



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

TONI TARKKIO

Julkisivun korjaus betonisandwich- elementeillä

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka
2020

Tekijä: Tarkkio, Toni	Julkaisun laji: Opinnäytetyö, AMK	Joulukuu 2020
	Sivumäärä: 39, liitesivuja 42 Liitteitä: 3	Julkaisun kieli: Suomi
Julkaisun nimi: Julkisivun korjaus betonisandwich-elementeillä		
Tutkinto-ohjelma: Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia teräsbetonisandwich-elementin soveltuvuutta julkisivun korjausta varten ja verrata sitä tuulettuvaan levyrappausjärjestelmään. Työssä käytettiin vertailun pohjana Helsingissä sijaitsevaa case-rakennusta ja aihetta rajattiin niin, että tarkastelussa oli vain yhden rakennuksen kaakon suuntainen julkisivu. Rajausten takia mitoitettiin vain yksi ei-kantava tyyppielementti. Opinnäytetyössä perehdyttiin Suomessa pitkälle kehittyneeseen elementtitekniikkaan sekä betonirakenteiden mitoittamiseen, jotta betonisandwich-elementti ja sen yksityiskohdat voitiin suunnitella korjausrakentamiseen soveltuviksi. Työn toimeksiantajana toimi Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy, joka on korjausrakentamiseen erikoistunut suunnittelu- ja konsultointitoimisto.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin suunnitteleamalla ensin uusi moderni ja energiatehokas betonisandwich-elementti sekä sen detaljit käyttäen alan kirjallisuutta, standardeja, normeja ja säädöksiä. Sitten valittiin vertailun kohteeksi mahdollisimman valmiiksi kehitetty levyrappausjärjestelmä, jossa koko järjestelmä tulee yhdeltä toimittajalta. Tämän jälkeen suoritettiin vertailuja rakenneteknisestä toiminnasta ja toteutuksesta, energiatehokkuudesta sekä lämpö- ja kosteusteknisestä toimivuudesta kummankin korjaustavan välillä. Vertailut toteutettiin laskenta- ja suunnitteluohjelmilla sekä toimeksiantajan työntekijöiden haastatteluilla ja kokemuksilla toteutuneista korjauksista ja tutkimuksista.</p> <p>Työn lopputuloksena toimeksiantaja sai lisätietoa betonisandwich-elementin soveltuvuudesta korjausrakentamiseen sekä case-kohteeseen mahdolliset toteutussuunnitelmat työn ohessa. Lisäksi saatiin mahdollisia jatkokehitystarpeita Suomessa pitkälle kehitetylle elementtitekniikalle korjausrakentamisen näkökulmasta.</p>		
Asiasanat korjausrakentaminen, julkisivut, sandwich-elementit, rappaus, vertailu		

Author: Tarkkio, Toni	Type of Publication: Bachelor's thesis	December 2020
	Number of pages: 39, appendix pages 42 Appendices: 3	Language of publication: Finnish
Title of publication: Façade renovation with prefabricated concrete sandwich panels		
Degree program: Construction and civil engineering		
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this Bachelor's thesis was to study the applicability of precast reinforced concrete sandwich panels use in façade renovations and compare it to an aerated plate plastering system. A case building located in Helsinki acted as a base for the comparison and the subject of the study was defined so that only the south-eastern façade from one of the two buildings was used in the examinations. Because of the study's outlines only one non-loadbearing standard element was designed. The advanced Finnish prefabricated construction method and the planning of concrete structures were examined in this thesis in order to design the precast concrete sandwich panel and its details so that they could be adapted to renovation building. The Engineering Office Lauri Mehto Ltd which is a design and consultation office specialized in renovation building acted as a client for this thesis.</p> <p>This thesis was carried out by designing a new modern and energy efficient precast concrete sandwich panel and its details first by using the literature, standards, codes and regulations of the industry. Then a plate plastering system which was developed as complete as possible and comes from a single supplier was chosen for comparison. After this, comparisons from the point of structural functioning and implementation, energy efficiency, thermal and moisture engineering were carried out between the renovation methods. The comparisons were carried out by using algorithms and engineering software together with both interviews and experiences of the client's employees from carried out renovations and investigations.</p> <p>The client received additional information on the suitability of the precast concrete sandwich panel for renovation building and possible detailed designs for the case building as a result of this thesis. Also possible further studies were achieved from the perspective of renovation building for the advanced Finnish prefabricated construction method.</p>		
<p><u>Key words</u> renovation building, facades, sandwich elements, plastering, comparison</p>		

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy:lle. Haluan kiittää yrityksen toimitusjohtajaa, Simo-Pekka Valtosta, sekä projektijohtaja Mikko Poikkilinjaa tästä mielenkiintoisesta aiheesta ja työn ohjaamisesta. Erityinen kiitos myös muille työntekijöille, jotka opastivat ja tukivat minua työn tekemisessä.

Haluan kiittää Satakunnan ammattikorkeakoulun puolelta Juuso Lahdenmaata työni hyvästä ohjaamisesta, sekä Mari Kujalaa tuotannonohjauksen opintojen samanaikaisesta suorittamisesta opinnäytetyön rinnalla.

Viimeisenä muttei suinkaan vähäisimpänä, suurimmat kiitokset avopuolisolleni Lindalle, pojalleni Antonille sekä tyttärelleni Minealle. Työn loppuun saattaminen vaati paljon perheeltämme, mutta kestitte sen ja annoitte minulle aikaa sekä voimia saattaa sen päätökseen.

Helsingissä 10.12.2020

Toni Tarkkio

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
1.1 Työn tavoite ja rajaus	8
1.2 Korjausvaihtoehtojen vertailu	9
1.3 Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy	10
2 TERÄSBETONISANDWICH-ELEMENTTI YLEISESTI	10
2.1 Yleistä teräsbetonisandwich-elementeistä	10
2.2 Teräsbetonisandwich-elementin rakenne	12
2.3 Teräsbetonisandwich-elementin rakenteellinen toiminta.....	13
2.4 Teräsbetonisandwich-elementin lämpö- ja kosteustekniikka.....	14
2.4.1 Sandwich-rakenteen lämpötekniinen toiminta	14
2.4.2 Sandwich-rakenteen kosteustekniinen toiminta	15
3 TUULETTUVA LEVYRAPPAAUS YLEISESTI.....	17
3.1 Yleistä rapatuista julkisivuista	17
3.2 Yleistä tuulettuvista levyrappauksista.....	18
3.3 Levyrappauksen lämpö- ja kosteustekniinen toiminta	19
4 CASE: KLANEETTITIE 1-3.....	20
4.1 Klaneettitie 1-3 taustatietoja	20
4.2 Kuntotutkimus kohteesta.....	20
4.3 Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy:n lausunto korjausehdotuksista, 8/2019....	22
5 KORJAUKSIEN SUUNNITTELU JA MITOITUS.....	23
5.1 Julkisivun peittävä korjaus teräsbetonisandwich-elementeillä	23
5.2 Julkisivun peittävä korjaus tuulettuvalla levyrappausjärjestelmällä	27
5.3 Korjausvaihtoehtojen rakennetyyppien lämpö- ja kosteustekniinen tarkastelu sekä energiatehokkuuden tarkistus.....	29
6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	30
6.1 Vertailun yhteenveto	30
6.2 Ongelmien pohdintaa käytettäessä teräsbetonisandwich-elementtejä	33
6.3 Korjausten rakennetyyppien lämpö-, kosteustekniisen sekä energiatehokkuuden tarkastelun tulokset.....	36
6.4 Jatkokehitysehdotus korjaamiselle teräsbetonisandwich-elementeillä	37
6.5 Huomioon otettavia erikoispiirteitä, kun korjauksessa käytetään teräsbetonisandwich-elementtejä.	38
6.6 Jatkotutkimustarpeet ja ehdotukset	39

LÄHTEET

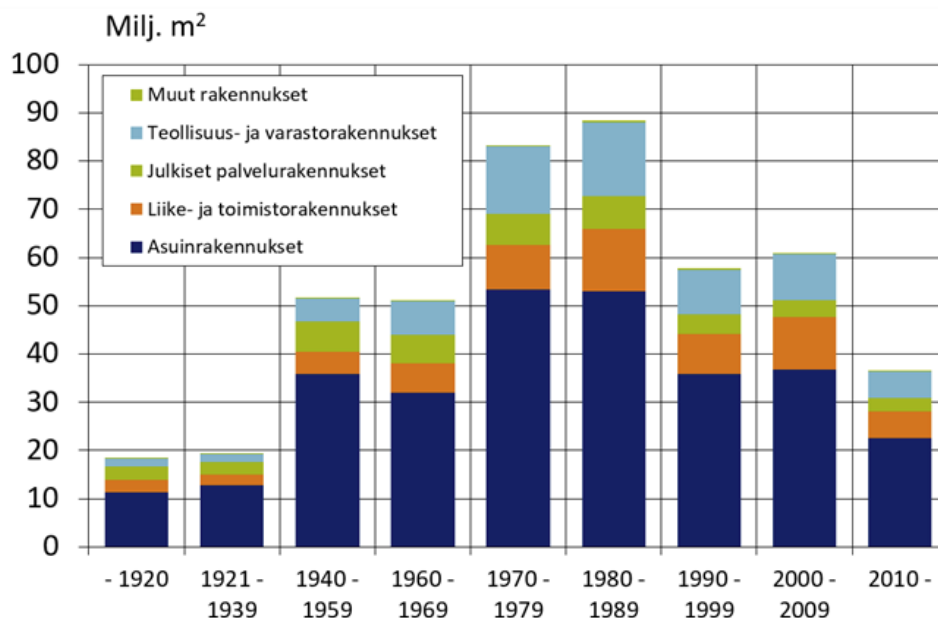
LIITTEET

1 JOHDANTO

Suomessa ollaan lähestymässä korjausrakentamisen piikkiä, kun 1960-1980-lukujen talot lähenevät rakennusteknisen käyttöikänsä loppua. Tämä tarkoittaa sitä, että Suomen asuinrakennusten vuotuinen korjaustarve on noin 9,4 miljardia euroa vuosina 2016-2025. (Rakennusteollisuus RT ry www-sivut 2020a.)

Tämä korjausrakentamisen piikki tulee olemaan massiivinen verrattuna 1980-luvun jälkeen rakennettuihin asuinrakennuksiin. Tilastokeskuksen selvityksen mukaan suurin osa Suomen asuinrakennuksista on rakennettu kyseisinä vuosina. (Kuvio 1.)

Rakennuskannan ikäjakauma



Lähde: Tilastokeskus

Rakennusteollisuus

23.4.2019

Kuvio 1. Suomen rakennuskannan ikäjakauma vuonna 2016. (Rakennusteollisuus RT ry www-sivut 2020b).

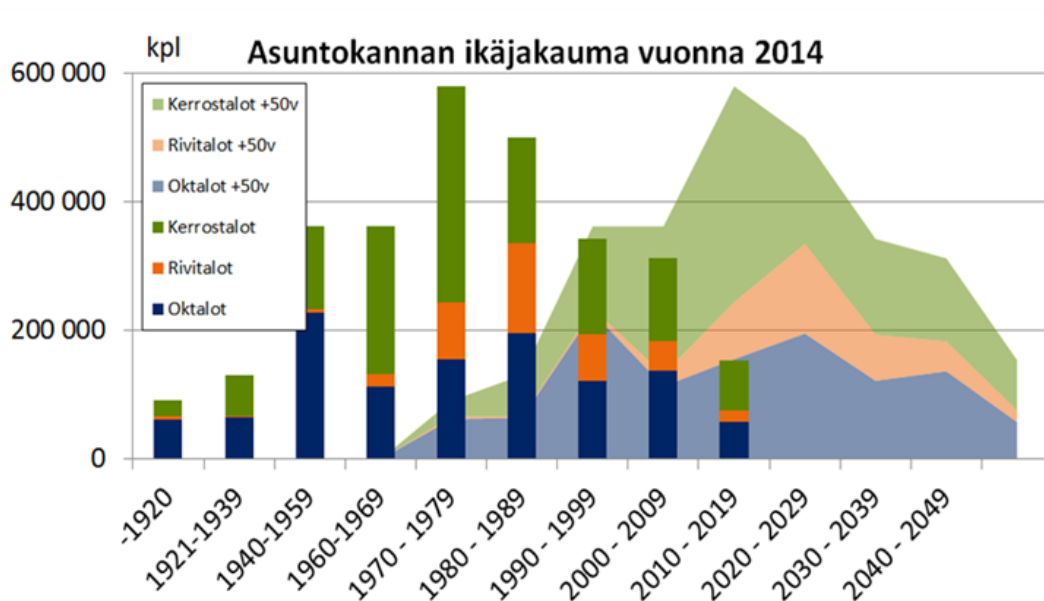
Kun tarkastellaan Kuvio 1:n asuinrakennuksia vuosilta 1960–1980, niin huomataan, että silloin on rakennettu noin 140 miljoonaa neliötä asuinpinta-alaa. Tämä aikakausi on myös ollut Suomen rakennusteollisuuden elementtiteknologian harppauksen ajankohta.

Kun 1960-luvulla muuttovirta alkoi maalta kaupunkeihin, vaati tämä rakennusteollisuudelta jotain ratkaisua asuinrakennusten yhtäkkiseen ja valtavaan kysyntään. Oli rakennettava nopeasti huokeita ja varustetasoltaan kuitenkin hyviä asuntoja. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 20.)

Ainut vaihtoehto, jolla kysyntään saatiin vastattua, oli ryhtyä tuottamaan nopeasti rakennettavia asuinkerrostaloja. Urakoitsijat toivat työmaille kenttävalimot, suur- sekä pöytämuottitekniikan, joissa valmistettiin myös ensimmäiset sandwich-elementit. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 20–21.)

Toisesta Tilastokeskuksen aineiston analyysistä syntyneestä pylväsdiagrammista nähdään miten Suomen asuinrakennusten tyypit ovat jakautuneet eri vuosikymmeninä. (Kuvio 2).

Asuntokannan ikäjakauma vuonna 2014



Rakennusteollisuus

23.4.2019

Kuvio 2. Suomen asuntokannan ikäjakauma vuonna 2014. (Rakennusteollisuus RT ry www-sivut 2020c).

Suurin osa Suomen asuinkerrostaloista rakennettiin 1960–1980-luvuilla (Kuvio 2). Vuonna 1966 Suomen Betoniteollisuuden Keskusjärjestö, SBK, käynnisti yhdessä Asuntohallituksen kanssa ohjelman betonielementtistandardin kehittämiseksi. Tämän seurauksena elementtien mitat standardisoitiin ja ontelolaatasta tuli yhdessä julkisivun

betonisandwichin kanssa lähiöiden tärkein rakennuselementti. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 21.)

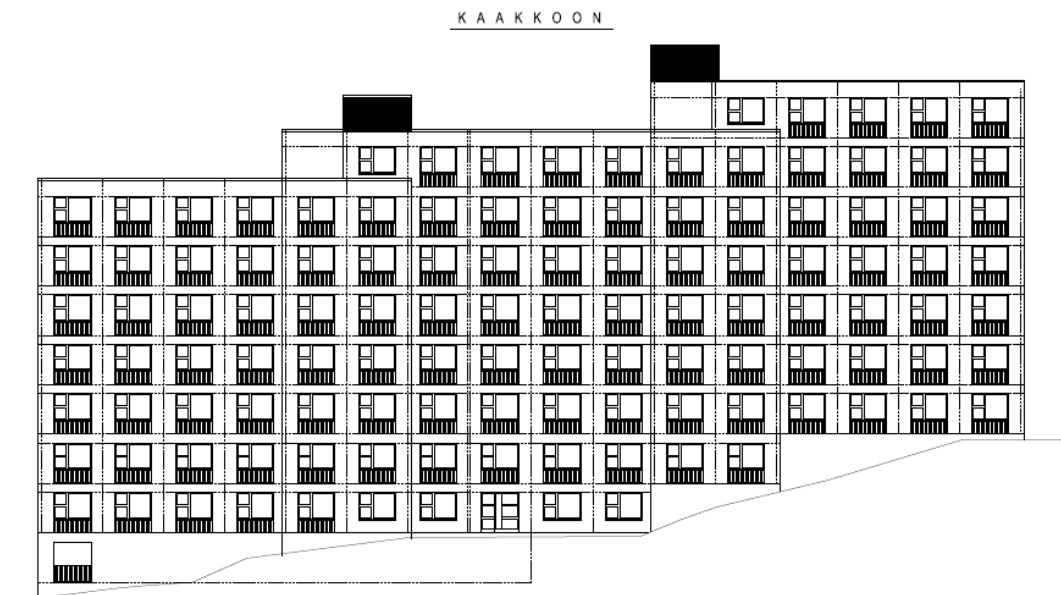
Monista betonin kestävyysvaikuttavista tärkeistä tekijöistä kuten raudotteiden ruostumisesta, pakkasen vaikutuksesta betoniin ja betonin lämpökäsittelystä oli todella vähän tietoa ja kokemusta näiden lähiöiden syntyessä. Tämän takia osa julkisivuista vaati peruskorjausta jo 30-40 käyttövuoden jälkeen. (Suomen Betoniyhdistys 2018, 21.)

1.1 Työn tavoite ja rajaus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja vertailla Helsingissä sijaitsevan Klaneettitie 1-3 asuinkerrostalojen julkisivujen korjausta joko korvaamalla vanhan teräsbetonisandwich-elementin ulkokuori ja eristetila kokonaan uudella teräsbetonisandwich-elementillä tai tuulettuvalla levyrappauksella. Työtä varten mitoitettiin uusi ei-kantava teräsbetonisandwich-elementti ja suunniteltiin myös sen kiinnitys vanhaan sisäkuoreen.

Tätä korjausmenetelmää betonisandwich-elementeillä verrattiin lämpö- ja kosteusteknisiltä ominaisuuksiltaan sekä energiatehokkuudeltaan tuulettuvaan rappausjärjestelmään.

Opinnäytetyötä on rajattu siten, että tutkimuksen ja vertailun kohteena toimii toisen asuinkerrostalon kaakon suuntainen julkisivu ja suunniteltavana elementtinä toimii julkisivussa eniten toistuva ikkuna-aukollinen ei-kantava betonisandwich-elementti. Asuinkerrostaloja on kaksi kappaletta, mutta ne ovat identtisiä, joten ei ole tarvetta vertailla samoja kohtia molemmista rakennuksista.



Kuva 1. Korjattavan kohteen toisen rakennuksen julkisivu kaakon suuntaan.

1.2 Korjausvaihtoehtojen vertailu

Opinnäytetyössä vertailtiin kahta erilaista korjausvaihtoehtoa keskenään. Työssä tarkasteltiin ja tutkittiin, miten betonisandwich-elementeillä korjattu julkisivu käyttäytyi lämpö- ja kosteusteknisesti verrattuna siihen, jos kohde olisikin korjattu tuulettuvalla levyrappausjärjestelmällä.

Lisäksi vertailtavien korjausmenetelmien rakenteille tehtiin energiatehokkuuden vertailu ja tarkistettiin, että ne täyttävät Ympäristöministeriön asetuksen 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 1 §: ”Kun rakennuksen energiatehokkuuden parantamisen suunnittelu ja toteutus tapahtuu rakennusosakohtaisesti, on noudatettava seuraavia vaatimuksia;

- 1) Ulkoseinä: Alkuperäinen U-arvo x 0,5, kuitenkin enintään 0.17 W/(m² K). Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo x 0,5, kuitenkin 0,60 W/(m² K) tai parempi.
- 2) Yläpohja: Alkuperäinen U-arvo x 0,5, kuitenkin enintään 0.09 W/(m² K). Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo x 0,5, kuitenkin 0,60 W/(m² K) tai parempi.
- 3) Alapohja: Energiatehokkuutta parannetaan mahdollisuuksien mukaan.

4) Uusien ikkunoiden ja ulko-ovien U-arvon on oltava 1.0 W/(m² K) tai parempi. Vanhoja ikkunoita ja ulko-ovia korjattaessa on lämmönpitävyyttä parannettava mahdollisuuksien mukaan.” (Ympäristöministeriön www-sivut 2020.)

1.3 Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy

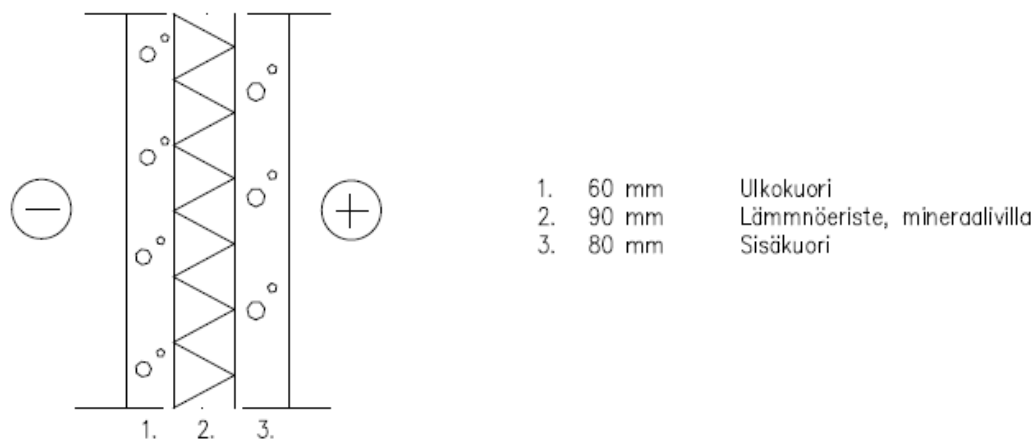
Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy, jatkossa pelkästään Mehto, on vuonna 1956 talonrakennustekniikan professori Lauri Mehton perustama suunnittelutoimisto. Yhtiöllä on yli 60 vuoden kokemus rakenne-, arkkitehtuuri- ja korjaussuunnittelusta. Nykyisin se on myös erikoistunut korjausrakentamisessa hankesuunnittelusta toteutussuunnitteluun sekä rakennusten ja julkisivujen kuntotutkimuksiin. (Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy www-sivut 2020b.)

Suunnittelutoimisto oli aikanaan mukana suunnittelemassa rakenteita Kulttuuritaloon Helsingin Sturenkadulle sekä Helsingin Kaarelaan 1964 valmistuneeseen Suomalaisvenäläiseen kouluun, joka oli aikansa ensimmäisiä sandwich-betonielementtitekniikalla valmistettuja rakennuksia. (Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy www-sivut 2020a.)

2 TERÄSBETONISANDWICH-ELEMENTTI YLEISESTI

2.1 Yleistä teräsbetonisandwich-elementeistä

Betonisandwich-elementit ovat osa ulkoseinärakennetta, jotka asennetaan valmiina komponentteina paikalleen. Samassa tuotantoprosessissa elementin sisä- ja ulkokuori kootaan yhdessä lämmöneristeen kanssa tehdasolosuhteissa yhdeksi elementiksi. (Kuva 2). Elementin sisäkuori toimii kantavana rakenteena, joka vastaanottaa ulkokuoren oman painon ja lisäksi siihen kohdistuvat rasitukset. Sisä- ja ulkokuoren yhteistoiminta saadaan aikaan ansailla ja/tai pistokkailla. (Suomen Betoniyhdistys ry 2018, 449.)



Kuva 2. Korjattavan kohteen alkuperäinen ei-kantava teräsbetonisandwich-elementti. Rakennekerrosten paksuudet suunnitelmien mukaan.

Yleisiä ominaisuuksia betonisandwich-rakenteelle ovat korkea esivalmistusaste, nopea rakentamisaika sekä kilpailukykyinen hinta. Nykypäivänä kehittyneellä elementtitekniikalla voidaan vaikuttaa myös valtavasti rakennuskohteen arkkitehtoniseen ilmeeseen. (Kuva 3). Julkisivujen komponentit valmistetaan säältä suojatuissa olosuhteissa sekä rakennukseen saadaan lämpö ja kuivatus päälle vesikaton asennuksen jälkeen. Työmaalla tehtävien asennustöiden määrät ovat todella pienet kerrosrakenteiden kuten sisäkuoren, lämmöneristeen sekä ulkokuoren yhteen kiinnityksen ansiosta verrattuna esimerkiksi levyrappausmenetelmään, jossa eri rakennekerrokset asennetaan jokainen erikseen julkisivuun. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020b.)

Suomessa elementtitekniikkaa on kehitetty ja käytetty jo vuosikymmenien ajan uudisrakentamisessa, joten miksi sitä ei siis yritetä soveltaa korjausrakentamisessa enemmän? Elementit valmistetaan säältä suojassa sisätiloissa tehdasolosuhteissa, mikä mahdollistaa työmaata tarkemman laadunvalvonnan. Tämä mahdollistaa myös korkealuokkaisen betonin käytön; lisäksi elinkaari- ja käyttöikäsuunnittelun soveltaminen on mahdollista. (RT 82-10821, 2.)

Tyypillisin käyttökohde sandwich-julkisivuille on rakennus, jossa runkojärjestelmänä on kantavat seinät -laatat-järjestelmä. Laatat tukeutuvat seinäelementtien varaan ja lisäksi rakennuksen pitkillä sivuilla seinät ovat ei-kantavia ruutuelementtejä. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020b.)

Ulkoseinärakenne on mahdollista myös toteuttaa siten, että elementteihin esiasennetaan ikkunat jo tehtaalla. Tämän ansiosta kylmänä vuodenaikana julkisivut saadaan nopeasti umpeen, ikkuna-aukkojen työturva- ja sääsuojaus jää pois, nostokapasiteetin tarpeet vähenevät, työmaan varastotilaa on enemmän, vaakasiirrot holveilla jäävät pois sekä tiivistystyötä on vähemmän. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020b.)



Kuva 3. Asunto Oy Helsingin Viuhka sai palkinnon vuoden 2016 betonirakenteena. Julkisivut toteutettu betonisandwich-elementeillä. (Betoni www-sivut 2020.)

2.2 Teräsbetonisandwich-elementin rakenne

Betonisandwich-elementtien ulkokuoren yleisimpiä pintamateriaaleja on ollut betoni, maalattuna tai maalaamattomana. Ulkokuoren pinta voi olla sileä muottipinta, harjattu, hierretty, uritettu tai muulla tavoin profiloitu. Tavallisesti betonisen ulkokuoren nimellispaksuus on vaihdellut 40 – 85 millimetrin välillä. Paksuuteen on vaikuttanut erityisesti valmistusajankohta ja ulkokuoren pintatyyppi. Esimerkiksi 1960-70-luvuilla eikantavan betonisandwichrakenteen ulkokuoren paksuus vaihteli välillä 40-60 mm, mutta jo 1970-luvun puolella ulkokuorien paksuus vaihteli 60-70 mm:n välillä. Nykypäivän suositus 70-80 mm:n ulkokuoren paksuudesta on ollut käytössä 1990-luvulta

lähtien. Tyypillisesti tiili- tai klinkkerilaattapintaisten betonisandwich-elementtien ulkokuoren paksuus on ollut 80-85 mm ja niitä on käytetty eniten vuosina 1975-2000. Käytännössä eristeiden kokoonpuristumisen takia ulkokuoren paksuus on saattanut vaihdella huomattavasti samassa elementissä. Nykypäivänä eristeiden kokoonpuristuminen on huomioitu tuotantotekniikassa ja samaa ongelmaa ei ole, mikä johtaa todella tarkkoihin toteutuneisiin rakennepaksuuksiin. (Suomen Betoniyhdistys r.y 2002, 14–15; Neuvonen 2006, 150–151, 164, 201, 215.)

Teräsbetonisissa sandwich-elementeissä on käytetty yleisimmin lämmöneristeenä mineraalivillaa, jonka paksuus on vaihdellut määräysten kulloinkin edellyttämien U-arvojen mukaan 70–140 mm:n välillä. Nykypäivänä vaadittuun 0,17 U-arvoon päästään 220 mm paksuilla mineraalivillaeristeillä. Tyypillisesti eristetilassa ei ole ollut lainkaan tuuletusta tai sitten tuuletus on yritetty järjestää käyttämällä uritettua lämmöneristettä. Urituksen toimivuutta ei ole kuitenkaan aina pystytty varmistamaan. (Suomen Betoniyhdistys r.y 2002, 14; Elementtisuunnittelu www-sivut 2020c.)

Betonisandwich-elementin ulkokuoren tyypillinen raudoitus on keskeinen teräsverkko sekä lisäksi reunoilla ja ikkunoiden pielissä kiertää pysty- ja vaakasuuntaiset pieliteräksset. Varsinaisen raudoituksen lisäksi ulkokuoressa on sideansaiden paarteet, erilaisia sideteräksiä ja nostolenkkejä. Tyypillisesti raudoitus on ollut ruostuvaa, seostamattomaa laatua sekä sisä- ja ulkokuoressa. Vasta 1990-luvun loppupuolella on alettu käyttää ruostumattomia raudoitteita ulkokuoressa sideansaiden diagonaalien lisäksi. Ainoastaan nostolenkit ovat nykyään ruostumatonta terästä, paitsi jos ne on sijoitettu pelkästään sisäkuoreen. Elementtirakentamisen alkuaikoina saatettiin käyttää lisäksi betonoituja, bitumoituja tai muulla tavoin suojattuja, betoni-, muototeräksiä tai esimerkiksi kuparisiteitä. (Suomen betoniyhdistys r.y 2002, 14–15.)

2.3 Teräsbetonisandwich-elementin rakenteellinen toiminta

Betonisandwich-elementissä sisäkuori toimii kuormaa kantavana, puristettuna ja taivutettuna rakenneosana. Elementin sisä- ja ulkokuorten välinen yhteistoiminta saadaan aikaan diagonaaliansailla ja/tai pistokkailla. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020b.)

Diagonaalit ja pistokkaat toimivat vedettyinä ja puristettuina sauvoina, jotka siirtävät ulkokuoren kuormia sisäkuorelle. Näitä kuormia ovat esim. tuulikuorma, omasta painosta aiheutuva kuorma sekä kuljetuksesta aiheutuvat kuormat. Kova lämmöneriste voi myös siirtää kuormia, mutta Tampereen teknillisen yliopiston tekemien tutkimusten mukaan sillä on vähän vaikutusta elementin jäykkyyteen. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020b.)

Ansaiden tarkoituksena on ripustaa ulkokuori sisäkuoreen sekä vastustaa kaareutumista elementin keskikohdalla ja reunoilla. Kaareutuminen on seurausta epätasaisesta kuivumiskutistumisesta ja ilman kosteus- ja lämpötilavaihteluista. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020b.)

2.4 Teräsbetonisandwich-elementin lämpö- ja kosteustekniikka

Ulkoseinärakenne tulee suunnitella siten, että se suojaa sisäpuolisia tiloja kosteuden haitallisilta vaikutuksilta ja lisäksi ylläpitää vaadittua sisäilmastoa lämpötilan ja kosteuden suhteen. Ulkoseinän lämpöteknisten ominaisuuksien tulee olla sellaiset, että tilan käyttötarkoituksen mukaiset lämpöolosuhteet saavutetaan hyvän energiatalouden mukaisesti. Rakenteeseen ei saa kertyä haitallisessa määrin kosteutta eikä sen läpi myöskään saa tunkeutua haitallisesti kosteutta. Rakenteeseen pääsevän tai tunkeutuvan kosteuden on päästävä kuivumaan aiheuttamatta vahinkoa tai terveysriskiä käyttäjille tai rakenteelle. Kosteudesta ei myöskään saa olla haittaa ulkoseinän toimivuudelle tai kestävyydelle. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020c.)

2.4.1 Sandwich-rakenteen lämpötekninen toiminta

Ulkoseinän lämpötekniseen toimintaan vaikuttavia sisäisiä tekijöitä ovat käytettyjen materiaalien lämmönjohtavuus, vesihöyryn-, ilmanläpäisevyys, muodonmuutosominaisuudet, rakenne-, liitosratkaisut sekä osien mitat ja työnlaatu. Ulkoisia tekijöitä ovat taas auringon säteily, lämpötila-, kosteus- ja tuulisuhteet sekä rakennuksen painesuhteet. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020c.)

Lämpötilaeroista johtuva luonnollinen konvektio eli lämmön siirtyminen kaasussa on betonielementtirakenteissa vähäistä, koska betonisandwich-rakenteen betonikuoret ovat lähes ilmatiiviitä. Läpivirtausta tapahtuu vain normaalisti saumoista ja halkeamista. Ilmaa heikosti läpäisevissä lämmöneristeissä kuten solumuoveissa, ei tapahdu ulkoilmasta johtuvaa lämmöneristyskyvyn heikentävää ilmavirtausta niiden sisällä toisin kuin pehmeissä eristeissä. Tämän takia EPS-, XPS- ja PUR/PIR-eristeisissä betonisandwich-rakenteissa elementin saumakohdassa kriittinen tekijä on eristeen jatkuvuus. Lämmöneristystä heikentäviä rakoja pyritään rajoittamaan saumoissa esim. ponttauksella, polyuretaanivaahdotuksella tai muilla siihen kehitetyillä menetelmillä. Mineraalivillaeristeen jatkuvuuden varmistaminen voidaan taas suorittaa esim. saumassa eristeen kohdalle asennetulla mineraalivillakaistaleella. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020c.)

Kylmäsiltoja aiheuttavat pääasiassa ulkokuoren kiinnitysjärjestelmät. Kylmäsilat heikentävät rakenteen lämpötekniisiä ominaisuuksia ja saattavat jopa lisätä julkisivurakenteeseen kerääntyvää kosteutta niihin muodostuvien mahdollisten kastepisteiden takia. Kun eristepaksuudet kasvavat on huomattava, että sidosraudoitteiden määrä saattaa lisääntyä, josta seuraa kylmäsiltojen lisääntyminen. Tämä heikentää ulkoseinä-rakenteen lämpötekniisiä ominaisuuksia ja kasvattaa U-arvoa. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020c.)

2.4.2 Sandwich-rakenteen kosteustekninen toiminta

Rakenteen kosteusteknisessä suunnittelussa suunnittelijan tulee huomioida eri kosteuslähteet kuten viistosade, sisäilman kosteus ja rakennuskosteus. Lisäksi myös sadeveden käytös seinäpinnalla, rakenteen kuivumisen varmistaminen sekä kosteuskertymien arviointi, veden ja vesihöyryn siirtymismuodot ja niiden sitoutuminen rakenteeseen. Kosteustekniseen käyttäytymiseen ja toimintaan vaikuttavat myös eri olosuhdetekijät kuten tuuli, auringon säteily sekä painovoima. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020c.)

Betonisandwich-elementin eristettä valittaessa suunnittelijan tulee kiinnittää huomiota siihen, että käytettäessä EPS-, XPS- ja PUR/PIR-eristeitä, kosteus siirtyy vain pois päin

eristeestä, koska solumuovieristeiden vesihöyrynläpäisevyys on niin pieni, kun taas mineraalivillaeristeisissä elementeissä kosteus pääsee siirtymään myös eriste villan lävitse sen alhaisen vesihöyrynvastuksen takia. Vuonna 2009 Petteri Ormiskankaan tekemässä diplomityössä betonisandwich-elementin kosteusteknisestä toiminnasta pak-suilla eristeillä, ulkokuoren kosteuspitoisuuksissa ei havaittu suuria eroja eristeiden välillä, mutta sisäkuoret kuivuivat hitaammin viiden vuoden tarkasteluajanjakson aikana tiiviimmillä eristeillä. Tiiviiden eristeiden kohdalla huomattavaa on se, että ne pystyvät kuivumaan vain sisälle päin ja ennen tiivistä pinnoittamista on varmistuttava siitä, että sisäkuori on riittävän kuiva. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020c.)

Rakenteen läpi tapahtuva diffuusio on aina suuremmasta kosteustilasta pienempään eli lähes poikkeuksetta sisätilasta ulos Suomessa. Ainoastaan elementin asennuksen jälkeen betonikuorten vielä hakiessaan kosteustasapainoa ympäristön kanssa, siirtyy kosteus yleensä ulkotilasta sisäänpäin. Kun kosteus kasvaa sisäilmassa niin paine-ero ja diffuusion mukana kulkeutuva kosteus kasvavat. Kun käytetään solumuovieristeitä, on diffuusiolla eristeen läpi siirtyvä kosteusmäärä hyvin pieni. Mineraalivillaeristeisissä betonisandwich-rakenteissa talvikausina diffuusion kuljettama kosteus tiivistyy ulkokuoren sisäpintaan, johon muodostuu vesi- ja/tai jääkerros. Osa tästä kosteudesta kulkeutuu painovoiman vaikutuksesta seinien alaosiin, sokkeleihin tai ikkunoiden päälle. Suomessa on kuitenkin todettu, että tämä kosteus pääsee kesäaikaan hyvin kuivumaan pois, eikä aiheuta kumulatiivista kosteuden kertymistä. Tätä on myös huomioitu nykypäivänä mineraalivillaeristeiden tuuletusurilla ja tai tekemällä erilliskuori, jonka avulla varmistetaan tuuletusraon syntyminen eristeen ja ulkokuoren sisäpinnan väliin. Lisäksi rakenteeseen voi päästä sisälle vettä viistosateen tai lumen sulamisen takia saumakohdista, räystäistä tai läpivienneistä. Suunnittelijan tulee ottaa huomioon tämän ja muiden rakenteisiin kertyvien vesien ohjaaminen pois rakenteesta haittaa aiheuttamatta. (Pentti 2014, 120-130; Elementtisuunnittelu www-sivut 2020c.)

Betonisandwich-ulkoseinän kuivumisen kannalta merkittävintä on rakennuskosteuden poistuminen. Mineraalivillaeristeissä voidaan käyttää uritusta ulkokuoren sisäpintaa vasten, jotta saadaan aikaan tuuletus. Gertisin menetelmän avulla on pyritty tutkimaan laskennallisesti myös EPS- ja PUR-eristeille tuuletuksen hyötyä, mutta tiivis materi-

aali ei ehdi luovuttamaan kosteutta samaa vauhtia kuin ilmavirta pystyisi sitä poistamaan urituksista, joten niiden urittamisella ei ole suurta merkitystä kuivumisen kannalta. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020c.)

3 TUULETTUVA LEVYRAPPAAUS YLEISESTI

3.1 Yleistä rapatuista julkisivuista

Yleensä kun valitaan rappaus rakennuksen julkisivuksi, on se arkkitehtoninen valinta. Tällöin julkisivulle asetetaan korkeat vaatimukset ulkonäön suhteen. Rappaus mahdollistaa julkisivun useat eri värit ja muodot, jolloin sen ilmeeseen on helpompi vaikuttaa. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020a.)

Rappausta valittaessa tulee suunnittelijan kiinnittää erityistä huomiota ilmastollisiin ja mekaanisiin rasituksiin sekä rasitusluokitukseen. Rasitusluokka valitaan rakennuksen korkeuden sekä sijainnin mukaan. Lisäksi otetaan huomioon julkisivun saderasitusta alentavat rakenteet ja myös se, että onko rakennus kylmä vai lämmin. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020a.)

Jos halutaan varmistaa rapatun julkisivun pitkä käyttöikä, tulee kiinnittää erityistä huomiota julkisivun kosteustekniseen suunnitteluun ja materiaalien pakkasenkestävyyden varmistamiseen. Kosteusteknisessä suunnittelussa tulee kiinnittää erityistä huomiota rappausalustan ja laastiyhdistelmien toimivuuteen, liitoskohtien toimivuuteen sekä halkeamien vaikutukseen ja liikuntasaumoihin. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020a.)

Rakennuksien rasitusluokituksen valitsee suunnittelija rappausta valittaessa. Rasitusluokitukseen vaikuttavat rakennuksen korkeus, sijainti sekä se, että onko rakennus kylmä vai lämmin ja onko siinä julkisivun saderasitusta alentavia rakenteita. Erityisrasitukselle julkisivu voidaan katsoa altistuvan suurten järvien ja merien ranta-alueilla BY 46:n mukaan. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020a.)

Tässä opinnäytetyössä tutkittu case-kohde sijaitsee Helsingin Kannelmässä suhteellisen lähellä merta ja on 7-kerroksinen asuinkerrostalo, joka on vielä rakennettu kallion päälle, voidaan olettaa, että julkisivuihin kohdistuu erityisen voimakasta viistosaderasitusta. Tämä aiheuttaa jo suuria vaatimuksia ja paljon kosteusteknisten yksityiskoh- tien huomioonottamista julkisivun korjauksen suunnittelussa, liitoksissa ja detaljeissa, jos se toteutettaisiin levyrappausjärjestelmällä.

3.2 Yleistä tuulettuvista levyrappauksista

Tuulettuvissa levyrappauksissa rappausalustana toimii nimensä mukaisesti levy, jonka vaatimuksena on hyvä säänkesto sekä lisäksi sen kosteus- ja lämpötilamuodonmuutos- ten tulee olla pieniä. Levyjen taustalle järjestetään yhtenäinen tuuletusväli, joka mah- dollistaa rappausjärjestelmän käytön myös kevyiden rankarakenteisten seinien julkisi- vuverhoiluna. (Suomen Betoniyhdistys ry 2016, 111.)

Tuulettuviin levyrappausjärjestelmiin kuuluvat levyt, kiinnikkeet sekä levysaumojen käsittelyratkaisut. Yleensä koko järjestelmä tulee valmiina kokonaisuutena yhdeltä materiaalitoimittajalta, mutta joissakin tapauksissa levyjen päälle tuleva ohutrappaus- järjestelmä voidaan valita myös poikkeavasti muiltakin toimittajilta kuin vain levyjen toimittajalta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2016, 111.)



Kuva 4. SerpoVent levyrappauksella toteutettu julkisivun korjaus 1970-luvulla ra- kennettuihin asuinkerrostaloihin. (Weber www-sivut 2020c.)

Tyypillisempiä käyttökohteita levyrappaukselle ovat pien-, kerros-, ja toimistotalojen rankarakenteiset ulkoseinät ja myös julkisivujen peittävä korjaaminen. Levyillä voidaan myös niiden taivutusominaisuuksien puitteissa tehdä kaarevia muotoja. (Suomen Betoniyhdistys ry 2016, 111.)

3.3 Levyrappauksen lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Kosteusteknisen toimivuuden kannalta tärkeitä tekijöitä on rakenteen riittävä tuuletus, verhousrakenteen sadevedenpitävyys sekä vuoto- ja kondenssivesien hallinta. Tuulettuva levyrappaus tulee aina suunnitella siten, että taustalle jää vähintään 20 mm leveä yhtenäinen tuuletusväli. (Suomen Betoniyhdistys ry 2016, 112.)

Lisäksi jos halutaan, että julkisivu toimii kosteusteknisesti oikein, tulee kiinnittää erikseen erityistä huomiota levyjen taakse päässeen veden poisjohtamiseen. Ikkunoiden ja ovien päälliset liittymät tulee muotoilla siten, ettei vesi turmele alapuolisia rakenteita. Tuulensuojapinnan pitäisi estää veden imeytyminen sen lävitse lämmöneristeisiin ja muuhun rakenteeseen varsinkin sellaisissa kohteissa, joissa julkisivun sääräsitus on erityisen ankaraa. (Suomen Betoniyhdistys ry 2016, 112.)

Erilaiset liitoskohdat ovat tärkeitä yksityiskohtia verhousrakenteen sadevedenpitävyyden kannalta. Epäonnistuneista liitoskohdista voi kulkeutua rakenteeseen merkittäviä määriä vettä. Siksi on tärkeää huomioida liitoksia suunniteltaessa rakenteen tuulettuminen ja vuotovesien poistuminen rakenteesta. Yleisestikin vuoto- ja kondenssivedet suositellaan poistettavan ikkuna- ja oviliitoksien kohdalta. (Suomen Betoniyhdistys ry 2016, 112-113.)

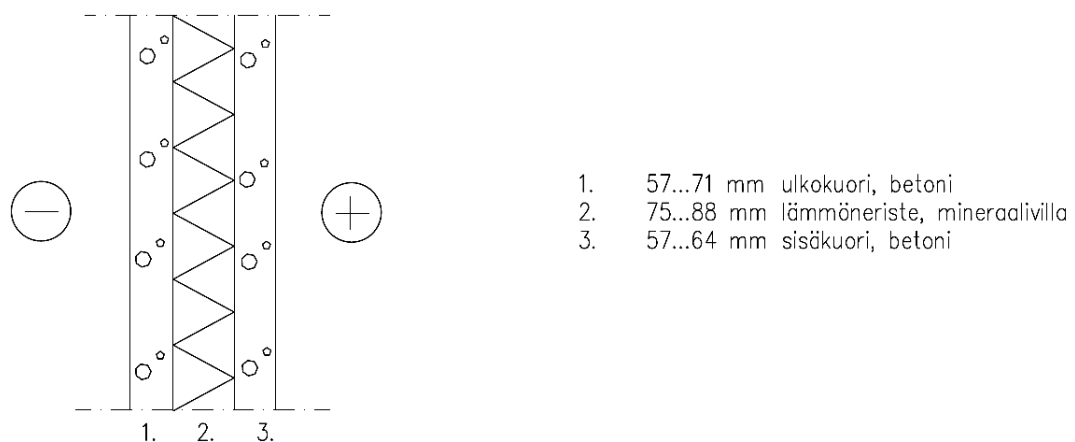
4 CASE: KLANEETTITIE 1-3

4.1 Klaneettitie 1-3 taustatietoja

Opinnäytetyön kohteena on Helsingin Kannelmäessä, osoitteessa Klaneettitie 1-3, sijaitsevat kaksi 7-kerroksista asuinkerrostaloa. Rakennukset ovat valmistuneet vuonna 1974. Kohdetta oli lähdetty tutkimaan, koska asuntojen ulkoseinien sisäpinnoilla oli havaittu kosteusvaurioita ja niiden aiheuttajat haluttiin selvittää.

4.2 Kuntotutkimus kohteesta

Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy on suorittanut Klaneettitie 1-3:lle kuntotutkimuksen vuonna 2016, jossa on pyritty selvittämään julkisivujen kunto. Kohteen julkisivuelementeistä porattiin betoninäytteitä, joista selvisi myös pitkälle edennyt betonin karbonatisoituminen. Poratuista näytepaikoista mitattiin myös kerrospaksuudet saaden seuraavia tuloksia: Ulkokuoren paksuus vaihteli välillä 57-71 mm, mineraalivillaeristeen paksuus vaihteli välillä 75-88 mm, sekä sisäkuoren paksuus vaihteli välillä 57-64 mm. (Kuva 5). Todellisuudessa alkuperäisten rakennepiirustusten mukaan sandwich-elementti oli suunniteltu seuraavanlaiseksi: Ulkokuoren paksuus 60 mm, mineraalivillaeristeen paksuus 90 mm ja kantavan sisäkuoren paksuus 80 mm. Katso kuva 2. Lämmöneristeen, mineraalivillan, painumisen takia toteutunut rakenne eroaa paljonkin suunnitellusta.



Kuva 5. Kohteen vanhan ei-kantavan teräsbetonisandwich-elementin rakennetyyppi todellisuudessa.

Kunto- ja ohuthietutkimusten tulosten mukaan rakenteen ulkokuoren läpi tapahtui paikoitellen yhtäaikaista runsasta diffuusiota sekä kapillaarisen liikkeen avulla tapahtuvaa veden liikettä korkean sää- ja kosteusrasituksen takia. Ulkokuoren betoni oli niin huokoista, että kastuessaan se pysyi pidempiä aikoja märkänä, koska sen huokosiin jäi paljon kosteutta. Kun julkisivua rasittaa viistosade, tunkeutuu kosteus suoraan pinnasta osittain kapillaarisesti rakenteeseen. Paikoitellen kosteus tunkeutui myös diffuusion avittamana rakenteeseen syvemmälle, koska ulkokuoren todella korkea kosteuspitoisuus pyrki tasaantumaan sisäänpäin eikä päinvastoin kuten kosteusteknisesti toimivissa betonisandwich-elementeissä. Kosteusrasituksen jatkuessa diffuusio auttoi kapillaarista vettä muodostamaan paikoitellen myös yhtenäisen vesiverkon syvemälle ulkokuoreen.

Lisäksi halkeillut ja alustastaan irtoillut maalipinnoite oli edesauttanut kosteuden siirtymistä eristetilaan paikoitellen ja sitä kautta elementin sisäkuoreen. Ohuthietutkimusten mukaan ulkokuoren betonin vesi/sementti-suhde sekä hydrataatioaste vaikuttivat tavallista korkeammilta. Korkea vesi/sementti-suhde edesauttaa betonin vedenimukykyä ja heikentää lujuutta, kun taas korkea hydrataatioaste kertoo betonin hyvästä lujuuden kehityksestä. Näytteissä havaittiin myös paljon epämääräisiä huokosia, joista osassa esiintyi etringiittiä. Ohuthien analyysin pohjalta todettiin etringiitin esiintymisen viittaavan kosteuden kulkeutumiseen betonissa. Lisäksi osassa näytteistä havaittiin epätasaisesti jakaantuneita pallomaisia ilmahuokosia, jotka vaikuttivat viittaavan osittain epäonnistuneeseen suojahuokostukseen.

Isännöitsijältä saadun tiedon mukaan molempien rakennuksien joidenkin asuntojen ulkoseinien sisäpinnoissa oli esiintynyt kosteusvaurioita. Yhteenvedossa todettiin, että rakennuksien kosteusteknisessä toimivuudessa oli huomattavia puutteita elementtien ollessa märkiä läpi sandwich-rakenteen.

Kuntotutkimuksessa havaittiin myös, että julkisivu oli maalattu varsin tiiviillä maalipinnoitteella, joka hidasti ulkoseinärakenteen kuivumista ulospäin paikoissa joissa se ei ollut halkeillut tai hilseillyt. Tutkimuksessa myös todettiin, että julkisivussa oli erittäin laaja-alaiset kosteusvauriot ja julkisivun vanhan betonisandwich-elementin ulkokuori oli todella huonossa kunnossa. Vanha betoni oli erittäin huokosta ja laastimaista.

Tästä johtuen Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy ehdotti raskasta julkisivun korjausmenetelmää, jossa korvataan vanhan teräsbetonisandwich-elementin ulkokuori ja eristetila kokonaan uudella ja huomattavasti energiatehokkaammalla teräsbetonisandwich-elementillä tai tekemällä vanhan sisäkuoren päälle peittävä levyrappauskorjaus termoranka-järjestelmällä. Molemmissa toimenpiteissä vanhan sandwich-elementin ulkokuori ja eristetila olisi tullut purkaa.

4.3 Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy:n lausunto korjausehdotuksista, 8/2019

Suoritettujen tutkimusten mukaan kohteen julkisivut koostuvat pääosin karkeasti uritetuista sekä sileäpintaisista teräsbetonisandwich-elementeistä.

Julkisivurakenteiden merkittävänä ongelmana olivat olleet saderasituksen aiheuttamat laajamittaiset kosteusvauriot, joiden takia seinärakenteet ovat olleet märkinä huoneistojen sisäpintoihin asti. Vesi on päässyt kulkeutumaan rakenteisiin vaurioituneiden pinnoitteiden, saumojen sekä teräskorroosio- ja rapautumavaurioista aiheutuneiden halkeamien kautta. Lisäksi seinärakenteen betonin koostumus on ollut sellaista, että kosteus pääsee poikkeuksellisen helposti imeytymään kapillaarisesti, jopa ehjän ulkokuoren läpi eristetilaan.

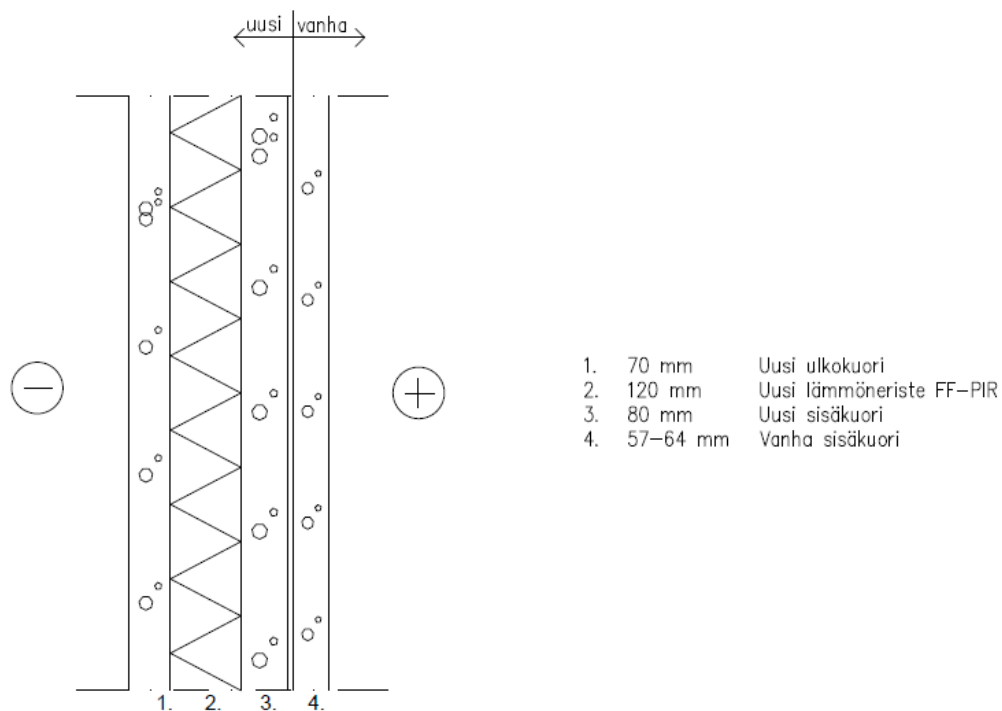
Suositteluvia korjausvaihtoehtoja on kaksi: peittävä korjaus vanhan sisäkuoren ulkopintaan asennettavilla uusilla teräsbetonisandwich-elementeillä tai peittävä korjaus vanhan sisäkuoren ulkopintaan asennettavalla tuulettuvalla levyrappausjärjestelmällä. Kohteen sijainnin, korkeuden ja näistä edellä mainituista tekijöistä johtuvan erityisen säärasituksen vuoksi ei suositella eristerappausta, koska sen kosteustekninen toiminta tulee olemaan erityisen haastava suunnitella ja toteuttaa toimivaksi eristerappauksen tuulettumattomuuden vuoksi.

5 KORJAAKSIEN SUUNNITTELU JA MITOITUS

5.1 Julkisivun peittävä korjaus teräsbetonisandwich-elementeillä

1. korjausvaihtoehdona Mehto suositteli julkisivun peittävää korjausta uusilla teräsbetonisandwich-elementeillä. (Kuva 6). Korjaustoimenpiteestä erikoisen tekee se, että normaalisti teräsbetonisia sandwich-elementtejä käytetään uudisrakentamisessa tai vaihtoehtoisesti korjattavasta rakennuksesta puretaan vanha julkisivu kokonaisuudessaan pois sisäkuoria myöten. Tässä kyseisessä kohteessa haluttiin kuitenkin jättää vanhan teräsbetonisandwich-elementin kantava sisäkuori paikoilleen, koska korjaustoimenpide haluttiin rajata vain julkisivuun eikä huoneistoihin sisälle sekä lisäksi uuden elementin ei tarvitsisi ottaa vanhan sisäkuoren kuormia vastaan eikä tarvitsisi järjestää lisätuentaa julkisivun korjaamisen ajaksi.

Suunnittelussa lähdettiin liikkeelle seuraavanlaisesta rakenteesta: Ulkokuoren paksuus 70 mm, kova lämmöneriste 120 mm sekä kantava sisäkuori 70 mm paksu. Uutta teräsbetonisandwich-elementtiä mitoittaessa käytetyt lähteet ovat merkittynä kohdassa: ”MITOITUKSESSA JA SUUNNITTELUSSA KÄYTETYT LÄHTEET”.



Kuva 6. 1. korjausvaihtoehdon mukainen rakennetyyppi.

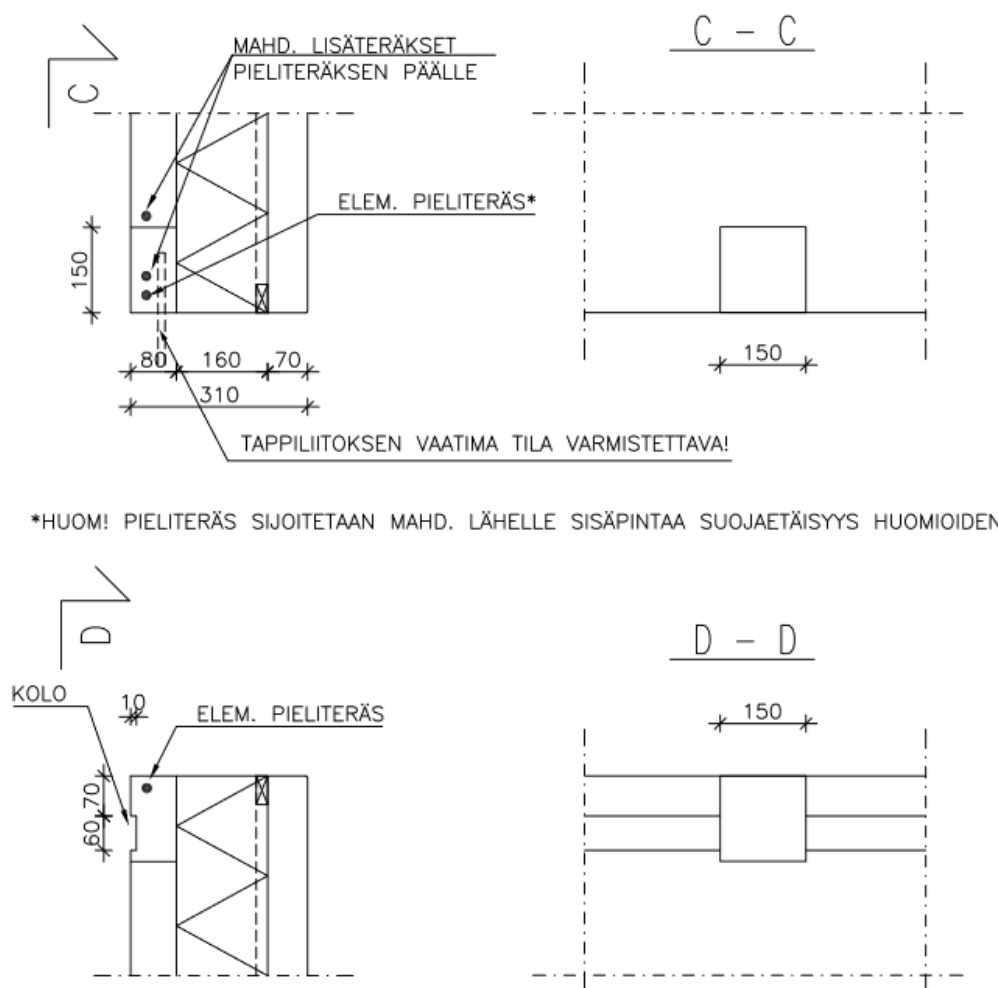
Suunnitteluprosessi aloitettiin tutkimalla uuden sandwich-elementin kiinnitystä vanhaan rakenteeseen sekä elementtien välisten pysty- ja vaakasaumojen toteutusta. Suunnittelutyötä ohjasi kuin myös rajasi se, että elementtiä ei voinut ripustaa jo olemassa olevaan rakenteeseen vaan sen täytyi siirtää kuormat alaspäin perustuksille. Itse rakennelaskelmat ovat esitettyinä liitteessä 2.

Kun elementin kiinnitys vanhaan rakenteeseen ja saumat oltiin saatu toimiviksi ratkaisuksi, aloitettiin itse elementin terästen ja rakenneosien mitoitus. Ikkuna-aukon ylitys mitoitettiin palkkina ja aukon viereiset pielipilarit seinämäisinä palkkirakenteina. Tämän jälkeen sisä- ja ulkokuoria tarkasteltiin vielä seininä. Lopuksi valittiin muut teräsosat kuten nostolenkit, kuorien kiinnitys toisiinsa sekä mahdolliset tartunnat. Kun edellä mainitut rakenneosat oli mitoitettu ja tarkastettu murtorajatilassa, tehtiin vielä tarvittavilta osin käyttörajatila-, palo- ja onnettomuustilanteen tarkastelut.

Lähes kaikki nykypäivänä käytetyt menetelmät ja valmisosat on suunniteltu siten, että sandwich-elementtien liitoksien sekä pysty- ja vaakasaumojen työstäminen työmaalla onnistuu elementin sisäpuolelta käsin. Tämän johdosta liitos- ja kiinnitysratkaisuissa jouduttiin etsimään, hakemaan ja suunnittelemaan tapoja toteuttaa liitokset ja saumat, joita voitaisiin työstää elementin ulkopuolelta. Edellä mainitut vakioliitokset tarkoittavat, että liitostyyppi on laajasti käytössä ja todettu käytännössä hyvin toimivaksi ja varmaksi ratkaisuksi. Eli ne ovat vakiintuneet hyviksi yleisiksi ratkaisuksi. Tässä työssä suunniteltujen liitosten ja saumojen periaatteet on esitetty karkeasti liitteessä 1.

Teräsbetonisandwich-elementtiä suunniteltaessa ja optimoitaessa tutustuttiin myös kuitubetoneihin. Aiheesta on tehty vuonna 2013 julkaistu diplomityö sekä Betoniteollisuus on patentoinut KSW-nimikkeellä olevan kuitubetonisandwich-elementin, jonka käyttöön vain jäsenyrityksillä on oikeus. Diplomityön tuloksena on ollut todella ohuen ulkokuoren omaava elementti, jossa normaali ansastus ja ulkokuoren raudoitus jäävät pois. KSW-elementti on myös 13-19 % kevyempi ja 30-40 mm ohuempi. KSW-elementti olisi sopinut hyvin kohteeseen yhdeksi korjausvaihtoehdoksi, mutta sitä ei tutkittu, koska se rajattiin tämän opinnäytetyön tarkasteluista pois. Lisäksi sen käyttäminen vaatii oikeuden Betoniteollisuudelta. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020d.)

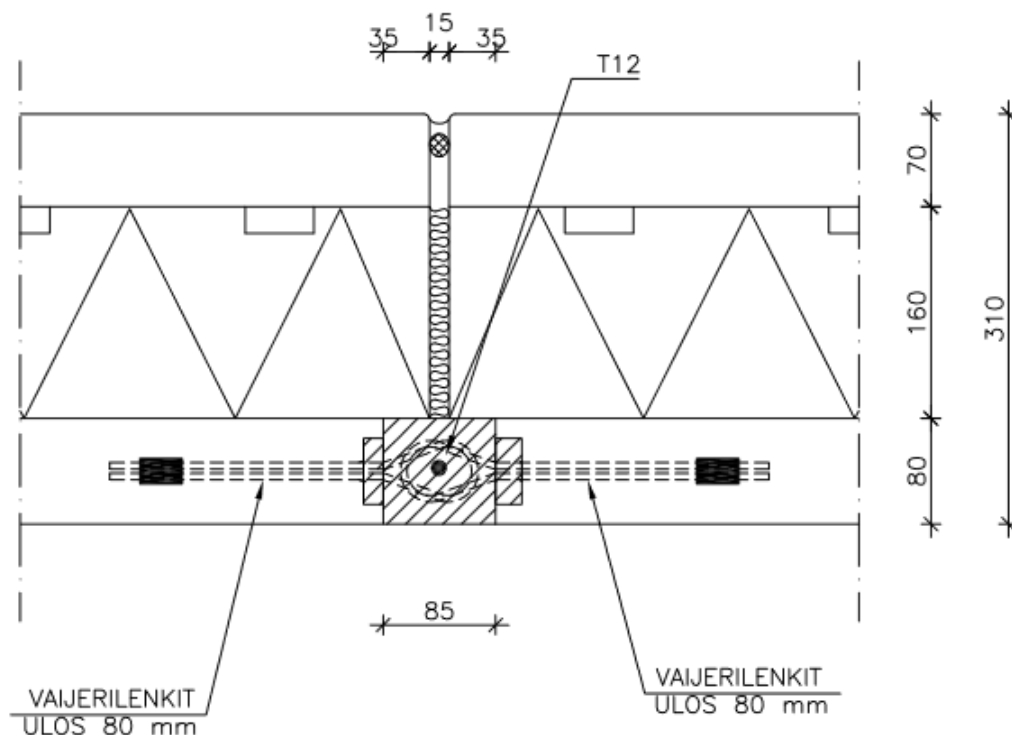
Elementtien välinen vaakasauma suunniteltiin vaarnatappiliitokseksi, jossa kierretangot kiinnitetään elementin sisäkuoren alareunassa oleviin sisäkierrehylsyihin ja juotetaan juotosbetonilla alapuolella sijaitsevan elementin sisäkuoreen tehtyihin varauskoloihin, niin ettei alareunan kiinnitystä alla olevaan elementtiin tarvitse enää työstää sen laskemisen jälkeen. Tämä liitostyyppi on hyvin yleisesti käytetty vakioliitos elementtiseiniä päällekkäin asentaessa. Se voidaan toteuttaa joko sisäkierrehylsällä tai vaihtoehtoisesti jättämällä juotettava varaus sandwich-elementin sisäkuoreen, joka juotetaan työmaalla elementin sisäpuolelta käsin. Tämä sisäpuolelta juottaminen ei kuitenkaan ollut mahdollista opinnäytetyössä käytetyn liitoksen kannalta. (Kuva 7).



*HUOM! PIELITERÄS SIOITETAAN MAHD. LÄHELLE SISÄPINTAA SUOJAETÄISYYS HUOMIOIDEN.

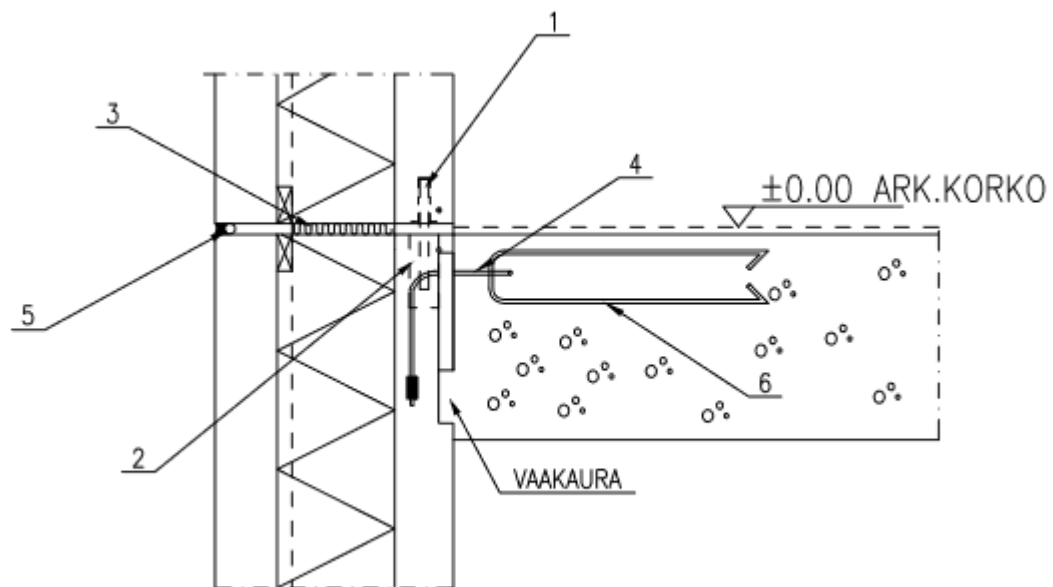
Kuva 7. Sandwich-elementin sisäkuoren S-pistekolot, ei-kantava seinä. (Elementti-suunnittelu www-sivut 2020e).

Ei-kantavien teräbetonisandwich-elementtien pystysaumot toteutetaan yleensä vaijerilenkkiliitoksiin, jotka ovat vakioliitoksia. (Kuva 8). Pystysaumaan laitetaan harjaterästanko, joka pujotetaan vaijerilenkkien läpi ja lopuksi koko sauma pumpataan sisältä käsin täyteen pystysaumabetonia. Tämä vakioliitos ei tietenkään sopinut ratkaisuksi kohteeseen, jossa saumaan ei päästä käsiksi muualta kuin betonisandwich-elementin ulkopuolelta yläreunasta käsin. Pystysaumaksi suunniteltiin lopulta elementin sisäkuorien yläreunoihin harjateräksestä taivutetut lenkit soveltaen teräslenkkiliitosta, joka on vakioliitostyyppi kantavien ja jäykistävien betoniseiniä pystysaumoissa. Teräslenkkiliitos on muuten samanlainen kuin vaijerilenkkiliitos, mutta siinä vaijerilenkit on korvattu taivutetuilla harjaterästangoilla. Työssä suunniteltu liitos on mahdollista saumata elementin ulkopuolelta käsin ennen kuin päälle asennetaan seuraava rivi ei-kantavia ulkoseinäelementtejä.



Kuva 8. Ei-kantavien ulkoseinäelementtien vakioliitos vaijerilenkeillä. (Elementti-suunnittelu www-sivut 2020e).

Sandwich-elementin kiinnitys vanhaan rakenteeseen suunniteltiin vaakavoimia vastaanottavaksi, mutta myös ripustamaan elementti vanhaan runkoon onnettomuustilanteessa, jossa se jää roikkumaan yläpään kiinnityksen varassa. Normaalisti ei-kantava ruutuelementti kiinnitetään rakennuksen kantavaan runkoon vakioliitosten mukaisesti joko Pasi -vaijerilenkki kiinnityksellä tai pelkällä vaijerilenkillä. (Kuva 9). Kohteeseen suunniteltiin liitos, joka ankkuroidaan vanhan sisäkuoren läpi vanhaan kantavaan laattaan niin, että vanhalle sisäkuorelle ei välittyisi kuormia ja rasituksia.

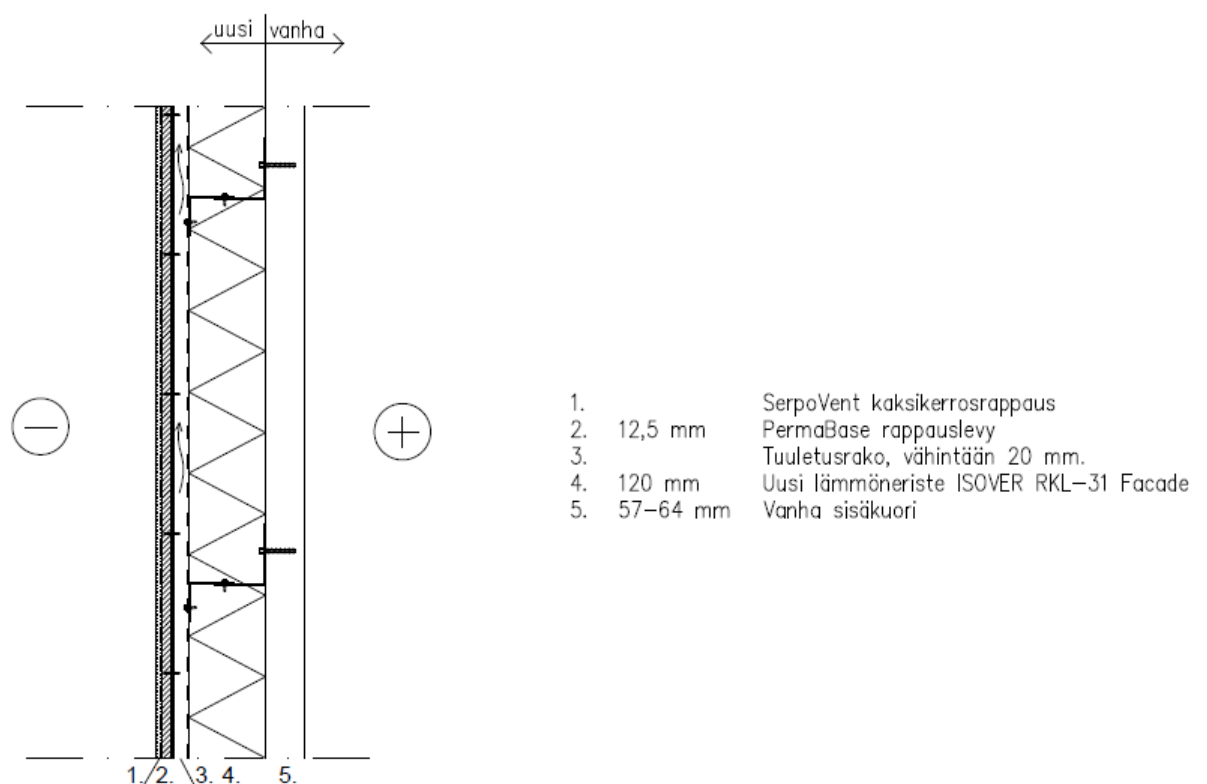


Kuva 9. Ei-kantavien ulkoseinäelementtien välikiinnitys massiivilaattaan. (Elementtisuunnittelu www-sivut 2020e).

5.2 Julkisivun peittävä korjaus tuulettuvalla levyrappausjärjestelmällä

Toinen Mehton suosittama korjausvaihtoehto oli tehdä peittävä korjaus tuulettuvalla levyrappausjärjestelmällä. Tähän opinnäytetyöhän valittiin Weberin ja Isoverin tuotteilla toteutettava järjestelmä. Korjaus toteutettaisiin SerpoVent RENOVA julkisivujärjestelmällä, joka koostuu ulkopinnalle tehtävästä kaksikerrosrappauksesta, tuulensuojatusta lämmöneristeestä ja koko järjestelmän julkisivuun kiinnittävästä rangasta. Rappausalustana toimii PermaBase-rappauslevy sekä lämmöneristeenä 120 mm paksu ISOVER RKL-31 Facade. (Weber www-sivut 2020a.)

SerpoVent RENOVA julkisivujärjestelmä on tuulettuva levyrappausjärjestelmä, joka asennetaan olemassa olevan sandwich-elementin päälle. Tässä kohteessa olisi kuitenkin suositeltavaa purkaa vanha ulkokuori ja eristetila kohdassa 4.2 esitettyjen havaintojen vuoksi. (Kuva 10). Valmistajan internet-sivuilla on lueteltuna monia järjestelmän etuja kuten; kosteustekninen toimivuus, mitoituksen vaivattomuus, BY 64 mukainen tuuletus, huoltovapaus, luotettavuus sekä monia muita etuja. Järjestelmää on käytetty jo vuosia ja sitä kehittää jatkuvasti yksi rakennusalan suurimmista materiaalitoimittajista, jolla on kattavat resurssit testaamiseen ja kehittämiseen. (Weber www-sivut 2020a.)



Kuva 10. 2. korjausvaihtoehdon mukainen rakennetyyppi.

Järjestelmästä on materiaalitoimittajalla kattavat mallipiirustukset sekä -kuvat ja suunnitteluohjeet, joten sen suunnittelu tapahtuu nopeammin kuin elementeillä toteutettu korjaus. Lisäksi järjestelmä on nimenomaan korjausrakentamiseen tarkoitettu ja kehitetty toisin kuin tässä opinnäytetyössä esitetty korjausvaihtoehto 1, jota on lähtökohteisesti käytetty vain uudisrakentamisessa. Järjestelmän käänttöpuolena on erittäin vaativat liitosdetaljit. Ikkunoiden, ovien, räystäiden, saumojen, järjestelmän kiinnitykset vanhaan rakenteeseen sekä vesien ohjaaminen tulee ottaa huomioon suunnittelussa.

Levyrappauksessa haastavinta on se, että yleensä koko rakennejärjestelmän rakenteellisen ja kosteusteknisen toimivuuden ratkaisevat nimenomaan liitokset muihin rakeneosiin. (Suomen Betoniyhdistys ry 2016, 121). Suunnittelijalta vaaditaan siis laajaa kosteusteknistä osaamista verrattuna betonisandwich-elementin suunnitteluun, jonka kosteustekninen käyttäytyminen on Suomessa hyvin tunnettu yleisesti. Epäonnistuneiden tai väärin suunniteltujen liitosten ja saumojen kautta voi nopeastikin kulkeutua suuret määrät vettä rakenteeseen. Varsinkin korkeissa rannikon läheisyydessä sijaitsevissa rakennuksissa viistosaderasitus on niin suuri, että suunnittelu- tai työvirheen satuessa kosteusvauriot voivat kasvaa todella suuriksi nopeasti.

5.3 Korjausvaihtoehtojen rakennetyyppien lämpö- ja kosteustekninen tarkastelu sekä energiatehokkuuden tarkistus

Opinnäytetyössä tarkasteltiin molempien korjausvaihtoehtojen lämpö- ja kosteusteknistä käyttäytymistä sekä laskettiin uusi korjauksen jälkeinen U-arvo. Tarkastelussa käytettiin DOF-Lämpö -ohjelmaa, jonka tuloksia on käsitelty kohdassa 6.3 sekä liitteessä 3. Molemmat rakennetyypit tarkasteltiin kosteusteknisesti kahdessa eri mitoitustilanteessa talvella. 1. mitoitustilanteessa kosteuslisäksi on valittu 4 g/m^3 . 2. mitoitustilanteessa kosteuslisäksi valittiin 7 g/m^3 , mikä voi olla mahdollinen, jos taustalla vaikuttaa suuret vedenkäyttötottumukset yhdessä huonosti toimivan ilmanvaihdon kanssa. (Lindberg 2003, 433.)

Ulkoilman lämpötila sekä tarkastelun vuodenaika valittiin Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaan säävyöhykkeelle I, jolla Helsinki sijaitsee. Tarkasteluhetkeksi valittiin talvi ja ulkoilman suhteellisen kosteuden arvoksi valittiin RH 90 %. Kokoelman mukaan mitoitettava ulkoilman lämpötila on $-26 \text{ }^\circ\text{C}$. (Suomen RakMK D3 20121, 29.)

Tämä tarkoittaa siis sitä että 1. ja 2. mitoitustilanteessa ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus olivat mitoitushetkellä $-26 \text{ }^\circ\text{C}$ ja RH 90 %. Sisäilman lämpötilaksi valittiin $+21 \text{ }^\circ\text{C}$. Kosteuslisän arvolla 4 g/m^3 saadaan sisäilman suhteelliseksi kosteudeksi RH 25,0 %. Kun kosteuslisä on 7 g/m^3 saadaan sisäilman suhteelliseksi kosteudeksi $+21 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa RH 41,3 %. Näin ollen ainoastaan sisäilman suhteellinen kosteus on ainut muuttuja molemmissa mitoitustilanteissa.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Vertailun yhteenveto

Korjauksen suunnittelu SerpoVent RENOVA julkisivujärjestelmällä on huomattavasti helpompaa ja nopeampaa kuin teräsbetonisandwich-elementeillä johtuen siitä, että siitä on olemassa jo tuotekehittäjän valmiiksi laatimat mallisuunnitelmat, -detaljit ja -työselostukset, joita kohteeseen sopiviksi muokkaamalla työt saadaan nopeasti käyntiin. Myös rakenteen kosteustekninen toimivuus on tarkasti selvitetty ja järjestelmää kehitetty Suomen olosuhteita varten. Julkisivujen korjausta teräsbetonisandwich-elementeillä ei ole kehitetty tietävästi paljoa tai juuri ollenkaan, koska siitä ei löytynyt tietoa tai aihetta käsitteleviä lähteitä tätä opinnäytetyötä tehdessä. Suunnittelu siis kestää huomattavasti pidempään vaikka Elementtisuunnittelu.fi www-sivut tarjoavat todella kattavan tietopaketin betonielementtien suunnitteluun. Vakioliitokset ja -ratkaisut ovat kuitenkin pitkälle hiottuja ja kehitettyjä uudisrakentamisen tarpeisiin nähden, mutta silti niistä saatiin tässä työssä apua korjausrakentamiseen soveltuvia ratkaisuja detaljien, saumojen ja liitosten suunnittelussa.

Syy miksi vertailuun valittiin Saint-Gobainin SerpoVent RENOVA julkisivujärjestelmä on se, että valmistajan tuotesivuilla sen sanotaan olevan nopein kaikista SerpoVent järjestelmistä. Kokemusperäisesti Mehtolla on todettu, että tällaisten rankajärjestelmien heikkous piilee niiden asentamiseen kuluva ajassa, mikä tarkoittaa myös puretun julkisivun suojaamista koko työn ajan. Muiden korjausrakentamiseen soveltuvien SerpoVent järjestelmien asentaminen taas kestää pidempään kuin RENOVAN. (Weber www-sivut 2020b).

Molempien korjausvaihtoehtojen tuli siis olla nopeasti asennettavia työmaalla johtuen vanhan betonisandwich-elementin ulkokuoren ja eristetilän purkamisesta sekä sääsuojauksesta. Uusien teräsbetonisandwich-elementtien etu SerpoVent RENOVAAN nähden oli se, että levyrappausjärjestelmässä työvaiheita on enemmän kuin betonisandwich-elementtejä käytettäessä. Levyrappauksessa koko julkisivu on pidettävä säältä suojattuna, kunnes se on täysin valmis. Betonisandwich-elementtejä käyttäessä julki-

sivu on saumauksia vaille valmis jo siinä vaiheessa, kun elementti on laskettu paikoilleen ja kiinnitetty. Julkisivun sääsuojausta voidaan alkaa purkamaan sitä mukaa kun elementtejä saadaan saumattua. RENOVA vaatii myös vanhan sisäkuoren tasauksen tai oikaisun, jonka toleranssina on valmistajan ilmoittama ± 5 mm kahden metrin matkalla. Järjestelmän rangan asentaminen on työlästä sekä aikaa vievää työmaalla. Levyrappaus järjestelmän osien varastoimiseen tarvitaan myös paljon tilaa työmaalla. Lisäksi materiaalit tulee suojata hyvin sääolosuhteilta ja kosteudelta. Uudet elementit taas tuotaisiin suoraan tehtaalta ja asennettaisiin suoraan työmaalle saapuessaan sekä niiden alustan tasaisuustoleranssivaatimus on kevyempi kuin SerpoVent RENOVALLA.

Kohteelle erityispiirteenä oli erittäin huokoinen ja laastimainen heikko betoni vanhan betonisandwich-elementin sisä- ja ulkokuorissa. Betonisandwich-elementeillä suoritettavan korjaustavan etuna tässä kyseisessä kohteessa olisi ollut myös korjausten rajaus vain julkisivuun ja ulos, kun taas SerpoVent RENOVA olisi pitänyt kiinnittää lisäksi varmistuspulttauksin vanhaan sisäkuoreen vanhan betonin helposta lohkeilusta johtuen. Tämän takia työmaalla olisi myös ollut suurempi riski tehdä ”vahinko” porauksia vanhan sisäkuoren läpi huoneistoihin, jolloin oltaisiin jouduttu tekemään myös korjauksia rakennuksen sisäpuolella.

Yksi suuri ero korjaustavoissa on myös perustusten vahvistaminen. Betonisandwich-elementit painavat paljon enemmän kuin SerpoVent RENOVA, jonka ilmoitettu paino on alle 50 kg/m^3 valmistajan mukaan, kun taas teräsbetonin laskennallinen paino on 2500 kg/m^3 . Tämän johdosta ei tarvitse vahvistaa perustuksia tai kasvattaa sokkelin paksuutta käytettäessä levyrappausta, mikä on kustannusten kannalta suuri etu. (Weber www-sivut 2020d.)

Myös korjausvaihtoehtojen tekninen käyttöikä poikkeaa toisistaan. Teräsbetonisandwich-elementti on paljon helpompi suunnitella esimerkiksi 100 vuoden suunnittelukäyttöikään kuin levyrappaus, joka jakaisi pitkällä aikavälillä korjauksen kustannuksia tasaisemmiksi. Weber antaa pelkästään SerpoVentin teräsosille vähintään 50 vuoden suunnittelukäyttöiän ja rappauspinnan huoltoväliksi 20-60 vuotta. Lisäksi Weber antaa SerpoVent RENOVALLE 10 vuoden RYHT 2000 mukaisen järjestelmätakuun, mutta

järjestelmä kokonaisuudelle ei ole selkeää ja yhtenäistä suunnittelukäyttöikä. (Weber www-sivut 2020d.)

Korjaustavat poikkeavat toisistaan myös ääneneristävyys ominaisuuksiltaan. Vaikka PIR-eriste ei ole ääniteknisesti niin hyvä kuin mineraalivilla, on kuitenkin uusi betonisandwich-elementti kokonaisuutena paremmin ääntä eristävä kuin SerpoVent RENOVA, joka asennetaan vanhan sisäkuoren päälle tässä kohteessa. Erittäin yksinkertaistetusti tämä voidaan perustella rakennetyyppien massojen erolla. Raskaampi seinä, parempi ääneneristävyys. Rakenteen ääneneristävyys tulee aina tutkia ja mitoitaa kohteen sijainnin ja asemakaavan vaatimukset huomioon ottaen tapauskohtaisesti.

SerpoVent RENOVA ei yltänyt Ympäristöministeriön vaatimukseen U-arvon puolittamisesta, mutta olisi varmasti yltänyt, jos vanha sandwich-elementti olisi jätetty kokonaisuudessaan paikoilleen. Sen sijaan uudella sandwich-elementillä päästäisiin helposti myös passiivirakentamisen tasolle julkisivua uudistaessa. Niin suuri lisäeristäminen vaatisi kuitenkin tarkempia lämpö- ja kosteusteknisiä tarkasteluja rakenteelle, sekä hankaloittaisi jossain määrin ovien ja ikkunoiden liittymien suunnittelua.

Viimeisenä huomiona myös se, että molemmilla korjausvaihtoehdoilla voidaan melko suuresti vaikuttaa korjattavan kohteen arkkitehtoniseen ilmeeseen. Helsingissä Mehto on huomannut, että yhä useammin korjauskohteissa halutaan suojella vanhoja betonielementtirakenteisia rakennuksia ja tämä ei onnistu muulla tavoin kuin korjaamalla rakennus alkuperäisiä vastaavilla elementeillä. Pinnoitteiden ja maalien värimaailma ja sävyt ovat melko vapaasti arkkitehdin valittavissa molemmissa vaihtoehdoissa. Kuitenkin korjaus sandwich-elementeillä antaa arkkitehdille ja mahdollisesti myös taiteilijoille niin sanotusti vapaammat kädet pinnan muotojen suhteen toteuttaa melko viljejäkin muotoja ja yksityiskohtia julkisivuissa. (Mölsä 2020). Levyrappausjärjestelmällä on myös mahdollista tehdä kaarevia muotoja julkisivuun rappauslevyjen taivutusominaisuuksien mukaan. (Suomen Betoniyhdistys ry 2016, 111).

Molemmissa korjaustavoissa on sekä hyvät, että huonot puolensa. Korjausvaihtoehdon kustannukset ovat yleensä tilaajan kannalta määräävä tekijä mikä ei aina ole kaikkein paras perustelu valinnoille. Usein kustannuksia ei muisteta tarkastella pitkän aikavälin

kustannuksina, vaan nähdään pelkästään sen hetkiset investointikustannukset. Tuulettuva levyrappaus on Suomessa vielä suhteellisen uusi rakenne verrattuna betonisandwich-elementtiin. Kohde sijaitsee kuitenkin suhteellisen lähellä merta sekä lisäksi vielä melko aukealla ja korkealla kallion päällä. Viistosaderasitus on tällaisissa kohteissa yleensä Mehton korjattujen kohteiden historian valossa aiheuttanut rappausten ennenaikaisia korjauksia ja hajoamisia. Betonisandwich-elementti kestäisi sade- ja pakkasrasitusta kuitenkin paljon enemmän kuin levyrappaus pitkällä aikavälillä, joten se olisi melko varmasti kestävämpi ratkaisu juuri tässä kohteessa. Lopulliseen päätökseen korjaustavan valinnasta olisi hyvä selvittää vielä toteutuksen kustannukset, tilaajan vaatimus julkisivun käyttöiästä sekä kustannusten jakaantuminen vaaditulle käyttöiälle. Rakennukset tulisi kuitenkin aina korjata hyvää rakennustapaa noudattaen ja kerralla kunnolla, ettei tarvitsisi muutaman vuoden päästä korjailla taas hiukan lisää.

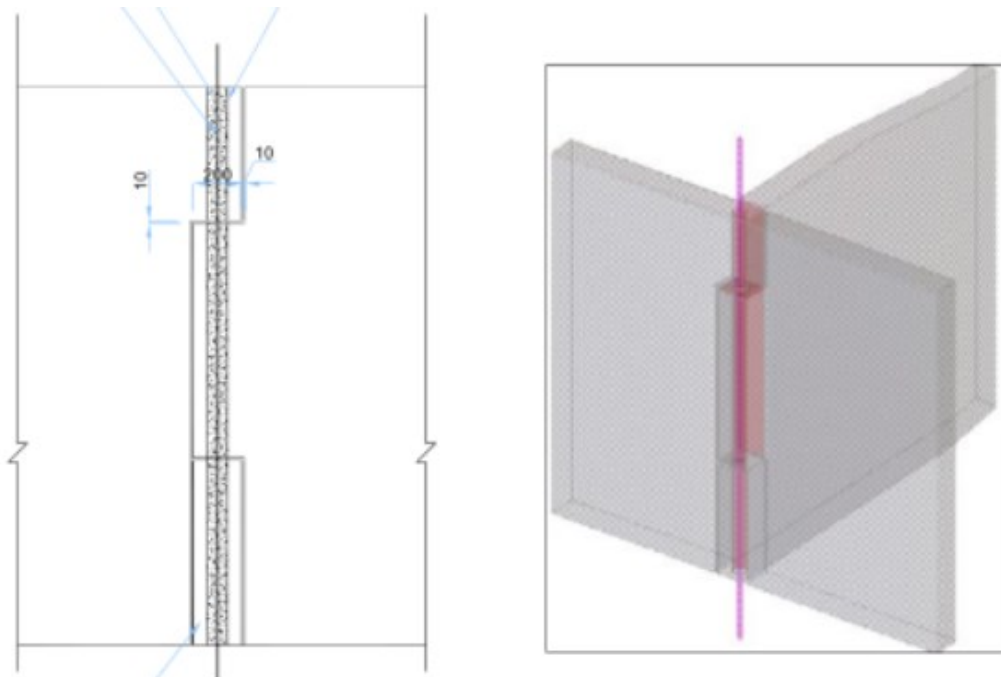
6.2 Ongelmien pohdintaa käytettäessä teräsbetonisandwich-elementtejä

Suurimmaksi ongelmaksi muodostui elementtien liitosten suunnittelu sellaisiksi, että elementtien asennus ja liitosten juottaminen sekä saumaaminen voisi tapahtua pelkästään julkisivurakenteen ulkopuolelta. Vanhan sandwich-elementin sisäkuoren jäädessä paikalleen, ei uusia sandwich-elementtejä päästä kiinnittämään tai saumaamaan rakenteen sisäpuolelta ollenkaan. Normaalisti uudisrakennuskohteessa esimerkiksi elementtien väliset pystysaumot pumpataan saumausbetonilla rakennuksen sisäpuolelta käsin. Koska saumojen ja liitosten saumaus sekä juotos ei onnistu sisäpuolelta tai betonisandwich-elementin laskemisen jälkeen, tulee laadittavaan korjaustyöselostukseen sekä elementtien asennussuunnitelmaan kiinnittää erityistä huomiota elementtien asennuksien toteuttamisessa sekä työvaiheiden järjestyksissä. Lisäksi on olennaista, että suunnittelija käy vuoropuhelua ja tarvittaessa konsultoi yritystä, joka on erikoistunut asentamaan elementtejä.

Korjauksen suunnittelu oli haastavaa, mutta valmiiden ratkaisujen puuttuminen sai pohtimaan Suomessa harvemmin käytettyjä menetelmiä sekä etsimään ratkaisuja ulkomailta. Esimerkiksi pystysauman toteutus perinteisillä lenkeillä ei tässä tapauksessa

onnistunut. Sen sijaan tutkittiin vaihtoehtoista menetelmää; niin kutsuttua lukitusliitosta, jota käytetään Alankomaissa paljon korkeissakin rakennuksissa. (Suomela 2017, 68.)

Liitos on kiehtova myös siksi, että sen kehittäminen ja tutkiminen voisi kehittää liitosmallin, jonka ansiosta esim. tässä opinnäytetyössä esitelty korjaus betonisandwich-elementeillä voitaisiin toteuttaa vieläkin nopeammin. Lukitusliitos muuttaisi pystysauman eräänlaiseksi versioksi juotostappiliitoksesta, jossa saumaan levitetään saumausbetonia samalla tavalla kuin laastia levitetään tiilien muurauksessa. (Kuva 11). Kun elementti lasketaan paikalleen sekä pysty- että vaakasauma tiivistyvät sisäkuoressa ilman erillistä sauman umpeen valamista. Tämän ansiosta elementtien välejä ei tarvitsisi erikseen saumata enää niiden paikalle laskemisen jälkeen.



Kuva 11. Eräänlainen versio lukitusliitoksesta, jossa kolme seinää liitetään yhteen. (O'Reilly Concrete www-sivut 2020.)

Toinen erikoispiirre korjausmenetelmälle oli myös optimoida uuden betonisandwich-elementin paksuus. Alustavasti tarkoituksena oli saada rakenne toimimaan vain 70 millimetrin kantavalla sisäkuorella, mutta mitoittaessa rakenneseosia päädyttiin kuitenkin laskennallisesti siihen tulokseen, että sisäkuoren minimipaksuus on 80 millimetriä niin palomitoituksen kuin rakenteen kestävyysdenkin kannalta. Tämä tuli ilmi, kun ruu-tuelementin ikkuna-aukon pielipilareita suunniteltiin. Rakennetta ei saatu toimimaan

raudoitettuna sen geometrian vuoksi, eikä se kestänyt alas tulevia kuormia raudoittamattomana alle 80 mm paksuuksilla. Tämän johdosta ylemmissä kerroksissa tulee käyttää 80 mm paksua sisäkuorta sekä 1. ja 2. kerroksessa lähellä maanpintaa tulee kantokyvyn takia käyttää 90 mm paksuja sisäkuoria ruutuelementeissä.

Sisäkuori toimii myös julkisivussa osastoivana rakenteena palotilanteessa. Eurokoodi 2 asettama vähimmäispaksuus osastoivalle seinälle on 80 mm, jos standardipalonkestävyys on luokkaa EI 60. Vanha sisäkuori ja uusi ulkokuori suojaavat palotilanteessa uutta sisäkuorta, mutta ne eivät täytä vaatimusta 80 mm:stä. Lisäksi on varmalla puolella olettaa, että vanha ja uusi sisäkuori eivät toimi tarpeeksi yhtenäisenä rakenteena niiden väliin jäävän ilmaraon takia, jotta osastointivaatimus täytyisi hoikemmalla uudella sisäkuorella.

Taulukko 1. Eurokoodi 2 asettamat vaatimukset ei-kantaville osastoiville seinille. (SFS-EN 1992-1-2:2005 + A1:2019 + AC:2008, 44.)

Standardipalonkestävyys	Seinän vähimmäispaksuus (mm)
1	2
EI 30	60
EI 60	80
EI 90	100
EI 120	120
EI 180	150
EI 240	175

Myös valmisosien sovittelu kantavaan sisäkuoreen osoittautui haastavaksi. Suurin osa valmisosista vaatii esimerkiksi minimi reunaetäisyydeksi 50 mm osan keskeltä reunalle. Lisäksi valmisosat vaativat yleensä niitä ankkuroivia lisärautoja ja hakasia. Jo 8 mm paksu harjatanko vaatii taivutustelan halkaisijaksi 4 kertaa oman halkaisijansa eli

32 mm. (Taulukko 2). Tämän johdosta on jo todella hankalaa suunnitella hoikkaa rakennetta, jossa teräksiä suojaavan betonipeitteen nimellispaksuus täyttyy. Loppujen lopuksi jokaisen valmisosan kohdalle jouduttiin suunnittelemaan vahvennos ja osiin, joihin kohdistui voimia, piti sijoittaa lisäraudoitusta.

Taulukko 2. Eurokoodi 2:n mukainen taivutustelan vähimmäishalkaisija raudoituksen vahingoittumisen estämisen kannalta. (SFS-EN 1992-1-2:2005 + A1:2019 + AC:2008, 131.)

Tangon halkaisija	Taivutustelan vähimmäishalkaisija taivutuksille, koukuille ja lenkeille (ks. kuvaa 8.1)
$\phi \leq 16 \text{ mm}$	4ϕ
$f > 16 \text{ mm}$	7ϕ

6.3 Korjausten rakennetyyppien lämpö-, kosteusteknisen sekä energiatehokkuuden tarkastelun tulokset

Rakennetyyppien lämpö- ja kosteusteknistä käyttäytymistä tarkasteltiin DOF-Lämpö-ohjelmalla. Tulokset on esitetty liitteessä numero 3. Lisäksi ohjelmalla tarkistettiin, että rakennetyypit täyttävät Ympäristöministeriön asettaman vaatimuksen rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta muutos- ja korjaustöissä.

Kohteen vanha betonisandwich-elementti oli alun perin suunniteltu seuraavasti; ulko-kuoren nimellispaksuus oli 60 mm, lämmöneristeenä 90 mm paksu mineraalivilla ja kantavan sisäkuoren nimellispaksuus oli 80 mm. Tyypillinen alkuperäinen suunnittelu U-arvo tällaiselle rakenteelle on Ympäristöministeriön mukaan $0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$. (Ympäristöhallinnon yhteisen verkkopalvelun [www-sivut 2020](#)).

Jotta päästäisiin vaadittuun $0,205 \text{ W/m}^2\text{K}$ -arvoon, tuli korjausvaihtoehto 1:ssä valita lämmöneristeesi 120 mm paksu FinnFoam-PIR-polyuretaanieriste, jonka lämmönjohtavuus on $0,022 \text{ W/mK}$. (FinnFoam [www-sivut 2020](#)). Korjausvaihtoehto 2:ssa taas valittiin lämmöneristeesi 120 mm paksu ISOVER RKL-31 Facade, jonka lämmönjohtavuus on $0,031 \text{ W/mK}$. (Isover [www-sivut 2020](#).) Järjestelmälle ilmoitettu maksimi lämmöneristeen paksuus on 120 mm ja tällä paksuudella rakennetyyppi ei pääse vaadittuun $0,205 \text{ W/m}^2\text{K}$ U-arvoon. (Weber [www-sivut 2020a](#).)

Vaikka SerpoVent RENOVA ei täytä Ympäristöministeriön 4/13 asetuksen 4 § vaatimuksia ulkoseinän U-arvon puolittumisesta, voitaisiin sitä perustella vaihtoehtoisesti asetuksen 6 § tai 7 § avulla. Nämä ovat laskennallisesti vaativampia menetelmiä, joissa tarkastellaan koko rakennuksen energiankulutusta, mutta niiden etuna on se, että vanhaa arvoa tai kulutusta ei tarvitse puolittaa ja näin ollen ne ovat hieman armollisempia kuin 4 § joissain tapauksissa. Näiden pykälien ja koko rakennuksen E-luvun ja energian kulutuksen tarkastelu on kuitenkin rajattu pois tästä opinnäytetyöstä.

Mehto on joskus tutkinut SPU-eristeellä varustettujen teräsbetonisandwich-elementtien verhoamia julkisivuja ja niiden kosteusteknistä toimivuutta. Eräässä kohteessa oli ilmoitettu kosteusvauriosta, jossa oli käytetty SPU-eristeellä toteutettuja betonisandwich-elementtejä. Lämmöneriste itsessään ei päästänyt kosteutta eristetilan läpi, mutta kosteus pääsi elementin vaakasaumojen kohdissa syvemmälle rakenteeseen kosteusteknisesti toimimattoman vaakasauman toteutuksen takia. Siksi kohteen vaakasauman suunnittelussa on otettu huomioon myös DOF-Lämmön ilmoittama kondensoitumisvaara ulkokuoren ja FF-PIR-eristeen väliin. Vaikka eriste ei päästäkään kosteutta rakenteeseen syvemmälle, vaakasaumat suunniteltiin siten, että kosteus kondensoituisaan ja mahdollisesti valuessaan alaspäin painovoiman takia pääsee rakenteesta ulos vaakasaumoihin asennettavien tuuletusputkien kautta, eikä päinvastoin kulkeudu syvemmälle aiheuttaen ongelmia.

6.4 Jatkokehitysehdotus korjaamiselle teräsbetonisandwich-elementeillä

Korjaustapaa teräsbetonisandwich-elementeillä on varaa kehittää paljonkin ja nimenomaan kehittää itse elementtiä sopivammaksi korjauksia ajatellen. Tutkimalla ja käyttämällä kuituja betonissa saataisiin rakennetta kevyemmäksi ja ohuemmaksi. Kun rakenteen paino ja materiaalin määrä vähenevät, vähenevät myös kustannukset. Tällöin kantavan sisäkuoren ja liitosten suunnittelusta tulee helpompaa kuormien ja rasiusten vähentyessä.

Myös perinteisiä elementtiliitoksia olisi hyvä haastaa kansainvälisesti käytetyillä ratkaisuilla, kuten tässä opinnäytetyössä mainittu lukitusliitos, vaikka Suomessa käytetyt

vakioliitokset ovatkin pitkälle kehitettyjä ja hyviä. Ulkomailta löytyy paljon osaamista ja ratkaisuja mitä Suomessa ei ole vielä kokeiltu tai käytetty. Niihin tutustuminen ja uusien käyttötapojen kokeilu ja rohkeasti esiin tuominen voivat tuoda esiin mielenkiintoisia ja toimiviakin ratkaisuja. Valitettavasti rakennusteollisuudessa on edelleen nykypäivänä erittäin vahvana se mentaliteetti, että tehdään kuten on aina ennenkin tehty. Vaikka jotain onkin kehitetty pitkälle tai siinä ollaan todella hyviä, niin ei saa silti tuudittautua ajatukseen siitä, ettei tarvitsisi etsiä uusia innovaatioita tai jatkaa kehittymistä. Lähihistoriassa on hyvä esimerkki meille suomalaisille siitä, miten voi käydä: Nokia.

Tähän mennessä betonisandwich-elementtiä ja sen liitoksia on katsottu ja kehitetty ajatellen uudisrakentamista, mutta kehityksen jakaminen uudis- ja korjausrakentamiseen voisi tuottaa kokonaan erilaisen julkisivuja nopeasti korjaavan betonisandwich-elementin. Esimerkkinä betonisandwich-elementti, jonka sisä- ja ulkokuorissa on käytetty kuituja korvaamaan teräksiä ja lisäksi sovellettu lukitusliitosta, jotta elementit voitaisiin laskea vain paikoilleen muurausharkkojen tavoin uudeksi julkisivuksi korjattavalle rakennukselle.

6.5 Huomioon otettavia erikoispiirteitä, kun korjauksessa käytetään teräsbetonisandwich-elementtejä.

Kun korjausta suunniteltiin teräsbetonisilla sandwich-elementeillä, huomattiin tiettyjä asioita, jotka tulevat usein toistumaan kohteesta riippumatta ja tulisi huomioida korjauksen suunnittelussa. Asiat ovat koottuna listamaisesti alla:

- Vanhan rakenteen selvitys rakenneavauksin tai vanhoilla piirustuksilla
- Vanhan rakenteen kantavuuslaskelmat (Ei huomioitu tässä opinnäytetyössä)
- Perustusten vahvistamisen tarve (Ei huomioitu tässä opinnäytetyössä)
- Sokkelin vahvistamisen tarve (Ei huomioitu tässä opinnäytetyössä)
- Kuormien ja rasiusten ohjaaminen perustuksille sisäkuoren välityksellä.
- Liitokset suunniteltava siten, että ne voidaan työmaalla toteuttaa rakennuksen ulkopuolelta, joka on päinvastoin uudisrakentamisessa.
- Pysty- ja vaakasaumojen liitosten erilaisuus suhteessa vakioliitoksiin.

- Sandwich-elementin kiinnitys vanhaan runkoon eroaa vakioliitostavoista.
- Lämpö- ja kosteustekninen tarkastelu olennaista, kun alle jää vanhaa rakennetta.

6.6 Jatkotutkimustarpeet ja ehdotukset

Vanhan rakennuksen perustusten kantavuus tulisi selvittää laskelmin ja tutkimuksin, jos kohdetta yritettäisiin korjata teräsbetonisandwich-elementeillä. Näin voidaan selvittää, että pystyykö vanha perustus ja sokkeli kantamaan sille kohdistuvan lisäkuorman ilman vahvistamista. Opinnäytetyössä ei selvitetty vanhojen perustusten kantavuutta eikä myöskään suunniteltu liittymistä vanhaan sokkeliin, mutta nämä kaksi asiaa olisi oleellista selvittää ja tutkia ennen korjauksiin ryhtymistä betonisandwich-elementeillä.

Elementtitekniikan kannalta olisi mielenkiintoista tehdä kattava selvitys kansainvälisesti käytettävistä elementtiliitoksista ja tutkia niiden soveltuvuutta Suomen elementtitekniikkaan. Tavoitteena voisi olla mahdollisimman monen liitoksen kokoaminen yhteen ja vertailla niiden etuja ja haittoja. Lisäksi voitaisiin selvittää, josko niistä saisi käyttökelpoisia ratkaisuja hieman soveltamalla niin uudis- kuin korjausrakentamiseenkin.

Jatkotutkimuksena olisi hyvä selvittää myös sellaisen betonisandwich-elementin suunnittelu ja mitoitus, jossa sekä sisä- että ulkokuoressa käytettäisiin kuituja korvaamaan teräksiä. Jos rakenteen betoniset kuoret saataisiin tarpeeksi kevyiksi ja ohuiksi, voisi puukkokannatuskin olla mahdollinen joissakin tapauksissa. Lisäksi rakennuksen julkisivun paksuus ei välttämättä kasvaisi merkittävästi ulospäin, jos käytettäisiin tehokkaampia ja modernimpia lämmöneristeitä.

LÄHTEET

Betoni www-sivut 2020. Viitattu 1.12.2020. <https://betoni.com/referenssi/asunto-oy-helsingin-viuhka/>

Elementtisuunnittelu www-sivut. 2020a. Viitattu 1.7.2020. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/julkisivujarjestelmat/rapatut-julkisivut>

Elementtisuunnittelu www-sivut. 2020b. Viitattu 24.6.2020. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/julkisivujarjestelmat/sandwichjulkisivut>

Elementtisuunnittelu www-sivut 2020c. Viitattu 24.6.2020. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/lampo-ja-kosteustekniikka>

Elementtisuunnittelu www-sivut 2020d. Viitattu 21.11.2020. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/julkisivut/julkisivujarjestelmat/kuitubetonisandwich-julkisivut>

Elementtisuunnittelu www-sivut 2020e. Viitattu 26.11.2020. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/21892/Sein%c3%a4elementtien%20vakioliitokset.zip>

FinnFoam www-sivut 2020. Viitattu 23.11.2020. <https://www.finnfoam.fi/tuotteet/ff-pir>

Hytönen, Y., Seppänen, M., Janhunen, P., Laukkanen, K., Seppänen, M. & Sandberg, P. 2009. Tehdään elementeistä: Suomalaisen betonielementtirakentamisen historia. Helsinki: SBK-säätiö.

Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy www-sivut. 2020a. Viitattu 19.1.2020. <http://www.laurimehto.fi/kohteet>

Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy www-sivut. 2020b. Viitattu 19.1.2020. <http://www.laurimehto.fi/laurimehto>

Isover www-sivut 2020. Viitattu 23.11.2020. <https://www.isover.fi/tuotteet/isover-rkl-31>

Jyrkiäinen, K. 2014. Polymeerikuitubetoninen sandwich-elementti. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 21.11.2020. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/22647/jyrkiainen.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Kivitalo www-sivut 2020. Viitattu 28.11.2020. <https://www.kivitalo.fi/betonirakenteet/valmistuksen-mahdollisuudet-rajoitukset/>

Lindberg, R. 2003. Rakennusosien rakennusfysikaalinen toiminta. Rakentajain kalenteri 2004. Helsinki: Rakennustieto Oy, 425-434.

Mölsä, P. 2020. Betonijulkisivujen arkkitehtuuri elää nyt luovan vapauden aikaa. Rakennuslehti. Viitattu 1.12.2020. <https://www.rakennuslehti.fi/2020/08/betonijulkisivujen-arkkitehtuuri-elaa-nyt-luovan-vapauden-aikaa/>

Neuvonen, P. 2006. Kerrostalot 1880-2000 -arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

O'Reilly Concrete www-sivut 2020. Viitattu 28.1.2020. <https://www.oreilly-concrete.com/products/precast-walls/precast-wall-connection-details/typical-vertical-panel-joint-4/>

Pentti, M. 2014. RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka 1. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 91-190.

Rakennusteollisuus RT ry:n www-sivut. 2020a. Viitattu 19.1.2020. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Korjausrakentaminen1/>

Rakennusteollisuus RT ry:n www-sivut. 2020b. Viitattu 19.1.2020. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuviopankki/>

Rakennusteollisuus RT ry:n www-sivut. 2020c. Viitattu 13.11.2020. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuviopankki/Korjausrakentaminen/>

RT 82-10821. Betonielementtirunkorakenteet. 2004. Helsinki: Rakennustieto.

Suomela, P. 2017. Korkeiden betonielementtikerrostalojen runkoratkaisut. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Viitattu 21.11.2020. https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/28950/master_Suomela_Pihla_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Suomen Betoniyhdistys ry. 2018. Betonitekniikan oppikirja: BY 201. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2016. Eriste- ja levyrappaus: BY 57. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys r.y. 2002. Betonijulkisivun kuntotutkimus: BY 42. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Suomen RakMK D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.

Weber www-sivut 2020a. Viitattu 23.11.2020. https://www.fi.weber/julkisivuratkaisut-ja-tuotteet/tuulettuvat-rappausratkaisut/serpovent-renova-julkisivujarjestelma#tab-about_this_system

Weber www-sivut 2020b. Viitattu 23.11.2020. <https://www.fi.weber/kestava-ja-kaunis-julkisivu/serpovent-julkisivujarjestelma-hyvin-suunniteltu-kokonaan-tehty>

Weber www-sivut 2020c. Viitattu 1.12.2020. <https://www.fi.weber/julkisivuratkaisut-ja-tuotteet/mantynummentie-23>

Weber www-sivut 2020d. SerpoVent Julkisivujärjestelmä – Suunnitteluohje. Viitattu 1.12.2020. <https://www.fi.weber/files/fi/2018-10/6-25%20-%20Weber%20SerpoVent-Julkisivuj%C3%A4rjestelm%C3%A4%20-%20Suunnitteluohje.pdf>

Ympäristöhallinnon yhteisen verkkopalvelun www-sivut 2020. Viitattu 23.11.2020.
<https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BA6558C5F-9B2E-40E5-B261-605118163F03%7D/141252>

Ympäristöministeriön www-sivut 2020. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 27.2.2013/4. Viitattu 22.11.2020. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/NUMEROITU-25_2_2013YM_asetus_lopullinen_FIN-\(2\)-924394EF_BED0_42F2_9AD2_5BE3036A6EAD-31396.pdf/24f8256a-4247-8a95-51bf-3f2440bdf5/NUMEROITU-25_2_2013YM_asetus_lopullinen_FIN-\(2\)-924394EF_BED0_42F2_9AD2_5BE3036A6EAD-31396.pdf?t=1603260194911](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/NUMEROITU-25_2_2013YM_asetus_lopullinen_FIN-(2)-924394EF_BED0_42F2_9AD2_5BE3036A6EAD-31396.pdf/24f8256a-4247-8a95-51bf-3f2440bdf5/NUMEROITU-25_2_2013YM_asetus_lopullinen_FIN-(2)-924394EF_BED0_42F2_9AD2_5BE3036A6EAD-31396.pdf?t=1603260194911)

MITOITUKSESSA JA SUUNNITTELUSSA KÄYTETYT LÄHTEET

Betoninormikortti 23EC (Liitosten mitoitus onnettomuuskuormille). 2012. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry. http://www.betoniyhdistys.fi/media/normikortit/normikortti_23ec.pdf

Elementtisuunnittelu www-sivut 2020. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi>

Elementtisuunnittelu www-sivut 2020. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/elementtien-asennus/nostoohteet>

Halfen www-sivut 2020. Demu fixing anchors, technical product information. https://downloads.halfen.com/catalogues/de/media/catalogues/fixingsystems/DEMU-FIX_Leviat_17_E.pdf

Peikko www-sivut 2020. Welda - ja Welda Strong -kiinnityslevyt, tekninen käyttöohje. <https://www.peikko.fi/tuotteet/tuote/welda-kiinnityslevy/>

Peikko www-sivut 2020. PNLf-nostolenkki, tekninen käyttöohje. <https://www.peikko.fi/tuotteet/tuote/pnlf-nostolenkki/>

Peikko www-sivut 2020. Ansaat ja pistokkaat, tekninen käyttöohje. <https://www.peikko.fi/tuotteet/tuote/pistokkaat/>

Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry ja Rakennustietosäätiö RTS ja Rakennustieto Oy. 2014. Rakentajain kalenteri 2015. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RT 82-10766. Betoniset julkisivurakenteet. 2002. Helsinki: Rakennustieto. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortistot/rt-kortisto>

SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden Suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. 2015. Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS

SFS-EN 1992-1-2:2005 + A1:2019 + AC:2008. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus. 2019. Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS.

SFS-EN 1992-4:2018. Eurokoodi 2. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 4: Betonirakenteissa käytettävien kiinnikkeiden suunnittelu. 2018. Finnish Standards Association SFS. Helsinki: SFS.

Suomen Betoniyhdistys r.y. 2006. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus: BY 210. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Suomen Betoniyhdistys r.y. 2009. Suunnitteluohje EC 2 osat 1-1 ja 1-2: BY 60. 4. korjattu painos. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys r.y.

Suomen Betoniyhdistys r.y. 2013. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – Osa 1: BY 211. Helsinki: BY -Koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys r.y. 2015. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – Osa 2: BY 211. Helsinki: BY -Koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys r.y. 2017. Betoninormit: BY 65. 3. tarkistettu painos. Helsinki: BY -Koulutus Oy.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2010. RIL 201-1-2008: Suunnittelupe-
rusteet ja rakenteiden kuormat. 2. korjattu painos. Helsinki: Suomen Rakennusinsi-
nöörien Liitto RIL ry.

LIITTEET

Liite 1. Liitosten periaatepiirustukset

Liite 2. Rakennelaskelmat

Liite 3. DOF-Lämpö -ohjelman tulokset