

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma / rakennetekniikka

Antti Lampinen

ERISTERAPATUN JULKISIVUN JA KOVALLE ALUSTALLE TEHTÄVÄN
JULKISIVURAPPAUKSEN VERTAILU

Opinnäytetyö 2012

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

LAMPINEN, ANTTI	Eristerapatun julkisivun ja kovalle alustalle tehtävän julkisivurappauksen vertailu
Opinnäytetyö	30 sivua
Työn ohjaajat	Jani Pitkänen, päätoim. tuntiopettaja, Tarmo Kontro, yliopettaja
Toimeksiantaja	Insinööritoimisto Reijo Strandman Ky
Toukokuu 2012	
Avainsanat	rappaus, eristerappaus, julkisivu, rakennusfysiikka,

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia eristerapatun elementin ja työmaalla elementin päälle rakennettavan kovalle alustalle tehtävän rappauksen eroja rakennusfysiikan ja kustannuksien osalta. Opinnäytetyö rajattiin koskemaan paksurappaus-eristejärjestelmää ja sen vertaamista tiilimuurin päälle tehtävään kolmikerrosrappaukseen.

Eristerappauksella tarkoitetaan lämmöneristeen päälle tehtävää rappausta, joka ankkuroidaan rakennuksen runkoon tai itse eristeeseen. Eristerapattu elementti on tuulettumaton rakenne, ja vertailtavassa rakenteessa oli tuulettuva ilmaväli rappausalustana toimivan tiilimuurin ja elementin välissä. Rakennusfysiikka selvitettiin käyttäen laskentaohjelmia. Kustannus eroja ja työmaalla rakenteiden välille syntyviä eroja selvitettiin haastattelulla.

Eristerappauksen kosteusteknisen suunnittelussa keskeisiä tekijöitä ovat rappauksen halkeilun rajoittaminen ja liitosten suunnittelu. Laskentatuloksista selvisi, että eristerapattu elementti on kosteusteknisesti toimiva rakenne. Rakenteeseen ei tiivistynyt kosteutta ja se kuivui voimakkaimmin kahden ensimmäisen vuoden aikana, mikä vastasi kuivumista vertailurakenteessa, jossa oli tuulettuva ilmaväli ja rappaus oli tehty kovalle alustalle.

Kustannusten vertailussa selvisi, että eristerapattu elementti on verratuista rakenteista kokonaishinnaltaan halvempi. Itse elementin hinta tehtaalla on kalliimpi kuin vertailurakenteessa, mutta työmaalle jäävien töiden määrä nostaa vertailurakenteen hintaa. Eristerapattu elementti on työmaan kannalta myös nopeampi.

Arvioitaessa saatuja tuloksia tulee huomioida, että materiaali- ja lähtötiedot vaikuttavat tuloksiin. Jokainen rakennus ja rakennustyömaa ovat myös erilaisia, joten tulokset ovat vain suuntaa antavia.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

LAMPINEN, ANTTI

Comparison between Facade with Insulated Render and
Facade with Rendering on Hard Platform

Bachelor's Thesis

3030 pages

Supervisors

Jani Pitkänen, Lecturer

Tarmo Kontro, Principal Lecturer

Commissioned by

Insinööritoimisto Reijo Strandman Ky

MAY 2012

Keywords

rendering, insulated render, facade, building physics

The purpose of this bachelor's thesis work was to examine the differences in building physics and cost between an element with insulated render and an element with plaster on hard platform built on building site. The study was limited to concern the thick insulated render element system, which is compared to three-coat plaster on a masonry wall.

Plastering that is applied on the insulation material and anchored either to the frame of the building or to the insulation material itself is called insulated render. An element with insulated render is a non-ventilated structure. In the comparison structure, there was a ventilated air layer in between the brickwork and the element. The building physics of the structures were examined with calculating programs. The differences in the costs and the differences in the building site works were studied through interview.

The main factors in planning an insulated render are the restriction of cracking in the plaster and the joint details. The calculation results showed that the element with insulating plaster is a functional structure when inspecting its moisture technical functioning. There was no moisture condensation inside the structure. The drying of the structure was most intense in the first two years, which correlated with the comparison structure with ventilated air layer and plastering on hard platform.

In the comparison of the expenses of the structures it was found out that the overall cost of the element with insulated render is cheaper than an element with plaster on hard platform built on a building site. The element itself costs more, but the amount of work left to do on the building site raises the cost of the comparison structure.

When evaluating the reliability of the results, it is to be noted that material data and initial data affect the results. Each building and building site is also different, therefore the results are for illustrative purpose only.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	5
2	RAPPAUS	5
	2.1 Kovalle alustalle tehtävä rappaus	6
	2.1.1 Kolmikerrosrappaus	6
	2.1.2 Kaksikerrosrappaus	7
	2.1.3 Yksikerrosrappaus	8
	2.2 Eristerappaus	9
	2.2.1 Ohutrappaus-eristejärjestelmä	10
	2.2.2 Paksurappaus-eristejärjestelmä	11
3	RAKENNUSFYSIKKA	12
	3.1 Rakenteet	12
	3.2 Lämpö	15
	3.3 Kosteus	16
	3.4 Tulokset	17
4	KUSTANNUKSET	27
5	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	27
	LÄHTEET	29

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on selvittää eristerapatun julkisivun ja kovalle alustalle tehtävän julkisivurappauksen väliset erot rakennusfysiikassa ja kustannuksissa. Opinnäytetyön tilaajana on Insinööritoimisto Reijo Strandman Ky. Tilaajan puolelta ohjaajana ja yhteyshenkilönä toimii Risto Nuotio.

Vertailtavat rakenteet suunnitellaan täyttämään Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan C3 (2010) rakennuksen vaipan osien lämmönläpäisykertoimen vertailuarvon U-arvo vaatimuksen. U-arvot lasketaan DOF-lämpö -ohjelmalla. Rakennusfysiikan kosteustekninen vertailu tehdään mallintamalla rakenteet WUFI 2D -ohjelmalla ja tarkastelemalla saatuja tuloksia. Kustannusten ja työmaalla rakenteiden välisien eroja selvitetään haastattelulla. Haastateltavana on Rakennuspartio Oy:n työpäällikkö ja ylläpidonmestari Osmo Turkia.

Eristerappaus on mahdollista tehdä ohutrappaus- tai paksurappaus-eristejärjestelmänä. Koska eri rappaustyyppien ja alustojen rakennevaihtoehtoja on useita, on tässä opinnäytetyössä tutkimus rajattu paksurappaus-eristejärjestelmään ja sen vertaamiseen työmaalla muuratun tiilimuurin päälle tehtyyn kolmikerrosrappaukseen.

2 RAPPAUS

Rappauksella tarkoitetaan kokonaisuutta, johon sisältyy rappausalusta, rappaustyypin mukaiset rappauserrokset ja rappauksen pintakäsittely. Rappauksella aikaansaadaan laaja, jatkuva ja saumaton julkisivupinta, jossa voi olla erilaisia muotoja ja värejä. Rapattu pinta peittää pienet epätasaisuudet alusrakenteessa ja suojaa sitä säärasituksilta ja mekaaniselta kulutukselta. Rappaus kestää oikein tehtynä ja tarpeen mukaan kunnostettuna ja huollettuna useita vuosikymmeniä. Rappauksen vaurioitessa se voidaan uusida täysin tai vain vaurioituneilta osilta. (1: 7, 15.)

2.1 Kovalle alustalle tehtävä rappaus

Kovalle alustalle tehtävällä rappauksella tarkoitetaan rappaustapaa, jossa rappaus tehdään kokonaan työmaalla kovalle rapattavaksi aiotulle pinnalle. Rappausalustana on tavallisesti poltetuista tiilistä, kalkkihiekkakivistä, kevytbetonista ja kevytsorabetonista muuratut seinät ja betoniseinät. Julkisivurappauksen alustan tulee täyttää seuraavia yleisiä ominaisuuksia:

- Tartuntaominaisuuksien, vedenimukyvyn ja –nopeuden ja pinnan karheuden täytyy soveltua halutulle rappaustyypille. Rappaustyön aikaiset sääolosuhteet, alustan kosteus ja lämpötila tulee ottaa huomioon.
- Muodonmuutosten on oltava alustassa riittävän pienet verrattuna rappauspinnan muodonmuutosominaisuuksiin. Alustan halkeilua täytyy pyrkiä estämään rakenteellisin keinoin.
- Alustan tulee olla rappauslaastien kanssa fysikaalisesti ja kemiallisesti yhteensopiva. (1: 16,17.)

Tavallisesti koville alustoille tehtävät rappaukset jaetaan kolmeen kategoriaan: kolmikerrosrappaukseen, kaksikerrosrappaukseen ja yksikerrosrappaukseen. Kaksi- ja kolmikerrosrappauksien kerrokset tehdään pintaa kohden heikentyvinä, käyttäen yhteensopivia laastiyhdistelmiä. (1: 15,16.)

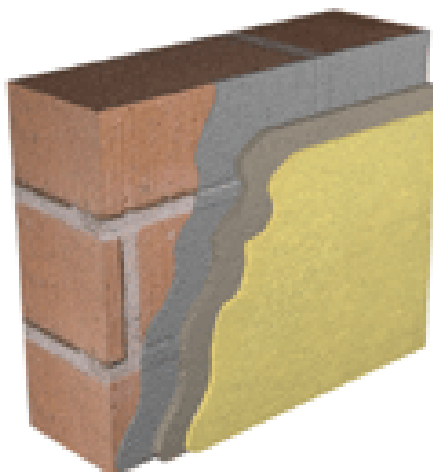
2.1.1 Kolmikerrosrappaus

Kolmikerrosrappauksella saadaan aikaan tasainen pinta, jossa alustan rakenne ei näy. Kolmikerrosrappauksissa käytetään kolmea eri kalkki- tai kalkkisementtilaastia. Rappauskerrokset ovat tartuntarappaus, täyttörappaus ja pintarappaus. Kolmikerrosrappaus on esitetty kuvassa 1. (1: 15.)

Tartuntarappaus on karkeapintainen ja kattaa vähintään 90 % alustasta. Tartuntarappauksella tuotetaan luja tartunta alustaan ja kasvatetaan tartuntapintaa täyttörappaukselle. Tartuntarappaus tasaa alustan imua. (1: 15.)

Täyttörappaus on kolmikerrosrappauksen paksuin rappauserros. Kerroksen paksuus on yleensä 10 – 30 mm, minkä vuoksi se käytännössä määrää ominaisuudet rappaukselle. Täyttörappauksen ollessa yli 20 mm se täytyy tehdä useampana kerroksena. Täyttörappauksella tasataan epätasaisuudet alustassa sekä muodostetaan rappauksen kuviot koristerappauksissa. (1: 15.)

Pintarappauksella saadaan aikaan haluttu pinta julkisivulle. Pinnan karheudesta riippuen pintarappaus on tyypillisesti ohut, 3 – 5 mm. Värillisellä laastilla julkisivun lopullinen näkyvä pinta tehdään yleensä rappaamalla pinta kahteen kertaan. (1: 15.)



Kuva 1. Kolmikerrosrappaus (3)

2.1.2 Kaksikerrosrappaus

Kaksikerrosrappauksessa käytetään kahta eri laastia. Laasteina voidaan käyttää sekä kalkkisementti- että sementtilaasteja. Kaksikerrosrappausta on esitetty kuvassa 2. (1: 15,16.)

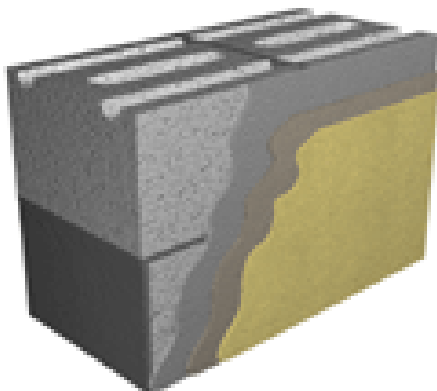
Kalkkisementtilaasteja käytettäessä saadaan aikaan 10 – 15 mm paksu, kolmikerrosrappausta muistuttava alustan epätasaisuuksia peittävä pinta, jossa täyttörappauksen puuttuessa on kuitenkin alustan rakenne vielä nähtävissä. (1: 15,16.)

Sementtilaasteilla toteutettu kaksikerrosrappaus eroaa merkittävästi kalkkisementtilaasteilla toteutetusta kaksikerrosrappauksesta niin materiaaleiltaan,

ominaisuuksiltaan kuin työtekniikoiltaan. Kokonaispaksuudeltaan sementtilaasteilla toteutettava kaksikerrosrappaus on luokkaa 10 mm. (1: 15,16.)

Tartunta- tai pohjarappaus tehdään esikostutetulle alustalle joko lyömällä tai ruiskuttamalla yleensä kahtena 3 – 5 mm paksuisena kerroksena. Tartuntarappauksen pinta suoristetaan teräslastalla. Tartuntalaastin on peitettävä alusta täydellisesti. (1: 15,16.)

Julkisivun valmis näkyvä pinta ja tavoiteltu lopputulos muodostuu pintarappauksesta. Pintarappaus tehdään yleensä kahdella 1 – 3 mm:n paksuisella kerroksella käyttäen joko sementtilaastia tai kalkkisementtipohjaista jalolaastia. (1: 15,16.)



Kuva 2. Kaksikerrosrappaus (4.)

2.1.3 Yksikerrosrappaus

Yksikerrosrappauksella tarkoitetaan yhdellä laastilla tehtyä hienoa runkoainetta sisältävää ohutta rappauserrosta tai -käsittelyä. Laastina käytetään yleensä sementtilaastia. Kovalle alustalle tehtynä yksikerrosrappaus ilmentää alustan rakennetta, ja siitä on käytetty termejä ohutrappaus tai slamkaus. Alustaa voidaan jättää myös jonkin verran näkyviin, eli lopullinen julkisivu on yhdistelmä rappauslaastin ja alustan muotoja ja värejä. Menetelmästä käytetään termiä kuultorappaus. Yksikerrosrapattujen julkisivujen rappausalustan tulee täyttää puhtaaksimuuratun julkisivun ulkonäkövaatimukset. Yksikerrosrappausta on esitetty kuvassa 3. (1: 16.)



Kuva 3. Yksikerrosrappaus (5.)

2.2 Eristerappaus

Eristerappauksella tarkoitetaan lämmöneristeen päälle toteutettavaa rappausta, joka ankkuroidaan rakennuksen runkoon tai itse eristeeseen. Materiaalivalmistajien kehittämien kokonaisuuksina eristerappausjärjestelmien materiaalit on valittu toisiinsa sopiviksi. Menetelmää on käytetty jo 1970-luvulta korjausrakennuskohteissa, mutta 2000-luvulla sen suosio on kasvanut peittämissä julkisivukorjauksissa ja eristerappauselementtejä hyödynnetään nykyisin myös uudisrakentamisessa. (2: 11.)

Eristerappauselementti koostuu sisäkuorielementistä, lämmöneristeestä ja rappauksesta. Elementti pohjarapataan tehtaalla, mutta pintarappaus ja saumojen täytöt tehdään työmaalla. Rapatun pinnan tulee olla vesihöyryä läpäisevä, mutta vettä imemätön. Ohutrappauksissa käytetään kalkkisementti- ja sementtilaasteja tai orgaanisia laasteja. Paksurappauksissa laastit ovat yleisesti kalkkisementtilaasteja, ja pintarappaus tehdään joko värillisellä kalkkisementtilaastilla tai pinnoitteella, joka on vesihöyryä läpäisevä, mutta vettä imemätön. (2: 14,18.)

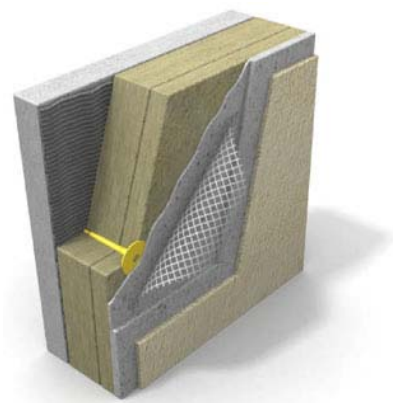
Eristerappattu julkisivu toimii tuulettumattomana rakenteena. Suunnittelussa huomiota tulee kiinnittää siihen, että kosteuden kulkeutumisen rakenteisiin estetään ja rakenteen kuivuminen mahdollistetaan. Rakenteeseen pääsevän kosteusmäärän on oltava mahdollisimman vähäistä ja rakenteen kuivumisen tulee olla mahdollista, joten rappauksen on läpäistävä riittävästi vesihöyryä. Rappausalustana eristerappauksissa on

jäykkä mineraalivilla tai solumuovieriste, jotka eivät ime kapillaarisesti vettä. Ne eivät siis edistä rakenteen kastumista, eivätkä myöskään hidasta rakenteen kuivumista. Kosteusteknisen suunnittelussa keskeisiä tekijöitä ovat rappauksen halkeilun rajoittaminen ja liitosten suunnittelu. (1: 105; 2: 28–31.)

2.2.1 Ohutrappaus-eristejärjestelmä

Ohutrappaus-eristejärjestelmässä lämmöneristeiden ulkopintaan muodostetaan rappauksella yhtenäinen suhteellisen joustava ja sitkeä levy, joka on lujitettu muovipinnoitetulla lasikuituverkolla. Rappauslevy on kiinnitetty liimalaastilla lämmöneristeiden ulkopintaan. Tyypillinen ohutrappauksen paksuus on 5 – 10 mm. Lämmöneristeet kiinnitetään alustaan liimalaastilla ja tarvittaessa lisäksi mekaanisin kiinnikkein. Koska rappaus on liimattu lämmöneristeisiin, sen liikkeet määräytyvät rakennuksen rungon ja lämmöneristeiden liikkeiden mukaan. Liikuntasamat suunnitellaan ohutrappaus-eristejärjestelmässä vain samoille kohdille rakennuksen rungon liikuntasaumojen kanssa. Ohutrappausrakennetta on esitetty kuvassa 4. (2: 13.)

Ohutrappaus koostuu yhdellä tai kahdella eri laastilla tehdyistä rappauskerroksista. Rappauskerroksia ovat tartunta- tai pohjarappaus sekä pintarappaus. Pohjarappaus on ohutrappauksen ensimmäinen rappauskerros. Se muodostaa alustan pintarappaukselle ja sisältää rappausverkon. Rappausverkko on muovipinnoitettu lasikuituverkko, jota käytetään rappauksen lujittamiseen. Pohjarappauksen päälle tulevalle pintarappauksella saadaan aikaan lopullinen ulkonäkö rappaukselle tai pinta, joka soveltuu alustaksi jatkokäsittelyille. Sekä pohjarappaus että pintarappaus voidaan tehdä useampana eri kerroksena. (1: 97.)

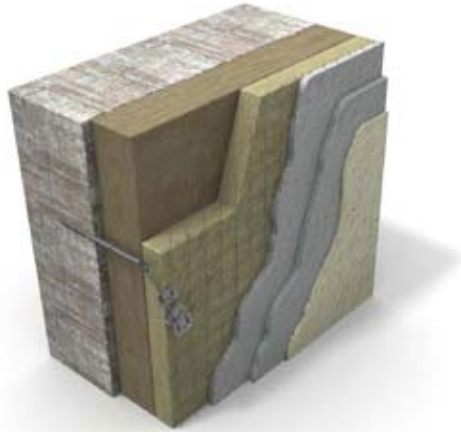


Kuva 4. Ohutrappausrakente (6.)

2.2.2 Paksurappaus-eristejärjestelmä

Paksurappaus-eristejärjestelmässä rappauskerros on tavallisesti 20 – 25 mm paksu metallisella rappausverkolla lujitettu jäykkä levy, joka on kiinnitetty lämmöneristeen läpi alusrakenteeseen mekaanisilla kiinnikkeillä. Rappauksen lämpö- ja kosteusliikkeet pääsevät tapahtumaan suhteellisen vapaasti lämmöneristeen päällä. Liikkeen vuoksi paksueristerappauksessa täytyy olla liikuntasauvoja 12 – 15 m välein sekä vaaka- että pystysuunnassa. Rappauskerrokseen tehdään liikuntasauva myös rakennuksen rungon liikuntasauvan kohdalle. (2: 17.)

Perinteinen kalkkisementti-laasteilla tehtävä kolmikerroseristerappaus rakentuu kolmella eri laastilla muodostetuista rappauskerroksista. Rappauskerrokset ovat tartunta tai pohjarappaus, täyttörappaus ja pintarappaus. Pohjarappaus sisältää rappausverkon ja muodostaa alustan täyttörappaukselle. Rappausverkkona käytetään kolmikerrosrappauksissa pistehitsattua kuumasinkittyä teräsverkkoa. Verkolla lujitetaan rappaus ja sitä käytetään kiinnitykseen. Mahdolliset epätasaisuudet tasataan tarvittaessa useampana kerroksena täyttörappauksella, joka toimii myös alustana pintarappaukselle. Pintarappauksella muodostetaan rappauksen lopullinen ulkonäkö tai jatkokäsittelyille tarkoitukseenmukainen alusta. Paksurappausrakennetta on esitetty kuvassa 5. (1: 96.)



Kuva 5. Paksurappausrakente (7.)

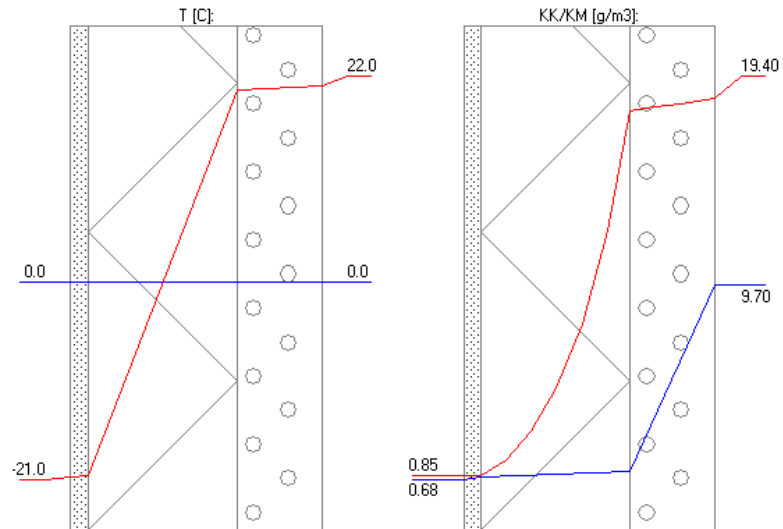
3 RAKENNUSFYSIKKA

Pääasiassa rappauksen kosteustekniseen toimintaan ja säilyvyyteen vaikuttavat sade- ja pakkasrasitus ovat tärkeimmät julkisivurappauksen suunnitteluun vaikuttavat ilmasto-olosuhteet. Rakennuksen rasitusluokan määrittävät rakennuksen korkeus, rakennuksen sijainti, julkisivun saderasitusta alentavat rakenteet ja onko rakenteensa kylmä vai lämmin. (1: 47,48)

3.1 Rakenteet

Rakenteiden U-arvot laskettiin DOF-lämpö -ohjelmalla.

Eristerapattuna rakenteena käytettiin:



Kuva 6. Eristerapattu elementti rakenne

25 mm Kalkkisementtirappaus

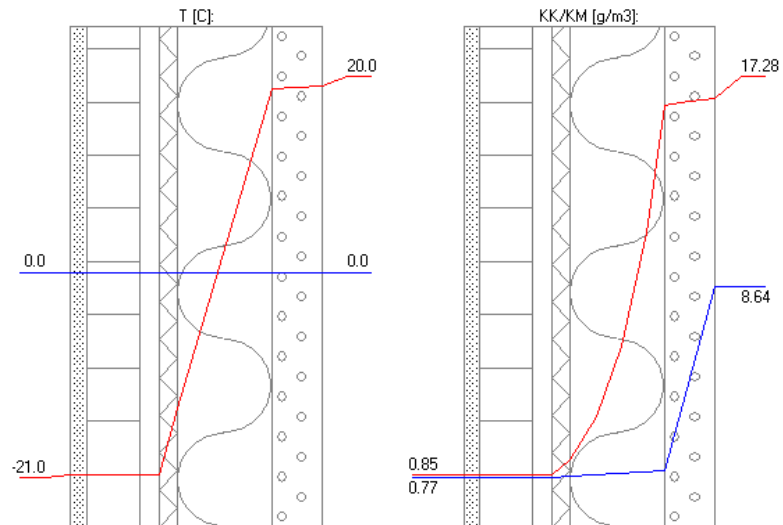
210 mm Rappauseriste mineraalivillaa, lämmönjohtavuus 0,035 W/mK

120 mm Betonikuorielementti

$U = 0,168 \text{ W/m}^2\text{K}$

Rakenteen kokonaispaksuus on 355 mm.

Vertailtavana rakenteena käytettiin:



Kuva 7. Kovalle alustalle tehty rappaus rakenne

25 mm Kalkkisementtirappaus

85 mm Tiilimuuraus

30 mm Tuulettuva ilmaväli

30 mm Tuulensuojaeriste, lämmönjohtavuus 0,031 W/mK

150 mm Eriste mineraalivilla, lämmönjohtavuus 0,032 W/mK

120 mm Betonikuorielementti

$$U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Rakenteen kokonaispaksuus on 440 mm.

Eristerapattu elementti on rakenteista ohuempi. Rakennuksen sallittuun kerrosalaan tällä ei ole vaikutusta, koska maankäyttö- ja rakennuslain 115§:n mukaan rakennuksen kerrosala saa ylittää rakennettavaksi sallitun kerrosalan 250 mm ylittävän osuuden aiheuttaman pinta-alan verran. (8.)

3.2 Lämpö

Rakenteet täyttävät Suomen Rakentamismääräyskokoelman C3 (2010) rakennuksen vaipan osien lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo U-arvovaatimuksen, joka on $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Lämmönläpäisykerroin tarkoittaa lämpövirtaa, joka läpäisee neliömetrin suuruisen rakennusosan sekunnissa, kun pintojen välinen lämpötilaero on $1 \text{ }^\circ\text{C}$. (10.)

Lämmön siirtyminen rakenteessa tapahtuu johtumalla, säteilynä ja konvektion avulla. Lämmöneristystuotteiden eristyskyky ilmoitetaan lämmönjohtavuutena λ , joka ilmoittaa siirtyvän lämpötehon neliömetrin suuruisen ja metrin paksuisen homogeenisen ainekerroksen läpi, kun pintojen välinen lämpötilaero on $1 \text{ }^\circ\text{C}$. Lämmöneriste on sitä parempi, mitä pienempi lämmönjohtavuusarvo sillä on. Kosteus kasvattaa rakennusaineiden lämmönjohtavuutta. (10.)

Kylmäsillat heikentävät rakenteen lämmöneristävyttä ja voivat aiheuttaa rakenteen sisällä kosteuden tiivistymistä. Kylmäsilta on lämpöä eristävässä rakenteessa kohta, jonka lämmönjohtavuus on ympäröivää rakennetta huomattavasti suurempi. Kylmäsiltoja ovat esimerkiksi julkisivuverhousien ja ulkokuoren kiinnitysjärjestelmät. (10.)

3.3 Kosteus

Rapatun julkisivun kosteusteknisessä suunnittelussa tulee rakenteet suunnitella minimoimaan kosteusrasituksen haitat rakenteelle. Huomiota tulee kiinnittää rappausalustan ja laastiyhdistelmien vaikutukseen, liitoskohtiin ja niiden toimivuuteen sekä halkeamien vaikutukseen. (1: 54.)

Kosteutta voi rakenteissa esiintyä nesteinä ja vesihöyrynä. Nesteinä kosteus voi siirtyä painovoimaisesti ja kapillaarisesti. Kapillaarivoimat ovat useimmiten suurempia kuin painovoima, joten painovoimaisella siirtymisellä ei ole yleensä merkitystä kapillaarisesti vettä imevissä materiaaleissa. Kosteus siirtyy kapillaarisesti, kun huokoinen materiaali on kosketuksissa veden kanssa. Vesi voi huokosalipaineen avulla siirtyä kapillaarisesti kaikkiin suuntiin. Vesihöyry siirtyy diffuusiolla suuremmasta vesihöyryosapaineesta pienempään. Vaikka diffuusion suunta on yleensä sisätiloista ulospäin, lämpötilaero ei määrää diffuusion suuntaa. (11.)

Kosteuskonvektiolla tarkoitetaan veden ja vesihöyryn siirtymistä ilmavirtausten mukana. Ongelmia syntyy, kun kylmänä ajanjaksona kosteaa sisäilmaa virtaa rakenteisiin. Ilman lämpötilan laskiessa ulospäin siirryttäessä ilman kyky sitoa kosteutta alenee, milloin ilman sisältämä kosteus voi alkaa tiivistyä rakenteiden sisään. (11.)

Suhteellinen kosteus RH (%) kertoo prosenttina ilmassa olevan vesihöyryn määrän suhteessa siihen määrään, joka ilmassa voi tiivistymättä olla tietyssä lämpötilassa. Vesihöyryn tiivistyminen eli kondensoituminen alkaa, kun kosteusprosentti on 100. Tiivistyminen voi tapahtua rakenteen sisällä tai sen pinnoilla.

Julkisivun kannalta merkittävin kosteuslähde on viistosade. Vapaan viistosateen määrän lisäksi rakennuksen muoto, rakennuksen koko, tarkasteltavan kohdan sijainti rakennuksessa ja rakennuksen sijainti vaikuttavat viistosaderasituksen voimakkuuteen. Viistosade saa julkisivupinnalle aikaiseksi vesikalvon. Vesikalvon syntyyn vaikuttaa ulkopinnan muotoilu, pintamateriaalin vedenimukyky ja saumarakenteet. (10.)

3.4 Tulokset

Tässä opinnäytetyössä laskelmat suoritettiin WUFI 2D -ohjelman 3.2-versiolla. Ohjelma on suunniteltu lämmön- ja kosteudensiirtymisen mallintamiseen yksi- ja kaksiulotteisissa malleissa.

Julkisivujen kosteustarkastelut on tehty viiden vuoden ajalla 12 tunnin välein. Sää tietoina käytettiin ilmatieteenlaitoksen mittauksia Helsingistä, sää tiedot sisältyvät WUFI 2D -ohjelman valmiisiin paikkakunta kohtaisiin sää tietoihin. Sisä ilman lämpötilaksi määritettiin laskennassa $21\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ja suhteelliseksi kosteudeksi $50\% \pm 10\%$. Laskennassa käytetyt kalkkisementtirappauksen ja betonin materiaali tiedot ovat WUFI 2D -ohjelman materiaali tietokannasta. Lämmöneristeiden materiaali tietoja muutettiin vastaamaan lämmönjohtavuudeltaan markkinoilla olevien tuotteiden tietoja. Laskennassa käytetyt materiaali tiedot on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

Taulukko 1. Laskennassa käytetyn rappaus eristeen materiaali arvot

Tiheys	50 kg/m ³
Huokoisuus	0,95 m ³ /m ³
Ominaislämpökapasiteetti, kuiva	850 J/kgK
Lämmönjohtavuus, kuiva	0,037 W/mK
Vesihöyryn diffuusio vastuskerroin, μ -arvo	1,3

Taulukko 2. Laskennassa käytetyn mineraalivillan materiaali arvot

Tiheys	50 kg/m ³
Huokoisuus	0,95 m ³ /m ³
Ominaislämpökapasiteetti, kuiva	850 J/kgK
Lämmönjohtavuus, kuiva	0,032 W/mK
Vesihöyryn diffuusio vastuskerroin, μ -arvo	1,3

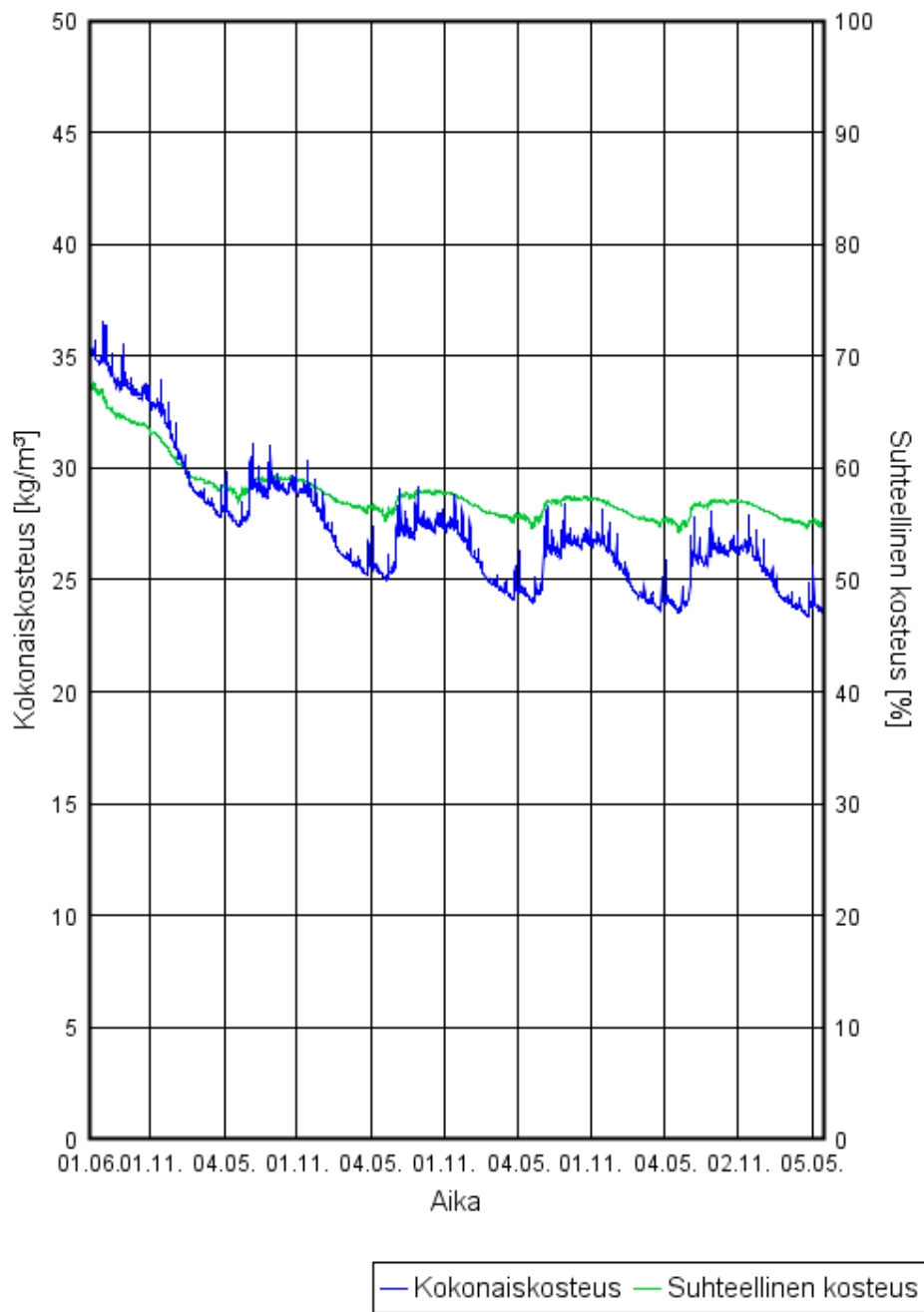
Rakenteen alkukosteus arvoina käytettiin ohjelman oletus arvoja, jotka on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Rakennekerrosten alkukosteuspitoisuudet

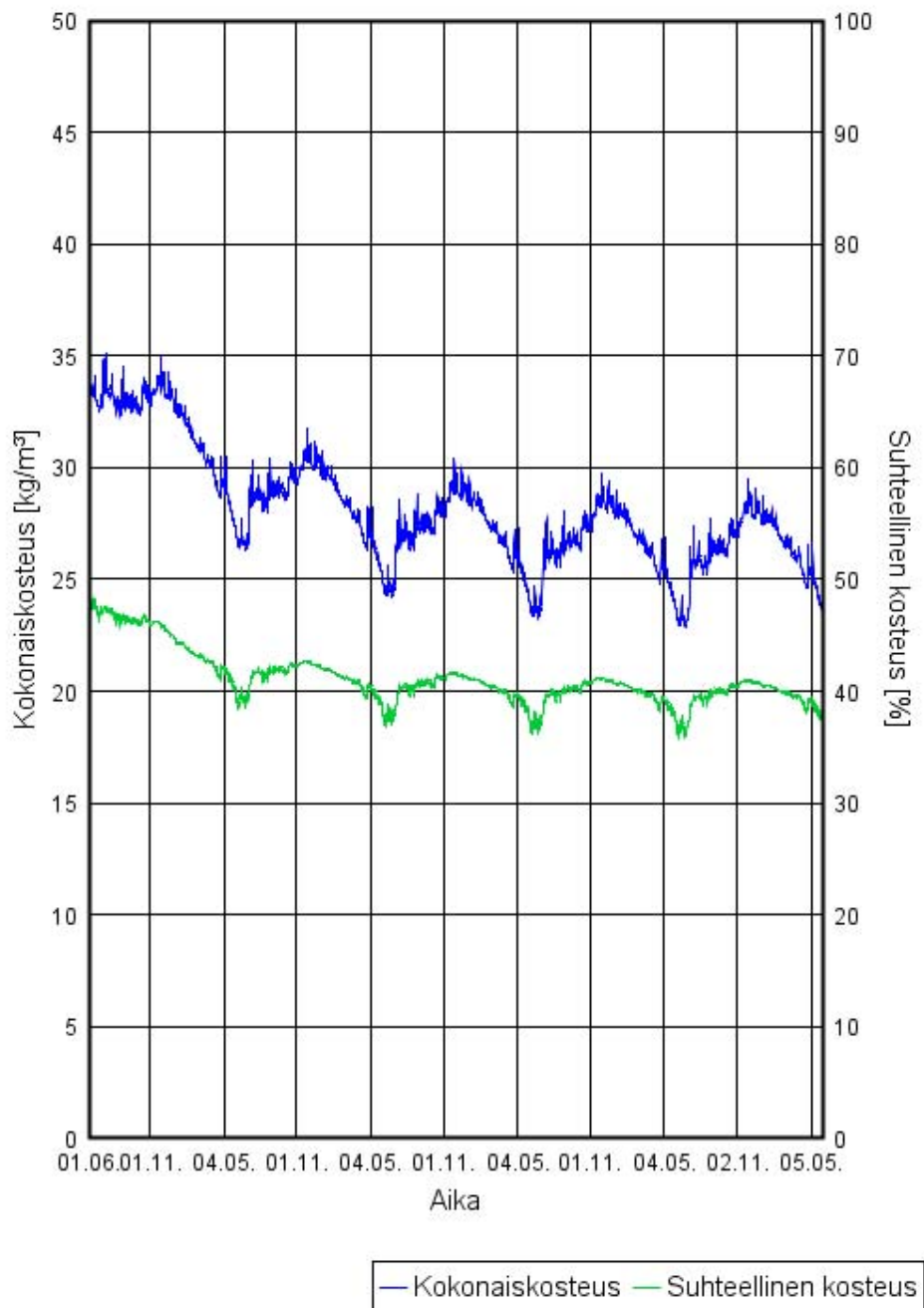
Kalkkisementtirappaus	15 kg/m ³
Tiilimuuri	18 kg/m ³
Rappauseriste	0,6 kg/m ³
Tuulensuojaeriste	0,6 kg/m ³
Mineraalivilla	0,6 kg/m ³
Betoni	75 kg/m ³

Esimerkkirakenteista laskettiin lämpötila, kokonaiskosteuspitoisuus ja suhteellinen kosteus. Kuvassa 8 on esitetty eristerapatun elementin kokonaiskosteuspitoisuus ja suhteellinen kosteus. Kuvasta näkyy, että rakenne kuivuu voimakkaimmin kahden ensimmäisen vuoden aikana, minkä jälkeen kuivuminen tasoittuu, mutta jatkuu hiljalleen. Vertailurakenteen kokonaiskosteuspitoisuus ja suhteellinen kosteus on esitetty kuvassa 9. Myös vertailurakenteessa kuivuminen on voimakkainta kahden ensimmäisen vuoden aikana.

Kosteusvaihtelut ovat tiilimuurin päälle tehdyssä rappauksessa suurempia. Tämä johtuu siitä, että tiilimuuri sitoo paljon kosteutta. Suhteellinen kosteus on eristerapatussa elementissä korkeampi kuin vertailurakenteessa, mutta ei kuitenkaan huomattavan korkea. Eristerapatun elementin lämpötila on korkeimmillaan 23,3 °C, kun vertailurakenteen korkein lämpötila on 25,7 °C, matalimmillaan lämpötila on eristerapatussa elementissä 8,1 °C, kun vertailurakenteen matalin lämpötila on 9,0 °C. Eristerapatu elementti on siis kokonaisuutena vuodenajoittain 0,9 – 2,4 °C kylmempi kuin vertailurakenne.



Kuva 8. Kokonaiskosteuspitoisuus ja suhteellinen kosteus eristerapatussa elementissä



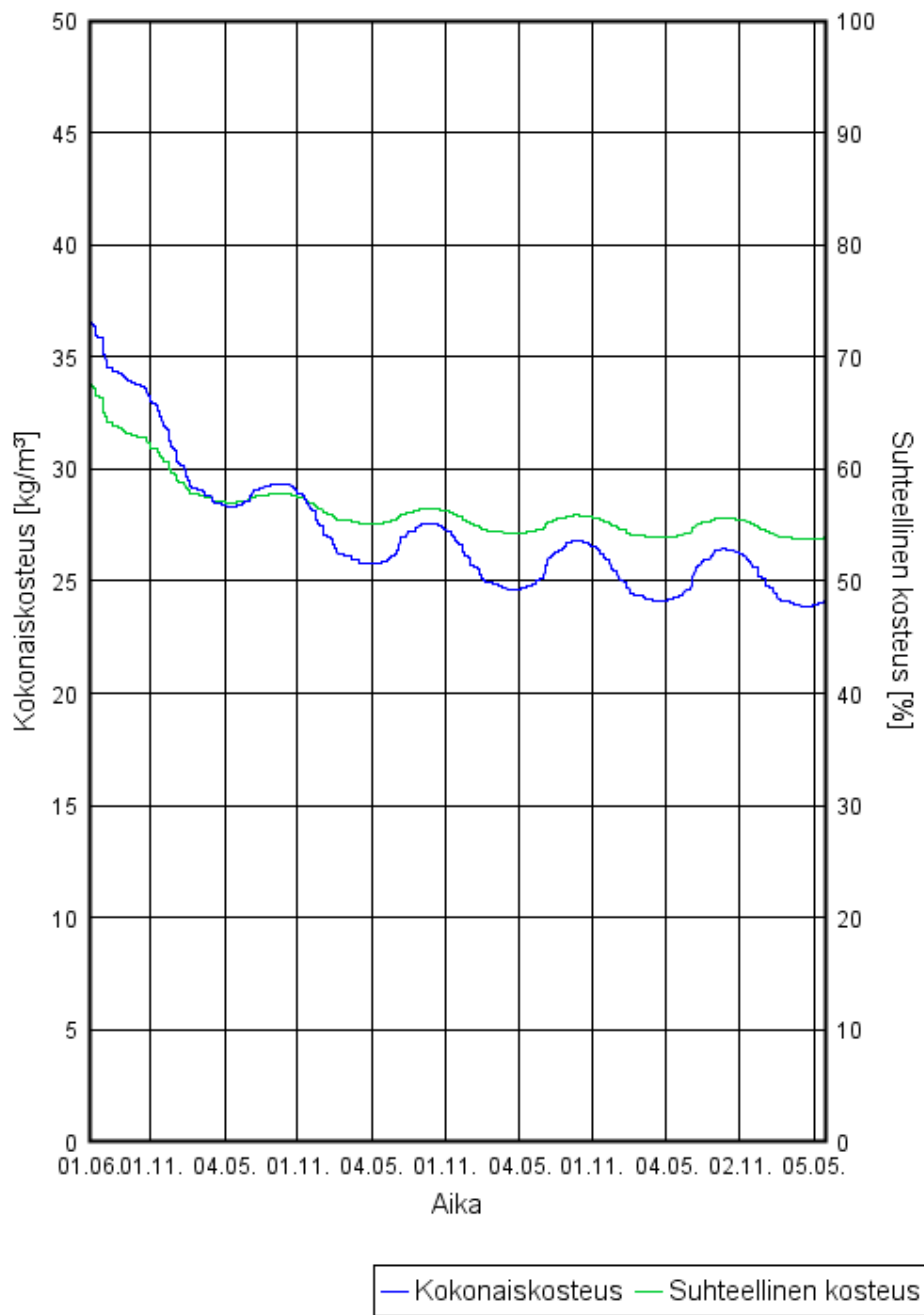
Kuva 9. Kokonaiskosteuspitoisuus ja suhteellinen kosteus kovalle alustalle tehdyssä rappauksessa

Selkeämpi kuva rakenteiden kuivumisesta saadaan, kun vertaillaan rakenteita ottamalla huomioon vain betoni ja eristeet. Rakenteiden eristeen ja betonin

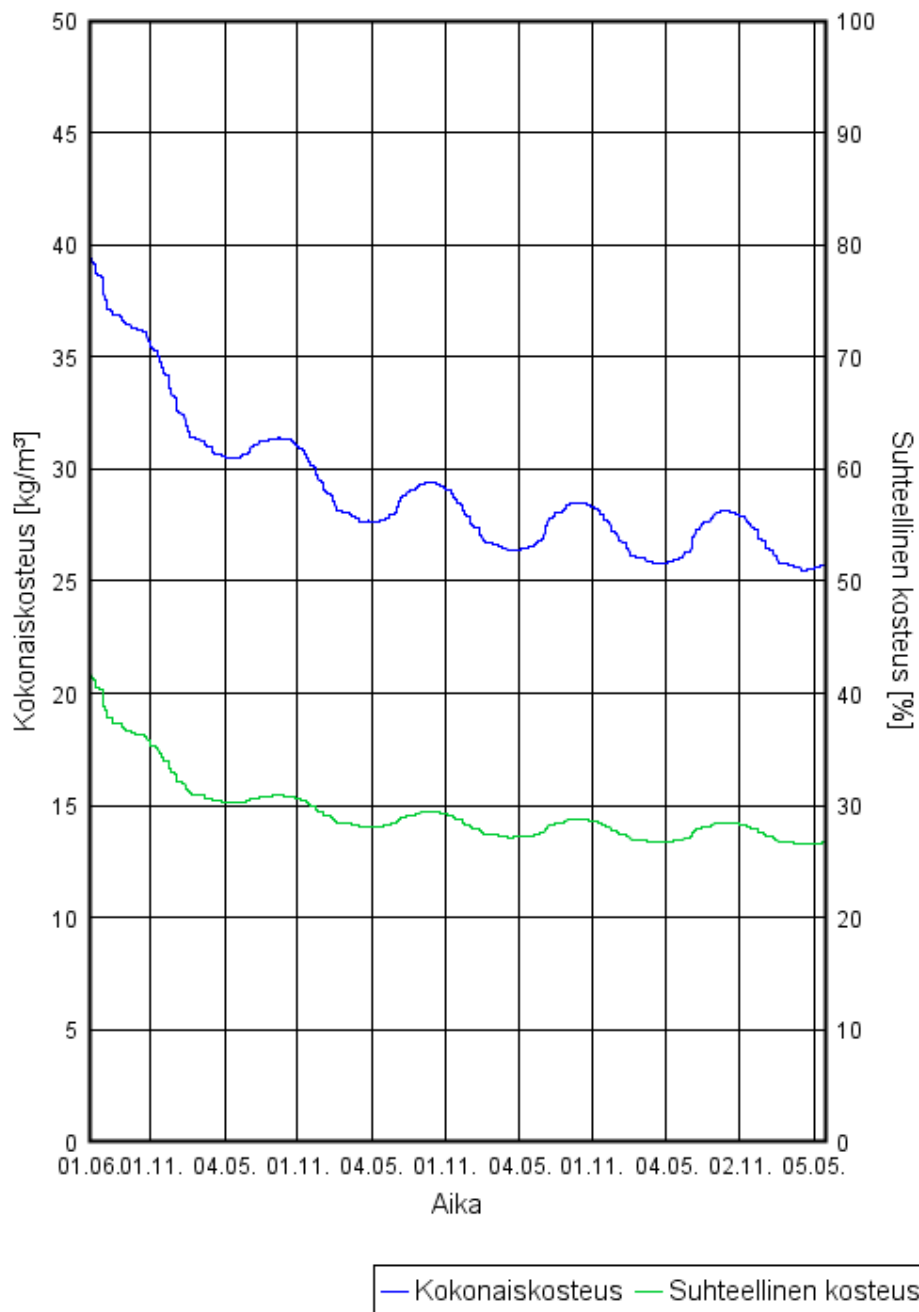
kosteusvaihteluita ja suhteellista kosteutta on esitetty kuvissa 10 ja 11.

Kosteusvaihtelut tasoittuvat, koska suurin kosteusrasitus tulee rappauksen pintaan viistosateen vaikutuksesta, kun suurimmat kosteusvaihtelut tapahtuvat eristerapatussa elementissä rappauksessa ja vertailurakenteessa rappauksessa ja tiilimuurissa. Betonin ja eristeen rakennekosteutta tarkastellessa näkyy rakenteen kosteustekninen toiminta paremmin. Eristerapatun elementin alkukosteus on $36,9 \text{ kg/m}^3$ ja tämän tarkastelun pienin kosteuspitoisuus on $23,8 \text{ kg/m}^3$; muutos kosteudessa on $13,1 \text{ kg/m}^3$.

Vertailurakenteen alkukosteus on $39,8 \text{ kg/m}^3$ ja tarkastelun pienin kosteuspitoisuus on $25,5 \text{ kg/m}^3$, muutos kosteudessa $14,3 \text{ kg/m}^3$. Rakenteiden alkukosteudessa on eroa $2,9 \text{ kg/m}^3$ ja loppukosteudessa $1,7 \text{ kg/m}^3$. Kuivuminen on vertailurakenteessa nopeampaa kuin eristerapatussa elementissä. Kuivumiskykyä vertailurakenteessa parantaa tuuletusväli, jonka ansiosta kosteus pääsee poistumaan eristeistä rappauksen ohi.



Kuva 10. Kokonaiskosteuspitoisuus ja suhteellinen kosteus eristerapatussa elementissä ilman rappausta

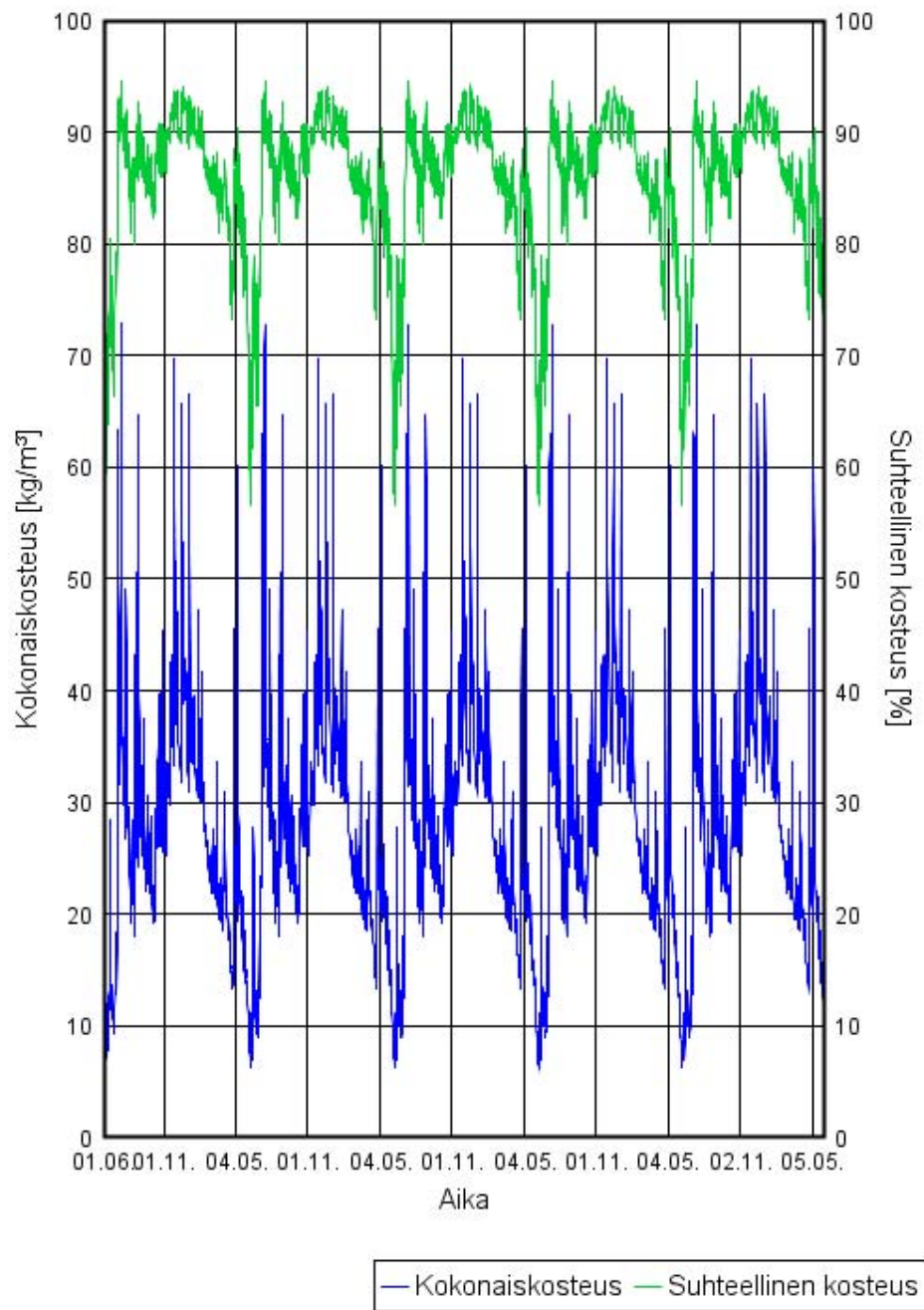


Kuva 11. Kokonaiskosteuspitoisuus ja suhteellinen kosteus kovalle alustalle tehdyssä rappauksessa ilman rappausta ja tiilimuuria

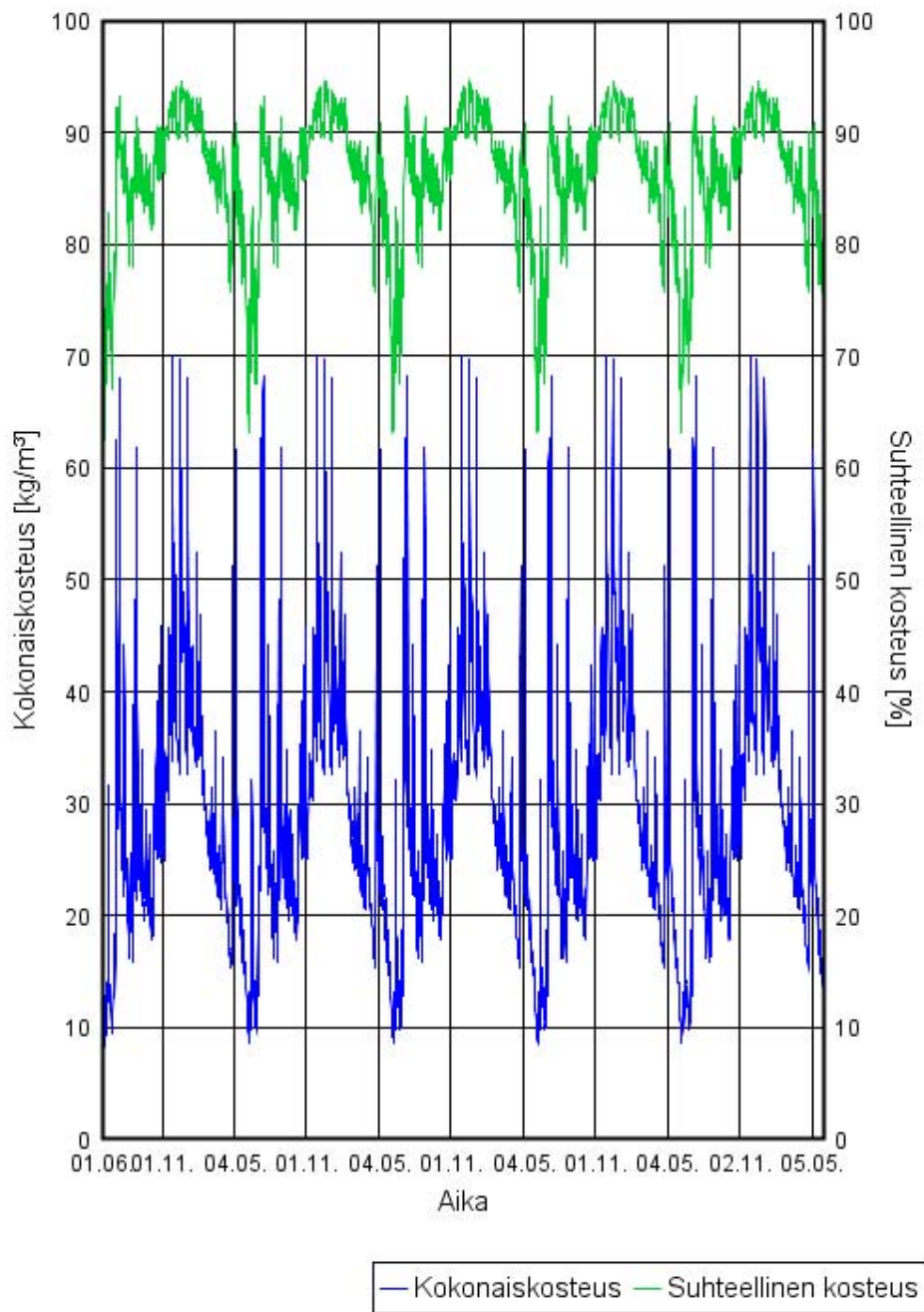
Tuloksista selviää, että eristerapattu elementti on rakennusfysiikan kannalta toimiva rakenne. Rakenteeseen ei tiivisty kosteutta ja se pääsee kuivumaan lähes yhtä

tehokkaasti kuin tuuletusvälillinen vertailurakenne. Lämpötila eristerapatussa rakenteessa on kesällä ~ 2 °C ja talvella ~ 1 °C matalampi kuin vertailurakenteessa. Suhteellinen kosteus on eristerapatussa elementissä suurempi kuin vertailurakenteessa, mutta tilannetta, jossa kosteus tiivistyisi rakenteeseen, ei ole.

Tarkasteltaessa pelkkää rappausta kummassakin rakenteessa, rakenteiden välillä voi nähdä vain pieniä eroja. Eristerappauksen kokonaiskosteuspitoisuus kuvassa 12 vaihtelee välillä $6,2 \text{ kg/m}^3 - 72,8 \text{ kg/m}^3$, kun taas kovalle alustalle tehdyn rappauksen kokonaiskosteuspitoisuus kuvassa 13 vaihtelee $8,2 \text{ kg/m}^3 - 70,0 \text{ kg/m}^3$.



Kuva 12. Kokonaiskosteus ja suhteellinen kosteus eristerapatun elementin rappauksessa



Kuva 13. Kokonaiskosteus ja suhteellinen kosteus kovalle alustalle tehdystä rappauksessa

4 KUSTANNUKSET

Eristerapatun elementin hinta tehtaalta on n. 130 €/m². Se sisältää betonikuoren, eristevillan ja pohjarappauksen. Työmaalla tehtävän rappauksen hinta on n. 30 €/m², joten kokonaishinnaksi muodostuu n. 160 €/m². Vertailurakenteen betonikuorielementti, jossa on eristevilla ja tuulensuoja, maksaa n. 70 €/m². Kustannuksia tulee elementin lisäksi muuraustyöstä, jonka hinta on n. 80 €/m², sekä kolmikerrosrappaustyöstä työmaalla jonka hinta on n. 110 €/m². Kokonaishinta vertailurakenteella on n. 260 €/m². Eristerapatun elementin kokonaishinta on n. 100 €/m² edullisempi kuin elementin ja tiilimuurin päälle tehdyn rappauksen. Kuljetuskuluja rakenteille tulee yhtä paljon. (12.)

Vertailurakenteen rappausalustana toimivan tiilimuurin muuraustyöhön kuluu n. 0,7 h/m². Myös vertailurakenteen rappaustyö kestää kauemmin, koska eristerapattu elementti on valmiiksi pohjarapattu tehtaalla. Muuraustyötä varten rakennustyömaalle on myös pystytettävä muuraustyöhön soveltuvat rakennustelineet. Laastin ja tiilien nostamiseen telineille tarvitaan hissiä. Eristerapatun elementin työmaalla tehtävät rappaustyöt voidaan tehdä käyttämällä työlavaa. Verratuista rakenteista eristerapatun elementin pystyttämiseen kuluu vähemmän aikaa. (12.)

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Eristerapatulla elementillä on mahdollista vastata uusien määräysten kiristyyviin lämmöneristävyysvaatimuksiin ilman, että seinän paksuutta joudutaan kasvattamaan huomattavasti. Rakenteen kuivumisen ja kosteusteknisen toimivuuden kannalta suunnittelun huomio tulee kiinnittää kosteuden kulkeutumiseen rakenteisiin. Laskentatuloksista selviää, että teoriassa rakenne kuivuu normaalisti eikä siihen tiivisty kosteutta. Tärkeitä tekijöitä kosteuden kulkeutumisen estämisessä ovat työaikainen suojaus, rappauksen halkeilun hallinta, liitoskohtien tiiviysi ja oikean pinnoitteen valinta. Koska eristerapattu elementti on materiaalivalmistajien kehittämiä kokonaisuuksia, materiaalit rakenteessa ovat keskenään yhteensopivia ja tarkoituksenmukaisia.

Kustannusten vertailussa selvisi, että eristerapattu elementti on verratuista rakenteista kokonaishinnaltaan halvempi. Itse elementin hinta tehtaalla on kalliimpi kuin vertailurakenteessa, mutta työmaalle jäävien töiden määrä nostaa vertailurakenteen hintaa. Eristerapattu elementti on työmaan kannalta myös nopeampi.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, kuinka eristerapattu elementti toimii verrattuna elementtiin, jossa rappaus on tehty kovalle alustalle. Tutkimuksen tulosten mukaan eristerapattu elementti on varteenotettava vaihtoehto, kun halutaan rapattu julkisivu. Lopullinen valinta rappaustyyppien välillä tehdään rakennuskohteen ja tilanteen mukaan, mutta eristerappausjärjestelmien käyttö uudisrakentamisessa varmasti lisääntyy edelleen.

LÄHTEET

1. Lahdensivu, J. 2005. Rappauskirja 2005 BY 46, Suomen Betoniyhdistys r.y. Helsinki.
2. Lahdensivu, J. 2011. Eriste- ja levyrappaus 2011 by 57, Suomen Betoniyhdistys r.y. Helsinki.
3. Rakennus Kegnike Oy. Yksikerrosrappaus. Viitattu 12.4.2012. Saatavissa: http://c1-suncomet.com/~kenikev5/wb/media/site_images/rakennustekniikat/kolmikerrosrappaus.gif.
4. Rakennus Kenike Oy. Kaksikerrosrappaus. Viitattu 12.4.2012. Saatavissa: http://c1-suncomet.com/~kenikev5/wb/media/site_images/rakennustekniikat/kaksikerrosrappaus.gif.
5. Rakennus Kenike Oy. Yksikerrosrappaus. Viitattu 12.4.2012. Saatavissa: http://c1-suncomet.com/~kenikev5/wb/media/site_images/rakennustekniikat/yksikerrosrappaus.gif.
6. Paroc Oy Ab. Ohutrappausrakenne. Viitattu 12.4.2012. Saatavissa: <http://www.paroc.fi/channels/fi/building+insulation/solutions/external+walls/rendered+facade+i.asp>.
7. Paroc Oy Ab. Paksurappausrakenne. Viitattu 12.4.2012. Saatavissa: http://www.paroc.fi/channels/fi/building+insulation/solutions/external+walls+renovation/paroc_eristevanhaeriste.asp.
8. Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.
9. Ympäristöministeriö. Suomen Rakennusmääräyskokoelma C3. 2008. Helsinki.

10. Betoniteollisuus ry. Lämpö- ja kosteustekniikka. Viitattu 26.4.2012. Saatavissa:
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/lampo-ja-kosteustekniikka>.
11. Sisäilmayhdistys ry. 2008. Kosteuden siirtyminen. Viitattu 26.4.2012. Saatavissa:
http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/kosteustekninen_toiminta/kosteuden_siirtyminen/.
12. Turkia, O. Rakennuspartio Oy. Työpäällikkö ja ylläpidonjohtaja. Haastattelu 11.5.2012. Kotka.