



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

RAPATUN ELEMENTIN SUUNNITTELU

TEKIJÄ: Jaakko Palokangas

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Jaakko Palokangas			
Työn nimi Rapatun elementin suunnittelu			
Päiväys	27.4.2020	Sivumäärä/Liitteet	64
Ohjaajat Rakennetekniikan yliopettaja, TkT Arto Puurula ja rakennetekniikan lehtori, DI Matti Mikkonen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Sweco Rakennetekniikka OY			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän insinööriyön tilaajana toimi Sweco rakennetekniikka Oy. Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia tietoperusta rapatun elementin suunnitteluohjeelle. Varsinainen ohje tilattiin Sweco rakennetekniikka Oy:n omaan käyttöön ja oli osa tilaajan kehittämistyötä.</p> <p>Opinnäytteessä perehdyttiin ohut- ja paksurappauseristejärjestelmiin ja niiden käyttöön elementtirakentamisessa. Aluksi insinööriyötä varten hankittiin tarvittava määrä lähtötietoja perehtymällä aiheeseen liittyviin tutkimuksiin, valmiisiin insinööritöihin sekä kirjallisuuteen. Työssä tutkittiin monipuolisesti rapattujen elementtien suunnittelussa ja valmistuksessa huomioitavia asioita. Tätä teoriaosaamista hyödynnettiin laadittaessa rapattujen elementtien suunnitteluohje. Ohjeen laadinta edellytti myös vierailuja eri elementtitehtailla ja alan ammattilaisten haastatteluja.</p> <p>Rappausjärjestelmät ovat haavoittuvia julkisivupintoja. Niihin kohdistuu monenlaisia rasituksia, ja ne ovat herkkiä valmistamisen aikana tapahtuville virheille. Tämän insinööriyön tuotoksena valmistunutta suunnitteluohjetta tullaan hyödyntämään käytännön työssä. Sen avulla suunnitellaan ja valmistetaan teknisesti toimivia, koko käyttöikänsä ajan hyvältä näyttäviä ja kestäviä rapattuja elementtejä.</p>			
Avainsanat Uudisrakentaminen, rakennesuunnittelu, rapattu elementti, suunnitteluohje			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author Jaakko Palokangas			
Title of Thesis Design of Plastered Unit			
Date	April 27, 2020	Pages/Appendices	64
Supervisors Mr Arto Puurula, PhD, Principal Lecturer and Mr Matti Mikkonen, M.Sc., Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners Sweco Rakennetekniikka OY			
Abstract			
<p>This final project was commissioned by Sweco rakennetekniikka Oy. The aim of the project was to create an information base for the guide for designing plastered units. The design guide was part of Sweco Rakennetekniikka Oy's development work and it was intended for their internal use.</p> <p>In this final project, thin and thick plaster insulation systems and their use in pre-fabricated construction were studied. A variety of issues to be considered in the design and manufacture of plastered units were studied for this project. First the necessary amount of initial information was obtained by reading related studies, completed thesis in the field of engineering and literature. A design guide for the plastered units was prepared based on the obtained information. The preparation of the guide also included visits to element factories and interviewing specialists.</p> <p>Plastered facade surfaces are vulnerable. They are subjected to a wide range of stresses and are susceptible to errors during manufacturing. The design guide created as a result of this final project will be utilized in practical work. It will be used to design and manufacture plastered units that are technically functional, good-looking and durable throughout their life cycle.</p>			
Keywords construction, structural engineering, plastered element, designing guide			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	RAPATUT ELEMENTIT	7
2.1	Eristerappausjärjestelmät	8
2.1.1	Ohutrappaus.....	9
2.1.2	Paksurappaus	11
2.2	Rasitukset	13
2.2.1	Mekaaninen rasitus	13
2.2.2	Säärasitus.....	13
3	SUUNNITTELUPERUSTEET	16
3.1	Kosteustekninen toiminta	16
3.2	Halkeilun rajoittaminen.....	17
3.3	Käyttöikä.....	20
3.4	Materiaaliominaisuudet.....	20
3.5	Olosuhteet ja jälkihoito.....	22
3.6	Pintavaihtoehdot.....	24
3.7	Akustiikka.....	26
3.8	Palomääräykset	27
4	MITOITUS.....	29
4.1	Omapaino.....	29
4.2	Tuulikuorma	29
4.3	Esimerkkilasku	33
4.4	Isku- ja törmäyskuormat	37
4.5	Lämpötekkinen toiminta	38
5	LIITOKSET JA DETALJIT	40
5.1	Ikkuna	40
5.2	Liikuntasauva	45
5.3	Sokkelin liittyminen elementtiin.....	47
5.4	Räystäs	49
5.5	Rapatun elementin ulkokulma.....	51
5.6	Rapatun elementin sisäkulma	53
5.7	Ylösnosto	54

5.8 Parvekkeen kohta	56
5.9 Läpiviennit ja ripustukset.....	57
6 LOPUKSI.....	60
LÄHTEET	61

1 JOHDANTO

Uudisrakentamista tehdään nykyään paljon elementeistä, mikä on osoittautunut yksinkertaiseksi, nopeaksi ja kustannustehokkaaksi rakennustavaksi. Betonirakentamisessa käytetään julkisivuna yleensä sandwich-elementtejä, jotka koostuvat kantavasta sisäkuoresta, eristeestä ja ulkokuoresta. Ulkokuorena voivat toimia erilaiset tuulettuvat verhoukset. Tässä insinööriyössä käsitellään eristerappausjärjestelmiä sekä näitä järjestelmiä käytettäessä huomioitavia seikkoja elementtisuunnittelussa.

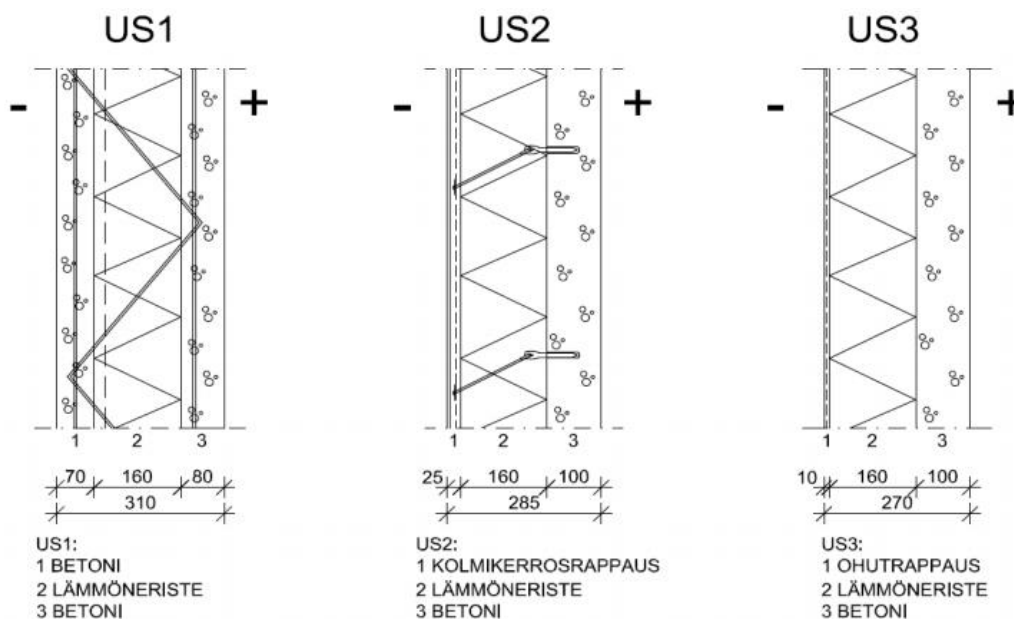
Tämän opinnäytteen tavoitteena on luoda tietoperusta rapatun elementin suunnitteluohjetta varten, tilaajan suunnittelijoiden käyttöön. Suunnitteluohje yhtenäistää, helpottaa ja nopeuttaa yksittäisten rakennesuunnittelijoiden työskentelyä. Elementtisuunnittelu on tarkkaa ja yksityiskohtaista työtä. Tilaajalta puuttuu yhtenäinen suunnitteluohje rapatuille elementeille, joten ohje on tarpeellinen. Tarve on myös ajankohtainen ja ohje tulee siirtymään käytännön työvälineeksi ammattilaisille.

Opinnäytetyön tuloksena laadittava suunnitteluohje rajataan käsittelemään ohut- ja paksurappaus-eristejärjestelmiä elementtirakentamisessa. Ohje sisältää myös mittoitamista ja elementin mallintamisessa huomioitavia asioita. Lisäksi suunnitteluohjeeseen sisältyy detajiiikkaa ja havainnollistavia kuvia.

Insinööriyön tilaaja, Sweco Rakennetekniikka OY, kuuluu ruotsalaiseen Sweco-konserniin ja on alan selkeä markkinajohtaja Suomessa. Suomessa Sweco-rakennetekniikka työllistää 15 eri paikkakunnalla yhteensä yli 700 työntekijää.

2 RAPATUT ELEMENTIT

Rapatulla elementillä tarkoitetaan betonirunkoista ulkoseinäelementtiä, jossa on rappattu pintakäsittely. Se eroaa ominaisuuksiltaan tavallisesta betonisandwich-elementistä lähinnä vain ulkokuorensa puolesta ja tuotantomenetelmiltään. Normaali sandwich-elementti koostuu betonisesta sisä- ja ulkokuoresta sekä kuorien välissä olevasta eristeestä. Kuvan 1 rakennetyypeistä näkee eri rakenteiden keskeiset erot.

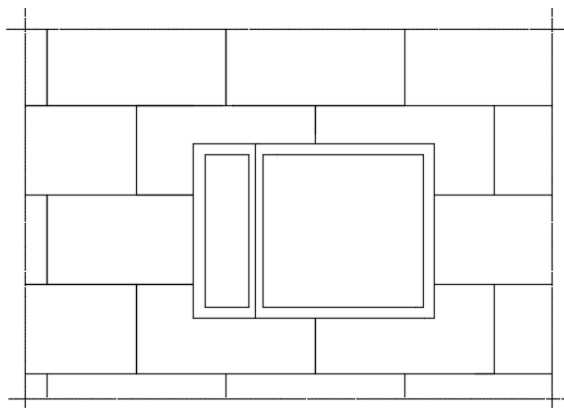


Kuva 1. Sandwich-elementin ja rapattujen elementtien rakennetyypit (Rauhala 2013, 1)

Rappaus on ohut pintarakenne, johon kohdistuu monenlaisia rasituksia. Tämä asettaa omat haasteensa sille, kuinka rapatut elementit säilyvät hyvännäköisinä ja kestävät koko suunnitellun käyttöikänsä ajan. Jotta rakennuksen julkisivusta tulee siisti ja rajaton, tapahtuu elementtien pintarappaus aina työmaalla. Rapatuilla julkisivuilla voidaan toteuttaa laajoja yhtenäisiä ja saumattomia pintoja, ja niille asetetaan yleensä korkeat ulkonäkövaatimukset.

Elementtitehtaalla eristelevyit asennetaan kuvan 2 mukaisesti siten, että levyjen reunat eivät saa olla pystysuunnassa samoilla kohdilla. Pintarappauksella on mahdollonta tasata elementtien välisiä hammaastuksia ja suuria epätasaisuuksia, joten elementit asennetaan aina siten, että rappauspinnat ovat täsmälleen samassa tasossa ja mahdolliset epätasaisuudet tasataan elementtien sisäpinnassa. Tehtaalla

asennetaan myös tarvittavat rappausprofiilit ja vahvikkeet elementin pohjarappaukseen. Pintarappauksessa käytetään henkilönostimia, ruiskuja ja muita apuvälineitä. Rapatusta julkisivusta ei huomaa ulospäin, onko talon runko tehty elementeistä vai paikallavalaen. Elementtirakentamisen etuna on järjestelmän tehokkuus ja nopeus. Rakennukseen voidaan laittaa lämmöt päälle heti vesikatteen asentamisen jälkeen.



Kuva 2. Eristelevyjen asennuseriaate

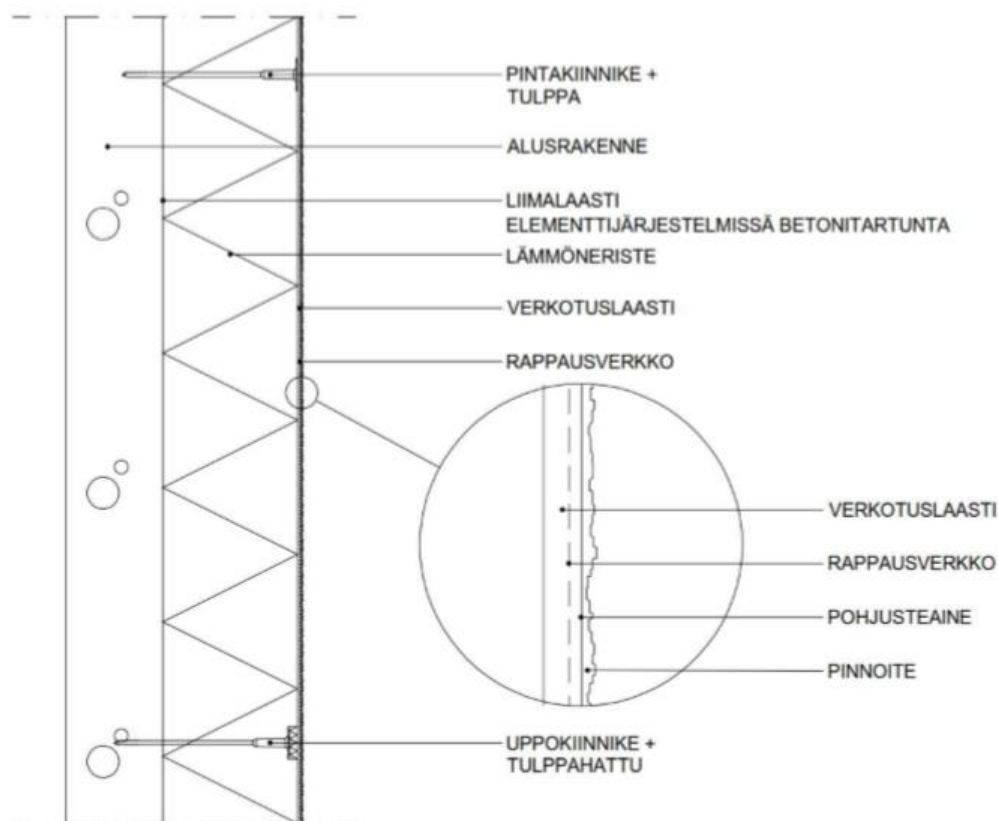
2.1 Eristerappausjärjestelmät

Lämmöneristeen päälle tehtävää rappausta kutsutaan yleisnimellä eristerappaus. Eristerappausjärjestelmiä on kahta eri tyyppiä: ohutrappaus ja paksu- eli kolmikerrosohtrappaus. Eri tehtailla käytetään eri rappaustyyliä. Suomessa eristerappauksella on pitkät perinteet ja järjestelmiä on käytetty 1980-luvulta saakka. (Julkisivuyhdistys.fi)

Suomessa eristerappaukset on toteutettu kivipohjaiselle rungolle, joka on havaittu ainoaksi toimivaksi vaihtoehdoksi. Ruotsissa tuulettumattomia eristerappauksia on toteutettu myös puurunkoisiin rakennuksiin huonolla menestyksellä. Rakennuslehden artikkelin mukaan puu- ja kipsiosat ovat päässeet homehtumaan, koska kosteus ei pääse poistumaan rakenteesta tarpeeksi tehokkaasti. Erityisesti ongelma on näyttäytynyt kovia eristeitä käytettäessä. Artikkelin mukaan Ruotsissa on jopa 20 000 taloa, jossa on tällainen riskirakenne. (Rakennuslehti 2013.)

Rappausjärjestelmät ovat tuulettumattomia julkisivupintoja, jotka tehdään tehtaalla suoraan elementin eristekerroksen päälle. Järjestelmät tuulettuvat diffuusion vaikutuksesta rakenteen läpi. Eristerappausjärjestelmät eroavat toisistaan tekotavoiltaan ja ominaisuuksiltaan. Rapattuja elementtejä tehdään pääasiassa toimitila- ja asuinrakentamiseen.

2.1.1 Ohutrappaus



Kuva 3. Ohutrappaus-eristejärjestelmän rakennetyyppi (Lemberg 2019, 7)

Ohutrappaus-eristejärjestelmässä rappauksen paksuus on 5–10 mm, joka koostuu kahdessa osassa tehtävästä verkotuslaastikerroksesta. Jälkimmäinen rappauskerros tehdään ensimmäisen kerroksen ollessa vielä märkä, jotta saadaan paras mahdollinen tartunta rappauskerrosten välille. Rappausverkko asennetaan verkoituslaastikerrosten väliin. Rappauskerros on sitkeä, taipuisa ja yhtenäinen, muovipinnoitella lasikuituverkolla vahvistettu levy.

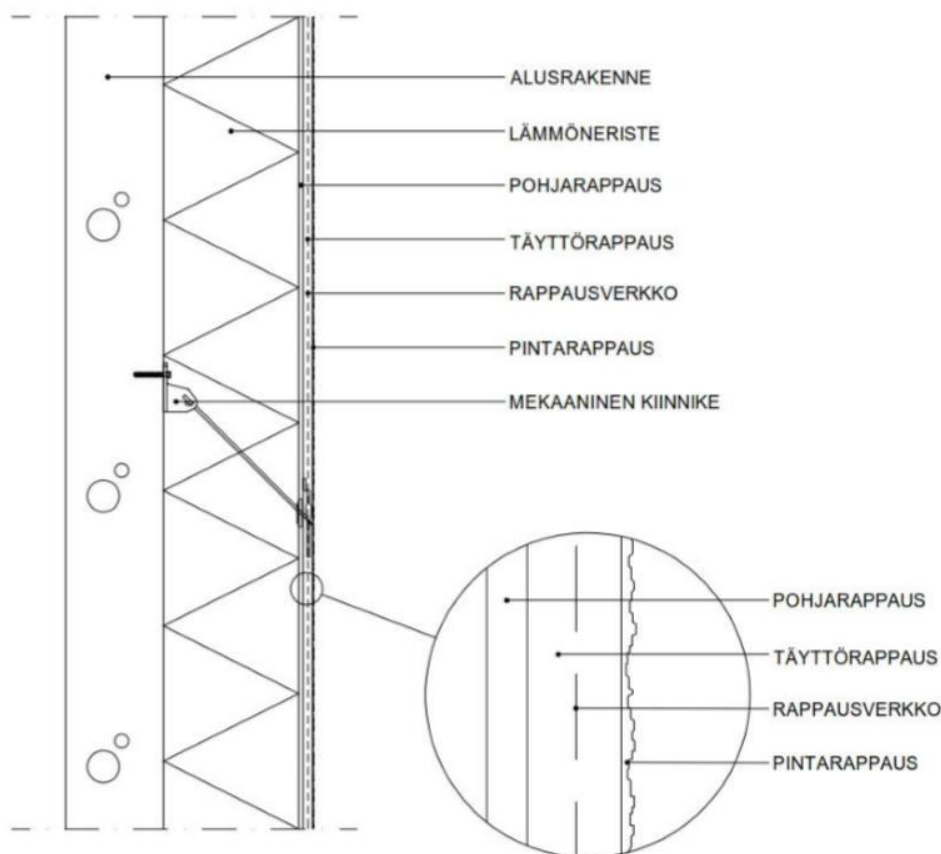
Ohutrappauksissa käytetään kalkkisementti-, sementti ja orgaanisia laasteja. Eristemateriaalina tyypillisesti solumuovilevyjä, tai lujaa eristerappauksia varten valmistettua mineraalivillaa. Eriste toimii rappausalustana, ja se kiinnitetään alusrakenteeseen eristemateriaalin edellyttämällä tekniikalla. Elementtijärjestelmissä kiinnittyminen tapahtuu betonin omalla tartunnalla. Tavallisesti ohutrappausjärjestelmissä rappauskerrokset kiinnittyvät eristeeseen vain laastitartunnalla. Jos rakennus on yli 20 metriä korkea, käytetään rakennuksen yläosissa mekaanisia kiinnikkeitä tuulen

imua vastaan (Elementtisuunnittelu.fi a). Järjestelmässä voidaan käyttää myös eristeyhdistelmiä. Yleisimmissä tapauksissa käytetään EPS-levyjä, jotka välittävät rakenteen omapainon sekä ulkopuolisten voimien aiheuttamat rasitukset sisäkuorelle.

Ohuella rappauksella on mahdotonta tasata lämmöneristeiden epätasaisuuksia, joten tehtaalla täytyy kiinnittää erityistä huomiota rappausalustan tasaisuuteen. Elementin sisäkuori valetaan eristemateriaalin päälle, johon se kiinnittyy omalla tartunnallaan. Elementin reunoille jätetään ohennukset, jotta saumakohtat voidaan verkoittaa. Sen pinta limutetaan eli tehdään suojalaastikerros, joten työmaalle jää tehtäväksi vain saumakohtien verkoitukset ja pintarappaus.

Ohutrappaus-eristejärjestelmän heikkoutena on huono iskunkestävyys, sillä rappauskerros on ohut ja käytettävä eristelevy kovaa. Iskusta aiheutuvan voiman suuruus riippuu kappaleen kineettisestä energiasta ja pinta-alasta, sekä rappausalustan paksuudesta ja kimmokertoimesta (Lemberg 2019,36). Järjestelmää tulisikin välttää maantasokerroksissa, joissa elementit ovat alttiita iskuille. Ohutrappauksessa käytettävä verkotuslaastikerros on kapillaarinen, joten halkeilua ei saisi tapahtua. Liitosdetaljien on oltava ajantasaisia ja toimivia. Ohutrappaus ei myöskään kestä ripustuksia, joten kaikki painavimmat ripustukset täytyy kiinnittää elementin sisäkuoreen (ks. Detalji 15), mikä lisää läpivientien määrää ja riskitekijöitä. Ohutrappausjärjestelmien iskunkestävyyttä voidaan parantaa kaksinkertaisella raudoituksella.

2.1.2 Paksurappaus



Kuva 4: Paksurappaus-eristejärjestelmän rakennetyyppi (Lemberg 2019, 8)

Paksurappaus-eristejärjestelmässä rappauksen paksuus on 20–25 mm. Rappauskerros muodostaa kuumasinkityllä rappausverkolla vahvistetun jäykän levyn, joka kiinnitetään alusrakenteeseen mekaanisin kiinnikkein. Rappaus koostuu pohja-, täyttö- ja pintarappauksesta. Tästä syystä tätä rappaustyyliä kutsutaan monesti kolmikerrosrappaukseksi. Käytettävät laastit ovat kalkki- tai kalkkisementtipohjaisia.

Eristeenä käytetään mineraalivillaa. Myös eristeyhdistelmiä voidaan käyttää, mutta uloimman eristekerroksen tulee aina olla mineraalivillaa. Yhdestä eristelevykerroksesta tehdyllä elementillä on pienempi laskeutumisriski kuin kahdesta eristelevykerroksesta valmistetulla, koska eristeiden välissä on suhteellisen pieni kitkakerroin ja levyt pääsevät liikkumaan helposti toisiinsa nähden. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 63.) Paksurappaus-eristejärjestelmässä käytetään aina mekaanisia kiinnikkeitä.

Paksurappaus-eristejärjestelmää käytettäessä elementin sisäkuori jää muottipinnalle, mikä on etu verrattuna ohutrappaus-eristejärjestelmiin. Näin sisätyöt nopeutuvat ja työmenekki pienenee. (Elementtisuunnittelu.fi a.) Villa asennetaan suoraan tuoreen

betonivalun päälle, jolloin se tarttuu siihen hyvin betonin omalla tartunnalla. Elementtitehtaalla tehdään pohja- ja täyttörappaukset. Tällöin työmaalle jää tehtäväksi vain saumojen verkoitukset ja pintarappaukset. Pohja- ja täyttörappausta tehtäessä elementtien reunoille jätetään ohennukset. Näin työmaalla voidaan levittää elementtien saumoihin rauditusverkot ja tehdä pohja- sekä täyttörappaukset samaan tasoon viereisten elementtien kanssa.

Paksurappaus-eristejärjestelmässä rappauserkerros liikkuu eristeen päällä alustaansa nähden, joten liikuntasaumojä tulee olla sekä vaaka, että pystysuunnassa 12–15 metrin välein. Lisäksi liikuntasaumät tehdään aina rakennuksen rungon liikuntasauaman kohdalle. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 14.)

2.2 Rasitukset

Eristerappausjärjestelmät jaetaan kolmeen eri rasitusluokkaan: 1. Tavanomainen rasitus, 2. Voimakas rasitus, 3. Erityisrasitus. Näistä rakennesuunnittelija valitsee oikean rasitusluokan rakennuksen korkeuden, sijainnin ja rakenteen perusteella. Suunnittelija huomioi päätöksessään myös julkisivun saderasitusta alentavat rakenteet. (Elementtisuunnittelu.fi a)

2.2.1 Mekaaninen rasitus

Mekaanisella rasituksella tarkoitetaan tavallisesti hankausta, iskuja ja muuta kuluttavaa kontaktia kuten törmäyksiä. Mekaaninen rasitus on yleensä suurinta rakennuksen alimmissa kerroksissa, koska se on pääsääntöisesti ihmisten toiminnan aiheuttamaa. Muuta mekaanista kuormitusta aiheuttavia tekijöitä ovat rakenteen omapaino, tuulenpaine ja tuulesta aiheutuva imu, sekä muodonmuutokset ja liikkeet. (Lahdensivu. 2005, 46.) Mekaaniselta rasitukselta voi suojata seinää esimerkiksi laittamalla seinän vierustoille istutuksia tai asentamalla kaiteita ja muita liikkumisesteitä.

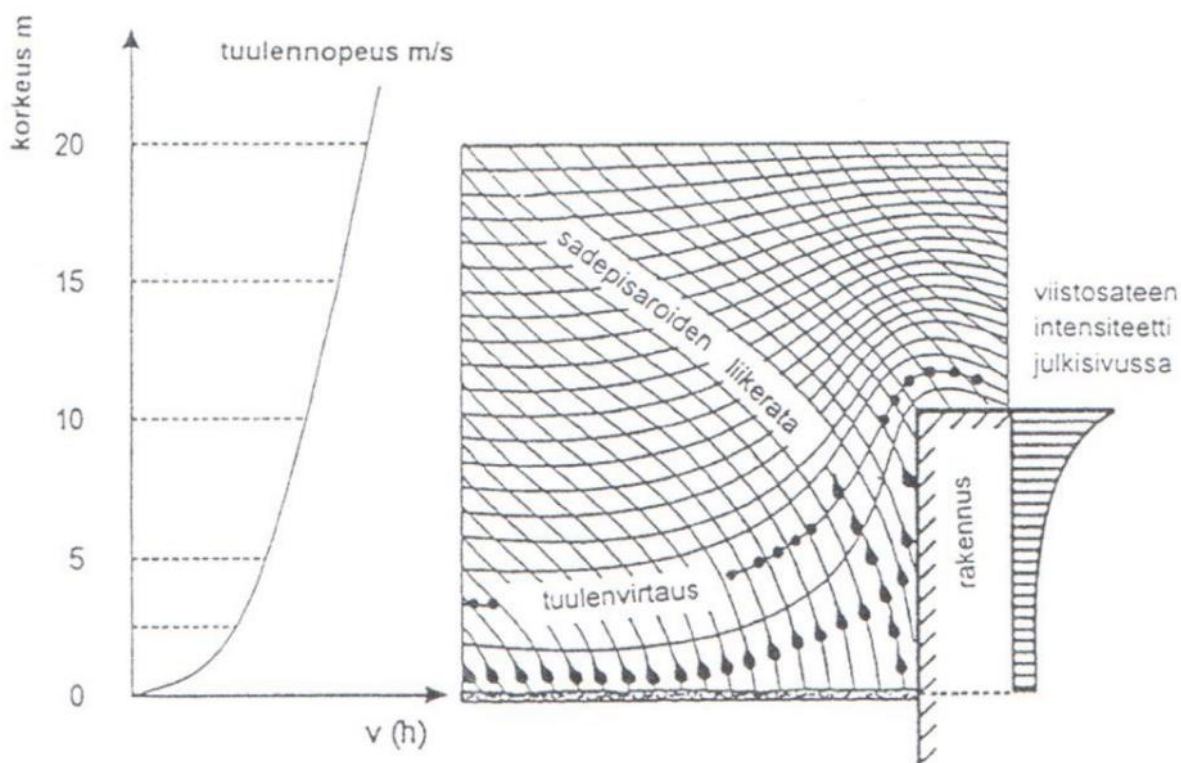
2.2.2 Säärasitus

Suomessa rapatut elementit joutuvat koville säärasituksille, sillä lämpötila vaihtelee eri paikkakunnilla ja eri vuosina jopa 40 lämpöasteesta 50 pakkasasteeseen. Vuorokauden korkeimman ja alimman lämpötilan erotus saattaa etenkin talviaikaan olla valtava. Esimerkiksi Kuusamossa 1989 on mitattu 36,5 asteen vuorokauden lämpötilojen erotus (Ilmatieteenlaitos.fi a). Suomessa myös vuosisademäärä on huomattava. Helsingissä vuosien 1981–2010 keskisademäärä oli 655 mm (Ilmatieteenlaitos.fi b).

Rappauksissa käytettävien materiaalien tulee olla säänkestäviä. Eristerappausjärjestelmien teknistä toimivuutta testataan tarkoitusta varten kehitetyllä säärasituskokeella. Kuvassa 5 on esitetty kokeen vaiheet, lämpötila ja kestoajat.

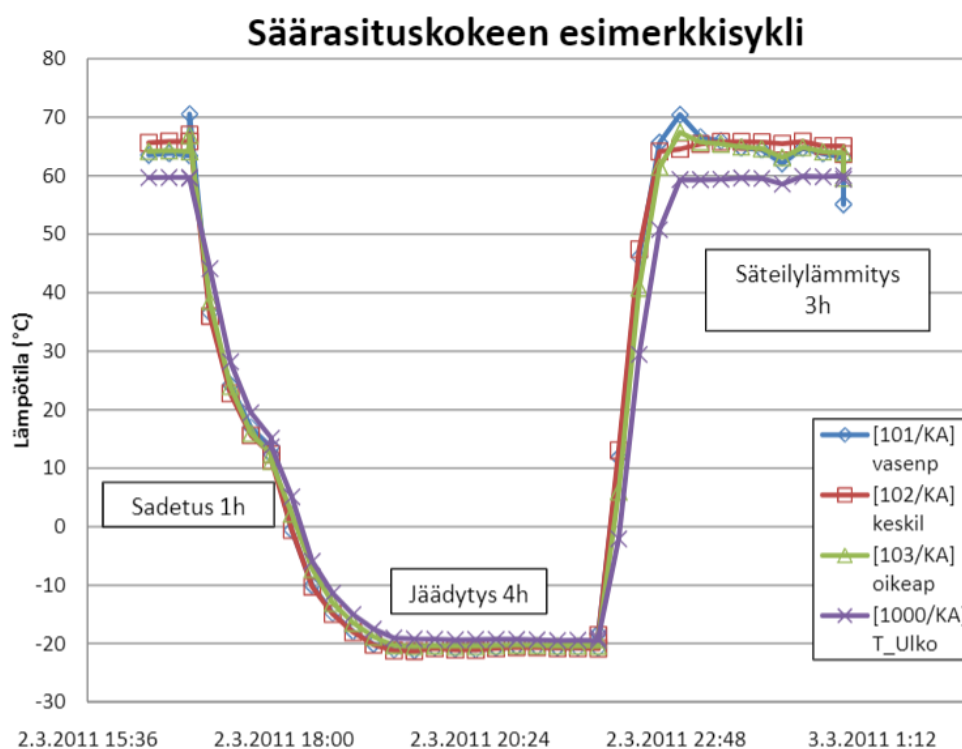
Lämpötilojen muutokset aiheuttavat lämpölaajenemista ja sen myötä rappauksen lämpöliikkeitä. Rappaus elää eristeen päällä omaa elämäänsä, mutta koska sen liike on rajoitettu mekaanisten kiinnikkeiden, läpivientien ja varusteiden takia, syntyy rappaukseen pakkovoimia.

Kosteus on merkittävä rasitustekijä, jonka pääsy rakenteeseen tulee minimoida ja kosteuden poistaminen elementistä varmistaa. Se on mukana aiheuttamassa esimerkiksi rappauksen halkeilua, raudoituksen korroosiota sekä liimalaastien tartuntaominaisuuksien heikkenemistä. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 23.) Suurin kosteuslähde on rappaukseen kohdistuva viistosade. (ks. kuva 5.) ”Viistosateen määrä riippuu pystysuoran sateen intensiteetistä, tuulen nopeudesta ja pisaroiden puotumisnopeudesta” (Lahdensivu. 2005, 43). Tuulenvirtaus työntää vesipisaroita seinään ja viistosateen intensiteetti on suurinta rakennuksen yläosissa. Vaaka- ja viistopinnat altistuvat paljon suuremmalle viistosaderasitukselle kuin pystypinnat, joten ne tulee mieluiten pellittää. (Lahdensivu. 2005, 58.)



Kuva 5. Viistosateen intensiteetti (Julkisivu 2000)

Rappauksen huokoisissa oleva vesi pyrkii jäätyessään laajenemaan. Jää työntää vielä nestemäisenä olevaa vettä kohti pienempiä huokoisia. Jos huokostila loppuu, vallitseva hydraulinen paine aiheuttaa vaurioita, joka näkyy yleensä rappauksen halkeiluna. (Lahdensivu. 2005, 48.)



Kuva 6. Eristerappausjärjestelmän säärasituskoke (Tampereen Teknillinen yliopisto 2011)

Pakkanen on suuri rasitustekijä, jos elementti on alttiina kosteudelle. Käytännössä rasitus on suurinta rannikolla, missä lämpötila vaihtelee nollan molemmin puolin ja jäätymis-sulamissyklit ovat tyypillisiä. Vesimolekyylit laajenevat jäätyessään ja rapauttavat erityisesti huokoisia rakenteita.

Auringon UV-säteily vaurioittaa erityisesti orgaanisten aineiden, kuten eri pinnoitteiden ominaisuuksia. Sen vaikutuksen huomaa helpoimmin muun muassa värien haalistumisesta. UV-säteily myös vanhentaa materiaaleja ja heikentää verkotuslaastin tartuntaa eristelevyihin. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 23.) Tästäkin syystä elementit ovat hyvä valmistaa säärasituksilta suojatuissa tiloissa.

3 SUUNNITTELUPERUSTEET

3.1 Kosteustekninen toiminta

Eristerappausjärjestelmät ovat tuulettumattomia rakenteita, jotka kuivuvat diffuusion vaikutuksesta. Tämä tarkoittaa vesihöyryn siirtymistä suuremmasta vesihöyryn osapaineesta pienempään osapaineeseen. Diffuusiovirtaukseen vaikuttaa materiaalin vesihöyrynvastus. (sisäilmayhdistys.fi) Kosteuden poistumisen takia keskeistä on huomioida, että pinnoitteet, laastit ja lämmöneristeet ovat hyvin vesihöyryä läpäiseviä.

Terveen elementin suunnittelun lähtökohtana on, että kosteuden pääseminen elementtiin pyritään minimoimaan. Tähän päästään, kun elementit suojataan tekovaiheessa, ja kiinnitetään erityistä huomiota oikeaoppisiin detaljeihin ja liitoskohtien tiiviuteen. Myös työnaikaisen sääsuojauksen tulee olla täydellistä.

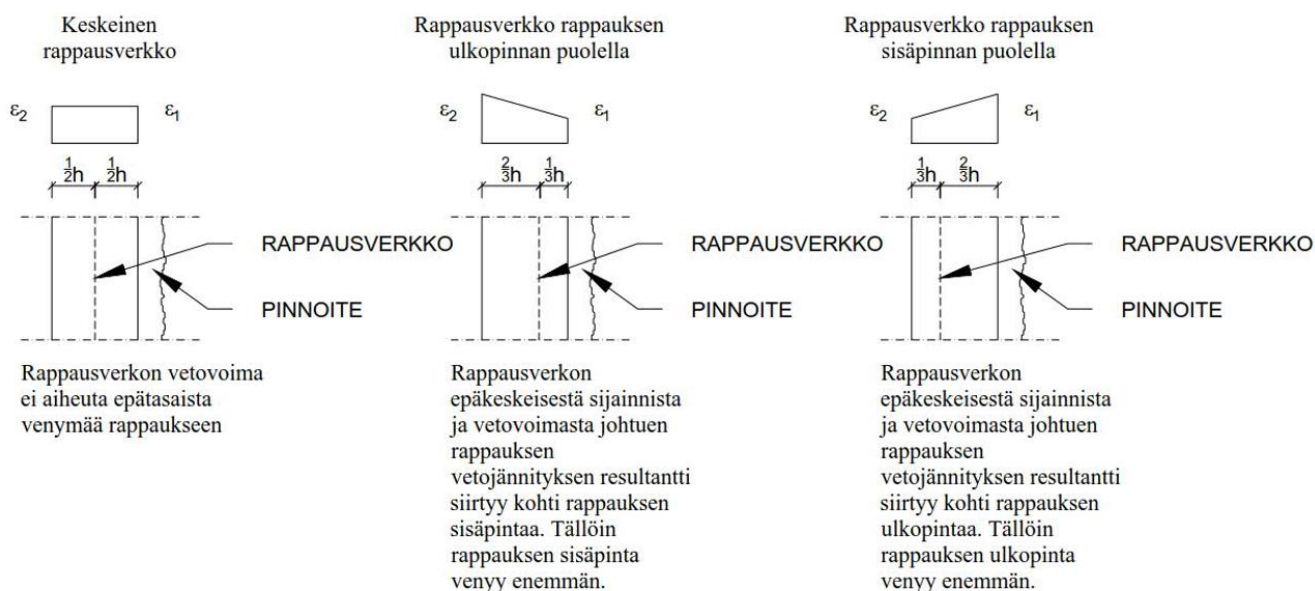
Kosteuden siirtyminen elementtiin tapahtuu valmiissa rakenteessa pääasiassa rappauksen läpi. Pitkäaikainen viistosade imeytyy rappaukseen etenkin tuulen ollessa voimakasta. Tämän takia rappauksen pinnan tulee olla tiivis ja halkeilu pitää olla minimoitua. Ohutrappaus ja kolmikerrosrappaus toimivat kosteusteknisesti täysin eri tavalla, ja niissä käytetäänkin ominaisuuksiltaan erilaisia laasteja. Ohutrappauksessa käytettävät laastit ja tiheäsilmäinen verkko muodostavat tiiviin pinnoitteen, jolloin ohutrappauksen ulkopinnalle muodostuu vesikalvo. Tällöin pienistäkin halkeamista ja epäjatkuvuuskohdista voi päästä suuria määriä kosteutta rakenteeseen. (Lahdensivu. 2005, 105.) Paksurappauksessa rappauskerros on huokoinen ja pystyy varastoimaan runsaasti kosteutta. Tämänkin rappausjärjestelmän pintaan voi muodostua vesikalvo, jos huokostila täyttyy vedellä. (Lahdensivu. 2005, 106.)

Koska diiffuusio tapahtuu elementissä myös toiseen suuntaan, täytyy rapatun elementin sisäkuoren pinnoitteeksi ja eristeiksi valita vesihöyrynvastuksiltaan hyvin vettä läpäisevät materiaalit etenkin paksurappaus-eristejärjestelmässä. On tärkeää, että elementtien väliset saumat ovat ilmanpitäviä rakennuksen energiankulutuksen ja hyvän sisäilman takia. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 75.)

3.2 Halkeilun rajoittaminen

Rappauksessa esiintyvä halkeilu on yleisin eriste-rappausjärjestelmissä esiintyvä vaurio, joka johtuu tavallisesti rappauksen lämpö- ja kosteusliikkeistä. Halkeilu on esteettisen haitan lisäksi aiheuttamassa teknisiä ongelmia. Tyypillinen halkeilun syy on rappauslaastinen plastinen kuivumiskutistuma. (Lahdensivu. 2005, 65.) Tästä syystä on erittäin tärkeää kiinnittää eristyistä huomiota rappauksen suojaukseen työ- ja jälkihoitovaiheessa. Halkeiluun vaikuttavia tekijöitä ovat rapatun elementin geometria, sääolosuhteet ja rappauksen rakenne. Halkeilu voi johtua myös rakenteellisista syistä, kuten perustusten painumisesta tai liikuntasauvojen vähäisyydestä.

Rappaus halkeilee tyypillisesti ikkuna- ja oviaukkojen kulmista, sekä läpivientien ja saumojen kohdilta. Mitä suurempi aukon koko on, sitä suurempi on aukon kulmaan kohdistuva jännityspiikki. Halkeilulle alttiita kohtia ovat myös lämmöneristeiden sekä elementtien saumat. Rappauksen halkeilua hallitaan korroosiota vastaan muovipinoitetulla tai sinkityllä rauditusverkolla. Kaikki kulmat vahvistetaan tarkoitusta varten kehitetyillä vahvikeprofileilla.



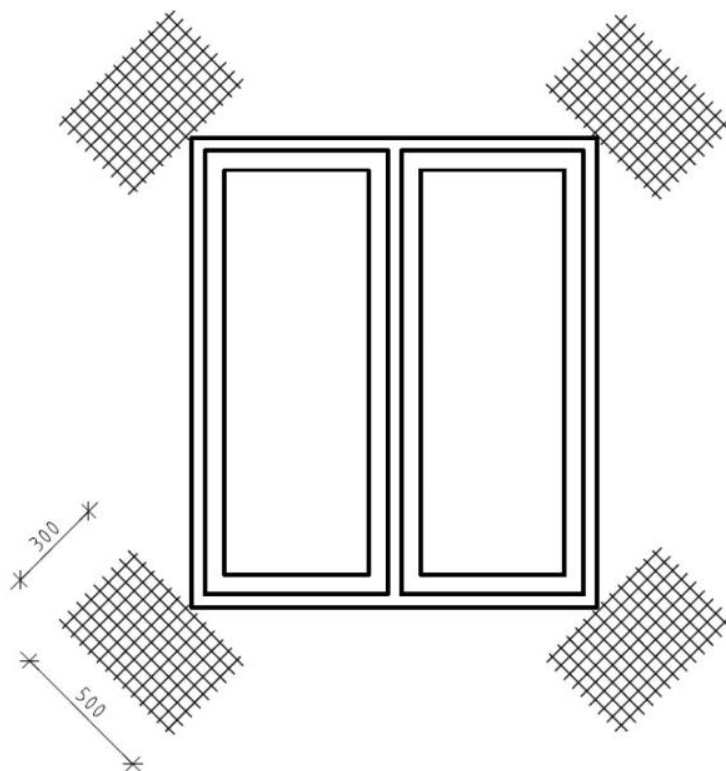
Kuva 7. Rappausverkon sijainnin vaikutus rappauksessa vallitseviin voimiin (Lemberg 2019, 52)

Rappauksen liikkeet aiheuttavat pakkovoimia, jotka taas aiheuttavat jännityksiä raudoitukselle. Jos raudoitusverkko katkeaa, halkeamaleveys voi kasvaa nopeasti hyvin suureksi. Verkon sijainti vaikuttaa rappauksen epäkeskisyyteen ja aiheuttaa vetoa tai puristusta rappauksen pintoihin. Rappausverkon tulee sijaita 1/3 - 1/2 syvyydellä rappauksen paksuudesta ulkopinnasta mitattuna. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 140.)

	Rappausten halkeiluluokitus	
	Luokka 1	Luokka 2
Halkeaman leveys [mm]	0,05–0,1	0,2–0,3
Halkeaman pituus [mm]	≤ 1000	≤ 1000
Halkeamien esiintymistiheys	≤ 1 kpl/m ²	≤ 1 kpl/m ²

Taulukko 1. Eristerappauksen halkeiluluokitus (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 91)

Verkon vetolujuus tulee olla suurempi kuin käytetyn rappauslaastikerroksen vetolujuus, jotta verkko ei repeäisi mahdollisesti syntyneen halkeaman kohdalta (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 26). Rappausverkkojen limitys täytyy olla aina vähintään 100 mm (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 94). Aukkojen kulmiin asennetaan kuvan 8 mukaisesti lisäverkoituskaistaleet 45 asteen kulmaan suhteessa aukkoon.



Kuva 8. Aukkojen lisäverkoituksen periaate (Saint-Gobain Weber OY Ab a)

Ohutrappaus-eristejärjestelmässä rappaus ei liiku suhteessa alustaansa, koska rakenteessa käytetään lujia ja jäykkiä lämmöneristeitä, jotka ovat asennettu kiinteästi alusrakenteeseen. Tämän takia liikuntasauvoja tarvitsee sijoittaa vain rakennuksen rungon liikuntasauvojen kohdille. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 26.)

Paksurappaus-eristejärjestelmässä eristeenä käytetään laakeroivana kerroksena toimivaa mineraalivillaa. Rappaukseen ei siis vaikuta elementin rungossa tapahtuvat liikkeet, vaan ainoastaan rappauksessa vaikuttavat pakkovoimat. Liikuntasauvoja tulee olla 12–15 m välein ja aina rakennuksen liikuntasauvan kohdalla. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 26.)

Rappauksessa vallitsevat pakkovoimat johtuvat osittain tai kokonaan estetyistä rappauksen lämpö- ja kosteusliikkeistä. Pakkovoimat otetaan huomioon liikuntasauvojen ja rauditusverkkojen suunnittelussa. Rappauksessa vallitsevat jännitykset aiheuttavat halkeilua.

3.3 Käyttöikä

Paksurappaus-eristejärjestelmien arvioitu käyttöikä on noin 30 vuotta ja ohutrappaus-eristejärjestelmillä 25 vuotta. Suunniteltuun käyttöikään pääseminen edellyttää rappauksen jatkuvaa huoltoa ja kunnossapitoa. Tämä tarkoittaa pinnoitteen uusimista 10–15 vuoden välein, sekä liitosten ja saumausten toimivuuden ja kunnan tarkistamista sekä uusimista tarpeen vaatiessa. (julkisivuyhdistys.fi b)

Käyttöikään vaikuttavia tekijöitä ovat säättekijät, biologiset tekijät, mekaaniset rasitukset, materiaaliyhdistelmien yhteensopivuus, rakenneyksityiskohdat ja materiaalivalinnat, toteutuksessa tehdyt virheet, normaali kuluminen sekä käyttö- ja huoltovirheet. (Rapatus julkisivun kuntotutkimus 1998, 12).

3.4 Materiaaliominaisuudet

Eristerappaus-järjestelmissä käytetään rappaustyylin vaihdellessa hieman eri materiaaleja. Keskeisimpiä eroja syntyy käytettävien laastien ja eristeiden välille.

Eristeet jaetaan tyypillisesti koviin ja mineraalivillaisiin eristeisiin, joista kovilla eristeillä tarkoitetaan yleensä EPS-levyjä, mutta myös erilaisia polyuretaanipohjaisia eristeitä. Keskeiset erot eristeiden ominaisuuksissa ovat kosteudenkestävyys, tiiveys, ääneneristävyyden ja palonkestävyys. Eroja syntyy myös kustannuksissa ja menekeissä. Mineraalivilla on kustannuksiltaan edullisempaa, mutta toisaalta saavuttaakseen vaaditut U-arvo ominaisuudet, mineraalivillan menekki on suurempaa kuin EPS-levyjen. Suurempi eristepaksuus johtaa myös lisäkustannuksiin muottitöissä ja siihen liittyen esimerkiksi nostolenkkien asennukseen sekä elementin kuljetukseen (Suikka 2010).

	Mineraalivilla		EPS	PU
	Levy	Lamelli		
Puristuslujuus, (SFS-EN 826)	≥40 kPa	≥40 kPa	≥70 kPa	≥70 kPa
Vetolujuus, liimakiinnitys EN 1607		≥80 kPa	≥100 kPa	≥60 kPa
Vetolujuus, mekaaninen kiinnitys EN 1607	≥15 kPa		≥100 kPa	≥100 kPa
Leikkauslujuus EN 12090	≥20 kPa	≥20 kPa	≥50 kPa	≥30 kPa
Leikkausmoduuli EN 12090	≥1 MPa	≥1 MPa	≥1 MPa	≥350 kPa

Taulukko 2. Eristerappausjärjestelmissä käytettävien eristeiden ominaisuuksia (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 32.)

	Mineraalivilla		EPS		PU
	Levy	Lamelli	valkoinen	harmaa	
λ_{design} (W/mK) EN 13162	0,037	0,04	0,039	0,031	0,023-0,026
Vesihöyryn läpäisevyys $\times 10^{-10}$ (kg/msPa)	1,95	1,95	0,03-0,08	0,055-0,06	0,001-0,0012
Lämpölaajenmiskerroin $\times 10^{-5}$ (1/°C)	1	1	5-7	5-7	5-8
Mittapysyvyys (%) EN 1604	≤1	≤1	2	2	2

Taulukko 3. Eristerappausjärjestelmissä käytettävien eristeiden ominaisuuksia (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 34.)

Mineraalivilla on huokoisempaa ja imee vettä itseensä. Tästä syystä tämä eriste vettyy helposti, mutta myös luovuttaa kosteuden pois ja kuivuu kovia eristeitä nopeammin. Kovia eristeitä käytettäessä elementin sisäkuori kuivuu hitaammin, mutta viiden vuoden kuluttua erot alkavat tasaantua. Jos elementissä on käytetty tiiviitä eristeitä, on huomioitava, että elementin sisäkuori kuivuu vain sisälle päin. Sisäkuoren riittävä kuivuminen on varmistuttettava ennen tiivistä pinnoittamista. (Ormiskangas 2009, 125).

Mineraalivillalla on kovia eristeitä paremmat palonkesto-ominaisuudet. EPS-eristeitä käytettäessä täytyy suunnittelijan huomioida lamellivillasta tehtävät palokatkot ikkuna- ja oviaukkoihin.

Mineraalivilla on pehmeämpää ja joustavampaa verrattuna koviin eristeisiin. Näin ollen se mahdollistaa rappauksen liikkeitä. Edellä mainittu ominaisuus vaikuttaa myös rappauksen iskunkestävyyteen, sillä iskusta aiheutuvan voiman suuruus riippuu kappaleen kineettisestä energiasta ja pinta-alasta sekä rappausalustan paksuudesta ja kimmokertoimesta.

Elementtjärjestelmissä ei käytetä liimalaasteja, sillä kummassakin eristerappausjärjestelmässä eriste kiinnittyy alusrakenteeseen betonin omalla tartunnalla. Tavallisesti liimalaasteja käytetään ohutrappauseristejärjestelmissä, joissa niillä nimensä mukaisesti liimataan eristelevy alusrakenteeseen.

Ohutrappaus- eristejärjestelmissä käytettävät verkotuslaastit ovat myös sementtipohjaisia, ja niihin on lisätty polymeerejä sekä mahdollisesti muita lisäaineita laastien ominaisuuksien kuten vedenhylkivyyden parantamiseen. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 11.)

Paksurappauseristejärjestelmissä käytettävät laastit ovat kalkkisementtipohjaisia. Niiden koostumukseen vaikutetaan kalkki- ja sementtimäärien suhteella. (kivitaloinfo.fi a) Laastikerrosten koostumusten tulee olla samanlaisia tai ulkopintaa kohden heikentyviä (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 15). Rappauspinnat ovat julkisivupintoja, joten niissä käytettävien laastien tulee olla ominaisuuksiltaan pakkasenkestäviä.

3.5 Olosuhteet ja jälkihoito

Rappaustyön onnistumisen edellytyksenä on sopivat sääolot. Alhaisin mahdollinen lämpötila on +5° C. Lämpötilan tulee pysyä vähintään 5 lämpötila-asteessa koko rappaustyön, sekä jälkihoidon ajan. Tästä syystä taloudellisinta on ajoittaa rappaustyöt toukokuusta lokakuulle, jolloin lämmityskustannuksia ei tule. Rappaus tulee myös sääsuojata sateelta ja suoralta auringonpaisteelta esimerkiksi suojapeittein. Myös talvella tehtävä rappaustyö on mahdollista, mutta huomattavasti kalliimpaa. Suurissa

kohteissa koko rakennuksen lämmittäminen kerralla ei ole järkevää, joten rappaus jaetaan pienempiin osiin ja lämmitys jaetaan työn etenemisen mukaan. (Ekholm 2003, 42)

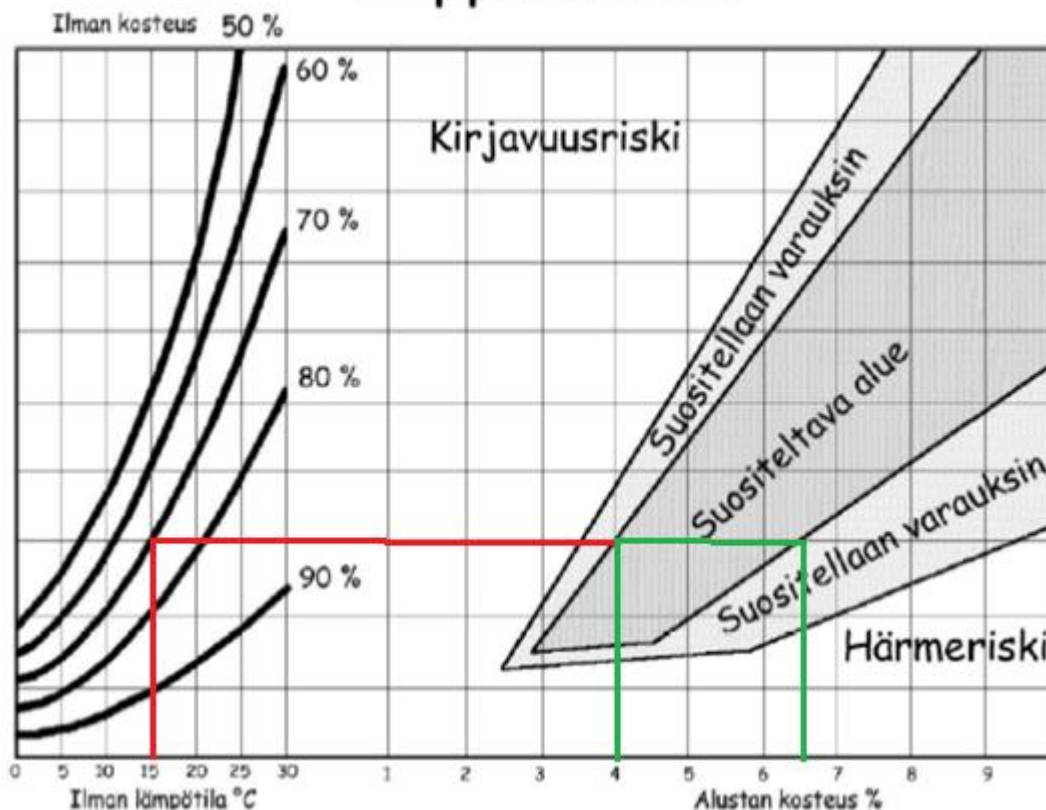
Kaikissa rappaustyön vaiheissa tulee varmistaa riittävä jälkihoito, jotta estetään laastien kuivumishalkeilu. Vallitsevat olosuhteet vaikuttavat jälkihoitoajan keston ja tarvittaviin toimenpiteisiin. Esimerkiksi kuivalla ja tuulisella säällä laastikerrokset ovat vaarassa kuivaa liian nopeasti. Tarvittaessa kastelua on jatkettava vuorokauden ympäri.

Ohutrappaus-järjestelmässä verkotuslaastin levityksen jälkeen kerrosta pidetään kosteana 1–3 vuorokautta vallitsevista olosuhteista riippuen. Ohutrappauksen pinnoitus tapahtuu verkotuslaastikerroksen kovetuttua. Pinnoitus tehdään tyypillisesti 1–3 vuorokauden kuluttua verkotuslaastikerroksen levittämisestä. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 42).

Paksurappaus-eristejärjestelmässä pohja- ja täyttörappauksen jälkihoito kestää olosuhteista riippuen 2–3 vuorokautta. Pintarappaus tehdään noin 5–7 vuorokauden kuluttua täyttörappauksen tekemisestä. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 67).

Sopiva laastin kosteuspitoisuus varmistaa laastin optimaalisen lujittumisen ja tartunnan. Liian nopea kuivuminen johtaa rappauskerroksen halkeiluun ja alentaa sen lujuutta. Lisäksi se aiheuttaa rappauskerroksen vedenimukyvyyn parantumista, joka aiheuttaa rappauksen pitkäaikaiskestävyyden heikkenemiseen (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 42). Sopivia olosuhteita rappaustyölle voidaan määritellä tarkoitusta varten kehitetyn rappausavaimen avulla. (Ks. Kuva 9.)

Rappausavain



Kuva 9. Rappausavain (Saint-Gobain Weber OY Ab b)

Esimerkkinä rappauustyö 15°:en lämpötilassa ja ilman kosteuden ollessa 70 %, jolloin alustan kosteuspitoisuus tulee olla välillä 4 % - 6,5 %.

3.6 Pintavaihtoehdot

Rappauksen ulkonäköön vaikuttavat työtavat, käytettävä kiviaines ja värit. Ulkonäkö vaihtelee suuresti ja valinnassa kannattaa hyödyntää jo tehtyjä mallirappauksia. Väri voidaan tehdä maaleilla, värillisellä pintalaastilla tai sopivalla pesumenettelyllä. Pinnan koostumus valitaan työmenetelmän mukaan. Pintarappaus viimeistellään aina käsityönä ja erilaisia vaihtoehtoja ovat roiskepinta, hiertopinta, harjattu rappaus, reivityy rappaus ja pesupinta. (Kivitaloinfo.fi b)



Kuvat 10a ja 10b. Roiskepinta (Kivitaloinfo.fi b)



Kuva 11. Harjattu pinta (Kivitaloinfo.fi b)



Kuva 12. Hierretty pinta (Kivitaloinfo.fi b)



Kuva 13. Pesupinta (Kivitaloinfo.fi b)

Yleensä käytettävät rappaukset ovat vaaleita, sillä tummilla julkisivuilla värien kirjavuusriski ja härmeen näkyminen ovat tyypillisempiä ongelmia (Kivitaloinfo.fi b).

3.7 Akustiikka

Ilmääneneristävyydellä tarkoitetaan rakenteeseen kohdistuvan ja rakenteen läpi menevän äänitehon suhdetta. Suurin ääneneristävyyteen vaikuttava ominaisuus on rakenteen massa. Eristerapatun elementin massa on lähes puolet pienempi verrattuna betonisandwich-elementtiin, joten myös äänitekniset ominaisuudet ovat hyvin erilaiset.

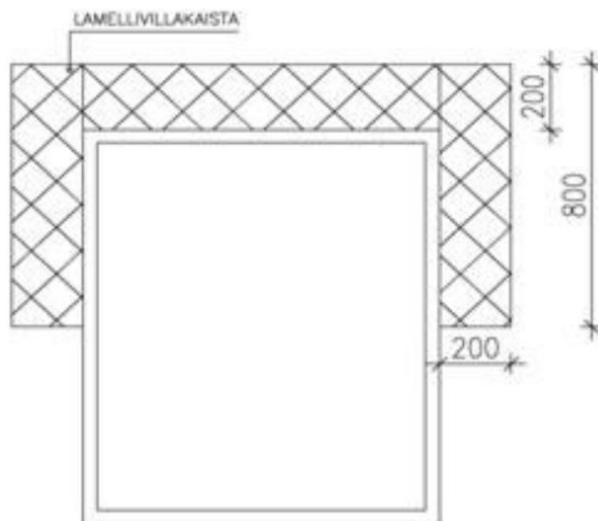
Rapatussa elementissä sisäkuoren suositellaan olevan ainakin 150 mm paksu, jotta saavutetaan rakentamismääräyskokoelman mukainen minimivaatimus, joka on 55 db. Lämmöneristetyyppi ja rappauksen paksuus vaikuttavat ilmääneneristävyyteen. Rakennusakustiikkaa voidaan parantaa huomattavasti panostamalla ääneneristävyydeltään tasokkaisiin ikkunoihin. Ulkovaipan ääneneristävyyttä arvioidessa tulee huomioida kaikki rakenneosat ja pinta-ala suhteet. Liitosten tiivistäminen täytyy tehdä erityisen huolellisesti, sillä jo pelkkä kuivumishalkeama voi laskea ääneneristävyyttä huomattavasti.

3.8 Palomääräykset

Palomääräyksiin vaikuttaa rakennuksen paloluokka, joita ovat vaativuus järjestyksessä P0, P1, P2 tai P3. Palosuojauksen tarkoituksena on hidastaa palon etenemistä. Sen ideana on katkaista palo osastoittain tai rakennusosittain. Palo ei saa levitä ulkoseinän kautta palo-osastosta toiseen palonkestoajan kuluessa (Ym.fi b.) Ulkoseiniltä ei kuitenkaan yleensä vaadita osastoivuutta. Rapattussa elementissä lähes ainoa palava materiaali löytyy ikkuna- ja oviaukkojen liitoksista, joita ovat esimerkiksi puiset apukarmit ja ikkunapuitteet. Elementtijärjestelmissä elementtien saumojen eristeet toimivat samalla palokatkoina. Ne tehdään mineraalivillakaistaa käytettäessä lamellivillasta ja PU- eristeitä käytettäessä polyuretaanivaahdolla.

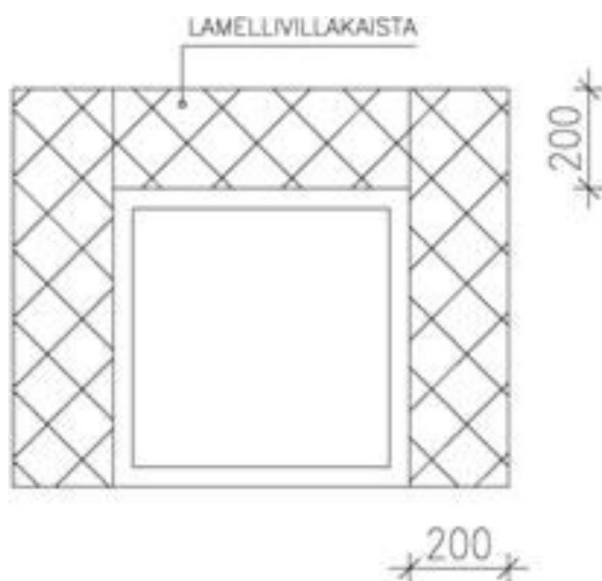
Ohutrappaus-eristejärjestelmissä lämmöneristeille kohdistuvat vaatimukset riippuvat rakennuksen paloluokasta. P1-luokan rakennuksessa käytettävien rakennusmateriaalien tulee täyttää B-s1, d0 vaatimukset. P2-luokassa rakennustarvikkeille ei aseteta erityisiä vaatimuksia, jos rakennuksen runko täyttää R30 luokan. P3-luokan rakennuksessa käytettäville rakennustarvikkeille ei ole asetettu tarkempia vaatimuksia. Paksurappaus-eristejärjestelmissä lämmöneristeinä käytettävä mineraalivilla täyttää luokan B-s1, d0.

Ikkuna aukkoihin palokatkot tehdään aukon sivuille ja yläpuolelle lamellivillalla, koska se soveltuu ominaisuuksiltaan käytettäväksi eristerappauksissa. Aukon alapuolelle lamellivillaa ei laiteta kosteusteknisistä syistä. Rappausalusta valitaan S-luokkaisena, joka on vaikeasti syttyvää ja vastaa eurooppalisissa paloluokissa vähintään E-luokkaa. (Elementtisuunnittelu.fi a). Aukkojen palosuojausdetaljit ovat huomioitava ohutrappaus-eristejärjestelmässä, jossa tyypillisesti käytetään kovia eristeitä.



Kuva 14. Keskikokoisten ja suurten aukkojen palosuojaus (Elementtisuunnittelu.fi a)

Keskikokoisissa ja suurissa aukoissa villakaista ulottuu aukon puoleen väliin saakka, mutta on kuitenkin korkeintaan 800 mm korkea. (Elementtisuunnittelu.fi a)



Kuva 15. Pienten aukkojen palosuojaus (Elementtisuunnittelu.fi a)

Pienet aukot (600x600) kierretään yläpuolelta ja sivuilta lamellivillakaistaleilla. (Elementtisuunnittelu.fi a) Tässäkin tapauksessa kaistaleen korkeus on maksimissaan 800 mm.

4 MITOITUS

Rapatun elementin mitoittaminen jaetaan pienempiin osa-alueisiin. Elementin kantava sisäkuori, vaijeri- ja nostolenkit mitoitetaan kuten tavallisessa teräsbetonisessa sandwich-elementissä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään eristerappausjärjestelmien mitoittamiseen. Rappaus muodostaa aina yhtenäisen kokonaisuuden ja ei ole merkitystä tehdäänkö rakennus rapatuista elementeistä vai paikallavalaen. Rappausjärjestelmät mitoitetaan staattisille kuormille, tuulen paineelle ja -imulle, isku- ja törmäyskuormille, sekä rappauksessa vaikuttaville pakkovoimille.

4.1 Omapaino

Paksurappaus-eristejärjestelmissä rappaus kiinnitetään alusrakenteeseen mekaanisin kiinnikkein. Kiinnikkeet mitoitetaan rappauksen omapainolle, sekä tuulikormille. Paksu- eli kolmikerros-eristerappauksen omapainona käytetään yleensä arvoa $0,6 \text{ kN/m}^2$ ja ohutrappaus-eristejärjestelmissä $0,15\text{--}0,2 \text{ kN/m}^2$. Mekaanisten kiinnikkeiden mitoittamista varten tulee suunnittelijan selvittää käytettävän eristeen tiheys ja eristepaksuus. Yleensä suurin omapaino koostuu ulkopinnan rappauskerroksesta. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 55.)

	Mineraalivilla		EPS	PU
	Levy	Lamelli		
Tiheys(kg/m^3)	80-120	60-80	15-20	30-35

Taulukko 4. Suuntaa antavia tiheyksiä eristeille. Tiheys voi vaihdella eristeiden tuotantotavasta johtuen. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 30.)

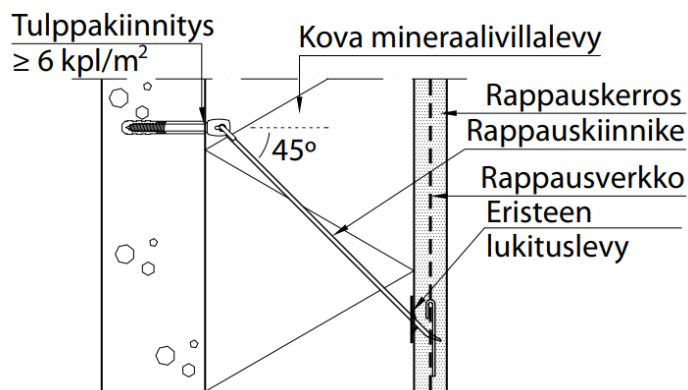
4.2 Tuulikuorma

Tuulikuormaan vaikuttavia tekijöitä ovat rakennuksen korkeus, geometria ja sijainti. Tuulen paine työntää rappausta seinää vasten, ja kuormittaa eristeitä. Eristeisiin kohdistuu myös rappauksen aiheuttama vaakavoima. Jos eriste pääsee kokoonpuristumaan, johtaa se rappauksen laskeutumiseen.

	Mineraalivilla		EPS	PU
	Levy	Lamelli		
Puristuslujuus, (SFS-EN 826)	≥40 kPa	≥40 kPa	≥70 kPa	≥70 kPa
Vetolujuus, liimakiinnitys EN 1607		≥80 kPa	≥100 kPa	≥60 kPa
Vetolujuus, mekaaninen kiinnitys EN 1607	≥15 kPa		≥100 kPa	≥100 kPa
Leikkauslujuus EN 12090	≥20 kPa	≥20 kPa	≥50 kPa	≥30 kPa
Leikkausmoduuli EN 12090	≥1 MPa	≥1 MPa	≥1 MPa	≥350 kPa

Taulukko 5. Eristerappausjärjestelmissä käytettävien eristeiden ominaisuuksia (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 32).

Rappauksen kannalta erityisesti huomioitava on tuulen imupuoli, joka on suurinta rakennuksen nurkissa ja yläreunoissa. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 55.) Mekaanisilla kiinnikkeillä minimoidaan rappauksen pystyliike ja on havaittu, että tämän estämiseksi on tehokkainta asemoida kiinnikkeet noin 45 asteen kulmaan.



Kuva 16. Periaatekuva paksurappaus-eristejärjestelmässä käytettävästä mekaanisesta kiinnikkeestä (betoni.com, 2011, 52).

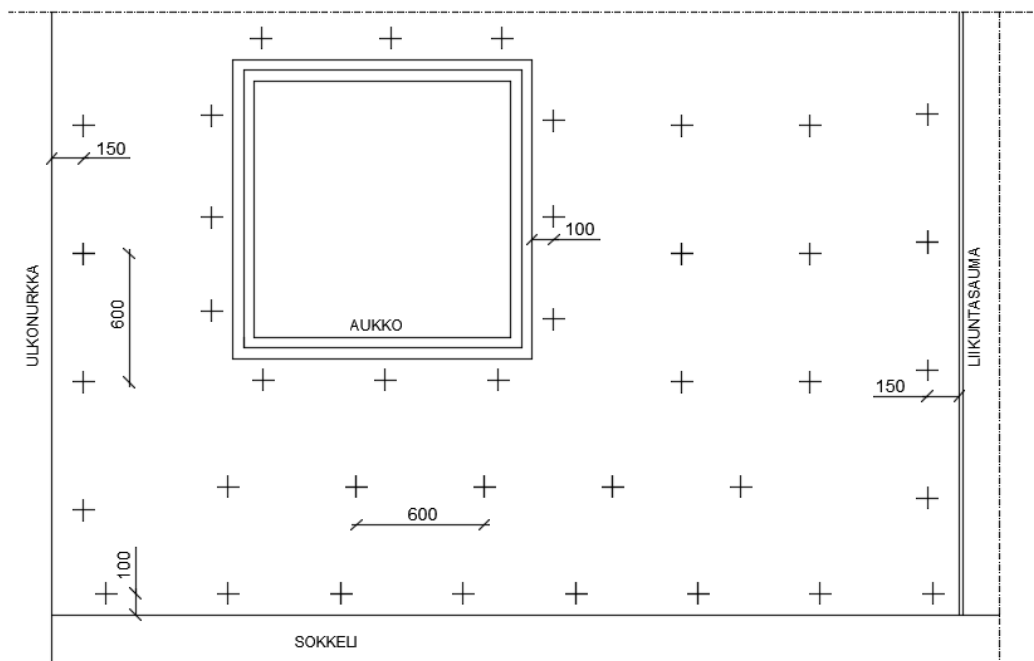
Tuulen imu voi aiheuttaa rappaukselle vetoketjumurron. Tämä tarkoittaa tyypillisesti rappauksen yläreunasta alaspäin nopeasti tapahtuvaa halkeamista, joka nimensä mukaisesti muistuttaa vetoketjun aukaisemista. Riski on todellinen etenkin ohutrappaus-eristejärjestelmissä, joissa rappaus on kiinni rappausalustassaan vain laastitartunnalla

(julkisivuyhdistys.fi, 20). Vetoketjumurron ehkäisemiseksi rappaus kiinnitetään yläreunasta ja nurkka-alueilta mekaanisilla kiinnikkeillä, tai rappausverkko viedään räystäällä seinän yli kiinni rakennuksen runkoon. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 27.) Rapatuissa elementeissä verkko voidaan kiinnittää alusrakenteeseen jo tehtaalla, jolloin työmaalla verkko asennetaan pohjarappauslaastilla eristeeseen. Ohutrappauseristejärjestelmissä vetoketjumurtoa vastaan käytetään mekaanisia kiinnikkeitä ja muita toimenpiteitä rakennuksen ollessa yli 20 metriä korkea.

Mekaaniset kiinnikkeet estävät rappauksen painumista ja varmistavat rappauksen kiinnipysymisen omapainosta ja tuulikuormasta aiheutuvia voimia vastaan. Mekaanisia kiinnikkeitä käytetään kaikissa paksurappaus-eristejärjestelmissä, mutta myös ohutrappauksissa rappauksen yläosissa rakennuksen ollessa vähintään 20 m korkea. Mekaaninen kiinnike on ruostumattomasta teräksestä valmistettu, joka koostuu yleensä kolmesta osasta: ankkurointiosasta, haasta/helasta ja lukitussalvasta/levystä. (Kuva 13) Kiinnikemäärä on yleensä 3–6 kpl/m² ja kiinnikkeiden väli saa olla korkeintaan 400–600 mm riippuen kiinnikkeeseen kohdistuvasta kuormituksesta ja kiinnikkeen ankkurointilujuudesta (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 60). Mekaanisten kiinnikkeiden mitoituksessa huomioidaan riittävä varmuus, koska kiinnikkeisiin kohdistuvat voimat eivät jakaudu tasan, vaan vaihtelevat usean eri tekijän takia. Näitä ovat kiinnikkeiden vaihtelevat kulmat, rappauskerroksen lämpö- ja kosteusliikkeet sekä lämmöneristeiden vaihtelevat puristeyäkykyys ominaisuudet (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 61).

	Kiinnikkeiden minimilukumäärä (Kpl/m)	Kiinnikkeiden enimmäisetäisyys reunasta	Kiinnikkeiden enimmäisväli pysty- ja vaakasuunnassa
Aukkojen pielet	3 kpl	100 mm	600 mm
Ulkonurkat	3 kpl	100 - 150 mm	600 mm
Liikuntasaumamat	3 kpl	100 - 150 mm	600 mm
Sokkeli	3 kpl	100 mm	600 mm

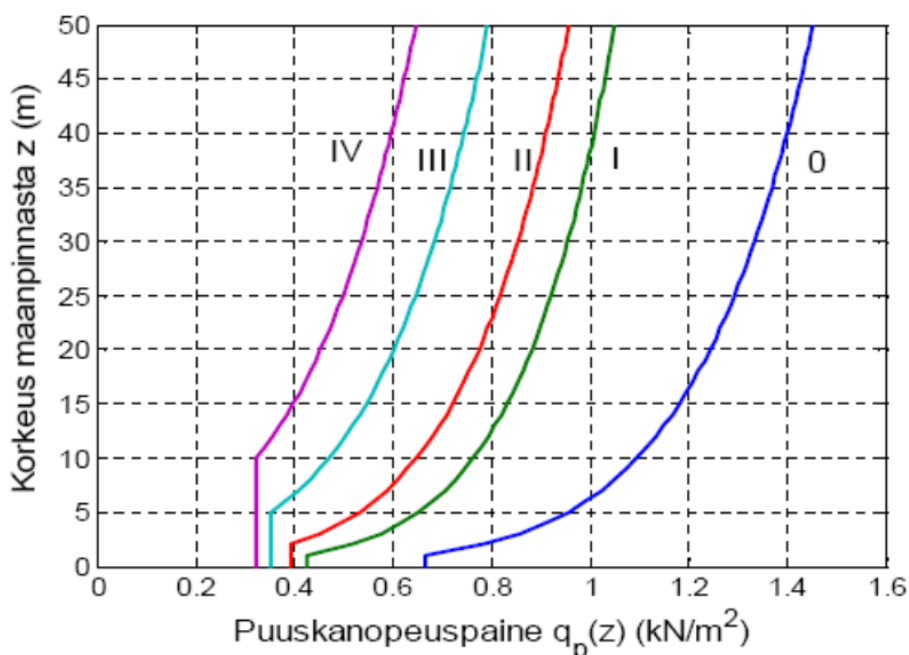
Taulukko 6. Mekaanisten kiinnikkeiden ohjeelliset lukumäärät (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 61).



Kuva 17. Kiinnikkeiden asentamisen periaatepiirros

Maastoluokat:	
0	Avomeri tai merelle avoin rannikko
I	Järvet tai tasanko, jolla on enintään vähäistä kasvillisuutta eikä tuuliesteitä
II	Alue, jolla on matalaa heinää tai siihen verrattavaa kasvillisuutta ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus
III	Alueet, joilla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä tuuliesteitä, joiden keskinäinen etäisyys on enintään 20 kertaa esteen korkeus (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä)
IV	Alueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennusten peitossa ja niiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m

Taulukko 7. Maastoluokkien määrittäminen (RIL201-1-2008)



Kuva 18. Tuulen puuskanopeuspaine eri maastoluokissa (RIL201-1-2008)

4.3 Esimerkkilasku

Lähtötiedot

Rakennus on 18 m korkea (6 kerrosta), ja sijaitsee rannikolla. Tuulea vastaan kohtisuoran pinta-alan suuruus on yli 10 m^2

→ Maastoluokka 0

Paksurappaus

Eriste: paksuus 100 mm ja tiheys 65 kg/m^3 → Paino = $100 \text{ mm} * 65 \text{ kg/m}^3 * 10^{-3}$
 $= 0,065 \text{ kN/m}^2$

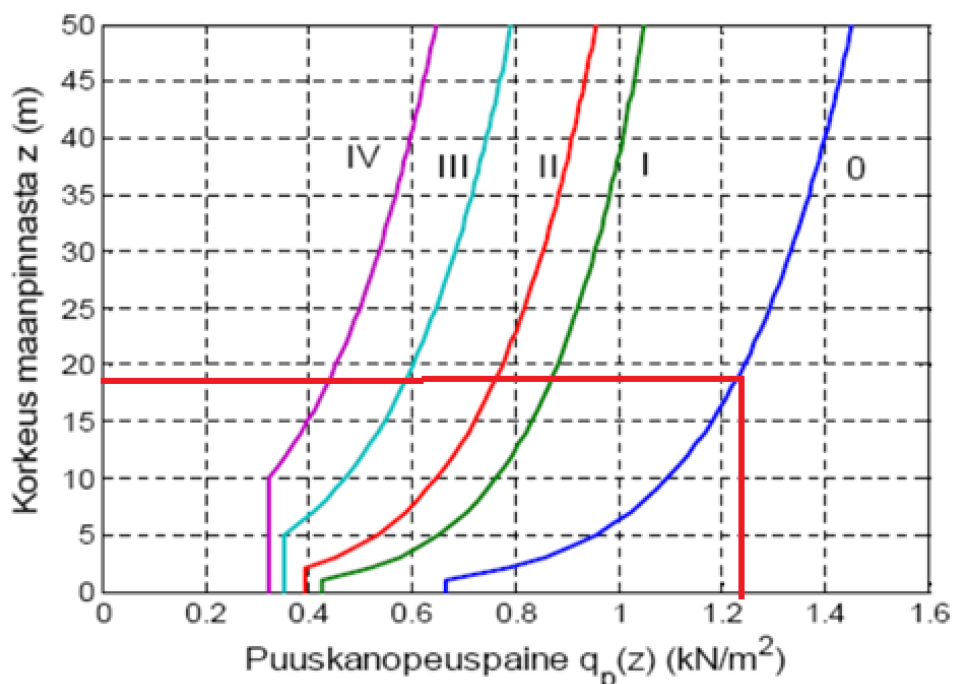
Rappaus: paksuus 20 mm ja paino $0,6 \text{ kN/m}^2$

Kiinnikeväli: 0,6 m

Omapainosta aiheutuva kuormitus

$G = (0,065 \text{ kN/m}^2 + 0,6 \text{ kN/m}^2) * 0,6 \text{ m} = 0,399 \text{ kN/m}$

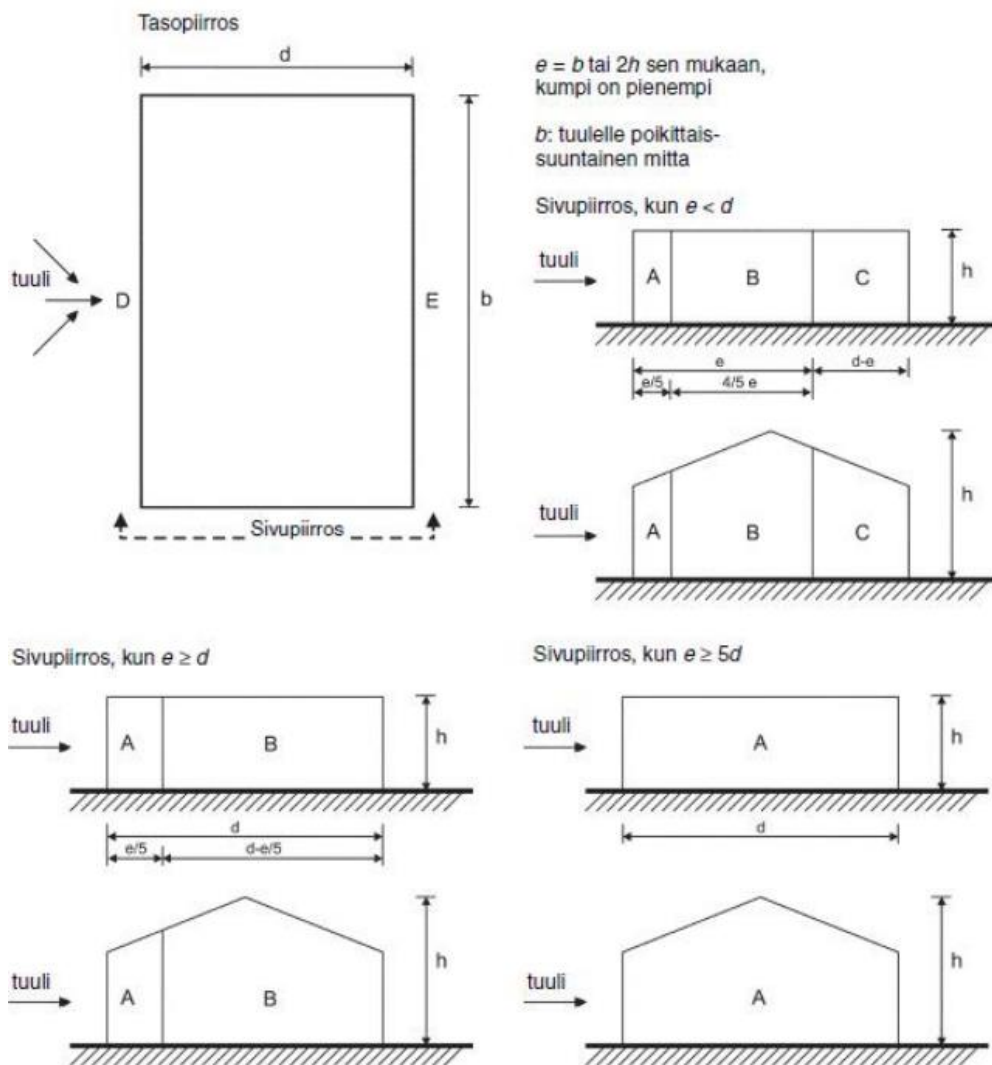
Tuulikuorma on helpoin määrittää pintapaineiden avulla. Määritetään puuskanopeuspaine $q_p(z)$. (Kuva 18.)



Saadaan $q_p(z)$ arvoksi $1,24 \text{ kN/m}^2$.

Tarkan arvon saa RIL 201-1-2011 taulukosta 4.2.S interpoloimalla, mutta ei ole väärin käyttää suurempaa arvoa.

Valitaan mitoittava tuulenpaineen arvo (c_{pe}) vyöhykekaaviosta



Vyöhyke	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Kaavio 1. Vyöhykekaavio. (RIL201-1-2008)

Sivujen pinta-alat yli 10 m^2

Paine:

$$c_{pe,10} = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

Vyöhykkeen tuulentapaine

$$w_e = q_p(z) * c_{pe,10} = 1,24 \text{ kN/m}^2 * 0,8 \text{ kN/m}^2 = 0,992 \text{ kN/m}^2$$

Tuulen aiheuttama puristusvoima (painevaikutus)

$$= \text{paine} * \text{kiinnikeväli} = 0,992 \text{ kN/m}^2 * 0,6 \text{ m} = 0,595 \text{ kN/m}$$

Imu:

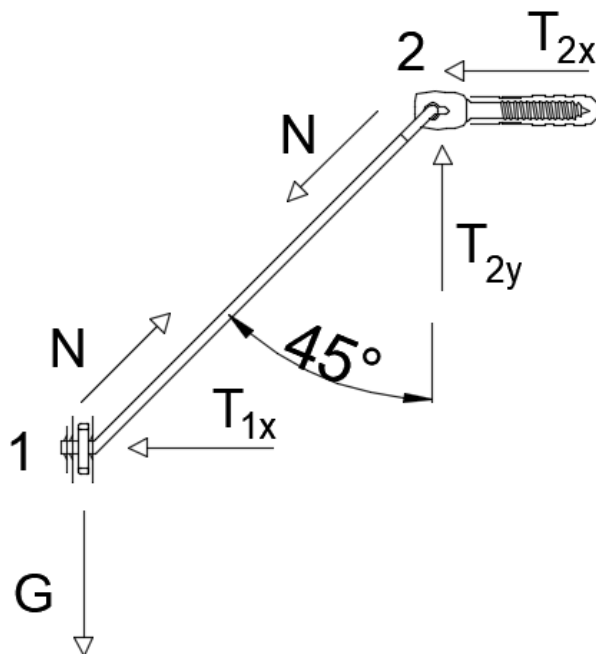
$$c_{pe,10} = -1,2 \text{ kN/m}^2$$

Vyöhykkeen tuulentapaine

$$w_e = q_p(z) * c_{pe,1} = 1,24 \text{ kN/m}^2 * -1,2 \text{ kN/m}^2 = -1,488 \text{ kN/m}^2$$

Tuulen aiheuttama vetovoima (imuvaikutus)

$$= \text{imu} * \text{kiinnikeväli} = -1.488 \text{ kN/m}^2 * 0,6 \text{ m} = -0,893 \text{ kN/m}$$



Kuva 19. Omapainosta ja tuulikuormasta aiheutuva voimakuvio

Kiinnikkeet 45° kulmassa

$$T_{2y} = 0,399 \text{ kN}$$

$$T_{2x} = T_{2y} / \text{TAN}(45) = 0,399 \text{ kN}$$

$$N = T_{2x} / \text{SIN}(45) = 0,56 \text{ kN}$$

$$T_{1x} = \text{Mitoittava tuulenpaine} * \text{kiinnikejako} / \text{TAN}45 = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

Tuulen paineesta ja rappauksen omapainosta johtuva mitoitusarvo

$$= 1,24 \text{ kN/m}^2 + 0,6 \text{ kN/m}^2 = 1,84 \text{ kPa}$$

Mitoitusarvo murtorajatilassa

$$= 1,15 * 0,6 \text{ kN/m}^2 + 1,5 * 1,24 \text{ kN/m}^2 = 2,55 \text{ kN/m}^2$$

Kiinnikkeet 30° kulmassa

$$T_{2y} = 0,399 \text{ kN}$$

$$T_{2x} = T_{2y} / \text{TAN}(30) = 0,691 \text{ kN}$$

$$N = T_{2x} / \text{SIN}(30) = 1,382 \text{ kN}$$

$$T_{1x} = \text{Mitoittava tuulenpaine} * \text{kiinnikejako} / \text{TAN}30 = 1,04 \text{ kN/m}^2$$

Tuulen paineesta ja rappauksen omapainosta johtuva mitoitusarvo
 $= 1,24 \text{ kN/m}^2 + 1,04 \text{ kN/m}^2 = 2,28 \text{ kPa}$

Mitoitusarvo murtorajatilassa

$$= 1,15 * 1,04 \text{ kN/m}^2 + 1,5 * 1,24 \text{ kN/m}^2 = 3,06 \text{ kN/m}^2$$

Kiinnikkeet 15° kulmassa

$$T_{2y} = 0,399 \text{ kN}$$

$$T_{2x} = T_{2y} / \text{TAN}(15) = 1,489 \text{ kN}$$

$$N = T_{2x} / \text{SIN}(15) = 5,753 \text{ kN}$$

$$T_{1x} = \text{Mitoittava tuulenpaine} * \text{kiinnikejako} / \text{TAN}15 = 2,24 \text{ kN/m}^2$$

Tuulen paineesta ja rappauksen omapainosta johtuva mitoitusarvo
 $= 1,24 \text{ kN/m}^2 + 2,24 \text{ kN/m}^2 = 3,48 \text{ kPa}$

Mitoitusarvo murtorajatilassa

$$= 1,15 * 2,24 \text{ kN/m}^2 + 1,5 * 1,24 \text{ kN/m}^2 = 4,44 \text{ kN/m}^2$$

Huomataan, että kiinnikekulman loiventuessa ankkurin kulman suuntaisen rasituksen ominaisarvo kasvaa.

Myös omapainon vaakakomponentti kasvaa, ja eristeen puristuslujuuden tulee kestää sen aiheuttama puristus.

Myös murtorajatilan mitoituskuorma on sitä pienempi, mitä jyrkemmässä kulmassa kiinnike on.

Kiinnikkeen kulma	N (kN)	T _{2x} (kN)	T _{2y} (kN)	T _{1x} (kN/m ²)	Tuulen paine ja rappauksen omapaino (kPa)	MRT
15	5,75	1,49	0,40	2,24	3,48	4,44
30	1,38	0,69	0,40	1,04	2,28	3,06
45	0,56	0,40	0,40	0,60	1,84	2,55
60	0,27	0,23	0,40	0,35	1,59	2,26

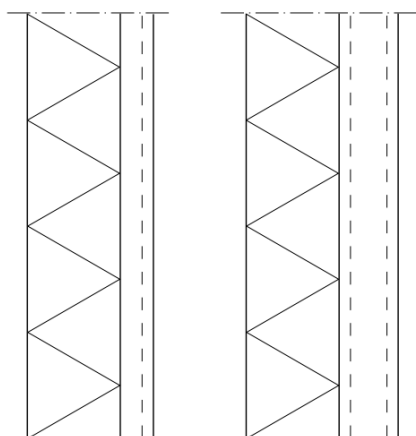
Taulukko 8. Tuulesta ja omapainosta aiheutuvat voimat eri kulmilla.

Näistä syistä kiinnikkeet tulee asentaa mieluiten vähintään 45° kulmaan. Tästä jyrkemmästä kulmasta ei ole enää merkittävää hyötyä (vertailuna vielä 60° kulma).

Murtorajatilän mitoitusarvo jaetaan yksittäisen kiinnikkeen kapasiteetilla, jolloin pystytään määrittämään riittävä kiinnikemäärä neliometriä kohti.

4.4 Isku- ja törmäyskuormat

Isku- ja törmäyskuormat pyritään estämään rappauksen raudoituksella sekä oikealla laastin ja eristeen yhdistelmällä. Mitä joustavampi rakenne on, sitä enemmän se kestää siihen kohdistuvia iskuja murtumatta. Rauditusverkkona voidaan myös käyttää panssariverkkoa, joka on normaalia lasikuituverkkoa joustavampi ja omaa korkeamman vetokestävyyden (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 30). Isku ja törmäyskuormat ovat oleellisia ohutrappaus-eristysjärjestelmässä ja etenkin rakennuksen alaosissa. Alimpien kerrosten julkisivut voikin olla järkevintä tehdä muulla tavoin, kuten tiili- tai puuverhouksella. Tuplaverkoituksella iskunkestävyys kasvaa merkittävästi.



Kuva 20. Ohutrappauksen rauditusverkkojen sijainnit, kun rappauksessa on yksi tai kaksi verkkoa. (Rakennustieto.fi, 91)

Luokka	Kuvaus	Iskunkestävyys
I	Katutason ja muut julkisivut, joissa rappaus on altis ihmisten aiheuttamille iskuille Julkisivuun ei saa kohdistua tavanomaista kovempaa räsitusta	10 J -isku ei aiheuta näkyviä halkeamia
II	Julkisivut, joihin voi kohdistua iskuja heitetyistä tai potkaistuista esineistä Sisäpihan julkisivut, joissa voidaan olettaa, että käyttäjillä on halu huolehtia julkisivujen kunnosta	10 J -isku ei aiheuta ympyränmuotoista läpileikkautunutta halkeamaa 3 J -isku ei aiheuta näkyviä halkeamia
III	Julkisivuun ei kohdistu ihmisten aiheuttamia suoria tai välillisiä iskuja	3 J -isku ei aiheuta ympyränmuotoista läpileikkautunutta halkeamaa

Käyttöluokka I: Alimman kerroksen katujulkisivut tai muut koville ihmisten aiheuttamille iskuille altistuvat alueet

Käyttöluokka II: Seinäalueet, jotka voivat altistua potkuille tai tavaroiden heittelyille mutta eivät ole suoraan kadun vieressä

Käyttöluokka III: Eivät todennäköisesti tule altistumaan ihmisten aiheuttamille tai tavaroiden heittelyille

Taulukko 9. Eristerappausjärjestelmän iskunkestävyysvaatimukset ETAG 004 mukaan eri käyttöluokilla (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 22)

Eristerappaukselle tehdään tehtaalla kolmen ja kymmenen joulen iskulujuuskoeket, jonka tuloksen perusteella määritetään sopiva käyttöluokka. (Rakennustieto.fi, 90)

4.5 Lämpötekniinen toiminta

U-arvo, eli lämmönläpäisykerroin kuvaa rakenteen lämmöneristyskykyä. Se kertoo, montako wattia lämpötehoa siirtyy rakenteen läpi neliometriä kohden, kun rakenteen yli on yhden asteen lämpötilaero. (energiatehokaskoti.fi) Lämpimän rakennuksen ulkoseinän vaadittu U-arvo on 0,17 W/m²K ja puolilämpimän tilan ulkoseinällä 0,26 W/m²K (ym.fi). Lämpö siirtyy rapatussa elementissä pääasiassa johtumalla kiinteän osan tai huokosissa olevan veden kautta, sekä konvektiolla. Rakenne on tuulettumaton, joten konvektio on suhteellisen vähäistä ilmatiiviyden takia.

Eristerapattu betonijulkisivu, Sisäkuori ≥ 120 mm

Eriste	Rappaus	λ_{Design} (W/mK)	Kiinnikkeet kpl/m ²	Eristepaksuus	U-arvo
mineraalivilla	ohutrappaus, (karmileveys 210 mm)	0,04	-	220	0,17
mineraalivilla	paksusrappaus	0,036	4	220	0,17
EPS	ohutrappaus	0,036	-	220	0,16
EPS	ohutrappaus	0,031	-	180	0,17
PUR/PIR	ohutrappaus (karmileveys 170 mm)	0,024	-	150	0,15

Talulukko 10. Eristerapattujen betonijulkisivujen U-arvo taulukko eri tapauksissa (Elementtisuunnittelu.fi b)

Lämmöneristeiden jatkuvuus on varmistettava tiivistämällä elementtien väliset saumat huolellisesti mineraalivillakaistaleella tai kovien eristeiden tapauksessa vaahdottamalla tiiviiksi.

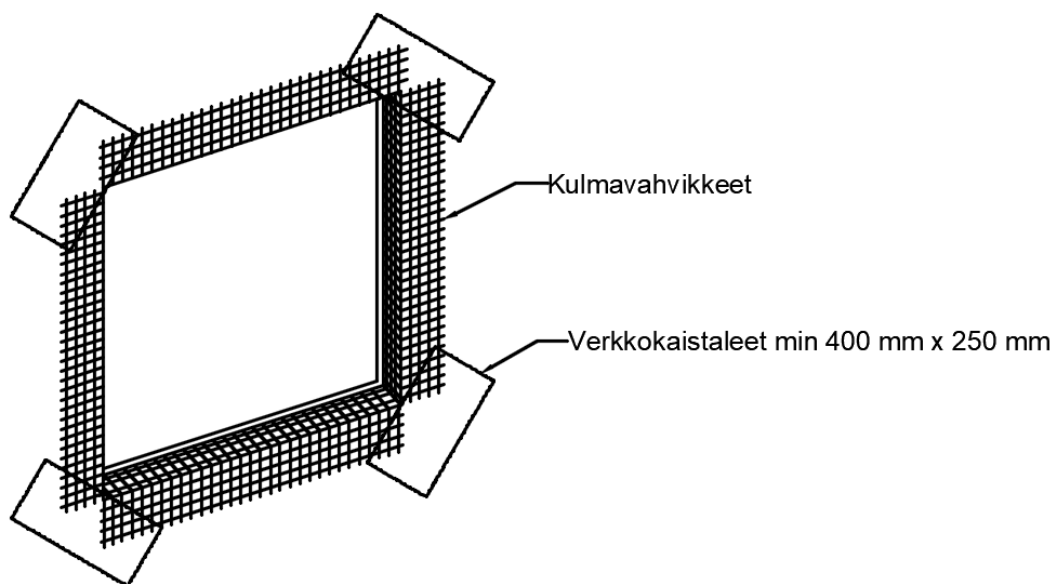
Kylmäsiltoja aiheuttavat pääasiassa erilaiset kiinnitysjärjestelmät, kuten tikkaiden, parvekelaattojen, valaisimien ja muiden osien kiinnikkeet. Ohutrappausjärjestelmässä ongelma on suurempi, sillä siinä lähes kaikki kiinnikkeet täytyy kiinnittää sisäkuoreen, sillä ohut rappauskerros ei kestä niitä. Kylmäsiltoja voivat myös lisätä rakenteeseen kerääntyvää kosteutta, sillä kastepiste voi muodostua eristeen läpi menevän kiinnikkeen pinnalle. (Elementtisuunnittelu.fi b.)

5 LIITOKSET JA DETALJIT

Kaikki elementtisaumat suunnitellaan siten, että ne pystytään työmaalla esteettä täyttörappaamaan. Elementtisaumat suositellaan juotosvalamaan pumppusaumaliitoksena, jotta valu ei paina eristettä irti betonista. Rappaus ei kestä juotosvalun painetta ilman lisätuentaa. (Parma.fi).

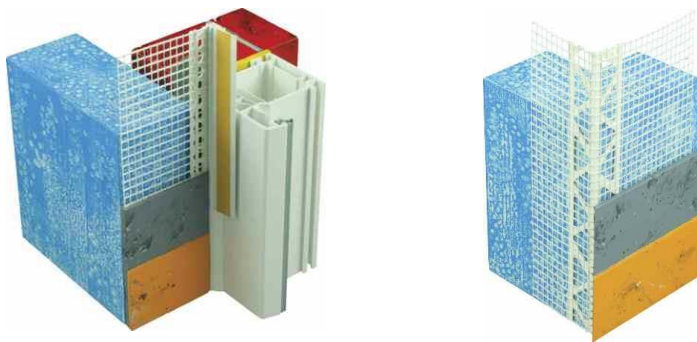
5.1 Ikkuna

Ikkunat asennetaan rapattuun elementtiin mahdollisuuksien mukaan jo tehtaalla. Tämä vaatii kuitenkin tehtaalta tarpeeksi tiloja, joten pienimmissä tehtaissa se ei ole mahdollista. Tehtaalla asennettuna ikkuna jää eristekerroksen suojaan ja elementti on helppo kuljettaa, käsitellä ja varastoida vaurioittamatta ikkunaa. Liitos on toteutettava todella huolellisesti, koska rappaus halkeaa todennäköisimmin aukkojen kuten tässä tapauksessa ikkunan reunasta. Kulmat vahvistetaan kulmaprofiililla ja ikkunaa vasten asennetaan smyygiprofiili, jolla rappaus tiivistetään ikkunaa vasten. Profiilissa on elastinen saumanauha, joka sallii rappauksen liikkeitä.

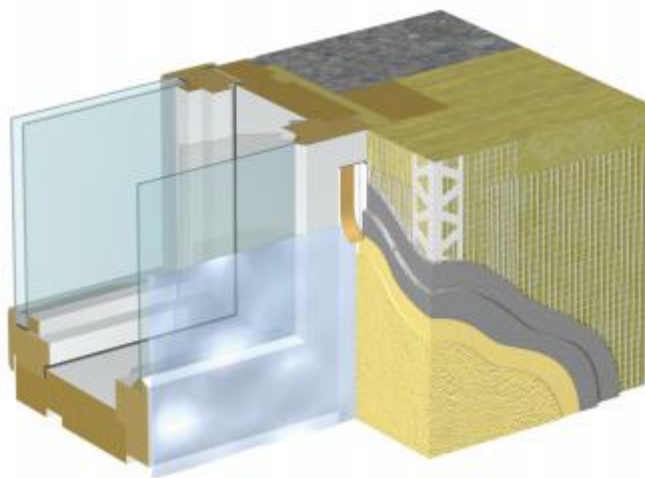


kuva 21. Periaate aukon kulmien nurkkavahvistuksista (Saint-Gobain Weber OY Ab a)

Ikkunan vesipelti asennetaan ennen rappausta huomioiden vähintään 30 asteen kallistus ja tippanokka. Ikkunapeltiin muotoillaan erityinen rappausreuna, jotta sadevedet eivät pääse valumaan rappauksen ja pellin väliin vaurioittamaan rakennetta.



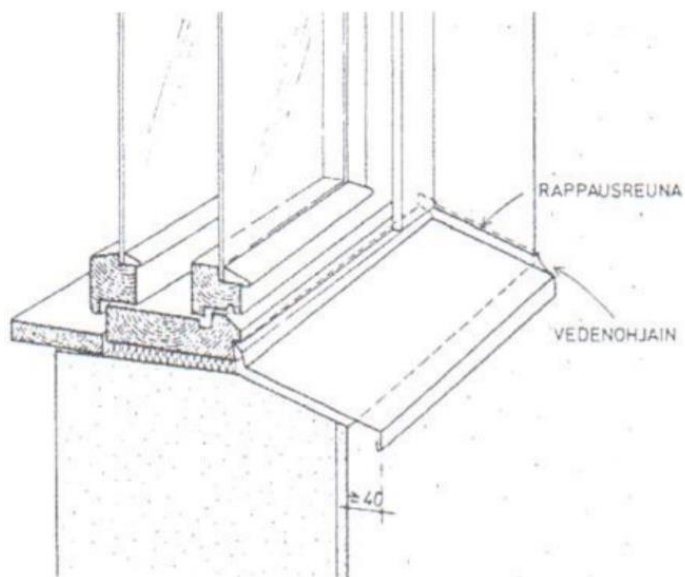
Kuva 22. Esimerkit ikkunan smyygi- ja kulmaprofileista (Laastikulma.fi)



Kuva 23. Esimerkki ikkunaprofiilista (Weber.fi)



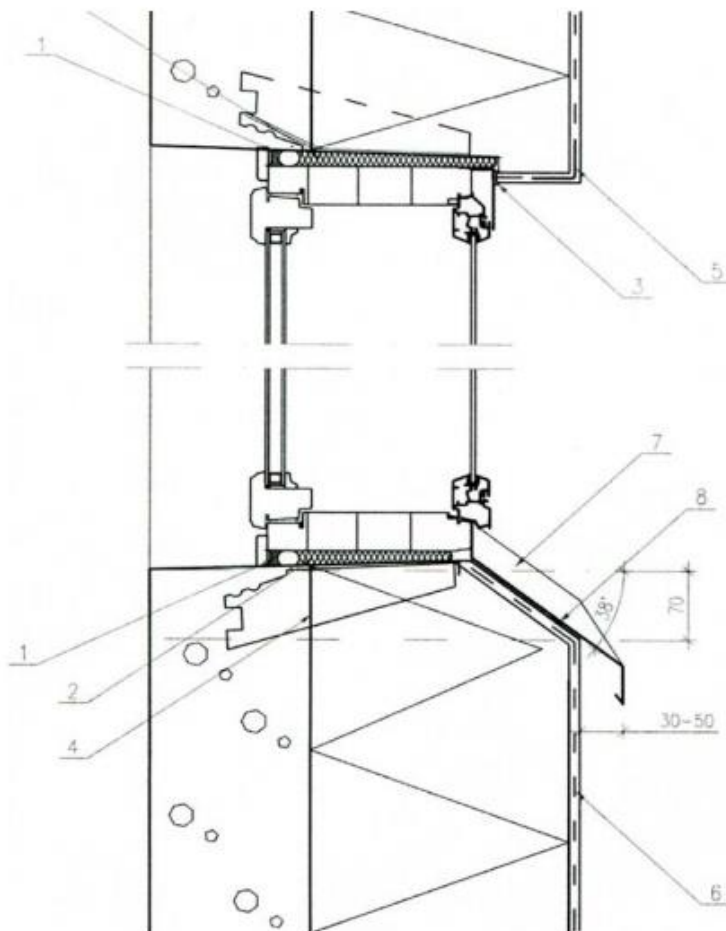
Kuva 24. Ikkunan vesipelti rappausreunalla (Maalarimestarien.fi)



Kuva 25. Ikkunapellin periaate (Lahdensivu. 2005, 61)



Kuva 26. Valmis ikkunaliitos (Alseccofinland.fi b)



- 1 saumanauha + kitti
- 2 saumatilke
- 3 rappauksen aloitusprofiili "apulista"
- 4 karmikenkä
- 5 kulmavahvike
- 6 rappaus 5 - 8 mm
- 7 vesipelti
- 8 liimakitti

Rappauksen / karmin liittymässä ns. apulista. Apulistan "tyyny" joustaa eri materiaalien rajapinnassa; ei tarvita erillistä kittäystä. Kulmaverkko ja rappaus ulotetaan apulistan pohjaan. Smyygit vahvistetaan muovi sella kulmalistalla. Paksummat smyygitäytöt voidaan tehdä esim. Armatop A -laastilla.

Karmin kiinnitys joko apukarmin tai karmikenkien avulla. Huomioitava apukarmin sijainti.

Apukarmin päällä oltava väh. 50 mm (mieluummin enemmän) eristettä. Eristeen kiinnitys apukarmin päällä varmistettava ruuvi-kiinnikkeillä.

HUOM. Jotta välttyttäisiin työmaalla smyygitäytöiltä, elementin eriste tuodaan n. 10 mm ohi aukon, ja kolotaan karmin sijainnin mukaan.

Ikkunavesipenkin eriste viistetään tehtaalla.

Käytetään vesipenkin kohdalla eristettä EPS 60 S 200 mm korkea soiro, joka tehtaalla valmiiksi viistetty.

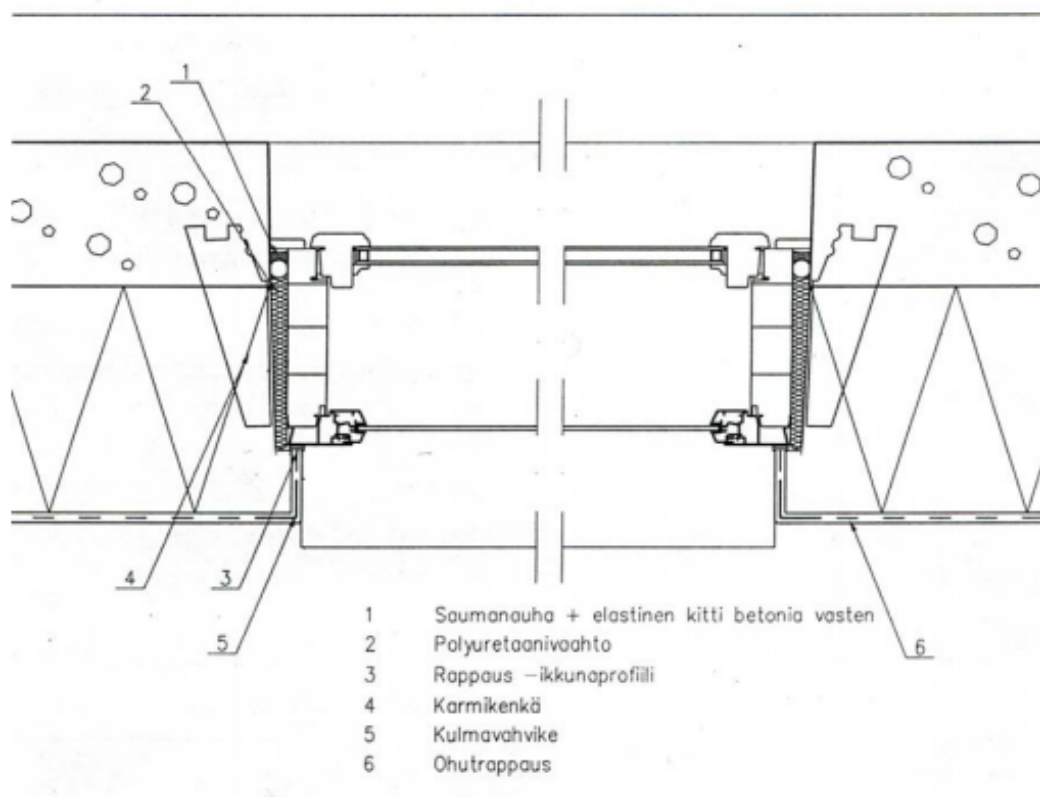
Myös vesipenkki rapataan karmiin saakka.

Jos vesipelti asennetaan rappauksen jälkeen, vesipenkki pinnoitetaan karmiin saakka.

Pelti kiinnitetään karmiin ruuveilla ja vesipenkkiin asennusliimalla. Smyygien pystynostot kitataan silikonipohjaisella kitillä.

Jos vesipelti asennetaan ennen pinnoitusta, vesipenkin pohjan tulee kuitenkin olla pohjarapattu.

Detalji 1. Ikkunan pystyleikkaus (Alseccofinland.fi b)



Rappauksen / karmin liittymässä ns. apulista. Apulistan "tyyny" joustaa eri materiaalien rajapinnassa; ei tarvita erillistä kittäystä. Kulmaverkko ja rappaus ulotetaan apulistan pohjaan. Smyygit vahvistetaan muovi sella kulmalistalla. Paksummat smyygitäytöt voidaan tehdä esim. Armatop A -laastilla tai eristesuikaleella.

Ikkunan kiinnitys joko karmikengällä tai apukarmilla. Huomoitava, että apukarmia käytettäessä apukarmin päällä oltava eristettä väh. 50 mm (mieluummin enemmän). Lisäksi eristeen kiinnitys tällöin varmistettava ruuvikiinnikkeellä. HUOM. Jotta välttyäisiin työmaalla smyygitäytöiltä, elementin eriste tuodaan n. 10 mm ohi aukon, jolloin se tavoittaa suoraan karmin ilman lisätäyttöjä.

Detalji 2. Ikkunan vaakaleikkaus (Alseccofinland.fi b)

5.2 Liikuntasäuma

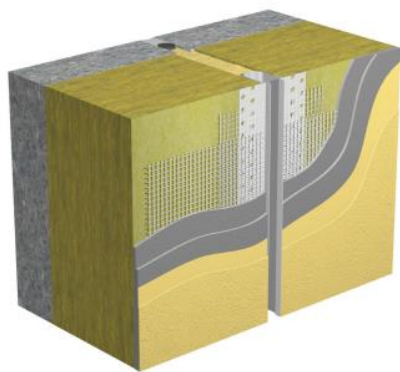
Liikuntasäumalla jaetaan rappauskenttä pienempiin alueisiin ja se mahdollistaa rappauskun lämpö- sekä kosteusliikkeet ehkäisten halkeilun syntyä. Liikuntasäuma tehdään aina rakennuksen rungon liikuntasäuman kohdille, mutta myös eri julkisivumateriaalien liittymissä. Elementtien väliset säumat tilkitään lamellivillakaistaleilla eristeen ollessa mineraalivillaa, ja vaahdottamalla kun elementeissä on muovipohjainen eriste.

Liikuntasäumat ovat helpoimpia toteuttaa tarkoitusta varten kehitetyillä liikuntasäumaprofiileilla, jotka asennetaan laastikerrokseen. Profiilin muodonmuutoskyvyn täytyy vastata liikuntasäumaan kohdistuviin liikkeisiin ja sen tulee toimia myös pakkaudessa sekä UV- säteilyn rasittamana. Liikuntasäumaprofiililla toteutetun säuman leveys on noin 5 mm.

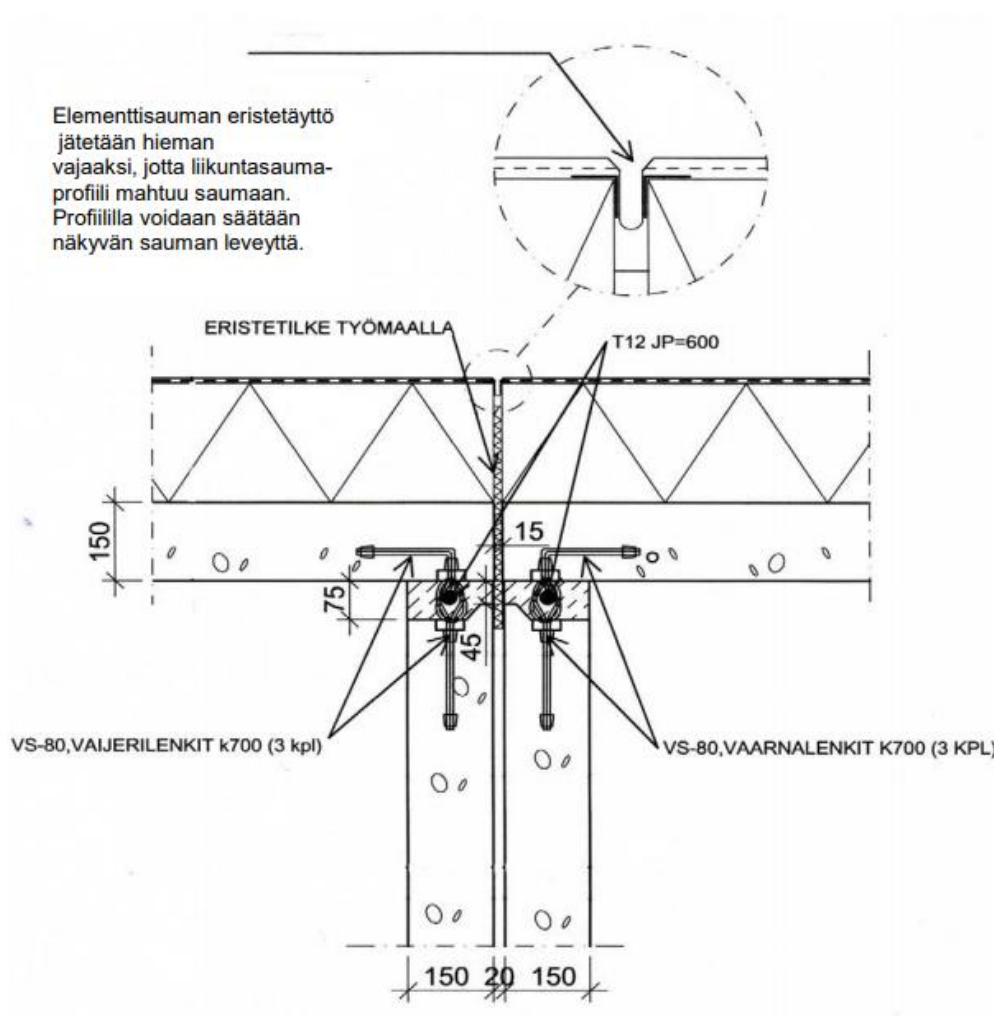
Toinen mahdollinen liikuntasäuman toteutustapa on jälkisähaus. Se toteutetaan sahaamalla koko rappaus poikki eristeeseen asti esimerkiksi kulmahiomakonetta käyttäen ennen pinnoitusta. Jälkisähausuksen haasteena on sen tiivistäminen sadeveden pitäväksi. Säuman tiivistäminen toteutetaan ensisijaisesti paisuvalla säumanauhalla, mutta myös elastisella säamausmassalla. Jälkisähatun säuman leveyden tulisi olla vähintään 10 mm, jotta tiivistys on mahdollista toteuttaa. Elastisella säamausmassalla tiivistäessä tulee huomioida, että ohuella rappauskerroksella ei yleensä saada riittävän leveää tartuntapintaa. Tartunta ohutrappaustaastiin ja pinnoitteisiin tulee varmistaa materiaalitoimittajalta. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 45.)

Paksurappaus-eristejärjestelmässä liikuntasäumoja tulee olla 12–15 metrin välein sekä vaaka- että pystysuunnassa. Lisäksi liikuntasäuma tulee suunnitella rakennuksen ulkonurkkiin, aukollisen seinäpinnan vaihtuessa umpinaiseksi, rungosta tulevien ulokkeiden ympärille, sekä rungon liikuntasäumojen kohdille. (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 70.)

Ohutrappaus-eristejärjestelmässä liikuntasäumoja ei yleensä tarvitse, koska rappaus muodostaa ohuen ja staattisen levyn kovan eristeen päälle, jonka takia sen lämpö- ja kosteusliikkeet ovat vähäisiä. Tässäkin järjestelmässä liikuntasäuma tulee tehdä rungon liikuntasäuman kohdalle.



Kuva 27. Esimerkki liikunsaumaprofiilista (Weber.fi)

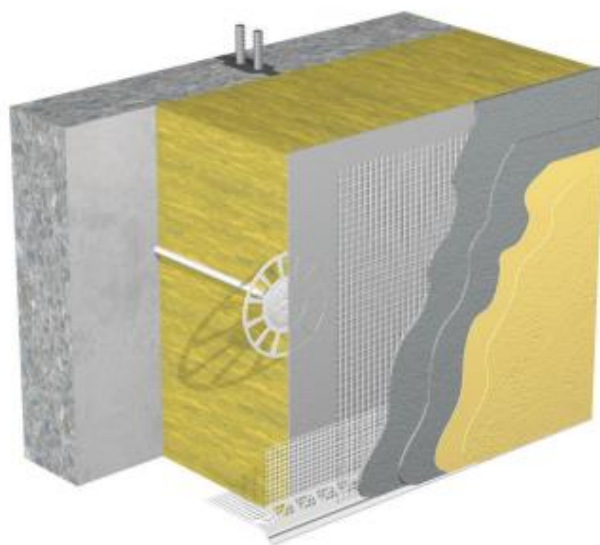


Rakenteellisen liikunsauman kohdalla elementtisauman leveys n. 20 mm
 Rappauksessa liikunsauma voidaan toteuttaa valmiilla liikunsaumaprofiililla.
 Liikunsaumaprofiilissa on elastinen "pussi", joka tulee sauman kohdalle, vahvikkeet sauman molemmin puolin ja verkkokaistaleet, jotka limitetään pohjaverkotukseen.
 Kittauksia ei tarvita.
 LS-profiilia on valkoista ja harmaata.
 Profiilia on sekä suoralle seinälle että sisänurkkaan.

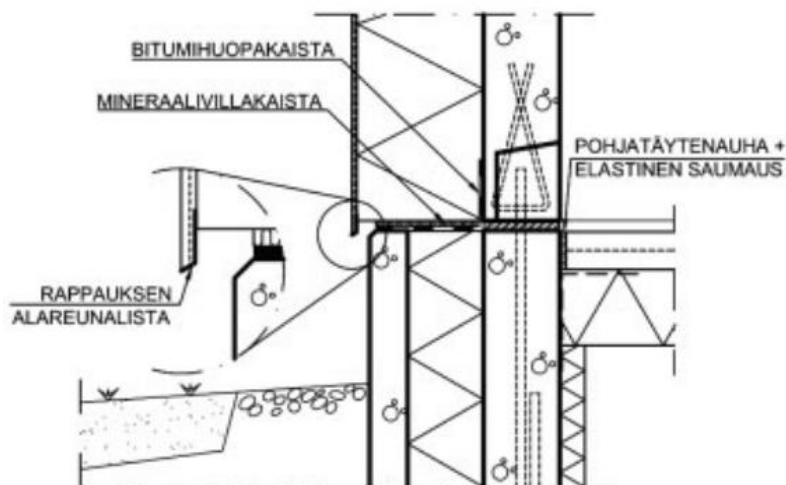
Detalji 3. Liikunsauma (Alseccofinland.fi b)

5.3 Sokkelin liittyminen elementtiin

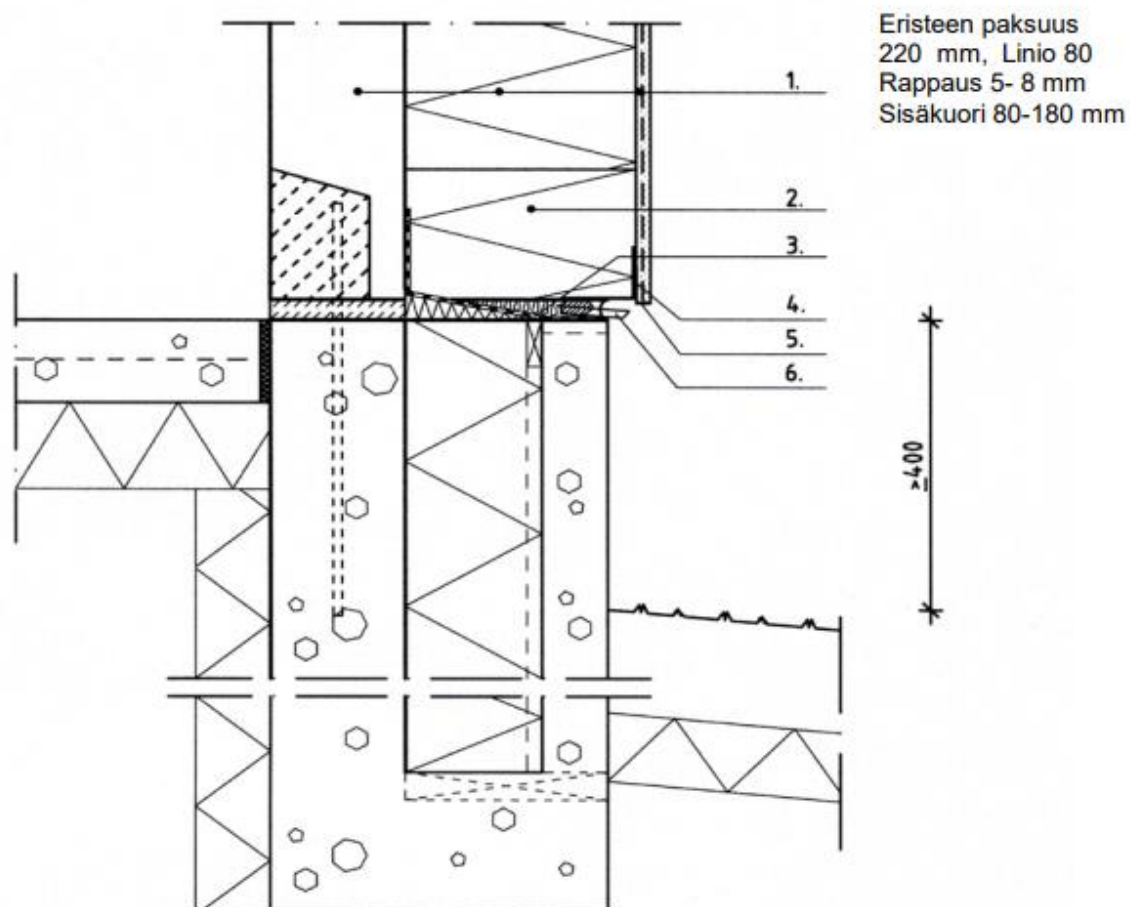
Tärkeää rapatun elementin ja sokkelin liittymässä on, että rappauksen ulkopinta tulee 10–15 mm sokkelin ulkopuolelle. Pitkän ajan kuluessa erityisesti paksurappaus todennäköisesti painuu. Jos rappaus on sokkelin tasossa, se alkaa kantamaan siitä ja luultavasti murtuu. Rappausreunan tulee olla viistottu eli ns. tippanokka, jotta kosteus valuu rappauksen ulkonurkasta pois eikä pääse imeytymään kapilaarisesti pohjarappauslaastiin. Sokkeliliittymässä käytetään valmiita aloitusprofileja, joissa on jo valmiiksi muotoiltu sopiva tippanokka ja kiinteä rauditusverkko. Profiilien käyttö helpottaa ja nopeuttaa pintarappausta, sillä ne asennetaan elementtiin jo tehtaalla. Rappauksen alareunan tulee olla maasta vähintään 300 mm korkeudella roiskeveden ja lian välttämiseksi.



Kuva 28. Esimerkki tippanokalla olevasta rappauksen aloitusprofiilista (Weber.fi)



Detalji 4. Sokkeliliitos (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 46)

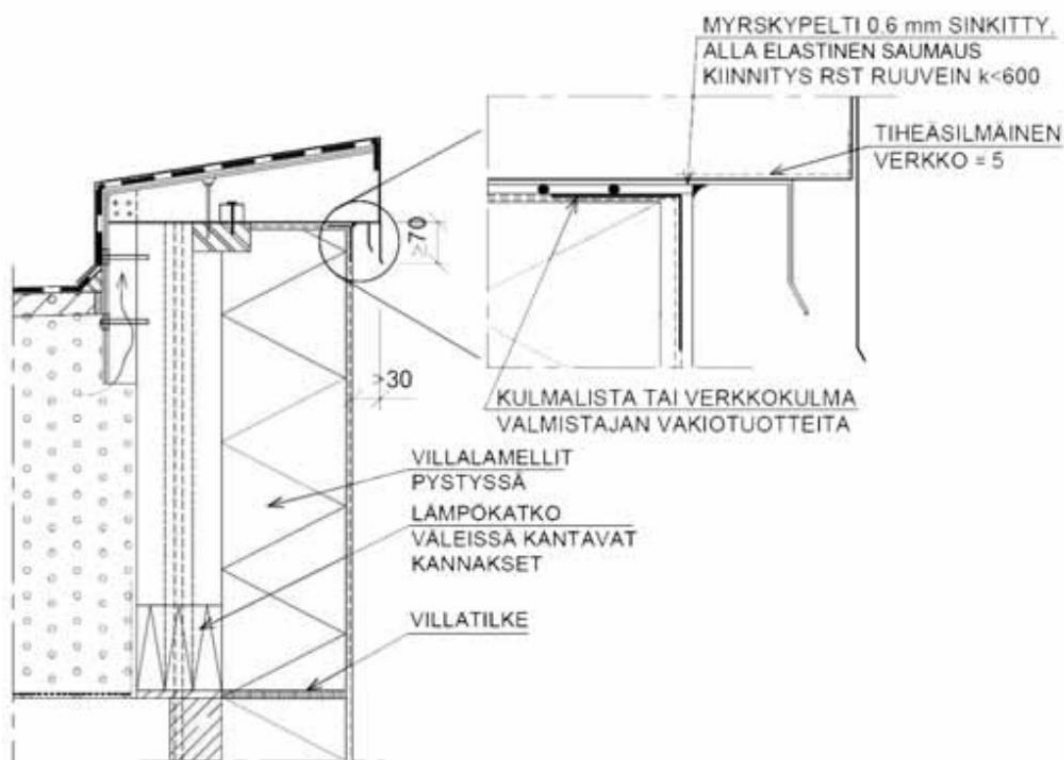


- 1 sisäkuori + eriste
 2 varaus 200 mm elementin eristyksessä tehtaalla; työmaalla asennetaan kiila kovalla eristeellä + bitumikermi+ eristepalan liimaus
 3 liimattava bitumikaista
 4 kulmavahvike
 5 tarvittaessa rappauksen rajalista
 6 alusnauha + elastinen kitti+ putket

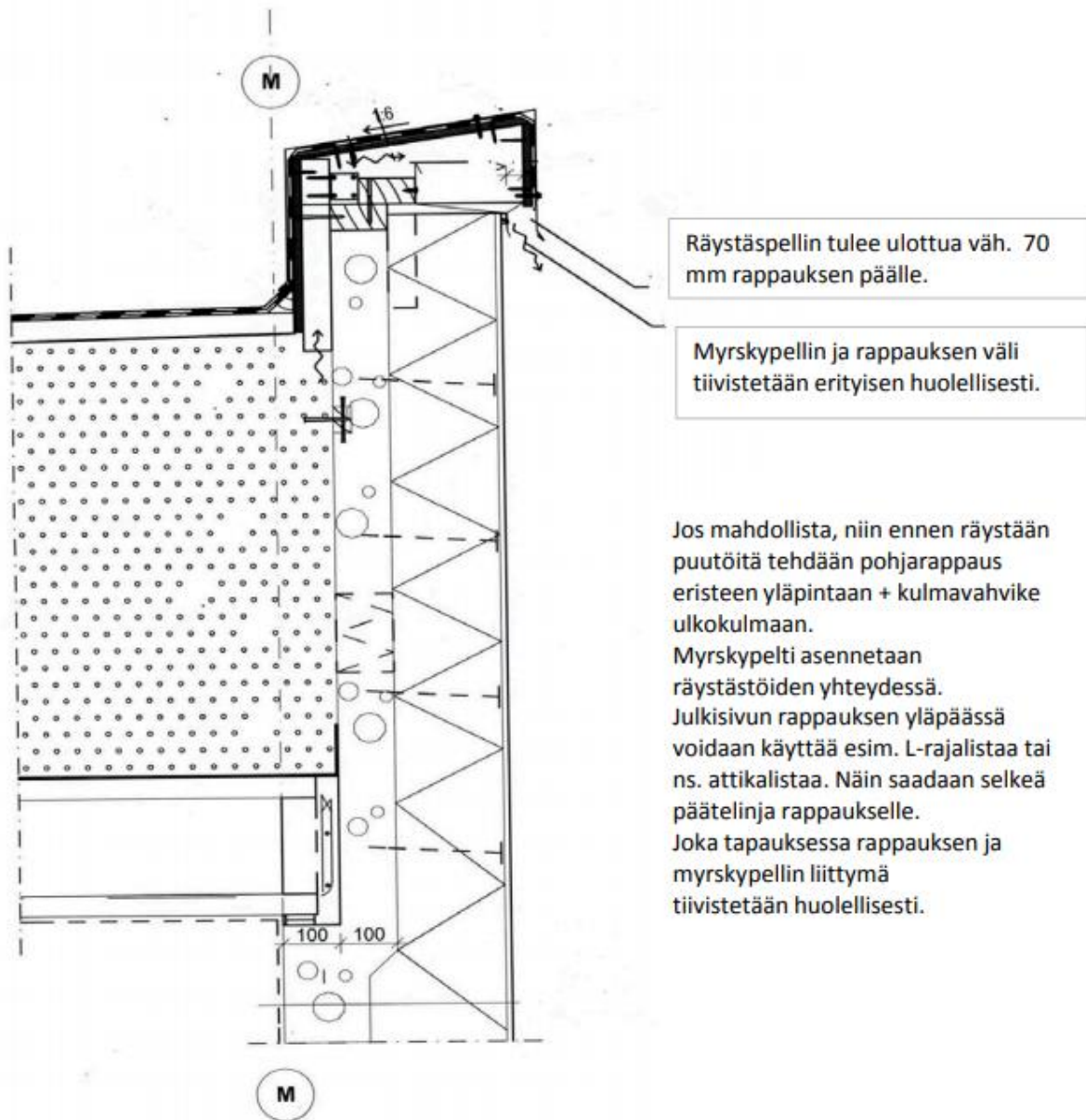
Detalji 5. Sokkeli liittymä (Alseccofinland.fi b)

5.4 Rästäs

Ulkonevat räystäät vähentävät rappaukselle kohdistuvaa viistosaderasitusta etenkin rakennuksen ylimmissä osissa. Kaikissa räystäästyypeissä tulee sadevedenpoistojärjestelmän olla toimiva ja estää sadeveden valumisen seinäpinnoille. Sadevesikourusta roiskuvan veden pääsy seinään estetään kourun alla olevalla suojapellityksellä. Rästäsliitoksessa huomioitavaa on erityisesti lumen ja muun kosteuden pääsyn estäminen rakenteeseen myrskypelleillä. Riittävä tuuletus tulee varmistaa. Rappauksen yläreunassa käytetään valmista kulmavahvike profilia. Mikäli tuulen imu on liian voimakasta erityisesti ohutrappausta käytettäessä, voidaan rappausverkko ylettää eristeen yli ja kiinnittää alusrakenteeseen.



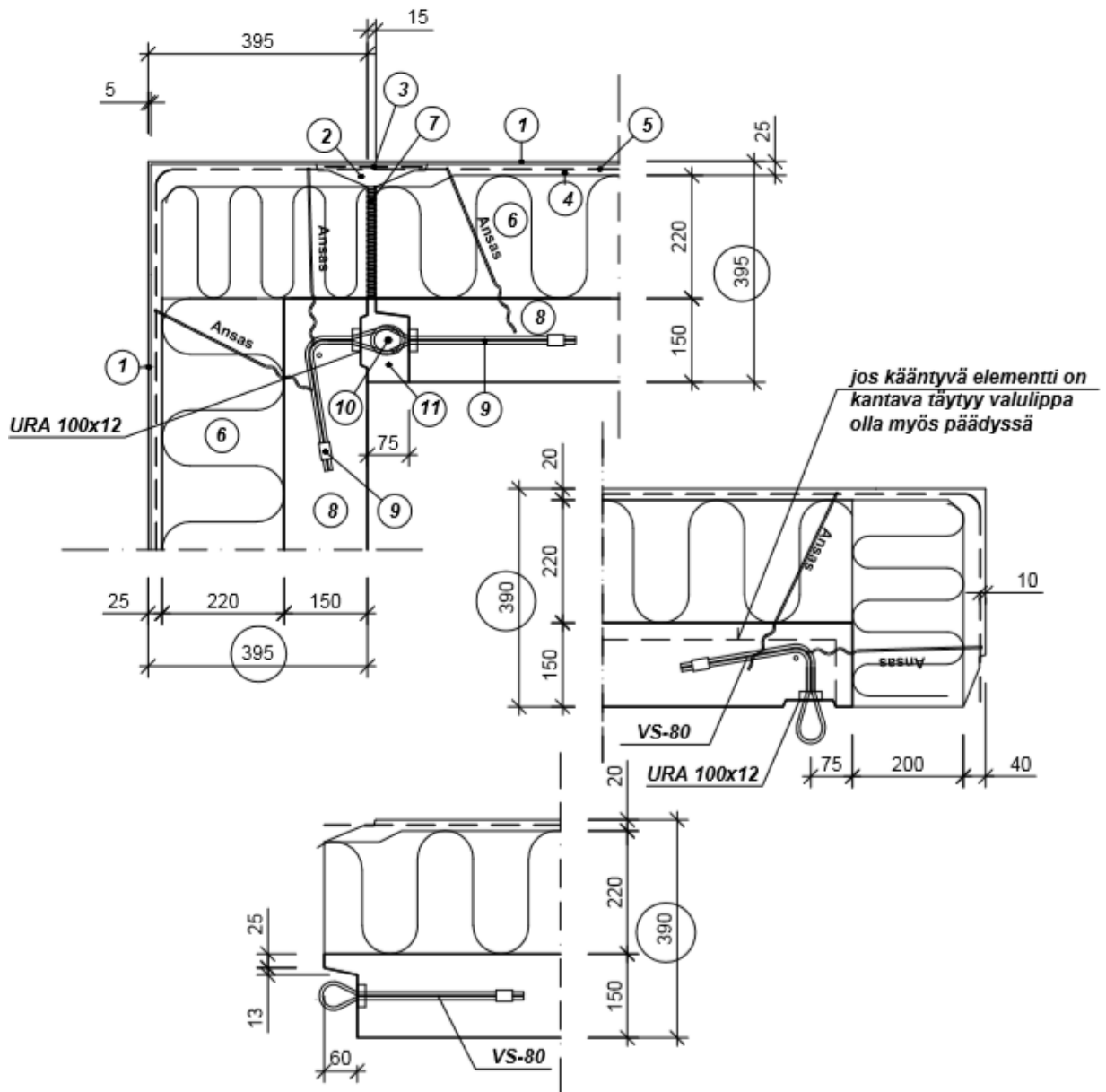
Detalji 6. Rästäsliitos (Lahdensivu, Annila & Pikkuvirta. 2016, 47)



Detalji 7. Räystäs (Alseccofinland.fi b)

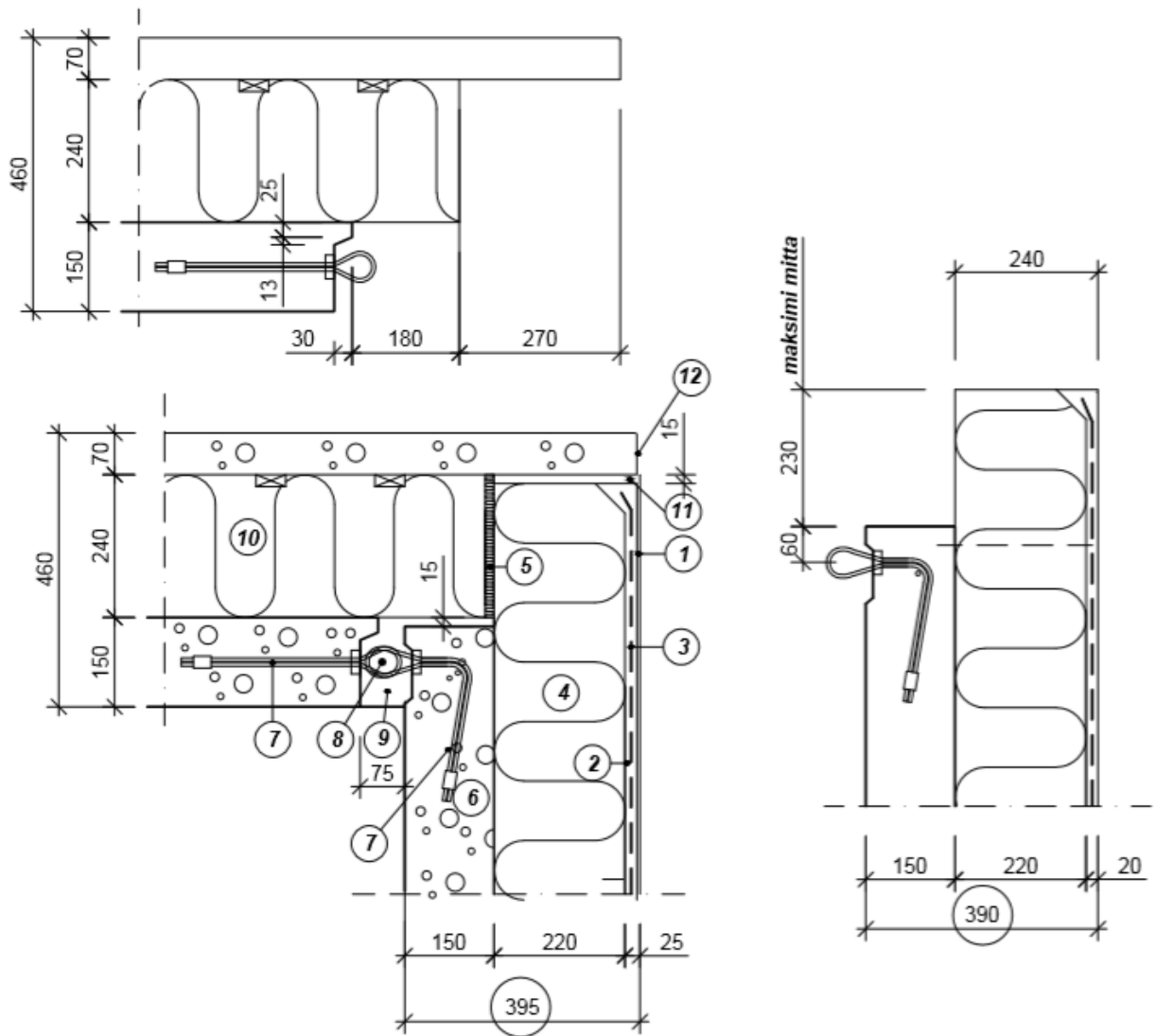
5.5 Rapatun elementin ulkokulma

Rapatun elementin ulkokulmassa rappauksen ja eristeen suurin sallittu ylitys elementin sisäkuoreen nähden on 230 mm.



- 1) Värillinen silikonihartsipinnoite, ruiskutetaan työmaalla, 5 mm.
- 2) Elementtien väliset saumat täytetään kuituvahvistetulla kalkkisementtillaastilla
- 3) Kuumasinkitty rappausverkkokaista, Ø1 mm, #20 mm, leveys 220 mm.
- 4) Pohjarappaus kuituvahvistettu kalkkisementtillaasti, 20 mm, rapataan tehtaalla
- 5) Kuumasinkitty rappausverkko, Ø1 mm, #20 mm, limitys 3 silmäväliä
- 6) OL-E mineraalivillaeriste 220 mm + rst siteet 2-leikkeiset, min 3 kpl/m² (rakenteen u-arvo <0,17)
- 7) Saumavilla, asennus elementtiasennuksen yhteydessä
- 8) Teräsbetoninen kantava sisäkuori, rakennesuunnitelmien mukaan
- 9) Vajjerilenkki, elementistä ulostuleva osuus 80 mm, 3 kpl / elementin pää
- 10) Saumateräs rakennesuunnitelmien mukaan
- 11) Juotosbetoni rakennesuunnitelmien mukaan, pystysaumot pumppusaumaus

Detalji 8: Vakio ulkokulma (Parma.fi)

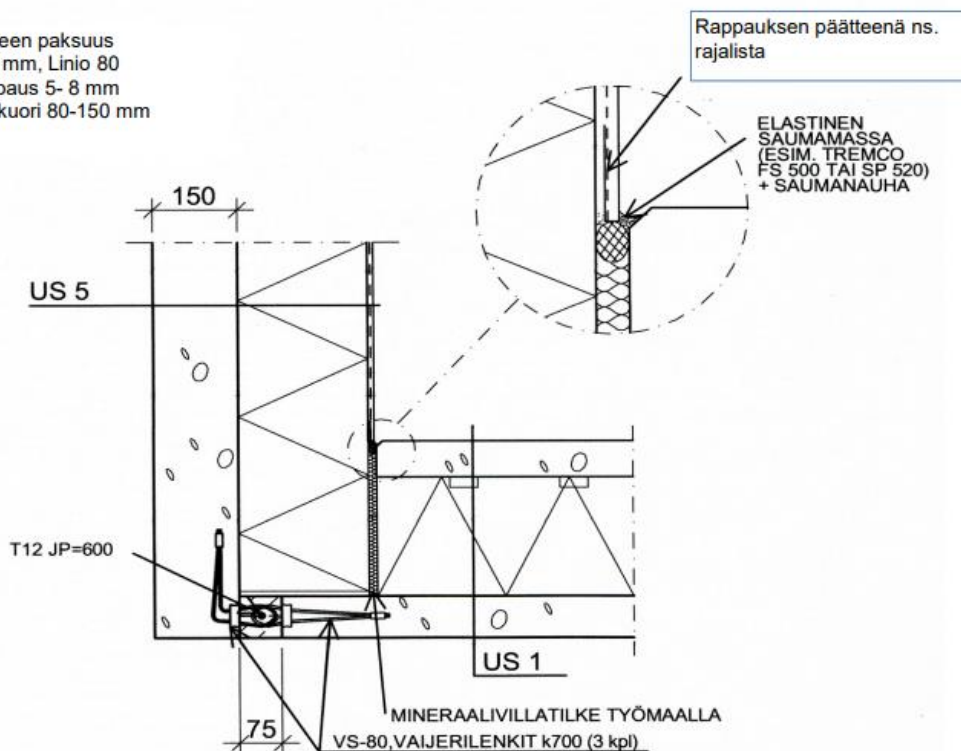


- 1) Värillinen silikonihartsipinnoite, ruiskutetaan työmaalla, 5 mm.
- 2) Pohjarappaus kuituvahvistettu kalkkisementtilaasti, 20 mm, rapataan tehtaalla
- 3) Kuumasinkitty rappausverkko, Ø1 mm, #20 mm, limitys 3silmäväliä
- 4) OL-E mineraalivillaeriste 220 mm + rst siteet 2-leikkeiset, min 3 kpl/m² (rakenteen u-arvo <0,17)
- 5) Saumavilla, asennus elementtiasennuksen yhteydessä
- 6) Teräsbetoninen kantava sisäkuori, rakennesuunnitelmien mukaan
- 7) Vaijerilenkki, elementistä ulostuleva osuus 80 mm, 3 kpl / elementin pää
- 8) Saumateräs rakennesuunnitelmien mukaan
- 9) Juotosbetoni rakennesuunnitelmien mukaan, pystysaumot pumppusaumaus
- 10) Kantava sandwich-elementti
- 11) Kittisauma
- 12) rappausalusta hienopesupinta

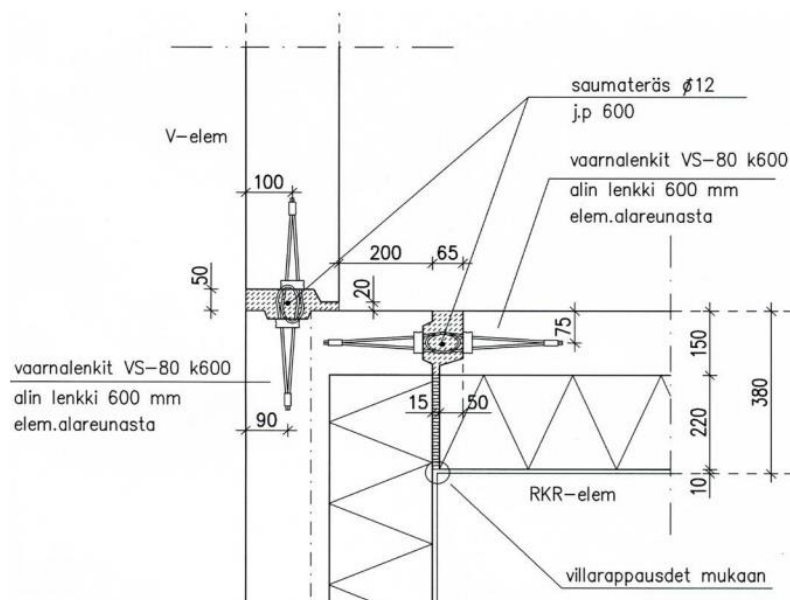
Detalji 9: Rappauksen ja sandwich elementin muodostaman elementin ulkokulma (Parma.fi)

5.6 Rapatun elementin sisäkulma

Eristeen paksuus
220 mm, Linio 80
Rappaus 5- 8 mm
Sisäkuori 80-150 mm



Detalji 10. Rapatun elementin ja sandwich elementin sisäkulma (Alseccofinland.fi b)



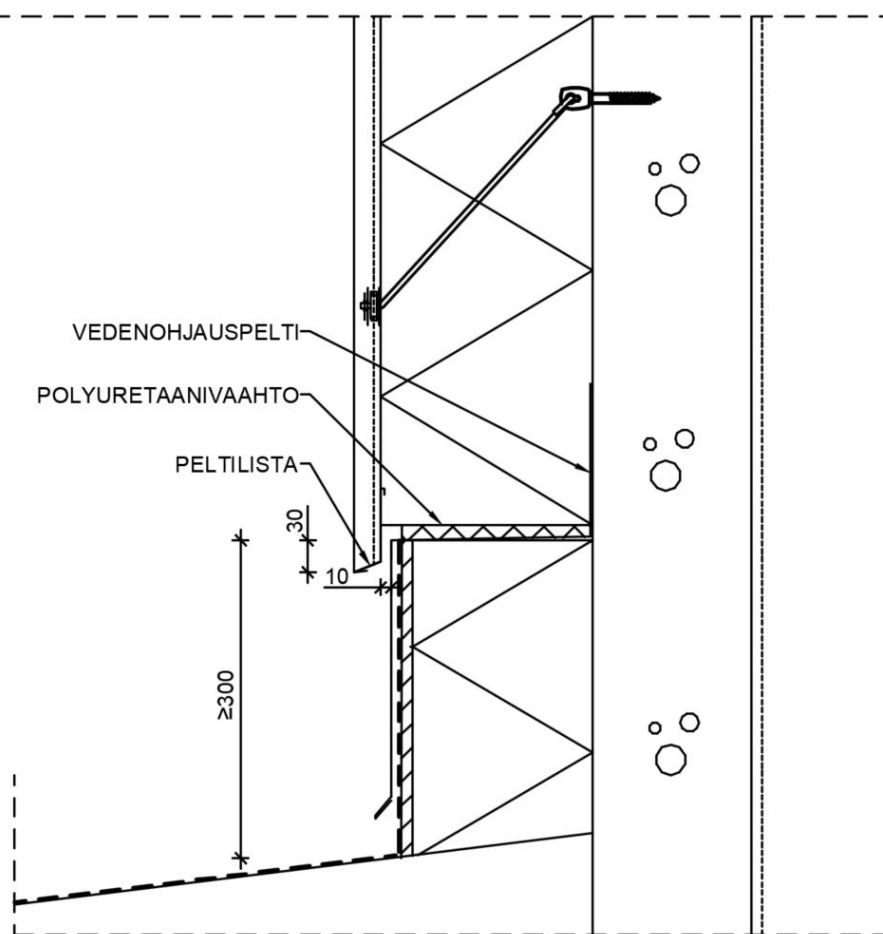
Eristeen paksuus
220 mm Linio 80
Rappaus 5 - 8 mm
Sisäkuori 80-180 mm

Elementtisauma 15 mm.
Elementtien saumassa
asennusvillakaista kivivillaa
Esim Paroc UNM 37 koko
eristepaksuudelta.
Sisänurkassa
panssarikulmaverkkoprofiili,
joka liittyy pohjalaastikerroksen
verkotuksen kanssa.

Detalji 11. Rapattujen elementtien sisäkulma (Alseccofinland.fi b)

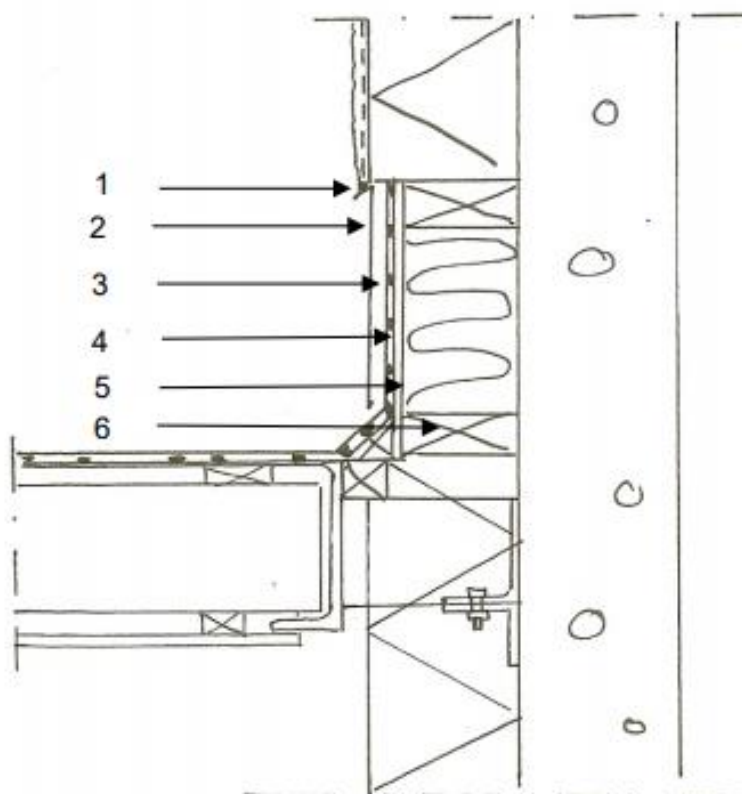
5.7 Ylösnosto

Rappauksen alareunan tulee olla vaakapinnasta vähintään 300 mm korkeudella, jotta rappaukseen ei aiheutuisi paikallisesti korkeaa kosteusrasitusta roiskeveden tai lumen takia. Roiskeveden pääsy tulee estää peltilistalla, joka voi olla rappauksen alareunalista. Rappauksen alareunassa tulee huomioida tippanokka, jotta kosteus ei imeydy kapilaarisesti pohjarappauslaastiin. Ylösnoston tuuletus tulee varmistaa riittävällä koolauksella.



Detalji 12. Vesikatteen ylösnosto

Ylösnostoissa ja sokkelidetaljeissa noudatetaan samoja (BY57, 4,14 mukaisia) suunnitteluperiaatteita. Se mahdollistaa rappauksen painumisen, sekä lämpö ja kosteusliikkeet esteettömästi.

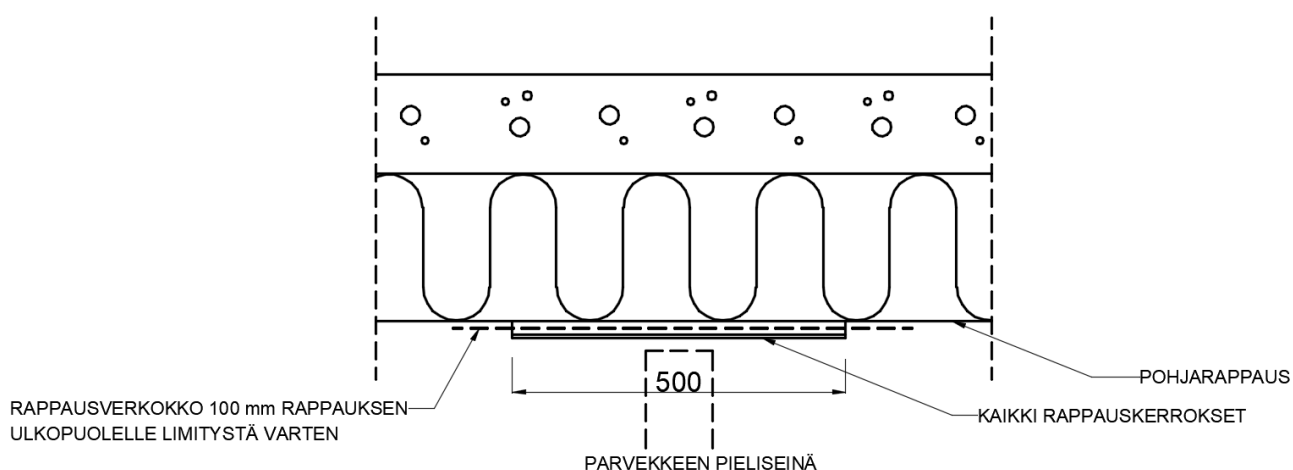


- 1 rappauksen päätteeksi rajalista +
kittaus tai mikäli rappaus tehdään ennen
pellitystä, rappauksen alareunassa
käytetään tippanokallista kulmaverkkoa
- 2 pelti
- 3 koolaus esim. 15x100 k 400
- 4 kerminosto
- 5 vaneri
- 6 koolaus + eriste ; mahdollisuuksien
mukaan jo elementissä, ainakin
huomioitava varaus tähän

Detalji 13. Esimerkki detalji ylösnostosta (Alseccofinland.fi b)

5.8 Parvekkeen kohta

Parvekelaattojen ja pieliseinien kohdalla on rapattuun elementtiin tehtävä vähintään 500 mm leveydeltä rappaus kokonaisuudessaan valmiiksi, jotta rappauspinnasta saadaan rajaton ja hyvän näköinen. Rappausverkko ulotetaan rappauksen ulkopuolelle verkkojen limitystä varten.



Detalji 14. Esimerkki seinäelementtiin tehtävästä rappauskaistaleesta elementtien asennusvaiheessa

Toinen vaihtoehto on rajata rappaus esimerkiksi parvekkeen pieliseinään sa malla periaatteella kuin rappauksen ja eri julkisivumateriaalin liitoksessa.

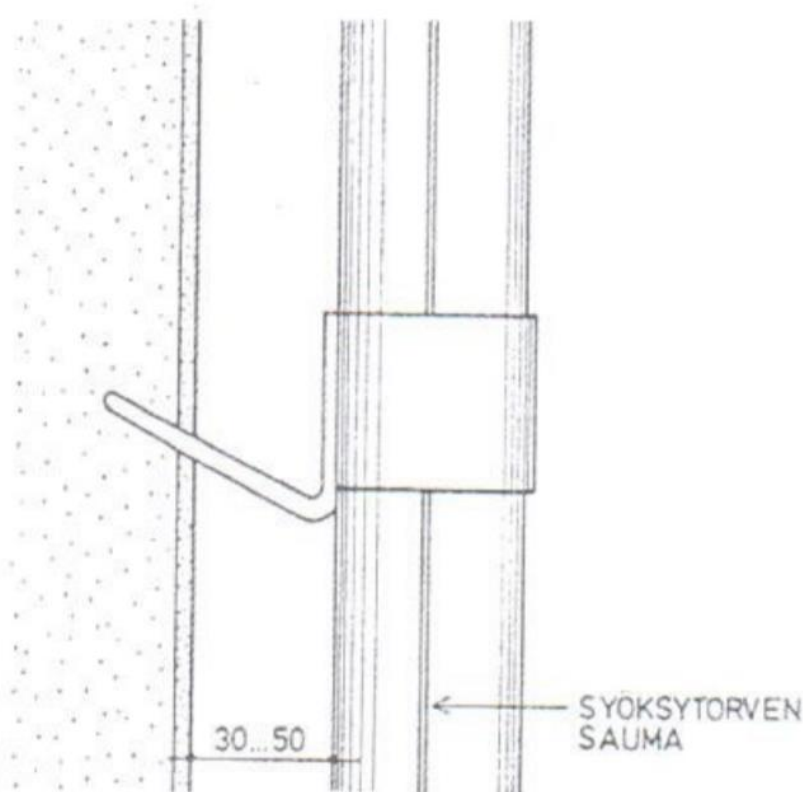
(Ks. detalji 10.)

5.9 Läpiviennit ja ripustukset

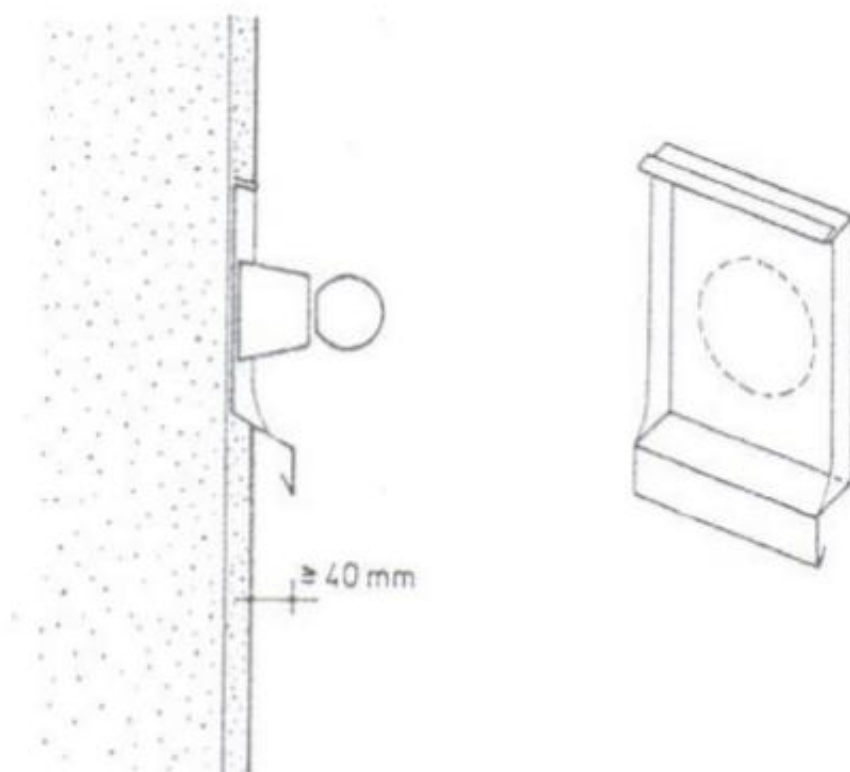
Rappauspintaan voidaan ripustaa vain keveitä rakenteita kuten kylttejä tai numerovaloja. Raskaammat Kiinnitykset tulee ankkuroida elementin sisäkuoreen erillisellä jalkaosalla. Varsinainen ripustus, kuten talotikkaat, kiinnitetään jalkaosaan vasta rappaustyön ollessa täysin valmis. (Parma.fi.)

Syöksytorvet asennetaan rappauspinnasta vähintään 30 mm etäisyydelle. Huomioitavaa on syöksytorven sauman sijoittaminen samaan suuntaan julkisivuun nähden, jotta saumasta mahdollisesti roiskuva vesi ei ohjaudu suoraan rappaukseen.

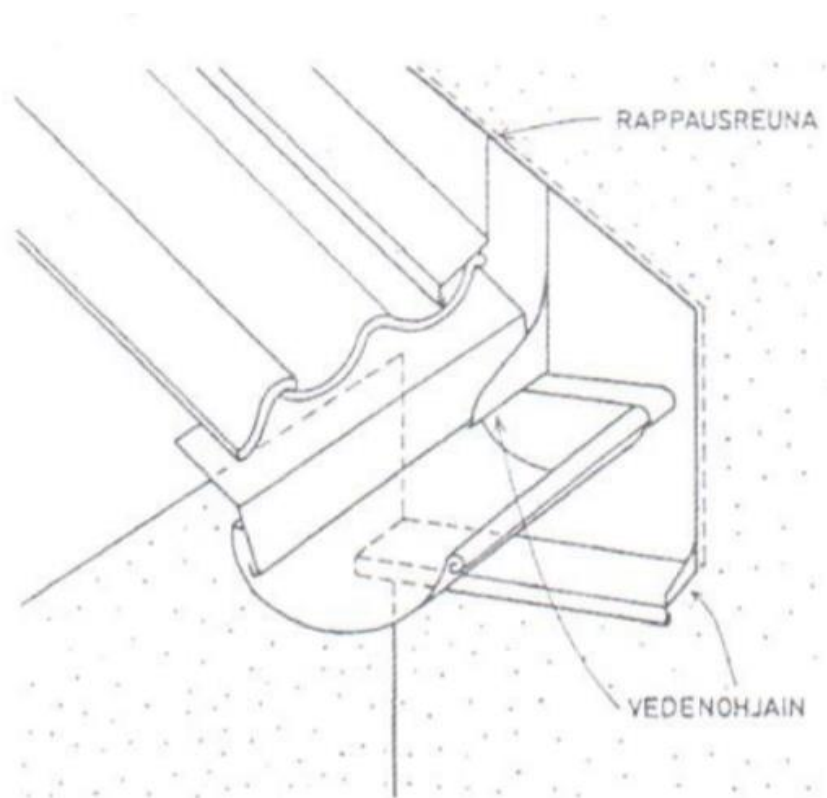
Rappauskerros irroitetaan läpiviennistä aina vähintään 10 mm liikevaralla ja sauma tiivistetään elastisella massalla. Läpivienneissä huomioitavaa on kiinnikkeiden kallistus ja huolellinen tiivistys elastisella massalla.



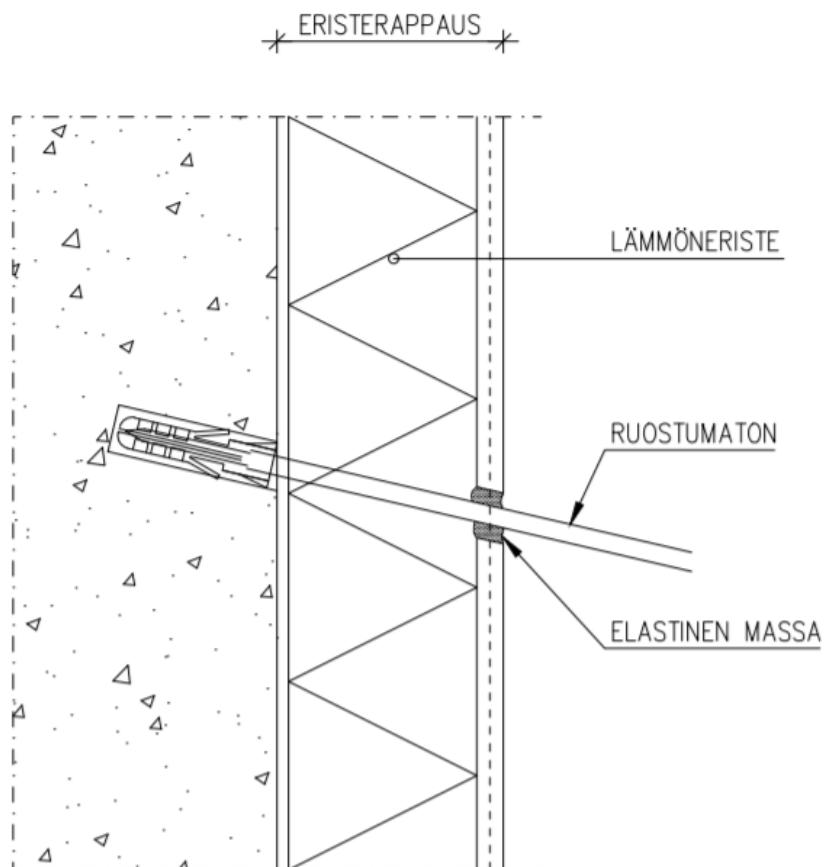
Kuva 29. Syöksytorven sijainti (Lahdensivu. 2005, 63)



Kuva 30. Valaisimen suojapellitys (Lahdensivu. 2005, 58)



Kuva 31. Vesikourun päätyminen seinään (Lahdensivu. 2005, 58)



Detalji 15. Lämpivientidetalji rapattuun elementtiin (Fescon.fi)

6 LOPUKSI

Tässä opinnäytteessä perehdyttiin rapattujen elementtien suunnitteluun ja toteutukseen. Opinnäytetyö toimii teoriapohjana tilaajan käyttöön valmistuvaan Rapatun elementin suunnitteluohjeeseen. Suunnitteluohje menee tilaajan hyötykäyttöön.

Valmistuva Rapatun elementin suunnitteluohje toimii yksinkertaisena ja kattavana ohjeena yrityksen rakennesuunnittelijoille. Rapattujen julkisivujen teko on lisääntynyt viime vuosina ja etenkin elementtisuunnittelijoille tulee ajoittain vastaan rapattuja elementtejä. Suunnitteluohjeesta on helppo ja nopea tarkastaa yksittäisiä detaljeja ja muita suunnittelussa huomioitavia asioita.

Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin tutustumalla rapattuihin elementteihin liittyviin tutkimuksiin, insinööritöihin sekä muihin aihetta käsitteleviin julkaisuihin. Itselleni ei ollut tullut vajaan vuoden työkokemuksella yhtään kohdetta vastaan, joissa olisi käytetty rapattuja elementtejä. Näin ollen aihe oli itsellenikin uusi, mutta samalla hyvin mielenkiintoinen.

Aihe oli opettavainen ja hyvin monipuolinen. Vaikka opinnäytetyö rajautui rapattuihin elementteihin, aiheen monitahoisuuden vuoksi haasteena oli työn paisuminen. Aiheen sisältä voisi tehdä monia insinööritöitä esimerkiksi halkeilun hallinnasta, käytävistä kiinnikkeistä ja kummastakin eristerappausjärjestelmästä omansa. Oli haastavaa käsitellä useita osa-alueita monipuolisesti, mutta kuitenkin samalla tarpeeksi yksityiskohtaisesti. Rajasinkin työn keskeisimpiin suunnittelussa huomioitaviin asioihin.

Työlle asetettiin alun perin kaksi päätavoitetta, joista ensimmäinen ja tärkein oli tietoperusta rapatun elementin suunnitteluohjetta varten. Toinen tavoite oli kartuttaa omaa ammattitaitoani rakennesuunnittelijana. Työlle asetetut tavoitteet täyttyivät: tilaaja sai tarvitsemansa tuotteen ja osaamiseni suunnittelijana laajeni.

LÄHTEET

Alseccofinland.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-01-29] Saatavissa: (<http://alsecco-finland.fi/Ty%C3%B6elitykset.php>)

Alseccofinland.fi b [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-01-29] Saatavissa: (<http://alsecco-finland.fi/Detaljit.php>)

Betoni.com. Uusi julkaisu eriste- ja levyrappausten suunnitteluun ja toteutukseen. 2011. [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-02-12] Saatavissa: https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/09/BET1101_48-55.pdf

Ekholm, V. 2003. Kerrostalon muuraus- ja rappaustyöt talvella. Toteutusedellytysten kehittäminen. VTT rakennus ja yhdystekniikka. saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2214.pdf>

Elementtisuunnittelu.fi a [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-01-28] Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/julkisivujarjestelmat/rapatut-julkisivut>

Elementtisuunnittelu.fi b [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-01-28] Saatavissa: (<https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/lampo-ja-kosteustekniikka>)

Energiatehokaskoti.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-01-29] Saatavissa: (https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/lammoneristys)

Fescon.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-02-18] Saatavissa: (<https://www.fescon.fi/ratkaisut/julkisivut-ja-parvekkeet/eriste-ja-levyrappaukset/ohutrappaus>)

Ilmatieteenlaitos.fi a [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-01-16] Saatavissa: (<https://ilmatieteenlaitos.fi/lampotilaennatyksia>)

Ilmatieteenlaitos.fi b [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-01-16] Saatavissa: (<https://ilmatieteenlaitos.fi/vuosilastot>)

Julkisivu 2000. 1997. Osaraportti C 1a. Betonisandwich-ulkoseinien kosteustekninen käyttäytyminen. RTT rakennusteollisuus. TKK Talonrakennustekniikan laboratorio

Julkisivuyhdistys.fi. eristerappausmenetelmien kuntotutkimusohje. [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-02-10] Saatavissa: (https://julkisivuyhdistys.fi/wp-content/uploads/2019/12/Eristerappausjarjestelmien_kuntotutkimusohje_2.pdf)

Julkisivuyhdistys.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-02-10] Saatavissa: (<https://julkisivuyhdistys.fi/uutishuone/nakokulmia/julkisivuyhdistys-kommentoi-eristerappausjarjestelmien-ongelmiin-liittyvaa-keskustelua/>)

Kivitaloinfo.fi a [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-01-22] Saatavissa: (<https://kivitaloinfo.fi/laastit/laastityypit/>)

Kivitaloinfo.fi b [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-01-22] Saatavissa: (<https://kivitaloinfo.fi/rappaus/pintavaihtoehdot>)

Laastikulma.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-01-19] Saatavissa: (<https://laastikulma.fi/tuotevalikoima/rappauslistat-ja-profiilit>)

Lahdensivu, J. (2005) Rappauskirja 2005, by 46, Suomen Betoniyhdistys ry, Helsinki

Lahdensivu, J. Annila, P. & Pikkuvirta, J. (2016). Eriste- ja levyrappaus 2016, BY57. Suomen Betoniyhdistys ry, Helsinki

Lemberg, A 2019. Eristerappausjärjestelmien vauriomekanismit ja kuntotutkimusmenetelmät. Tampereen yliopisto. Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Diplomityö. [viitattu 2020-01-14] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-201906152022>

Maalarimestarien.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-01-27] Saatavissa: (<https://maalarimestarien.fi>)

Ormiskangas, P 2009. Betonisandwich-elementin kosteustekninen toiminta paksuilla eristeillä. Tampereen yliopisto. Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Diplomityö. [viitattu 2020-01-14] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201506181433>

Parma.fi. tehdasrapattu seinä. aineistot ja materiaalit. [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-03-11] Saatavissa: (<https://parma.fi/tuote/parmarappaus/>)

Rakennustieto.fi, Keskeisiä eristerappauksen suunnittelussa ja toteutuksessa huomi-
oonotettavia asioita [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-03-09] Saatavissa:
(<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK150203.pdf>)

Rakennuslehti 2013. [Artikkeli]. [viitattu 2020-01-28] Saatavissa: (<https://www.rakennuslehti.fi/2013/03/tuulettumaton-eristerappaus-on-puupinnalla-homeriski/>)

Rapatun julkisivun kuntotutkimus 1998, BY44. Suomen Betonitieto, Helsinki

Rauhala, J. 2013. Eristerapatun betonielementtiulkoseinän ilmajärjestävyys
[verkkoaineisto]. [viitattu 2020-02-15]. Saatavissa: http://www.akustinenseura.fi/wp-content/uploads/2013/08/31_Rauhala.pdf

Saint-Gobain Weber OY Ab a. SerpoTherm-eristerappaus. Aukko- ja lisäverkoituksen periaate. [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-02-01] Saatavissa: <https://www.fi.weber/julkisivut/eristerappausratkaisut/serpotharm-eristerappaus>

Saint-Gobain Weber OY Ab b. Weber opas 2013. [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-03-03] Saatavissa: https://issuu.com/e-weber/docs/weber_opas_2013_210x297_pakkaus1_kannet/22

Sisäilmayhdistys.fi fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-02-17] Saatavissa:
(<https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuden-siirtyminen>)

Suikka, A. 2010. BTJ Päivityskurssi [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-02-26] Saatavissa: (<https://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23645/Betonisandwich-%20elementtit.pdf>)

Tamperereen Teknillinen Yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Eristerappausjärjestelmän säänkestävyyden testaaminen. (2011) [Tutkimusselostus]. [viitattu 2020-03-15] Saatavissa: <https://docplayer.fi/4336274-Sto-therm-mineral-eristerappausjarjestelman-saankestavyyden-testaaminen.html>

Weber.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-02-17] Saatavissa: (https://www.fi.weber/search-content/content_type/product/activities/eristerappaustarvikkeet)

Ym.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-02-17] Saatavissa: https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskoelma/Energiatehokkuus

Ym.fi b [verkkoaineisto]. [viitattu 2020-02-17] Saatavissa: https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskoelma/Paloturvallisuus

Åström, Gunnar, 2008. RIL 201-1-2008. Suomen rakennusinsinöörien liitto 2008