

Tuomas Koski-Lammi

# Betonisandwich-julkisivut, korjausvaihtoehtojen vertailua

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Ylempi AMK-tutkinto  
Rakentamisen koulutusohjelma  
Opinnäytetyö  
12.5.2013

## ALKULAUSE

Tämä työ tehtiin arkkitehti- ja insinööritoimisto Doventus Oy:lle. Haluan kiittää yrityksen omistajia, toimitusjohtaja Tero Seppästä ja tekninen johtaja Jari Leppästä tuesta koko jatko-opiskeluajan, erityinen kiitos Jarille myös tämän työn ohjaamisesta. Kiitokset kaikille työkavereille avusta ja neuvoista, niistä on ollut suurta apua tämän työn valmiiksi saattamisessa.

Haluan kiittää Metropolia Ammattikorkeakoulun puolella tämän työn valmistumista edesauttaneita henkilöitä, erityinen kiitos työtä ohjanneelle yliopettaja Hannu Hakkaraiselle.

Haluan osoittaa suuret kiitokset kärsivällisyydestä vaimolleni Lotalle ja tyttärelleni Inarille, te olette järjestäneet minulle aikaa tämän työn tekemiseen ja saaneet kärsiä kaiken työstä aiheutuneen stressin.

Helsingissä 12.5.2013

Tuomas Koski-Lammi

Tekijä(t) Otsikko	Tuomas Koski-Lammi Betonisandwich-julkisivut, korjausvaihtoehtojen vertailua
Sivumäärä Aika	85 sivua + 8 liitettä 12.5.2013
Tutkinto	Ylempi AMK-tutkinto
Koulutusohjelma	Rakentamisen koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Rakentamisen ylempi AMK-tutkinto (korjausrakentaminen)
Ohjaaja(t)	Tekninen johtaja Jari Leppänen Yliopettaja Hannu Hakkarainen
<p>Tämä työ tehtiin arkkitehti- ja insinööri-toimisto Doventus Oy:lle. Työssä oli tarkoitus vertailla laaja-alaisesti erilaisia betonisandwich-julkisivujen korjausvaihtoehtoja. Yrityksen pääosaamisalue on ollut korjaushankkeiden toteutussuunnittelu, toistaiseksi yritykseltä on puuttunut työkaluja hankesuunnitteluvaiheesta.</p> <p>Betonisandwich-ulkoseinä rakentuu betonisista sisä- ja ulkokuorista sekä niiden välissä olevasta lämmöneristeestä, tämä onkin suomalaisten asuinkerrostalojen tyyppillisin ulkoseinä rakenne. Asuinrakentamisen huippuvuodet ovat Suomessa olleet 1960- ja 70-luvuilla, tällöin ei vielä ollut ohjeita elementtien valmistukseen ja tiedot esimerkiksi betonirakenteiden pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavista tekijöistä olivat puutteellisia. Suomessa sandwich-elementtien ulkokuorien merkittävimmät rasitustekijät ovat kosteus ja lämpötilavaihtelut, erityisesti toistuva jäätyminen ja sulaminen. Pääasiallisesti vauriot syntyvät betonin karbonatisoitumisesta ja siitä johtuvasta raudotteiden korroosiosta sekä pakkasrapautumisesta. Vaurioiden syiden selvittäminen on aina lähtökohta oikean korjaustavan valinnalle.</p> <p>Tutkimusta varten luotiin kuvitteellinen korjauskohde. Tutkimukseen valittiin vertailtavaksi kolme vaihtoehtoa, joissa elementin ulkokuorta ei tarvitse purkaa ja kolme vaihtoehtoa, joissa elementin ulkokuori sekä sen takana olevat eristeet puretaan. Valituista vaihtoehdoista käytiin läpi rakennetyypit ja tietyt liittymät muihin rakenteisiin. Fysikaalisista ominaisuuksista vertailtiin rakenteiden lämpö-, kosteus- ja ääniominaisuuksien muutoksia. Vertailtavista vaihtoehdoista laskettiin toteutus- ja elinkaarikustannukset.</p> <p>Työn perusteella syntyi yritykselle erilaisten korjausvaihtoehtojen rakenneliittymistä kirjasto, lisäksi erilaisiin korjausvaihtoehtoihin luotiin kustannuslaskentaa varten pohjia. Jatkossa yrityksessä voidaan luoda työn pohjalta vaihtoehtoja erilaisilla lämmöneristeillä ja eristepaksuuksilla sekä selvittää näiden vaikutuksia elinkaarikustannuksiin. Purettavan betonisen ulkokuoren tilalle tehtävissä lämpörappauksissa on ääneneristävyyden kannalta jatkoselvittävää.</p>	
Avainsanat	Betonielementti, sandwich-ulkoseinä, julkisivukorjaus

Author(s) Title	Tuomas Koski-Lammi Concrete Sandwich Facades, Comparison Between Repair Options
Number of Pages Date	85 pages + 8 appendices 12 May 2013
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building Renovation
Instructor(s)	Jari Leppänen, Technical Director Hannu Hakkarainen, Principal Lecturer
<p>This thesis was created for architecture and engineering consultant company Doventus Ltd. The idea of the thesis was to compare a wide range of repair options for concrete sandwich facades. The company mainly operates in the field of implementation design for renovation projects. So far the company has lacked the tools for project design stage.</p> <p>A concrete sandwich external wall comprises of inner and outer envelopes and the insulation layer between them. This is the most common type of wall for Finnish apartment houses. Peak years for building of residences in Finland were in the 1960's and 1970's. At that time there were no instructions for the production of concrete elements and the information regarding factors in long-term durability of concrete structures was inadequate. Moisture and temperature changes are the most significant stress factors for concrete sandwich elements in Finland, especially continuous freezing and melting. Damages are mainly caused by carbonization of concrete which causes corrosion in reinforcing steels and also because of frost weathering. Investigation of the causes of damages is always a basis for the choice of proper repairs.</p> <p>A fictional renovation project was created for the purposes of the research. Three different options were selected to be compared which did not include deconstruction of outer envelope, and also three others in which outer envelope and the insulation would be deconstructed. Then structural compositions and connections into particular structures were researched. Changes in physical attributes of structures (heat, moisture, and acoustics) were compared. After that, implementation and life-cycle costs were calculated for all of the options.</p> <p>Based on this thesis, a library was created for different structural connections in repair constructions for the use of the company. In addition, layouts were produced for cost calculations in different types of repair options. Based on this thesis, the company is able to create repair options with different types of insulations with varying layer thicknesses and find out effects of these two on life cycle costing. There is still further investigation to be made on acoustic effects of plastering on thermal insulation that is applied after outer concrete envelope is deconstructed.</p>	
Keywords	Precast concrete element, sandwich exterior wall, facade repair

## Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen taustaa ja tavoitteita	2
1.2	Tutkimuksen toteutus	3
2	Elementtirakentaminen ja betonisandwich-julkisivut	4
2.1	Betonielementtirakentamisen historiaa Suomessa	4
2.2	Betonisandwich-julkisivujen rakenne	6
2.3	Sandwich-elementtien kehitystä 1950-luvulta nykypäivään	8
2.4	Sandwich-julkisivun pintamateriaalit ja pinnoitteet	10
3	Betonisandwich-julkisivujen vaurioita ja niiden aiheuttajia	11
3.1	Yleisimpiä vaurioiden aiheuttajia betonisandwich-julkisivuissa	11
3.1.1	Kosteusrasitukset	12
3.1.2	Lämpötila- ja säteilyrasitukset	13
3.1.3	Haitallisten aineiden rasitukset	13
3.1.4	Muut rasitustekijät	14
3.2	Betonisandwich-julkisivujen yleisimpiä vaurioita	14
3.2.1	Raudoitteiden korroosio	15
3.2.2	Betonin rapautuminen	17
3.2.3	Kiinnitysten ja kannatusten vauriot	20
3.2.4	Pintatarvikkeiden ja -käsittelyjen vauriot	21
3.2.5	Halkeilu ja muodonmuutokset	21
4	Julkisivujen kunnossapito ja korjaus	23
4.1	Kunnossapito	23
4.2	Julkisivujen kuntoarviot ja -tutkimukset	25
4.3	Julkisivuvaurioiden korjaussuunnittelu	26
4.4	Julkisivuvaurioiden korjausurakka	28
5	Vertailututkimus, betonisandwich-julkisivujen korjausvaihtoehdot	30

5.1	Betonisandwich-julkisivujen korjausvaihtoehtoja	30
5.1.1	Kevyet korjaukset	31
5.1.2	Raskaat korjaukset	33
5.1.3	Puuverhous vaihtoehtona	35
5.2	Korjausvaihtoehtojen valinta	35
5.3	Tutkimuskohteen luominen ja rajaus	36
5.4	Tutkimuskohteen rakennetyypit ja -liittymät	40
5.5	Tutkimuskohteen määrätietoja	42
5.6	Vertailtavat arvot	44
5.6.1	Lämpö- ja kosteusominaisuudet	44
5.6.2	Ääniominaisuudet	47
5.6.3	Toteutus- ja elinkaarikustannukset	48
6	Korjausvaihtoehtojen vertailu, kevyt korjaus	50
6.1	Vaihtoehto 1, perusteellinen paikkaus- ja pinnoituskorjaus	50
6.1.1	Rakennetyypit ja -liittymät	51
6.1.2	Lämpö- ja kosteusominaisuudet	52
6.1.3	Ääniominaisuudet	52
6.1.4	Toteutus- ja elinkaarikustannukset	52
6.2	Vaihtoehto 2, verhouskorjaus ohutrappauksella	53
6.2.1	Rakennetyypit ja -liittymät	53
6.2.2	Lämpö- ja kosteusominaisuudet	56
6.2.3	Ääniominaisuudet	58
6.2.4	Toteutus- ja elinkaarikustannukset	58
6.3	Vaihtoehto 3, verhouskorjaus sementtilevyverhouksella	58
6.3.1	Rakennetyypit ja -liittymät	59
6.3.2	Lämpö- ja kosteusominaisuudet	61
6.3.3	Ääniominaisuudet	61
6.3.4	Toteutus- ja elinkaarikustannukset	61
7	Korjausvaihtoehtojen vertailu, raskas korjaus	63

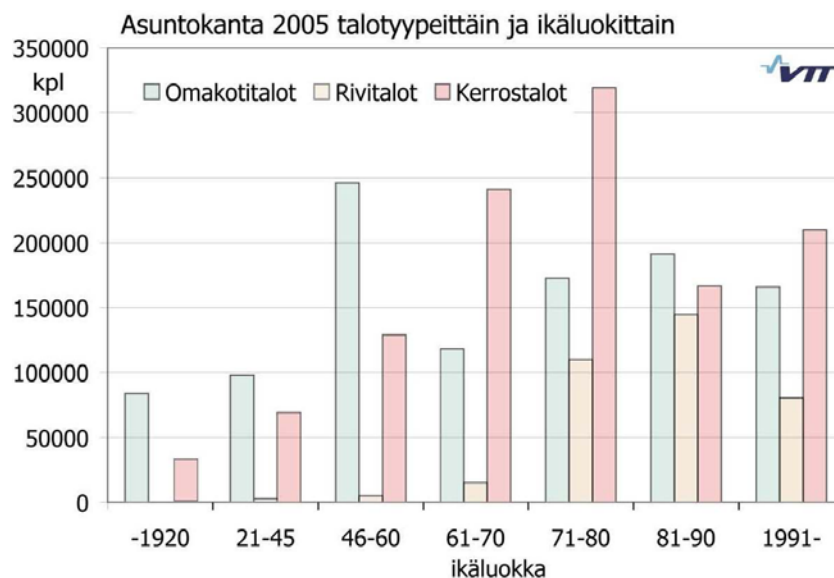
7.1	Vaihtoehto 1, julkisivupintana ohutrappaus	63
7.1.1	Rakennetyypit ja -liittymät	63
7.1.2	Lämpö- ja kosteusominaisuudet	66
7.1.3	Ääniominaisuudet	67
7.1.4	Toteutus- ja elinkaarikustannukset	67
7.2	Vaihtoehto 2, julkisivupintana kolmikerrosrappaus	68
7.2.1	Rakennetyypit ja -liittymät	69
7.2.2	Lämpö- ja kosteusominaisuudet	70
7.2.3	Ääniominaisuudet	71
7.2.4	Toteutus- ja elinkaarikustannukset	71
7.3	Vaihtoehto 3, julkisivupintana tiilimuuraus	72
7.3.1	Rakennetyypit ja -liittymät	72
7.3.2	Lämpö- ja kosteusominaisuudet	75
7.3.3	Ääniominaisuudet	77
7.3.4	Toteutus- ja elinkaarikustannukset	77
8	Yhteenveto vertailutuloksista	78
8.1	Kevyet korjausvaihtoehdot	78
8.2	Raskaat korjausvaihtoehdot	79
9	Vertailutulosten käyttösovellukset ja jatkokehitysmahdollisuudet	82
	Lähteet	84
	Liitteet	
	Liite 1. Toteutuskustannusten laskenta, kevyt korjaus, vaihtoehto 1	
	Liite 2. Toteutuskustannusten laskenta, kevyt korjaus, vaihtoehto 2	
	Liite 3. Toteutuskustannusten laskenta, kevyt korjaus, vaihtoehto 3	
	Liite 4. Elinkaarikustannusten laskenta, kevyet korjausvaihtoehdot	
	Liite 5. Toteutuskustannusten laskenta, raskas korjaus, vaihtoehto 1	
	Liite 6. Toteutuskustannusten laskenta, raskas korjaus, vaihtoehto 2	
	Liite 7. Toteutuskustannusten laskenta, raskas korjaus, vaihtoehto 3	
	Liite 8. Elinkaarikustannusten laskenta, raskaat korjausvaihtoehdot	

## 1 Johdanto

Suomalaisen rakennuskannan arvo oli arvioiden mukaan vuonna 2009 360 miljardia euroa, 47 % kansallisomaisuudestamme muodostuu rakennuskannasta. Rakennuksiin kohdistuva korjausvelka on 30–50 miljardia euroa. Vuositasolla uudis- ja korjausrakentaminen ovat euromääriltään melkein yhtä suuria, vuonna 2009 molempiin käytettiin noin 10 miljardia euroa. [1, s. 10–11.]

Suomen noin 2,4 miljoonasta rakennuksesta asuinkerrostaloja on vain noin 56 000, eli reilu 2 %. Silti noin 2,8 miljoonasta asunnosta yli 40 % sijaitsee asuinkerrostaloissa. Asunto on tyypillisesti suomalaisen kotitalouden merkittävin varallisuus ja suurin investointi. [1, s. 10–11.]

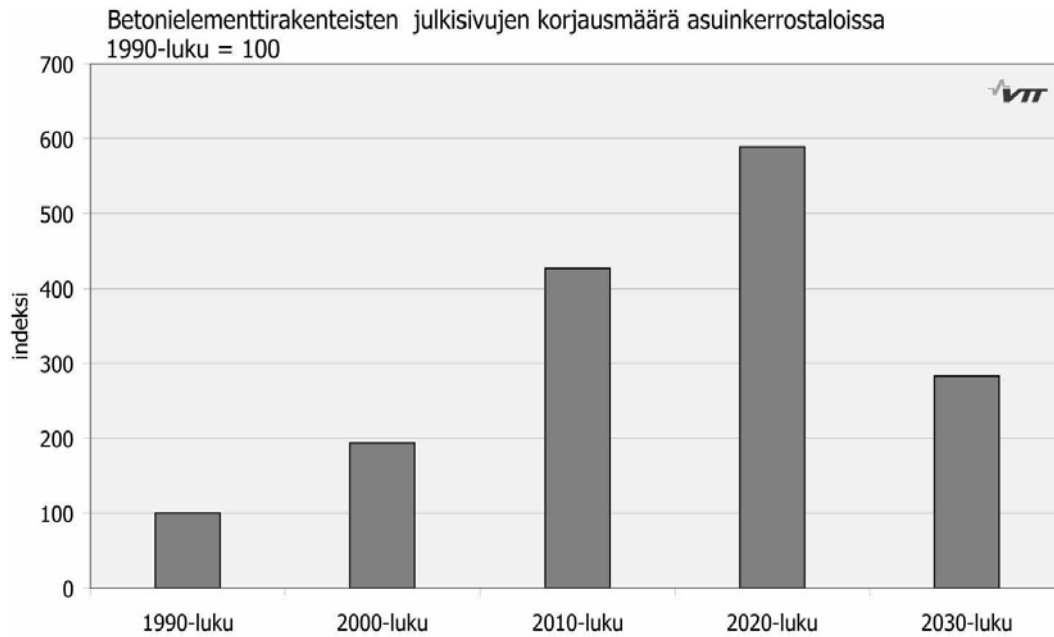
Kerrostaloasuntoja rakennettiin määrällisesti eniten 1960- ja 1970-luvuilla. Kerrostalorakentamisen huippuvuonna 1974 asuntoja valmistui yli 70 000 kpl. [2, s. 15–16.]



Kuva 1. Suomen asuntokanta talotyypeittäin ja ikäluokittain vuonna 2005. [2, s. 15]

Asuinkerrostalojen julkisivuissa on noin 25 miljoonaa neliometriä betonielementtejä. 1990-luvun peruskorjaustarpeeseen verrattuna julkisivujen peruskorjaustarve nelinkertaistuu 2010-luvulla ja kuusinkertaistuu 2020-luvulla. [3.]





Kuva 2. Arvioidut määrät julkisivukorjauksista betonielementtikerrostaloissa. [2, liite 5, s. 3]

Julkisivukorjausten määrät kasvavat ja menetelmät kehittyvät jatkuvasti. Tuotevalmistajat myyvät uusia menetelmiään ylisanoilla.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan, voivatko verhoukorkorjaukset, eli vanhan julkisivupinnan päälle tehtävä uusi verhouk, tarjota kilpailukykyisen vaihtoehdon perinteisille betonikorjauksille? Mikäli taas elementin kunto on huono ja eristeet sekä ulkokuori on purettava, millainen korjausmenetelmä tulee tällöin kannattavaksi? Voivatko esimerkiksi elinkaarikustannukset tehdä jostain vaihtoehdosta toista kannattavamman vaikka toteutuskustannukset menisivät toisin päin? Opinnäytetyön on tarkoituksena tarjota puolueetonta näkemystä betonisandwich-julkisivujen korjausvaihtoehdoista kiinteistön omistajan näkökulmasta.

### 1.1 Tutkimuksen taustaa ja tavoitteita

Doventus Oy on vuonna 2003 perustettu konsulttitoimisto, yritys on aloittanut toimintansa arkkitehtisuunnittelulla. Toiminta on laajentunut myös rakennesuunnitteluun, rakennuttamiseen ja valvontaan. Yritys työllistää kymmenkunta henkilöä ja on toimivan johdon omistama.

Yrityksessä on tarjottu konsulttipalveluita uudis- ja korjausrakennuskohteisiin. Saadut korjausrakentamisen suunnittelupalvelut ovat kohdistuneet pääosin toteutussuunnitteluvaiheeseen. Yritys ei ole toistaiseksi menestynyt juurikaan hankesuunnitteluvaiheen tarjouskilpailuissa, hyvin pitkälti ylihinnan on arveltu johtuvan puuttuvista laskentapohjista ja mallivertailuista.

Tässä työssä on tarkoituksena vertailla erilaisia betonisandwich-elementtijulkisivujen korjausmenetelmiä. Tuotevalmistajilta ja urakoitsijoilta löytyy erilaisia näkemyksiä sekä perusteita tiettyjen vaihtoehtojen paremmuudesta. Käytettävissä ei kuitenkaan ole ollut puolueetonta ja monta näkökulmaa esiin nostavaa vertailua korjausvaihtoehdoista. Tutkimuksessa on tarkoitus huomioida riittävä määrä erilaisia kustannuksia ja ominaisuuksia, jotta tuloksista saadaan kokonaisuudessaan vertailukelpoisia.

Lisäksi on tarkoitus tuottaa yritykselle valmiita työkaluja ja apuvälineitä korjausvaihtoehtojen vertailuun. Tällaisia apuvälineitä ovat esimerkiksi kustannuslaskentapohjat julkisivuhankkeisiin.

## 1.2 Tutkimuksen toteutus

Esitutkimusvaiheessa tutustutaan betonisandwich-julkisivuihin sekä niiden kunnossapitoon, vaurioihin ja korjaustapoihin.

Tutkimukseen luodaan yksi kuvitteellinen rakennus. Rakennuksen tulee olla mahdollisimman perusmallinen ja -tyyppinen, jotta sovellusten jatkohyödyntäminen erilaisiin kohteisiin on mahdollista.

Esitutkimuksen perusteella valitaan tutkimukseen korjaustapoja, joissa ulkokuori ja eristeet puretaan sekä tapoja joissa eristeitä ja ulkokuorta ei pureta. Tutkimuksessa tarkastellaan vaihtoehtojen toteutus- ja elinkaarikustannukset sekä seinärakenteen muuttuvat lämpö-, kosteus- ja ääniominaisuudet.

## 2 Elementtirakentaminen ja betonisandwich-julkisivut

Suomalaisen kerrostalorakentamisen tyypillisin ulkoseinärakenne on betonisandwich-elementti. Betonisandwich-elementti muodostuu betonisista kuorista ja niiden välissä olevasta lämmöneristeestä. Lisäksi julkisivuissa on käytetty erillisiä kuorielementtejä. Näitä elementtityyppejä ei voida erottaa toisistaan pelkästään niiden ulkonäön perusteella. [4, s. 41.]

Betonisandwich-julkisivu koostuu useista elementeistä. Tyypillisimmät ruutuelementit ovat kerroksen korkuisia ja leveyssuunnassa usein vain yhden väliseinävälän mittaisia. Nauhaelementit taas ovat vain aukkojen välin korkuisia. Ei-kantavissa seinissä ruutuelementit voivat olla itsensä kantavia tai tuettuja kantavien väliseinien päistä. [5, s. 158.]

### 2.1 Betonielementtirakentamisen historiaa Suomessa

Ensimmäisiä betonielementtirakenteita ovat olleet putket, kaivonrenkaat ja kevytbetonituotteet. Suomessa perustettiin vuonna 1929 ensimmäinen alan yhdistys, Sementtitarvaintuottajien yhdistys. [6, s. 1.]

Raskaiden elementtirakenteiden käyttö välipohjissa sekä seinissä vaati siirto- ja nostokaluston kehittämistä. Omatekoisia raskaampiin nostoihin kykeneviä nostureita on ollut käytössä Suomessa jo 1910-luvun lopulla. Nostokaluston kehitys oli kuitenkin hidasta ja torninosturit alkoivat yleistyä rakennustyömailla vasta 1950-luvun lopulla. [7, s. 81.]

1950-luvulla elementtirakentamisen yleistymistä edesauttoivat betonilaudoitusta korvaamaan kehitetyt erilaiset levymuotit sekä betonimassan valmistuksen teollistuminen. Yksi kehitystä hidastava tekijä oli Suomen verotus, vielä 1950-luvulla se oli paikalla rakentamista suosiva, rakennustyömaan ulkopuolella valmistetut rakennusosat olivat 20 % suuruisen liikevaihtoveron alaisia. [7, s. 81–82.]

Kuitenkin 1950-luvun alussa alkoivat Suomessa yleistyä erilaiset elementtikokeilut, usein rakennuksen runko valettiin paikalla ja elementtikokeilut kohdistuivat ei-kantaviin rakenteisiin. Tätä rakentamistapaa kutsuttiin puolielementtirakentamiseksi. Lisäksi

kokeiltiin yksittäisten kantavien rakenteiden valmistamista elementteinä. Hyvänä esimerkkinä tällaisesta toimivat jo 1950-luvulla yleistyneet porrassyöksyelementit, niiden teollinen valmistus alkoi Suomessa vuonna 1954. [7, s. 82–84.]

Tapiolassa kokeiltiin Mäntyviidan varrella muutamassa asuinkerrostalossa kantavia elementtirakenteita 1950-luvun puolivälissä. Näissä kantava runko tehtiin elementtipilareista ja -palkeista sekä niiden varaan tuetuista välipohjalevyistä. Elementit valmistettiin ajalle tyypillisesti työmaan yhteydessä sijaitsevassa valimossa. [7, s. 86–87.]

Yksi ensimmäisistä merkittävistä täyselementtikohteista on Helsingin Yliopiston Porthania-rakennus [6, s. 1]. Rakennuksen runko tehtiin kantaviksi kehiksi jännitettävistä elementtipilareista ja -palkeista [7, s. 94].

Vuosina 1960–1961 valmistui Helsingin Puotilaan Klaavuntielle kuusi kolmikerroksista täysin elementtitekniikalla rakennettua asuinkerrostaloa. Näissä rakennuksissa käytettiin aikaisemmista ratkaisuista poiketen kantavana runkona betonielementtiset seinät ja välipohjat. Tämä muodostuikin 1960-luvun yleisimmäksi runkotyypiksi asuinkerrostaloissa. [7, s. 101.]

Ensimmäisen kerran sandwich-rakenteita käytettiin 1950-luvun lopulla, käyttö yleistyi merkittävästi 1960- ja 1970-luvuilla [4, s. 41]. Ensimmäiset sandwich-elementit valmistettiin työmaiden yhteydessä kenttävalimoissa muiden elementtien tapaan [6, s. 3]. Vähitellen kaupalliset elementtitehtaat rupesivat valmistamaan myös tilaustuotteina tehtäviä ulkoseinäelementtejä, aluksi yleensä betonipintaisia harjattuja sandwich-elementtejä [7, s. 182–183].

Helsingissä 1960-luvun suurissa aluerakentamiskohteissa kehitettiin elementtirakentamista, tällaisia alueita olivat muun muassa Pihlajamäki, Kontula ja Myllypuro. Pihlajamäen eri osia ja vaiheita on rakennettu täys- ja puolielementtiratkaisuilla. Kontulassa ja Myllypurossa täyselementtijärjestelmä on ollut jo laajemmassa käytössä. Myllypurossa oli uutuutena käytössä sarjatuotantona valmistetut kylpyhuone-elementit. 1960-luvulla suuria aluerakentamiskohteita tehtiin

myös puolielementtiratkaisulla, esimerkiksi Jakomäessä kantavat rungot ovat kokonaan paikalla valettuja. [7, s. 103–107.]

Suomessa kehitettiin 1960-luvun lopulla asuinrakentamiseen avoin BES-järjestelmä. Järjestelmässä kantavina seininä toimivat pääty- ja väliseinät, niiden varaan tuettiin pitkälaattaelementit välipohjiksi. Pitkät julkisivut jäivät ei-kantaviksi ja näissä käytettiin betonisandwichelementtejä. BES-järjestelmä oli perusratkaisuna 1970-luvulla kerrostaloasuntotuotannon huippuvuosina. [6, s. 3.]

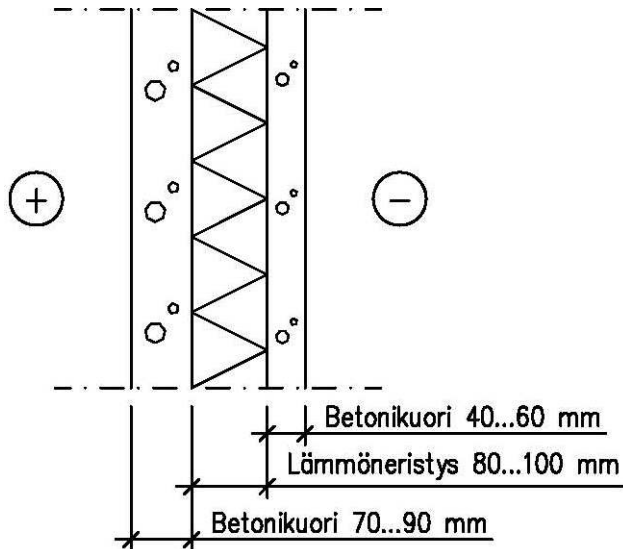
Erityisesti asuntotuotannon huippuvuosina tiukka kustannustehokkuus ja rakentamisen kiire ohjasivat rakentamista. Nämä syyt myös vähensivät visuaalisen puolen huomiointia suunnittelussa ja aikakauden talot ovatkin usein laatikkomaisia. [6, s. 3.]

Lisäksi 1960- ja 1970-luvuilla elementtitekniikan rajoitteet sitoivat arkkitehtien luovuutta. Vasta 1980-luvulla elementtitekniikan kehittyessä ja monipuolistuessa pystyttiin taas rakentamaan kustannustehokkaasti monimuotoisempia elementtitaloja. [7, s. 107.]

## 2.2 Betonisandwich-julkisivujen rakenne

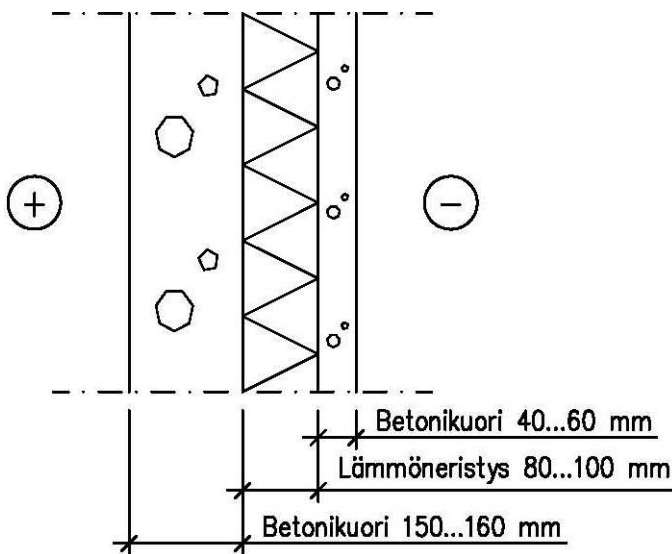
Julkisivun betonisandwich-elementti koostuu betonisista sisä- ja ulkokuorista sekä niiden välissä olevasta lämmöneristeestä, lämmöneristeenä on useimmiten käytetty mineraalivilloja [4, s. 41]. Eristeenä voi olla myös lastuvillaa, korkkia tai esimerkiksi vaahtomuovia [5, s. 151].

Sandwich-elementeissä on yleisesti käytetty kuorissa rauditusverkkoa, lisäksi pielissä on erilliset pieliteräkset. Kuorien rauditus on tehty normaalisti ruostuvasta teräksestä. Elementtien kuoret ovat tuettu toisiinsa tyypillisesti sideansailloilla, sideansaina käytettiin varsinkin sandwich-elementtien alkuvaiheissa normaalia ruostuvaa terästä. Lisäksi elementissä oli nostolenkkejä nostoa varten ja siderautoja elementin tukemiseen muihin rakenteisiin. [4, s. 42.]



Kuva 3. 1960- ja 1970-lukujen tyypillinen ei-kantava sandwich-elementti.

1960- ja 1970-luvuilla tiedot betonin säilyvyydestä, pakkaskestävyydestä ja sen suojavaikutuksesta teräsiin olivat puutteelliset. 1970-luvulla ruvettiin suojuhuokostamaan betonia pakkaskestävyyden parantamiseksi. Ulkokuoriin alettiin myös lisätä paksuutta ja kuivumisen nopeuttamiseksi käytetylle lämpökäsittelylle asetettiin raja-arvot. 1980-luvulle tultaessa oli jo säilyvyyden huomioon ottavat vaatimukset teräsiä suojaavalle betonipeitteelle ei-kantavissakin rakenteissa. 1990-luvulla käyttöön otettu itsetiivistyvä betoni on entisestään parantanut sandwich-elementtien betonirakenteiden laatua. [6, s. 3 ja 8.]



Kuva 4. 1960- ja 1970-lukujen tyypillinen kantava sandwich-elementti.

Yleisesti betonisandwich-elementeissä ei ole tuuletusrakoa, klinkkeripintaisissa elementeissä on käytetty uritettua villaa [4, s. 41]. Eristepaksuudet ovat kasvaneet alkuaikojen alle 100 mm:n paksuuksista yli 200 mm paksuuksiin [6, s. 7]. Alkuaikoina eristys koottiin pienistä paloista ja eristeet olivat helposti kasaan painuvia, nykypäivän eristeiden laatu ja puristuskestävyydet ovat kehittyneet huomasti [5, s. 168].

### 2.3 Sandwich-elementtien kehitystä 1950-luvulta nykypäivään

1960- ja 1970-lukujen sandwich-elementtien rakenteellisiin ongelmiin on monia syitä. Ongelmat johtuvat muun muassa tietämättömyydestä, puutteellisista ohjeista ja määräyksistä, olosuhteista sekä ajalle tyypillisestä laadusta tinkimisestä kustannusten ja aikataulujen perusteella. Kyseiselle ajanjaksolle ajoittuukin betonirakentamisen yksi kritisoiduimmista ajanjaksoista Suomessa. [6, s. 3.]

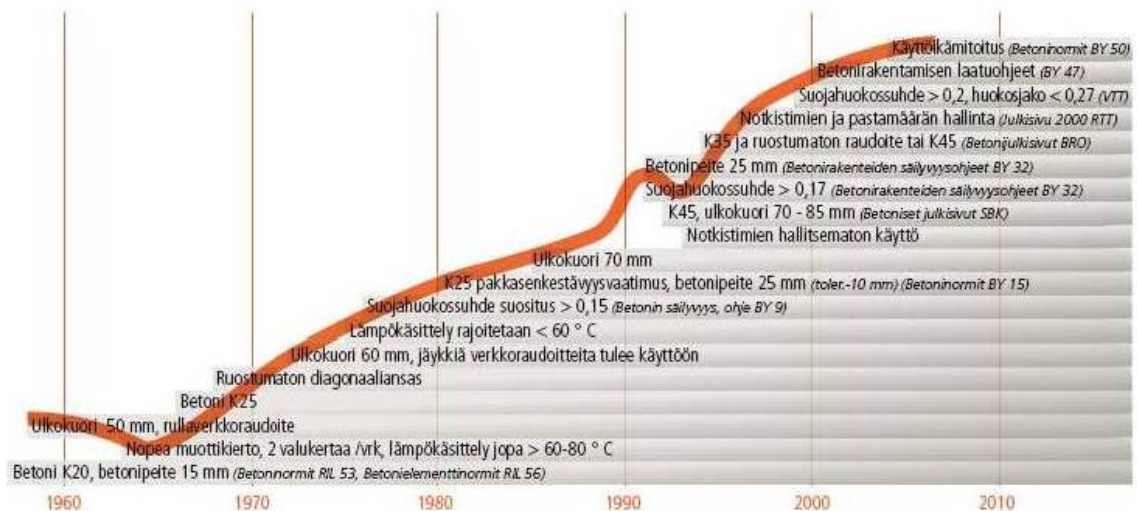
Ensimmäiset sandwich-elementit valmistettiin työmaiden yhteydessä ulkosalla kenttävalimoissa ja ne joutuivat jo kuivuessaan kokemaan suuria lämpötilojen sekä olosuhteiden vaihteluja. Puutteelliset tiedot betonin pitkäaikaiskestävyydestä aiheuttivat lukuisia virheellisiä ratkaisuja, yhtenä esimerkkinä voidaan pitää erittäin voimakkaan lämmön käyttämistä elementtien kuivattamisessa. [5, s. 168.]

Puutteelliset ohjeet ja määräykset mahdollistivat lukuisia suunnittelu- sekä toteutusvirheitä. Esimerkiksi elementin kuorien raudoituksien suojaetäisyydet olivat hyvinkin vaihtelevia ja välillä teräkset jäivät lähes rakenteen ulkopintaan ruostumaan. Myös elementtien betonikuorien ja lämmöneristyskerroksen paksuudet vaihtelivat voimakkaasti jopa yksittäisessä elementissä. [5, s. 168.]

Ensimmäisissä sandwich-elementeissä sovellettiin vuoden 1954 betoninormeja, näissä oli määritelty teräsbetonin lujuusluokaksi vähintään K20 ja harjaterästen betonipeitepaksuudeksi vähintään 20 mm. Vuonna 1963 julkaistuissa betonielementtinormeissa katsottiin suojapeitevaatimuksen koskevan vain kantavia rakenteita, näin elementtien ulkokuoriin sovellettiin 10 mm minimiä. Vuonna 1965 julkaistuissa betoninormeissa määriteltiin betonin minimilujuudeksi K25 ja harjaterästen betonipeitteeksi vähintään 20 mm, nämä säilyivät vaatimuksina aina 1980-luvulle asti.

2000-luvulle minimilujuudet ja -betonipeitteet ovat melkein kaksinkertaistuneet noista määräyksistä. [8, s. 12.]

Betonin säänkestävyyden parantamisesta lisähuokostamalla oli mainintoja betoninormien selityksissä 1965, vuoden 1977 betoninormeissa ja Betoniyhdistyksen vuonna 1976 julkaisemissa säilyvysohjeissa. Betonin pakkasenkestävyysvaatimukset tulivat kuitenkin ensimmäistä kertaa vasta vuoden 1980 betoninormeihin. Vuoden 1965 normeissa määriteltiin, että syöpymisvaaralle alttiit kiinnikkeet tuli tehdä korroosion kestävästä materiaalista. Vuoden 1965 normeissa määriteltiin myös kalsiumkloridin pitoisuuden ylärajaksi 2 % sementin painosta, vuonna 1992 Betoniyhdistyksen säilyvysohjeessa rajaksi määriteltiin julkisivuissa 0,2 %. [8, s. 12–13.]



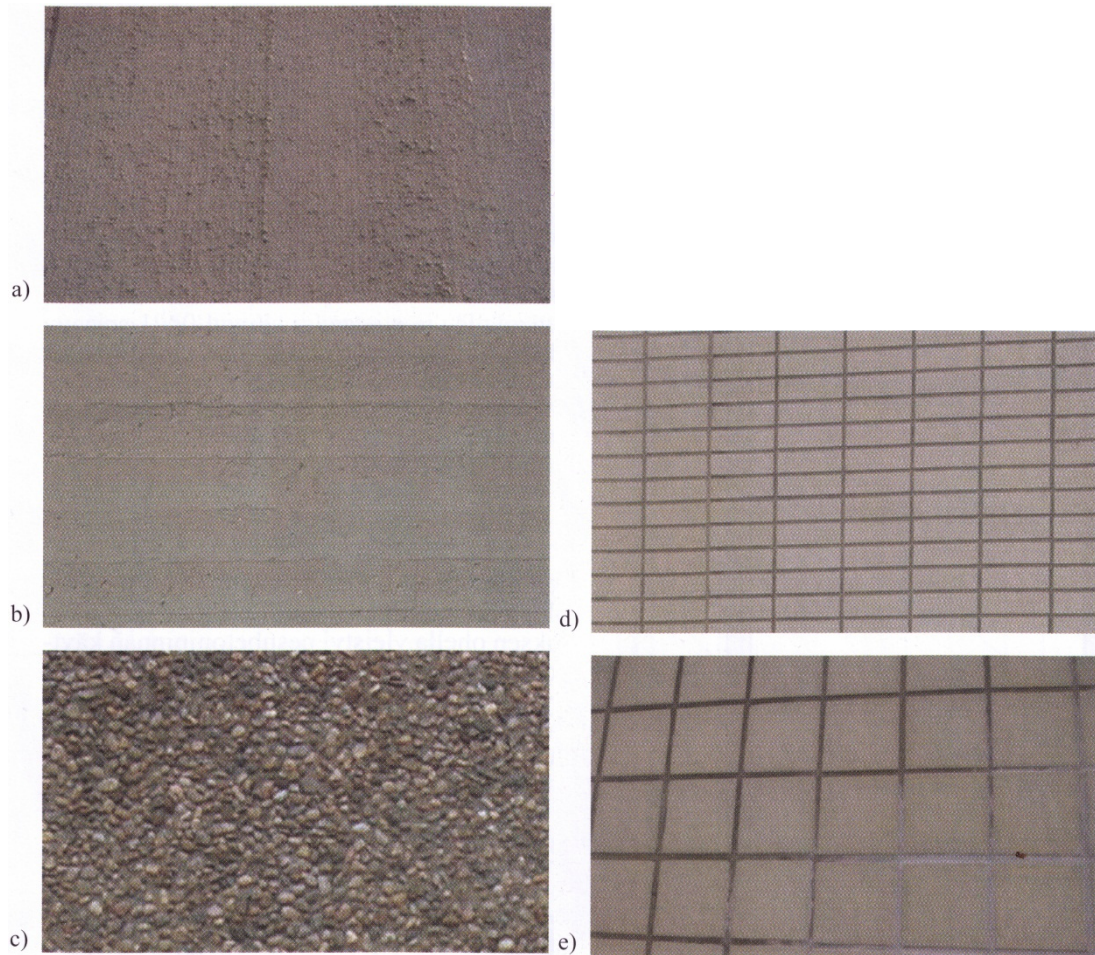
Kuva 5. Betonijulkisivujen materiaalitekniikan kehitys. [6, s. 8]

1980- ja 1990-luvuilla tehtiin paljon työtä betonelementtien laadun kehityksessä sekä kehitettiin sitä kautta ohjeita ja määräyksiä. Nykypäivänä käytettävillä sandwich-elementeillä onkin oikeastaan ensimmäisten elementtien kanssa yhteistä ainoastaan perusrakenne betoni – eriste – betoni. 2000-luvulla valmistetuille sandwich-elementeille voidaan olettaa huomattavasti pidempää käyttöikä. [5, s. 168.]



## 2.4 Sandwich-julkisivun pintamateriaalit ja pinnoitteet

Sandwich-elementtien yleisin pintavaihtoehto on betoni, julkisivupinta voi olla maalattu tai maalamaton. Lisäksi ulkokuoren pinnassa on käytetty julkisivumateriaaleina tiililaattoja ja keraamisia laattoja. [4, s. 43.]



Kuva 6. Betonielementtien pintatyyppejä: a) harjattua ja maalattua betonipintaa, b) maalattua muottipintaa, c) pesubetonipintaa, d) tiililaattapintaa, e) klinkkerilaattapintaa. [4, s. 44]

Betonin ulkopinnassa voi olla erilaisilla käsittelyillä aikaan saatuja kuvioiteja tai se voi olla raakapintaa. Betonipinnan käsittelymenetelmiä ovat erilaiset hierrot, harjaukset, pesut ja hakkaukset, nämä on yleensä tehty tuoreelle pinnalle. 2000-luvulla betonin pintakäsittelyyn on tullut lukuisia uusia vaihtoehtoja. Betoni voi olla valmiiksi värillistä, sitä voidaan käsitellä erilaisin menetelmin vasta sen kuivuttua tai siihen voidaan saada graafisia kuvioita pintaan uuden polven pesubetonitekniikoilla. [5, s. 261.]

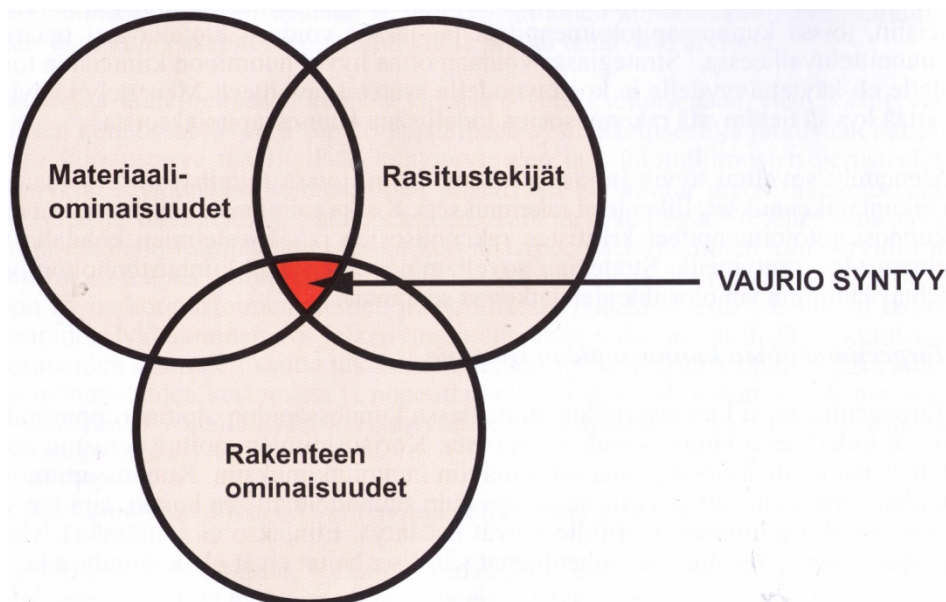
### 3 Betonisandwich-julkisivujen vaurioita ja niiden aiheuttajia

Sandwich-elementtien vauriot kohdistuvat pääosin betoniseen ulkokuoreen. Julkisivurakenteiden pitkäaikaiskestävyyteen ei varsinkaan sandwich-elementtien alkuaikoina kiinnitetty huomiota, rakentamisen nopeus ja kustannustehokkuus olivat määrävämmässä asemassa. [5, s. 168.]

Betonirakenteiden korjausten perusteena on vaurioiden tutkiminen ja niiden syiden selvittäminen, tällöin korjaustavat ja -laajuudet voidaan määrittellä taloudellisesti sekä teknisesti oikein. Vauriot voivat olla osittain julkisivupinnassa näkyviä ja osittain piilossa olevia. [4, s. 19.]

#### 3.1 Yleisimpiä vaurioiden aiheuttajia betonisandwich-julkisivuissa

Julkisivujen betonirakenteet joutuvat alttiiksi erilaisille rasituksille, nämä rasitustekijät vaikuttavat erilailla betonirakenteisiin. Rasitustekijöiden ankaruuteen taas vaikuttavat esimerkiksi rakennuksen sijainti, yksittäisten julkisivujen ilmansuunnat, ympäristötekijät ja rakennuksen yksityiskohdat. [8, s. 17.]



Kuva 7. Rakenteiden vaurioiden syntyyn vaikuttavat osatekijät. [4, s. 14]

Vaurioitumiseen vaikuttaa rasitustekijöiden lisäksi materiaalin ja rakenteen ominaisuudet. Usein vaurioiden syyt ovat vielä usean rasituksen yhteisvaikutuksia. Rakenteen vaurioitumisnopeus kasvaa yleensä vaurioiden edetessä. [4, s. 14.]

### 3.1.1 Kosteusrasitukset

Kosteusrasitukset ovat eri muodoissaan rakenteiden pahimpia rasitustekijöitä. Kosteus on yhtenä osatekijänä lähes kaikissa merkittävimmissä vaurioitumisilmiöissä. Ulkoseinärakenteissa merkittävimmät kosteusrasitukset ovat sade, ulko- ja sisäilman kosteudet, pinnoille tiivistyvä kosteus, maaperän kosteus, rakennuksessa käytettävä vesi sekä erilaiset vuotovedet. [8, s. 17.]

Viistosade on toistuva kosteusrasituksen aiheuttaja, sade saa aikaan nopeasti julkisivun pintaan vesikalvon. Vesi imeytyy betoniin ja siirtyy rakenteeseen huonosti toimivista saumoista ja rakenteellisista yksityiskohdista. Veden imeytymiseen betoniin vaikuttaa betonin laatu ja julkisivupinnan tyyppi. Huonokuntoiset saumat päästävät vettä ulkokuoren taakse eristetilaan. Viistosateen vaikutuksiin vaikuttaa merkittävästi myös räystäiden leveys tai niiden puuttuminen. [8, s. 18.]

Merkittävää paikallista kosteusrasitusta voivat lisätä virheelliset tai rikkiäiset ikkuna- ja räystäspellitykset. Lisäksi näissä ovat riskikohtina kiinnityksien läpiviennit ja niiden tiivistykset. Vedenpoistojärjestelmään kuuluvien räystäskourujen, syöksytorvien ja ulosheittäjien puutteet ja vauriot lisäävät kosteusrasitusta ulkoseinissä. Lisäksi erilaiset huonosti toteutetut läpiviennit, kuten talotikkaat, katoksien kiinnitykset ja valaisimet, voivat aiheuttaa paikallisesti merkittävää kosteusrasituksen kasvua. [4, s. 15.]

Rakennuksen sokkeleissa ja kellareiden seinissä kosteusrasitusta voivat lisätä virheelliset maanpinnan kallistukset ja puutteelliset tai epäkunnossa olevat maapohjan kuivatusjärjestelmät. Kosteus nousee kapillaarisesti myös maanpinnan yläpuolella oleviin betonirakenteisiin. [9, s. 22.]

Rakennuksen sisältä tuleva kosteusvirta voi aiheuttaa kosteusrasitusta seinärakenteelle, mikäli märkätilat sijaitsevat ulkoseiniä vasten. Sisäpuolinen

kosteusrasitus voi olla erittäin merkittävä vauriolähde esimerkiksi klinkkeripintaisessa elementissä, joka kuivuu erittäin hitaasti. [8, s. 18 ja 34.]

Betonin ulkokuoren taakse päässeelle kosteudelle ainoa kuivumisreitti on rakenteen tuulettamattomuuden vuoksi ulkokuoren ulkopinnasta haihtuminen. Kosteuden siirtymiseen ulkokuoren lävitse vaikuttavat vallitsevat ilmasto-olosuhteet, betonin laatu sekä pintamateriaalit ja -käsittelyt. Seinän lävitse tuleva lämpövirta tehostaa kuivumista. Saumoissa olevat tuuletusputket kuivattavat rajallisesti niiden takana olevaa ilmatilaa. [8, s. 18.]

### 3.1.2 Lämpötila- ja säteilyrasitukset

Useissa julkisivuvaurioissa yhtenä rasitustekijänä on pakkanen. Erityisesti betonirakenteita rasittaa Suomen ilmastolle tyypillinen toistuva jäätyminen ja sulaminen. [10, s. 7.]

Lämpötilavaihtelut aiheuttavat myös muodonmuutoksia sandwich-elementin ulkokuoressa, elastiset saumat tasaavat näitä. Muiden materiaalien betonista poikkeavat lämpölaajenemiskertoimet aiheuttavat rasituksia ulkokuoreen, esimerkiksi klinkkerilaatoilla kerroin on noin puolet betonin vastaavasta. [8, s. 37.]

Lämpötilavaihtelujen lisäksi auringon lämpösäteily voi nostaa merkittävästi ulkokuoren pinnan lämpötilaa, vaikka lämpötilaolosuhteet pysyisivät muuten vakiona. Lisäksi auringon ultraviolettisäteily kuluttaa rakennuksen julkisivupintaa ja voi aiheuttaa esimerkiksi maalikalvoille kemiallisia muutoksia. [8, s. 39.]

### 3.1.3 Haitallisten aineiden rasitukset

Terveydelle ja ympäristölle haitalliset aineet eivät pääosiltaan rasita betonia. Kloridit rasittavat betonia ja erityisesti raudoitusta, kloridipitoisuuden kynnyksarvona pidetään 0,03...0,07 % betonin painosta. Betonin valmistuksessa on voitu käyttää kiihdyttävänä lisäaineena kalsiumkloridia tai kloridia on voinut päästä rakenteeseen ulkoisesta lähteestä, esimerkiksi jäänsulatussuoloista tai rannikolla merivedestä. [8, s. 23–24 ja 44–45.]

Erilaiset mikrobikasvustot ovat harvinaisia betonielementtirakenteissa, sandwich-elementeissä niitä voi esiintyä lähinnä lämmöneristeen ulkopinnassa. Nämä eivät suoranaisesti rasita betonirakennetta, mutta voivat aiheuttaa korjaustarvetta, mikäli esimerkiksi itiöt pääsevät kulkeutumaan ilmavirran mukana sisäilmaan. [8, s. 44.]

Julkisivupinnoitteissa on käytetty asbestia ja elementtisaumaussmassoissa PCB- ja lyijy-yhdisteitä. Nämä eivät suoranaisesti rasita betonia, mutta nostavat korjaustöiden kustannuksia, koska asettavat vaatimuksia työmenetelmille ja jätteiden käsittelylle. [8, s. 44–45.]

### 3.1.4 Muut rasiustekijät

Rakennuksen julkisivujen aikaisemmat virheelliset korjaukset voivat kiihdyttää rasiustusten aiheuttamia vaurioita. Julkisivut on voitu pinnoittaa liian tiiviillä materiaalilla, jolloin rakenteen kuivuminen estyy. Tai esimerkiksi virheellisesti asennetut ikkunapellitykset voivat uittaa vettä suoraan rakenteeseen. [8, s. 45.]

Lisäksi rakennetta voivat rasittaa erilaiset ulkopuoliset tekijät, nämä voivat aiheuttaa suoraan vaurioita tai kiihdyttää vaurioiden etenemistä. Erilaiset tärinät voivat rasittaa rakenteita. Tärinää voivat aiheuttaa esimerkiksi maanjäristykset, räjäytykset ja liikenne. Rasiuksia voi aiheutua myös asioiden törmäyksistä julkisivuihin. [8, s. 41.]

Lisäksi rakennetta voi rasittaa merkittävästi esimerkiksi ilkivalta. Äkillistä runsasta rasiustusta voi aiheuttaa esimerkiksi tulipalo.

### 3.2 Betonisandwich-julkisivujen yleisimpiä vaurioita

Pääosin ikääntyvissä julkisivuissa esiintyvä vaurioituminen on säärasituksen aiheuttamaa. Vauriot etenevät alkuvaiheissa hitaasti betonirakenteissa, mutta vaurioitumisen edetessä myös vaurioitumisnopeus yleensä kasvaa. [4, s. 14.]

Rasiustekijät aiheuttavat erilaisia vaurioita betonirakenteissa. Aluksi vaurioista aiheutuvat haitat ovat enemmän ulkonäöllisiä, mutta vaurioiden edetessä rakenteen

vaurioituminen voi aiheuttaa jopa suoranaisia turvallisuusriskejä. Merkittävimmät vaurioiden aiheuttajat suomalaisissa betonijulkisivuissa ovat betonin pakkausrapautuminen ja raudotteiden korroosio. [8, s. 17.]

### 3.2.1 Raudotteiden korroosio

Betoni suojaa betonin sisällä olevia teräsraudoitteita korroosiolta, teräksen pinnalle muodostuu betonin korkeasta alkalisuudesta eli emäksisyydestä johtuen ohut suojaava oksidikalvo. Kalvo estää terästen passivoitumisen, eli sähkökemiallisen korroosion. Lisäksi betonikerroksella suojataan teräksiä ulkopuolisilta aggressiivisilta aineilta, esimerkiksi klorideilta. [8, s. 19.]

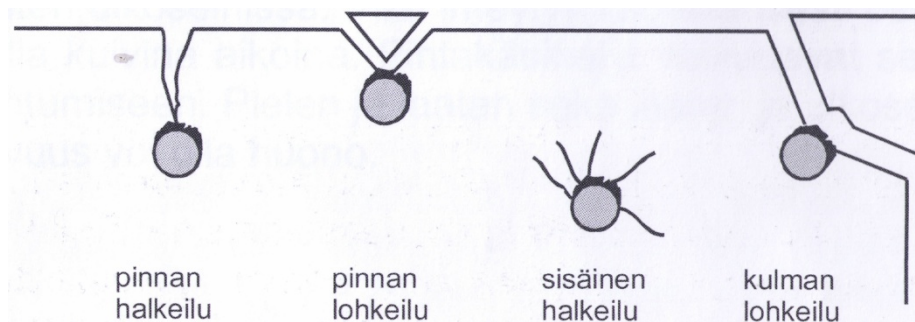
Korroosion edellytyksenä on riittävä kosteuspitoisuus ja happimäärä. Tämän vuoksi korroosio ei käynnisty tavanomaisissa rakenteissa lämpimissä sisätiloissa, vaan esiintyy juuri rakennusten ulkovaipalla. Suhteellisen kosteuden arvoa RH 85 % pidetään haitallisimpana tasona korroosion etenemiselle. [10, s. 8.]



Kuva 8. Korroosion vaurioittama betoninen parvekekaide. [11, s. 8]

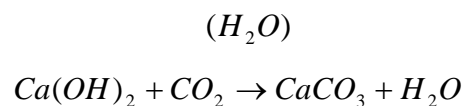
Betonin suojaamien teräksien korroosio voi käynnistyä pääasiallisesti kahden tekijän vaikutuksesta, betonin karbonatisoitumisesta ja raudotteita ympäröivän betonin korkeasta kloridipitoisuudesta. Korroosio käynnistyy kun betonin suojauskyky menetetään, vaihetta kutsutaan korroosion käynnistymisvaiheeksi. Teräksen korroosionopeus on vielä tässä vaiheessa merkityksettömän pieni. Käynnistymisvaiheen kesto riippuu ympäristöolosuhteista, betonin laadusta ja suojabetonin paksuudesta. [8, s. 19.]

Korroosion käynnistymisvaiheen jälkeen alkaa aktiivisen korroosion vaihe, vaihe kestää rakenteen kelpoisuuden menettämiseen asti ja korroosionopeus on riippuvainen ympäristön kosteusolosuhteista. Korroosiossa teräksen pinnasta liukenee korroosiotuotteita, tällöin betoniteräksen poikkileikkausala pienenee. Korroosiotuotteet vaativat alkuperäistä tilavuutta suuremman tilan, jolloin betoni halkeilee ja lohkeilee. [8, s. 19.]



Kuva 9. Korroosion aiheuttamia vauriotyyppejä teräsbetonirakenteissa. [8, s. 20]

Betonin karbonatisoituminen perustuu ilman hiilidioksidin reagoimiseen betonin huokosveden liuennan kalsiumhydroksidin kanssa, kemiallinen reaktio voidaan esittää yksinkertaistetussa muodossa:



Karbonatisoituminen alkaa betonirakenteen pinnasta ja etenee vähitellen rintamana syvemmälle betonirakenteeseen. Karbonatisoitumisen kemialliset reaktiot tapahtuvat betonikerroksessa, johon sisäpuolelta kulkeutuu hydroksiidejä ja ulkopuolelta hiilidioksidia. Karbonatisoitumisen edetessä hiilidioksidit joutuvat tunkeutumaan yhä

syvemmälle betoniin, tästä syystä karbonatisoituminen hidastuu syvemmällä betonirakenteissa. [8, s. 21.]

Betonin PH alenee karbonisoituessa, eli betonissa tapahtuu neutraloitumisreaktio. Karbonisoituneen betonin PH on likimain 8,5. Karbonisoituneessa betonissa teräksille ei synny enää suojaavaa kalvoa ja korroosion on mahdollista käynnistyä. Yksi oleellinen tekijä betonirakenteiden pitkäaikaiskestävyydelle on teräksiä suojaavaan betonipeitteen paksuus, mikäli rakenteessa teräksillä on ohuempi betonipeite, niin karbonisoitunut betonikerros saavuttaa nopeammin teräksen. [10, s. 9.]

Korroosio voi käynnistyä myös betonissa joka ei ole karbonisoitunutta, tämä reaktio perustuu betonin korkeaan kloridipitoisuuteen. Kloridit ovat voineet joutua betoniin jo valmistusvaiheessa tai ne ovat voineet tulla ulkoisesta lähteestä, esimerkiksi jäänsulatussuoloista tai tuulen kuljettamasta merivedestä. Kloridikorroosio on usein pistemäistä ja hyvin voimakasta. Kloridikorroosiossa syntyvät korroosiotuotteet liukenevat paremmin betonin huokosveteen, jolloin korroosiotuotteiden vaatima tila jää pienemmäksi ja vauriot voivat syntyä pidemmän aikaan piilossa rakenteessa. [8, s. 23–24.]

Kloridikorroosio on mahdollinen alhaisemmassa kosteuspitoisuudessa ja lämpötilassa. Karbonisoituminen nopeuttaa kloridikorroosiota vapauttaessaan huokosveteen sementtikivissä sitoutuneena olleena kloridia. [8, s. 24.]

Ansas- tai ankkurointiraudoituksissa korroosio heikentää ajan myötä teräksen kapasiteettia ja voi johtaa pahimmillaan esimerkiksi ulkokuoren irtoamiseen. Kerroksellisissa rakenteissa, kuten pesubetonipinta, rajapinnassa olevan verkon ruostuminen voi aiheuttaa ulomman kerroksen irtoamisen. Pieli- ja verkkoraidoituksien korroosio voi aiheuttaa betonipalojen lohkeilua. [8, s. 26.]

### 3.2.2 Betonin rapautuminen

Suomalaisissa betonijulkisivuissa yleisin betonin rapautumisen muoto on pakkausrapautuminen, muita lähinnä yksittäistapauksina esiintyviä rapautumisilmiöitä betonille ovat ettringiittireaktio ja alkalirunkoainereaktio. Rapautusilmiöiden



yhdistävänä tekijänä on vaatimus korkeasta kosteusrasituksesta. Eri rapautumisilmiöiden aiheuttamat näkyvät vauriot ovat hyvin samankaltaisia ja niiden erottaminen silmämääräisesti on hyvin hankalaa. [8, s. 27.]

Rapautumiset heikentävät betonia kokonaisvaltaisesti, betonin veto- ja puristuslujuudet pienevät ja tartunta raudoitukseen heikkenee. Pitkälle edennyt rapautuminen vaikuttaa rakenteiden kantavuuteen ja voi aiheuttaa merkittävää turvallisuusriskiä. [8, s. 30.]

Pakkasrapautumisen aiheuttaa nimensä mukaisesti pakkasen jäädyttämän veden aiheuttama paineennousu betonin huokosverkostossa. Betonissa on luontaisesti geeli- ja kapillaarihuokosista muodostuva huokosverkosto, jossa oleva huokosvesi pääsee pakkasella jäätymään ja laajenemaan. [8, s. 27–28.]



Kuva 10. Pakkasrapautumisen aiheuttamaa halkeamaa. [11, s. 9]

Pakkasvaurioituminen ilmenee ensin julkisivuissa säröilyinä, säröt taas alkavat nopeuttaa veden imeytymistä. Aluksi säröilyä ei voida havaita julkisivuissa ilman tarkempia tutkimuksia ja näin ollen usein ei osata aloittaa ajoissa pakkasrapautumista ehkäiseviä korjauksia, eli pääosin kosteusrasitusta pienentäviä toimenpiteitä. Kosteusrasituksen kasvaessa pakkausrapautuminen etenee ja alkaa näkyä julkisivuissa selkeinä halkeamina, elementtien kaareutumisenä sekä pahimmillaan betonin lohkeiluna. [8, s. 30.]

Betonirakenteita voidaan suojata pakkasrapautumista vastaan käyttämällä valmistuksessa lisähuokostusaineita. Tällöin betoniin muodostuu verkosto kapillaarihuokosia suuremmista ilmahuokosista, niin sanotuista suojahuokosista. Nämä suojahuukoiset pysyvät ilmatäytteisinä vaikka kapillaarihuokosverkosto olisi täyttynyt vedestä, näin ollen huokosvedelle on jäätyessään tarjolla lisätilaa. [8, s. 28.]

Suojahuokosten on oltava halkaisijaltaan vähintään noin 10  $\mu\text{m}$ , jotta ne pysyisivät normaalitilanteessa ilmatäytteisinä betonissa. Käytännössä suojahuokosten koko on betonissa yleensä 150–300  $\mu\text{m}$ , eli 0,15–0,3 mm. Suojahuokosten tulee sijaita betonissa tasaisena verkostona, jotta niiden suojausvaikutus toimii. Turvallisena huokosjakona pakkasenkestävyyden kannalta pidetään 0,2–0,25 mm. [8, s.28.]

Betonin pakkasenkestävyyteen vaikuttaa myös betonin tiiviys. Pienellä vesisementtisuhteella valmistetussa betonissa on matalampi vedenimukyky ja -nopeus, sekä vähäisempi määrä jäätyvää vettä. Betoneiden lujuuden kasvaessa korkeammaksi pienenee myös vesisementtisuhte, näin ollen on pohdittu nykyisten julkisivubetonien kohdalla lisähuokostamisen tarvetta. Lisähuokostusta pidetään kuitenkin edelleen välttämättömänä betonijulkisivujen pakkasenkestävyyden kannalta. [8, s. 29.]

Ettringiittireaktio on kemiallinen reaktio, siihen liittyy reaktiotuotteiden voimakas tilavuuden kasvu. Reaktiossa syntyvä ettringiittimineraali pienentää suojahuokosten tilavuutta ja heikentää sitä kautta betonin pakkasenkestävyyttä. Reaktio voi aiheuttamallaan paineella johtaa myös suoraan betonin säröilyyn. Ettringiittireaktion yleisin aiheuttaja on betonin liiallinen lämpökäsittely valmistuksen yhteydessä ja siitä aiheutuneet häiriöt sementin kovettumisreaktiossa. [8, s. 31.]

Alkalirunkoainereaktio on sementtikiven alkalisuudesta aiheutuva paisumisreaktio, joka tapahtuu betonin kiviaineksessa. Alkalirunkoainereaktion vaatimuksina ovat sementin riittävän korkea alkalimäärä, huonosti alkalisuutta kestäviä mineraaleja kiviaineksessa ja betonin riittävän korkea kosteuspitoisuus. Alkalirunkoainereaktiosta johtuva rapautuminen on Suomessa suhteellisen harvinaista, koska suomalaiset tiiviit syväkivilajit ovat kemiallisesti hyvin kestäviä. Murskatun ja ulkomaisen kiviaineksen lisääntyvä käyttö voivat kasvattaa alkalirunkoainereaktion riskiä. [8, s. 32.]

Alkalirunkoainereaktion aiheuttamat vauriot muistuttavat pakkausrapautumisen aiheuttamaa halkeilua ja nämä rapautumismuodot esiintyvät usein myös yhdessä. Alkalirunkoainereaktion halkeilu voi olla epäsäännöllistä ja tiheää verkkohalkeilua sekä lisäksi halkeamista voi tunkeutua ulos geelimäistä reaktiotuotetta. [8, s. 32–33.]

### 3.2.3 Kiinnitysten ja kannatusten vauriot

Elementtien ulkokuoria tukevien ja kantavien ansaiden vauriot johtavat pahimmillaan merkittäviin turvallisuusriskeihin. Merkittävimmät ongelmat ovat ansaiden kohdalla 1960-luvun alun sandwich-elementeissä, näissä käytettiin vielä ruostuvasta teräksestä valmistettuja ansaita. Ruostumattomasta teräksestä valmistetut ansaat ja kiinnikkeet ovat pitkäikäisiä, mikäli muut vauriot tai asennusvirheet eivät heikennä tartuntaa betoniin. [8, s. 36.]

Kiinnikkeiden ja kannakkeiden tartunta betoniin voi heikentyä betonin halkeilun, lohkeilun ja rapautumisen seurauksena. Tartunta betoniin voi olla jo lähtökohtaisesti suunniteltua heikompaa, mikäli terästen betonipeitteet ovat liian pienet. Lisäksi liian pieneksi suunniteltu kiinnikkeiden ja kannakkeiden määrä voi johtaa ylikuormituksen aiheuttamiin vaurioihin. Kiinnitysten ja kannatusten vauriot ovat hyvin tapauskohtaisia, mutta pahimmillaan erittäin suuria turvallisuusriskejä aiheuttavia. [8, s. 36–37.]

Yksittäiset ulkopuolisten tarvikkeiden ja laitteiden kiinnitykset sekä tuennat saattavat aiheuttaa paikallisia vaurioita. Näiden kiinnitykset saattavat olla tehty ruostuvalla teräksellä, jolloin betonissakin saattaa esiintyä paikallisia halkeamia ja lohkeamia korroosion seurauksena. [4, s. 46–47.]

### 3.2.4 Pintatarvikkeiden ja -käsittelyjen vauriot

Julkisivupinnan pintatarvikkeiden kiinnitysten pettäminen on lähinnä klinkkerilaattapintojen ongelma. Klinkkerilaattojen ja betonin erilaiset muodonmuutosominaisuudet voivat aiheuttaa tartuntalujuutta suurempia pakkovoimia, eli johtaa laattojen irtoamiseen. Laattojen tartunta voi pettää myös betonin rapautumisen johdosta tai laatat saattavat irrota raudoitteiden korroosion aiheuttamasta paineesta. Tiililaatat kestävät paikoillaan betonissa paremmin johtuen niiden pienemmästä kimmokertoimesta ja suuremmasta veden imukyvystä. [8, s. 37–38.]

Pintakäsittelyjen vauriot ovat yleensä esteettisiä, maalipinnan kunnon perusteella ei voi arvioida rakenteen kuntoa. Pintakäsittely voi vaurioitua ajan myötä hyväkuntoisenkin rakenteen pinnassa. Hyväkuntonen ja oikeanlainen pintakäsittely kuitenkin suojaa rakennetta tehokkaasti, eli vaurioitunut pintakäsittely voi aiheuttaa paikallista rasiusten kasvua ja vaurioitumista rakenteeseen. [4, s. 46.]

### 3.2.5 Halkeilu ja muodonmuutokset

Betonin halkeilua voi aiheuttaa aikaisemmin käsiteltyjen rapautumisten ja korroosion lisäksi erilaiset kutistumat, ulkoiset kuormitukset, tukien siirtymät ja lämpötilan muutokset. Ulkoseinäelementeissä halkeamia voivat aiheuttaa lisäksi asennustyön aikaiset nostot, siirrot ja törmäykset sekä käytön aikaiset törmäykset ja erilaiset pakkovoimat. [8, s. 41.]

Halkeamien haittavaikutukset riippuvat halkeamien leveydestä ja syvyydestä. Kapeat pintahalkeamat eivät vaikuta voimakkaasti rakenteiden säilyvyyteen ja ulkonäköön. Riittävän syvät ja leveät halkeamat mahdollistivat kosteuden, kloridien ja hiilidioksidin pääsyn esteettömästi syvälle rakenteeseen. [8, s. 41.]

Betonielementin ulkokuoret voivat kaareutua levyn paksuussuuntaisista muodonmuutoseeroista johtuen. Kaareutumista lisää erityisesti ulkokuoren kaksikerroksellisuus, kuten tiili- ja klinkkerilaattapinta tai pesubetonikerros. Tällöin ulkokuoressa on ulkopinnassa lähtökohtaisesti jo taustabetonista poikkeavat

kutistumisominaisuudet. Muodonmuutosesta johtuvaa kaareutumista voivat aiheuttaa esimerkiksi betonilevyn toisen pinnan rapautuminen ja paisuminen. Erilaisia ulkokuoren liikkeitä ja hammastuksia voi seurata myös kiinnikkeiden myötäämisestä. Kaareutumisesta seuraa halkeilua betonipintaan sekä pakkovoimia rakenteeseen ja raudoituksiin, nämä voivat johtaa pitkälle edenneinä kannatusten pettämiseen. [8, s. 42.]

## 4 Julkisivujen kunnossapito ja korjaus

Etukäteen suunnittelulla ja suunnitelman mukaisesti toteutetulla kunnossapidolla voidaan pidentää julkisivujen käyttöikää. Myös jatkuva julkisivujen kunnon tarkkailu ja ilmenneiden vikojen välittömät korjaukset kuuluvat hyvin hoidettuun kunnossapitoon. [4, s. 9–10.]

Erilaisten julkisivuista tehtävien kuntoarvioiden ja -tutkimuksien avulla arvioidaan teknisesti sekä taloudellisesti oikeaa hetkeä toteuttaa julkisivujen laajempia korjauksia. Korjausten laajuus määritellään erityisesti kuntotutkimuksien pohjalta tehtävässä korjaussuunnitelmassa. [4, s. 10–13.]

Julkisivurakenteiden vaurioissa kosteus on yleensä yksi tekijä. Tästä syystä julkisivujen kunnossapidossa ja korjaamisessa on aina pyrittävä alentamaan kosteusrasituksia. [4, s. 14.]

### 4.1 Kunnossapito

Julkisivurakenteiden mahdollisimman pitkän käyttöiän mahdollistaa oikein suunniteltu ja toteutettu kunnossapito. Kunnossapidon puutteet ja virheet nopeuttavat julkisivun vaurioitumista, jolloin on mahdollista että korjaustarve tulee ennen suunnitellun käyttöiän täyttymistä. [4, s. 14.]

Julkisivujen kunnossapitoon soveltuu neljä erilaista strategiaa, joilla on eroja tavoitteissa ja kustannuksissa. Näistä strategioista valitaan jokaiselle rakennukselle oma kunnossapitosuunnitelman pohja, lisäksi voidaan soveltaa yksittäisissä rakennusosissa muita strategioita.

- ennakoiva kunnossapito
- suunnitelmallinen kunnossapito
- tarpeenmukainen kunnossapito
- kunnossapidosta luopuminen.

[4, s. 12.]

Ennakoivassa kunnossapidossa toimenpiteet tehdään etupainotteisesti ja riittävän perusteellisina. Strategia on kustannuksiltaan raskain kunnossapidon osalta. Strategialla pyritään varmistamaan kunnossapidon keinoin, etteivät julkisivujen rakennusosien alkuperäiset ominaisuudet pääse heikkenemään. Ennakoivan kunnossapidon strategia soveltuu esimerkiksi julkisiin arvorakennuksiin, joissa ei sallita ulkonäöllisiä vaurioita. [4, s. 12–13.]

Suunnitelmallisessa kunnossapidossa arvioidaan etukäteen julkisivujen rakennusosien teoreettisia kunnossapitajaksoja ja toteutetaan tehtyjen arvioiden mukaan kunnossapitoa sekä korjauksia. Usein kunnossapitajaksoja arvioidaan varmuuden vuoksi toteutuvia jaksoja lyhyemmiksi, jolloin myös tässä strategiassa kunnossapito on jossain määrin etupainotteista ja tämän takia kustannuksiltaan hieman raskaampaa kuin todellisiin tarpeisiin perustuva kunnossapito. Suunnitelmallisen kunnossapidon strategia soveltuu esimerkiksi liikerakennuksiin, joissa toiminta on prosessinomaista ja toimintojen häiriintyminen aiheuttaa välillisiä kustannuksia. [4, s. 12–13.]

Tarpeenmukaisessa kunnossapidossa julkisivujen rakennusosissa toimenpiteitä arvioidaan teetettävien kuntoarvioiden ja -tutkimuksien perusteella. Tällöin kunnossapitotoimenpiteiden perusteellisuus voi olla suurempaa kuin ennakoivissa strategioissa ja riskit voivat hieman lisääntyä. Tarpeenmukaisuuteen perustuva kunnossapidon strategia on useimmiten taloudellisin vaihtoehto ja tästä syystä esimerkiksi suuret kiinteistöjenomistajat suosivat tätä strategiaa. [4, s. 12–13.]

Neljäntenä vaihtoehtona on kunnossapidosta luopuminen, tällöin julkisivujen rakennusosien annetaan vaurioitua hoitamatta korjauskelvottomaksi. Yksittäisen rakennusosan elinkaari on tässä strategiassa usein yhtä kuin rakennuksen elinkaari. Strategia ei suoranaisesti sovellu edes väliaikaisiin rakennuksiin, koska kunnossapidon laiminlyönti voi aiheuttaa terveellisyys- ja turvallisuusriskejä. [4, s. 12–13.]

Kaikki kunnossapito perustuu riittävään ja jatkuvaan julkisivun kunnon tarkkailuun. Lisäksi vähintään muutaman vuoden välein olisi tehtävä julkisivujen yleistarkastus, tarkastuksessa käydään tarkemmin läpi tarkastuslistan avulla rakennusosissa, liittymissä ja järjestelmissä mahdollisesti esiintyviä vikoja. Tarkastuskohtia ovat esimerkiksi vedenpoiston toimivuus, suojaPELLITYKSET ja julkisivun yleiskunto. [4, s. 15.]

## 4.2 Julkisivujen kuntoarviot ja -tutkimukset

Julkisivusta tehtävät kuntoarviot ja -tutkimukset tukevat kunnossapidon ja korjausten suunnittelua. Kuntoarviot ja -tutkimukset ovat yleisesti korjauksia edullisempia ja näin ollen niiden avulla voidaan määrittää taloudellisesti kannattavinta aikaa korjauksille. [4, s. 12.]

Kuntoarvio tehdään usein kerrallaan koko kiinteistössä asiantuntijaryhmän toimesta. Yleisenä suosituksena olisi tällaisen kuntoarvion teettäminen noin viiden vuoden välein. Kuntoarvion pohjalta päivitetään kiinteistön pitkän tähtäimen suunnitelmaa, eli PTS:ää. Kuntoarvio tehdään pääosin aistinvaraisesti, eli siinä ei pystytä arvioimaan piilossa olevia vaurioita. [9, s. 12.]

Kuntoarvion tavoitteena on puolueeton arvio rakennuksen kokonaisuudesta. Kuntoarviossa on tarkoitus tuoda esille myös merkittävimpiä korjaustarpeita sekä mahdollisia tarkempia lisätutkimuksia vaativia kohtia. [9, s. 12.]

Pelkän kuntoarvion perusteella ei yleensä kannata ohjata kuin kunnossapitoon liittyviä pieniä huoltotöitä ja -korjauksia. Laajempien korjauksien perusteeksi tulisi aina laatia tarkempia kuntotutkimuksia. Tutkimusten perusteella korjaukset pystytään kohdentamaan oikein. Ilman tarkempia tutkimuksia jää riskiksi, että korjaukset tehdään liian keveinä tai ylikorjataan, ne voidaan kohdistaa väärin sekä lisäksi voi jäädä korjaamatta rakenteen toimivuuden kannalta merkittäviä asioita. [4, s. 19–20.]

Kuntotutkimuksessa selvitetään rakennusosan tai esimerkiksi ulkoseinien kuntoa tarkemmilla tutkimuksilla. Tutkimuksia voidaan tehdä rakenteita rikkovilla menetelmillä tai erilaisilla erikoismittareilla. Kuntotutkimuksen tarkoituksena on antaa tietoa rakenteen vaurioitumisesta sekä vaurioitumisen syistä, laajuudesta ja vaikutuksista. Lisäksi kuntotutkimuksen raportissa arvioidaan vaurioiden etenemistä sekä annetaan toimenpide-ehdotuksia. [4, s. 19–21.]

Kuntotutkimuksen yhteydessä tehdään usein myös haitta-ainekartoitus. Haitta-ainekartoituksella on tarkoitus varmistaa purkutöiden tekijöiden turvallisuus ja



purkujätteiden oikea käsittely. Vanhat julkisivupinnoitteet voivat sisältää esimerkiksi asbestia ja julkisivupinnassa olevissa saumauksissa voi olla lyijyä ja PCB-yhdisteitä. [5, s. 168.]

#### 4.3 Julkisivuvaurioiden korjaussuunnittelu

Maankäyttö- ja rakennuslaissa edellytetään tilaaja huolehtimaan riittävästä suunnittelusta ja pätevistä suunnittelijoista.

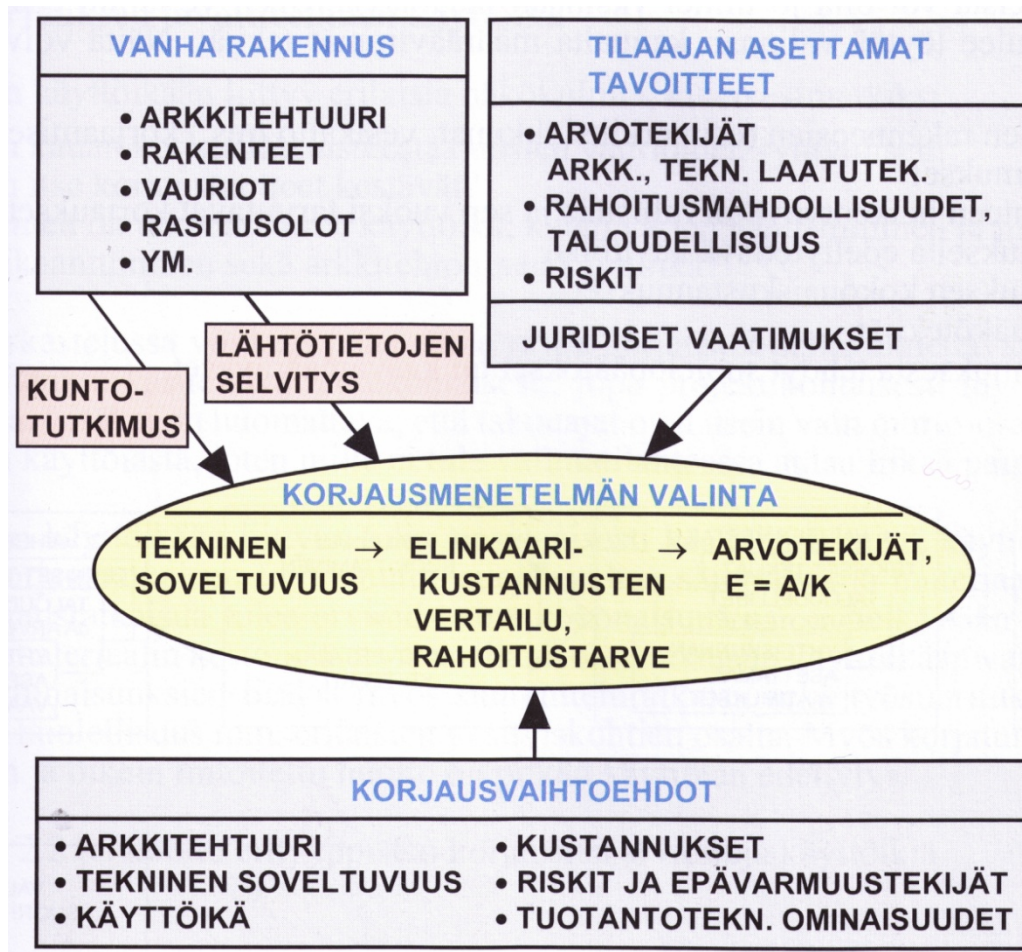
Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava siitä, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan rakentamista koskevien säännösten ja määräysten sekä myönnetyn luvan mukaisesti. Hänellä tulee olla hankkeen vaatimus huomioon ottaen riittävät edellytykset sen toteuttamiseen sekä käytettävissään pätevä henkilöstö. [12, 119 §.]

Korjaushankkeen suunnittelijoilla on omattava riittävä asiantuntemus ja kokemus kyseisen korjausalan suunnittelusta, tässä tapauksessa julkisivujen suunnittelusta. Lisäksi suunnittelijoilta on löydyttävä näyttöä erilaisten julkisivujen korjausmenetelmien asiantuntemuksesta, suunnittelijat eivät saa olla sitoutuneita johonkin tiettyyn menetelmään. [4, s. 33–34.]

Korjaussuunnittelun alussa on syytä teettää hankesuunnitelma. Hankesuunnitelmassa määritellään korjaustoimenpiteiden laatu ja määrä sekä kustannusarvio, usein muutamalle erilaiselle korjausvaihtoehdolle. Hankesuunnitteluvaiheen lopputuloksena tilaaja tekee valinnan korjaustavasta. [4, s. 32.]

Hankesuunnitteluvaiheessa määritelläänkin pitkälti korjaustöiden kokonaiskustannukset, vaikka ne syntyvät pääosin vasta toteutusvaiheessa. Hankesuunnitteluvaiheessa pitäisi pystyä arvioimaan kokonaistaloudellisesti edullisin vaihtoehto, jolla pystytään täyttämään tilaajan tavoitteet korjaushankkeelle. [9, s. 16–17.]

Hankesuunnitteluvaiheessa arvioidaan myös mahdollisia lisäselvitystarpeita, viranomaislupien tarvetta ja viranomaisen alustavaa näkemystä suunniteltuihin korjauksiin sekä laaditaan alustavat rahoitus- ja aikataulusuunnitelmat korjaushankkeelle. [9, s. 16.]



Kuva 11. Korjaustavan valintaan vaikuttavia tekijöitä. [4, s. 23]

Varsinaisessa korjaussuunnitteluvaiheessa tehdään piirustukset ja muut suunnitelma-asiakirjat valitun korjaustavan perusteella. Toteutussuunnitteluvaiheen lähtötietoina toimivat kuntotutkimukset, hankesuunnitelma sekä rakennuksen vanhat suunnitelmat ja selvitykset. [4, s. 32.]

Korjaussuunnitelmissa esitetään uusien rakenteiden lisäksi riittävän kattavasti myös olemassa olevat rakenteet. Olemassa olevat rakenteet on pyrittävä esittämään mahdollisimman totuudenmukaisina tutkimusten ja vanhojen piirustusten perusteella. Suunnitelmissa esitetään lisäksi missä määrin ja millä menetelmillä vanhoja rakenteita puretaan. Korjausrakentamisen toteutussuunnittelulle on ominaista suuri määrä rakenneleikkauksia ja -detaljeja. [9, s. 17.]

Toteutussuunnittelussa tehdään lupapiirustukset mahdollista viranomaislupaa varten sekä toteutusta varten tehtävät toteutussuunnitelmat. Lisäksi laaditaan muut urakka-asiakirjat. [4, s. 32.]

Korjausrakentamisessa näitä suunnitelmia joudutaan usein muokkaamaan työmaa-aikana. Vanhat rakenteet eivät vastaa täysin oletettua tai rakenteita purettaessa paljastuu yllätyksiä. [9, s. 17.]

#### 4.4 Julkisivuvaurioiden korjausrakka

Toteutussuunnitelmat ja muut urakka-asiakirjat lähetetään urakoitsijaehdokkaille urakkalaskentaan. Urakoitsijat laskevat aineiston perusteella urakkahinnan ja antavat tilaajalle tarjouksen korjausrakasta. Tilaaja neuvottelee parhaimpien vaihtoehtojen kanssa tarjouksista, neuvottelulla varmistetaan yksimielisyys urakan sisällöstä sekä urakoitsijan kyky suoriutua urakasta. [13, s. 4–5.]

Valitun urakoitsijan kanssa laaditaan kirjallinen urakkasopimus, siinä määritellään osapuolien vastuut ja velvoitteet sekä esimerkiksi aikataulu. Urakkasopimuksen liitteenä käytetään yleensä rakennusurakan yleisiä sopimusehtoja. [13, s. 5.]

Tilaaja nimeää yleensä työmaa-ajaksi itselleen valvojan, joka toimii työmaalla tilaajan edunvalvojana [4, s. 35]. Lisäksi tilaaja nimeää rakennustyön turvallisuudesta annetun asetuksen mukaisen turvallisuuskoordinaattorin [14, 5 §].

Korjausrakennustyömaa käynnistyy työmaan perustamisella ja aloituskokouksella. Viimeistään aloituskokouksessa nimetään kaikki vastuuhenkilöt työmaa-ajaksi, määritellään työmaa-alue sekä sovitaan urakkasuoritukseen liittyvistä yksityiskohdista. Työmaan etenemistä seurataan työmaakokouksissa ja -katselmuksilla, urakoitsija valvoo oman työnsä laatua ja lisäksi tilaajan valvoja valvoo työsuoritusten laatua. Tilaaja joutuu tekemään työmaa-aikana päätöksiä esimerkiksi lisä- ja muutostöiden tilaamisesta. [13, s. 6.]

Korjausrakennusurakan valmistuessa järjestetään vastaanottotarkastus, jossa verrataan työn lopputulosta urakkasopimuksessa sovittuun. Vastaanottotarkastuksesta

tehdään pöytäkirja. Vastaanottotarkastuksessa voidaan ottaa urakka vastaan kokonaan tai osittain sekä olla ottamatta vastaan urakkaa. Pöytäkirjassa esitetään urakoitsijan vastattavaksi katsottavat virheet ja puutteet sekä myös sellaiset, joiden ei katsota aiheuttavan urakoitsijalle seuraamuksia. Lisäksi käsitellään ja kirjataan taloudelliset asiat, erimielisyydet, aikataulun toteutumiset sekä kaikki mahdolliset vaatimukset toista osapuolta kohtaan. [4, s 38–39.]

Tarvittaessa pidetään uusi vastaanottotarkastus tai virheiden ja puutteiden osalta jälkitarkastus. Urakoitsijan tulee luovuttaa kaikista kohteeseen käytetyistä ja asennetuista tuotteista, laitteista ja varusteista materiaalitodistukset ja -tiedot. Lisäksi tulee antaa näiden osalta käyttö- ja huolto-ohjeet. [4, s 39–40.]

Urakan vastaanotosta käynnistyy takuu-aika, takuuajan päättyessä järjestetään tarvittaessa takuutarkastus. Takuutarkastusta voi vaatia tilaaja tai urakoitsija. Tarkastuksesta tehdään pöytäkirja, johon kirjataan havaitut virheet ja puutteet sekä näiden korjausaikataulu sekä mahdolliset taloudelliset vaikutukset. [4, s 39.]

## 5 Vertailututkimus, betonisandwich-julkisivujen korjausvaihtoehdot

Betonisandwich-julkisivujen korjaukseen on olemassa lukemattomasti vaihtoehtoja, niitä esitellään tässä työssä lyhyesti ja valitaan muutamia tarkempaan tarkasteluun tutkimusosioon. Erilaiset pintastruktuurit ja -materiaalit rajoittavat vaihtoehtojen soveltuvuutta osaan kohteista. Lisäksi alueella olevat asemakaavan vaatimukset julkisivupinnoille ja paikallisen rakennusvalvonnan näkemys on syytä selvittää ennen korjausvaihtoehdon valintaa.

Lisäksi määritellään tutkimuskohde ja sille tiettyjä rajoituksia. Tutkimuskohde pyritään pitämään mahdollisimman yksinkertaisena ja perusmallisena, jotta sen soveltaminen jatkossa on mahdollista. Käydään myös läpi vertailtavia arvoja ja näiden vertailuperusteita.

### 5.1 Betonisandwich-julkisivujen korjausvaihtoehtoja

Korjausvaihtoehdot on jaettu kahteen kategoriaan, kevyisiin ja raskaisiin korjausvaihtoehtoihin. Kaikissa vaihtoehtoissa on kuitenkin lähdetty siitä että ulkokuorellekin täytyy tehdä jotain betonin korjaustoimenpiteitä, eli esimerkiksi pelkkiä maalauskorjauksia ei ole esitelty. Korjausvaihtoehtoista pyritään esittelemään yleisimmin käytössä olevat sekä joitain näistä olennaisesti poikkeavia menetelmiä.

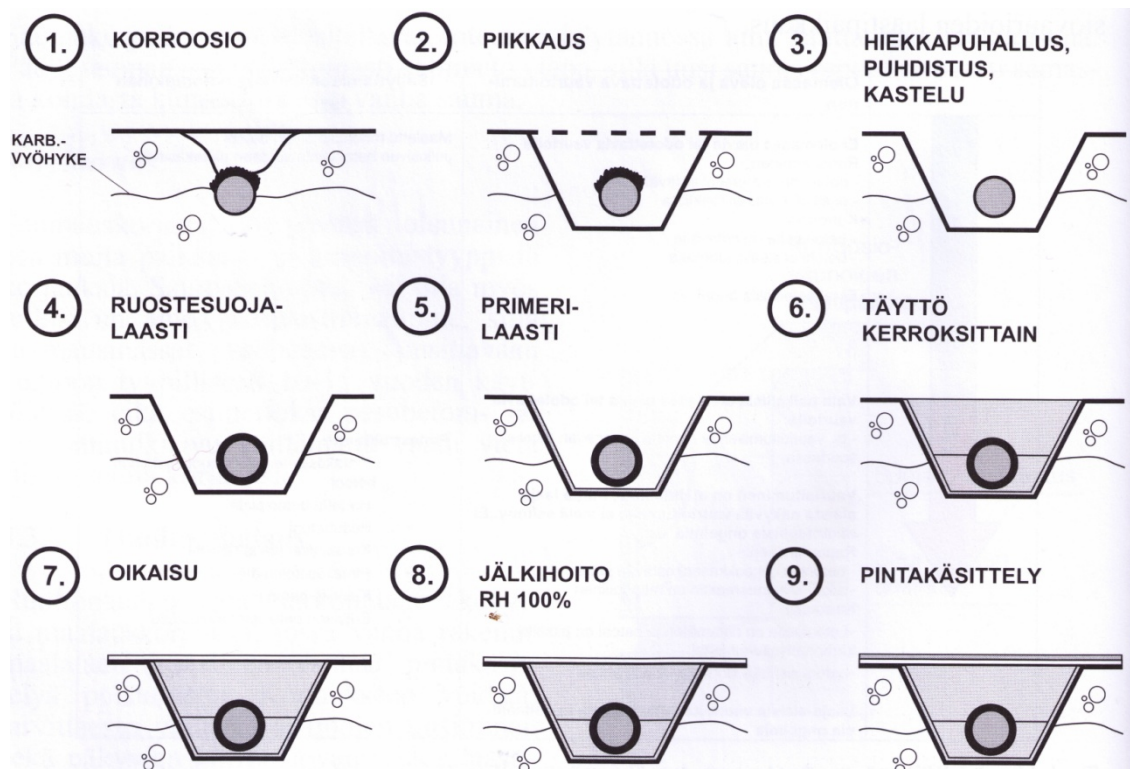
Kevyissä korjausvaihtoehtoissa vanhat eristeet ja vanha ulkokuori jätetään paikoilleen. Kevyissä korjauksissa esitellään paikkaus- ja pinnoituskorjauksen lisäksi verhouskorjaukset, koska näissä molemmissa vaaditaan kuitenkin että ulkokuori on siinä kunnossa, että sen säilyttäminen on mahdollista. Erityisesti verhouskorjauksissa on huomioitava ulkokuoren kasvavat kuormat ja ulkokuoren tuentojen kapasiteetti näille lisäkuormille.

Raskaissa korjauksissa ulkokuori ja eristeet puretaan sisäkuoreen asti. Verhouskorjauksissa ja raskaissa korjauksissa sovelletaan osittain samoja ratkaisuja, mutta rakennepaksuudet kuitenkin poikkeavat yleensä vaihtoehtojen välillä.

Vaihtoehtojen soveltuvuus erilaisiin kohteisiin on aina arvioitava kuntotutkimusten ja korjaussuunnitelmien avulla alan asiantuntijoiden johdolla. Väärin käytettyinä ratkaisut voivat pahimmillaan aiheuttaa lisäongelmia rakenteille.

### 5.1.1 Kevyet korjaukset

Kevyissä korjauksissa oletetaan tässä työssä että ulkokuoren kannatukset ovat kunnossa ja näin lisätuentoja ei tarvita pelkkää ulkokuoren tai kevyen verhouskorjauksen painoa varten. Betonisandwich-julkisivun kuntotutkimuksen yhteydessä on kuitenkin aina varmistettava ulkokuoren tuentojen kunto ja riittävyys.



Kuva 12. Perusteellisen paikkaus- ja pinnoituskorjauksen vaiheita. [4, s. 50]

Sandwich-elementtien ulkokuoressa joudutaan korjaustavasta riippumatta korjaamaan jo selkeät syntyneet vauriot, muuten korjauksen pitkäaikaiskestävyys voi jäädä reilusti suunniteltua alhaisemmaksi. Pienempiä vaurioita voidaan korjata esimerkiksi edellä olevassa kuvassa 12 esitetyillä työvaiheilla 1-6, laajempien vaurioiden kohdalla käytetään muottia ja betonivalua.

Kevyiden korjauksien perusmallina voidaan pitää edellä esitetyn kuvan 12 mukaisia perusteellisista paikkaus- ja pinnoituskorjausta. Perusteellisiin paikkaus- ja pinnoituskorjauksiin liittyy yleensä myös elementtisaumojen uusiminen.

Vaihtoehtona perusteellisille paikka- ja pinnoituskorjauksille voidaan pitää verhoukorkorjauksia. Verhoukorkorjauksissa vanhan ulkokuoren ulkopintaan asennetaan lisälämmöneristys ja uusi pintamateriaali. Verhoukorkorjauksella saadaan vanha ulkokuori kosteudelta suojaan. Lisäksi ulkopinnassa oleva lisäeristys nostaa ulkokuoren lämpötilaa. Verhoukorkorjausten yhteydessä ulkokuoresta on korjattava selkeät syntyneet vauriot paikkakorjauksina. Vanhaa pinnoitetta ei ole tarpeen poistaa kauttaaltaan, mikäli se todetaan soveltuvaksi korjattuun rakenteeseen. Tarvittaessa ulkokuoren ulkopinta joudutaan tasoittamaan, että lisälämmöneristys saadaan tiiviisti pintaan kiinni. Elementtisaumojia ei tarvitse yleensä korjata verhoukorkorjauksen yhteydessä.

Verhoukorkorjauksessa uutena julkisivupintana voi olla esimerkiksi joku seuraavista.

- ohutrappaus
- kolmikerrosrappaus
- sementtilevyverhous
- teräsohutlevyverhous
- tiililaattaverhous
- kuorielementti
- tiilimuuraus.

Verhousrakenteista rappaukset ovat tuulettumattomia, muiden verhouksien takana on yleensä tuuletusrako. Molemmat rakennetyypit on todettu Suomen olosuhteissa käytännössä toimiviksi. Tuulettumattomissa rakenteissa pinnoitteella on oltava riittävän hyvä vesihöyrynläpäisevyys, jotta rakenteen kuivuminen ulospäin on mahdollista.

Ohutrappaus suoraan lisälämmöneristeen pintaan tehtynä kasvattaa julkisivupintaa vähiten ulospäin. Tiilimuurauksen ja taakse vaadittavan tuuletusraon ( $\geq 40$  mm) vaikutuksesta julkisivupinta taas kasvaa merkittävästi ulospäin. Kevyemmät verhousrakenteet, esimerkiksi ohutrappaus ja teräsohutlevyverhoukset voidaan jopa tehdä hyvin kiinni olevan ulkokuoren pintaan ilman ulkokuoren lisätuentatarvetta.

Raskaimmat verhousrakenteet, esimerkiksi kuorielementit ja tiilimuuraukset vaativat yleensä aina omat perustukset tai muun tuennan.

### 5.1.2 Raskaat korjaukset

Raskaaseen korjausversioon päädytään yleensä kuntotutkimuksen suositusten mukaan. Merkittävimmät syyt raskaan korjausversion toteuttamiseen ovat ulkokuoren elementin pitkälle edennyt vaurioituminen ja riskialttiit ulkokuoren kiinnitykset. Lisäksi esimerkiksi pahasti kostuneet tai mikrobivaurioituneet eristeet voivat vaatia ulkokuoren purkamista.

Ulkokuoren purkamisen yhteydessä on aina taloudellista purkaa myös vanhat lämmöneristeet. Nykypäivän lämmöneristeet ovat teknisesti erittäin paljon parempia verrattuna 1960- ja 70-lukujen eristeisiin, esimerkiksi saman paksuisella eristeellä päästään selvästi parempaan lämmöneristävyyteen.

Ulkokuoren purkuun on olemassa useita menetelmiä, yleisimmin käytetään kuvan 13 mukaista koneellista piikkausta. Koneellisessa piikkauksessa piikkausrobotti nostetaan nostimella ylös ja robotin käyttäjä ohjaa kauko-ohjaimella konetta alhaalta käsin. Viimeistelyssä ja erikoiskohdissa voidaan käyttää käsin piikkausta nostokorista.

Koneellinen murskaus ja leikkaus tapahtuvat vastaavasti nostettavilla kauko-ohjattavilla robottikoneilla. Lisäksi ulkokuori voidaan joissain tapauksessa purkaa kokonaisina elementteinä tai esimerkiksi nostotyynymenetelmällä.





Kuva 13. Ulkokuoren purkua piikkausrobotilla. [15]

Vanha sisäkuoren ulkopinta on usein epätasainen ja siihen ei saada asennettua suoraan kovaa eristevillalevyä tasaisesti ja tiiviisti. Vanhan sisäkuoren ulkopinta joudutaan usein tasoittamaan tai mahdollisuuksien mukaan voidaan käyttää ensimmäisenä eristekerroksena pehmeää eristevillalevyä.

Purku- ja pohjatöiden jälkeen vanhan sisäkuoren ulkopintaan asennetaan uudet lämmöneristeet, lämmöneristeinä voidaan käyttää yleisesti mineraalivilloja ja esimerkiksi ohutrappauksen taustalla styroksia. Lämmöneristeen ulkopuolelle tehdään uusi julkisivupinta, vaihtoehdot ovat vastaavia kuin verhouskorjauksissa.

- ohutrappaus
- kolmikerrosrappaus
- sementtilevyverhous
- teräsohutlevyverhous
- tiililaattaverhous
- kuorielementti
- tiilimuuraus.

Raskaissa korjausversioissa voidaan esimerkiksi rappauksilla paksuntaa lämmöneristettä ja pitää julkisivupinta samassa tasossa vanhan kanssa, koska rappaukset ovat vanhaa ulkokuorta ohuempia rakenteita. Tämä helpottaa liittymiä esimerkiksi sokkeleihin ja räystäisiin, näin voi olla mahdollista että näiden korjauksia siirretään taloudellisten resurssien tai muiden vastaavien syiden vuoksi tulevaisuuteen.

### 5.1.3 Puuverhous vaihtoehtona

Uudempana vielä vähänlaisesti käytössä olevana vaihtoehtona verhoukorkorjauksiin ja raskaisiin korjauksiin ovat tulleet puuelementit. Puuelementeissä pystytään asentamaan kerrallaan puurungot, lämmöneristeet ja julkisivut. Puuelementtien ehdoton valtti on puurakenteiden keveys, lisäksi puu on hankintahinnaltaan edullista verrattuna moniin muihin materiaaleihin. Puujulkisivujen huoltoväli taas on moniin muihin materiaaleihin verrattuna poikkeuksellisen lyhyt, eli tätä kautta elinkaarikustannukset tasaavat edullista hankintahintaa.

Puuelementtien käyttöä ja erityisesti puujulkisivujen käyttäytymistä palotilanteissa on tutkittu jonkun verran. Käytännön kokemukset puuelementeistä ja -julkisivuista asuinkerrostaloissa ovat kuitenkin vielä erittäin vähäisiä ja pääosin liian lyhytaikaisia, että niitä voitaisiin vielä tässä tutkimuksessa ottaa huomioon.

## 5.2 Korjausvaihtoehtojen valinta

Tutkittaviksi korjausvaihtoehtoiksi valitaan käytännössä käytössä olevia ja sitä kautta jossain määrin taloudellisesti perusteltavissa olevia vaihtoehtoja. Kevyistä ja raskaista korjauksista valitaan molemmista kolme erilaista vaihtoehtoa, tällöin tuloksista on jo mahdollista tehdä alustavia johtopäätöksiä muidenkin vaihtoehtojen suhteen.

Kevyistä korjauksista valitaan seuraavat vaihtoehdot.

- perusteellinen paikkaus- ja pinnoituskorjausta
- verhoukorkorjaus ohutrappauksella
- verhoukorkorjaus sementtilevyverhouksella.

Perusteellinen paikkaus- ja pinnoituskorjaus on erittäin yleisesti käytössä oleva korjausmenetelmä. Verhouskorjaukset ovat kasvattaneet merkittävästi suosiotaan ja tässä on haluttu verrata rappausverhouskorjausta levyverhouskorjaukseen. Ohutrappaus on usein keveytensä takia valinta verhoavissa korjauksissa ja sementtilevyverhouksella taas saadaan säilytettyä betonielementistä ulkoasua.

Muut levyverhoukset ovat taas suhteellisen verrattavia sementtilevyverhoukseen ja siitä syystä nämä voidaan rajata tutkimuksen ulkopuolelle. Verhouskorjauksena kuorielementit ja tiilimuuraukset taas kasvattavat ulkoseinän paksuutta merkittävästi ja niiden käyttö on tästä syystä näissä erittäin rajallista.

Raskaista korjauksista valitaan seuraavat vaihtoehdot.

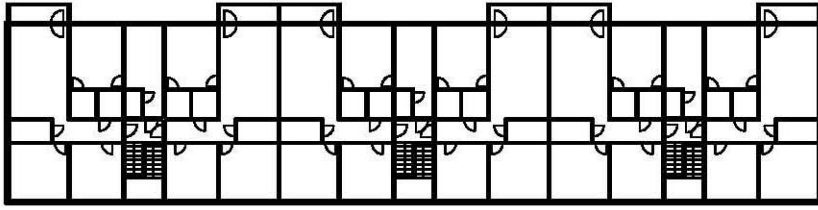
- julkisivupintana ohutrappaus
- julkisivupintana kolmikerrosrappaus
- julkisivupintana tiilimuuraus.

Raskaissa korjausvaihtoehdoissa halutaan tuoda esille yksi sama julkisivupintavaihtoehto verhouskorjausten kanssa ja lisäksi halutaan vertailla ohut- ja kolmikerrosrappausta, tästä syystä valitaan nämä molemmat mukaan. Lisäksi halutaan esittää näille vaihtoehdona julkisivupinnaksi tehtävä tiilimuuraus.

Levyverhouksien eroja ohutrappaukseen on esitetty kevyissä korjauksissa, joten niitä voidaan soveltaa jatkossa tämän avulla myös raskaisiin korjauksiin. Tiilimuuraus on yleisemmin käytössä verrattuna kuorielementteihin ja tästä syystä kuorielementit jäävät tämän tutkimuksen ulkopuolelle.

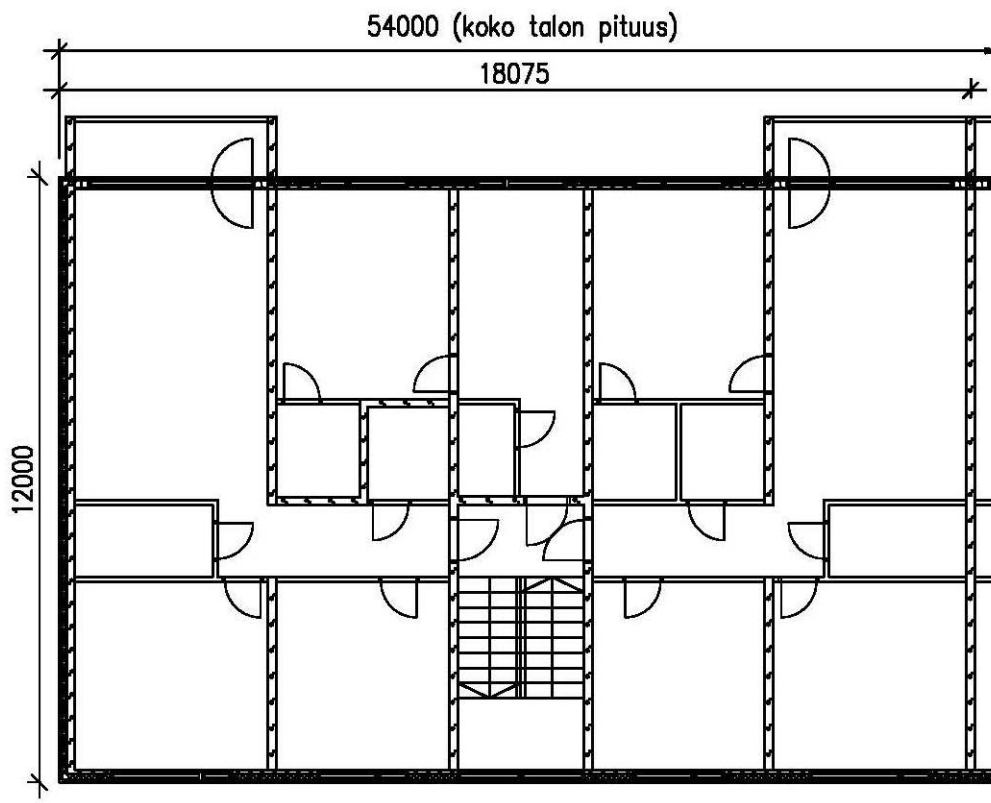
### 5.3 Tutkimuskohteen luominen ja rajaus

Tutkimuskohteeksi valitaan kuvitteellinen ja mahdollisimman perusmallinen 1960- ja 70-lukujen vaihteen rakennus, tällöin tutkimuksen hyödyntäminen jatkossa on mahdollisimman yksinkertaista. Tutkimuskohteeksi valitaan suorakaiteenmuotoinen lamellitalo, rakennus on kolmikerroksinen ja siinä on kolme porrashuonetta.



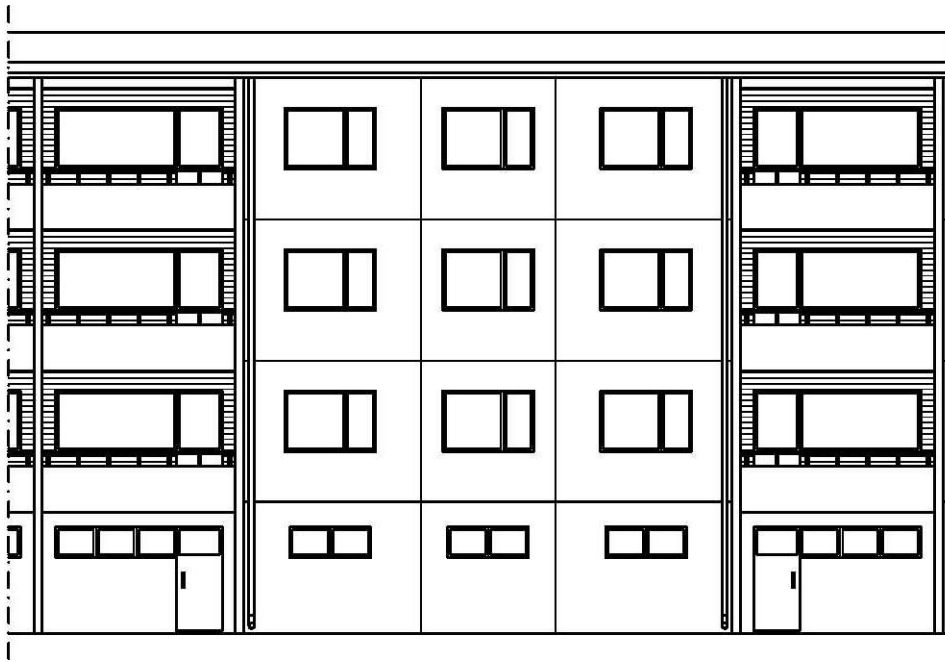
Kuva 14. Tutkimuskohteen asuinkerroksen pohjapiirustus (~1:500).

Tutkimuskohteeseen luodaan myös parveketornit toiselle puolelle jatkokäyttöä varten, mutta niitä ei huomioida tarkastelussa. Parvekkeiden taustaseinät päätetään puurakenteisiksi ja niitäkään ei huomioida tutkimuksessa.



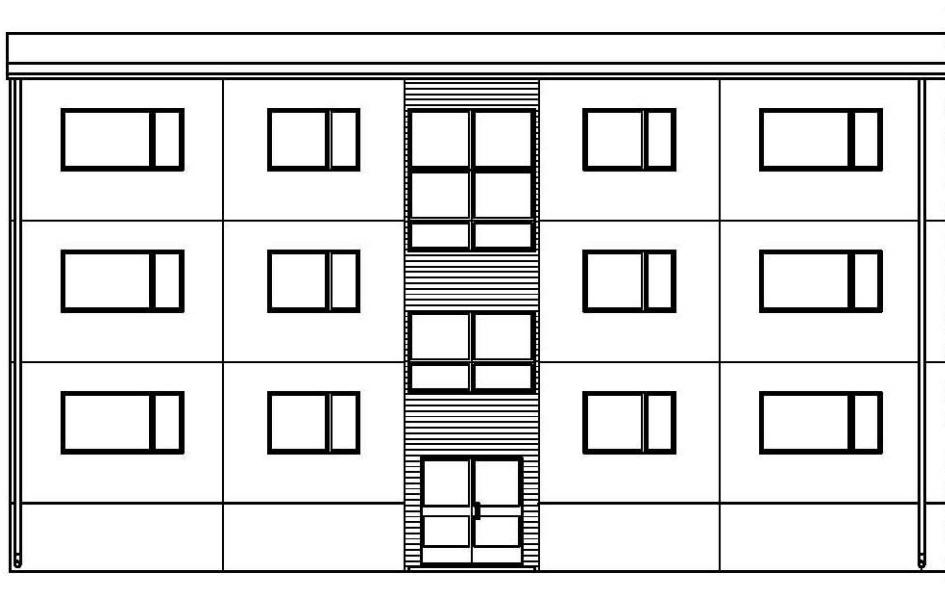
Kuva 15. Tutkimuskohteen asuinkerroksen päätyrapun pohjapiirustus (~1:150).

Rakennuksessa on osittain maan alla oleva kellarikerros ja loiva harjakatto. Rakennuksen päätyjulkisivut ovat kantavia sandwich-elementtejä ja sivujulkisivut itse kantavia ruutusandwich-elementtejä. Sandwich-elementeissä on tasainen maalattu betonipinta. Päätetään talon olevan itä-länsi-suuntainen ja parveketornien puoleinen julkisivu on etelään.



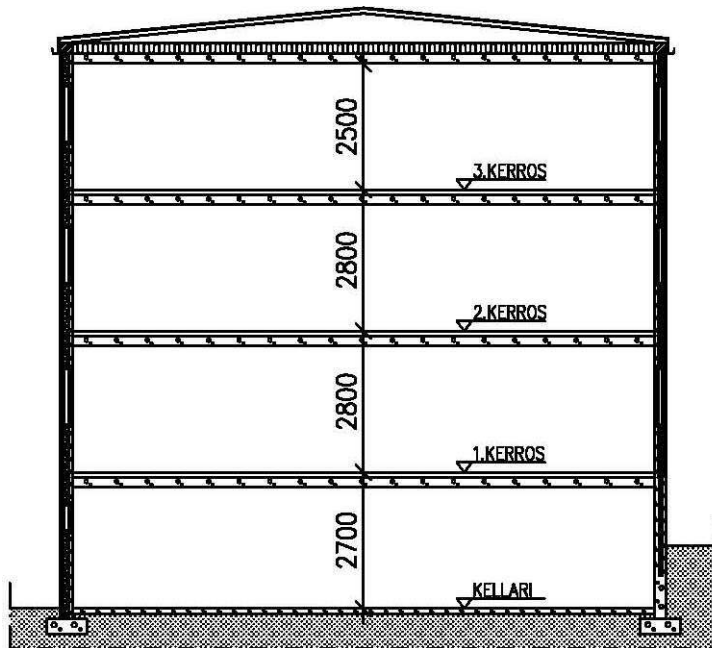
Kuva 16. Tutkimuskohteen julkisivu päätyrapun osalta etelään (~1:150).

Porrashuoneiden ulkoseinät valitaan aikakaudella tyypillisen mallin mukaan puu- ja lasirakenteisiksi, eli ne jätetään myös huomioimatta tutkimuksessa. Rakennuksen katemateriaali on konesaumattu pelti.



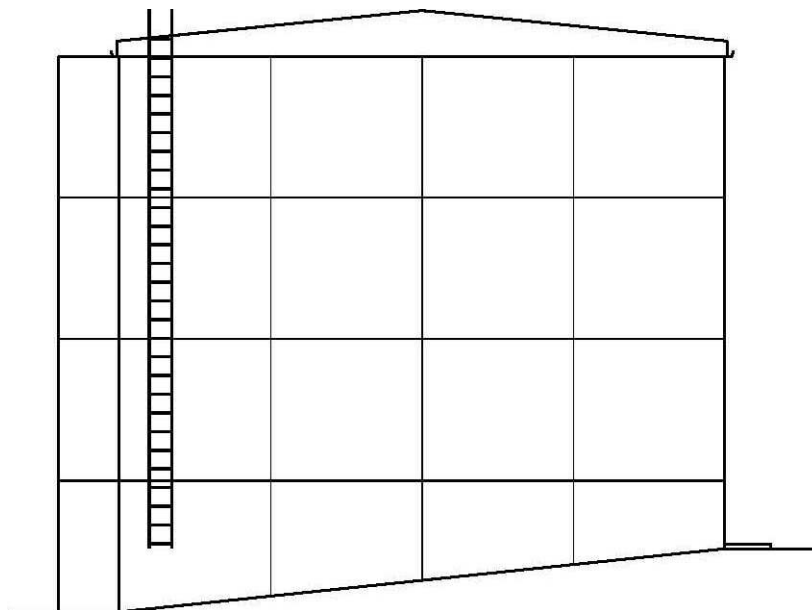
Kuva 17. Tutkimuskohteen julkisivu päätyrapun osalta pohjoiseen (~1:150).

Kellarin seinät on tehty eteläsivulla sandwich-elementeistä. Muilla sivuilla kellarin seinät ovat osittaisia umpibetonielementtejä maanpaineiden takia.



Kuva 18. Tutkimuskohteen leikkauspiirustus (~1:150).

Päätyjen julkisivuissa on yläkolmio pellitetty katemateriaalilla. Päädyt ovat toistensa peilikuvia, toisessa päädyssä menee vesikatolle talotikas.



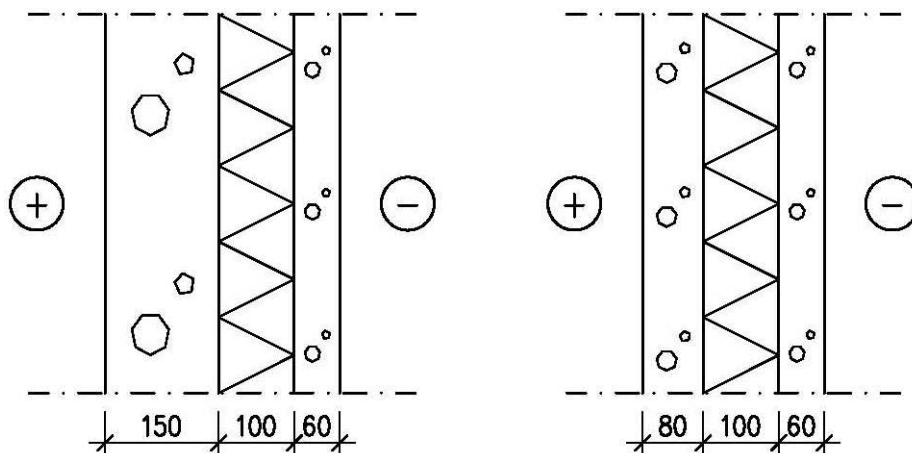
Kuva 19. Tutkimuskohteen päätyjulkisivu itään (~1:150).

Pitkillä sivuilla kulkee julkisivun yläosassa katemateriaalista valmistetut räystäskourut. Kattovedet on ohjattu kouruista julkisivupiirustuksissa näkyvillä syöksytorvilla maanpinnan tasolle. Kohteessa on alkuperäiset puuikkunat. Parvekkeiden ovet ovat kaksilehtisiä valoaukolla olevia puuovia. Porrashuoneiden ulko-ovet ovat metallirunkoisia, toisella puolella kellarin ulko-ovet ovat puurakenteisia.

Tutkimuksessa huomioidaan kellarin seinien korjaukset lähtökohtaisesti maanpäällisiltä osin, ratkaisut tehdään korjausvaihtoehtoihin soveltuen. Huomioon otetaan myös liitokset räystäsiin ja niihin vaihtoehtojen mukaan tarvittavat korjaukset. Räystäiden ja sadevesijärjestelmien osalta pyritään rajaamaan korjaukset mahdollisimman vähäisiksi. Liittymät ovi- ja ikkuna-aukkoihin otetaan huomioon, esimerkit havainnollistetaan ikkuna-aukkojen liitoksen mukaan.

#### 5.4 Tutkimuskohteen rakennetyypit ja -liittymät

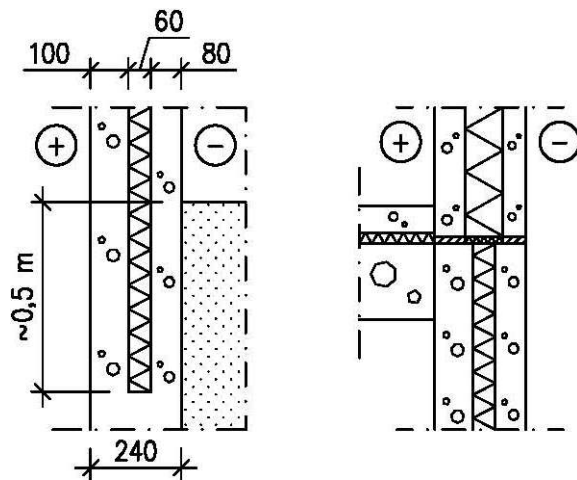
Tutkimuskohteessa on sandwich-elementtien teräbetoninen ulkokuori 60 mm paksu ja sen takana olevan mineraalivillaeristeen paksuus 100 mm. Elementtien teräbetoninen sisäkuori on kantavissa päädyissä 150 mm paksu ja ei-kantavilla pitkillä sivuilla 80 mm.



Kuva 20. Tutkimuskohteen kantavan ja ei-kantavan sandwich-elementin rakennetyypit (~1:10).

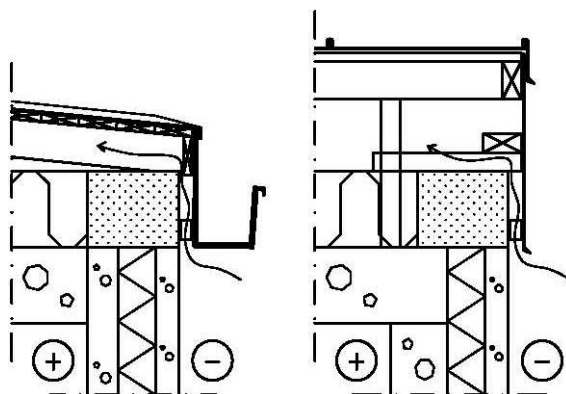
Kellarin seinät ovat eteläsivuilla rakennetyypiltään asuinkekkosten sandwich-elementtejä vastaavia. Muilla sivuilla kellarin seinät ovat umpibetonielementtejä, joissa on noin

puolen metrin verran maanpinnan alapuolelle asti tuleva 60 mm paksu mineraalivillaeristehalkaisu.



Kuva 21. Tutkimuskohteen kellarin ei-kantavan seinän elementin rakennetyyppi sekä kellarin seinä- ja sandwich-elementin liitos (~1:20).

Vesikaton kantava runko on tehty teräsbetonisen laatan päältä puurakenteisena, lämmöneristys on myös kantavan betoniholvin päällä. Räystäskourut ja päätykolmiot on tehty katemateriaalista konesaumattusta pellistä. Ulkoseinien sandwich-elementtien päällä ovat korokkeena siporex-harkot, joiden avulla on tuettu räystäsrakenteita. Yläpohjatilan tuuletus on hoidettu räystäiden kautta.

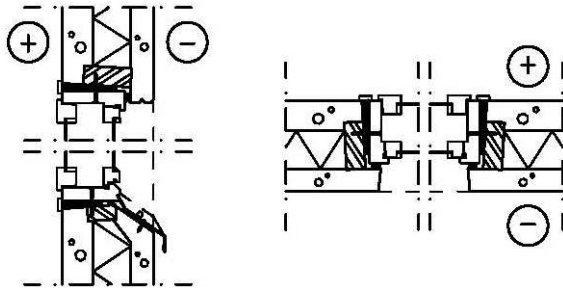


Kuva 22. Tutkimuskohteen sivu- ja päätyräystä (~1:20).

Aukkoliitoksista tutkitaan esimerkkinä liitokset ikkunoihin. Kohteessa on oletuksena alkuperäiset 2-lasiset sisäänpäin aukeavat puuikkunat, ikkunoiden karmileveys on noin



150 mm. Sandwich-elementtien ulkokuori tulee tutkimuskohteessa kuvan 23 mukaan ikkunan karmien suojaksi.



Kuva 23. Tutkimuskohteen ikkunan pysty- ja vaakaleikkaus (~1:20).

Talotikkaat ja syöksytorvet ovat tutkimuskohteessa nykyään suoraan kiinnitettyinä sandwich-elementtien ulkokuoriin. Liitokset porrashuoneiden puurakenteisiin seiniin vastaavat likimain ikkuna-aukkojen liitoksia.

## 5.5 Tutkimuskohteen määrätietoja

Tutkimuksessa tehtävän laskennan perusteena käytetään edellä esitettyä kohdetta, kohteesta lasketaan tutkimusta varten tarvittavat määrätiedot. Laskenta on syytä tehdä heti alussa julkisivuosittain esimerkiksi taulukkolaskentaohjelmalla. Tällöin laskentataulukoiden muuttaminen ja hyödyntäminen jatkossa on mahdollisimman yksinkertaista.

Tutkimuskohteesta lasketaan määrätietoina seuraavat pinta-alat ilmansuunnittain.

- julkisivujen ja kellarin seinien kokonaisalat
- sandwich-elementtien alat maan päällä ja alla
- kellarin seinä-elementtien alat maan päällä ja alla
- ikkunoiden pinta-alat tyypeittäin
- parveketornien pinta-alat (julkisivussa)
- porrashuoneiden seinien pinta-alat.

Taulukko 1. Tutkimuskohteen julkisivujen mittoja ja perusmäärätietoja.

**SEINIEN MÄÄRÄLASKENTAA**

<b>Etelään</b>	kork.	lev.	kpl	m2
Julkisivuuala maan päällä	11,0	54,0	1,0	594,0
- Parv.tornit (yksit., asuin)	8,4	4,2	2,0	70,1
- Parv.tornit (yksit., kellari)	2,6	0,3	2,0	1,8
- Parveketornit (tupla)	8,4	8,2	2,0	137,3
- Parv.tornit (tupla., kellari)	2,6	0,5	2,0	2,7
- Ikkuna 18x12	1,2	1,8	27,0	58,3
- Ikkuna 24x6	0,6	2,4	6,0	8,6
- Ovi 9x21	2,1	0,9	6,0	11,1
Julkisivuuala maan alla	0,2	54,0	1,0	10,8
<b>= Sandwich-seinää</b>				<b>315,0</b>

<b>Pohjoiseen</b>	kork.	lev.	kpl	m2
Julkisivuuala	8,4	54,0	1,0	453,6
- Porrashuoneiden seinät	8,4	2,7	3,0	67,3
- Ikkuna 24x12	1,2	2,4	18,0	51,8
- Ikkuna 18x12	1,2	1,8	18,0	38,9
<b>= Sandwich-seinää</b>				<b>295,6</b>
Kellarin seinäala maan päällä	1,4	54,0	1,0	72,9
- Porrashuoneiden seinät	1,4	2,7	3,0	10,8
Kellarin seinäala maan alla	1,5	54,0	1,0	78,3
<b>= Kellarin seinää</b>				<b>140,4</b>

<b>Itään</b>	kork.	lev.	kpl	m2
Julkisivuuala	8,4	12,0	1,0	100,8
<b>= Sandwich-seinää</b>				<b>100,8</b>
Kellarin seinäala maan päällä	2,0	12,0	1,0	23,7
Kellarin seinäala maan alla	0,8	12,0	1,0	9,9
<b>= Kellarin seinää</b>				<b>33,6</b>

<b>Länteen</b>	kork.	lev.	kpl	m2
Julkisivuuala	8,4	12,0	1,0	100,8
<b>= Sandwich-seinää</b>				<b>100,8</b>
Kellarin seinäala maan päällä	2,0	12,0	1,0	23,7
Kellarin seinäala maan alla	0,8	12,0	1,0	9,9
<b>= Kellarin seinää</b>				<b>33,6</b>

Taulukon 1 perusteella saadaan kohteen julkisivuista eriteltyä tietoa. Tässä yhteydessä ei ole eritelty parveketorneissa ja porrashuoneiden seinissä puujulkisivuja aukoista, tällaiset tarkennukset pystytään tekemään taulukkoon yksinkertaisesti. Taulukosta on haettu tässä tutkimuksessa tarvittavia tietoja.

Taulukko 2. Tutkimuskohteen julkisivujen määrätietoja.

**SEINIEN MÄÄRÄLASKENTAA, TULOKSIA**

SANDWICH-SEINÄÄ YHTEENSÄ	812,2	m2
- josta maan päällä	801,4	m2
- josta maan alla	10,8	m2
KELLARIN SEINÄÄ YHTEENSÄ	207,6	m2
- josta maan päällä	109,5	m2
- josta maan alla	98,1	m2
<b>MUITA MÄÄRÄTIETOJA</b>		
- aukkojen alapielet (vesipellit)	144,0	jm
- elementtisaumat	611,7	jm
- sivuräystäät (räystäskouru)	108,0	jm
- päätyräystäät	24,0	jm
- syöksytorvet	105,0	jm
- sokkelilista	118,6	jm
- etelään uusi sokkeli (h300)	14,6	m2

Taulukon 2 tulokset on poimittu taulukosta 1 laskentakaavoilla, esimerkiksi elementtisaumojen lukumäärät syötetty suoraan laskentakaavoihin. Julkisivussa oletetaan olevan teräsiä pystyyn ja vaakaan k150-jaolla. Teräsiä on siis julkisivuneliössä 13,33 juoksumetriä.

## 5.6 Vertailtavat arvot

Tutkimuksessa on tarkoitus arvioida valittuja korjausvaihtoehtoja mahdollisimman monipuolisesti. Vertailussa on tarkoitus huomioida fysikaaliset seinärakenteen muutokset, sekä toteutus- ja elinkaarikustannuksia. Lähtötilanteesta lasketaan fysikaaliset ominaisuudet vertailuarvoiksi.

### 5.6.1 Lämpö- ja kosteusominaisuudet

Lämpöominaisuuksia vertaillaan U-arvolla, eli lämmönläpäisykertoimella. U-arvo lasketaan yksittäisten rakennekerrosten lämmönvastusten ja lisäksi rakenteen pintavastusten avulla. [16, s. 3–5.]

**Lämmönläpäisykerroin (U), W/(m<sup>2</sup> · K)**

Lämmönläpäisykerroin ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen.

**Lämmönvastus (R), (m<sup>2</sup> · K)/W**

Termisessä jatkuvuustilassa olevan tasapaksun ainekerroksen tai kerroksellisen rakenteen lämmönvastus ilmoittaa rakenteen eri puolilla olevien isotermisten pintojen lämpötilaeron ja ainekerroksen läpi kulkevan lämpövirran tiheyden suhteen.

**Sisä- ja ulkopuolinen pintavastus (R<sub>si</sub> ja R<sub>se</sub>), (m<sup>2</sup> · K)/W**

Ilmoittaa rakennusosan pinnan ja sisä- tai ulkopuolisen ympäristön välisen rajakerroksen lämmönvastuksen. [16, s. 3.]

Tässä tutkimuksessa vanhoille lämmöneristeille käytetään lämmönjohtavuuden arvona 0,045 W/(m<sup>2</sup>·K) ja uusille lämmöneristeille arvona 0,037 W/(m<sup>2</sup>·K). Vanhojen ja nykypäivän eristeiden lämmönjohtavuudet ovat todellisuudessa jopa suuremmat, mutta tutkimuksessa eroa ei haluta kasvattaa tuota suuremmaksi.

Nykyinen Suomen rakennusmääräyskokoelman (osa C3, 2010) vaatimus ulkoseinän U-arvolle uudisrakentamisessa on 0,17 W/(m<sup>2</sup>·K). Vielä vuoden 1976 määräyksissä vaatimus ulkoseinän U-arvolle oli 0,40 W/(m<sup>2</sup>·K).

Taulukko 3. Nykyisen kantavan ja ei-kantavan ulkoseinärakenteen U-arvojen laskenta.

**Nykyinen kantava sandwich-elementti**

	d [m]	λ [W/m <sup>2</sup> ·K]	R [(m <sup>2</sup> ·K)/W]
R <sub>si</sub>			0,13
Betoni (sisäkuori)	0,15	1,700	0,09
Lämmöneriste	0,10	0,045	2,22
Betoni (ulkokuori)	0,06	1,700	0,04
R <sub>se</sub>			0,04

$$R_t = 2,52 \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$$

$$U = 0,40 \quad \text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

**Nykyinen ei-kantava sandwich-elementti**

	d [m]	λ [W/m <sup>2</sup> ·K]	R [(m <sup>2</sup> ·K)/W]
R <sub>si</sub>			0,13
Betoni (sisäkuori)	0,08	1,700	0,05
Lämmöneriste	0,10	0,045	2,22
Betoni (ulkokuori)	0,06	1,700	0,04
R <sub>se</sub>			0,04

$$R_t = 2,47 \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$$

$$U = 0,40 \quad \text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

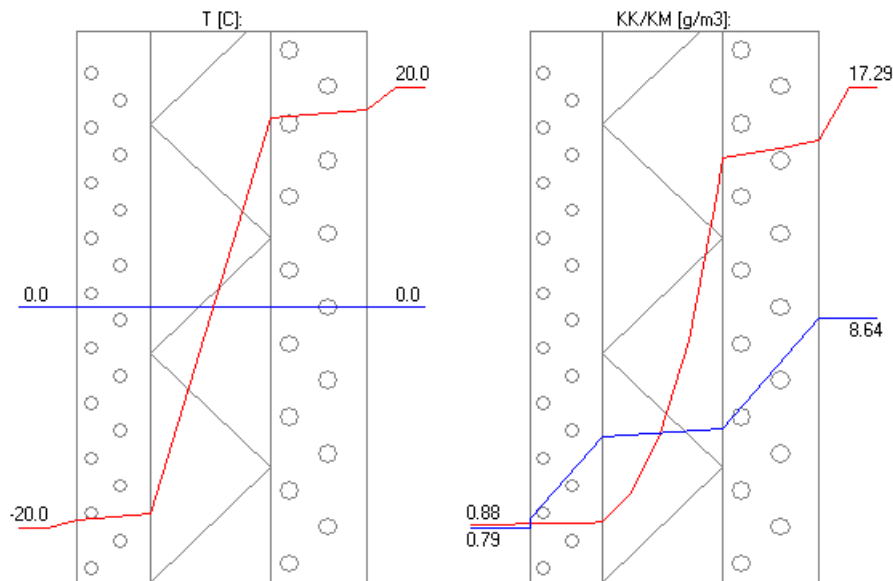
Taulukossa 3 esitetyissä U-arvojen laskennassa näkyy selkeästi lämmöneristeen merkitys rakenteen lämmöneristävyydelle, sisäkuoren betonipaksuuden kasvaminen melkein kaksinkertaiseksi ei vaikuta juurikaan U-arvoon. Tarkemmat U-arvot ovat ei-kantavalle ulkoseinälle  $0,404 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  ja kantavalle seinälle  $0,398 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Tästä syystä kaikki vertailulaskelmat tehdään ei-kantavien seinärakenteiden perusteella.

Tutkimuksessa kosteusominaisuuksista varmistetaan rakenteen oikeanlainen kosteuskäyttäytyminen, eli tutkitaan riskiä kosteuden tiivistymiselle rakenteen eri kohdissa. Rakenteiden lämpö- ja kosteusjakaumat lasketaan Doventus Oy:n käytössä olevalla DOF-lämpö -ohjelmalla.

Tässä tutkimuksessa betonille käytetään vesihöyrynläpäisevyyden arvona  $6,00\cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$  ja lämmöneristeille  $1,05\cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$ . Sisä- ja ulkopinnoissa ei ole laskennassa käytetty pinnoitteita, tällä pyritään mahdollisimman vertailukelpoisiin tuloksiin. Ulkoseinässä pystytään ainoastaan huonontamaan tilannetta huonosti vesihöyryä läpäisevällä pinnoitteella ja taas sisäpinnassa pystytään vääristämään tuloksia paremmiksi tiiviillä pinnoitteella.

Ohjelmalla voidaan tarkkailla rakenteen käyttäytymistä eri vuodenaikoina. Tässä työssä esitetty jakautumakuvaajat on tehty ohjelman kriittisimmällä vaihtoehdolla, ohjelmassa tästä vaihtoehdosta käytetään nimitystä "3:n päivän kylmin". Tällöin laskennassa käytetään ulkolämpötilana  $-20 \text{ C}^\circ$  ja ulkoilman suhteellisena kosteutena 90 %, vastaavasti sisälämpötilana on  $+20 \text{ C}^\circ$  ja sisäilman suhteellisena kosteutena 50 %.

Ohjelmalla saadaan luotua rakenteista erilaisia lämpö- ja kosteuskuvaajia. Tässä työssä käytettävässä lämpöjakautuman kuvaajassa esitetään lämpötilan nouseminen ulkolämpötilan arvosta sisälämpötilan arvoon rakenteen eri kohdissa. Työssä käytettävässä kosteusjakautuman kuvaajassa verrataan kyllästymiskosteutta kosteusmääriin rakenteen eri vaiheissa.



Kuva 24. Nykyisen rakenteen lämpö- ja kosteusjakautuma (3:n päivän kylmin).

Kuvan 24 oikean puoleisessa kosteusjakautuman kuvaajassa punainen viiva kuvaa kyllästymiskosteutta ja sininen viiva kosteusmäärää. Kosteusmäärän kuvaajan kulkiessa kyllästymiskosteuden kuvaajan yläpuolella on rakenteessa kosteuden tiivistyminen, eli suhteellinen kosteus on teoreettisesti yli 100 %.

Kuvaajan perusteella nykyisen rakenteen kosteusteknisestä toimivuudesta kannalta suurin riskipaikka on ulkokuoren ja eristeen saumassa. Vaikka laskentamalli esittää rakenteeseen kosteuden tiivistyksen, niin todellisuudessa oikeanlaisilla pinnoitteilla pinnoitetut betonisandwich-ulkoseinät toimivat yleensä kosteusteknisesti oikein.

### 5.6.2 Ääniominaisuudet

Rakenteiden ääneneristykset perustuvat mittauksiin, joko laboratoriossa tai valmiissa rakennuksessa. Rakenteiden ääneneristyksille ei ole selkeitä valmiita laskentakaavoja. Tässä työssä ei ole mahdollisuuksia toteuttaa rakenteiden ääneneristävyyden mittauksia, vaan ääneneristävyyden muutoksia pyritään arvioimaan kirjallisuuden lähdetietojen pohjalta.

$R_w$  (dB) on laboratoriossa mitattu ilmaääneneristysluku kahden tilan välillä. Laboratoriossa mitatut arvot ovat aina korkeampia kuin todellisen rakenteen mittauksessa saadut. Rakennuksesta mitattua ilmaääneneristyslukua merkitään  $R'_w$  (dB). [17, s. 17–18.]

Lähtökohtaisesti massiiviset rakenteet ovat parempia ääneneristävyydeltään. Runsaasti liikennöidyillä alueilla nousee merkittäväksi mukavuustekijäksi rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyys. Ulkovaipan ääneneristävydet annetaan alueen mukaan kaavamääräyksinä. [17, s. 39–42.]

Vertailtavana ääneneristyslukuna käytetään ääneneristyslukua  $R_w+C_{tr}$ , eli ulkovaipan ääneneristykseen vertailuarvoa tyypillistä tieliikennemelua vastaan. Nykyiselle rakenteelle tämä arvo on kantavissa ja ei-kantavissa seinissä vähintään 60 dB. [18, s. 151 ja 285–286.]

### 5.6.3 Toteutus- ja elinkaarikustannukset

Toteutuskustannuksia lasketaan kustannuskirjallisuuden perusteella, kustannukset lasketaan verottomilla hinnoilla. Kustannuksien laskennassa ei käytetä alue- eikä vaikeuskertoimia, vaan pyritään löytämään prosentuaaliset kustannuserot korjausmalleille.

Neliö- ja juoksumetrihintojen perusteella lasketaan määrätietojen avulla suuntaa antavat kokonaistoteutushinnat eri korjausvaihtoehdoille. Kokonaistoteutushintoihin lisätään arvioitavan työmaankeston mukaan työmaakuluja, lisäksi arvioidaan rakennuttamis- ja suunnittelukuluja. Laskennat pyritään pitämään yksinkertaisina, mutta vertailukelpoisina, eli kaikkia mahdollisia työmaakuluja yms. ei yritetä esittää.

Elinkaarikustannuksia arvioidaan Doventus Oy:n käytössä olevalla JUKO-elinkaarilaskentaohjelmalla. Elinkaarilaskentaan tarvittavat kunnossapitojaksot määritellään kirjallisuuden lähtötietojen avulla.

Elinkaarilaskennassa käytetään perustiedoissa taloudellisena pitoaikana 60 vuotta, laskentakorkona 5 %, energian hintana 0,08 €/kWh ja arvonlisäverona 24 %. Elinkaarilaskennassa talo sijaitsee Helsingissä.

Toteutuskustannukset jaetaan neliöhintoihin laskennassa. Jakajana käytetään maanpinnan yläpuolisen julkisivun pinta-alaa, eli 910,9 m<sup>2</sup>. Kunnossapitotoimenpiteiden hinnat on arvioitu kirjallisuuden lähtötietojen perusteella.

Kunnossapitojaksot määritellään elinkaarilaskennassa seuraavasti, vuosiluvut kuvaavat toimenpiteen ajoitusta alkuperäisestä korjaushetkestä.

- KVE1, perusteellinen paikka- ja pinnoituskorjaus
  - elementtisaumojen uusiminen 20 ja 40 vuotta
  - huoltomaalaus 20 ja 40 vuotta
- KVE2, verhoukorkorjaus ohutrappauksella
  - huoltomaalaus 20 ja 40 vuotta
- KVE3, verhoukorkorjaus sementtilevyverhouksella
  - huoltomaalaus 20 ja 40 vuotta
- RVE1, ohutrappaus
  - huoltomaalaus 20 ja 40 vuotta
- RVE2, kolmikerrosrappaus
  - huoltomaalaus 20 ja 40 vuotta
- RVE3, tiilimuuraus
  - saumakorjaus 30 vuotta.

[19, s. 6–7.]

Elinkaarilaskennat on tehty erikseen keveille ja raskaille korjauksille, molemmissa laskennoissa on vertailuarvona alkuperäinen rakenne ilman toteutus- tai huoltokuluja. Tämä ei ole missään nimessä todellinen vaihtoehto, esillä siis ainoastaan vertailuarvona.



## 6 Korjausvaihtoehtojen vertailu, kevyt korjaus

Kevyissä korjauksissa arvioidaan kolmea vaihtoehtoista korjausmallia ilman vanhan ulkokuoren purkua. Kolmeksi vertailtavaksi korjausvaihtoehdoksi valittiin aikaisemmin perusteellinen paikkaus- ja pinnoituskorjaus sekä verhoilukorjauksista ohutrappaus ja sementtilevyverhous.

Korjausvaihtoehdot esitellään alla yksitellen, niin että käydään aina yhdestä vaihtoehdosta kerrallaan kaikki vertailtavat ominaisuudet läpi. Kevyiden ja raskaiden korjausvaihtoehtojen vertailujen jälkeen tehdään tulosten yhteenveto.

### 6.1 Vaihtoehto 1, perusteellinen paikkaus- ja pinnoituskorjaus

Perusteellisessa paikkaus- ja pinnoituskorjauksessa uusitaan vauriopaikkoja laastikorjauksin. Betonipinnat korjataan maanpinnan tasoon asti. Teräksistä joudutaan piikkaamaan esiin 1 %. Pieniä valukorjauksia lasketaan 1 kpl / 20 m<sup>2</sup> betonipintaa ja suurempia valukorjauksia 1 kpl / 100 m<sup>2</sup> betonipintaa. Pintakäsittelynä perusmallissa on maalaus- ja pintakäsittely. Korjausvaihtoehdossa lasketaan myös elementtisaumat uusittaviksi. Työmaan kestoksi arvioidaan noin 3 kuukautta.

Taulukko 4. Korjausmäärien laskentataulukko.

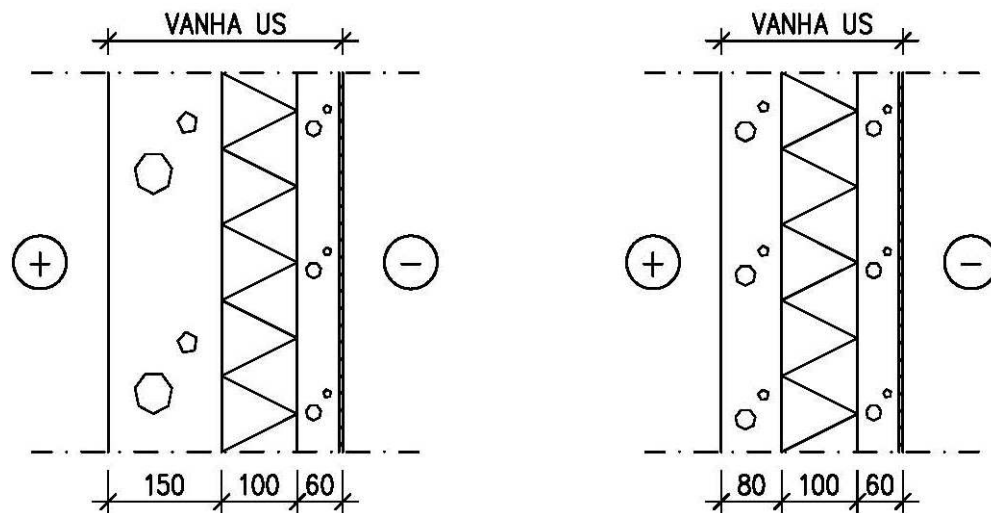
Nimike	Perusmäärä	Kerroin	Vaurio-%	Korj.määrä
Betoniteräksiä sw-elem. maan päällä	801 m <sup>2</sup>	13,33 jm / m <sup>2</sup>	0,01	106,8 jm
Betoniteräksiä kell. seinä maan päällä	110 m <sup>2</sup>	13,33 jm / m <sup>2</sup>	0,01	14,6 jm
Pieniä valukorj. sw-elem. maan päällä	801 m <sup>2</sup>	1 kpl / 20 m <sup>2</sup>	0,05	40,1 kpl
Pieniä valukorj. kell. seinä maan päällä	110 m <sup>2</sup>	1 kpl / 20 m <sup>2</sup>	0,05	5,5 kpl
Suuria valukorj. sw-elem. maan päällä	801 m <sup>2</sup>	1 kpl / 100 m <sup>2</sup>	0,01	8,0 kpl
Suuria valukorj. kell. seinä maan päällä	110 m <sup>2</sup>	1 kpl / 100 m <sup>2</sup>	0,01	1,1 kpl

Ensimmäisenä työvaiheena on koko julkisivupinnan puhdistaminen esimerkiksi märkähiekkapuhalluksella. Vaurioituneita ja pinnassa olevia teräksiä piikataan esiin, myös pakkausrapautuneet kohdat piikataan. Esillä olevat teräspinnat puhdistetaan esimerkiksi koneellisella teräsharjauksella, puhdistuksen jälkeen teräspinnat käsitellään välittömästi korroosionsuojalaastilla. Pienemmät kolot täytetään laastilla ja suuremmat

kolot täytetään betonivalulla. Koko julkisivupinta oikaistaan ylitasoittamalla ennen pintakäsittelyä.

### 6.1.1 Rakennetyypit ja -liittymät

Rakenteiden kokonaispaksuudet eivät muutu tässä korjausmallissa, eli korjattu julkisivupinta on vanhan julkisivupinnan tasossa. Myös rakenteet pysyvät vastaavina, eli teräsbetoniset sisä- ja ulkokuoret sekä niiden välissä lämmöneriste.



Kuva 25. Kevyen korjausvaihtoehdon 1 kantavan ja ei-kantavan sandwich-elementin rakennetyypit (~1:10).

Koska rakennekaksuudet pysyvät vanhaa vastaavina, niin myös liittymät säilyvät vanhan mukaisina. Ikkunoiden vesipellit joudutaan irrottamaan työn ajaksi, jolloin ne lasketaan uusittaviksi. Ikkuna- ja räystäspellitysten yhteyteen kannattaa asentaa korjaustöiden yhteydessä ns. myrskypellit. Lisäksi kannattaa kiinnittää korjausten yhteydessä huomiota mahdollisten muiden liittyvien rakenteiden pellityksiin sekä sadevesien ohjauksiin.

Julkisivun ulkoasu pysyy lähtökohtaisesti samanlaisena, alkuperäisen mukainen elementtijako on näkyvissä. Värivalinnoilla voidaan kuitenkin vaikuttaa merkittävästi rakennuksen ulkoasuun.

### 6.1.2 Lämpö- ja kosteusominaisuudet

Rakennetyypin säilyessä samana myös lämpö- ja kosteusominaisuudet säilyvät samoina. Rakenteen U-arvo säilyy alkuperäisen mukaisena 0,40 W/(m<sup>2</sup>\*K). Rakenteessa säilyy myös alkuperäisessä mallissa oleva laskennallinen kosteuden tiivistymisriski betonisen ulkokuoren ja lämmöneristeen saumassa.

Julkisivupinnoitteen valinta on äärimmäisen tärkeä rakenteen kosteusteknisen toimivuuden kannalta. Maalilaatu on valittava olosuhteisiin ja rakenteeseen sopivana, eli sen annettava rakenteelle riittävä suoja, mutta sen on läpäistävä myös vesihöyryä, eli mahdollistettava rakenteen kuivuminen.

### 6.1.3 Ääniominaisuudet

Rakenteen ääneneristävyys säilyy alkuperäisen rakenteen kaltaisena. Ääneneristyslukuna  $R_w+C_{tr}$  on kantavissa ja ei-kantavissa seinissä vähintään 60 dB. [18, s. 285–286.]

Ääniteknisesti turvallinen ratkaisu, koska melutasot pysyvät asunnoissa nykyisen mukaisina. Ääneneristävyden parantaminen ei ole lähtökohtaisesti mahdollista tällaisessa korjauksessa. Yksittäisissä rakenteiden liitoksissa voidaan muuttaa ääneneristävyttä paremmaksi, mutta toki myös virheellisellä korjauksella huonommaksi.

### 6.1.4 Toteutus- ja elinkaarikustannukset

Toteutus- ja elinkaarilaskelmat on esitetty liitteinä. Liitteen 1 mukaan korjauksen vertailutoteutuskustannukset ovat 80 283 euroa (alv 0 %). Lisäksi on arvioitu rakennuttamis-, valvonta- ja suunnittelukuluja kertyvän 24 020 euroa (alv 0 %). Toteutuksen yhteiskuluna siis 104 303 euroa (alv 0 %).

Toteutuskustannuksissa merkittävä vaikuttaja on nykyisten ulkokuorien kunto, eli kuinka paljon joudutaan piikkaamaan teräksiä esiin ja tekemään valukorjauksia. Lisäksi elementtien ulkopinnan epätasaisuus voi lisätä merkittävästi kustannuksia. Yhtenä erillisenä kustannuseränä nousee esiin elementtisaumojen uusiminen.

Elinkaarikustannuksia varten käytettävä toteutuksen neliöhinta on 114,51 euroa. Kunnossapitokustannuksina elementtisaumauksen uusimisen neliö hinnaksi muodostuu 22,00 euroa ja huoltomaalauksen neliö hinnaksi 35,00 euroa. Elinkaarikustannukseksi 60 vuoden tarkastelujaksolla muodostuu liitteen 4 mukaisesti 253 euroa / m<sup>2</sup>.

## 6.2 Vaihtoehto 2, verhoukorkorjaus ohutrappauksella

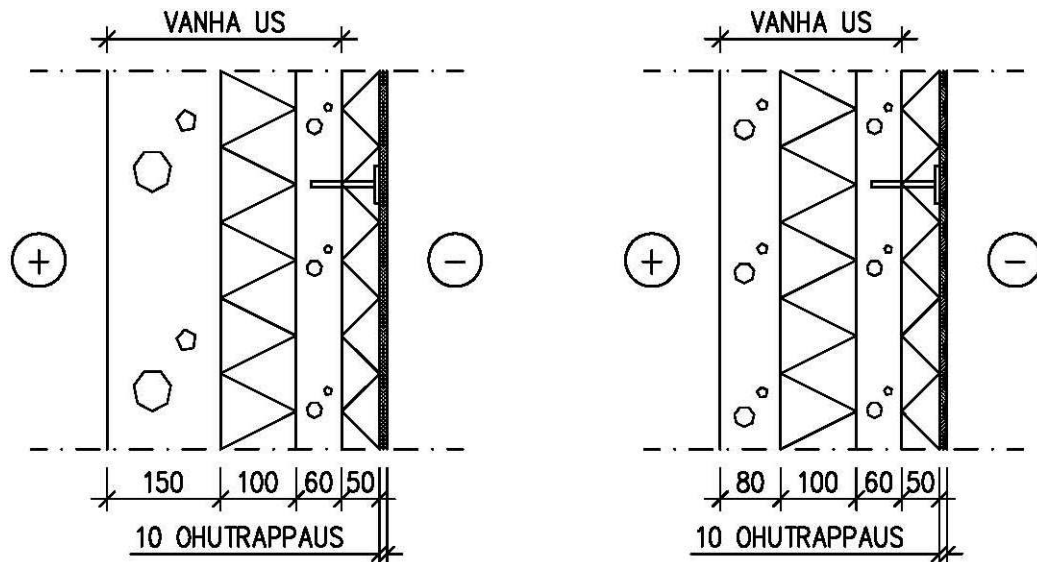
Verhoukorkorjauksessa korjataan vanhan rakenteen pinnasta olevat vauriot, korjausmäärät kevyen korjausvaihtoehto 1:n mukaan. Julkisivusaumojia ei uusita. Ulkokuoren pintaan ei lasketa esioikaisua, vaan oletetaan julkisivupinnan olevan riittävän tasainen eristeen tiivistä kiinnitystä varten. Työmaan kestoksi arvioidaan noin 4 kuukautta.

Lisälämmöneristeeksi valitaan 50 mm paksut mineraalivillaeristeet. Lämmöneristeet kiinnitetään ulkokuoreen liimalaastilla ja mekaanisesti aluslevyllisillä tulpilla. Kellarin seinä korjataan kevyen korjausvaihtoehto 1:n mukaan maanpäälliseltä osuudelta. Eteläsivulla jätetään sokkeli, joka korjataan kellarin seinien mukaan.

Pohjalaastin yhteyteen asennetaan alkalisuojattu lasikuituverkko. Pintalaastilla saadaan aikaan haluttu pintastruktuuri ja värisävy. Ohutrappauksen kokonaiskerrospaksuus on noin 10 mm.

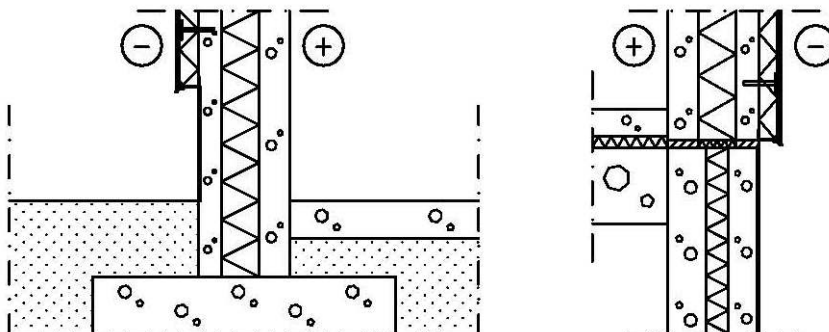
### 6.2.1 Rakennetyypit ja -liittymät

Rakenteen kokonaispaksuus kasvaa lisäeristyksen ja ohutrappauksen verran, eli korjattu julkisivupinta on noin 60 mm vanhan julkisivupinnan tason ulkopuolella. Vanha rakenne säilyy alkuperäisen rakennetyypin mukaisena.



Kuva 26. Kevyen korjausvaihtoehdon 2 kantavan ja ei-kantavan sandwich-elementin rakennetyypit (~1:10).

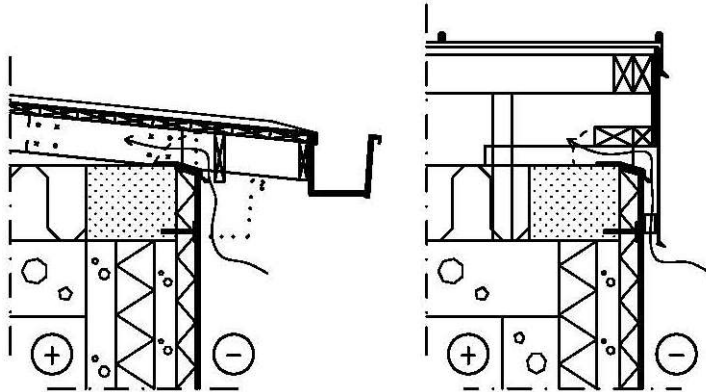
Ohutrappaus muuttaa yleensä julkisivupintaa yhtenäiseksi, alkuperäinen elementtijako jää piiloon taustalle. Värisävyjen ja pintastruktuurien valinnoilla voidaan joko säilyttää julkisivun ulkoasua tai uudistaa sitä merkittävästi.



Kuva 27. Kevyen korjausvaihtoehdon 2 eteläsivun maantasoon jäävä sokkeli ja liitos kellarin seinään (~1:20).

Verhouskorjausta ei voida eteläsivulla tuoda maanpinnan tasoon rapattuna. Kuvan 27 vasemman puoleisessa kuvassa on seinän alaosa korjattu sokkelin osuudelta korjausvaihtoehdon 1 mukaan ja lisäeristys sekä ohutrappaus jätetty vajaan puoli metriä maanpinnasta. Vaihtoehtoisesti voidaan rajausta tehdä vanhan kellarin ja asuinkerroksen rajapinnan mukaan ympäri talon, tämä on esitetty oikean puoleisessa kuvassa.

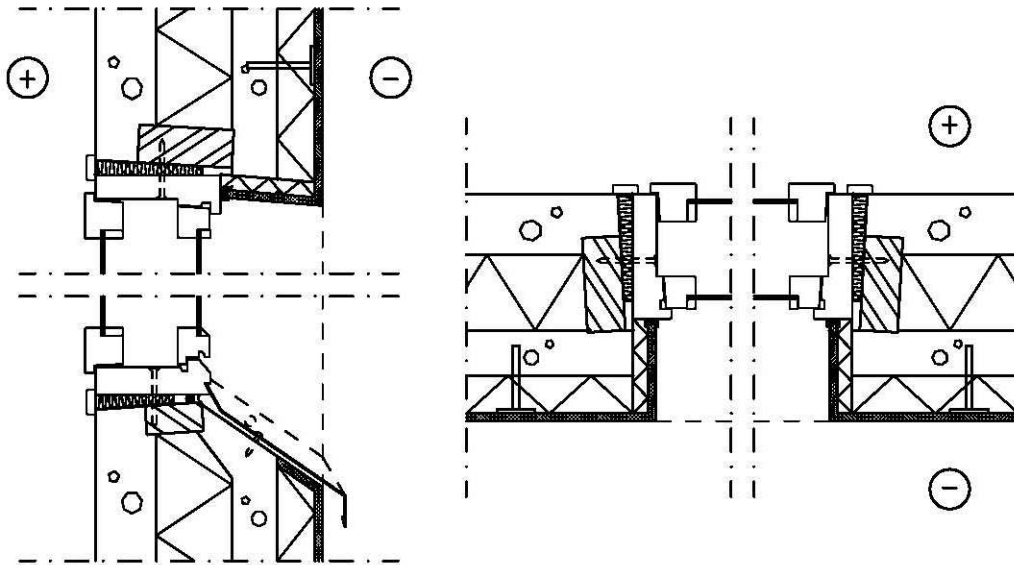
Eristeen ja rappauksen alareunassa käytetään yleensä valmiita pokattuja metallilistoja. Lista toimii eristeen alareunan tukena ja siinä on valmiina tippanokka rappauksen päättämistä varten.



Kuva 28. Kevyen korjausvaihtoehdon 2 sivu- ja päätyräystä (∼1:20).

Räystäitä joudutaan lähtökohtaisesti leventämään, koska ulkoseinärakenne kasvaa ulospäin. Vaihtoehtoisesti joissain tilanteissa voidaan räystään pellitys pitää ennallaan ja ainoastaan suojapellitetään uuden rakenteen yläosa.

Kuvan 28 vasemman puoleisessa kuvassa on räystääs jatkettu pitkillä sivuilla suojaamaan seinän yläosia. Oikean puoleisessa kuvassa on uusi päätykolmion pellitys tuotu ainoastaan rakenteen kasvun verran ulospäin. Räystäällä tulee ehdottomasti huomioida suunnittelussa tuuletuksen toimivuus. Lisäksi on estettävä myrskypelleillä ja pieneläinverkoilla veden sekä eläinten pääsy yläpohjan tuulettuvaan tilaan.



Kuva 29. Kevyen korjausvaihtoehdon 2 ikkunan pysty- ja vaakaleikkaus (~1:10).

Ikkunat jäävät kasvavaan syvennykseen rakenteen kasvaessa ulospäin. Kuvassa 29 esitetyissä ikkunaleikkauksissa on katkaistu ikkunan eteen tuleva elementin osa, jotta on pystytty sivu- ja yläpielissäkin käyttämään 20 mm eristelevyä. Tällöin ainoastaan alapieli jää vesipellin alta ilman lisäeristystä. Rappaus on sivu- ja yläpielissä taitettu ikkunaa vasten, usein käytetään valmiita karmiin kiinnittyviä U-listoja, joiden sisään rappaus päätetään. Esitetty rappauksen kiinni tuominen ikkunan karmeihin vaikeuttaa tulevaisuudessa ikkunoiden uusimista, siksi tässä samassa yhteydessä on arvioitava erittäin tarkasti ikkunoiden kunto ja mahdollinen uusimisajankohta. Ikkunaliitoksissa on erityistä huomiota kiinnitettävä suojapellityksiin, lisäksi ikkunan yläpuolen pieleen ja ulkoseinän liitokseen olisi toteutettava tippanokka.

### 6.2.2 Lämpö- ja kosteusominaisuudet

Rakenteen lämmöneristävyys paranee lisälämmöneristyksen johdosta. Uuden rakenteen U-arvo on taulukon 5 mukaisesti  $0,26 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , parannusta alkuperäiseen lämmöneristävyyteen tulee noin 35 %.

Taulukko 5. Kevyen korjausvaihtoehdon 2 U-arvon laskenta.

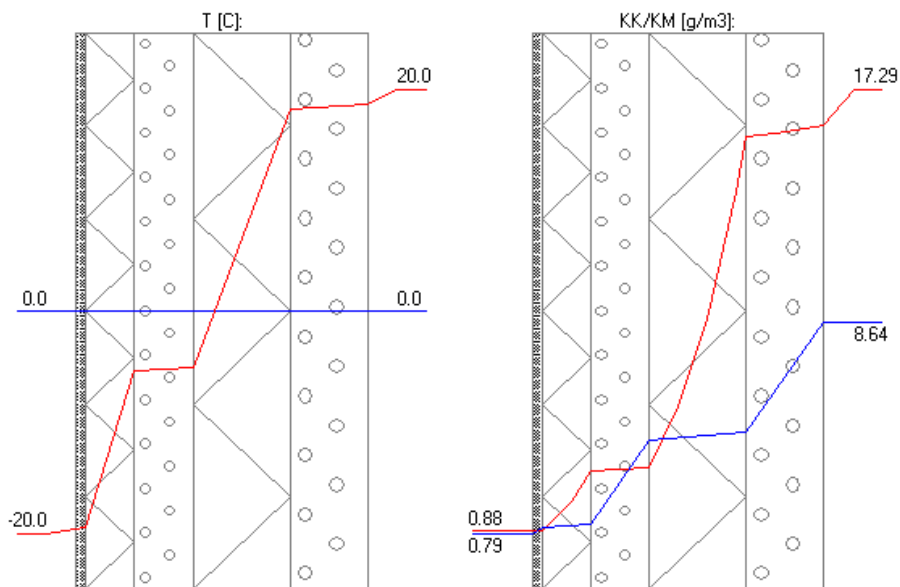
**Kevyt korjaus, ei-kantava, vaihtoehto 2**

	d [m]	$\lambda$ [W/m <sup>2</sup> *K]	R [(m <sup>2</sup> *K)/W]
R <sub>si</sub>			0,13
Betoni (sisäkuori)	0,08	1,700	0,05
Lämmöneriste	0,10	0,045	2,22
Betoni (ulkokuori)	0,06	1,700	0,04
Lämmöneriste UUSI	0,05	0,037	1,35
Ohutrappaus	0,01	1,200	0,01
R <sub>se</sub>			0,04

$$R_t = 3,83 \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$$

$$U = 0,26 \quad \text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Eristepaksuutta muuttamalla voidaan vaikuttaa lämmöneristävyuden muutokseen. Esimerkiksi 70 mm lisäeristyksellä saavutettaisiin U-arvo 0,23 W/(m<sup>2</sup>\*K), tällöin lämmöneristävyuden parannus alkuperäiseen olisi jo noin 43 %.



Kuva 30. Kevyen korjausvaihtoehdon 2 rakenteen lämpö- ja kosteusjakautuma (3:n päivän kylmin).

Kuvan 30 vasemman puoleisessa lämpötilajakautumassa näkyy vanhan ulkokuoren lämpötilan muuttuminen lämpimämmäksi. Oikean puoleisen kosteusjakautuman kuvaajan mukaisesti rakenteessa säilyy alkuperäisessä mallissa oleva laskennallinen kosteuden tiivistymisriski betonisen ulkokuoren ja lämmöneristeen saumassa. Laskennallinen riski kuitenkin pienenee alkuperäisestä. Julkisivupinnoitteen valinta on äärimmäisen tärkeä rakenteen kosteusteknisen toimivuuden kannalta.



### 6.2.3 Ääniominaisuudet

Rakenteen ääneneristävyys paranee alkuperäisestä rakenteesta rakennekerrosten lisääntyessä. Ääneneristyslukuna  $R_w+C_{tr}$  on kantavissa ja ei-kantavissa seinissä vähintään 60 dB. [18, s. 285–286.]

Ääniteknisesti turvallinen ratkaisu, koska melutasot pienenevät asunnoissa. Eristeen ja rappauksen paksuus vaikuttavat ääneneristykseen parantumiseen.

### 6.2.4 Toteutus- ja elinkaarikustannukset

Toteutus- ja elinkaarilaskelmat on esitetty liitteinä. Liitteen 2 mukaan korjauksen vertailutoteutuskustannukset ovat 117 886 euroa (alv 0 %). Lisäksi on arvioitu rakennuttamis- ja suunnittelukuluja kertyvän 28 842 euroa (alv 0 %). Toteutuksen yhteiskuluna siis 146 728 euroa (alv 0 %).

Toteutuskuluissa merkittäviä kustannusvaikutuksia on erilaisten liittymien toteutuksella, jos rakennuksessa on esimerkiksi valmiina ulkonevat räystäät, niin pystytään toteuttamaan ulospäin kasvavan rakenteen liittymät ilman vesikattotöitä. Lisäksi epätasainen vanhan ulkokuoren pinta voi kasvattaa merkittävästi kuluja.

Elinkaarikustannuksia varten käytettävä toteutuksen neliöhinta on 161,08 euroa. Kunnossapitokustannuksina huoltomaalauksen neliöhinnaksi muodostuu 35,00 euroa. Elinkaarikustannukseksi 60 vuoden tarkastelujaksolla muodostuu liitteen 4 mukaisesti 281 euroa / m<sup>2</sup>.

### 6.3 Vaihtoehto 3, verhouskorjaus sementtilevyverhouksella

Verhouskorjauksessa korjataan vanhan rakenteen pinnasta olevat vauriot, korjausmäärät kevyen korjausvaihtoehto 1:n mukaan. Julkisivusaumoja ei uusita. Ulkokuoren pintaan ei lasketa esioikaisua, vaan oletetaan julkisivupinnan olevan riittävän tasainen eristeen tiivistä kiinnitystä varten. Työmaan kestoksi arvioidaan noin 4 kuukautta.

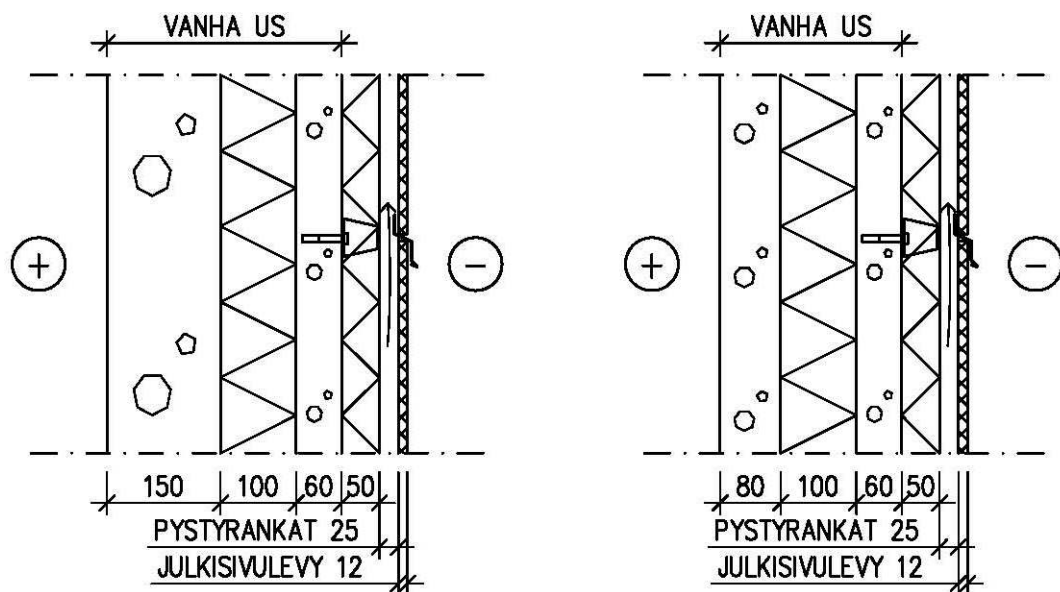
Lisälämmöneristeeksi valitaan 50 mm paksut mineraalivillaeristeet. Lämmöneristeet kiinnitetään ulkokuoreen liimalaastilla ja mekaanisesti aluslevyllisillä tulpilla. Eristeen läpi tulee pystyrankojen kiinnikkeet.

Pystyrankoilla saadaan aikaan pystysuuntainen tuuletusrako eristeen ja levytyksen väliin. Sementtilevyverhous kiinnitetään pystyrankoihin. Vaakasuuntaiset levysaumot tehdään pellityksen ja raon avulla, saumakohtiksi valitaan ikkunoiden ala- ja yläpinnat. Pystysuuntaiset levysaumot tehdään puskusaumalla.

### 6.3.1 Rakennetyypit ja -liittymät

Rakenteen kokonaispaksuus kasvaa lisäeristyksen, tuuletusraon ja levyverhouksen verran, eli korjattu julkisivupinta on noin 90 mm vanhan julkisivupinnan tason ulkopuolella. Vanha rakenne säilyy alkuperäisen rakennetyypin mukaisena.

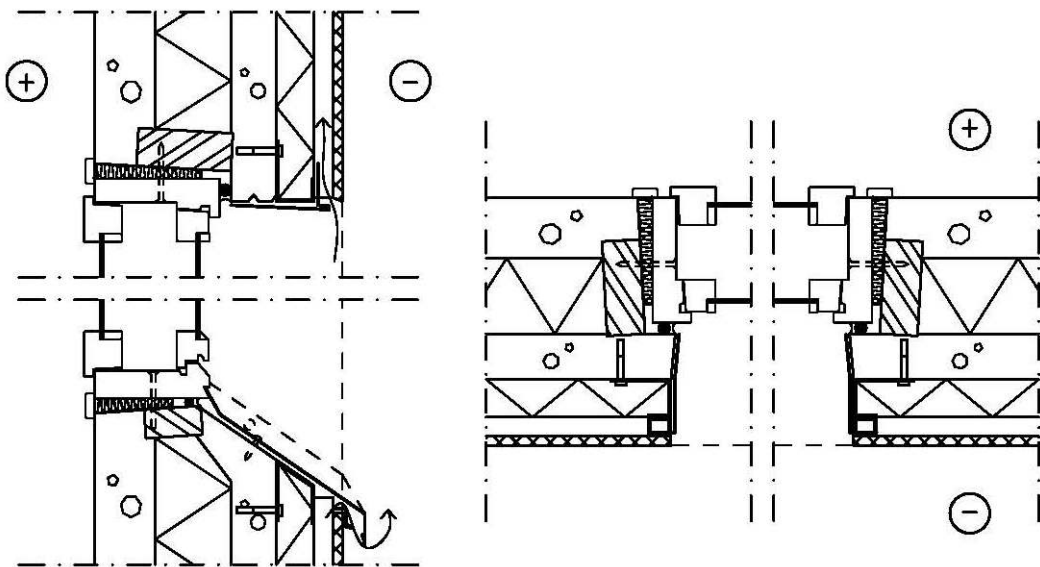
Levyverhouksella säilytetään yleensä jossain määrin vanhan mukaista elementtijakoa, tämä voi usein olla myös viranomaisen vaatimuksena. Värisävyjen, pintastruktuurien sekä levysaumojen valinnoilla voidaan joko säilyttää julkisivun ulkoasua tai uudistaa sitä merkittävästi.



Kuva 31. Kevyen korjausvaihtoehdon 3 kantavan ja ei-kantavan sandwich-elementin rakennetyypit (~1:10).

Levyverhouksen liitoksiin maanpinnan tasolla ja kellarin seinän rajapinnassa pätevät pitkälti samat asiat kevyen korjauskorjausvaihtoehdon 2 ohutrappauksen kanssa. Verhoukorkorjaus voidaan tuoda vajaan puolen metrin päähän maanpinnasta tai vaihtoehtoisesti rajata vanhan kellarin ja asuinkerroksen rajapinnan mukaan ympäri talon. Levytyksen alareuna on viistettävä tai huolehdittava pellityksen avulla veden tippumisesta julkisivupinnasta.

Räystääliittymien vaihtoehdot menevät myös kevyen korjauskorjausvaihtoehdon 2 ohutrappauksen mukaisesti, eli lähtökohtaisesti räystäitä on levennettävä. Räystäillä on myös tässä mallissa huomioitava yläpohjan tuuletus, lisäksi on varmistettava levytyksen yläreunassa taustatuuletuksen toimivuus. Räystäillä on estettävä myrskypelleillä ja pieneläinverkoilla veden sekä eläinten pääsy yläpohjan tuulettuvaan tilaan.



Kuva 32. Kevyen korjausvaihtoehdon 2 ikkunan pysty- ja vaakaleikkaus (~1:10).

Ikkunat jäävät kasvavaan syvennykseen rakenteen kasvaessa ulospäin. Levyverhouksella on usein ohutrappausta hankalampaa eristää ikkunan sivu- ja yläpuolia, koska levytyksen vaatima taustatuuletus paksuntaa rakennetta. Kuvassa 32 esitetyissä ikkunaleikkauksissa on sivu- ja yläpielet pellitetty ilman lisäeristystä. Levyverhouksessa ikkunaliitoksissa on erityistä huomiota kiinnitettävä suojapellityksiin, pellitysten toteutuksessa on samalla huomioitava levyjen taustatuuletuksen toimivuus.

### 6.3.2 Lämpö- ja kosteusominaisuudet

Rakenteen lämmöneristävyys paranee lisälämmöneristuksen johdosta. Käytetty lisäeristys on kevyen korjausvaihtoehdon 2 mukainen, joten uuden rakenteen U-arvo on  $0,26 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , parannusta alkuperäiseen lämmöneristävyteen tulee noin 35 %.

Ulkokuoren lämpötila kasvaa ja alkuperäisen rakenteen laskennallisen kosteuden tiivistymisriski pienenee alkuperäisestä kevyen korjausvaihtoehdon 2 mukaisesti. Tässä korjausmallissa julkisivulevytyksen takana on tuuletusrako, eli ulkopuolisen kosteuden pääsy rakenteeseen vaatii lähtökohtaisesti virheitä tai vaurioita suojaverhouksessa.

### 6.3.3 Ääniominaisuudet

Rakenteen ääneneristävyys paranee alkuperäisestä rakenteesta rakennekerrosten lisääntyessä. Ääneneristyslukuna  $R_w + C_{tr}$  on kantavissa ja ei-kantavissa seinissä vähintään 60 dB. [18, s. 285–286.]

Ääniteknisesti turvallinen ratkaisu, koska melutasot pienenevät asunnoissa. Eristeen ja levytyksen paksuus sekä lisäksi levytyksen kiinnitysjärjestelmät vaikuttavat ääneneristuksen parantumiseen.

### 6.3.4 Toteutus- ja elinkaarikustannukset

Toteutus- ja elinkaarilaskelmat on esitetty liitteinä. Liitteen 3 mukaan korjauksen vertailutoteutuskustannukset ovat 119 268 euroa (alv 0 %). Lisäksi on arvioitu rakennuttamis- ja suunnittelukuluja kertyvän 28 842 euroa (alv 0 %). Toteutuksen yhteiskuluna siis 148 110 euroa (alv 0 %).

Toteutuskuluissa merkittäviä kustannusvaikutuksia on erilaisten liittymien toteutuksella, jos rakennuksessa on esimerkiksi valmiina ulkonevat räystäät, niin pystytään toteuttamaan ulospäin kasvavan rakenteen liittymät ilman vesikattotöitä. Lisäksi epätasainen vanhan ulkokuoren pinta voi kasvattaa merkittävästi kuluja.

Elinkaarikustannuksia varten käytettävä toteutuksen neliöhinta on 162,60 euroa. Kunnossapitokustannuksina huoltomaalauksen neliö hinnaksi muodostuu 35,00 euroa. Elinkaarikustannukseksi 60 vuoden tarkastelujaksolla muodostuu liitteen 4 mukaisesti 283 euroa / m<sup>2</sup>.

## 7 Korjausvaihtoehtojen vertailu, raskas korjaus

Raskaissa korjauksissa arvioidaan kolmea vaihtoehtoista korjausmallia missä vanha ulkokuori ja lämmöneristeet puretaan. Kolmeksi vertailtavaksi julkisivuvaihtoehdoksi valittiin aikaisemmin ohutrappaus, kolmikerrosrappaus ja tiilimuuraus.

Korjausvaihtoehdot esitellään alla yksitellen, niin että käydään aina yhdestä vaihtoehdosta kerrallaan kaikki vertailtavat ominaisuudet läpi. Kevyiden ja raskaiden korjausvaihtoehtojen vertailujen jälkeen tehdään tulosten yhteenveto.

### 7.1 Vaihtoehto 1, julkisivupintana ohutrappaus

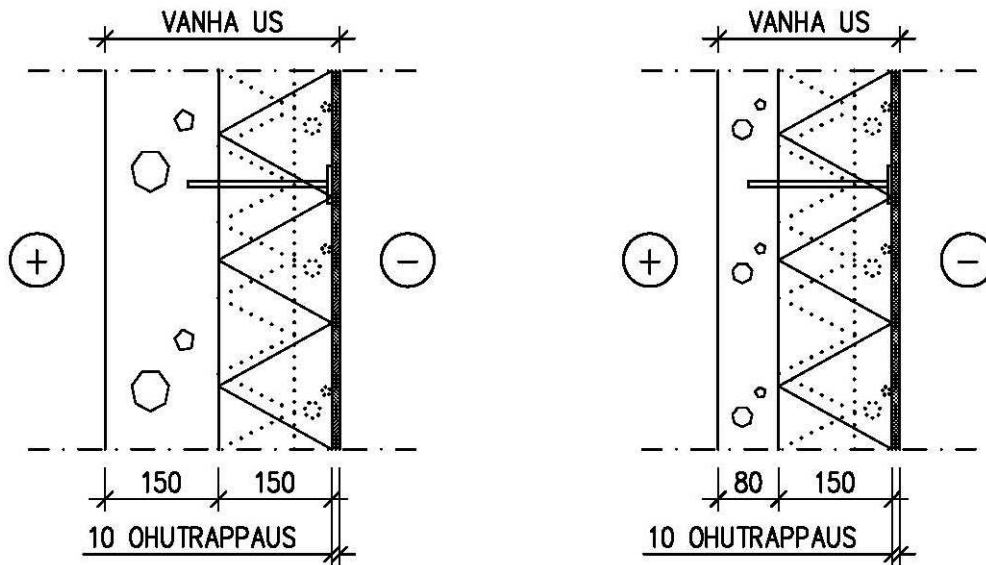
Korjausvaihtoehdossa puretaan sandwich-elementin betoninen ulkokuori ja sen takana oleva lämmöneristys. Ulkokuoren purku pystytään toteuttamaan kauttaaltaan koneellisesti ja sisäkuoren ulkopinta oletetaan riittävän tasaiseksi eristeiden tiiviiseen kiinnitykseen. Työmaan kestoksi arvioidaan noin 6 kuukautta, josta ensimmäinen kuukausi on purkutöiden osuus.

Lämmöneristeeksi valitaan 150 mm paksut mineraalivillaeristeet, jolloin julkisivun ulkopinnan taso pysyy likimain vanhan mukaisena. Lämmöneristeet kiinnitetään sisäkuoreen liimalaastilla ja mekaanisesti aluslevyllisillä tulpilla. Kellarin seinä korjataan kevyen korjausvaihtoehto 1:n mukaan maanpäälliseltä osuudelta. Eteläsivulla rakennetaan harkkosokkeli purettavan ulkokuoren tilalle.

Pohjalaastin yhteyteen asennetaan alkalisuojattu lasikuituverkko. Pintalaastilla saadaan aikaan haluttu pintastruktuuri ja värisävy. Ohutrappauksen kokonaiskerrospaksuus on noin 10 mm.

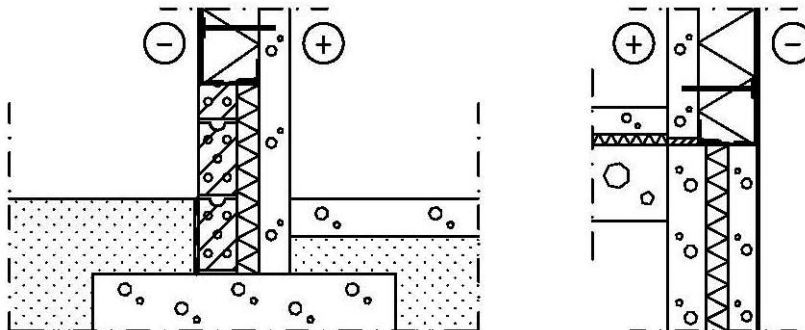
#### 7.1.1 Rakennetyypit ja -liittymät

Rakenteen kokonaispaksuus ei muutu tässä korjausvaihtoehdossa, eli korjattu julkisivupinta pysyy vanhan julkisivupinnan tasossa. Rakenteessa eristepaksuus kasvaa, koska rappaus on vanhaa ulkokuorta ohuempi.



Kuva 33. Raskaan korjausvaihtoehdon 1 kantavan ja ei-kantavan sandwich-elementin rakennetyypit (~1:10).

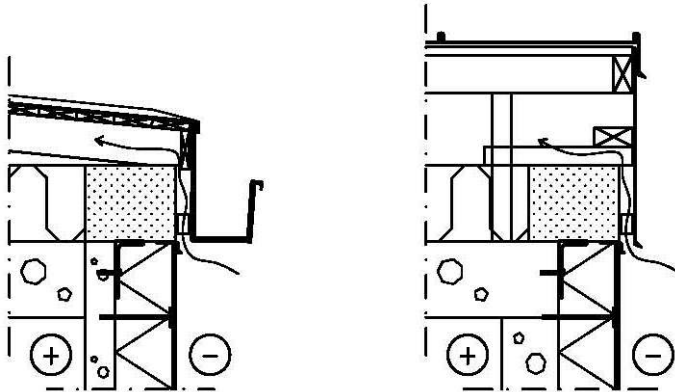
Rappaus muuttaa yleensä julkisivupintaa yhtenäiseksi, alkuperäinen elementtijako jää ainoastaan sisäkuoreen. Värisävyjen ja pintastruktuurien valinnoilla voidaan joko säilyttää julkisivun ulkoasua tai uudistaa sitä merkittävästi.



Kuva 34. Raskaan korjausvaihtoehdon 1 eteläsivun uusi sokkeli ja liitos kellarin seinään (~1:20).

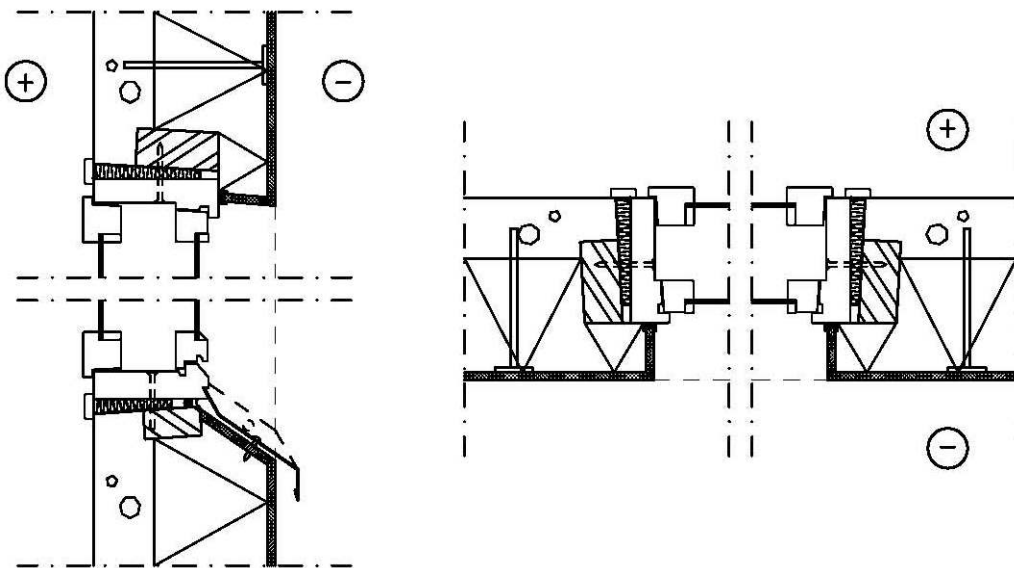
Rappaus ei voida eteläsivulla tuoda maanpinnan tasoon, purettavan ulkokuoren tilalle joudutaan rakentamaan esimerkiksi harkkoista sokkeli. Kuvan 34 vasemman puoleisessa kuvassa on esitetty harkkosokkeli vajaan puoli metriä ylös maanpinnasta. Kellarin seinä korjataan muilla sivuilla kevyen korjausvaihtoehdon 1 mukaan, uusi rakenne lähtee oikean puoleisen kuvan mukaisesti kellarin- ja asuinkerroksen välisestä saumasta.

Uuden eristyksen alle vanhan rakenteen päälle asennetaan bitumikaista, joka nostetaan sisäkuoren ulkopintaa vasten. Rappauksen ja kivirakenteen saumaan jätetään elastinen sauma.



Kuva 35. Raskaan korjausvaihtoehdon 1 sivu- ja päätyräystä (∼1:20).

Julkisivun taso pysyy ennallaan, niin räystäitä ei tarvitse leventää. Alkuperäisessä rakenneratkaisussa elementin sisä- ja ulkokuorien päälle tuetulta siporex-harkolta poistuu ulkokuoren tuki, joten sen tuennasta on huolehdittava muulla tavoin. Kuvan 35 räystääleikkauksissa harkot on tuettu L-teräksellä sisäkuoresta. Räystäällä tulee huomioida suunnittelussa tuuletuksen toimivuus. Lisäksi on estettävä myrskypelleillä ja pieneläinverkoilla veden sekä eläinten pääsy yläpohjan tuulettuvaan tilaan.



Kuva 36. Raskaan korjausvaihtoehdon 1 ikkunan pysty- ja vaakaleikkaus (∼1:10).



Ikkunoiden ja apukarmien tuenta on tarkistettava, elementissä apukarmit on ollut tuettuna sisä- ja ulkokuoren välissä. Rappaus on sivu- ja yläpielissä taitettu ikkunaa vasten, usein käytetään valmiita karmiin kiinnittyviä U-listoja, joiden sisään rappaus päätetään. Esiitetty rappauksen kiinni tuominen ikkunan karmeihin vaikeuttaa tulevaisuudessa ikkunoiden uusimista, siksi tässä samassa yhteydessä on arvioitava erittäin tarkasti ikkunoiden kunto ja mahdollinen uusimisajankohta. Ikkunaliitoksissa on erityistä huomiota kiinnitettävä suojaPELLITYKSIIN, lisäksi ikkunan yläpuolen pieleen ja ulkoseinän liitokseen olisi toteutettava tippanokka.

### 7.1.2 Lämpö- ja kosteusominaisuudet

Rakenteen lämmöneristävyys paranee lisälämmöneristykseen johdosta. Uuden rakenteen U-arvo on taulukon 6 mukaisesti 0,23 W/(m<sup>2</sup>\*K), parannusta alkuperäiseen lämmöneristävyyteen tulee noin 42 %.

Taulukko 6. Raskaan korjausvaihtoehdon 1 U-arvon laskenta.

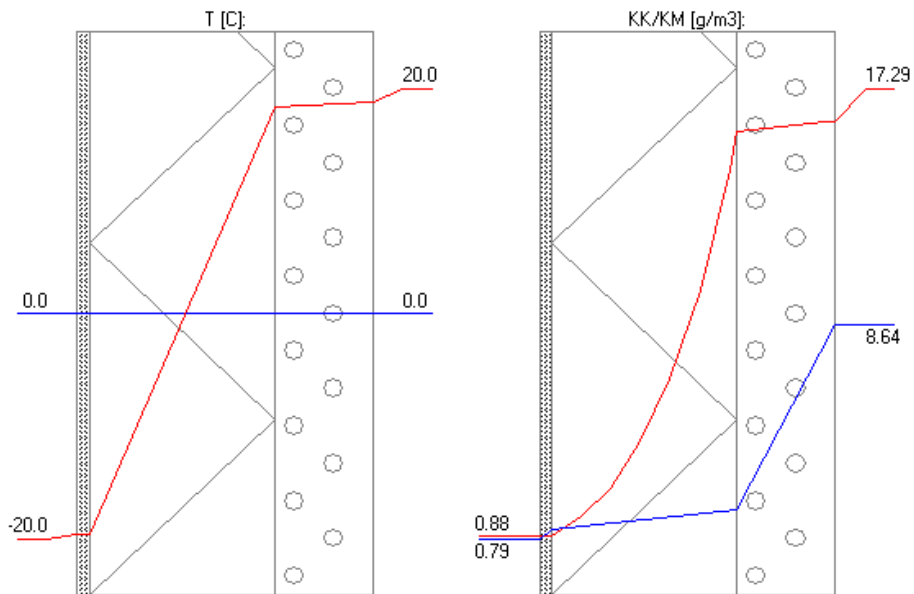
#### Raskas korjaus, ei-kantava, vaihtoehto 1

	d [m]	$\lambda$ [W/m*K]	R [(m <sup>2</sup> *K)/W]
Rsi			0,13
Betoni (sisäkuori)	0,08	1,700	0,05
Lämmöneriste UUSI	0,15	0,037	4,05
Ohutrappaus	0,01	1,200	0,01
Rse			0,04

$$R_t = 4,28 \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$$

$$U = 0,23 \quad \text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Eristepaksuutta muuttamalla voidaan vaikuttaa lämmöneristävyyden muutokseen. Esimerkiksi 210 mm eristyksellä, jolloin ulkopinnan taso on kevyen korjausvaihtoehdon 2 mukaan, saavutettaisiin nykyisten rakennusmääräysten vaatima U-arvo 0,17 W/(m<sup>2</sup>\*K). Tällöin lämmöneristävyyden parannus alkuperäiseen olisi jo noin 58 %.



Kuva 37. Raskaan korjausvaihtoehdon 1 rakenteen lämpö- ja kosteusjakautuma (3:n päivän kylmin).

Kuvan 37 oikean puoleisen kosteusjakautuman mukaan rakenteen sisässä ei ole varsinaisesti laskennallista kosteuden tiivistymisriskiä, ainoastaan rappauksen ja eristeen saumassa käyrät käyvät ristissä. Julkisivupinnoitteen oikea valinta on äärimmäisen tärkeä rakenteen kosteusteknisen toimivuuden kannalta.

### 7.1.3 Ääniominaisuudet

Rakenteen ääneneristävyys huononee lähtökohtaisesti nykyisestä. Ääneneristysluvut  $R_w + C_{tr}$  ovat kantavissa ja ei-kantavissa seinissä luokkaa 40–50 dB. [17, s. 42; 18, s. 286.]

Huomioitava mahdolliset kaavamääräykset ulkovaipan ääneneristävydestä ja tehtävä tarvittaessa tarkemmat äänitekniset selvitykset toteutettavan rakenteen kelpoisuudesta. Erityistä huomiota on kiinnitettävä erilaisten liittymien toteuttamiseen.

### 7.1.4 Toteutus- ja elinkaarikustannukset

Toteutus- ja elinkaarilaskelmat on esitetty liitteinä. Liitteen 5 mukaan korjauksen vertailutoteutuskustannukset ovat 146 320 euroa (alv 0 %). Lisäksi on arvioitu

rakennuttamis- ja suunnittelukuluja kertyvän 35 753 euroa (alv 0 %). Toteutuksen yhteiskuluna siis 182 073 euroa (alv 0 %).

Toteutuskustannuksissa elementtien ulkokuorien purusta aiheutuu noin 25 000 euroa kuluja, tähän voi vaikuttaa merkittävästi esimerkiksi tontin ahtaus ja liikkumisen vaikeus. Sisäkuoren ulkopinnan epätasaisuus voi lisätä merkittävästi kustannuksia.

Elinkaarikustannuksia varten käytettävä toteutuksen neliöhinta on 199,88 euroa. Kunnossapitokustannuksina huoltomaalauksen neliöhinnaksi muodostuu 35,00 euroa. Elinkaarikustannukseksi 60 vuoden tarkastelujaksolla muodostuu liitteen 8 mukaisesti 326 euroa / m<sup>2</sup>.

## 7.2 Vaihtoehto 2, julkisivupintana kolmikerrosrappaus

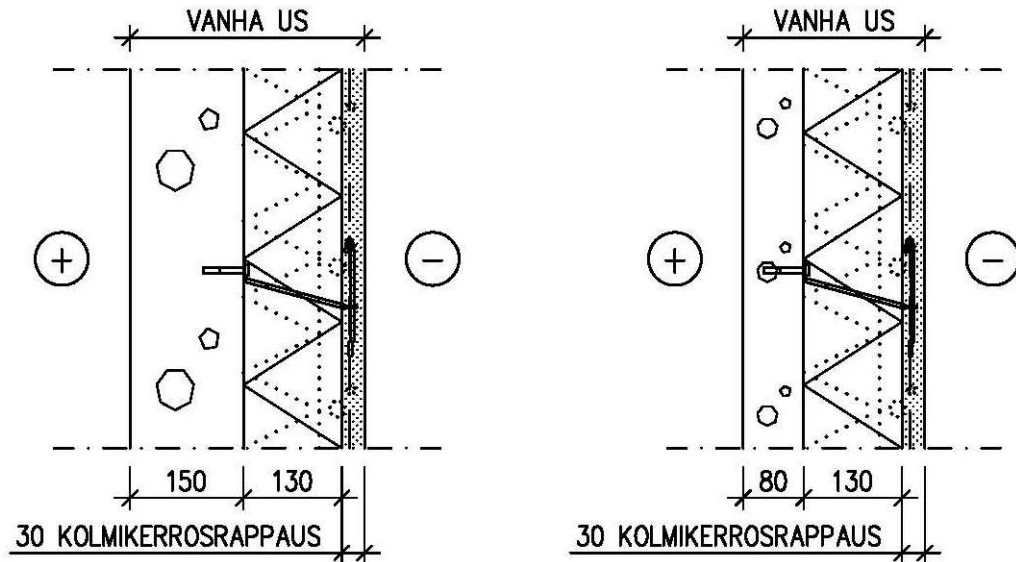
Korjausvaihtoehdossa puretaan sandwich-elementin betoninen ulkokuori ja sen takana oleva lämmöneristys. Ulkokuoren purku pystytään toteuttamaan kauttaaltaan koneellisesti ja sisäkuoren ulkopinta oletetaan riittävän tasaiseksi eristeiden tiiviiseen kiinnitykseen. Työmaan kestoksi arvioidaan noin 6 kuukautta, josta ensimmäinen kuukausi on purkutöiden osuus.

Lämmöneristeeksi valitaan 130 mm paksut mineraalivillaeristeet, jolloin julkisivun ulkopinnan taso pysyy likimain vanhan mukaisena. Lämmöneristeet kiinnitetään sisäkuoreen liimalaastilla ja mekaanisesti rappausverkon kannattimien heloilla. Kellarin seinä korjataan kevyen korjausvaihtoehto 1:n mukaan maanpäälliseltä osuudelta. Eteläsivulla rakennetaan harkkosokkeli purettavan ulkokuoren tilalle.

Rappausverkkona käytetään kuumasinkittyä teräsverkkoa. Pintalaastilla saadaan aikaan haluttu pintastrukturi ja värisävy. Kolmikerrosrappauksen kokonaiskerrospaksuus on noin 30 mm.

### 7.2.1 Rakennetyypit ja -liittymät

Rakenteen kokonaispaksuus ei muutu tässä korjausvaihtoehdossa, eli korjattu julkisivupinta pysyy vanhan julkisivupinnan tasossa. Rakenteessa eristepaksuus kasvaa, koska rappaus on vanhaa ulkokuorta ohuempi.



Kuva 38. Raskaan korjausvaihtoehdon 2 kantavan ja ei-kantavan sandwich-elementin rakennetyypit (~1:10).

Rappaus muuttaa yleensä julkisivupintaa yhtenäiseksi, alkuperäinen elementtijako jää ainoastaan sisäkuoreen. Värisävyjen ja pintastruktuurien valinnoilla voidaan joko säilyttää julkisivun ulkoasua tai uudistaa sitä merkittävästi.

Rappausta ei voida tuoda tässäkään eteläsivulla maanpinnan tasoon, joudutaan tekemään raskaan korjausvaihtoehdon 1 mukainen uusi sokkeli. Muilla sivuilla rajausta tapahtuu kellari- ja asuinkerroksen rajapintaan. Vanhan ja uuden rakenteen saumassa käytetään bitumikaistaa ja elastista saumaa raskaan korjausvaihtoehdon 1 mukaan.

Myös räystäs- ja ikkunaliitokset noudattelevat raskasta korjausvaihtoa 1. Räystäällä on huomioitava siporex-harkkojen tuenta ja ikkunoissa apukarmien tuenta.

## 7.2.2 Lämpö- ja kosteusominaisuudet

Rakenteen lämmöneristävyys paranee lisälämmöneristysten johdosta. Uuden rakenteen U-arvo on taulukon 7 mukaisesti  $0,27 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ , parannusta alkuperäiseen lämmöneristävytyteen tulee noin 34 %.

Taulukko 7. Raskaan korjausvaihtoehdon 2 U-arvon laskenta.

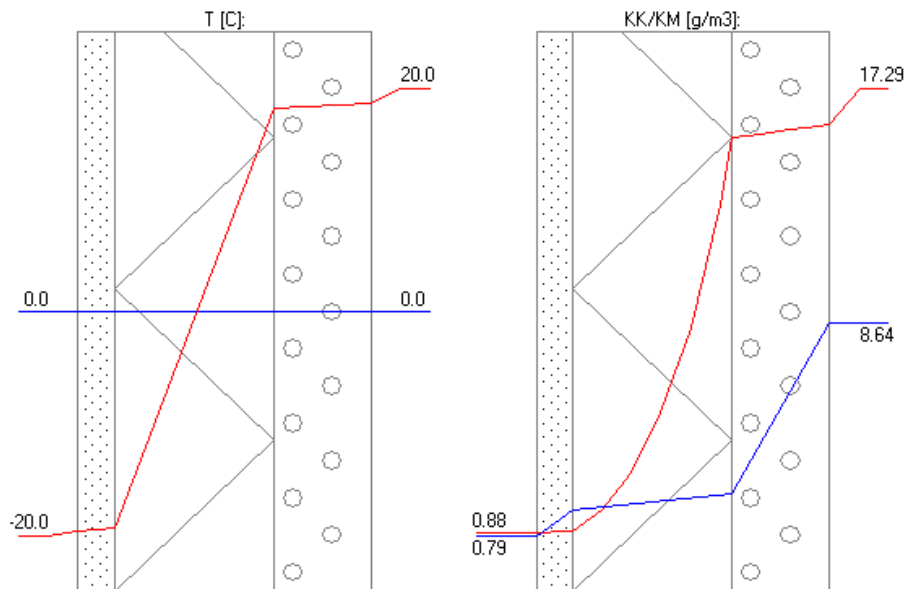
### Raskas korjaus, ei-kantava, vaihtoehto 2

	d [m]	$\lambda$ [W/m <sup>2</sup> *K]	R [(m <sup>2</sup> *K)/W]
Rsi			0,13
Betoni (sisäkuori)	0,08	1,700	0,05
Lämmöneriste UUSI	0,13	0,037	3,51
Kolmikerrosrappaus	0,03	1,200	0,03
Rse			0,04

$$R_t = 3,76 \quad (\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$$

$$U = 0,27 \quad \text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

Eristepaksuutta muuttamalla voidaan vaikuttaa lämmöneristävyden muutokseen. Esimerkiksi 190 mm eristyksellä, jolloin ulkopinnan taso on kevyen korjausvaihtoehdon 2 mukaan, saavutettaisiin U-arvo  $0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ . Tällöin lämmöneristävyden parannus alkuperäiseen olisi jo noin 54 %.



Kuva 39. Raskaan korjausvaihtoehdon 2 rakenteen lämpö- ja kosteusjakautuma (3:n päivän kylmin).

Kuvan 39 oikean puoleisen kosteusjakauman mukaisesti rakenteen sisässä ei ole varsinaisesti laskennallista kosteuden tiivistymisriskiä, ainoastaan rappauksen ja eristeen saumassa käyrät käyvät ristissä. Julkisivupinnoitteen oikea valinta on äärimmäisen tärkeä rakenteen kosteusteknisen toimivuuden kannalta.

### 7.2.3 Ääniominaisuudet

Rakenteen ääneneristävyys huononee lähtökohtaisesti nykyisestä. Ääneneristysluvut  $R_w+C_{tr}$  ovat kantavissa ja ei-kantavissa seinissä luokkaa 45–55 dB. [17, s. 42; 18, s. 286.]

Huomioitava mahdolliset kaavamääräykset ulkovaipan ääneneristävydestä ja tehtävä tarvittaessa tarkemmat äänitekniset selvitykset toteutettavan rakenteen kelpoisuudesta. Erityistä huomiota on kiinnitettävä erilaisten liittymien toteuttamiseen.

### 7.2.4 Toteutus- ja elinkaarikustannukset

Toteutus- ja elinkaarilaskelmat on esitetty liitteinä. Liitteen 6 mukaan korjauksen vertailutoteutuskustannukset ovat 154 691 euroa (alv 0 %). Lisäksi on arvioitu rakennuttamis- ja suunnittelukuluja kertyvän 35 753 euroa (alv 0 %). Toteutuksen yhteiskuluna siis 190 444 euroa (alv 0 %).

Toteutuskustannuksissa elementtien ulkokuorien purusta aiheutuu noin 25 000 euroa kuluja, tähän voi vaikuttaa merkittävästi esimerkiksi tontin ahtaus ja liikkumisen vaikeus. Sisäkuoren ulkopinnan epätasaisuus voi lisätä merkittävästi kustannuksia.

Elinkaarikustannuksia varten käytettävä toteutuksen neliöhinta on 209,07 euroa. Kunnossapitokustannuksina huoltomaalauksen neliöhinnaksi muodostuu 35,00 euroa. Elinkaarikustannukseksi 60 vuoden tarkastelujaksolla muodostuu liitteen 8 mukaisesti 342 euroa / m<sup>2</sup>.

### 7.3 Vaihtoehto 3, julkisivupintana tiilimuuraus

Korjausvaihtoehdossa puretaan sandwich-elementin betoninen ulkokuori ja sen takana oleva lämmöneristys. Ulkokuoren purku pystytään toteuttamaan kauttaaltaan koneellisesti ja sisäkuoren ulkopinta oletetaan riittävän tasaiseksi eristeiden tiiviiseen kiinnitykseen. Työmaan kestoksi arvioidaan noin 8 kuukautta, josta ensimmäinen kuukausi on purkutöiden osuus.

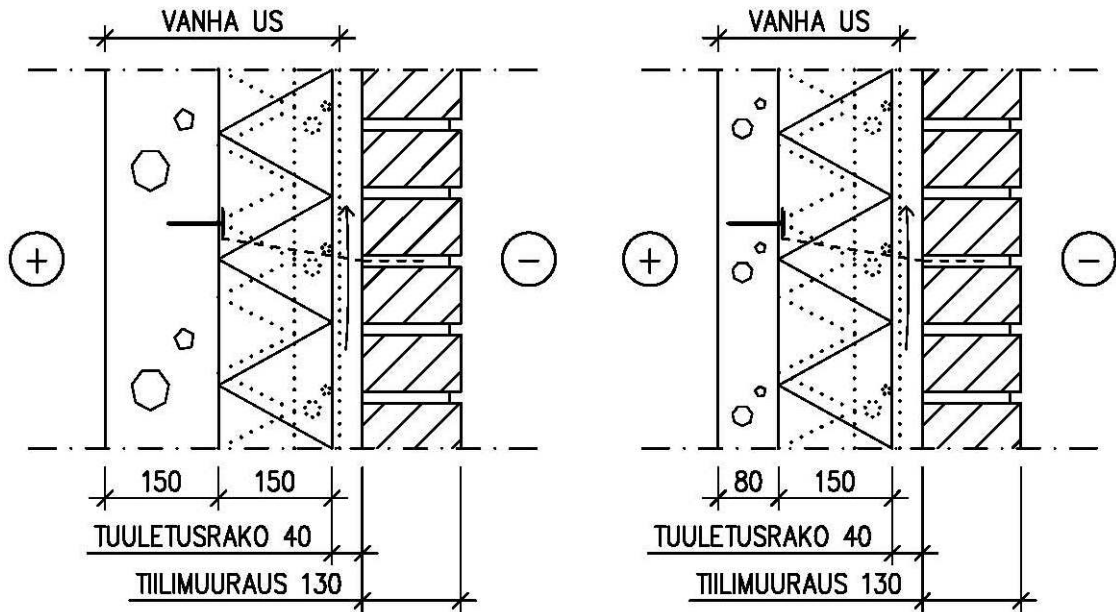
Lämmöneristeeksi valitaan 150 mm paksut mineraalivillaeristeet. Lämmöneristeet kiinnitetään sisäkuoreen liimalaastilla ja mekaanisesti muuraussiteisiin. Tiilimuuraukselle rakennetaan harkkosokkeli vanhan anturan päältä.

Tiilimuuraukseen käytetään 130 mm leveää tiiltä, valittavalla tiilillä saadaan aikaan valmis julkisivupinta. Tiilimuurauksen taakse jätetään 40 mm tuuletusrako, muuraus tuetaan muuraussiteillä sandwich-elementin sisäkuoreen.

#### 7.3.1 Rakennetyypit ja -liittymät

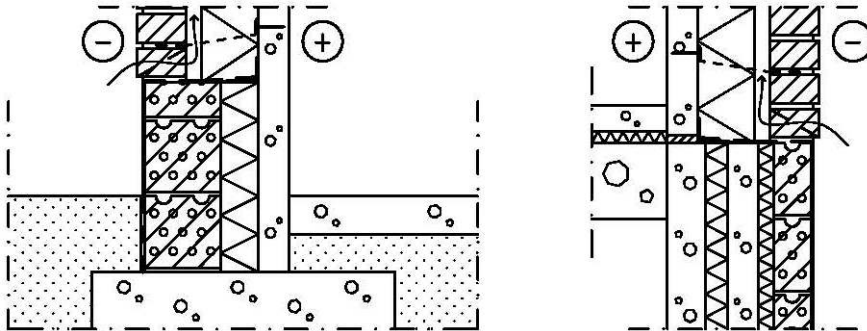
Rakenteen kokonaispaksuus kasvaa merkittävästi. Eristepaksuus kasvaa, tiilimuuraus on vanhaa elementin ulkokuorta paksumpi ja lisäksi rakenteessa on vielä tuuletusrako. Uuden rakenteen julkisivupinta on noin 160 mm vanhan rakenteen julkisivupintaa ulompana.

Tiilimuurauksesta aiheutuu vertailuista vaihtoehdoista selkeästi eniten lisäkuormaa myös rakennuksen perustuksille. Heikoissa pohjaolosuhteissa tämä voi aiheuttaa esimerkiksi lisäpaalutustarvetta. Vanhan ulkokuoren paino oli noin  $150 \text{ kg/m}^2$  ja uuden tiilimuurauksen paino on noin  $230 \text{ kg/m}^2$ .



Kuva 40. Raskaan korjausvaihtoehdon 3 kantavan ja ei-kantavan sandwich-elementin rakennetyypit (~1:10).

Tiilimuuraus muuttaa rakennuksen ulkoasua, toki jos esimerkiksi vanhan sandwich-elementin ulkokuori on ollut tiililaattapintainen, niin ulkoasun muutos on pienempi. Tiilien värisävyjen ja pintastruktuurien valinnoilla voidaan vaikuttaa merkittävästi julkisivun ulkoasuun.



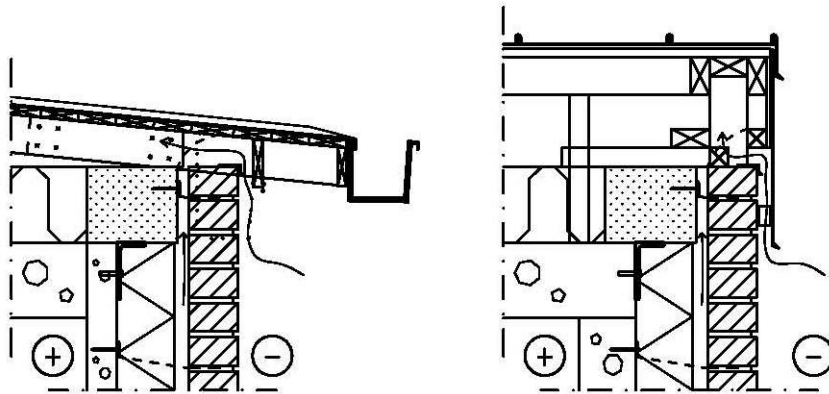
Kuva 41. Raskaan korjausvaihtoehdon 3 eteläsivun uusi sokkeli ja liitos kellarin seinän kylkeen tehtyyn uuteen sokkeliin (~1:20).

Tiilimuurausta ei voida eteläsivulla tuoda maanpinnan tasoon, purettavan ulkokuoren tilalle joudutaan rakentamaan esimerkiksi harkkoista sokkeli. Kuvan 41 vasemman puoleisessa kuvassa on esitetty harkkosokkeli vajaan puoli metriä ylös maanpinnasta. Myös vanhan kellarin seinän kylkeen joudutaan tekemään uusi kantava sokkeli tiilimuuraukselle, oikean puoleisessa kuvassa on esitetty lisäeristyksen kanssa



harkkokuorimuuraus. Uuden eristyksen alle vanhan rakenteen päälle asennetaan bitumikaista, joka nostetaan sisäkuoren ulkopintaa vasten. Tiilimuurauksen alimmissa kerroksissa jätetään pystysaumoja auki tuuletuksen toimivuuden varmistamiseksi.

Kellarin seinän lisäeristystä ei ole otettu huomioon toteutus- ja elinkaarilaskelmissa, vertailukelpoisuuden vuoksi perustukset on laskettu kuvasta poiketen umpiharkolla. Korjausmallissa maat joudutaan kaivamaan talon ympärillä anturoihin asti auki, samassa yhteydessä on järkevää esimerkiksi salaojien korjaus.

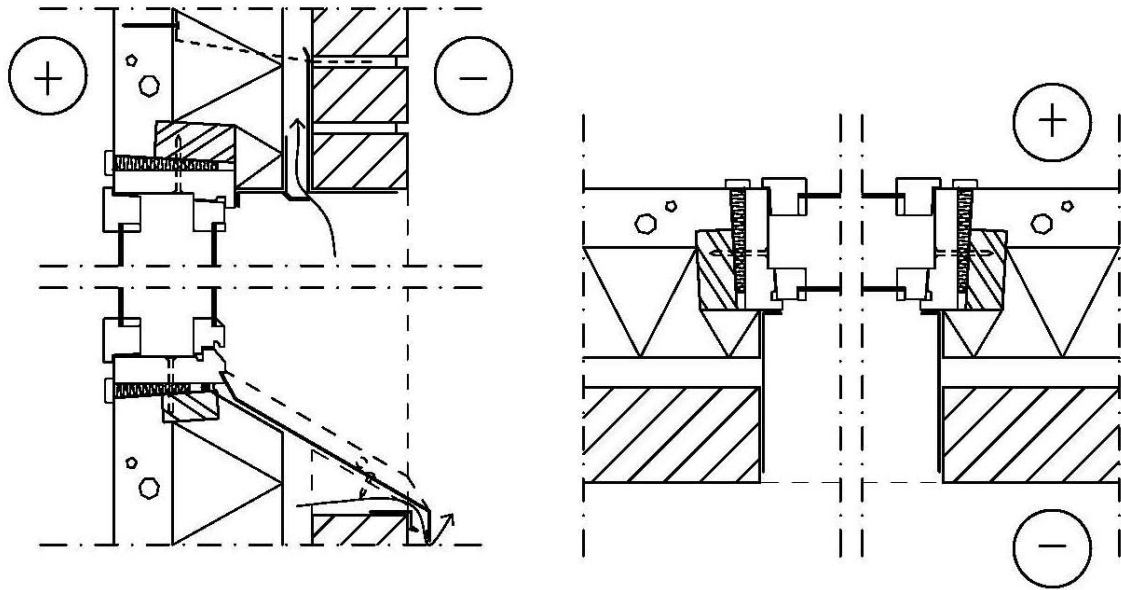


Kuva 42. Raskaan korjausvaihtoehdon 3 sivu- ja päätyräystä (∼1:20).

Räystää joudutaan lähtökohtaisesti leventämään, koska ulkoseinärakenne kasvaa ulospäin. Myös tässä korjausvaihtoehdossa on huomioitava siporex-harkon tuenta, koska vanha ulkokuori puretaan.

Kuvan 42 vasemman puoleisessa kuvassa on sivuräystä jatkettu suojaamaan seinien yläosia. Päätykolmion pellitys on oikean puoleisessa kuvassa tuotu ainoastaan rakenteen kasvun verran ulospäin.

Räystäillä tulee huomioida suunnittelussa tuuletuksen toimivuus. Lisäksi on estettävä myrskypelleillä ja pieneläinverkoilla veden sekä eläinten pääsy yläpohjan tuulettuvaan tilaan.



Kuva 43. Raskaan korjausvaihtoehdon 3 ikkunan pysty- ja vaakaleikkaus (~1:10).

Ikkunat jäävät kasvavaan syvennykseen rakenteen kasvaessa ulospäin. Ikkunoiden ja apukarmien tuenta on tarkistettava, elementissä apukarmit on ollut tuettuna sisä- ja ulkokuoren välissä.

Tiilimuuraus on ikkuna-aukon yläpuolella tuettu kuvan 43 vasemman puoleisessa kuvassa teräksisellä L-profiililla. Ikkuna-aukon kaikki pielet on pellitetty. Ikkuna-aukon suojapellityksien yhteydessä on huomioitava tiilimuurauksen taustan tuuletuksen toimivuus.

### 7.3.2 Lämpö- ja kosteusominaisuudet

Rakenteen lämmöneristävyys paranee lisälämmöneristyksen johdosta. Uuden rakenteen U-arvo on taulukon 8 mukaisesti  $0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , parannusta alkuperäiseen lämmöneristävyteen tulee noin 42 %.

Taulukko 8. Raskaan korjausvaihtoehdon 3 U-arvon laskenta.

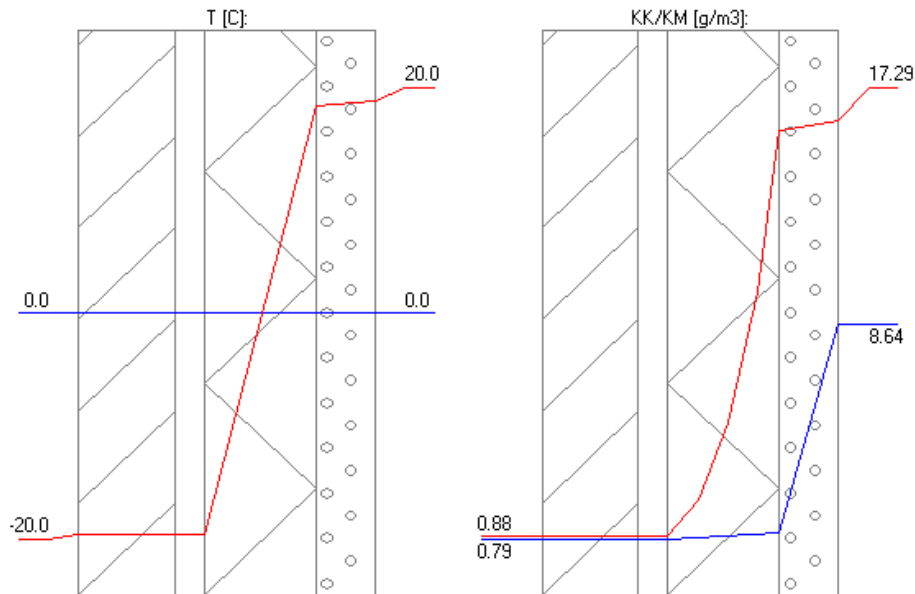
**Raskas korjaus, ei-kantava, vaihtoehto 3**

	d [m]	$\lambda$ [W/m*K]	R [(m <sup>2</sup> *K)/W]
Rsi			0,13
Betoni (sisäkuori)	0,08	1,700	0,05
Lämmöneriste UUSI	0,15	0,037	4,05
Rse			0,04

$$R_t = 4,27 \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$$

$$U = 0,23 \quad \text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Eristepaksuutta muuttamalla voidaan vaikuttaa lämmöneristävyyden muutokseen. Esimerkiksi 250 mm eristyksellä, saavutettaisiin U-arvo 0,14 W/(m<sup>2</sup>\*K). Tällöin lämmöneristävyyden parannus alkuperäiseen olisi jo noin 65 %.



Kuva 44. Raskaan korjausvaihtoehdon 3 rakenteen lämpö- ja kosteusjakautuma (3:n päivän kylmin).

Kuvan 44 oikean puoleisen kosteusjakautuman mukaisesti rakenteen sisässä ei ole laskennallista kosteuden tiivistymisriskiä. Tässä korjausmallissa tiilimuurauksen takana on tuuletusrako, eli ulkopuolisen kosteuden pääsy rakenteeseen vaatii lähtökohtaisesti virheitä tai vaurioita tiiliverhouksessa.

### 7.3.3 Ääniominaisuudet

Rakenteen ääneneristävyys pysyy vähintään nykyisen tasoisena. Ääneneristyslukuna  $R_w+C_{tr}$  on kantavissa ja ei-kantavissa seinissä vähintään 60 dB. [18, s. 285–286.]

Erityistä huomiota on kiinnitettävä erilaisten liittymien toteuttamiseen, esimerkiksi ikkunapielet. Hyvin toteutettuina näillä voidaan parantaa ääneneristävyyttä, toisaltaan virheellisellä ääniteknisellä toteutuksella näistä voidaan tehdä lähtötilannetta huonommat ääneneristävydeltään.

### 7.3.4 Toteutus- ja elinkaarikustannukset

Toteutus- ja elinkaarilaskelmat on esitetty liitteinä. Liitteen 7 mukaan korjauksen vertailutoteutuskustannukset ovat 218 135 euroa (alv 0 %). Lisäksi on arvioitu rakennuttamis- ja suunnittelukuluja kertyvän 43 574 euroa (alv 0 %). Toteutuksen yhteiskuluna siis 261 709 euroa (alv 0 %).

Toteutuskustannuksissa elementtien ulkokuorien purusta aiheutuu noin 25 000 euroa kuluja, tähän voi vaikuttaa merkittävästi esimerkiksi tontin ahtaus ja liikkumisen vaikeus. Tiilimuurauksen perustamistavasta aiheutuu merkittäviä kustannusvaikutuksia tässä korjausvaihtoehdossa. Lisäksi sisäkuoren ulkopinnan epätasaisuus voi lisätä merkittävästi kustannuksia.

Elinkaarikustannuksia varten käytettävä toteutuksen neliöhinta on 287,31 euroa. Kunnossapitokustannuksina tiilimuurauksen saumauskorjauksen neliöhinnaksi muodostuu 25,00 euroa. Elinkaarikustannukseksi 60 vuoden tarkastelujaksolla muodostuu liitteen 8 mukaisesti 419 euroa / m<sup>2</sup>.

## 8 Yhteenveto vertailutuloksista

Kevyissä ja raskaissa korjausvaihtoehdoissa lähtötilanne on usein erilainen. Kevyissä korjauksissa vanhan sandwich-elementin ulkokuoren ja tuentojen kunto on vähintään kohtuullinen. Raskaissa korjauksissa taas ulkokuoren kunto on jo heikko, jolloin sen korjaaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa.

Julkisivun oikean korjausvaihtoehdon valintaan tulee huomioida myös muiden liittyvien rakennusosien kunto. Esimerkiksi vesikaton korjauksen yhteydessä tehtävässä julkisivukorjauksessa voi olla järkevää leventää räystäitä ja saada samalla julkisivuun lisää eristepaksuutta. Tässä korostuu rakennuksen kokonaiskunnan tunteminen ja riittävän laaja korjausvaihtoehtojen vertailu ennen toteutusratkaisun valintaa.

### 8.1 Kevyet korjausvaihtoehdot

Kevyissä korjausvaihtoehdoissa tutkitut verhouskorjaukset olivat tässä työssä hyvinkin vastaavat ominaisuuksiltaan, näiden välillä valinta joudutaan tekemään selkeästi esimerkiksi esteettisistä näkökulmista. Perusteellinen paikkaus- ja pinnoituskorjaus oli toteutus- ja elinkaarikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto, toisaltaan siinä on suurimmat kunnossapito- ja energiakustannukset.

Lämpö-, kosteus- ja ääniominaisuuksiltaan verhoilukorjaukset ovat parempia vaihtoehtoja. Nämä fysikaaliset ominaisuudet eivät kuitenkaan huonone missään korjausvaihtoehdossa alkuperäisestä.

Rakenneliittymät ovat yksinkertaisimmat perusteellisessa paikkaus- ja pinnoituskorjauksessa. Verhoilukorjauksissa ulospäin kasvava ulkoseinärakenne aiheuttaa lisätyötä liittymien toteuttamisessa.

Verhouskorjausten toteutushinta on noin 40 % suurempi verrattuna perusteellisen paikkaus- ja pinnoituskorjaukseen. Verhoilukorjausten elinkaarikustannukset 60 vuoden tarkastelujaksolla ovat kuitenkin enää reilun 10 % suurempia verrattuna perusteellisen paikkaus- ja pinnoituskorjaukseen.

Mikäli elinkaarilaskennassa käytetään laskentakorkona 2,5 %, niin tällöin perusteellisen paikkaus- ja pinnoituskorjauksen elinkaarikustannukset ovat yhtä suuret verhoukorkojen kanssa. Myös muuttamalla energia hinnan arvoon 0,23 €/kWh perusteellisen paikkaus- ja pinnoituskorjauksen elinkaarikustannukset kasvavat verhoukorkojen kanssa yhtä suuriksi. Lisäksi esimerkiksi paksummalla lisäeristeellä voidaan madaltaa elinkaarilaskennassa energiakuluja.

Elinkaarikustannukset nousevatkin yhä useammin merkittävään rooliin korjaushankkeiden suunnittelussa. Tässä työssä esitetyissä elinkaarilaskelmissa on laskettu elinkaarikustannuksiin ainoastaan kunnossapitotoimenpiteitä. Todellisuudessa on oletettavissa että sandwich-elementin ulkokuoren kunto heikkenee jossain vaiheessa ja se joudutaan purkamaan. Verhoukorkojet suojaavatkin perusteellista paikkaus- ja pinnoituskorjausta paremmin vanhaa ulkokuorta, näin voidaan olettaa että niillä korjausvaihtoehdoilla pystytään etenemään pidemmälle tulevaisuuteen ilman raskaita korjausvaihtoehtoja.

Esimerkiksi lasketaan elinkaarilaskentaohjelmalla että perusteellisen paikkaus- ja pinnoituskorjauksen jälkeen jouduttaisiin 20 vuoden jälkeen tekemään raskas korjausvaihtoehto 1 ja siihen sitten taas 20 vuoden päästä maalauskorjaus. Samaan laskelmaan syötetään verhoukorkojet 20 vuoden jälkeen maalauskorjaus ja 40 vuoden kohdalle raskas korjausvaihtoehto 1. Tällöin pinnoite- ja paikkauskorjaus nousee alkuperäisillä laskentaolettamuksilla elinkaarikustannuksiltaan verhoukorkojet kalliimmaksi, toki ero on vain muutaman prosentin luokkaa.

Kevyistä korjausvaihtoehdoista perusteellinen paikkaus- ja pinnoituskorjaus on toteutuskustannuksiltaan edullisin vaihtoehto, mutta elinkaarilaskennalla kannattaa tutkia myös erilaiset rappaus- ja levyverhoilukorjaukset vaihtoehtona.

## 8.2 Raskaat korjausvaihtoehdot

Raskaissa korjausvaihtoehdoissa tutkitut rappausvaihtoehdot olivat tässä työssä hyvinkin vastaavat ominaisuuksiltaan. Tiilimuuraus oli toteutus- ja elinkaarikustannuksiltaan muita kalliimpi vaihtoehto, toisaltaan kunnossapitokustannukset ovat pienimmät. Raskaissa korjausvaihtoehdoissa

elinkaarikustannusten erotukset eivät vaihtelee merkittävästi korkoja ja energian hintoja muuttamalla, koska eristepaksuudet ovat likimain vastaavia.

Lämpö- ja kosteusteknisesti kaikki vaihtoehdot ovat alkuperäistä parempia, kolmikerrosrappauksella oli hieman muita vaihtoehtoja huonompi U-arvo. Rappausvaihtoehdot ovat ääniteknisesti ongelmallisia, niissä ääneneristävyys heikkenee alkuperäisestä.

Rakenneliittymät ovat yksinkertaisimmat rappausvaihtoehdoissa, mikäli eristepaksuus valitaan sillä tavalla, että julkisivupinta tulee alkuperäiseen tasoon. Ohutrappauksella pystytään saamaan paksuin mahdollinen lämmöneristys ilman ulkoseinärakenteen paksuntamista. Tiilimuuraus taas kasvattaa merkittävästi rakennetta ulospäin ja tarvitsee yleensä lisäperustuksia.

Tiilimuuratun vaihtoehdon toteutushinta on noin 40 % suurempi verrattuna rappausvaihtoehtoihin. Tiilimuurauksen elinkaarikustannukset 60 vuoden tarkastelujaksolla ovat noin 25 % rappausvaihtoehtoja suuremmat.

Tiilimuurauksen keskimääräiseksi tekniseksi käyttöiäksi annetaan rakennuksen ikä, rappauksille taas vastaavasti tämä on noin 60 vuotta. Tällöin ylipitkällä elinkaarilaskennalla voisi saada tiilimuurauksen jo taloudellisestikin kilpailukykyisemmäksi. Raskaissa korjausvaihtoehdoissa puretaan vanha rakenne, jolloin 60 vuoden elinkaarikustannusten laskennassa voidaan kuitenkin olettaa selvittävän pelkästään kunnossapitotoimenpiteillä kaikissa vaihtoehdoissa.

Mekaaninen kestävyys on näistä kolmesta vertailusta vaihtoehdosta tiilimuurauksella paras ja ohutrappauksella heikoin. Ohutrappaukseen on mahdollista esimerkiksi ilkivallalla aiheuttaa koloja. Toisaltaan kyllä myös tiilimuurauksen vahingoittaminen on mahdollista.

Tiilimuuraus voi nousta taloudellisesti järkeväksi vaihtoehdoksi, mikäli rakennuksessa on samalla kertaa paljon korjaustarpeita. Esimerkiksi vesikattokorjauksen yhteydessä räystäiden rakentamisen suhteelliset kustannukset pienenevät, vastaavasti salaojakorjauksen yhteydessä lisäperustuksien suhteelliset kustannukset pienenevät.

Raskaista korjausvaihtoehdoista tiilimuuraukselle on vaikeaa löytää faktaa perusteeksi, liikennemelualueilla se toki nousee näistä vaihtoehdoista ainoaksi mahdollisuudeksi ilman lisäselvityksiä. Rappausvaihtoehdot ovat keskenään kohtuullisen samankaltaiset ja kevyiden korjausvaihtoehtojen vertailun mukaisesti myös erilaiset levyverhoukset voidaan laskea samankaltaisiksi vaihtoehdoiksi.



## 9 Vertailutulosten käyttösovellukset ja jatkokehitysmahdollisuudet

Vertailutuloksia voidaan hyödyntää jatkossa yrityksen julkisivujen korjaushankkeissa, erityisesti hankesuunnitteluvaiheessa. Jokaisessa kohteessa on kuitenkin omat haasteensa, joten tässä työssä luodun perusmallisen rakennuksen tietoja on sovellettava kyseiseen kohteeseen. Työn tulokset tulevat jatkossa kehittymään ja monipuolistumaan yrityksen julkisivujen korjaushankkeiden eri vaiheiden asiakirjojen mukana.

Rakennetyyppien ja -liittymien osalta luotiin eräänlaiset rakennemallit kuuteen erilaiseen korjausvaihtoehtoon. Näitä voidaan hyödyntää jatkossa julkisivujen korjaushankkeiden eri vaiheissa. Hankesuunnittelussa työssä luotujen rakenneliittymien avulla voidaan hahmottaa eri vaihtoehtojen soveltamista kyseiseen kohteeseen. Toteutussuunnittelussa näitä voidaan hyödyntää suunnittelupohjina.

Fysikaalisten ominaisuuksien osalta yrityksellä on ollut jo aikaisemmin käytössä valmiit laskentamallit. Työn pohjalta voidaan kuitenkin nostaa esiin rakenteiden ääniominaisuudet, kun betoninen ulkokuori joudutaan purkamaan, niin ääneneristävyyden kannalta olisi saatava yhtä massiivinen rakenne takaisin. Asiaa tulee jatkossa tutkia tulevissa julkisivukorjauksissa tarkemmin.

Kustannuslaskelmien avulla voidaan arvioida heti alkuvaiheissa suuntaa antavia prosentuaalisia toteutuskustannuseroja erilaisten vaihtoehtojen välillä. Lisäksi hankesuunnitelmatasoisiin kustannusarvioihin on luotu Excel-muotoiset pohjat, joiden avulla voidaan nopeasti tarkastella kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä eri vaihtoehdoissa. Tässä työssä saatuja prosentuaalisia erotuksia tulee jatkossa verrata erilaisilla korjausvaihtoehdoilla saatuihin urakkatarjouksiin.

Elinkaarikustannukset joudutaan laskemaan aina kohdekohtaisesti. Tässä työssä on kuitenkin osoitettu miten tiettyjä lähtöarvoja muuttelemalla pystytään vaikuttamaan elinkaarikustannusarvioihin ja erilaisten vaihtoehtojen kannattavuuksiin. Kevyissä korjausvaihtoehdoissa nousikin esille verhoilukorjausten kilpailukykyisyys elinkaarikustannuksissa verrattuna perinteiseen paikkaus- ja pinnoituskorjaukseen.

Elinkaarikustannuksiin pystytään vaikuttamaan myös kunnossapitajaksoilla ja suurempien korjauksien sijoittelulla. Näissä on kuitenkin lähtökohtana aina alkuperäisen rakenteen kunto, eli kunnossapitajaksojen ja erityisesti tulevien laajempien korjauksien määräytyminen on aina tehtävä tapauskohtaisesti.

Elinkaarikustannusten osalta jää kuitenkin paljon erilaisia kehittymismahdollisuuksia jatkossa. Tässä työssä ei esimerkiksi vertailtu kattavasti eristekerroksen kasvattamisen ja erilaisten eristetyyppien vaikutuksia toteutus- ja elinkaarikustannuksiin.

Jatkossa tulee todennäköisesti julkisivukorjauksissa nousemaan elinkaarikustannusten painoarvo verrattuna toteutuskustannuksiin. Jatkokehityksenä voisi tutkia käytettävän eristepaksuuden vaikutuksia toteutus- ja elinkaarikustannuksiin, esimerkiksi tämän työn kaikille korjausvaihtoehdoille voisi hakea kustannustehokkaimman eristepaksuuden. Energiankulutusvaatimusten tiukentuessa tällaiselle kustannustehokkaalle eristepaksuudelle on varmasti jatkossa kysyntää julkisivujen korjaushankkeissa.

Yhtenä merkittävänä jatkoselvityksen paikkana ovat erilaisten korjausvaihtoehtojen ääneneristävydet, voidaanko esimerkiksi rappauskorjauksilla päästä jollain rakenneratkaisulla alkuperäisen rakenteen ääneneristävyden tasolle. Erilaisista korjausvaihtoehdoista olisi myös selvitettävä kattavasti millaisilla rakenteiden liittymillä voidaan ääneneristävyttä parantaa ja millaisia taas ei missään nimessä tulisi käyttää ääneneristävyden kannalta.

## Lähteet

- 1 *Rakennetun omaisuuden tila 2011 -raportti*. Päivitetty 2.3.2011. Saatavissa: [http://www.roti.fi/document.php?DOC\\_ID=329&SEC=9b24711d32b37ce16e4b1cbbdbda27f1&SID=1#roti\\_2011\\_kokonaan\\_sivuittain.pdf](http://www.roti.fi/document.php?DOC_ID=329&SEC=9b24711d32b37ce16e4b1cbbdbda27f1&SID=1#roti_2011_kokonaan_sivuittain.pdf).
- 2 Lehtinen, Erkki - Nippala, Eero - Jaakkonen, Liisa - Nuutila, Harri, *Asuinrakennukset vuoteen 2025 - uudistuotannon ja perusparantamisen tarve*. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. 2005.
- 3 *Asuntonministeri Jan Vapaavuori: Julkisivuremonttien määrä moninkertaistuu – mahdollisuus järkeville ilmastoteoille* [verkkodokumentti]. Ympäristöministeriön tiedote. Julkaistu 6.10.2010 [viitattu 03122012]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=367297&lan=fi>
- 4 Haukijärvi, Matti – Hekkanen, Martti – Lahdensivu, Jukka – Mattila Jussi, *JUKO – Julkisivujen korjausopas 2009*. Helsinki: Julkisivuyhdistys r.y.. 2009.
- 5 Neuvonen, Petri (toim.), *Kerrostalot 1880–2000 – arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen*. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2006.
- 6 Betoniyhdistys r.y., elementtisuunnittelu, *Elementtirakentamisen historia*. Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/22002/elementtirakentamisen%20historia.pdf>.
- 7 Kaista, Pentti – Hurme, Riitta – Häyrynen, Maunu – Penttala, Vesa – Putkonen, Lauri – Soini, Eero. *Betoni Suomessa 1860–1960*. Jyväskylä: Suomen Betoniyhdistys r.y.. 1991.
- 8 *BY 42, Betonijulkisivujen kuntotutkimus 2002*. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys r.y.. 2002.
- 9 Lappalainen, Markku, *Kerrostalon peruskorjaus – suunnittelu ja toteutus taloyhtiössäni*. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2011.
- 10 Heikkilä-Kauppinen, Marja – Kauppinen, Timo (toim.), *Betonijulkisivujen korjaus laastipaikkauksella – esimerkkikorjaus ja sen ajankäyttötutkimus*. Tampere: Rakennustieto Oy. 1995.
- 11 Haukijärvi, Matti, *JUKO ohjeistokansio – hankesuunnittelu – rakenteet ja korjausmahdollisuudet*. Julkisivuyhdistys r.y. – Tampereen teknillinen yliopisto – VTT. Päivitetty 9/2005. Saatavissa: [http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari/juko/JUKO\\_pdf\\_web/Korjaushanke/B\\_hankesuunnittelu/B2\\_Rakenteet\\_ja\\_korjausmahdollisuudet.pdf](http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari/juko/JUKO_pdf_web/Korjaushanke/B_hankesuunnittelu/B2_Rakenteet_ja_korjausmahdollisuudet.pdf)
- 12 Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.
- 13 *RT 18–11004, Asuntoyhtiön korjaushankkeen kulku*. RT-kortisto. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS, 2010.
- 14 Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 26.3.2009/205.

- 15 Tuomas Koski-Lammi, Doventus Oy.
- 16 Suomen rakentamismääräyskokoelma osa C4. Lämmöneristys, ohjeet 2003.
- 17 Kylliäinen, Mikko. *Kivitalojen ääneneristys*. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy. 2011.
- 18 *RIL 129, Ääneneristyksen toteuttaminen*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL r.y.. 2003.
- 19 *RT 18–10922, Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot*. RT-kortisto. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS, 2008.

## Toteutuskustannusten laskenta, kevyt korjaus, vaihtoehto 1

Kevyt korjaus, vaihtoehto 1, perusteellinen paikkaus- ja pinnoituskorjaus  
Toteutuskustannukset

### KORJAUSURAKKA

ALV 0 %

Nimike	Määrä	€/ yksikkö	YHT. €	LÄHDE
Betonijulkisivun märkähiekkapuhallus	910,9 m2	7	6376	KOR s.20
Betoniterästen esiinpiikkaus (syvyys alle 30 mm) ja käsittely	121,4 jm	9,54	1158	KOR s.20
Laastipaikkaus (syvyys alle 30 mm), korroosioaur. Käsittely	121,4 jm	28,29	3434	KOR s.21
Piikkaus ja valukorjaus, pieni alle 50 litraa	45,6 kpl	55,78	2544	KOR s.20
Piikkaus ja valukorjaus, suuri yli 50 litraa	9,1 kpl	58,85	536	KOR s.20
Tasoite 2,5 kertaa	910,9 m2	4,13	3762	ROK s.189
Maalaus 2 kertaa, betonipinta	910,9 m2	6,36	5793	ROK s.147
Elastisten saumojen uusiminen	611,7 jm	29,01	17745	KOR s.22
Ikkunoiden vesipeltien purku	144 jm	3,06	441	KOR s.24
Ikkunoiden uudet vesipellit	144 jm	11,99	1727	ROK s.242
Myrskypellit	276 jm	12,5	3450	ROK s.242
Teline, kiinteä terästeline, ilman suojausta, 3 kk	910,9 m2	12,6	11477	KOR s.58
Suojapeite, julkisivu, 3 kk	910,9 m2	2,7	2459	KOR s.58
Ulkoremontin suojaus- ja aputyöt	910,9 m2	3,31	3015	ROK s.37
Työmaan johto (puolipäiväinen), ulkoremonttikohde	3 kk	3000	9000	KOR s.36
Työmaateknikka, korjauskohde	3 kk	1755	5265	KOR s.39
Jätelava, kuljetus ja kaatopaikkamaksut, 2 krm / kk	6 krm	350	2100	ROK s.248

**YHTEENSÄ**

**80283**

### MUITA KULUJA

ALV 0 %

Nimike	Määrä	€/ yksikkö	YHT. €	LÄHDE
Rakennuttamistehtävät, korjauskohde	1 erä	5000	5000	DOV
Valvonta, korjauskohde	3 kk	3000	9000	DOV
Arkkitehti- ja pääsuunnittelu, julkisivukorjauskohde	910,9 m2	6	5465	ROK s.247 DOV
Rakennesuunnittelu, julkisivukorjauskohde	910,9 m2	5	4555	KOR s.36 DOV

**YHTEENSÄ**

**24020**

ROK = Rakennusosien kustannuksia 2012. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2012.

KOR = Korjausrakentamisen kustannuksia 2012. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2012.

DOV = Doventus Oy

## Toteutuskustannusten laskenta, kevyt korjaus, vaihtoehto 2

Kevyt korjaus, vaihtoehto 2, verhoukorkorjaus ohutrappauksella  
Toteutuskustannukset

KORJAUSURAKKA		ALV 0 %		
Nimike	Määrä	€/ yksikkö	YHT. €	LÄHDE
Lista, sokkeliprofiili	118,6 jm	2,48	294	ROK s.236
Eriste, mineraalivilla 50 mm, kuormitettu	786,8 m2	11,25	8852	ROK s. 86 ROK s.146
Ohutrappaus	786,8 m2	48,92	38490	ROK s.146
Betoniterästen esiinpiikkaus (syvyys alle 30 mm) ja käsittely	121,4 jm	9,54	1158	KOR s.20
Laastipaikkaus (syvyys alle 30 mm), korroosioaur. Käsittely	121,4 jm	28,29	3434	KOR s.21
Piikkaus ja valukorjaus, pieni alle 50 litraa	45,6 kpl	55,78	2544	KOR s.20
Piikkaus ja valukorjaus, suuri yli 50 litraa	9,1 kpl	58,85	536	KOR s.20
Betonijulkisivun märkähiekkapuhallus	124,1 m2	7	869	KOR s.20
Tasoite 2,5 kertaa	124,1 m2	4,13	513	ROK s.189
Maalaus 2 kertaa, betonipinta	124,1 m2	6,36	789	ROK s.147
Ikkunoiden vesipeltien purku	144 jm	3,06	441	KOR s.24
Ikkunoiden uudet vesipellit	144 jm	11,99	1727	ROK s.242
Myrskypellit	276 jm	12,5	3450	ROK s.242
Räystään purku	132 jm	6,64	876	KOR s.28
Räystään jatkaminen	132 jm	29,86	3942	ROK s.157
Räystään pellitys	54 m2	33,24	1795	ROK s.158
Päätykolmion pellitys	14,6 m2	33,24	485	ROK s.158
Räystäskouru	108 jm	25	2700	ROK s.237
Syöksytorvet	105 jm	15	1575	ROK s.161
Teline, kiinteä terästeline, ilman suojausta, 4 kk	910,9 m2	16,8	15303	KOR s.58
Suojapeite, julkisivu, 4 kk	910,9 m2	3,6	3279	KOR s.58
Ulkoremontin suojaus- ja aputyöt	910,9 m2	3,31	3015	ROK s.37
Työmaan johto (puolipäiväinen), ulkoremonttikohde	4 kk	3000	12000	KOR s.36
Työmaatekniikka, korjauskohde	4 kk	1755	7020	KOR s.39
Jätelava, kuljetus ja kaatopaikkamaksut, 2 krm / kk	8 krm	350	2800	ROK s.248
<b>YHTEENSÄ</b>			<b>117886</b>	

Kevyt korjaus, vaihtoehto 2, verhoukcorjaus ohutrappauksella  
Toteutuskustannukset

MUITA KULUJA

ALV 0 %

Nimike	Määrä	€/ yksikkö	YHT. €	LÄHDE
Rakennuttamistehtävät, korjauskohde	1 erä	5000	5000	DOV
Valvonta, korjauskohde	4 kk	3000	12000	DOV
Arkkitehti- ja pääsuunnittelu, julkisivukorjauskohde	910,9 m2	7	6376	ROK s.247 DOV
Rakennesuunnittelu, julkisivukorjauskohde	910,9 m2	6	5465	KOR s.36 DOV

**YHTEENSÄ**

**28842**

*ROK = Rakennusosien kustannuksia 2012. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2012.*

*KOR = Korjausrakentamisen kustannuksia 2012. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2012.*

*DOV = Doventus Oy*

## Toteutuskustannusten laskenta, kevyt korjaus, vaihtoehto 3

Kevyt korjaus, vaihtoehto 3, verhoukorkorjaus sementtilevyverhouksella  
Toteutuskustannukset

KORJAUSURAKKA		ALV 0 %		
Nimike	Määrä	€/ yksikkö	YHT. €	LÄHDE
Lista, sokkeliprofiili	118,6 jm	2,48	294	ROK s.146
Eriste, mineraalivilla 50 mm, tuulensuoja	786,8 m2	16,61	13069	ROK s. 86 ROK s.239
Sementtilevy, julkisivu	786,8 m2	19,5	15343	ROK s.238
Levyverhouksen asennus	786,8 m2	24,62	19371	ROK s.145
Saumalistat	313,8 jm	3	941	ROK s.236
Betoniterästen esiinpiikkaus (syvyys alle 30 mm) ja käsittely	121,4 jm	9,54	1158	KOR s.20
Laastipaikkaus (syvyys alle 30 mm), korroosioaur. Käsittely	121,4 jm	28,29	3434	KOR s.21
Piikkaus ja valukorjaus, pieni alle 50 litraa	45,6 kpl	55,78	2544	KOR s.20
Piikkaus ja valukorjaus, suuri yli 50 litraa	9,1 kpl	58,85	536	KOR s.20
Betonijulkisivun märkähiekkapuhallus	124,1 m2	7	869	KOR s.20
Tasoite 2,5 kertaa	124,1 m2	4,13	513	ROK s.189
Maalaus 2 kertaa, betonipinta	124,1 m2	6,36	789	ROK s.147
Ikkunoiden vesipeltien purku	144 jm	3,06	441	KOR s.24
Ikkunoiden uudet vesipellit	144 jm	11,99	1727	ROK s.242
Myrskypellit	276 jm	12,5	3450	ROK s.242
Räystään purku	132 jm	6,64	876	KOR s.28
Räystään jatkaminen	132 jm	29,86	3942	ROK s.157
Räystään pellitys	54 m2	33,24	1795	ROK s.158
Päätykolmion pellitys	14,6 m2	33,24	485	ROK s.158
Räystäskouru	108 jm	25	2700	ROK s.237
Syöksytorvet	105 jm	15	1575	ROK s.161
Teline, kiinteä terästelinen, ilman suojausta, 4 kk	910,9 m2	16,8	15303	KOR s.58
Suojapeite, julkisivu, 4 kk	910,9 m2	3,6	3279	KOR s.58
Ulkoremontin suojaus- ja aputyöt	910,9 m2	3,31	3015	ROK s.37
Työmaan johto (puolipäiväinen), ulkoremonttikohde	4 kk	3000	12000	KOR s.36
Työmaateknikka, korjauskohde	4 kk	1755	7020	KOR s.39
Jätelava, kuljetus ja kaatopaikkamaksut, 2 krm / kk	8 krm	350	2800	ROK s.248
<b>YHTEENSÄ</b>			<b>119268</b>	



Kevyt korjaus, vaihtoehto 3, verhoukorkorjaus sementtilevyverhouksella  
Toteutuskustannukset

MUITA KULUJA

ALV 0 %

Nimike	Määrä	€/ yksikkö	YHT. €	LÄHDE
Rakennuttamistehtävät, korjauskohde	1 erä	5000	5000	DOV
Valvonta, korjauskohde	4 kk	3000	12000	DOV
Arkkitehti- ja pääsuunnittelu, julkisivukorjauskohde	910,9 m2	7	6376	ROK s.247 DOV
Rakennesuunnittelu, julkisivukorjauskohde	910,9 m2	6	5465	KOR s.36 DOV
<b>YHTEENSÄ</b>			<b>28842</b>	

ROK = Rakennusosien kustannuksia 2012. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2012.

KOR = Korjausrakentamisen kustannuksia 2012. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2012.

DOV = Doventus Oy



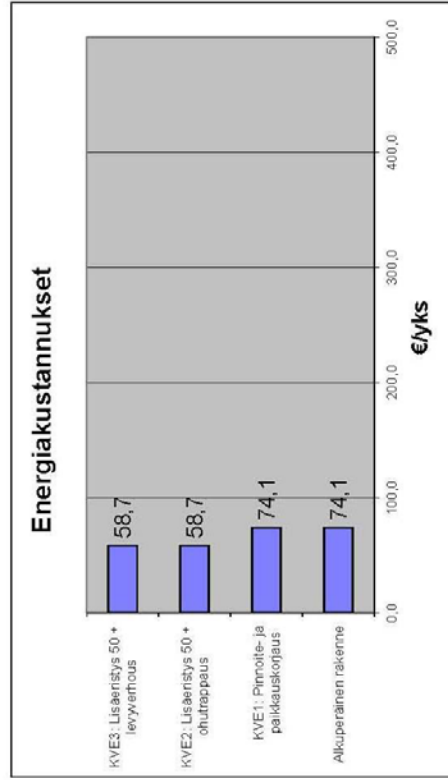
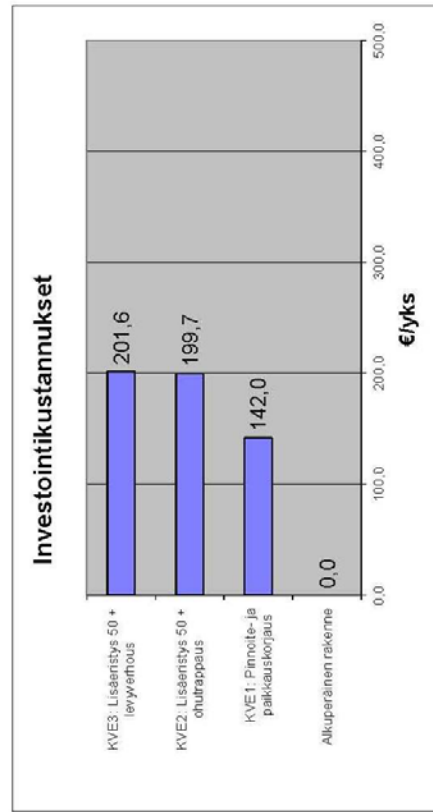
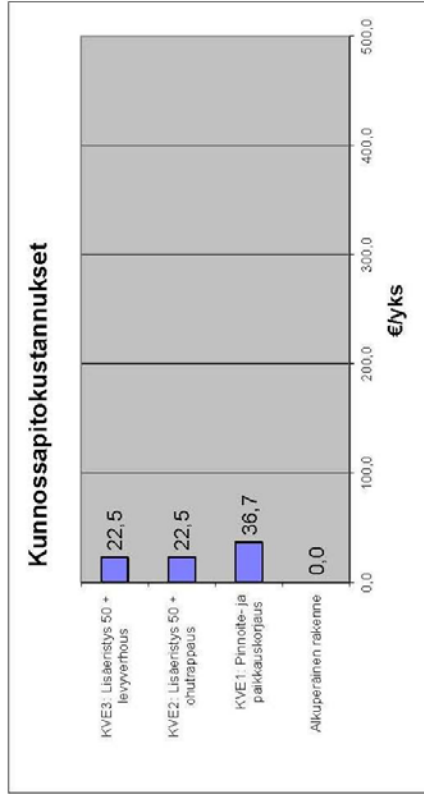
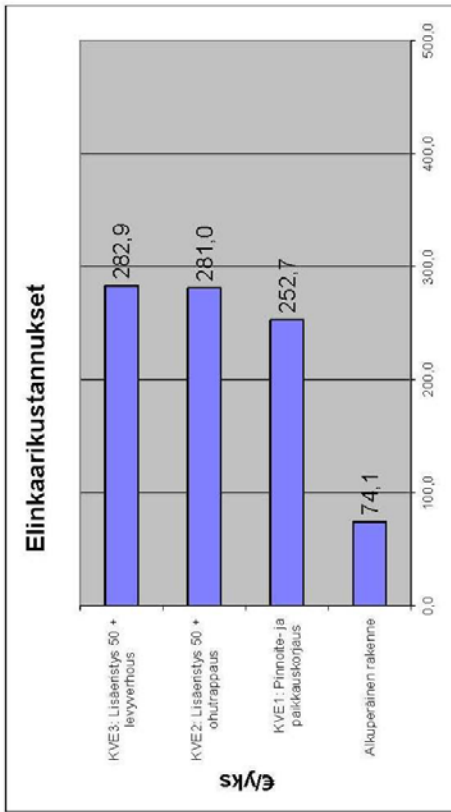
## TULOKSET

Taloudellinen pitoaika, v  
Laskentakorko, %  
Energianhinta, €/kWh  
Arvonlisävero, %  
Tarkastelupaikkakunta

60
5
0,08
24
Helsinki

## Taulukko 1

	Liinkaari- ust, yht				
	€/yks	Investointi €/yks	KP €/yks	Energia €/yks	Jäännösarvo €/yks
Alkuperäinen rakenne	74,1	0,0	0,0	74,1	0,0
KVE1: Pinnote- ja paikkauskorjaus	252,7	142,0	36,7	74,1	0,0
KVE2: Lisäeristys 50 + ohutrappaus	281,0	199,7	22,5	58,7	0,0
KVE3: Lisäeristys 50 + levyverho	282,9	201,6	22,5	58,7	0,0



## Toteutuskustannusten laskenta, raskas korjaus, vaihtoehto 1

Raskas korjaus, vaihtoehto 1, ohutrappaus  
Toteutuskustannukset

KORJAUSURAKKA		ALV 0 %		
Nimike	Määrä	€/ yksikkö	YHT. €	LÄHDE
Ulkokuoren purku koneellisesti	812,2 m2	15,91	12922	KOR s.21
Betonijättemaksut	121,8 t	26	3168	ROK s.248
Betonijäte, jätelava ja kuljetus	15 krt	100	1500	ROK s.248
Lämmöneristekerroksen purku	812,2 m2	5,2	4223	KOR s.19
Eriste, mineraalivilla 150 mm, kuormitettu	786,8 m2	20,78	16350	ROK s. 86, 146, 238
Ohutrappaus	786,8 m2	48,92	38490	ROK s.146
Eteläsivun maan kaivuu ja täyttö (h=300)	54 jm	48,909	2641	KOR s.16
Eteläsivun sokkeli (h=500)	27 m2	74,28	2006	ROK s.105
Eteläsivun sokkelin tasoitus ja bitumikermi	27 m2	24,5	662	ROK s.32
Betonijulkisivun märkähiekkapuhallus	109,5 m2	7	767	KOR s.20
Betoniterästen esiinpiikkaus (syvyys alle 30 mm) ja käsittely	14,6 jm	9,54	139	KOR s.20
Laastipaikkaus (syvyys alle 30 mm), korroosioaur. Käsittely	14,6 jm	28,29	413	KOR s.21
Piikkaus ja valukorjaus, pieni alle 50 litraa	5,5 kpl	55,78	307	KOR s.20
Piikkaus ja valukorjaus, suuri yli 50 litraa	1,1 kpl	58,85	65	KOR s.20
Tasoite 2,5 kertaa	109,5 m2	4,13	452	ROK s.189
Maalaus 2 kertaa, betonipinta	109,5 m2	6,36	696	ROK s.147
Ikkunoiden vesipeltien purku	144 jm	3,06	441	KOR s.24
Ikkunoiden uudet vesipellit	144 jm	11,99	1727	ROK s.242
Myrskypellit	276 jm	12,5	3450	ROK s.242
Syöksytorvet	105 jm	15	1575	ROK s.161
Teline, kiinteä terästeline, ilman suojausta, 5 kk (1 kk purkua ilman telinettä)	910,9 m2	16,8	15303	KOR s.58
Suojapeite, julkisivu, 5 kk	910,9 m2	3,6	3279	KOR s.58
Ulkoremontin suojaus- ja aputyöt	910,9 m2	3,31	3015	ROK s.37
Työmaan johto (puolipäiväinen), ulkoremonttikohde	6 kk	3000	18000	KOR s.36
Työmaatekniikka, korjauskohde	6 kk	1755	10530	KOR s.39
Jätelava, kuljetus ja kaatopaikkamaksut, 2 krm / kk	12 krm	350	4200	ROK s.248
<b>YHTEENSÄ</b>			<b>146320</b>	

Raskas korjaus, vaihtoehto 1, ohutrappaus  
Toteutuskustannukset

MUITA KULUJA

ALV 0%

Nimike	Määrä	€ / yksikkö	YHT. €	LÄHDE
Rakennuttamistehtävät, korjauskohde	1 erä	5000	5000	DOV
Valvonta, korjauskohde	6 kk	3000	18000	DOV
Arkkitehti- ja pääsuunnittelu, julkisivukorjauskohde	910,9 m2	7	6376	ROK s.247 DOV
Rakennesuunnittelu, julkisivukorjauskohde	910,9 m2	7	6376	KOR s.36 DOV
<b>YHTEENSÄ</b>			<b>35753</b>	

ROK = Rakennusosien kustannuksia 2012. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2012.

KOR = Korjausrakentamisen kustannuksia 2012. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2012.

DOV = Doventus Oy

## Toteutuskustannusten laskenta, raskas korjaus, vaihtoehto 2

Raskas korjaus, vaihtoehto 2, kolmikerrosrappaus  
Toteutuskustannukset

KORJAUSURAKKA		ALV 0 %		
Nimike	Määrä	€/ yksikkö	YHT. €	LÄHDE
Ulkokuoren purku koneellisesti	812,2 m2	15,91	12922	KOR s.21
Betonijätmaksut	121,8 t	26	3168	ROK s.248
Betonijäte, jätelava ja kuljetus	15 krt	100	1500	ROK s.248
Lämmöneristekerroksen purku	812,2 m2	5,2	4223	KOR s.19
Eriste, mineraalivilla 130 mm, kuormitettu	786,8 m2	18,88	14855	ROK s. 86, 146, 238
Kolmikerrosrappaus	786,8 m2	61,46	48357	ROK s.146
Eteläisivun maan kaivuu ja täyttö (h=300)	54 jm	48,909	2641	KOR s.16
Eteläisivun sokkeli (h=500)	27 m2	74,28	2006	ROK s.105
Eteläisivun sokkelin tasoitus ja bitumikermi	27 m2	24,5	662	ROK s.32
Betonijulkisivun märkähiekkapuhallus	109,5 m2	7	767	KOR s.20
Betoniterästen esiinpiikkaus (syvyys alle 30 mm) ja käsittely	14,6 jm	9,54	139	KOR s.20
Laastipaikkaus (syvyys alle 30 mm), korroosioaur. Käsittely	14,6 jm	28,29	413	KOR s.21
Piikkaus ja valukorjaus, pieni alle 50 litraa	5,5 kpl	55,78	307	KOR s.20
Piikkaus ja valukorjaus, suuri yli 50 litraa	1,1 kpl	58,85	65	KOR s.20
Tasoite 2,5 kertaa	109,5 m2	4,13	452	ROK s.189
Maalaus 2 kertaa, betonipinta	109,5 m2	6,36	696	ROK s.147
Ikkunoiden vesipeltien purku	144 jm	3,06	441	KOR s.24
Ikkunoiden uudet vesipellit	144 jm	11,99	1727	ROK s.242
Myrskypellit	276 jm	12,5	3450	ROK s.242
Syöksytorvet	105 jm	15	1575	ROK s.161
Teline, kiinteä terästeline, ilman suojausta, 5 kk (1 kk purkua ilman telinettä)	910,9 m2	16,8	15303	KOR s.58
Suojapeite, julkisivu, 5 kk	910,9 m2	3,6	3279	KOR s.58
Ulkoremontin suojaus- ja aputyöt	910,9 m2	3,31	3015	ROK s.37
Työmaan johto (puolipäiväinen), ulkoremonttikohde	6 kk	3000	18000	KOR s.36
Työmaatekniikka, korjauskohde	6 kk	1755	10530	KOR s.39
Jätelava, kuljetus ja kaatopaikkamaksut, 2 krm / kk	12 krm	350	4200	ROK s.248
<b>YHTEENSÄ</b>			<b>154691</b>	

Raskas korjaus, vaihtoehto 2, kolmikerrosrappaus  
Toteutuskustannukset

MUITA KULUJA

ALV 0 %

Nimike	Määrä	€ / yksikkö	YHT. €	LÄHDE
Rakennuttamistehtävät, korjauskohde	1 erä	5000	5000	DOV
Valvonta, korjauskohde	6 kk	3000	18000	DOV
Arkkitehti- ja pääsuunnittelu, julkisivukorjauskohde	910,9 m2	7	6376	ROK s.247 DOV
Rakennesuunnittelu, julkisivukorjauskohde	910,9 m2	7	6376	KOR s.36 DOV
<b>YHTEENSÄ</b>			<b>35753</b>	

ROK = Rakennusosien kustannuksia 2012. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2012.

KOR = Korjausrakentamisen kustannuksia 2012. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2012.

DOV = Doventus Oy



## Toteutuskustannusten laskenta, raskas korjaus, vaihtoehto 3

Raskas korjaus, vaihtoehto 3, tiilimuuraus  
Toteutuskustannukset

KORJAUSURAKKA

ALV 0 %

Nimike	Määrä	€/ yksikkö	YHT. €	LÄHDE
Ulkokuoren purku koneellisesti	812,2 m2	15,91	12922	KOR s.21
Betonijätetmaksut	121,8 t	26	3168	ROK s.248
Betonijäte, jätelava ja kuljetus	15 krt	100	1500	ROK s.248
Lämmöneristekerroksen purku	812,2 m2	5,2	4223	KOR s.19
Eriste, mineraalivilla 100 mm, ulkoseinä	786,8 m2	10,83	8521	ROK s. 86 ROK s.238
Eriste, mineraalivilla 50 mm, tuulensuoja	786,8 m2	16,61	13069	ROK s. 86 ROK s.239
Tiilimuuraus NRT 130, puhtaaksimuuraus	786,8 m2	72,33	56909	ROK s.86
Eteläisivun maan kaivuu ja täyttö (h=300)	54 jm	48,909	2641	KOR s.16
Eteläisivun sokkeli (h=500)	27 m2	74,28	2006	ROK s.105
Pohjoissivun maan kaivuu ja täyttö (h=1500)	54 jm	244,545	13205	KOR s.16
Pohjoissivun sokkeli (h=2800)	151,2 m2	74,28	11231	ROK s.105
Päätyjen maan kaivuu ja täyttö (h=900)	12 jm	146,727	1761	KOR s.16
Päätyjen sokkeli (h=2800)	33,6 m2	74,28	2496	ROK s.105
Sokkelien tasoitus ja bitumikermi	102,3 m2	24,5	2506	ROK s.32
Tasoite 2,5 kertaa	109,5 m2	4,13	452	ROK s.189
Maalaus 2 kertaa, betonipinta	109,5 m2	6,36	696	ROK s.147
Ikkunoiden vesipeltien purku	144 jm	3,06	441	KOR s.24
Ikkunoiden uudet vesipellit	144 jm	11,99	1727	ROK s.242
Myrskypellit	276 jm	12,5	3450	ROK s.242
Räystään purku	132 jm	6,64	876	KOR s.28
Räystään jatkaminen	132 jm	29,86	3942	ROK s.157
Räystään pellitys	54 m2	33,24	1795	ROK s.158
Päätykolmion pellitys	14,6 m2	33,24	485	ROK s.158
Räystäskouru	108 jm	25	2700	ROK s.237
Syöksytorvet	105 jm	15	1575	ROK s.161
Teline, kiinteä terästeline, ilman suojausta, 7 kk (1 kk purkua ilman telinettä)	910,9 m2	16,8	15303	KOR s.58
Suojapeite, julkisivu, 7 kk	910,9 m2	3,6	3279	KOR s.58
Ulkoremontin suojaus- ja aputyöt	910,9 m2	3,31	3015	ROK s.37
Työmaan johto (puolipäiväinen), ulkoremonttikohde	8 kk	3000	24000	KOR s.36
Työmaateknikka, korjauskohde	8 kk	1755	14040	KOR s.39
Jätelava, kuljetus ja kaatopaikkamaksut, 2 krm / kk	12 krm	350	4200	ROK s.248

**YHTEENSÄ**

**218135**

Raskas korjaus, vaihtoehto 3, tiilimuuraus  
Toteutuskustannukset

MUITA KULUJA		ALV 0 %		
Nimike	Määrä	€ / yksikkö	YHT. €	LÄHDE
Rakennuttamistehtävät, korjauskohde	1 erä	5000	5000	DOV
Valvonta, korjauskohde	8 kk	3000	24000	DOV
Arkkitehti- ja pääsuunnittelu, julkisivukorjauskohde	910,9 m2	7	6376	ROK s.247 DOV
Rakennesuunnittelu, julkisivukorjauskohde	910,9 m2	9	8198	KOR s.36 DOV
<b>YHTEENSÄ</b>			<b>43574</b>	

ROK = Rakennusosien kustannuksia 2012. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2012.

KOR = Korjausrakentamisen kustannuksia 2012. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2012.

DOV = Doventus Oy



## TULOKSET

Taloudellinen pitoaika, v

60
5
0,08
24
Helsinki

Laskentakorko, %

Energianhinta, €/kWh

Arvonlisävero, %

Tarkastelupaikkakunta

Liinkaaniik

## Taulukko 1

	Liinkaaniik ust, yht €/yks	Investointi €/yks	KP €/yks	Energia €/yks	Jäännösarvo €/yks
Alkuperäinen rakenne	74,1	0,0	0,0	74,1	0,0
RVE1: Ohutrappaus	325,8	247,9	22,5	55,4	0,0
RVE2: Kolmikerrosrappaus	341,6	259,2	22,5	59,8	0,0
RVE3: Tiilimuuraus	418,9	356,3	7,2	55,4	0,0

