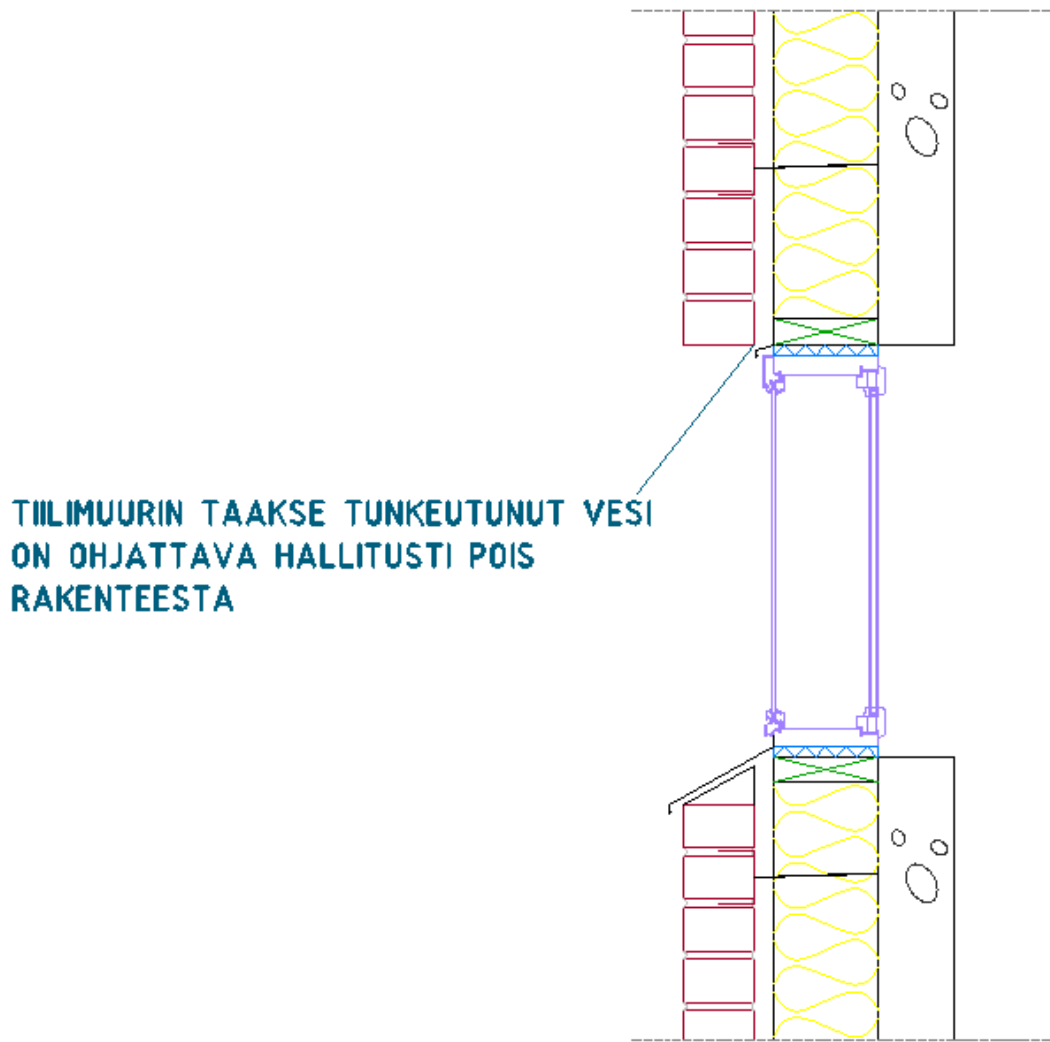
Kuva 2 Ikkuna asennettu

Kuvassa 2 on havainnollistettu ikkunan asennuksen jälkeistä tilannetta. Tilanne eroaa kuvassa 1 havainnollistetusta tilanteesta siten, että elementtiin on asennettu ikkuna. Ikkuna estää täten viistosateen pääsyn rakennukseen ikkuna-aukosta. Kuitenkin yleisesti ikkunoiden karmirakenteet sisältävät puuta, joka on arka kosteudelle. Ikkunoiden puuosat ovat yleisesti maalattu ja suojattu, mutta niitä ei ole suunniteltu kestämään kosteissa olosuhteissa. Kastuessaan ikkunan puuosat saattavat vaurioitua. Tämä saattaa johtua muun muassa normaalia korkeammasta kosteusrasituksesta tai eristetilassa valuvasta vedestä. Tätä voidaan hallita muun muassa työmaa-aikaisilla suojauksilla ja työnohjauksella.



Kuva 3 Tiilimuuraus käynnissä

Kuvassa 3 julkisivumuuraus on käynnissä ja rakenteiden detaljit ovat vielä puutteelliset. Julkisivurakenteen eri osiin voi täten kohdistua vielä suuria ja hallitsemattomia rasituksia. Näitä rasituksia voidaan hallita muun muassa työmaa-aikaisilla suojauksilla ja työn tahdituksella. Rakenteiden liittymät ja pellitykset tulisi viimeistellä mahdollisimman nopeasti.



Kuva 4 Rakenne valmis

Kuvassa 4 on havainnollistettu valmis rakenne. Julkisivumuurausten taakse saattaa päästä vettä muun muassa rasituksista syntyneiden rakojen tai halkeamien kautta. Taakse kulkeutunut vesi on ohjattava hallitusti pois rakenteesta. Veden tunkeutumista julkisivumuurausten läpi voidaan vähentää muun muassa huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella.



## 5 SEINÄRAKENTEET ERISTEMATERIAALEITTAIN

Tässä kappaleessa tarkastellaan eri eristeillä toteutetun rakenteen toimintaa. Eristeiden ominaisuuksia tarkastellaan sekä niiden vaatimaa toteutusta. Tarkastelussa on lämmönläpäisykertoimen  $U=0,17\text{W/m}^2\text{K}$  täyttävä rakenne, rakenteen paloturvallisuus, rakenteen vaikutus betonin kuivumiseen, kustannukset ja työmaalla tarvittavat työsuoritteet. Rakenteita tarkastellaan siten, että ne täyttävät myös P1-luokan vaatimukset.

Eristeiden erilaiset ominaisuudet vesihöyrynläpäisykykyyn vaikuttavat sisäpuolen betonikuoren kuivumisaikaan. Betonirakenteen kuivumista on arvioitu WUFI-ohjelmistolla. Ohjelmisto laskee rakennusfysikaalisien olosuhteiden mukaan hypoteettisen betonin kosteuspitoisuuden tarkastelu jaksolla. Laskennan antamat tulokset ovat täten hypoteettisia ja ne antavat muun muassa vertailuarvoja eri eristemateriaalien kesken. Todellinen kuivuminen on riippuvainen muun muassa betonin ominaisuuksista ja todellisista vallitsevista olosuhteista.

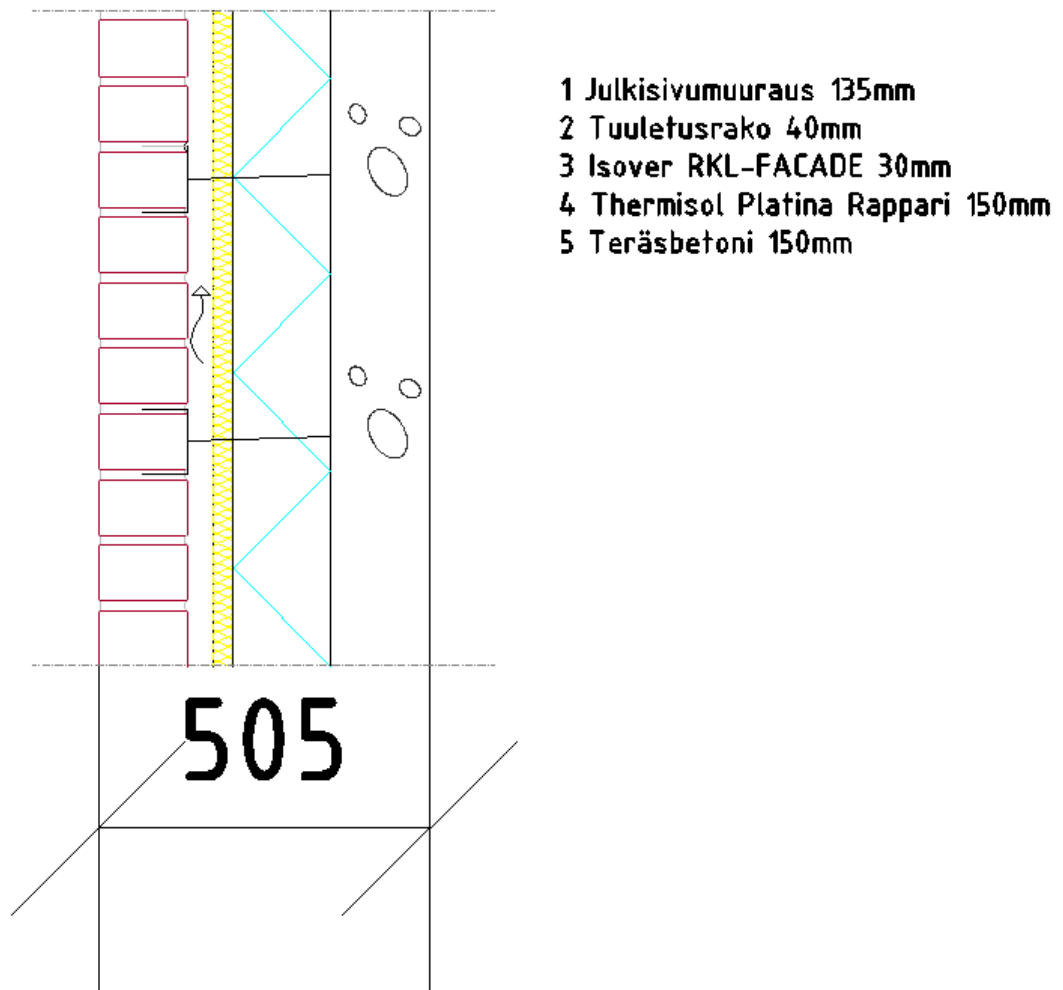
Rakenteiden toteutusta on tarkasteltu siten, että eriste toimitetaan elementin mukana työmaalle. Tarkastelussa on otettu huomioon työmaalla tarvittavia työpanoksia, jotta rakenne voidaan toteuttaa kosteusteknisesti turvallisesti. Tarkasteltavan rakenteen kosteusteknisesti turvallista toteutusta on tarkasteltu eristeen ominaisuuksien edellyttämällä ehdoilla.

## 5.1 Polystyreeni (EPS)

EPS- eriste on polystyreenistä muottimenetelmällä valmistettua eristemateriaalia. Sitä käytetään yleisesti lattia- ja routaeristeenä, mutta se soveltuu myös seinä- ja kattoeristeeksi. Se valmistetaan kestumuovia olevasta polystyreniistä. Lopullisessa tuotteessa muoviraaka-aineen määrä on n.2-5 tilavuusprosenttia. Yleisten seinäeristeiden tunnuksia ovat EPS 60S seinä ja EPS 100S seinä. S-kirjain tunnuksessa kertoo, että eriste on vaikeasti syttyvää. EPS- eriste ei ime vettä ja sitä voidaan käyttää sellaisenaan tuulensuojaeristeenä. EPS- eriste kestää tavallisia happoja ja emäksiä, mutta ei orgaanisia liuottimia kuten bensiiniä. EPS- eriste ei lahoa eikä homehdu eikä se itsellensä sen raaka-aineet sisällä homesienille tarpeellisia ravintoaineita. Auringon UV-säteily kellastaa EPS- eristeen pinnan, mutta lyhyen ajan kuormitus ei vaikuta eristeen eristyskykyyn. Koska EPS- eriste ei ime vettä, eikä sisällä homehtuvia aineita ja toimii itsellään tuulensuoja eristeenä, se soveltuu hyvin elementissä toimitettavaksi eristeeksi. ( RT 36-11113, EPS-Eristeet) Jos eriste kuitenkin altistuu pitkäaikaiselle UV-säteilylle, sen pintakerroksesta n.1-1,5mm saattaa kellertyä ja muuttua jauhomaiseksi (Sähköposti Tapio Kilpeläinen, Thermisol Oy).

EPS- eristeen paloturvallista käyttöä P1 ja P2-luokan rakennuksissa on tutkittu Tampereen teknillisen yliopiston rakennetekniikan laitoksen tutkimuksessa (Paloturvallinen rakentaminen EPS-eristeillä, tutkimusraportti 134). Siinä havaittiin EPS- eristeen olevan käytettävissä P1 ja P2-rakennusten lämmöneristeenä, kunhan se on palosuojattu asianmukaisesti. EPS- eristeen palo-ominaisuudet vaativat, että sitä käytettäessä P1-luokan rakennuksessa se pinnoitetaan paloa kestävämmällä materiaalilla, koska E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma vaatii tuuletusrakojen pintojen paloluokaksi vähintään B-s1,d0. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi lisäämällä EPS- eristeen pintaan paloa hyvin kestävä A2,s1,d0 materiaalia. Yleisesti 30mm mineraalivillaeristys EPS- levyn päälle täyttää palovaatimukset.

### 5.1.1 Tarkasteltava rakenne



Kuva 5 EPS-rakenne

Kuvassa 5 on tarkkailtavan rakenteen poikkileikkaus. Rakenteessa sisäkuori on 150 mm paksuinen teräsbetonielementti, johon on elementtitehtaalla kiinnitetty 150 mm paksuinen Thermisol Platina Rappari- eriste. Platina Rappari joudutaan pinnoittamaan paloteknisistä syistä A2,s1,d0 materiaalilla, jona tässä rakenteessa toimii 30 mm Isover RKL-FACADE- lasivillaeriste. Molemmat eristeet toimivat tuulensuojana. Lämmöneristeen lävitse teräsbetoniseen sisäkuoreen on kiinnitetty muuraussiteet, jotka tukevat valmista tiilimuurausta. Eristeen ja julkisivumuurauksen välissä on 40 mm paksuinen tuuletusrako. Julkisivumuuraus on toteutettu 135 mm paksuisella tiilellä.

### 5.1.2 Lämmöneristävyys

Rakenteen lämmöneristävyyteen vaikuttaa materiaalien lämmöneristävyys ja paksuus sekä ulko- ja sisäpintojen pinnanvastukset. Taulukossa (taulukko 6) on laskettu tarkasteltavan rakenteen lämmönvastusten summa RakMK C4 mukaisten määräysten mukaisesti.

Taulukko 6 Lämmönvastuslaskelma

Materiaali	Paksuus(mm)	$\lambda$ (W/mK)	Lämmönvastus(m <sup>2</sup> K/W)
R <sub>si</sub> *			0,13
Betoni*	150	1,2	0,13
Thermisol Platina Rapp.	150	0,031	4,84
Isover RKL-FACADE	30	0,031	0,97
R <sub>se</sub> *			0,13
R <sub>t</sub>			6,19
* RakMK C4			

Rakenteen lämmönläpäisykerroin voidaan laskea kaavan mukaisesti ottaen huomioon muuraussiteiden tuoma kylmäsilta (RakMK C4, 2.3.4)

$$U_{EPS} = \frac{1}{R_T} + U_{muuraussiteet} = \frac{1}{6,19 \text{ m}^2\text{K/W}} + 0,006 \approx 0,168 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tarkasteltavan rakenteen lämmönläpäisykerroin on pienempi kuin RakMK C3 määrittelämä vähimmäisarvo. Täten rakenne täyttää lämmöneristävyyden viranomaisvaatimukset.

### 5.1.3 Eristeen vaikutus betonin kuivumiseen

Tarkastelussa havainnollistetaan eristeen vaikutusta betonisen sisäkuoren kuivumiseen. Laskenta on hypoteettinen, koska betonin todelliseen kuivumiseen vaikuttaa moni tekijä. Näitä ovat muun muassa betonin ominaisuudet, sääolosuhteet, rakenteen toteutus ja työmaan aiheuttama kosteuslisä. Tarkastelu on tehty valmiille rakenteelle, koska rakennuksen toteutusaikataulua ja rakenteen vajaavaisuuden kestoa ei ole tiedossa. Tarkastelussa sisäpuolen lämmityksen on arvioitu olevan jo päällä ja sisätyövaiheiden olevan käynnissä. Sisäilman lämpötilaksi on arvioitu täten +21 °C ja sisäilman kosteusrasitukseksi korkea kosteuskuorma. Ulko-olosuhteiksi on valittu Helsingin mittaustietojen perusteella luotu säärasitus, koska se oletettavasti vastaa parhaiten Ranta-Tampellan olosuhteita. Sisäkuoren betonin alkutilanteen kosteusmääräksi on arvioitu 100kg/m<sup>3</sup>, koska se vastaa yleistä kuivumisvaiheessa olevan betonin kosteusmäärää. Tarkkailussa käytettyjen materiaalien arvot on ilmoitettu taulukossa 7. Laskelman aloitus päivämäärä on 1.5.2015. Tarkastelu on suoritettu ohjelmistolla WUFI® Pro 5.2.

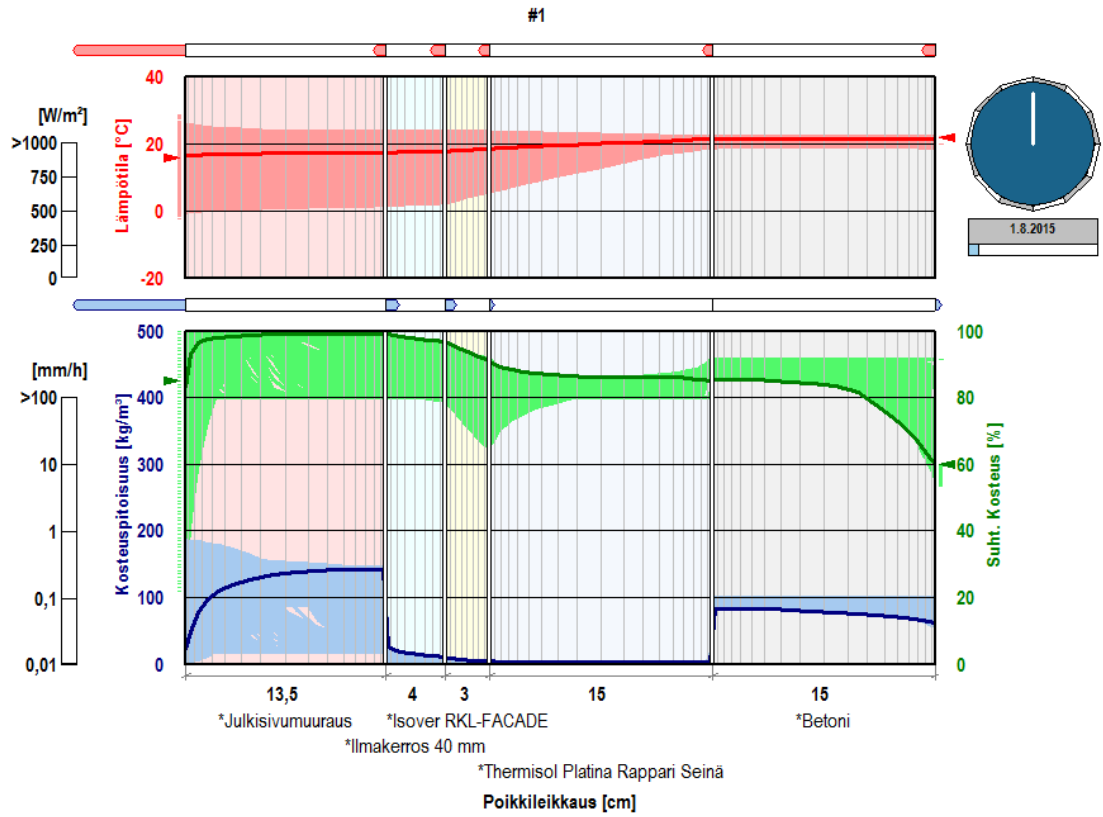
Taulukko 7 WUFI arvot

Materiaali	Lämmönjohtavuus (W/Km)	Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin ( $\mu$ )
Betoni	1,2	150
EPS	0,031	50
Isover RKL-FACADE	0,031	1,5

Laskelmasta saaduista kuvaajista voidaan havainnollistaa muun muassa suhteellisen kosteuden määrää eri rakenneosissa. Kuvaajissa on esitetty rakenteen poikkileikkaus ja eri rakennekerroksien olosuhteet. Kuvaajat ovat tilanteista 3 kuukauden (kuvaaja 2), 6 kuukauden (kuvaaja 3) ja 9 kuukauden (kuvaaja 4) jälkeen aloituspäivämäärästä. Rakenneosien suhteelliset kosteudet on esitetty vihreällä värillä ja kosteuspitoisuus sinisellä. Lämpötila eri rakenteissa havainnollistuu punaisena. Värillinen alue kuvaa rakenteessa vallinneita olosuhteita tarkastelun aloitusajankohdan jälkeen ja vahva viiva kuvaa tarkasteluajankohdan aikaista tilannetta. Kuvaajan oikeassa yläreunassa on ilmoitettu tarkasteluajankohta. Esimerkiksi kuvaajasta 3 voidaan havaita betonisen sisäkuoren suhteellisen kosteuden alittavan kauttaaltaan rajan RH 80% kuuden kuukauden lämmitysjakson jälkeen.

Paikkakunta: Helsinki; Finnish Meteorological Institute;

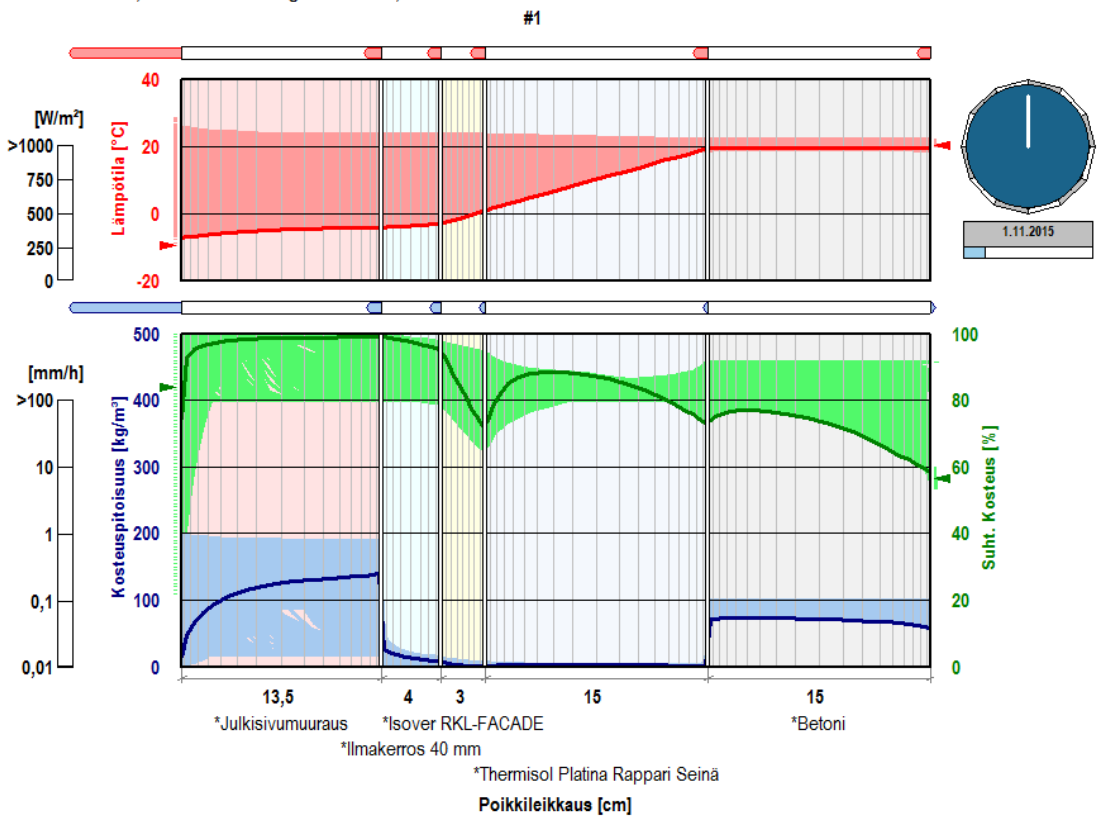
WUFI®



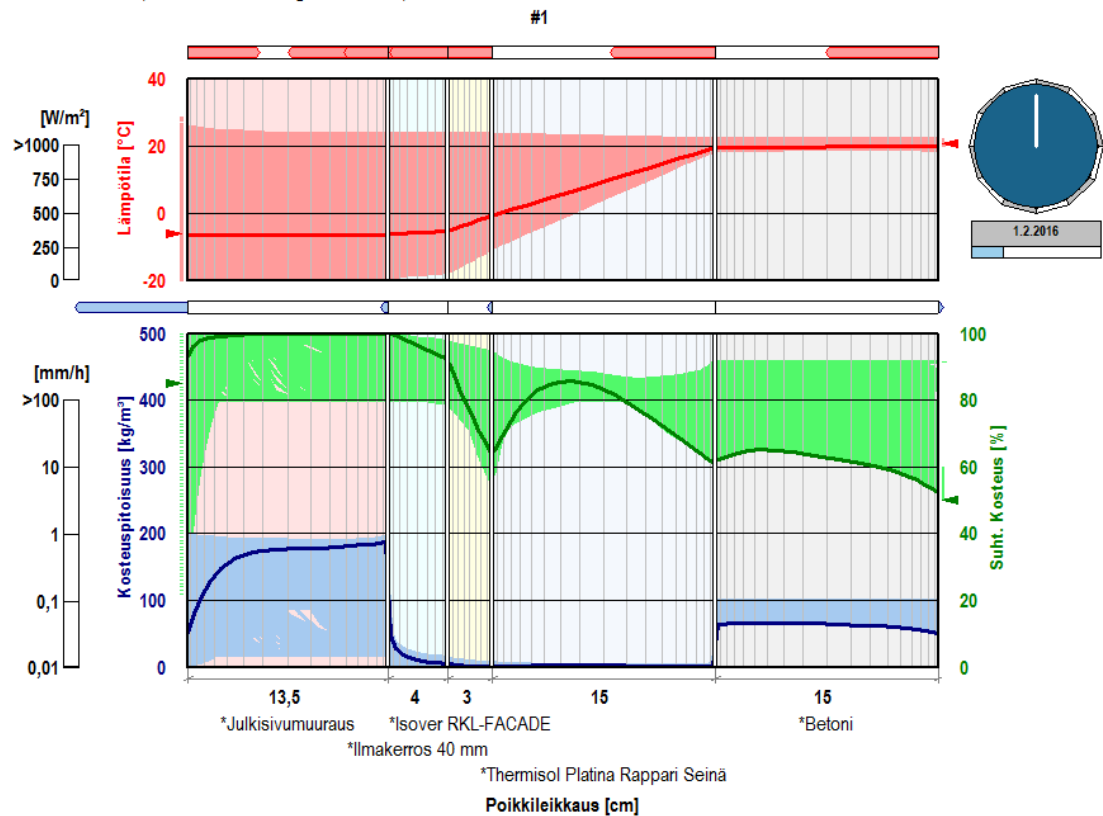
Kuvaaja 2 Tilanne 3 kuukauden jälkeen 1.8.2015

Paikkakunta: Helsinki; Finnish Meteorological Institute;

WUFI®



Kuvaaja 3 Tilanne 6 kuukauden jälkeen 1.11.2015



Kuvaaja 4 Tilanne 9 kuukauden jälkeen 1.2.2016

### 5.1.4 Toteutus

EPS-eriste voidaan toimittaa elementin mukana. Se kestää kosteutta hyvin, joten sitä ei tarvitse erikseen suojata kosteudelta. Eristys viimeistellään julkisivumuurauksen yhteydessä 30 mm A2-s1,d0-eristeellä esimerkiksi mineraalivillalla. Tällä tekniikalla mineraalivillaeriste voidaan asentaa hallituissa olosuhteissa samalla nostokalustolla kuin muuraus. EPS-eriste tulee peittää kauttaaltaan A2-s1,d0-eristeellä. EPS voi kuitenkin vaurioitua altistuessaan UV-säteilylle useiden kuukausien ajaksi. Täten mahdollisesti vaurioitunut pinta saatetaan joutua puhdistamaan harjaamalla ennen mineraalivillan asennusta (sähköposti Tapio Kilpeläinen, Thermisol OY).

## 5.2 Mineraalivilla

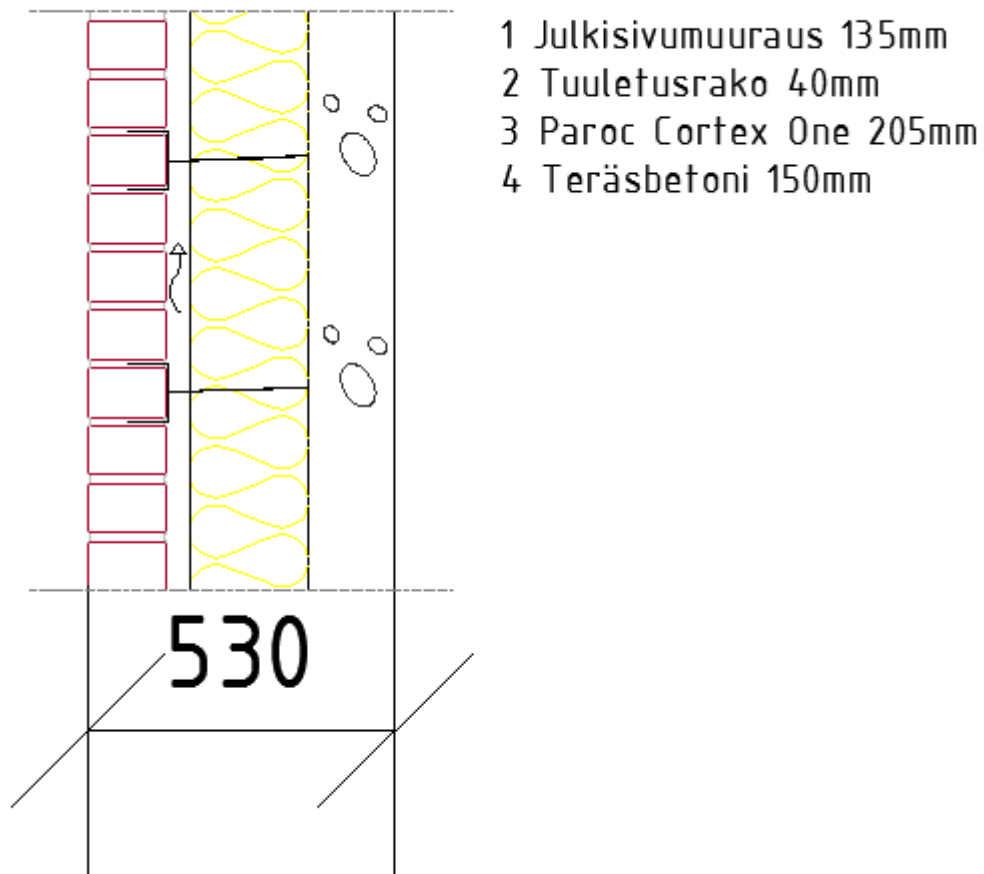
Mineraalivillaeristeet ovat epäorgaanisista kuiduista ja orgaanisesta sideaineesta muodostuvia lämmöneristeitä. Yleisimpiä mineraalivilloja ovat lasi- ja kivivilla, mutta muita mineraalivilloja ovat kuona- ja silikaattivilla. Mineraalivilloja valmistetaan eri käyttökohteisiin ja niitä voidaan käyttää mm. seinien, saumojen ja kattojen eristyksessä. Mineraalivilloilla on hyvät ominaisuudet ääneneristävyydessä ja palon kestossa. Näiden ominaisuuksien vuoksi niitä käytetään usein myös palo- ja äänieristyksessä. Mineraalivillassa voi kuitenkin sille epäsuotuisissa olosuhteissa esiintyä home- ja sienikasvustoa (RT 36-10689). Mineraalivillan höyrynläpäisevyys on melko suuri ja täten vesihöyry betonista pääsee haihtumaan sen läpi hyvin. Tämä nopeuttaa betonin kuivumista verrattaessa esim. muovieristeisiin.

Vuonna 1993 VTT tutki mineraalivillojen homehtumisriskiä (VTT, julkaisu 791). Tutkittavana materiaaleina olivat kivivilla, lasivilla ja selluvillaeriste. Tutkimus kohdentui tutkimaan lämmöneristeiden vaikutusta puurakenteiden mikrobivaurioihin. Tutkimuksessa ilmeni eristeiden olevan alttiita mikrobikasvustoille ja lahottaj sienille, jos eristeet ovat märkiä pitkän ajanjakson.

Mineraalivillaeriste kestää kohtuullisen hyvin viistosadetta, jos siinä on tuulensuojaeriste kiinni. Kuitenkin mineraalivilla johtaa vettä lävitse, jos vesi johtuu paineella pystysuorasti eristeen lävitse. Mineraalivilla johtaa eristetilaaan johtuneen kosteuden alas päin. Normaalitilanteessa kosteus valuu eristetilassa alas asti, mutta esim. ikkunapenkien päälle johtuva vesi nostaa villan ja karmipuun kosteutta. Paroc Oy:n Cortex One-eristeiden käsittelyohjeen (Paroc Oy, käsittelyohje 31.10.2013) mukaan sääsuojaus työmaalla tulee suorittaa siten, että eristetilaaan ei pääse johtumaan kosteutta. Samassa käsittelyohjeessa ohjeistetaan teippaamaan eristeen saumat viimeistään seuraavan kerroksen elementtejä asennettaessa. Saumausten nopealla teippauksella vähennetään tuulensuojapinnoitteen riskiä hajota tuulen rasituksesta Toimenkin suuri mineraalivillavalmistaja Saint-Gobain Rakennustuotteet (Isover) ohjeistaa suojaamaan eristeensä kosteudelta.



### 5.2.1 Tarkasteltava rakenne



**Kuva 6** Mineraalivillarakenne

Kuvassa 6 on tarkkailtavan rakenteen poikkileikkaus. Rakenteessa sisäkuori on 150 mm paksuinen teräsbetonielementti, johon on elementtitehtaalla kiinnitetty 205 mm paksuinen Paroc Cortex One- kivivillaeriste. Paroc Cortex One on A2-s1,d0-luokan eriste, joka on pinnoitettu tuulensuojapinnoitteella. Lämmöneristeen lävitse teräsbetoniseen sisäkuoreen on kiinnitetty muuraussiteet, jotka tukevat valmista tiilimuurausta. Eristeen ja julkisivumuurauksen välissä on 40 mm paksuinen tuuletusrako. Julkisivumuuraus on toteutettu 135 mm paksuisella tiilellä.

## 5.2.2 Lämmöneristävyys

Rakenteen lämmöneristävyteen vaikuttaa materiaalien lämmöneristävyys ja paksuus sekä ulko- ja sisäpintojen pinnanvastukset. Taulukossa (taulukko 8) on laskettu tarkasteltavan rakenteen lämmönvastusten summa RakMK C4 mukaisten määräysten mukaisesti.

Taulukko 8 Lämmönvastusarvoja

Materiaali	Paksuus(mm)	$\lambda$ (W/mK)	Lämmönvastus(m <sup>2</sup> K/W)
Rsi*			0,13
Betoni*	150	1,2	0,13
Paroc Cortex One	205	0,033	6,21
Rse*			0,13
Rt			6,60
* RakMK C4			

Rakenteen lämmönläpäisykerroin voidaan laskea kaavan mukaisesti ottaen huomioon muuraussiteiden tuoma kylmäsilta (RakMK C4, 2.3.4)

$$U_{PAROC} = \frac{1}{R_T} + U_{muuraussiteet} = \frac{1}{6,6 \text{ m}^2\text{K/W}} + 0,006 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \approx 0,158 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tarkasteltavan rakenteen lämmönläpäisykerroin on pienempi kuin RakMK C3 määrittelämä vähimmäisarvo. Täten rakenne täyttää lämmöneristävyden viranomaismääräykset.

### 5.2.3 Vaikutus betonin kuivumiseen

Tarkastelussa havainnollistetaan eristeen vaikutusta betonisen sisäkuoren kuivumiseen. Laskenta on hypoteettinen, koska betonin todelliseen kuivumiseen vaikuttaa moni tekijä. Näitä ovat muun muassa betonin ominaisuudet, sääolosuhteet, rakenteen toteutus ja työmaan aiheuttama kosteuslisä. Tarkastelu on tehty valmiille rakenteelle, koska rakennuksen toteutusaikataulua ja rakenteen vajaavaisuuden kestoja ei ole tiedossa. Tarkastelussa sisäpuolen lämmityksen on arvioitu olevan jo päällä ja sisätyövaiheiden olevan käynnissä. Sisäilman lämpötilaksi on arvioitu täten +21 °C ja sisäilman kosteusrasitukseksi korkea kosteuskuorma. Ulko-olosuhteiksi on valittu Helsingin mittaustietojen perusteella luotu säärasitus, koska se oletettavasti vastaa parhaiten Ranta-Tampellan olosuhteita. Sisäkuoren betonin alkutilanteen kosteusmääräksi on arvioitu 100 kg/m<sup>3</sup>, koska se vastaa yleistä kuivumisvaiheessa olevan betonin kosteusmäärää. Tarkkailussa käytettyjen materiaalien arvot on ilmoitettu taulukossa 9. Laskelman aloitus päivämäärä on 1.5.2015. Tarkastelu on suoritettu ohjelmistolla WUFI® Pro 5.2.

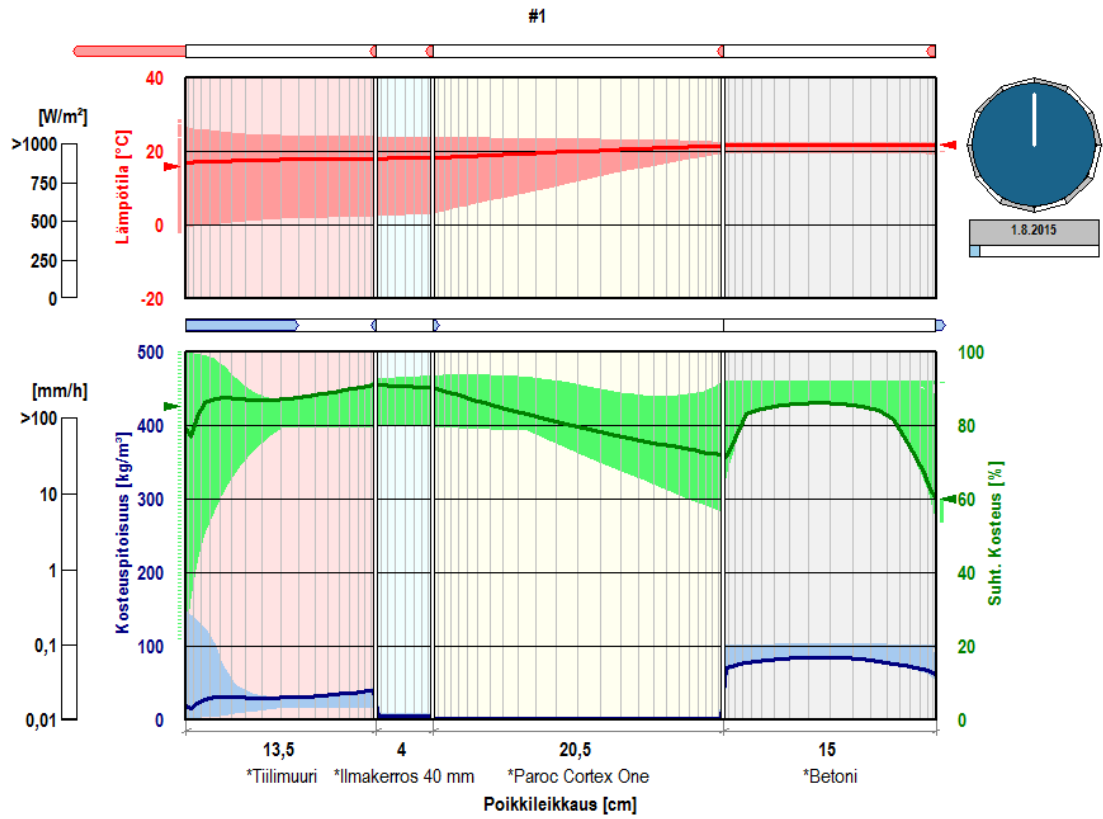
Taulukko 9 WUFI arvot

Materiaali	Lämmönjohtavuus (W/Km)	Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin ( $\mu$ )
Betoni	1,2	180
Mineraalivilla	0,033	1,5

Laskelmasta saaduista kuvaajista voidaan havainnollistaa muun muassa suhteellisen kosteuden määrää eri rakenneosissa. Kuvaajissa on esitetty rakenteen poikkileikkaus ja eri rakennekerroksien olosuhteet. Kuvaajat ovat tilanteista 3 kuukauden (kuvaaja 5), 6 kuukauden (kuvaaja 6) ja 9 kuukauden (kuvaaja 7) jälkeen aloituspäivämäärästä. Rakenneosien suhteelliset kosteudet on esitetty vihreällä värillä ja kosteuspitoisuus sinisellä. Lämpötila eri rakenteissa havainnollistuu punaisena. Värillinen alue kuvaa rakenteessa vallinneita olosuhteita tarkastelun aloitusajankohdan jälkeen ja vahva viiva kuvaa tarkasteluajankohdan aikaista tilannetta. Kuvaajan oikeassa yläreunassa on ilmoitettu tarkasteluajankohta. Esimerkiksi kuvaajista voidaan havaita betonisen sisäkuoren kuivuvan ulospäin kohtuullisen hyvin.

Paikkakunta: Helsinki; Finnish Meteorological Institute;

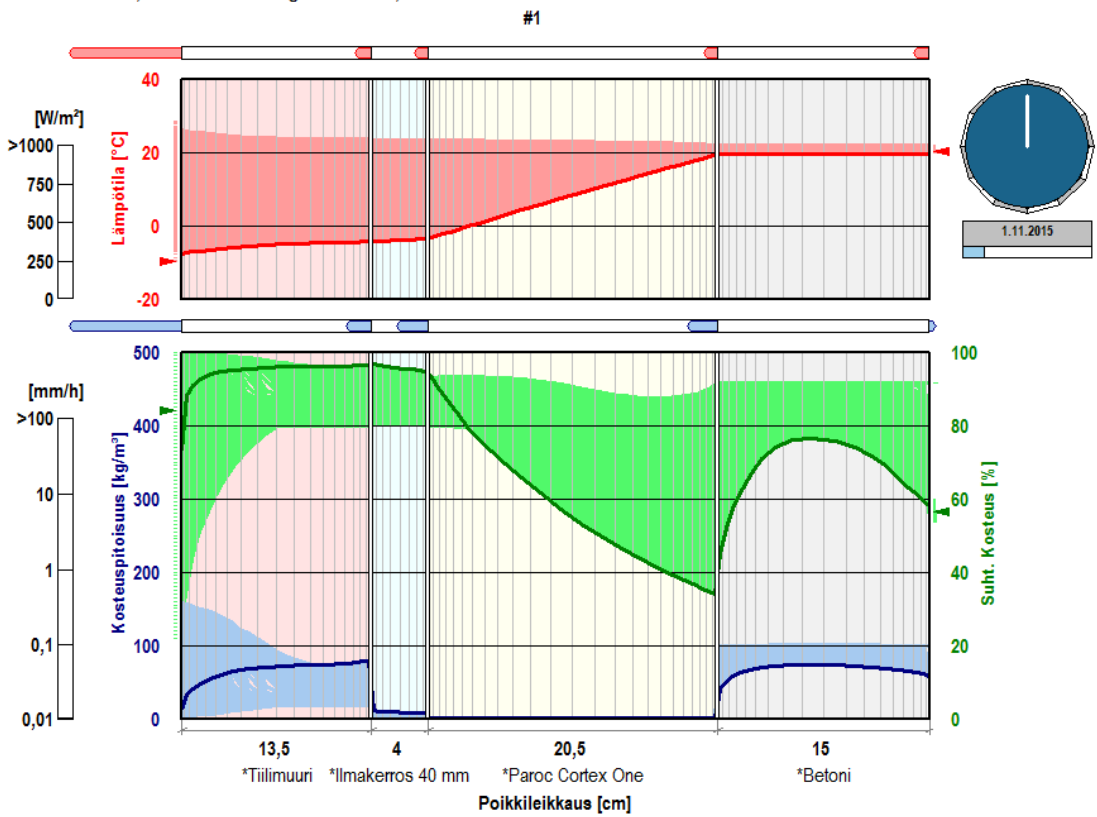
WUFI®



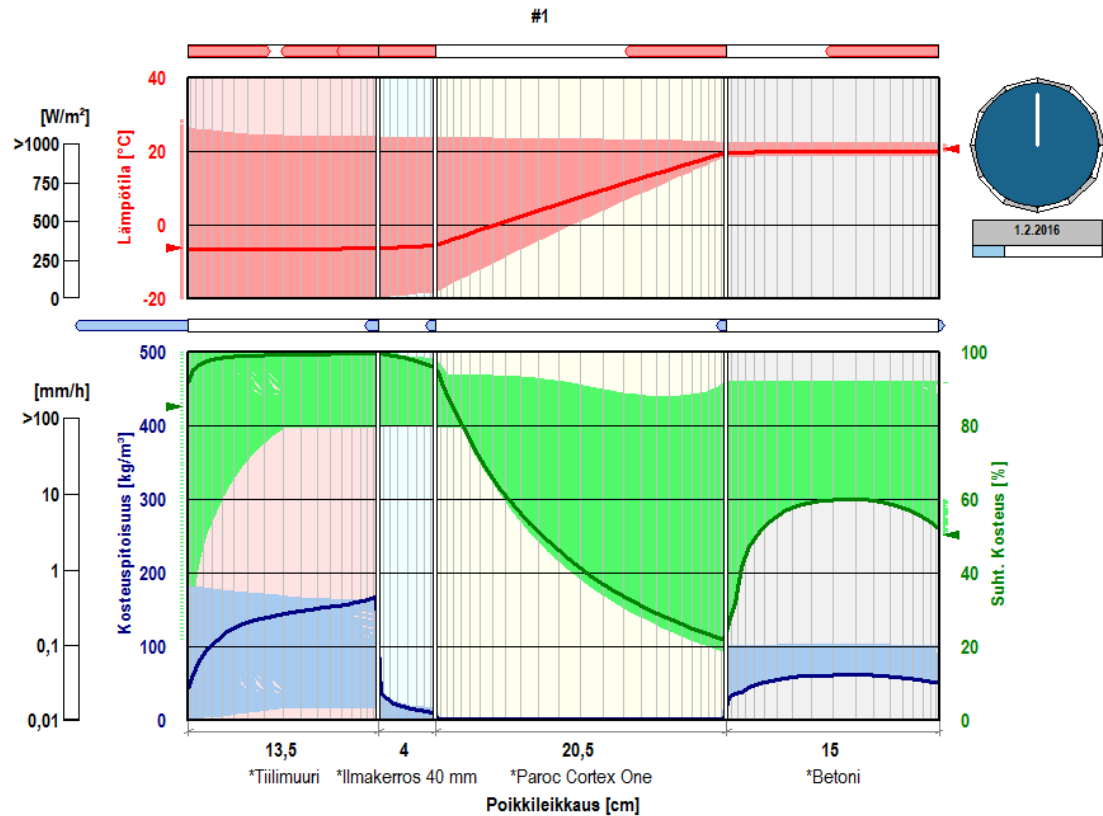
Kuvaaja 5 Tilanne 3 kuukauden jälkeen 1.8.2015

Paikkakunta: Helsinki; Finnish Meteorological Institute;

WUFI®



Kuvaaja 6 Tilanne 6 kuukauden jälkeen 1.11.2015



Kuvaaja 7 Tilanne 9 kuukauden jälkeen 1.2.2016

## 5.2.4 Toteutus

Paroc Cortex One voidaan toimittaa elementin mukana kokonaisuena, mutta eriste tulee suojata kosteudelta koko rakennusprosessin ajan. Eriste tulee suojata hyvin ylhäältäpäin satavalta ja holvilta valuvalla vedellä. Ratkaisuksi ehdotan elementin yläpintaan asennettavaa sääsuojaa, joka jatkuu yhtenäisenä elementtien liitoskohtien yli. Sääsuoja tulisi toteuttaa siten, että se muodostaa muutaman sentin kauluksen holvin nolla pintaan nähden. Tästä syntyy eräänlainen allasrakenne holville, josta vesi saataisiin johdettua betoniholviin asennettujen kaivojen kautta hallitusti pois rakenteesta. Eristeiden saumat tulee teipata kiinni mahdollisimman pian elementin asennuksen jälkeen. Saumojen teippaus tulee toteuttaa valmistajan ohjeiden mukaisesti. Saumojen teippaukseen tarvitaan nostinapulaite, jotta saumat saadaan nopeasti teipattua.

### 5.3 Polyuretaani

Polyuretaani eristeet ovat kovia umpisoluisia solumuovieristeitä. Polyuretaanieristeistä käytetään tunnusta PUR tai PIR. PUR -eriste on polyolista, MDI:stä ja punneaineesta koostuva eriste, kun taas PIR- eristeet sisältävät PUR- yhdisteiden lisäksi polyisosyanyraattia. Punneaineena eristeissä käytetään tavallisesti pentaania tai jotain muita vaarattomia hiilivetyjä.

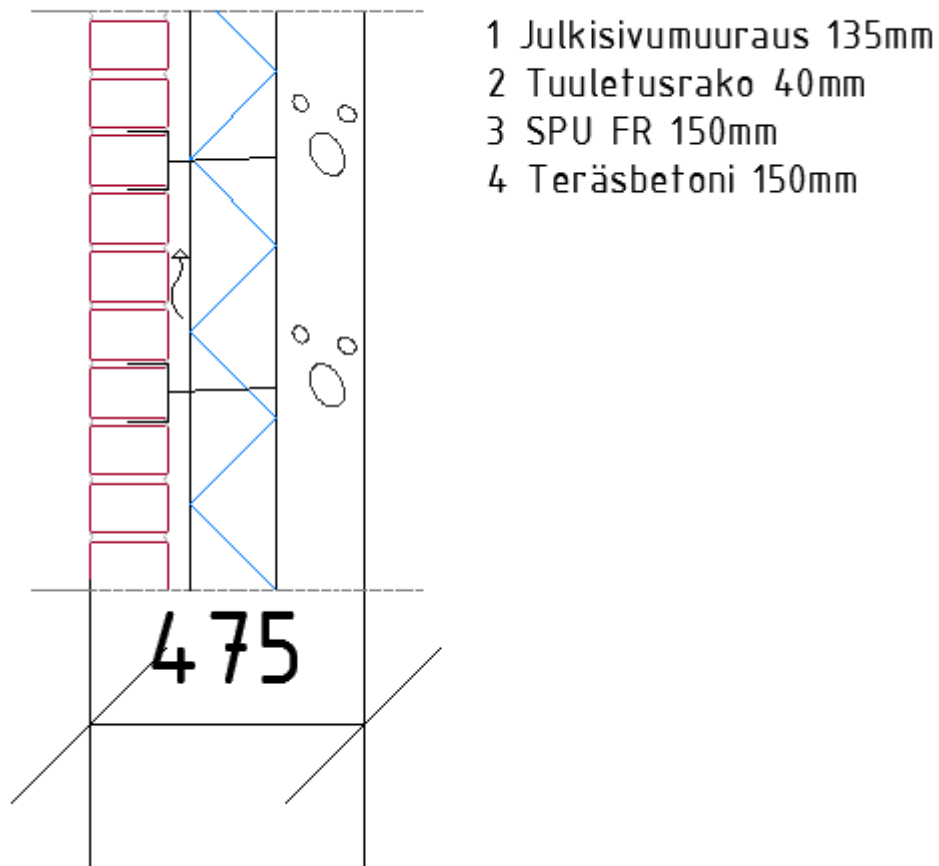
Umpisoluisen rakenteensa vuoksia polyuretaanilevy ei ime kosteutta ja on täysin ilmatiivis. Polyuretaani läpäisee myös huonosti vesihöyryä ja täten sitä voidaan käyttää suoraan höyrinsulkuna. Tämä ominaisuus vaikuttaa kuitenkin betonirunkoisessa talossa ulkokuoren kuivumisajan pitenemiseen suhteessa höyryä läpäiseviin eristeisiin.

Polyuretaanin hyvä lämmöneristävyys perustuu solujen sisältämän kaasuseoksen lämmöneristävyteen. Punneaine jää valmistuksessa umpisolukkoihin ja toimii siellä lämmöneristäväenä komponenttina. Esim. punneaineena käytetyn pentaanin lämmöneristävyys on jopa ilmaa pienempi.

Ilman hidas diffuusio solukkoihin heikentää pitkällä aika välillä eristeiden lämmöneristävyttä. Tämä ilmiö on kuitenkin otettu jo huomioon valmistajan ilmoittamassa lämmöneristävyysarvossa. Auringon aiheuttama UV-säteily kuluttaa polyuretaanin pintaa ja värjää sitä kellertävämmäksi. Polyuretaanilevyjä voidaan laminoida pinnoitteilla, jotka jaetaan yleensä kahteen luokkaan: diffuusioavoimet ja diffuusiotiiviit. Diffuusioavoin pinnoite ei muuta suuremmin eristelevyn höyrynläpäisevyyttä. Diffuusiotiivis pinnoite kuitenkin saattaa muuttaa suuresti eristelevyn vesihöyrynläpäisevyyteen.

(RIL 255-1-2014,s.266-267)

### 5.3.1 Tarkasteltava rakenne



Kuva 7 Polyuretaanirakenne

Kuvassa 7 on tarkkailtavan rakenteen poikkileikkaus. Rakenteessa sisäkuori on 150 mm paksuinen teräsbetonielementti, johon on elementtitehtaalla kiinnitetty 150 mm paksuinen SPU FR-eriste. SPU FR on B1-s1,d0-luokan polyuretaanieriste, joka on pinnoitettu diffuusioavoimella laminoinnilla. SPU FR toimii tuulensuojaeristeenä. Lämmöneristeen lävitse teräsbetoniseen sisäkuoreen on kiinnitetty muuraussiteet, jotka tukevat valmista tiilimuurausta. Eristeen ja julkisivumuurauksen välissä on 40 mm paksuinen tuuletusrako. Julkisivumuuraus on toteutettu 135 mm paksuisella tiilellä.

### 5.3.2 Lämmöneristävyys

Rakenteen lämmöneristävyteen vaikuttaa materiaalien lämmöneristävyys ja paksuus sekä ulko- ja sisäpintojen pinnanvastukset. Taulukossa (taulukko 10) on laskettu tarkasteltavan rakenteen lämmönvastusten summa RakMK C4 mukaisten määräysten mukaisesti.

Taulukko 10 Lämmönvastusarvoja

Materiaali	Paksuus(mm)	$\lambda$ (W/mK)	Lämmönvastus(m <sup>2</sup> K/W)
R <sub>si</sub> *			0,13
Betoni*	150	1,2	0,13
SPU FR	150	0,025	6,00
R <sub>se</sub> *			0,13
R <sub>t</sub>			6,39
* RakMK C4			

Rakenteen lämmönläpäisykerroin voidaan laskea kaavan mukaisesti ottaen huomioon muuraussiteiden tuoma kylmäsilta (RakMK C4, 2.3.4)

$$U_{SPU} = \frac{1}{R_T} + U_{muuraussiteet} = \frac{1}{6,19 \text{ m}^2\text{K/W}} + 0,006 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \approx 0,162 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tarkasteltavan rakenteen lämmönläpäisykerroin on pienempi kuin RakMK C3 määrittelämä vähimmäisarvo. Täten rakenne täyttää lämmöneristävyden viranomaismääräykset.



### 5.3.3 Vaikutus betonin kuivumiseen

Tarkastelussa havainnollistetaan eristeen vaikutusta betonisen sisäkuoren kuivumiseen. Laskenta on hypoteettinen, koska betonin todelliseen kuivumiseen vaikuttaa moni tekijä. Näitä ovat muun muassa betonin ominaisuudet, sääolosuhteet, rakenteen toteutus ja työmaan aiheuttama kosteuslisä. Tarkastelu on tehty valmiille rakenteelle, koska rakennuksen toteutusaikataulua ja rakenteen vajaavaisuuden kestoa ei ole tiedossa. Tarkastelussa sisäpuolen lämmityksen on arvioitu olevan jo päällä ja sisätyövaiheiden olevan käynnissä. Sisäilman lämpötilaksi on arvioitu täten +21 °C ja sisäilman kosteusrasitukseksi korkea kosteuskuorma. Ulko-olosuhteiksi on valittu Helsingin mittautustietojen perusteella luotu säärasitus, koska se oletettavasti vastaa parhaiten Ranta-Tampellan olosuhteita. Sisäkuoren betonin alkutilanteen kosteusmääräksi on arvioitu 100 kg/m<sup>3</sup>, koska se vastaa yleistä kuivumisvaiheessa olevan betonin kosteusmäärää. Tarkkailussa käytettyjen materiaalien arvot on ilmoitettu taulukossa 11. Laskelman aloitus päivämäärä on 1.5.2015. Tarkastelu on suoritettu ohjelmistolla WUFI® Pro 5.2.

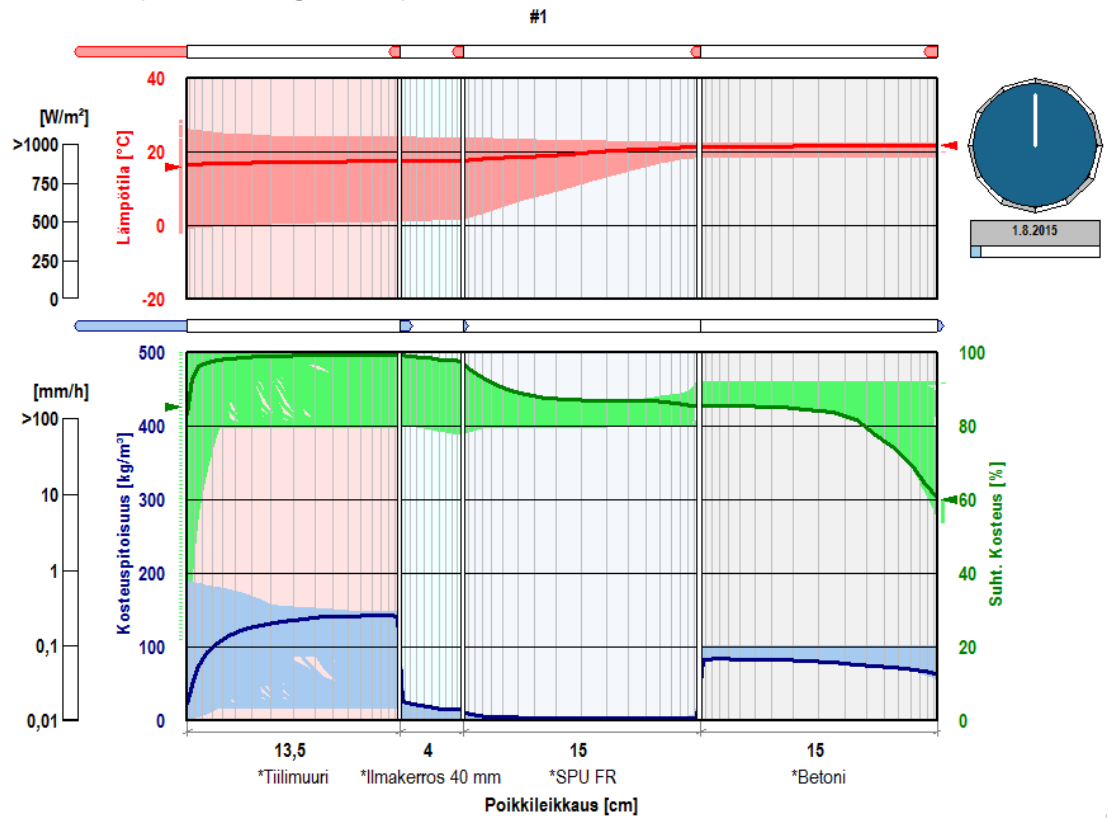
Taulukko 11 WUFI arvot

Materiaali	Lämmönjohtavuus (W/Km)	Vesihöyryn diffuusiovastuskerroin ( $\mu$ )
Betoni	1,2	180
SPU FR	0,025	65

Laskelmasta saaduista kuvaajista voidaan havainnollistaa muun muassa suhteellisen kosteuden määrää eri rakenneosissa. Kuvaajissa on esitetty rakenteen poikkileikkaus ja eri rakennekerroksien olosuhteet. Kuvaajat ovat tilanteista 3 kuukauden (kuvaaja 8), 6 kuukauden (kuvaaja 9) ja 9 kuukauden (kuvaaja 10) jälkeen aloituspäivämäärästä. Rakenneosien suhteelliset kosteudet on esitetty vihreällä värillä ja kosteuspitoisuus sinisellä. Lämpötila eri rakenteissa havainnollistuu punaisena. Värillinen alue kuvaa rakenteessa vallinneita olosuhteita tarkastelun aloitusajankohdan jälkeen ja vahva viiva kuvaa tarkasteluajankohdan aikaista tilannetta. Kuvaajan oikeassa yläreunassa on ilmoitettu tarkasteluajankohta. Esimerkiksi kuvaajasta 9 voidaan havaita betonisen sisäkuoren suhteellisen kosteuden alittavan rajan RH 80 % jo kuuden kuukauden lämmityskauden jälkeen.

Paikkakunta: Helsinki; Finnish Meteorological Institute;

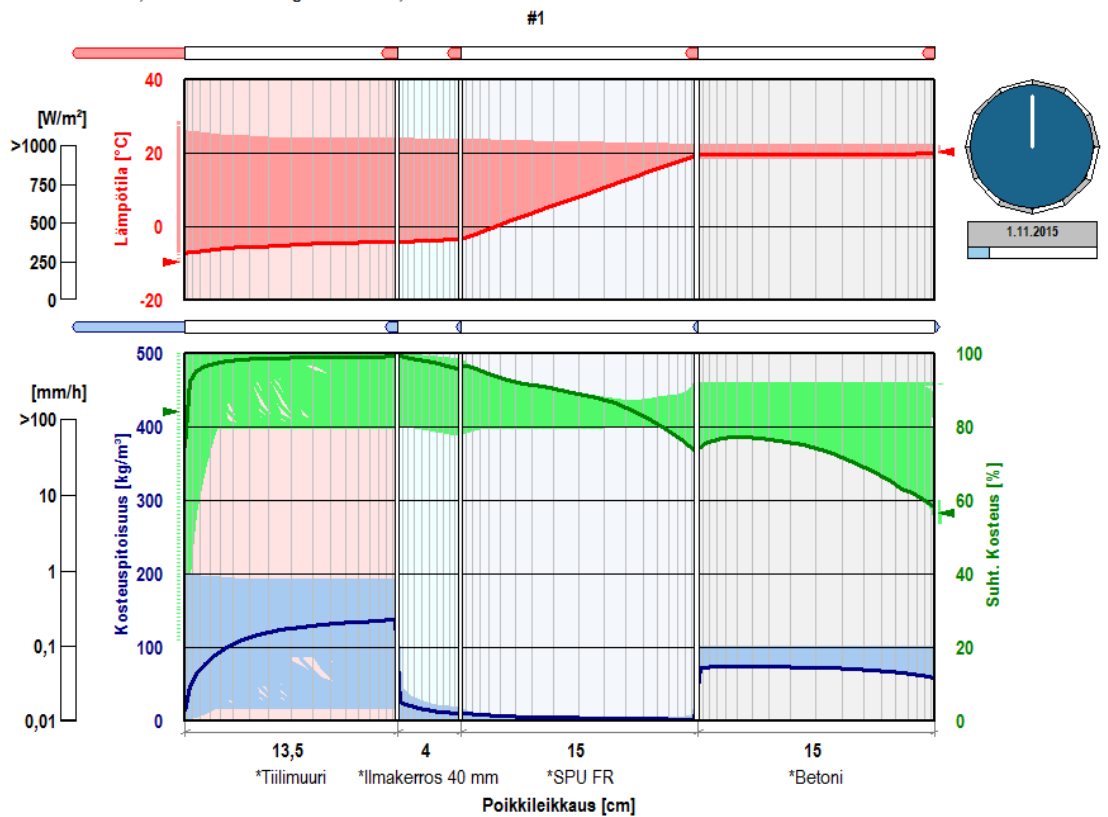
WUFI®



Kuvaaja 8 Tilanne 3 kuukauden jälkeen 1.8.2015

Paikkakunta: Helsinki; Finnish Meteorological Institute;

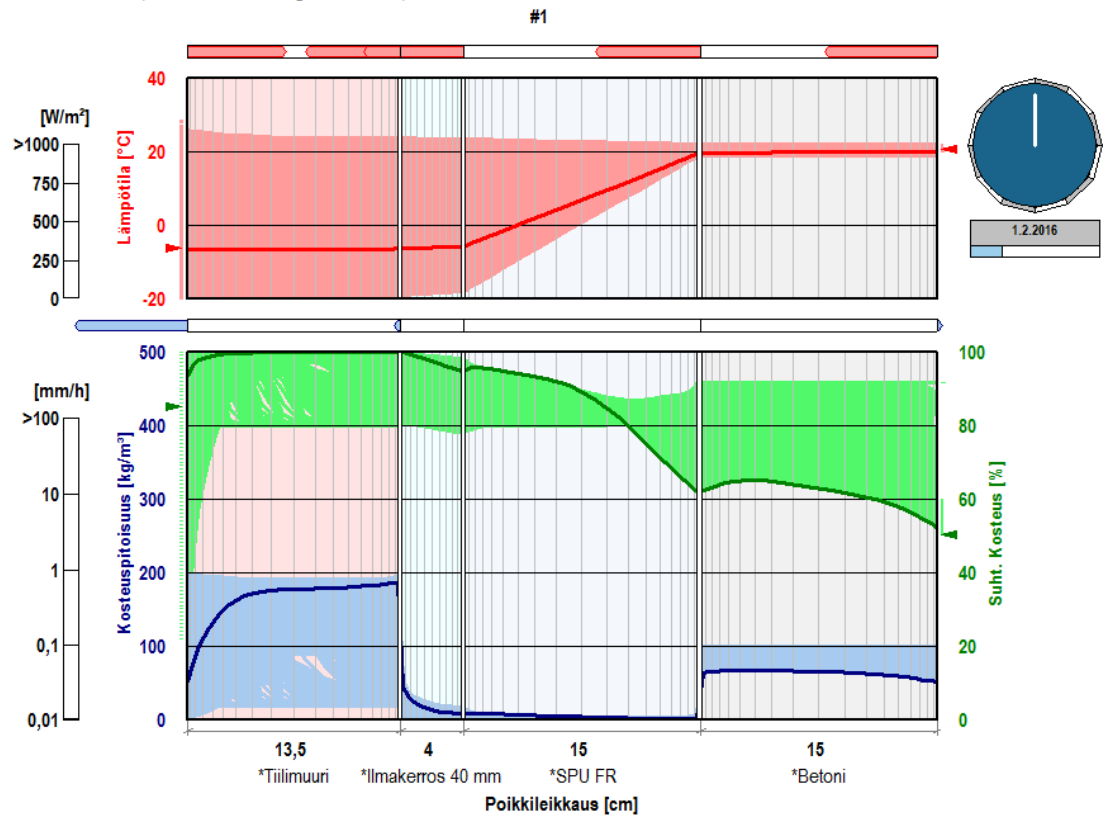
WUFI®



Kuvaaja 9 Tilanne 6 kuukauden jälkeen 1.11.2015

Paikkakunta: Helsinki; Finnish Meteorological Institute;

WUFI®



Kuvaaja 10 Tilanne 9 kuukauden jälkeen 1.2.2016

### 5.3.4 Toteutus

Eriste toimitetaan elementin mukana ja työmaalla sen saumat eristetään. Eriste kestää kosteutta joten sitä ei tarvitse erikseen sääsuojata. Elementin asennuksen yhteydessä saumaukseen voidaan käyttää muun muassa turpoavaa saumanauhaa tai väliaikaista mineraalivillaeristystä. Ennen tiilimurausta saumat voidaan viimeistellä pistoolivaahdolla, mutta vaahto ei kestä pitkäaikaista uv-säteilyä. Rakennuksen kulmissa avonaiseksi jääneet eristepinnat tulee pinnoittaa siihen tarkoitettulla laminoinnilla. Ikkuna-aukkojen ympärille tulee asentaa paloa hidastava materiaali. Tämä voidaan toteuttaa muun muassa kivivillalla tai metallisilla profiileilla. UV-säteily vaurioittaa paljaan eristeen pintaa, mutta se on lähinnä esteettinen haitta, eikä aiheuta muutoksia eristeen ominaisuuksille (sähköposti: Pasi Käkeli, SPU Oy).

## 5.4 YHTEENVETO

Tarkkailtavan rakenteen voi toteuttaa monella eri tavalla. Kaikilla eristeratkaisuilla voidaan toteuttaa seinärakenne turvallisesti, kunhan työtekniikka on oikea. On kuitenkin ensisijaisen tärkeää tiedostaa eri eristeiden ominaisuudet ja huomioida ne suunnittelussa ja rakentamisen aikana.

Polystryreeni- ja polyuretaanieristeet ovat kosteuden hallinnan kannalta helpompia toteuttaa työmaolosuhteissa verrattaessa mineraalivillaeristeeseen. Mineraalivillaeriste kuitenkin nopeuttaa betonisen sisäkuoren kuivumista verrattaessa polystryreeni- tai polyuretaanieristeisiin, koska sen höyrynläpäisyvastus on pienempi. Polystryreeni- ja polyuretaanieristeiden keskenään verratta vaikutus betonisen sisäkuoren kuivumiseen on suhteellisen pieni. Tämä johtuu näiden kahden materiaalin suhteellisen pienestä vesihöyrynvastuksen erosta koko rakenteessa. Paloteknisesti rakennus on helpompi toteuttaa mineraalivillaeristeellä, koska se on itsestään A2,s1,d0- luokan eriste. EPS- eriste joudutaan suojaamaan kauttaaltaan mineraalivillalla ja polyuretaani eristettä käytettäessä muun muassa ikkunoiden ympärille tulee asentaa paloa hidastavia yksityiskohtia.

Mineraalivillaeriste saattaa vaurioitua helpommin kovasta tuuli rasiuksesta. Lähtökohteisesti EPS- ja polystyreenieristeillä on parempi vetolujuus ja täten kestävät paremmin tuulen aiheuttamia rasituksia. Auringosta säteilevä UV-säteily kuitenkin voi heikentää EPS- eristettä ja polyuretaanin saumauksessa yleisesti käytettävää pistoolivaahtoa. Nämä tekijät on otettava huomioon teknisten ja imagollisten syiden vuoksi.

Lähtökohteisesti on rakennuksen toteutuksesta riippuvaa, että mikä eriste on kokonaisuudeltaan toimivin ratkaisu rakennuksen lämmöneristeeksi. Näitä tekijöitä ovat muun muassa rakennukseen kohdistuvat rasitukset, toteutusaikataulu, toteutustapa ja rakennuksen koko. Lisäksi rakennedetaljeihin tulee kiinnittää huomiota työmaa-aikaisten kosteusrasitusten osalta jo suunnittelussa.

## **6 ESIMERKKIKOHDE: RANTA-TAMPELLAN 14-KERROKSIINEN ASUIN-KERROSTALO**

Tässä osiossa tarkastellaan suunnitteluvaiheessa olevan kohteen toteutusvaihtoehtoja. Toteutuksen rajaehtoina ovat kosteusteknisesti turvallinen toteutus, kustannustehokkuus ja imagotekijät.

Kohde: Asuinkerrostalo (Asunto Oy Esimerkki)

Sijainti: Ranta-Tampella (Näsijärven läheisyydessä)

Runkomateriaali: Teräsbetoni

Julkisivu: osittain tiili

Korkeus: 14.krs

Rakennuksen pohjan mitta: 35 m\*15 m

Kohteen tämän hetkinen aloitusajankohta on vuoden 2016 kesällä. Tampereelle rakennettavan tunnelityömaan valmistuminen rajoittaa kohteen aloitusta. Tällä hetkellä (kevät 2015) alueelle on rakennettu painopenkka stabilisoimaan maaperää. Tavoite on käynnistää projekti heti, kun se on mahdollista.

Tällä hetkellä ei ole tiedossa kohteen tarkkaa aloituspäivämäärää. Tämä tarkoittaa sitä, että kohde saatetaan aloittaa kesää tai talvea vasten. Rakennettaessa on suuri etu, että eriste tulee elementissä kiinnitettynä. Tämä mahdollistaa rakennuksen lämmityksen mahdollisimman nopeasti. Talvella eristämätön betonielementti voi jäätyä sisäpinnasta ja estää tiettyjen työvaiheiden etenemisen. Kesää vasten rakennettaessa betonielementti on mahdollista toimittaa eristämättömänä ja eristää lopullisesti vasta työmaalla. Tämä toteutusmalli on suotuisampi mineraalivillaeristeelle, koska säärasitukset saadaan minimoitua esimerkiksi muuraustelineisiin asennettavilla sääsuojilla.

## 6.1 Toteutusvertailu

Tässä osiossa tarkastellaan kolmea eri toteutusratkaisua. Toteutusratkaisuisissa on huomioitu erityyppisten toteutusten kustannusvaikutukset rakennuksen lämmöneristyksen toteutukseen. Kustannuksia arvioitaessa on käytetty markkinoilta saatuja keskisuurelle yritykselle tarjottavia hintoja. Tarjottavat hinnat on pyydetty eri toimijoilta niin sanotusti hihasta ravistettuina hintoina. Täten laskennassa käytetyt hinnat ei ole sitovia, mutta suuntaa-antavia. Laskelmissa elementtien saumoja on arvioitu olevan 910 m, ikkunoita 400 kpl ja seinäpinta-alaa 3570 m<sup>2</sup>. Nostimen ja telineiden kustannukset on huomioitu toteutusmalleihin, mutta niiden vaikutusta muurauksen tai muiden töiden tehokkuuteen ei ole huomioitu kustannustekijöissä. Laskelmien tulokset on ilmoitettu Exceltaulukossa liitteessä 1.

### Toteutusmalli SPU FR

Eristys: SPU FR 150 mm (elementissä tehtaalta)

Apukarmi: Puinen (elementissä tehtaalta)

Muuraussiteet: 6 kpl/m<sup>2</sup> (elementin mukana)

Rakennuksen suojaus: Ei suojausta

Runkovaihe: Talvea vasten

Julkisivumuuraus: Lavanostimella (kevääällä)

Tässä toteutusmalli rakennuksen runkovaihe päästään aloittamaan loppusyksystä, jolloin elementissä toimitettava eriste on toimivin ratkaisu. SPU FR kestää hyvin tuulta ja kosteutta, joten sitä ei tarvitse suojata erikseen työmaalla. Tämän vuoksi rakennuksen julkisivumuuraus voidaan toteuttaa lavanostimella. Elementtien lämmöneristyksen saumaus on laadunhallinnallisesti haastavaa toteuttaa suihkevaahdolla runkovaiheessa, joten elementin asennuksen yhteydessä saumoihin asennetaan turpoava lämmöneristenauha. Saumojen lämmöneristys viimeistellään suihkevaahdolla julkisivumuurauksen yhteydessä. Täten rakennuksen rungon, kosteuden ja lämpöliikkeiden aiheuttamat, muutokset pääsevät tapahtumaan ennen suihkevaahdolla eristystä. Kustannuslaskelmassa on huomioitu ikkunoihin asennettavat väliaikaiset sääsuojat.

**Toteutusmalli PAROC CORTEX ONE**

Eristys: Paroc Cortex One 205 mm (työmaalla asennus)

Ikkunapuitteet: Työmaalla asennus (AMUTEK)

Muuraussiteet: 6 kpl/m<sup>2</sup> Työmaalla asennus (AMUTEK)

Rakennuksen suojaus: Telineet (sääsuojustu)

Runkovaihe: Talvea vasten

Julkisivumuuraus: Telineiltä (mahdollisesti talvella)

Tässä toteutusmalli rakennuksen runkovaihe päästään aloittamaan alkukeväästä, jolloin elementti voidaan toimittaa työmaalle eristämättömänä. Rakennuksen ympärille rakennetaan telineet, joihin asennetaan sääsuojustu. Telineiden valmistuttua eriste voidaan asentaa kokonaisuudeltaan hallituissa olosuhteissa ja sääsuojustu suojaa rakennusta ulkoisilta rasituksilta. Rakennuksen lämmöneristys toteutetaan työmaalla Paroc Cortex One mineraalivillaeristeellä. Lämmöneristuksen yhteydessä elementteihin asennetaan muuraussiteet ja ikkunapuitteet. Täten myös ikkunapuitte saadaan asennettua hallituissa olosuhteissa. Tällä toteutusmallilla julkisivun tiilimuuraus voidaan halutessa toteuttaa myös talvella.

**Toteutusmalli PLATINA RAPPARI**

Eristys: Platina Rappari 150 mm + Isover RKL-FACADE 30 mm (elementissä tehtaalla/työmaalla asennus)

Apukarmi: Puinen (tehtaalla asennus)

Muuraussiteet: 6 kpl/m<sup>2</sup> (elementin mukana)

Rakennuksen suojaus: Telineet (sääsuojustu)

Runkovaihe: Talvea vasten

Julkisivumuuraus: Telineiltä (mahdollisesti talvella)

Tässä toteutusmalli rakennuksen runkovaihe päästään aloittamaan loppusyksystä, jolloin elementissä toimitettava eriste on toimivin ratkaisu. Thermisol Platina Rappari kestää tuulta ja kosteutta, joten sitä ei tarvitse suojata työmaalla. Elementtiasennuksen yhteydessä eristeen saumoihin asennetaan mineraalivillakaista. Rakennuksen ympärille

rakennetaan telineet, joihin asennetaan sääsuojat. Sääsuoja suojaa rakennusta muun muassa sateelta ja vähentää EPS- eristeeseen kohdistuvaa UV-säteilyä. Telineiden valmistuttua Isover RKL-FACADE mineraalivillaeriste voidaan asentaa kokonaisuudeltaan hallituissa olosuhteissa. Isover RKL-FACADE eristettä asennettaessa mahdollisesti vaurioituneet saumaeristeet uusitaan. Koska saumat eristetään niin sanotulla pehmeällä eristeellä, rakennuksen lämmöneristys ei repeä niin helposti mahdollisista rungon muodonmuutoksista. Tällä toteutusmallilla julkisivun tiilimuuraus voidaan halutessa toteuttaa myös talvella.

## **6.2 Muuraus**

Kohteen julkisivu toteutetaan savitiilistä muurattuna rakenteena. Esimerkkikohte on haastava sen sijainnin ja korkeuden vuoksi. Rakennuksen korkeus lisää sateen ja tuulen kuormitusta rakenteeseen ja rakennuksen sijainti Näsijärven rannalla lisää myös sateen ja tuulen yhteisvaikutuksia. Tuuliosiossa käsiteltyjen Siilinkarilta mitattujen tuulenpuuskanopeuksien perusteella rakennukseen voi kohdistua suuriakin tuulikuormia.

### **Julkisivumuurauksen vedenpitävyys**

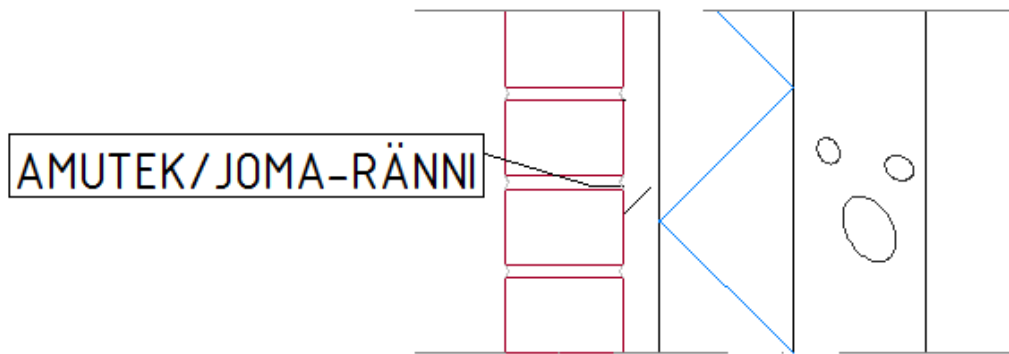
Julkisivumuuraus ei ole täysin vedenpitävä rakenne, koska suuressa sadekuormituksessa se saattaa päästää kosteutta läpi. Tämä on julkisivumuurauksen yksi ominaisuus ja siksi se pitää huomioida rakenteen suunnittelussa ja toteutuksessa.

Sadeveden imeytymiseen vaikuttaa rakenne-/pinnoiteyhdistelmän vedenimunopeus ja -kyky sekä seinän vesipitoisuus sateen alkaessa. Sadevesi tunkeutuu ulkokuoren taakse muuratun rakenteen halkeamien, rakojen, epätiivien saumojen ja liitosten kautta (RIL 255-1-2014, s.133). Kovassa saderasituksessa vesi tunkeutuu myös saumalaastin läpi.

Julkisivurakenteen oikea suunnittelu ja toteutus vähentää veden pääsyä rakenteen läpi. Markkinoille on tullut erilaisia tiivissaumalaasteja, jotka tekevät saumasta tiiviimmän ja vähentävät täten jopa 90 % (Weber ML5 Marine testi) vedenläpäisyyttä saumalaastin lävitse verrattaessa normaaliin saumalaastiin. Muiden tiivissaumalaastien on todettu vähentävän vedenläpäisyyttä jopa 70 %.



Tiilimuurin taakse johtuvan veden määrää on vaikea ennustaa, koska pitkäaikaisten kuormitusten ja liikkeiden vaikutusta kuorimuriin on vaikea ennustaa. Lisäksi muuraustyössä tapahtuva pienikin virhe voi jättää muuriin huonon sauman, joka vuotaa vettä sateen ja tuulen vaikutuksesta muurin taakse. Tästä syystä haastavien ja normaalia suuremmille rasituksille altistuvien julkisivumuurin taakse olisi hyvä rakentaa vedenpoistojärjestelmä, joka ohjaa sinne vuotaneen veden pois rakenteesta (kuva 8). Kyseinen järjestelmä ei ole tiettävästi vielä Suomessa käytössä, mutta vaativien julkisivumuurausten sen avulla vesi voidaan ohjata pois muurin takaa ennen kuin se valuu sisäpintaa pitkin alas asti. Rakennuksen yläosassa kosteusrasitus on yleisesti suurempaa ja täten järjestelmä voisi olla tiheämmällä välillä rakennuksen yläosassa.



Kuva 8 Amutek /JOMA-Ränni

Kuvan 8 mukainen ränni on valmiilla kaadolla valmistettua kourua, joka voidaan asentaa julkisivumuurauksen saumaan muuraustyön aikana. Ränni kerää tiilimuuria alaspäin valuvan veden ja johtaa sen haluttuun paikkaan. Johtuneen veden poistona voisi toimia esimerkiksi tiilimuurin takana kulkeva poistoputki tai paikallispoistot.

## Julkisivumuurauksen muodonmuutokset

Kuorimuuri kokee pysyviä ja muuttuvia muodonmuutoksia. Kuorimuuri kokee oman painonsa vuoksi pysyvää muodon muutosta, mutta viruman vuoksi jatkuvasti kasvavaa muodonmuutosta. Lämpö- ja kosteusmuodon muutoksia aiheutuu muuriin joka suunnassa ja ne ovat luonteeltaan muuttuvia. Muodonmuutokset voidaan laskea kaavalla

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \epsilon_{eC} + \epsilon_s + \epsilon_T$$

,jossa  $\epsilon_{eC}$  = kuorman aiheuttama lyhytaikainen muodonmuutos ja viruma,  
 $\epsilon_s$  = kutistuma ja  $\epsilon_T$  = lämpötilanmuodonmuutos

Kuorman aiheuttama lyhytaikainen muodonmuutos ja viruma voidaan laskea kaavalla

$$\epsilon_{eC} = \frac{\sigma_C}{E_{CC}}$$

,jossa  $\sigma_C$  = kuorman aiheuttama jännitys ja  $E_{CC}$  saadaan laskettua kaavalla

$$E_{CC} = \frac{E_C}{1 + \phi}$$

, jossa  $E_C = 800 \cdot$  puristuslujuuden mitoitusarvo ja  $\phi$  = virumaluku

Lämpötilanmuodonmuutos voidaan laskea kaavalla

$$\epsilon_T = \alpha_{cT} * \Delta T$$

, jossa  $\alpha_{cT}$  = lämpötilakerroin ja  $\Delta T$  = lämpötilanmuutos

Kutistumalle voidaan käyttää arvoja poltetuilla tiilillä  $\epsilon_s = 0,0001$  ja kalkkiahiekkatiilillä  $\epsilon_s = 0,0002$ .

(Lähde: Jukka Kinnunen, Muuratut rakenteet 2)

Kaavoilla voidaan ennustaa kuinka paljon 42 m korkea julkisivumuuraus muuttaa muotoaan eri tilanteissa. Taulukossa 12 havainnollistetaan +20 celsiusen lämpötilassa muuratun julkisivun pystysuuntaista elämistä kahdessa eri lämpötilassa. Tiilimuurin yläpää painuu alas noin 17 mm -30 °C pakkasella ja nousee 3 mm korkeammalle tiilimuurin lämpötilan noustessa + 50 °C. Tämä ilmiö tulee huomioida muun muassa räystäsrakenteen suunnittelussa.

**Taulukko 12 Julkisivumuurauksen muodonmuutokset**

Muodonmuutos+viruma	$\epsilon\epsilon C$	-0,00002	Korkeus (m)	42
Lämpötilanmuodonmuutos	$\epsilon S-30cels$	-0,0003	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	1300
Lämpötilanmuodonmuutos	$\epsilon S+50cels$	0,00018	Leveys(m)	0,135
Kutistuma	$\epsilon T$	-0,0001	$\sigma ka(N/mm^2)$	0,364
			Puristus lujuus(N/mm <sup>2</sup> )	50
Muodonmuutos -30 cels	$\Delta L(mm)$	-17	$\alpha T (1/K)$	0,000006
Muodonmuutos +50 cels	$\Delta L(mm)$	3	$\Delta T(K) +20->-30$	50
			$\Delta T(K) +20->+50$	30
			Virumaluku	0,75

## Laadunhallinta

Tiilimuurin toteutus tulee hoitaa huolellisesti, koska vain siten se voi kestää pitkäaikaisena julkisivuna. Tätä opinnäytetyötä tehdessä esiin nousi muutama tekijä, jotka on hyvä huomioida rakennusvaiheessa.

Muurausside tukee julkisivumuurausta ja niiden oikeaoppinen asennus on ensisijaisen tärkeää. Huonosti asennetut tiilisiteet eivät välttämättä kestä niille suunniteltuja kuormia ja ovat täten riski rakenteessa. Irtoava tiilaside voi aiheuttaa tiilimuriin halkeamia tai pahimmassa tapauksessa suuremman vaurion. On havaittu, että elementeissä toimitetut tiilisiteet ovat olleet jossain kohteessa väärin asennettuja. Ne eivät ole kestäneet läheskään niille suunniteltuja kuormia tai ovat olleet väärässä asennossa. Myös on ensisijaisen tärkeää, että työmaalla asennettavat muuraussiteet asennetaan niille suunnitelluilla työkaluilla ja menetelmillä. Muuraussiteet tulisi testata vetokokein ennen tiilimuurauksen aloitusta.

Tiilimuurausta suoritettaessa saumat tulee tehdä huolella, koska ne ovat mahdollisia vuotopaikkoja. Lisäksi tuuletusrako tulee jäädä avonaiseksi, eikä sinne saa tippua esimerkiksi laastipurseita. Toimiva tapa on jättää tiilimuurauksen alavarvistä joka kolmas kivi irti ja puhdistaa tippuneet laastit päivittäin. Laastipurseita voidaan vähentää muun muassa erilaisilla työtekniikoilla. Tiilimuurin tausta on hyvä kuvata osana laadunhallintaa ennen viimeisien tiilien asennusta.

Suihkevaahtoa käytetään rakentaessa suhteellisen paljon. Se on toimiva eriste, mutta sen asennuksessa tulee huomioida muutamia seikkoja. Esimerkiksi 150 mm syvä eristesauama tulee kastella vedellä ennen vaahdotusta. Vaahto reagoi kosteuteen ja jos kosteutta ei ole tarpeeksi, eristys ei välttämättä onnistu täydellisesti. Lisäksi eriste on herkkä UV-säteilylle ja se tulisi asentaa siten, että se peitetään säteilyltä mahdollisimman pian (sähköposti: Ville Paasonen, Rakennuskemia ja sähköposti: Olli-Pekka Myllymäki, Würth).

## 7 POHDINTA

Tarkkailussa ilmenneiden tietojen mukaan kaikki tarkasteltavat rakenteet ovat toimivia ja kosteusteknisesti turvallisesti toteutettavissa. On erityyppisistä toteutusmalleista riippuvaa, että mikä eristeratkaisu on milloinkin kokonaistaloudellisesti kannattavin. Ensimmäisen tärkeitä on tiedostaa eri materiaalien ominaisuudet niitä käytettäessä ja huomioida ne jo suunnittelupöydällä.

Työ toi paljon uutta tietoa ja näkemystä eri eristeistä ja ratkaisuista. Rakennusalan tietoisuus kosteusvaurioista on kasvanut. Toivon mukaan tutkimuksia kosteudesta ja sen vaikutuksista rakentamisessa jatkettaisiin. Tällä hetkellä kosteusvaurioiden määrä on noussut julkisuuteen ja niiden arvioidut kustannukset ovat kansantaloudellisesti huomattavia. Meidän rakentajien tulisi löytää oikeat toimintamallit niiden ehkäisemiseksi. Näiden toimintamallien löytämiseen tarvitsemme lisää tietoa ja tietokanavia joilla tieto tuodaan esiin. Toivottavaa olisi että eri tutkimukset ja materiaalien ominaisuudet tuotaisiin helpommin saatavaksi. Kaikilla materiaaleilla on niin sanotut huonot ja hyvät puolet. Kaupallisesti intressit on tuoda julki pelkät hyvät puolet julki, mutta ilman tietoa materiaalien heikkouksista voidaan aiheuttaa suurta vahinkoa tietämättä siitä. Pitkällä tähtäimellä olisi eri toimijoiden etu, että myös huonot puolet kerrotaisiin avoimesti. Tämän ansoista rakenteita toteutettaessa osattaisiin huomioida riskit paremmin ja toteuttaa turvallinen ja toimiva rakenne.

Terveelliseen ja laadukkaaseen rakentamiseen vaikuttaa koko ketju. Työmaalla on lähes mahdotonta toteuttaa rakennetta kosteusteknisesti turvallisesti, jos sitä ei ole huomioitu suunnitteluvaiheessa. Myös työmaalla voidaan pilata oikein suunniteltu rakenne väärällä toteutustavalla. Terveellisen rakentamisen edellytykset ovat mielestäni tiedon lisääminen koko ketjussa. On tärkeää, että suunnittelijat huomioivat muun muassa rakenteiden eriateisen valmistumisen ja sen vaikutukset suunnitteluvaiheessa. On myös tärkeää, että työmaalla tiedostetaan kosteuden aiheuttamat riskit ja niiden seuraukset hyvin. Lisäksi niin sanotun tekevän portaan tietoisuutta kosteusvaurioista ja niiden synnystä tulisi lisätä osana laadunkehitystä.

## LÄHTEET

Aho, Inha & Pentti, Paloturvallinen rakentaminen EPS-eristeillä, painos 2007

Haastattelu: Jussi Jokinen, Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy ISOVER, 6.3.2015

Haastattelu: Tapio Kilpeläinen, Thermisol Oy, 7.11.2014

Haastattelu: Tuija-Leena Rikkola, Amutek Oy, 27.3.2015

Ilmatieteenlaitos/ilmastopalvelut

Kinnunen Jukka, Muuratut rakenteet 2, 6.painos 2006

Nieminen, Kouhia, Ojanen, Knuuti, Kosteusteknisesti toimivia korjausrakentamisen toimintatapoja, VTT, 2013

Paajanen, Ritschkoff, Viitanen, Lämmöneristeiden merkitys rakennuksen biologisissa vaurioissa, VTT, 1994

Paroc Oy Ab, PAROC Cortex One, käsittelyohje 31.10.2013

RIL 255-1-2014 Rakennusfysiikka

RT 35-11136 Poltetut tiilet

RT 36-10689 Mineraalivillaeristeet

RT 36-11113 EPS-eristeet

Siikanen Unto, Rakennusfysiikka, perusteet ja sovelluksia, 2014

Suomen rakentamismääräyskokoelma E1, Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta, 2011

Suomen rakentamismääräyskokoelma C2, Kosteus määräykset ja ohjeet, 1998

Suomen rakentamismääräyskokoelma C3, Rakennusten lämmöneristykset, 2010

Suomen rakentamismääräyskokoelma C4, Lämmöneristys, 2003

Suomen betoniyhdistys, Betonitekniikan oppikirja by201,2004

Sähköpostiviesti: Jyrki Ottman, Tampereen rakennusvalvonta, jyrki.ottman@tampere.fi

Sähköpostiviesti: Olli-Pekka Myllymäki, Würth Oy, olli-pekka.myllymaki@wurth.fi

Sähköpostiviesti: Pasi Käkälä, SPU Oy, pasi.kakela@spu.fi

Sähköpostiviesti: Tapio Kilpeläinen, ThermiSol Oy, tapio.kilpelainen@thermisol.fi

Sähköpostiviesti: Vesa Paasonen, Rakennuskemia Oy,  
vesa.paasonen @rakennuskemia.fi

Viitanen Hannu, Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittiset olo  
suhteet – betonin homeenkesto, VTT, 2004

Vinha Juha, Betonisandwich-rakenteiden kosteustekninen toiminta, FRAME-seminaari  
1, Helsinki, 26.1.2011

[www.ilmatieteenlaitos.fi](http://www.ilmatieteenlaitos.fi) (säätietoja)

[www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily](http://www.stuk.fi/ihminen-ja-sateily) (tietoa säteilystä)

**LIITTEET**

Liite 1. Kustannuslaskenta



## Liite 1 Kustannuslaskelma

Rakenne	Eriste tehtaalta €/m2	Eriste työmaalla €/m2	Tiilisiiteet €/m2	Eristeen saumaus €/jm	Ikkunadetaljit €/ikkuna	Nostin €/m2	Teline €/m2	TOTAL
<b>SPU FR</b>	<b>45 € -</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>5 €</b>	<b>35 €</b>	<b>10 € -</b>	<b>-</b>	
<b>Yhteensä</b>	<b>160 650 € -</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>4 550 €</b>	<b>14 000 €</b>	<b>35 700 € -</b>	<b>-</b>	<b>214 900 €</b>
<b>PAROC CORTEX ONE</b>	<b>-</b>	<b>25 €</b>	<b>8 €</b>	<b>1 €</b>	<b>50 € -</b>	<b>-</b>	<b>24 €</b>	
<b>Yhteensä</b>	<b>-</b>	<b>89 250 €</b>	<b>28 560 €</b>	<b>910 €</b>	<b>20 000 € -</b>	<b>-</b>	<b>85 680 €</b>	<b>224 400 €</b>
<b>PLATINA RAPPARI</b>	<b>30 €</b>	<b>15 € -</b>	<b>-</b>	<b>2 €</b>	<b>20 € -</b>	<b>-</b>	<b>24 €</b>	
<b>Yhteensä</b>	<b>107 100 €</b>	<b>53 550 € -</b>	<b>-</b>	<b>1 820 €</b>	<b>8 000 € -</b>	<b>-</b>	<b>85 680 €</b>	<b>256 150 €</b>