

Emma Pöysti

Eri julkisivuratkaisujen taloudellinen vertailu kerrostalokohteessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

7.4.2016

Tekijä(t) Otsikko	Emma Pöysti Eri julkisivuratkaisujen taloudellinen vertailu kerrostalokohteissa
Sivumäärä Aika	64 sivua 7.4.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Projektihallinta
Ohjaaja(t)	Rakennuspäällikkö, Sami Alanen Projektipäällikkö, Jukka Puolakka Lehtori, Tapani Järvenpää
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Rakennusliike Laptille. Opinnäytetyössä vertailtiin neljän eri julkisivuvaihtoehdon taloudellisia kustannuksia kolmessa erilaisessa kerrostalokohteessa. Tavoitteena oli selvittää kohteittain eri julkisivujen investointi- ja kokonaiskustannukset. Yritys kaipasi kokonaiskuvaa julkisivujen taloudellisten kustannusten muodostumisesta. Työssä tutkittiin, onko puuelementtien takuuajaksilla kustannuksilla taloudellista merkitystä. Minkälaisia aikatauluvaikutuksia ja siitä seuraavia kustannuksia on eri elementtien välillä sekä onko rakennuksen koolla tai monimuotoisuudella vaikutusta eri julkisivuratkaisujen välillä.</p> <p>Tutkimuksen osana olivat haastattelut sekä eri kirjallisuuslähteet. Haastatteluja ja kyselyitä tehtiin pääasiassa yrityksen omalle henkilökunnalle, mutta myös yrityksen yhteistyökumppaneille. Hintatietoja saatiin yrityksen omasta projektipankista mm. vuosisopimuksista. Hankinnan ja laskennan kanssa käytiin läpi toteutuneita hintoja, tarjouspyyntöjen keskiarvoja sekä laskennassa käytettäviä yksikköhintoja.</p> <p>Kun aikataulu- ja takuutyökustannukset huomioidaan julkisivun kokonaiskustannuksissa, on kaikissa kohteissa samat julkisivuvaihtoehdot edullisimmasta kalleimpaan. Julkisivujen tulokset muodostuvat erilaisiksi investointi- ja kokonaiskustannusten välillä. Aikataulukustannuksilla on vaikutusta tuloksiin. Tutkimuksessa havaittiin myös että sekarakenteissa, joissa on kahta erilaista rakennetyyppiä, on niiden neliömäärien välisellä suhteella vaikutusta kustannustehokkuuteen.</p> <p>Tulosten tarkastelussa on muistettava kriittisyys. Aikataulukustannuksilla on sitä suurempi vaikutus kokonaiskustannuksiin, mitä pidempi rakennusaika on, ja mitä isommat ovat työmaan käyttökustannukset. Tästä syystä on hyvä tutkia myös investointikustannuksia ja miettiä kohdekohtaisesti, mikä on aikatauluvaikutus juuri kyseisessä kohteessa.</p>	
Avainsanat	Julkisivuratkaisut, investointikustannukset, kokonaiskustannukset

Author(s) Title	Emma Pöysti Comparison of Facade Solutions in Apartment Buildings
Number of Pages Date	64 pages 7 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Project Management for Construction
Instructor(s)	Sami Alanen , Construction Manager Jukka Puolakka, Project Manager Tapani Järvenpää, Senior Lecturer
<p>This graduate study was made for Rakennusliike Lapti Oy. The study compares four different facade costs for three different apartment buildings. The objective of this study was to determine investment costs and total costs of apartment buildings. The company needed to form an the overall picture of the cost formation of the facades. Researched was done on whether guarantee period costs have an economic impact, as well as how the schedule is affected and the costs incurred between the different facade solutions.</p> <p>The methods used in this study were interviews as well as study of different literature sources. The data was collected from the company's own employees but also from the company's cooperation partners. Price information was obtained from the company's own project bank where, for example pricing on one-year-contracts is stored. Actual costs, average tender prices and unit prices were analyzed together with the procurement staff and estimators.</p> <p>When the schedule cost and cost of guarantee work are taken into account in the total cost comparison, the same facade solutions were considered for all destinations from the most economical to the most expensive. The results based on different facades are different between the investment and the total costs. Schedule costs have an impact on the results. The research also proved that in mixed construction with two different types of structure, the ratio between the square volumes has an effect on of cost-effectiveness.</p> <p>In analyzing the results, a critical stance must be maintained. The longer the construction time is, the more the schedule costs affect the total cost, and the bigger the worksite's operating costs are. For this reason, it is advisable to examine the investment costs and consider the individual timetable effects in every project.</p>	
Keywords	Facades, investment cost, total costs

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Yritys	1
1.2	Työn tavoitteet	1
1.3	Työn rajaus	2
2	Työn toteutus	4
2.1	Haastattelut	4
3	Julkisivuratkaisut	6
3.1	Julkisivumuuraus	6
3.1.1	Betoninen sisäkuorielementti	9
3.1.2	Puuelementti	10
3.1.3	Elinkaari	11
3.2	Rappauselementti	12
3.2.1	Elinkaari	15
3.3	Sandwich-elementti	15
3.3.1	Elinkaari	17
3.3.2	Hienopesty valkobetoni	18
3.3.3	Maalattu betoni	19
3.3.4	Graafinen betoni	19
4	Kohteet	22
4.1	Kohde 1	22
4.1.1	Investointikustannukset	24
4.2	Kohde 2	27
4.2.1	Investointikustannukset	28
4.3	Kohde 3	30
4.3.1	Investointikustannukset	31
5	Kohdekohtainen kustannusvertailu	35
5.1	Aikataulusidonnaiset kustannukset	35
5.2	Takuaaikaiset kustannukset	37
5.3	Kohteen 1 kustannukset	38
5.4	Kohteen 2 kustannukset	41
5.5	Kohteen 3 kustannukset	44

6	Kohteiden välinen vertailu	48
6.1	Sandwich-elementti	48
6.1.1	Hienopesty valkobetoni vs. graafinen betoni	50
6.2	Rappauselementti ja sandwich-elementti	51
6.3	Puuelementti ja betoninen sisäkuorielementti + julkisivumuuraus	55
6.3.1	Puuelementtien kustannustehokkuus	56
6.4	Sisäkuorielementti + julkisivumuuraus	57
6.5	Työmaalla tehtävän työn vähentäminen	58
7	Tulokset	59
7.1	Kriittisyys tarkastelu	62
8	Yhteenveto	64

Lähteet

Lyhenteet ja sanasto

BRM ²	Bruttoala; Rakennuksen ulkoseinien ulkopinnasta mitattu kokonaislaajuus. Bruttoalaan kuuluu kaikki rakennettu ala
CO ₂	Hiilidioksidi
HTM ²	Huoneistoala; Huoneistoalaan lasketaan myytävien / vuokratavien asuntojen pinta-ala, mukaan lukien huoneistojen kevyet väliseinät. Huoneistoalaan ei lasketa rakennuksen porrashuoneita, teknisiä tiloja, ulkoseiniä, hormeja eikä kantavia rakenteita
Investointikustannukset	Tässä; julkisivuelementtien hankintahinta sekä työ- ja materiaalikustannukset valmiista julkisivupinnasta sisäpintaan ennen tasoite- ja maalaustöitä
Karbonatisoituminen	Betonin neutraloitumisreaktio eli karbonatisoituminen on seurausta hiilidioksidin tunkeutumisesta betoniin ja sen aiheuttamasta betonin huokosveden emäksisyyden (pH) alenemisesta
KEM ²	Rakennusoikeus eli kerrosala. Rakennusoikeuteen lasketaan kerrosten pinta-alat sekä se kellarin ja ullakon ala, johon on sijoitettu rakennuksen pääasialliseen käyttötarkoituksen mukaisia tiloja
Kokonaiskustannukset	Tässä; investointikustannuksiin on lisätty aikataulusidonnaiset kustannukset sekä puuelementtien takuuajaiset kustannukset
Korroosio	Teräskorroosio on mahdollista emäksisessä betonissa, jossa betonin teräkselle antama kemiallinen suoja (passiivikalvo) on hävinnyt ja rakenteessa vallitsee otolliset happi- ja kosteusolosuhteet

Littera	Kustannusseurannassa käytettävä kohdistuskoodi, jolla toteutum tiedot kohdistetaan seurannan mukaisille tavoitteille
RATU-Kortisto	Talonrakennuksessa käytettävä julkinen tiedosto, jossa on suunnittelutehtäviin tarkoitettu perustiedosto. Tiedosto sisältää laskelmia ja ohjeita työhön käytettävistä menekeistä ja menetelmistä
SK	Teräsbetoninen sisäkuorielementti, jota käytetään kantavissa ja ei-kantavissa ulkoseinäelementeissä
Smyygi	Ikkunan pielissä käytettävä lista
Yksikköhinta	Nimikkeen hinta, joka sisältää nimikkeen työ- ja tarvikepanokset ja yleiskulut
8-9 Litterat	Työmaan käyttö ja yhteiskustannukset

1 Johdanto

Työn tilaajana on Rakennusliike Lapti. Tähän projektiin lähdettiin, koska yritys haluaa kokonaiskuvan kustannuksiin vaikuttavista tekijöistä. Halutaan selvittää, onko puuelementtien takuuajaisilla korjauksilla merkittävää vaikutusta kokonaiskustannuksiin. Tutkitaan, minkälaisia lisäkustannuksia eri julkisivuratkaisujen tuotantonopeuden vaihtelut tuovat sekä kuinka suuren osan työmaalla tehtävä työ aiheuttaa kokonaiskustannuksista.

1.1 Yritys

Rakennusliike Lapti Oy on perustettu 1990, ja tänä päivänä se kuuluu Harjavalta-konserniin, joka on perinteikäs perheomisteinen yritys. Laptin toimitusjohtajana toimii Timo Pekkarinen. Lapti työllistää noin 260 henkilöä, ja vuonna 2015 sen liikevaihto oli 114 miljoonaa euroa.

Lapti on viime vuosina voimakkaasti kasvanut vakavarainen rakentaja. Lapti toimii valtakunnallisesti koko Suomessa ja toimipisteet löytyvät Etelä-, Itä- ja Pohjois-Suomesta. Vuonna 2015 avattiin toimipiste myös Pirkanmaalle.

Laptin erityisosaamista ovat asuntorakentaminen sekä erilaiset hoivarakennukset, kuten hoivakodit, päiväkodit ja senioritalot. Yritys on Suomen johtava hoivakiinteistöjen rakentaja. Myös erilaiset toimistorakennukset ja urakkakohteet kuuluvat yrityksen toimenkuvaan.

1.2 Työn tavoitteet

Tässä työssä tehdään taloudellista vertailua eri julkisivuratkaisujen välillä. Työssä selvitetään investointi- ja kokonaiskustannukset kolmelle uudiskerrostalokohteelle neljällä eri julkisivuvaihtoehdolla toteutettuna. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kokonaiskustannuksiin vaikuttavat työ ja materiaalikustannukset.

Tutkitaan, minkälaisia vaikutuksia eri julkisivuratkaisuilla on projektin kokonaiskesto- ja miten tuotantonopeus vaikuttaa kokonaiskustannuksiin. Selvitetään, onko puuelementtien takuutöillä vaikutusta kokonaiskustannuksiin.

Työn tavoitteena on saada tulokseksi julkisivuvaihtoehdot kohteittain, edullisimmasta kalleimpaan. Työssä halutaan lisäksi tutkia tuloksiin vaikuttavia syitä. Tutkitaan esimerkiksi, onko rakennuksen koolla tai muodolla vaikutusta. Tutkitaan, mikä vaikutus eri elementtityyppien välisellä suhteella sekarakenteissa on investointikustannusten muodostumiseen. Selvitetään myös, miten iso vaikutus työmaalla tehtävällä työllä on kustannuksiin ja mikä vaikutus on työn yksikköhinnan muutoksella.

1.3 Työn rajaus

Tutkimuksessa huomioidaan ainoastaan investointikustannukset valmiista julkisivupinnasta sisäpintaan, ennen tasoitus- ja maalaustöitä. Kustannuksissa ei huomioida muita julkisivun rakennusosia, kuten parvekkeita, ikkunoita ja ovia. Puuelementeissä ikkunat ovat valmiiksi asennettuna, joten betonielementeissä huomioidaan ainoastaan ikkunoista aiheutuvat asennuskustannukset. Kaikissa runkoratkaisuissa on oletuksena ontelolaatat välipohjana.

Tutkimuksessa ei huomioida talvesta tai muista erikoistilanteista aiheutuvia lisäkustannuksia, vaan laskenta suoritetaan normaaliolosuhteissa. Vertailukohteiden eriaikaisesta rakennusajasta huolimatta, kustannukset lasketaan tämän hetken hintatason mukaan, eikä kohteisiin huomioida indeksikorotuksia.

Kohteissa olevia autokatoksia, parkkihalleja, pihavarastoja, jätekatoksia ym. ei huomioida kustannuksissa. Myös kohteissa olevat kuorielementit ja sokkelielementit on jätetty huomioimatta.

Vuosikorjauskustannukset huomioidaan laskennallisesti ainoastaan puuelementeissä, joista lasketaan nurkkahalkeamista aiheutuvat kustannukset. Muissa julkisivuratkaisuissa vuosikorjausten määrä jää suhteellisen pieneksi, ettei niitä koeta tarpeelliseksi huomioida laskennassa. Kolmannessa luvussa käsitellään julkisivujen hyviä ja huonoja puolia sekä elinkaaren aikana mahdollisesti tulevia vaurioita ja odotettavia korjaustoimenpiteitä. Laskennassa elinkaarikustannuksia ei kuitenkaan oteta huomioon.

Tuotantonopeuden vaihtelut huomioidaan muuttuvina aikataulukustannuksina. Aikataulusidonnaisia kustannuksia vertaillaan Talo 80 -nimikkeistön ja nimikkeistöön liittyvien litteroiden avulla. Litteroita on 0-9 ja työssä huomioidaan ainoastaan 8-9 litterat, jotka sisältävät työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset. 8-9 litteroista muodostuvat jokaisen

vertailukohteen aikataulusidonnaiset kustannukset, mitkä huomioidaan kokonaiskustannuksissa.

2 Työn toteutus

Työ toteutetaan työmaahenkilöstön, hankinnan, laskennan ja tuotanto-organisaation avulla. Tutkimuksen lähtötietoja kartoitetaan haastatteluiden avulla. Julkisivuratkaisujen tuotantonopeuden vaikutusta kokonaisrakennusaikaan selvitetään haastatteluiden avulla. Lisäksi tuotantonopeuden selvittämiseen käytetään apuna yrityksen käyttämää Schedule Planner -aikatauluohjelmaa. Ohjelman avulla saadaan kaikkiin kolmeen kohteeseen toteutettua projektin aikataulu. Julkisivuratkaisua muuttamalla nähdään, mikä on vaikutus rakennuksen kokonaisrakennusaikaan. Haastatteluilla halutaan myös selvittää, mikä on yleinen mielipide ja minkälaisia kokemuksia työmaahenkilöstöllä on eri julkisivuratkaisuista. Haastatteluiden lisäksi tutkimuksessa käytetään paljon eri kirjallisuuslähteitä.

Lähtökohtana on selvittää tarkasti kuhunkin julkisivuratkaisuun kuuluvat nimikkeet, jotta saadaan oikeat materiaalit oikeaan paikkaan ja laskettua riittävä määrä kunkin julkisivun vaatimaa työtä. Julkisivuratkaisujen yksikköhintojen selvityksessä käytetään apuna yrityksen omaa tietokantaa kustannuksista. Suurin osa yksikköhinnoista saadaan yrityksen projektipankkiin tallennetuista vuosisopimuksista, urakkasopimuksista sekä toteutuneista kustannuksista. Hankinnan kanssa käydään läpi mm. elementtien hankintahintoja ja näihin otetaan keskiarvot toteutuneista kustannuksista sekä tarjouspyynnöistä. Laskennan kanssa käydään läpi työssä käytettävät yksikköhinnat, ja verrataan niitä laskennan käyttämiin yksikköhintoihin.

Salassapidon vuoksi kaikki yksikköhinnat, investointi- ja kokonaiskustannukset on muutettu kertoimien avulla, eivätkä vastaa yrityksen oikeita kustannuksia. Kustannuserot ja prosentuaaliset erot kustannusten välillä ovat oikeassa suhteessa toisiinsa nähden.

2.1 Haastattelut

Haastatteluissa tuli hyviä ideoita, miten insinööryötä kannattaa lähteä toteuttamaan ja mihin olisi hyvä kiinnittää tutkimuksessa huomioita. Esimerkiksi kustannusten osalta olisi hyvä verrata tutkimuksessa muodostuvia kustannuksia toteutuneisiin, jotta saadaan perspektiiviä kustannusten todellisuudesta. Työmaalla tehtävän työn määrään ja kustannuksiin tulisi kiinnittää erityistä huomiota, jotta eri vaihtoehdoista todella saadaan vertailukelpoisia. Yhtenä ideana nousi esille mieltä, löytyisikö jokin työvaihe, jonka voisi jatkossa tehdä jo elementtitehtaalla ja näin saada kokonaiskustannuksia alennettua.

Haastatteluiden avulla yritin selvittää, onko elementtinelioilla tiettyä rajaa, jonka ylittyessä neliöhinta laskee huomattavasti. Onko rakennuksen koolla tai monimuotoisuudella vaikutusta siihen, mikä julkisivuratkaisuista olisi kustannustehokkain. Onko julkisivuratkaisuissa, joissa on kahta eri elementtityyppiä, huomattu jotain tiettyä suhdetta elementtien välillä millä rakenteesta muodostuisi mahdollisimman kustannustehokas. Näihin kysymyksiin ei haastatteluista kuitenkaan löytynyt vastausta, joten päätin tutkia niitä tarkemmin tässä työssä.

Etenkin työmaahenkilöstön mielipide puuelementtien käytöstä kiinnosti. Mielipiteet olivat hieman vaihtelevia. Puuelementtien hyvinä puolina oli koettu niiden edullisempi hankintahinta ja mittatarkkuus. Huonoina puolina nähtiin työmaalla tehtävän työn määrä, kosteudenhallinta ja aikatauluviive. Useimmat olivat myös sitä mieltä, ettei ulkoseinärakenteissa tulisi sekoittaa puuelementtejä ja betonielementtejä.

3 Julkisivuratkaisut

Tutkimukseen on valittu neljä erilaista julkisivuratkaisua, jotka rajattiin koskemaan seuraavia kokonaisuuksia

- betoninen sisäkuorielementti + julkisivumuuraus
- puuelementti ja betoninen sisäkuorielementti + julkisivumuuraus
- betoninen rappauselementti ja betoninen sandwich-elementti
- betoninen sandwich-elementti, kahdella eri pintamateriaalilla
 - hienopesty valkobetoni ja maalattu betoni
 - graafinen betoni ja maalattu betoni.

Tässä luvussa käsitellään neljää erilaista rakennetyyppiä, ja tarkastellaan rakennetyyppien ulkoverhousta julkisivumateriaalina. Tutkitaan julkisivutyyppejä ja niille mahdollisia vaurioiden aiheuttamia korjaus- ja huoltotoimenpiteitä, rakennuksen elinkaaren aikana.

3.1 Julkisivumuuraus

Tiilet valmistetaan savesta, hiekasta, kalkista ja sahanpurusta polttamalla. Tiilen rei'ityksellä parannetaan tiileen puristuslujuutta. [12.] Tiilen pakkasenkestävyys on sitä parempi, mitä korkeammassa lämpötilassa se poltetaan [21].

Tiiltä on käytetty rakennusmateriaalina jo tuhansien vuosien ajan. Monet vanhat tiilirakennukset ovat edelleen hyväkuntoisia. Tiili on tehokkaasti ääntä eristävä ja turvallinen rakennusmateriaali: se ei pala, lahoa eikä ruostu. Tiilet ja muurauksessa käytettävät laastit luokitellaan palamattomiin rakennustarvikkeisiin, eli ne eivät syty eivätkä käytännössä kehitä savua tai palavaa kaasua. [15.] Poltettu tiili kestää suuriakin lämpötila- ja kosteusvaihteluita. Lisäksi tiili on kaikista kivipohjaisista rakennusmateriaaleista nopeimmin kuivuva, mikä vähentää mm. rakennusaikaisia kosteusriskejä. [12.]



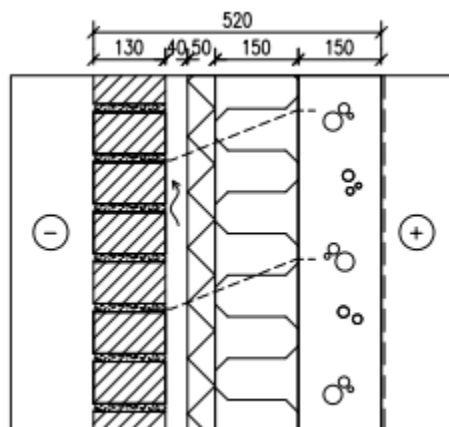
Kuva 1. Muurattu julkisivu

Kuvassa 1 on esimerkki puhtaaksimuuratusta julkisivusta. Julkisivumuuraus kiinnitetään lämpö- ja kosteusliikkeet sallivilla muuraussiteillä runkorakenteeseen. Julkisivumuurauksen liikuntasaumot ja kutistumisteräukset määräytyvät rakennesuunnitelman mukaan. Jos julkisivussa on aukkoja, suositellaan, ettei liikuntasaumojen väli olisi yli 12 metriä. Liikuntasauomoilla eliminoidaan muodonmuutosten aiheuttamat jännitykset sekä estetään näin tiilirakenteiden halkeilu. Liikuntasaumojen on kuitenkin oltava riittävän leveät, noin 15–20 mm, jotta ne voivat ottaa vastaan rakenteen liikkeet. Julkisivutiilen paksuus on vähintään 130 mm yli 10 m korkeissa yhtenäisissä muurauksissa. Myös viistosateelle alttiissa paikoissa ja räystäättömissä rakennuksissa suositellaan käytettäväksi vähintään 130 mm paksua tiiltä. Julkisivumuurauksen taustan tuuletusvälin on oltava vähintään 30 mm koko ulkoverhouksen takana. Tuuletusvälin on säilyttävä myös ovien ja ikkunoiden ylityksissä. Alimman tiilirivin vähintään joka kolmas sauma on jätettävä auki, jotta tuuletusväliin tai eristetilaan joutunut vesi voidaan johtaa ulos rakenteesta. [10.]

Tässä tutkimuksessa on käytetty kahta erilaista rakennetyyppiä, joissa molemmissa on ulkoverhouksena tiilimuuraus. Toisessa rakennetyypissä on runkona puuelementti ja toisessa betoninen sisäkuorielementti. Tarkastellaan hieman tarkemmin näitä kahta rakennetyyppiä.

3.1.1 Betoninen sisäkuorielementti

Rakenneleikkaus betonisesta sisäkuorielementistä julkisivumuurauksella on esitetty kuvassa 2. Rakenneleikkauksessa on 150 mm paksu teräsbetoninen sisäkuori. Sisäkuorielementteihin kiinnitetään mekaanisesti 150 mm paksu mineraalivilla ja eristeen päälle 50 mm paksu tuulensuojavilla. Mineraalivilla ja tuulensuojalevy on asennettava limittäin toisiinsa nähden. Tuulensuojalevyjen saumat viimeistellään teippauksella. Kantavan ja ei-kantavan sisäkuorielementin rakenneleikkaus on samanlainen, koska molemmissa sisäkuoren paksuus on 150 mm, mutta rauditus on erilainen.

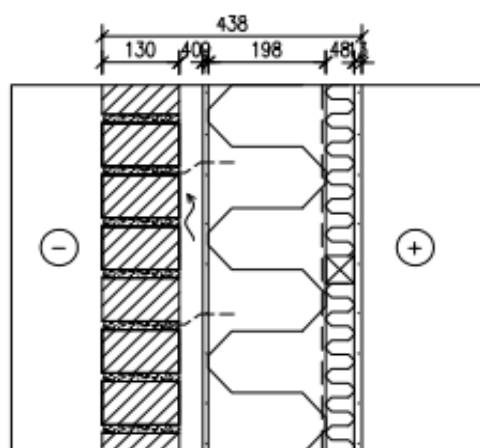


- 130 mm TIILIVERHOUS, ARK.MUKAAN, SAUMAUUS MUURAUKSEN YHTEYDESSÄ
TIILIJEN JA SAUMOJEN ON OLTAVA PAKKASENKESTÄVIÄ
MUURAUSSITEET #4
- 40 mm TUULETURAKO
- 50 mm TUULENSUOJAMINERAALIMILLA Esim. Isover RKL-Facade
- 150 mm LÄMMÖNERISTE, MINERAALIVILLA Esim. ISOVER KL37
- 150 mm KANTAVA TERÄSBETONISEINÄ
RAKENNESUUNNITELMAN MUKAAN
PINTAKÄSITTELY HUONESELITYKSEN MUKAAN

Kuva 2. Rakenneleikkaus, betoninen sisäkuorielementti ja julkisivumuuraus

3.1.2 Puuelementti

Puuelementin rakenneleikkaus on kuvassa 3. Tässä työssä tarkastellaan puuelementtiä ainoastaan ei-kantavana ulkoseinä rakenteena. Puuelementissä on rungon asennusvaiheessa ulospäin tuulensuojakipsilevy, 198 mm paksu puurunko, jonka välissä on eristeenä mineraalivilla sekä sisäpuolella höyrynsulkumuovi. Puurungon paksuus voi myös olla jokin muu, halutun U-arvon mukaan. Ennen julkisivumuurausten aloittamista puuelementit viimeistellään ulkoapäin. Puuelementtien saumat ja liitokset on villoitettava sekä elementtien ja betonisten parveke-elementtien välit on tilkittävä villa tilkkeellä. Julkisivumuuraus kiinnitetään mekaanisesti muuraussiteillä puurunkoon. Vasta kun kaikki ulkoseinäelementit ja vesikatto on saatu asennettua, voidaan puuelementtejä ruveta työstämään sisältäpäin.



- | | | |
|-----|----|--|
| 130 | mm | TILIVERHOUS, ARK. MUKAAN, SAUMAUUS MUURAUKSEN YHTEYDESSÄ TIILIJEN JA SAUMOJEN ON OLTAVA PAKKASENKESTÄVIÄ MUURAUSSITEET Ø4 |
| 40 | mm | TUULETUSRAKO |
| 9 | mm | TUULENSUOJA KIPSILEVY Esim GYPROC GTS9 |
| 198 | mm | PYSTYRUNKO 48x198 k600 + RUNKOVÄLEISSÄ LÄMMÖNERISTE, MINERAALIVILLA Esim. ISOVER KL37 |
| 0,2 | mm | HÖYRYNSULKUMUOVI SFS 4225, E-LUOKKA, UV-SÄTEILYSUOJATTU SAUMAT LIMITETÄÄN 200mm JA SAUMOISSA TEIPPAUS HUOM! SAUNAN KOHDALLA HS-MUOVI KORVATAAN LÄMMÖNKESTÄVÄLLÄ ALUMIINIPAPERILLA! |
| 48 | mm | VAAKAKOOLAUS 48x48 k600 + VÄLEISSÄ LÄMMÖNERISTE, MINERAALIVILLA Esim. ISOVER KL37 |
| 13 | mm | EK-KIPSILEVY, Esim. GYPROC GEK-13
PINTAKÄSITTELY HUONESELITYKSEN MUKAAN |

Kuva 3. Rakennepiirros, ei-kantava puuelementti ja julkisivumuuraus

Puuelementeillä päästään suurempiin elementtikokoihin puun keveyden ansiosta, jolloin asennustyön määrä vähenee. Ulkoseinäelementtien maksimikoko voi olla 12000 x 3200 millimetriä. Puuelementeissä on tehtaalla valmiiksi asennettuna ikkunat ja sähköputkitukset.

Puuelementtien käyttöä kerrostalokohteissa on perusteltu sen huomattavasti edullisemmalla elementin neliöhinnalla, verrattuna sisäkuori-, rappaus tai sandwich-elementteihin. Puuelementin heikkous verrattuna betonielementteihin on sen herkkyys kosteudelle ja asennuksen jälkeinen työmäärä työmaalla, mikä vaikuttaa myös aikatauluun. Puuelementeissä olisi pyrittävä katkeamattomaan kuivaketjuun koko rakennusprojektin ajan. Kuivaketjulla tarkoitetaan kosteudelta suojattavien rakennusosien ja materiaalien, tässä puuelementtien kuivana pitoa valmistuksesta aina asennukseen asti. Tämä tuo lisäkustannuksia, kun verrataan, että samanlaisessa betonirakenteisessa talossa kuivuminen alkaa vasta vesikaton asennuksen jälkeen, jolloin se ei tarvitse samanlaista varomista kuin puuelementit. [4.]

Puun käyttöön rakennusmateriaalina vaikuttavat myös sen ekologisuus ja pieni hiilijalanjälki. Puu on uusiutuva rakennusmateriaali ja puutuotteiden valmistuksen aiheuttamat ympäristöhaitat ovat minimaaliset verrattuna esimerkiksi betonin valmistukseen. [14, s. 1.]

3.1.3 Elinkaari

Elinkaarta ajatellen tiilijulkisivun vahvuuksia ovat sen pitkäikäisyys, kestävyys ja vähäinen huollon tarve. Tiilijulkisivu on kestävyytensä ansiosta omiaan pohjoisen vaihteleviin ilmasto-olosuhteisiin.

Tiilen raaka-aineen hankinta eli saven nosto, raaka-aineen kuljetus tehtaalle, valmiin tuotteen kuljetus työmaalle ja asennusvaihe aiheuttavat päästöjä. Tehtaalla tiilen valmistuksen energiankäytössä aiheutuu hiilidioksidipäästöjä ja pieniä määriä muita päästöjä. Päästöistä huolimatta, tiilen pitkäikäisyys, vähäinen huollon tarve sekä kyky varastoida lämpöä ja päästöjä tekevät tiilestä rakennusmateriaalina ympäristöystävällisen, kun tarkastellaan koko elinkaarta. Elinkaaritarkastelussa ympäristöystävällisyyttä määritettäessä huomioidaan huolto ja ylläpito sekä uusiokäyttö- ja kierrätysmahdollisuus. [12.]

Bionova Consultingin vuonna 2013 tekemän tutkimuksen mukaan tiili julkisivumateriaalina vähentää CO₂-päästöjä rakennuksen käytön aikana. Lisäksi tutkimuksesta ilmeni, että tiilen lämmönvarausominaisuudesta johtuen tiilijulkisivun takana olevassa ilmaraossa lämpötila on lämmityskaudella keskimäärin noin asteen verran ulkolämpötilaa korkeampi. Tämä vaikuttaa positiivisesti sekä rakennuksen energiankulutukseen että sen päästöihin elinkaaren aikana. [16.]

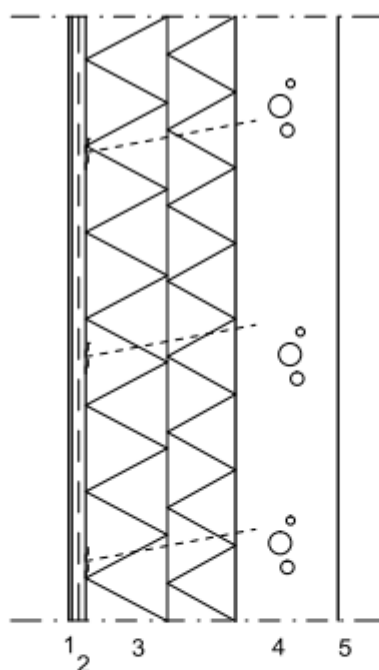
Julkisivumuurauksen elinkaaren aikana kustannuksia aiheuttavat mm. pakkasvauriot, suuresta kosteusrasituksesta aiheutuva kalkkihärme, halkeamat julkisivussa, saumalaastin rapautuminen ja elastisten liikuntasaumojen kunto. Kalkkihärmeen muodostuminen on tiilelle ominainen piirre, eikä suoranaisesti aiheuta kustannuksia. Ainoastaan, jos kalkkihärme pestään pois julkisivusta, syntyy kustannuksia.

Kustannuksia muodostuu mm. rikkinäisten tiilien vaihdosta ja saumalaastin uusimisesta. Liikuntasaumoja joudutaan myös uusimaan, koska ne ovat suurella koetuksella ottaessaan vastaan rakenteiden ja niiden osien muodonmuutoksia. [10.]

Muuratun julkisivun perusteellinen tarkastus tulisi suorittaa noin kymmenen vuoden välein ja saumarakenteet olisi hyvä tarkistaa viiden vuoden välein. Pääasiassa ympäristöolosuhteet aiheuttavat julkisivun likaantumista ja puhdistus tulisi suorittaa aina tarvittaessa. [10.]

3.2 Rappauselementti

Tutkimukseen on rappauselementiksi valittu Parmarappauselementti. Parmarappauselementissä yhdistyvät valmisosatekniikka ja perinteinen rappaus. Kuvassa 4 näkyy rakenneleikkaus Parmarappauselementistä. Rappauselementti koostuu 150 mm paksusta kantavasta tai ei-kantavasta teräsbetonisesta sisäkuoresta ja 220 mm paksusta lämmöneristeestä. Eristeen päällä on kuumasinkityllä verkolla lujitettu rappauskerros, joka on ankkuroitu ruostumattomilla kiinnitysosilla sisäkuoreen. [5.] Kantavan ja ei-kantavan rappauselementin ero on sisäkuoren rauditus. Ei-kantavassa rakenteessa rauditus on vähäisempi.



- | | |
|--------|--|
| 5 mm | 1 - PINTARAPPAUS ARK. MUKAAN |
| 20 mm | 2 - TEHDASRAPPAUS (PARMARAPPAUS) |
| 220 mm | 3 - RAPPAUSALUSTAKSI SOPIVA ERISTEVILLALEVY,
ESIM. PAROC FAS 1
TAI ISOVER FS5
TAI ISOVER OL-E |
| 150 mm | 4 - BETONI RAKENNEPIIRUSTUSTEN MUKAAN |
| | 5 - PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN |

Kuva 4. Rappauselementin rakenneleikkaus

Rappauselementissä on rungon asennusvaiheessa 20 mm kuitusementtipinta. Työmaalla täytetään ensin elementtien väliset saumat kuituvahvistetulla kalkkisementtilla ja tämän jälkeen tehdään kaksi kerrosta pintarappausta. Rappauskerroksia muodostuu siis yhteensä kolme, ja niiden kokonaispaksuus on 25 mm. Rappaus vastaa perinteistä paksurappausta, mutta on Parman omaa tekniikkaa. [1.]



Kuva 5. Parmarappaus julkisivu

Rakenteen hyviä puolia on tehtaalla valmiiksi tehty pohjarappaus, joka suojaa lämmöneristettä rakennusaikana ja mahdollistaa aikaisen rungon kuivatuksen ja lämpö päälle-valmiuden. Rappauselementti on näyttävä, kestävä ja saumaton julkisivu. [1.] Kuvassa 5 on As Oy Helsingin Emmy toteutettuna Parmarappauselementeillä.

Pintarappausta harvemmin tehdään talvisaikaan, koska se täytyisi tehdä säältä suojassa. Talvirappaus vaatii rakenteen ympärille telineet, huputuksen ja lämmityksen, mikä nostaa kustannuksia huomattavasti. Rappaus on mahdollista tehdä ilman huputusta säistä riippuen, huhtikuun puolesta välistä aina syyskuuhun saakka. Rappaukseen soveltuva aika on suhteellisen lyhyt, mutta sillä ei periaatteessa ole suurta merkitystä. Kuten aiemmin todettiin, elementtitehtaalla tehty rappaus suojaa eristettä ja mahdollistaa lämmön päälle laiton ja sisätyöt. Näin ollen rappauselementit voivat asennukseen jälkeen odottaa, kunnes sää on sopiva rappaukseen.

3.2.1 Elinkaari

Rappausjulkisivu on kestävä ja pitkäikäinen, kun se on rakenteellisilta yksityiskohdilta hyvin suunniteltu ja oikein toteutettu. Keskeisintä rappauksessa on huolehtia vesitiiveydestä. Vesi ja pakkanen ovat suurimmat syyt rappauksen laadun heikkenemiseen. [2, s. 175.]

Rappauselementeissä korjauksia elinkaaren aikana voi aiheuttaa rappauspinnan ja saumojen halkeilu. Mikäli vesi pääsee tunkeutumaan rappauksen alle, se saattaa irrottaa rappauksen alustasta ja rappauspinta lohkeilee pois. Parmarappauselementeissä, jotka on toteutettu ns. paksurappauksella, ei takuukorjauksia ole juurikaan ollut. Ohutrappauksessa on ollut ongelmia rappauksen laadun kanssa, mistä syystä Parma ei sitä enää käytä.

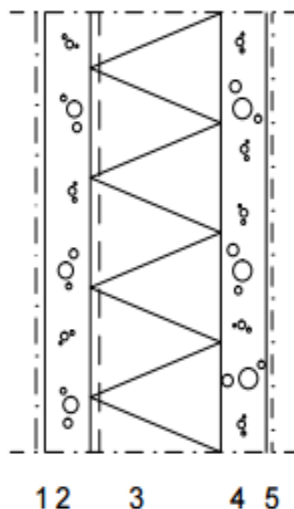
Hyvänä puolena voidaan pitää rappauselementin kestäväää laatua. Huonona puolena voidaan puolestaan pitää korjauksen haastavuutta. Mikäli rappausta joudutaan jälkikäteen korjaamaan, on paikkausjälki usein vaikea häivyttää. Liian kylmällä tehty rappaus aiheuttaa myös sen, että rappauspinta ei pysy alustassa ja alkaa irtoilla hyvinkin nopeasti. Oikeiden työolosuhteiden noudattaminen on ensiarvoisen tärkeää.

3.3 Sandwich-elementti

Sandwich-elementtejä on kahta perustyyppiä: normaaliraudoitettu sandwich-elementti ja esijännitetty onteloseinäelementti. Normaalit sandwich-elementit jaetaan käytön ja muodon perusteella nauha- ja ruutu-elementteihin ja toiminnan perusteella kantaviin ja ei-kantaviin julkisivuelementteihin. Esijännitetty onteloseinä on muodoltaan nauhaelementti ja kehitetty hallityyppisten rakennusten edulliseksi seinäelementiksi. Vertailukohteissa on siis käytetty normaalia sandwich-elementtiä. [11, s. 455.]

Betoninen sandwich-elementti koostuu betonisesta sisäkuoresta, eristeestä, betonisesta ulkokuoresta ja pintamateriaalista. Sideraudoitteet eli ansaat sitovat kaikki sandwich-elementin osat yhdeksi valmiiksi kokonaisuudeksi. Kantavan ja ei-kantavan ulkoseinän ero on betonisen sisäkuoren paksuudessa. Kantavan seinän sisäkuori on 150 mm paksua ja ei-kantavan 80 mm paksua. Eristepaksuus 230 mm ja ulkokuoren paksuus 80 mm on molemmissa sama. Kuvassa 6 on ei-kantavan sandwich-elementin rakenneleikkaus.

Kantavan ulkoseinän rakenneleikkaus on muuten sama, paitsi betoninen sisäkuori on 150 mm.



- 1 - PINTAKÄSITTELY JULKISIVUPIIRUSTUSTEN MUKAAN
80 mm 2 - BETONI, RUOSTUMATON RAUDOITUS
230 mm 3 - LÄMMÖNERISTE, URITETTU JA URASUOJATTU,
esim. ISOVER OL-E-USL tai PAROC COS
80 mm 4 - RUNKORAKENNE, BETONI
5 - PINTAMATERIAALI JA -KÄSITTELY HUONESELOSTUKSEN MUKAAN

Kuva 6. Ei-kantavan sandwich-elementin rakenneleikkaus

Eristeen pinnassa on oltava tuuletusurat tai eristeen ja ulkokuoren välillä on oltava tuuletusrako, jotta mahdollinen kosteus pääsee poistumaan. Ulkokuori muodostaa rakennuksen julkisivupinnan, joka voi olla mm. tiililaattaa, valkobetonia, maalattua, uritettua tai graafista betonia. Erilaiset värilliset kiviainekset ja väripigmentit antavat julkisivulle mitä erilaisimpia väri vaihtoehtoja. [9.]

Julkisivurakenteen kosteusrasituksia esiintyy rakennusvaiheessa sekä käyttö- ja kunnossapitovaiheessa. Rakennustyön aikana rakenteeseen kulkeutuu sadevettä suojamattoman elementin yläpäästä, sekä avoimien saumojen kautta. [7, s. 32.]

Suljetuissa saumoissa käytetään yleensä elastista saumaussmassaa ja sauman pohjanauhaa, jolloin saumasta muodostuu vesi- ja ilmatiivis. Normaali saumaleveys on 10–15

millimetriä. Saumauksen tehtävänä on varmistaa ulkoverhouksen sadevedenpitävyys, tasata elementtien mitta- ja sijaintipoikkeamia, mahdollistaa elementtien ulkokuoren liikkeet, mahdollistaa rakenteen tuuletus ja vedenpoisto sekä viimeistellä seinän ulkonäkö. [10.]

Sandwich-elementtien hyvänä puolena on elementin valmiusaste. Elementissä on kaikki valmiina ja viimeistely on viety mahdollisimman pitkälle tehtaalla, jolloin työmaalla tehtävä työ jää mahdollisimman vähäiseksi. Sandwich-elementistä muodostuu asennuksen jälkeen lähes valmista pintaa, ainoastaan elementtien saumat ja ikkunat on kitattava. Tämän jälkeen julkisivu on valmis.

Sandwich-elementeillä on edelleen osittain huono maine. Tämä juontaa juurensa 1960–70-luvulle, jolloin sandwich-elementit yleistyivät ja niistä tuli käytetyin runkomateriaali. Monet sen aikakauden sandwich-elementtitalot edustavat synkkiä betonilähiöitä ja niissä on tällä hetkellä paljon peruskorjauksia.

Vanhoissa sandwich-elementtitaloissa vaurioita on aiheuttanut liian ohut suojabetonikerros, betonin huono tiiveys ja pakkasenkestämättömyys. Betonipinnalla tapahtuva betonille ominainen karbonatisoituminen on päässyt etenemään vauhdilla kohti raudoitusta ohuen suojabetonin ja huonon tiiveyden vuoksi. Eteneminen on sitä nopeampaa, mitä huokoisempaa betoni on. Kun karbonatisoituminen etenee tarpeeksi syvälle, menettää rauditus betonin suojaavan vaikutuksen ja terästen korrosio alkaa. [11, s. 97–98.] 1960–70 luvulla sandwich-elementtien sideraudoitteet eivät olleet ruostumatonta terästä. Kun sideraudoitteet ovat päässeet ruostumaan ja haurastumaan poikki, on aiheutunut tilanteita, joissa sandwich-elementin ulkokuori on irronnut rakenteesta ja tippunut alas. Nykyään betonin laatu ja tuotekehitys on kuitenkin täysin eri luokkaa.

3.3.1 Elinkaari

Sandwich-elementtien mahdollisista halkeamista aiheutuneet korjaukset ovat yksi kustannusten aiheuttaja elinkaaren aikana. Kosteus ja lämpötila voivat ajan saatossa aiheuttaa elementin muodonmuutoksia. Sideraudoitteet, jotka sitovat betonin sisä- ja ulkokuoren yhteen pyrkivät estämään kosteuden ja lämpötilan muutoksista aiheutuvat liikkeet. Mikäli muodonmuutoksista johtuva jännitys saavuttaa rakenteen vetolujuuden, syntyy halkeamia. [10.]

Muita elinkaaren aikana kustannuksia aiheuttavia huoltotoimenpiteitä ovat julkisivun puhtaanapito, uusinta- ja paikkamaalaukset sekä liitosten ja saumojen kunnossapito. Julkisivusaumojen kestoikä on noin 10–20 vuotta, jonka jälkeen ne on uusittava. Kosteusvaurioita aiheuttavat halkeamista imeytyvä sadevesi, vialliset saumat, liitosten huonokunto ja vialliset tai puutteelliset pellitykset. Huollon laiminlyönnillä aiheutetaan valitettavan monet näistä vaurioista. [1.]

3.3.2 Hienopesty valkobetoni

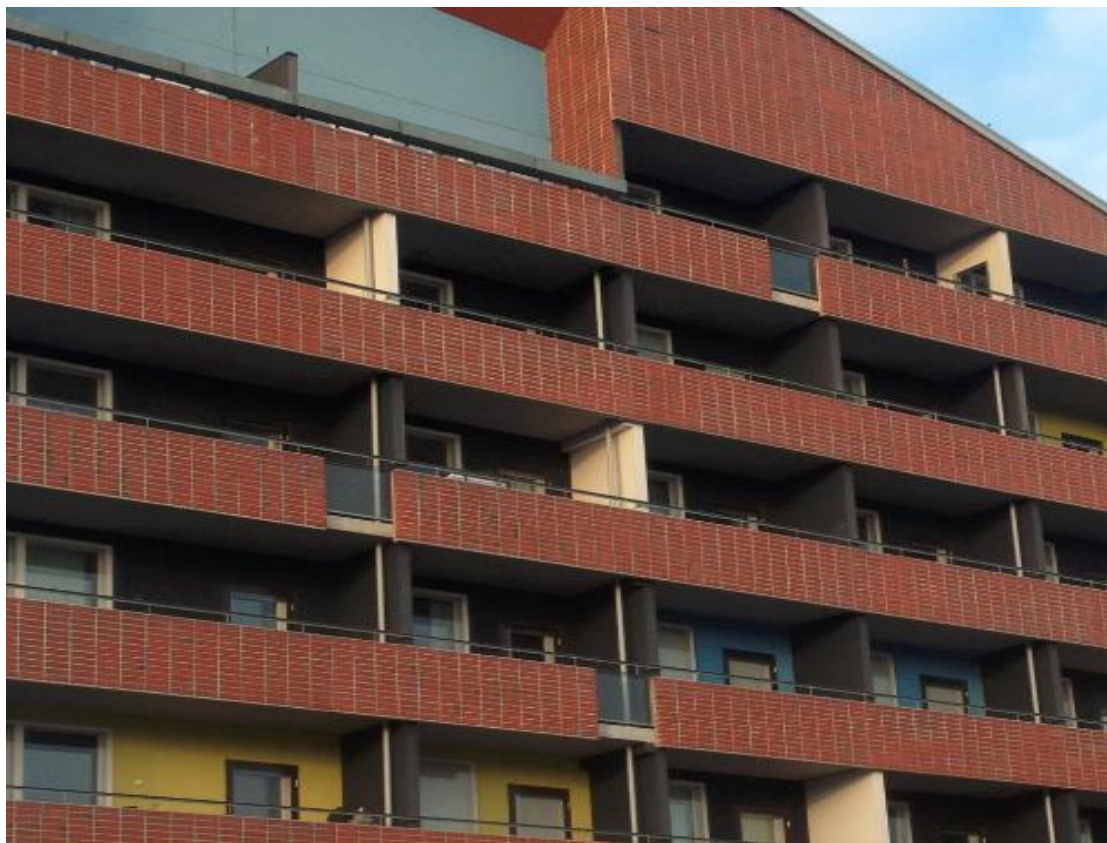
Valkobetonissa käytettävä kiviaines ja sementti ovat valkoista. Valkobetoni ei ole väribetonia. Valkobetonipintainen elementti on kokonaisuutena näyttävä, ja se on asennettaessa täysin valmis elementtipinta, eikä tarvitse erillistä käsittelyä. Kuvassa 7 näkyy vasta asennettuja valkobetonipintaisia sandwich-elementtejä. Elementin huonona puolena on valkoisen värin arkuus. Valkoinen väri ei yleensä säily kauan, vaan esimerkiksi ilma-saasteet värjäävät valkoisen pinnan tai sadeveden mukana valuvasta liasta tai ruosteesta jää ikäviä valuma jälkiä.



Kuva 7. Sandwich-elementti valkobetonipinnalla [24.]

3.3.3 Maalattu betoni

Sandwich-elementissä betonipinta on käsitelty maalipinta valmiiksi. Betonipintaa ei tarvitse työmaalla enää käsitellä, vaan siihen voidaan suoraan tehdä kaksikerros maalaus. Sandwich-elementin maalatuista parveketaustoista on esimerkki kuvassa 8.



Kuva 8. Sandwich-elementtien maalatut parveketaustat

3.3.4 Graafinen betoni

Graafinen betoni on suomalainen innovaatio, jossa betonilaatan pintaan tehdään graafisia kuvioita betonin pintahidasteaineita hyväksikäyttäen. Kyseessä on menetelmä, jossa betonielementin pintaan saadaan kehitettyä pysyvä, tarkka, yksityiskohtainen kuvio. Menetelmän on kehittänyt sisustusarkkitehti Samuli Naamanka vuonna 1997. [19.] Kuvio voi olla käytännössä mikä tahansa: kuva, teksti, rasteri tai viivasto, tai jokin näiden yhdistelmä. Menetelmässä painetaan haluttu kuva tai kuvio kalvolle erikoiskemikaalien avulla ja painettu rulla lähetetään betonitehtaalle. Kalvo asetetaan betonipintaa vasten, jonka päälle betoni valetaan. Kun elementti on kovettunut, se nostetaan pystyyn ja pinta

pestään vedellä ja painepesurilla. Ne kohdat, jotka eivät ole pintahidastinaineen ansiosta täysin kovettuneet, huuhtoutuvat pois. Lopputulos syntyy betonilaatan pintaan jäävistä kontrasteista. [22.]

Graafisella betonipinnalla voidaan saada todella uniikki lopputulos ja vain mielikuvitus on rajana suunnittelussa. Valmiita pintavaihtoehtoja on lukuisia ja niitä voidaan muokata halutunlaiseksi. On myös mahdollista toteuttaa arkkitehdin tai suunnittelijan luoma ainutlaatuinen kuvio sekä siirtää valokuvia betonipinnalle. [18.]

Graafisella betonilla saadaan elävää, näyttävää ja monimuotoista pintaa, kuten kuvassa 9, missä on inspiroiduttu meriaiheesta ja haettu kuviointia meren aalloista. Graafisen betonin käyttö on lisääntynyt runsaasti viimeisen viiden vuoden aikana. [22.]



Kuva 9. Meriaiheinen julkisivu graafisella betonilla [22].

Kuvassa 10 on esimerkki valmiista sandwich-elementistä graafisella betonipinnalla.



Kuva 10. Valmis sandwich-elementti graafisella betonipinnalla [22.]

4 Kohteet

Tutkimukseen on valittu kolme muodoltaan ja kooltaan erilaista uudiskerrostalokohdetta. Yksi kriteeri vertailukohteiden valintaan oli rakennuksen alkuperäinen rakennusmateriaali. Haluttiin, että kohteissa on käytetty jotain vertailtavista julkisivuratkaisuista.

4.1 Kohde 1

Kohde 1, on nelikerroksinen kerrostalo, jossa on 24 asuntoa. Asuntojen koot vaihtelevat 29,5 m²:n yksiöistä 94,5 m²:n neliöihin. Ensimmäisessä kerroksessa on väestönsuoja, varastot sekä neljä asuntoa. Kohteessa on myös liikehuoneisto sekä autokatos, joita ei tässä tutkimuksessa huomioida. Kuvassa 11 näkyvät peltiosat ikkunoiden välissä on vaihdettu vertailun yksinkertaistamiseksi ja helpottamiseksi muuraukseen.

Kohde 1 on toteutettu sekarakenteena, jossa kantavana ulkoseinärakenteena on teräs-betoninen sisäkuorielementti ja ei-kantavana rakenteena puuelementti. Ulkoverhouksena on puhtaaksi muurattu tiilijulkisivu ja kaikki parveketaustat on paneloitu.



Kuva 11. Kohteen 1, pihan puoleinen julkisivu

4.1.1 Investointikustannukset

Tarkastellaan, mistä kantavan ja ei-kantavan ulkoseinärakenteen hinta koostuu. Taulukosta 1 nähdään, että puuelementin hankintahinta on huomattavasti edullisempi kuin taulukossa 2 olevan betonisen sisäkuorielementin. Puuelementissä on paljon enemmän työtä elementtiasennuksen jälkeen kuin sisäkuorielementissä. Tässä tutkimuksessa tehdyn rajauksen puitteissa betoninen sisäkuorielementti ei vaadi ennen julkisivumuurausta muuta kuin pystysaumabetonoinnin. Ennen muurausta on puuelementissä viimeisteltävä elementtien saumat ja liitokset. Puuelementin vaatimat sisäpuoliset työt voidaan aloittaa vasta, kun kaikki elementit ja vesikatto on asennettu. Sisäpuolisia töitä ovat elementtiseinien koolaus, villoitus ja levytys, sisäpuoliset ikkunasmyygit, palokittaus, ontelolaatan ja elementin välien tilkitys sekä elementin ja parvekelaatan välien tilkitys.

Muuraustyön neliöhinta sisältää muurauksen sekä työhön tarvittavat mastolavat ja niiden siirrot. Muuraustyön ainekustannukset sisältävät tiilet, laastin, siilon vuokran, ikkunoiden ja ovien ylityspalkit, tikasraudoitteet sekä muuraussiteet.

Taulukko 1. Ei-kantavan puuelementin investointikustannukset

<i>Nimike</i>	<i>Määrä</i>	<i>Yksikkö- hinta</i>	<i>Yhteensä €</i>
<i>Puuelementit</i>	x m ²	x €/m ²	35924
<i>Elementtien alapuun kiinnitys</i>	x jm	x €/jm	405
<i>Elementtiasennus</i>	x kpl	x €/kpl	3436
<i>Sähköasiat ja putkitukset</i>	x kpl	x €/kpl	1440
<i>Elementtien väliset saumat ja liitokset</i>	x jm	x €/jm	818
<i>Elementtisaumoihin henkilönostin</i>	x pv	x €/pv	900
<i>Sisäpuolen levytys, villoitus ja koolaus</i>	x m ²	x €/m ²	8744
<i>Sisäpuoliset ikkunasmyygit</i>	x jm	x €/jm	608
<i>Palokittaus</i>	x jm	x €/jm	6714
<i>Tilkitys</i>	x jm	x €/jm	856
<i>Parvekkeiden tilkitys</i>	x jm	x €/jm	323
<i>Parveketaustojen koolaus ja panelointi</i>	x m ²	x €/m ²	1568
<i>Muuraustyö</i>	x m ²	x €/m ²	34993
<i>Muuraustyön ainekustannukset</i>	x m ²	x €/m ²	31213
<i>Parveketaustojen ikkuna smyygit</i>	x jm	x €/jm	605
<i>Ikkunoiden smyygipellit</i>	x jm	x €/jm	1323
			129870

Taulukossa 2 on betonisen sisäkuorielementin investointikustannukset.

Taulukko 2. Kantava betoninen sisäkuorielementti

Nimike	Määrä	Yksikkö- hinta	Yhteensä €
<i>Sisäkuorielementti 150 mm</i>	x m ²	x €/m ²	24378
<i>Elementtiasennus</i>	x kpl	x €/kpl	2195
<i>Elementtien asennustarvikkeet</i>	x kpl	x €/kpl	568
<i>Mineraalivilla 150 mm</i>	x €/m ²	x €/m ²	4238
<i>Tuulensuojavilla 50 mm + teippaus</i>	x €/m ²	x €/m ²	3964
<i>Parveketaustojen koolaus ja panelointi</i>	x m ²	x €/m ²	3540
<i>Ikkuna-asennus</i>	x kpl	x €/kpl	1062
<i>Muuraustyö</i>	x m ²	x €/m ²	9051
<i>Muuraustyön ainekustannukset</i>	x m ²	x €/m ²	8410
<i>Parveketaustojen ikkuna smyygit</i>	x jm	x €/jm	752
<i>Ikkunoiden smyygipellit</i>	x jm	x €/jm	1708
<i>Pystysaumabetonointityö</i>	x krs	x €/krs.	3594
<i>Pystysaumabetonointiaine</i>	x krs	x €/krs.	1797
			65257

Taulukossa 3 on molempiin rakenteisiin kuuluvia kustannuksia, joita ei ole eroteltu

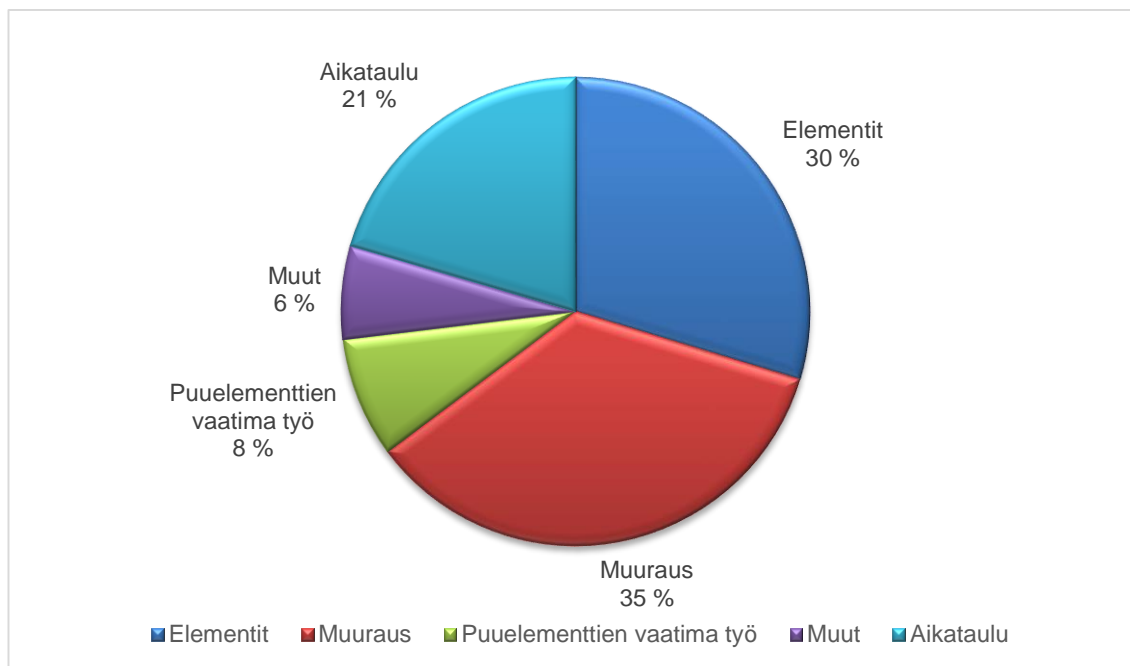
Taulukko 3. Julkisivukustannuksia

Nimike	Määrä	Yksikkö- hinta	Yhteensä €
<i>Tiilien liikuntasauva</i>	x jm	x €/jm	1050
<i>Bitumikaista, työ + materiaali</i>	x jm	x €/jm	261
<i>Kuukulkija liikuntasaumojen tekoon</i>	x pv	x €/pv	200
<i>Kuukulkija smyygipeltien tekoon</i>	x pv	x €/pv	500
			2011

Kuvassa 13 on eritelty puuelementin ja betonisen sisäkuorielementin sekarakenteen kustannuksia. Kuvasta nähdään prosentuaalisesti kuinka kustannukset jakautuvat.

Muihin kustannuksiin sisältyy parveketaustojen koolaus ja panelointi, ikkuna-asennus, ikkunasmyygit, pystysaumabetonointi ja työhön tarvittava nostin. Parveketaustojen ikkunasmyygit on puupaneelista ja muuratussa julkisivussa on peltiset ikkunasmyygit.

Elementteihin sisältyvät puuelementit ja betoniset sisäkuorielementit sekä niiden asennus ja asennustarvikkeet. Lisäksi kustannuksiin sisältyy sisäkuorielementin mineraalivillan ja tuulensuojavillan asennus sekä teippaus. Kaikkiin hintoihin sisältyy materiaali- ja työkustannukset. Kaikki hinnat ovat alv. 0 %.



Kuva 13. Kohteen 1 kustannusjakauma

Muurauksessa on huomioitu työ- ja materiaalikustannukset, ja se muodostaa kaikkein suurimman osan kokonaiskustannuksista. Muurauksesta aiheutuvat kustannukset ovat suuremmat kuin elementtien hankinnasta ja asennuksesta aiheutuvat kustannukset. Tulos on yllättävä, elementti hankinnan suuruuteen nähden. Muuraustyö on iso kustannuserä ja osoitus paikalla tehtävän työn kalleudesta. Tuotantonopeudesta muodostuvien aikataulukustannusten osuus on 21 %, mikä on melkein $\frac{1}{4}$ kokonaiskustannuksista.

Jos kohteessa käytetään kantavina ja ei-kantavina ulkoseinärakenteina sisäkuorielementtejä, kasvaa elementtien investointikustannusten osuus selvästi. Tällöin kustannusjakaumasta muodostuu 46 % elementti kustannuksista, 31 % muuraus kustannuksista, 16 % aikataulusta ja 7 % muista kustannuksista.

4.2 Kohde 2

Kohde 2 on viisi ja puoli -kerroksinen 32 asunnon kerrostalo. Ensimmäinen kerros on ns. maanpäällinen kellarikerros, jossa on ainoastaan yleisiä tiloja, kuten väestönsuoja, varastot, talosauna ja pesutupa. Asuinkerroksia on neljä, ja puolikkaan kerroksen muodostaa ullakolla oleva IV-konehuone. Kuvassa 14 on kohteen 2 julkisivu, missä näkyvät rakennuksen useat sandwich-elementin pintamateriaalit. Vertailun helpottamiseksi ja yhdenmukaistamiseksi vertailukohteisiin valittiin ainoastaan kaksi pintamateriaalia.



Kuva 14. Kohde 2

Kohteessa 2 kantavat ja ei-kantavat ulkoseinät on toteutettu sandwich-elementeillä. Sandwich-elementtien paksuus on kantavassa rakenteessa 460 mm ja ei-kantavassa 390 mm. Sandwich-elementissä käytetään pintamateriaalina hienopestyä valkobetonia ja maalattua betonia. Kaikki näkyvät pinnat ovat valkobetonia ja parveketaustat maalattua betonia. Tutkimuksessa haluttiin sandwich-elementin pintamateriaalille toinen vertai-

luvaihtoehto ja siihen valittiin graafinen betoni. Haluttiin tutkia, minkälainen kustannusvaikutus on eri pintamateriaalien välillä. Vertailussa valkobetoni vaihdetaan graafiseen betoniin ja maalatun betonipinnan määrä pysyy samana.

4.2.1 Investointikustannukset

Taulukossa 4 on kohteen 2 ei-kantavan sandwich-elementin investointikustannukset.

Taulukko 4. Ei-kantava sandwich-elementti

<i>Nimike</i>	<i>Määrä</i>	<i>Yksikköhinta</i>	<i>Yhteensä €</i>
<i>Valkobetoni</i>	x m ²	x €/m ²	60614
<i>Maalattu betoni</i>	x m ²	x €/m ²	21886
<i>Betonipinnan maalaus</i>	x m ²	x €/m ²	1903
<i>Elementtiasennus</i>	x kpl	x €/kpl	4200
<i>Asennustarvikkeet</i>	x kpl	x €/kpl	1087
<i>Ikkuna-asennus</i>	x kpl	x €/kpl	3380
<i>Ikkunoiden kittaus</i>	x jm	x €/jm	1312
			94382

Taulukossa 5 on kantavan sandwich-elementin investointikustannukset.

Taulukko 5. Kantava sandwich-elementti

<i>Nimike</i>	<i>Määrä</i>	<i>Yksikkö hinta</i>	<i>Yhteensä €</i>
<i>Valkobetoni</i>	x m ²	x €/kpl	95227
<i>Elementtiasennus</i>	x kpl	x €/kpl	4273
<i>Asennustarvikkeet</i>	x kpl	x €/kpl	1211
<i>Ikkuna-asennus</i>	x kpl	x €/kpl	3139
<i>Ikkunoiden kittaus</i>	x jm	x €/jm	783
			104633

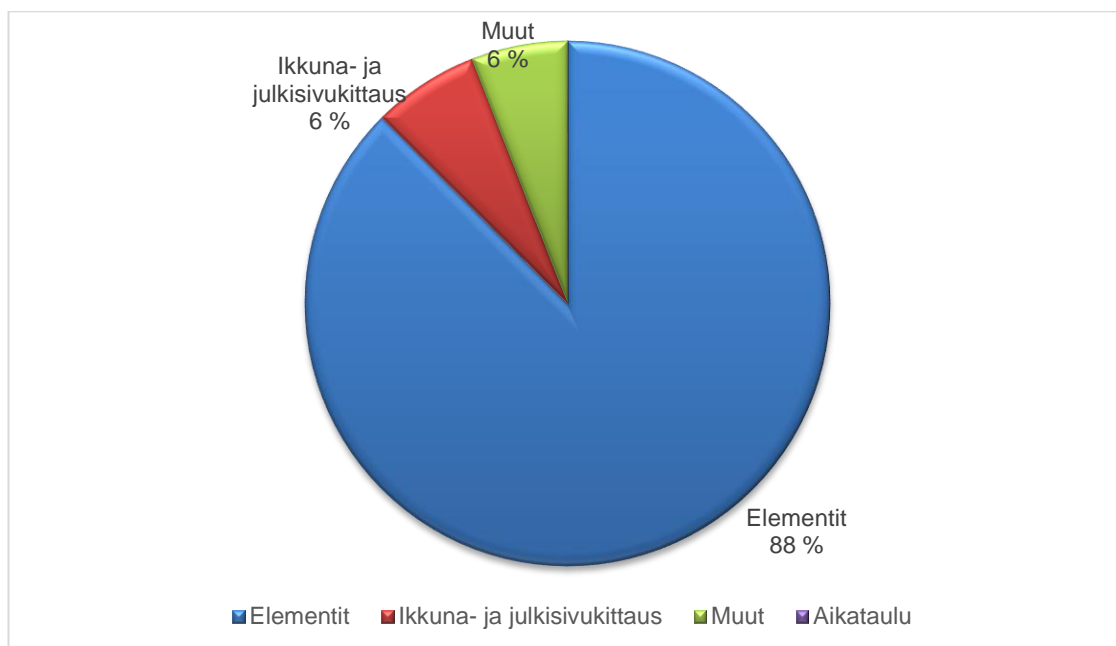
Taulukossa 6 on julkisivuun ja runkorakenteeseen kuuluvia kustannuksia, joita ei ole eroteltu kantaville ja ei-kantaville rakenteille.

Taulukko 6. Julkisivun ja rungon kustannuksia

Nimike	Määrä	Yksikkö-hinta	Yhteensä €
Julkisivun kittaus	x jm	x €/jm	10073
Kuukulkija kittaukseen	x pv	x €/pv	1600
Pystysaumabetonointityö	x krs.	x €/krs.	4874
Pystysaumabetonointimateriaali	x krs.	x €/krs.	2052
			18599

Kuvassa 14 on eritelty kohteen 2 kustannuksia. Elementteihin sisältyvät kantavat ja ei-kantavat sandwich-elementit valkobetonilla ja maalattuna, elementtiasennus sekä asennustarvikkeet. Ikkuna- ja julkisivukittauksessa on mukana työ- ja materiaalikulut sekä tarvittava henkilönostin. Muihin kustannuksiin sisältyy ikkuna-asennus ja pystysaumbaetonointi.

Leijonanosan koko kustannuksista muodostavat elementit. Sandwich-elementtien osuus investointikustannuksista on 88 %. Tulos ei ole yllättävä, sillä sandwich-elementissä on sisäpinnasta ulkopintaan kaikki valmiina, eikä elementtiasennuksen jälkeen työmaalla tehtävää työtä ole kuin ikkuna-asennus, ikkunoiden ja julkisivusaumojen kittaaminen ja parveketaustojen maalaus. Nämä kustannukset ovat hyvin pieni osa koko rakennuksen rungon ja julkisivun investointikustannuksista.



Kuva 15. Kohteen 2 kustannusjakauma

4.3 Kohde 3

Kohde 3 muodostuu kahdesta viisikerroksisesta ja yhdestä nelikerroksisesta kerrostalosta, joissa on yhteensä 66 asuntoa. Kuvassa 16 on rakenteilla yksi kohteen kerrostaloista. Kohteessa on maanalainen parkkihalli, jossa myös osa huoneistokohtaisista varastoista sijaitsee. Muut yleiset tilat, kuten talovarasto ja väestönsuoja, sijaitsevat ensimmäisessä kerroksessa.



Kuva 16. Julkisivu kohteessa 3, ennen pintarappausta

Tässä kohteessa on kantavina ja ei-kantavina ulkoseinärakenteina rappauselementtejä ja sandwich-elementtejä. Sandwich-elementin pintamateriaalina ovat valkobetoni ja maalattu betoni. Sandwich-elementin kantava ulkoseinärakenne on 460 mm paksu ja ei-kantava ulkoseinärakenne 390 mm paksu. Rappauselementin kantava ja ei-kantava ulkoseinärakenne on molemmissa 390 mm paksu. Vaikka rappauselementeissä rakenteiden paksuus on sama, on rakenteiden betonisen sisäkuoren rauditus erilainen. Raudituksen määrä erottaa kantavan ja ei-kantavan rakenteen.

Tutkimuksen ulkopuolelle rajattiin mm. autohallit, joten kaikki autohalliin kuuluvat ulkoseinäelementit jätetään laskennasta pois kaikissa julkisivuvaihtoehdoissa. Osa ensimmäisen kerroksen ulkoseinistä jää osittain maata vasten piiloon. Rakennetyypeissä,

joissa julkisivumateriaalina on tiilimuuraus, on nämä maata vasten jäävät elementit korvattu betonipintaisella sandwich-elementeillä. Betonipintaisia sandwich-elementtejä tulee ainoastaan 58 m².

4.3.1 Investointikustannukset

Taulukosta 7 ja 8 nähdään, että sandwich-elementin neliöhinta on korkeampi kuin kohteessa 2, missä julkisivuratkaisu on erilainen. Tässä tutkimuksessa sandwich-elementin neliöhinta riippuu siitä, onko kyseessä täysin sandwich-elementti kohde vai rappauselementin ja sandwich-elementin yhdistelmä. Näin saadaan mahdollisimman todellinen vertailutilanne sandwich-elementtien välille erilaisissa kohteissa, kun volyyymilla ja sarjojen toistuvuudella on vaikutusta elementin neliöhintaan.

Ei-kantavan sandwich-elementin investointikustannukset näkyvät taulukossa 7.

Taulukko 7. Ei-kantavan sandwich-elementin investointikustannukset yhdistelmäkohteessa

<i>Nimike</i>	<i>Määrä</i>	<i>Yksikkö-</i> <i>hinta</i>	<i>Yhteensä €</i>
<i>Sandwich-elementti, valkobetoni</i>	x m ²	x+5 €/m ²	55995
<i>Sandwich-elementti, maalattu betoni</i>	x m ²	x €/m ²	58521
<i>Betonipinnan maalaus</i>	x m ²	x €/m ²	5090
<i>Elementtiasennus</i>	x kpl	x €/kpl	6682
<i>Asennustarvikkeet</i>	x kpl	x €/kpl	1729
<i>Ikkuna-asennus</i>	x kpl	x €/kpl	5746
<i>Ikkunoiden kittaus</i>	x jm	x €/jm	2795
			136558

Kantavan sandwich-elementin kustannukset on eritelty taulukossa 8.

Taulukko 8. Kantavan sandwich-elementin investointikustannukset yhdistelmä rakenteessa

<i>Nimike</i>	<i>Määrä</i>	<i>Yksikkö- hinta</i>	<i>Yhteensä €</i>
<i>Sandwich-elementti, valkobetoni</i>	x m ²	x+5 €/m ²	30915
<i>Sandwich-elementti, maalattu betoni</i>	x m ²	x €/m ²	2791
<i>Betonipinnan maalaus</i>	x m ²	x €/m ²	228
<i>Elementtiasennus</i>	x kpl	x €/kpl	1814
<i>Asennustarvikkeet</i>	x kpl	x €/kpl	469
<i>Ikkuna-asennus</i>	x kpl	x €/kpl	773
<i>Ikkunoiden kittaus</i>	x jm	x €/jm	667
			37657

Taulukossa 9 on sandwich-elementtijulkisivun kustannuksia, joita ei ole eritelty kantaville ja ei-kantaville rakenteille.

Taulukko 9. Sandwich-elementin julkisivu kustannuksia

<i>Nimike</i>	<i>Määrä</i>	<i>Yksikkö- hinta</i>	<i>Yhteensä €</i>
<i>Julkisivukittaus</i>	x jm	x €/jm	8698
<i>Kuukulkija kittaukseen</i>	x pv	x €/pv	1800
			10498

Ei-kantavan rappauselementin investointikustannukset näkyvät taulukossa 10.

Taulukko 10. Ei-kantava rappauselementti

<i>Nimike</i>	<i>Määrä</i>	<i>Yksikkö- hinta</i>	<i>Yhteensä €</i>
<i>Rappauselementti</i>	x m ²	x €/m ²	93261
<i>Elementtiasennus</i>	x kpl	x €/kpl	3818
<i>Asennustarvikkeet</i>	x kpl	x €/kpl	988
<i>Ikkuna-asennus</i>	x kpl	x €/kpl	955
			99022

Taulukossa 11 on kantavan rappauselementin investointikustannukset.

Taulukko 11. Kantava rappauselementti

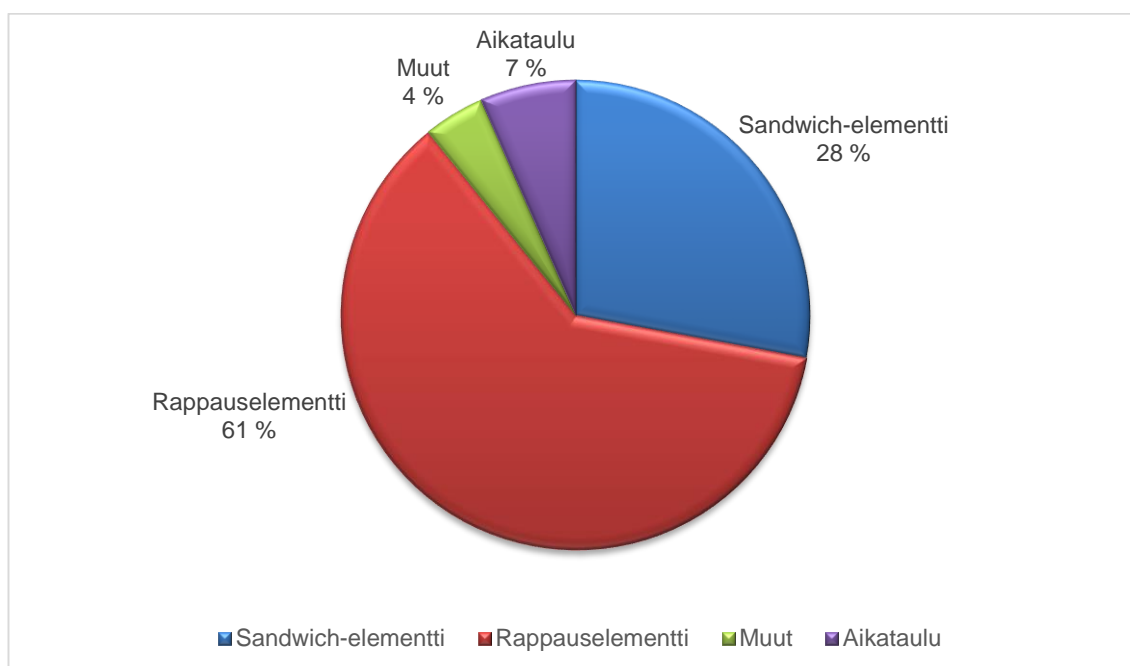
<i>Nimike</i>	<i>Määrä</i>	<i>Yksikkö- hint</i>	<i>Yhteensä €</i>
<i>Rappauselementti</i>	x m ²	x €/m ²	279784
<i>Elementtiasennus</i>	x kpl	x €/kpl	11455
<i>Asennustarvikkeet</i>	x kpl	x €/kpl	2965
<i>Ikkuna-asennus</i>	x kpl	x €/kpl	4587
			298791

Taulukossa 12 on muutama kaikille rakennetyypeille kuuluva kustannus, joita ei ole eroteltu.

Taulukko 12. Rungon kustannuksia

<i>Nimike</i>	<i>Määrä</i>	<i>Yksikkö- hint</i>	<i>Yhteensä €</i>
<i>Pystysaumabetonointityö</i>	x krs.	x €/krs.	14621
<i>Pystysaumabetonointimateriaali</i>	x krs.	x €/krs.	6156
			20777

Kuvassa 17 on eritelty, miten eri elementtityyppien, aikataulun ja muut investointikustannukset jakautuvat. Rappauselementin hintaan kuuluu elementin lisäksi työmaalla tehtävän rappauksen materiaali- ja työkulut sekä työhön tarvittava henkilönostin. Rappauselementin investointikustannuksiin kuuluu myös elementtiasennus ja asennustarvikkeet. Jotta sandwich-elementin investointikustannukset ovat vertailukelpoisia rappauselementin kanssa, kustannukset sisältävät elementtien lisäksi elementtiasennuksen, asennustarvikkeet, ikkuna- ja julkisivukittauksen, työhön tarvittavan henkilönostimen sekä betonipinnan maalauksen. Muihin kustannuksiin sisältyy ikkuna-asennus ja pystysaumabetonointi.



Kuva 17. Kohteen 3 kustannusjakauma

Rappauselementti muodostaa 61 % investointikustannuksista, kun vastaavasti sandwich-elementtien osuus on vain 28 %. Rappauselementtejä on 56 % kokonaisneliömäärästä. Vaikka määrällisesti rappauselementtejä on enemmän kuin sandwich-elementtejä, nähdään kuvan 17 kustannusjakaumasta, että rappauselementin investointikustannukset ovat korkeammat. Aikataulukustannusten osuus on 7 %, mikä on suhteellisen pieni osuus verrattuna elementtien investointikustannuksiin.

5 Kohdekohtainen kustannusvertailu

Tässä luvussa tehdään kohdekohtaista kustannusvertailua. Jokaisesta kolmesta kohteesta tehdään laskelmat neljällä eri julkisivuvaihtoehdolla ja tutkitaan, miten eri vaihtoehdot muodostuvat edullisimmasta kalleimpaan.

5.1 Aikataulusidonnaiset kustannukset

Aikataululla on vaikutusta koko hankkeen kustannuksiin. Aikataulusuunnittelun on perustuttava työmenekki- ja työsaavutustietoihin sekä resurssisuunnitteluun. Lisääntyvä rakennusaika nostaa aikasidonnaisia kustannuksia ja laskee työvaiheiden suorittamisen kustannuksia tiettyyn rajaan asti. [8.] Työsaavutuksella tarkoitetaan työn tulosta aikayksikössä, esim. 50 m²/tv. Tv eli työvuoro, kuvaa, kuinka paljon työsaavutusta saadaan tehtyä yhden työvuoron aikana. [20.]

Jokaiseen kohteeseen muodostetaan kullekin julkisivuvaihtoehdolle aikataulu Schedule Plannerin avulla, joka on yrityksen käytössä oleva aikatauluohjelma. Aikataulusuunnittelussa käytetyt työsaavutukset on kerätty Ratu-kortistosta sekä osalta urakoitsijoista suoraan.

Tarkastellaan hieman julkisivuvaihtoehtojen työmenekkejä, jotta ymmärretään paremmin, mistä aikatauluerot muodostuvat.

Julkisivuvaihtoehdosta riippumatta elementtien asennusnopeus on kaikissa suunnilleen sama. Puuelementtien paikalleen asennus on nopeinta. Betonisen sisäkuorielementin asennus on helpompaa kuin rappaus- ja sandwich-elementin. Tämä johtuu rappaus- ja sandwich-elementin kokonaisuudesta, joka on huomattavasti painavampi, kuin pelkkä betoninen sisäkuorielementti. Eroista huolimatta kaikkien elementtien asennusaika pysyy samana. Perussääntö asennuksessa on viikko per kerros eli noin 20–25 elementtiä päivässä. Koska asennusaika on kaikissa vaihtoehdoissa sama, tulee aikatauluvaikutus muualta.

Sandwich-elementissä on jäljellä elementtiasennuksen jälkeen ainoastaan ikkuna- ja julkisivusaumojen kittaus sekä parveketaustojen maalaus. Kittauksen työsaavutus on 120 jm/tv ja maalauksen 40 m²/tv.

Parmarappauksen työsaavutus on 600–700 m² kuukaudessa. Työsaavutukseen vaikuttaa suuresti, onko kyseessä parvekeseinäinen julkisivu, jossa on paljon suojattavaa ja siivottavaa, vai nopeammin tehtävää yksinkertaista julkisivupintaa. Keskimääräinen työsaavutus on noin 35 m²/tv.

Betonisen sisäkuorielementin asennuksen jälkeen julkisivuihin kiinnitetään mekaanisilla kiinnikkeillä mineraalivilla ja tuulensuojavillat, jonka jälkeen tuulensuojavillat teipataan. Kun eristeet on saatu asennettua, voidaan aloittaa muuraus. Eristeiden asennuksen työsaavutus on noin 80 m²/tv.

Puuelementissä on paljon työmaalla tehtävää työtä, kuten puuelementtien väliset saumat, sisäpuolen levytys, villoitus ja koolaus, sisäpuolen ikkunasmyygit, tilkitystä sekä palokittaus. Lisäksi saumakohtiin, joissa puuelementti kiinnitetään kantaviin väliseiniin, tehdään lisäkiinnitykset. Puuelementtien asennuksen jälkeiset työt vievät työmaalla noin kolme viikkoa eli noin 45 m²/tv. Lisäksi puuelementtien ja betonisten sisäkuorielementtien parveketaustat paneloidaan, ja valmista pintaa saadaan noin 10 m²/tv. Molemmissa rakenteissa on puhtaaksimuurattu julkisivu ja asennettujen ikkunoiden smyygit pellitetään. Julkisivumuurausten työsaavutus noin 28 m²/tv ja smyygipeltien noin 15 ikkunaa päivässä.

Työsaavutusten perusteella julkisivuratkaisut voidaan laittaa järjestykseen tuotantonopeudeltaan nopeimmasta hitaimpaan. Nopein julkisivuvaihtoehdoista on sandwich-elementtirakenne, toiseksi nopein on rappauselementin ja sandwich-elementin yhdistelmä, toiseksi hitain on betoninen sisäkuorielementti julkisivumuurauksella ja hitain on puuelementin ja sisäkuorielementin sekarakenne julkisivumuurauksella.

Tarkastellaan aikataulusidonnaisten kustannusten muodostumista. Valitaan ns. ”nollatasoksi” sandwich-elementti, joka on tuotantonopeudeltaan nopein rakenne. Sandwich-elementtirakenteeseen ei lisätä aikataulukustannuksia, ja muiden julkisivuvaihtoehtojen tuotantonopeudet verrataan tähän nollatasoon. Rappauselementin ja sandwich-elementin yhdistelmä on tuotantonopeudeltaan kaksi viikkoa hitaampi kuin vertailussa käytettävä nollataso. Pidemmästä rakennusajasta johtuen lisätään kahdelta viikolta kohde kohtaisia 8-9 litteroiden muodostamia aikataulukustannuksia investointikustannuksiin. Taulukosta 13 nähdään kunkin julkisivuvaihtoehdon tuotantonopeus verrattuna nollatasoon ja kuinka monta viikkoa lisätään aikataulukustannuksia.

Taulukko 13. Aikataulusidonnaisen kustannusten muodostuminen

<i>Julkisivuratkaisu</i>	<i>Tuotantonopeus</i>	<i>Aikataulukustannukset</i>
<i>Sandwich-elementti</i>	0	0
<i>Rappaus- ja sandwich-elementti</i>	+2 vko	+2 vko
<i>SK + muuraus</i>	+4 vko	+4 vko
<i>Puuelementti/SK + muuraus</i>	+5 vko	+5 vko

5.2 Takuuajaiset kustannukset

Urakan vastaanoton jälkeen alkaa takuu aika, joka kestää 2 vuotta vastaanotosta tai sopimuksen mukaan. Takuu aika on aika, jona urakan suorittaja vastaa sopimuksen mukaan työntuloksessa ilmenneiden virheiden korjauksesta. [23.]

Tutkimuksessa huomioidaan puuelementtien nurkkahalkeamista johtuvat takuuajaiset korjauskustannukset. Nurkkahalkeamia aiheuttaa puun eläminen ja kahden eri materiaalin, puun ja betonin liitoskohta. Muiden elementtien osalta laskenta jätetään pois, koska ei koeta, että sillä on merkittävää kustannusmerkitystä. Selvitetään, minkälainen vaikutus takuuajaisilla korjauksilla on kokonaiskustannuksiin nähden.

Tutkimuksen lähtökohtana oli selvittää nurkkahalkeamista aiheutuvien kustannusten suuruus (€/elementtinieliö). Valittiin yrityksen neljä eri aikoihin valmistunutta kerrostalokohdetta, joista otettiin nurkkahalkeamista aiheutuneet kokonaiskustannukset ja jaettiin ne kohteen puuelementtien neliömäärällä. Nurkkahalkeamista aiheutuneiden kustannusten keskiarvoksi saatiin n. 5,2 €/elementtinieliö. Taulukosta 14 nähdään nurkkahalkeamien aiheuttamat takuuajaiset kustannukset kohteittain.

Taulukko 14. Takuuajaiset kustannukset kohteittain

Takuuajaiset korjaukset	Kohde 1	Kohde 2	Kohde 3
	3535 €	2496 €	4274 €

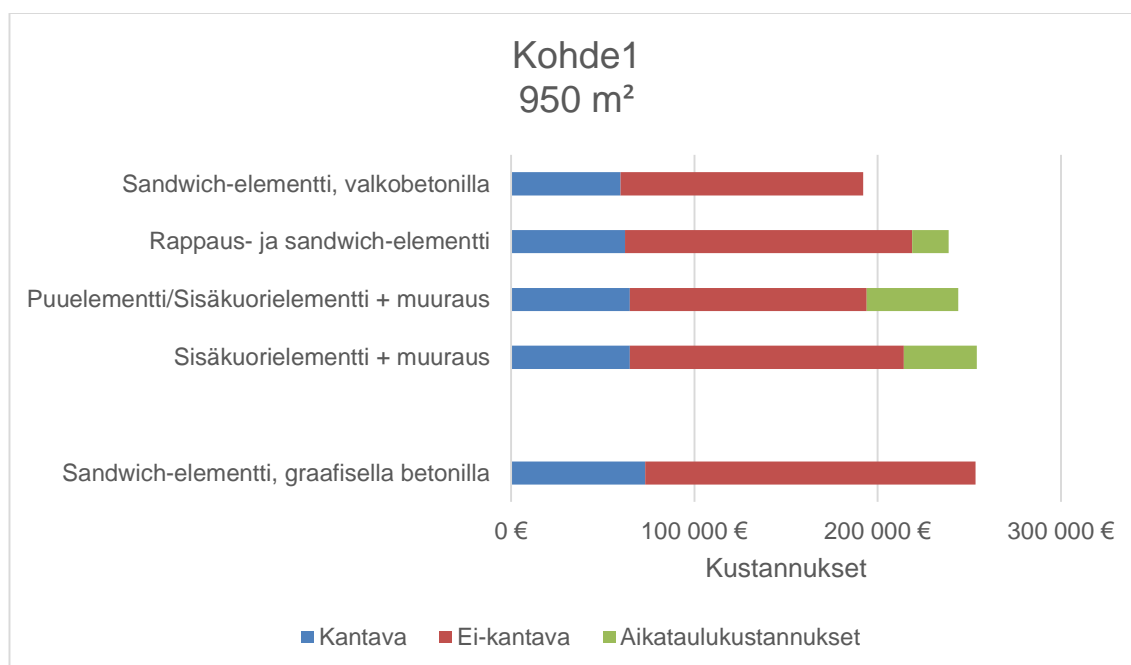
5.3 Kohteen 1 kustannukset

Kohteessa 1 kantavien ulkoseinärakenteiden määrä on 270 m² ja ei-kantavia ulkoseiniä on huomattavasti enemmän, 680 m². Prosentuaalisesti kantavien ulkoseinien määrä on 28 % ja ei-kantavien 72 %. Nämä ovat todelliset määrät, joilla kohde on alun perin rakennettu ja niitä käytetään vertailussa. Taulukosta 15 nähdään, että prosentuaalinen suhdeluku kantavien ja ei-kantavien rakenteiden välillä pysyy samana kaikissa vertailuvaihtoehtoissa.

Taulukko 15. Kohteen 1 rakennejakauma

Kohde 1	Kantava	Ei-kantava
Sandwich-elementti, valkobetonilla	28 %	72 %
Puuelementti/SK + muuraus	28 %	72 %
Rappaus- ja sandwich-elementti	28 %	72 %
Sisäkuorielementti + muuraus	28 %	72 %
Sandwich-elementti, graafisella betonilla	28 %	72 %

Kuvassa 18 on esitetty kohteen 1 kustannukset eri julkisivuratkaisuille.



Kuva 18. Kohteen 1 investointi- ja kokonaiskustannukset

Tarkastellaan kohteen 1 kokonaiskustannuksia ja investointikustannuksia. Investointikustannuksissa huomioidaan kantavat ja ei-kantavat ulkoseinärakenteet, mutta ei aikataulukustannuksia. Aikataulukustannukset sisältävät 8-9-litteroiden muodostamat aikataulusidonnaiset kustannukset, jotka kohteessa 1 ovat 10 229 €/viikko. Sandwich-elementtirakenteissa parveketaustat ovat maalattua betonia ja tiilimuuratusta julkisivussa, parveketaustat on paneloitu. Sandwich-elementtiä graafisella betonipinnalla tutkitaan tässä kohtaa ainoastaan vaihtoehtona valkobetonille.

Kuvassa 18 julkisivuvaihtoehdot on esitetty kokonaiskustannuksiltaan edullisimmasta kalleimpaan. Sandwich-elementti valkobetonilla on edullisin ja betoninen sisäkuorielementti julkisivumuurauksella kallein. Halvimman ja kalleimman vaihtoehdon hintaero on noin 58 000 €.

Kantavien rakenteiden investointikustannukset ovat kaikissa julkisivuvaihtoehdoissa lähes samat. Ei-kantavien ulkoseinärakenteiden investointikustannukset jäävät edullisemmaksi sandwich-elementtien ja puuelementtien osalta. Tähän vaikuttaa niiden edullisempi elementtien hankintahinta.

Tutkimuksessa huomataan, että sandwich-elementti valkobetonipinnalla jää kokonaiskustannuksiltaan huomattavasti muita edullisemmaksi. Kun verrataan edullisinta ja toiseksi edullisinta rakennetta, hintaero on yli 40 000 €. Toiseksi edullisimman ja kalleimman rakenteen hintaero on 15 500 €. Tämän 15 500 € hintaeron sisälle jäävät kohteen kolme kalleinta vaihtoehtoa.

Kuten kuvasta 18 nähdään, puuelementin ja sisäkuorielementin sekarakenteen ja sandwich-elementin investointikustannukset ovat lähes samat. Pidemmän tuotantoajan seurauksena lisääntyvät aikataulukustannukset nostavat sekarakenteen kokonaiskustannukset lähes 48 000 € kalliimmaksi kuin sandwich-elementin.

Investointikustannuksiltaan rappauselementin ja sandwich-elementin yhdistelmä on kallein. Rappauselementin ja sandwich-elementin yhdistelmän investointikustannukset ovat 2 % kalliimmat kuin betonisen sisäkuorielementin julkisivumuurauksella ja 12 % kalliimmat kuin puuelementin ja betonisen sisäkuorielementin julkisivumuurauksella. Kolmen kalleimman julkisivuvaihtoehdon välillä kustannuserot kaventuvat huomattavasti, kun huomioidaan aikataulusidonnaiset kustannukset.

Tuotantonopeuden vaihtelusta aiheutuvilla aikataulusidonnaisilla kustannuksilla on olennainen vaikutus kokonaiskustannuksiin. Aikatauluvaikutuksia tutkittaessa, aikataulun ns. ”nollatasoksi” sovittiin sandwich-elementtirunko, jonka rakennusaika on kaikkein lyhin. Tähän nollatasoon verrattaessa puuelementin ja betonisen sisäkuorielementin sekarakenteen viisi viikkoa pidempi rakennusaika nostaa kokonaiskustannuksia 27 %. Betoninen sisäkuorielementtirunko julkisivumuurausella on tuotantonopeudeltaan neljä viikkoa ”nollatasoa” hitaampi ja nostaa kokonaiskustannuksia 33 %. Rappauselementin ja sandwich-elementin sekarakenteessa kaksi viikkoa hitaampi tuotantonopeus kasvattaa kokonaiskustannuksia 24 %.

Puuelementtien takuuajaisilla kustannuksilla ei näytä olevan suurta osuutta kokonaiskustannuksista. Tutkimuksessa takuutyössä huomioitujen nurkkahalkeamien osuus kokonaiskustannuksista on vain 1 %.

Tutkitaan, minkälainen vaikutus kokonaiskustannuksiin on sandwich-elementin eri pintamateriaalien välillä. Selvitetään, mikä on hintaero, jos kohde toteutetaan valkobetonin sijaan graafisella betonilla. Graafiseen betoniin on laitettava suoja-aine, joka nostaa neliöhintaa entisestään. Kantavan elementin hinnaksi tulee 254,77 €/m² ja ei-kantavan 250,05 €/m². Kokonaiskustannuksiltaan sandwich-elementti graafisella betonilla on 61 300 € eli 32 % kalliimpaa, kuin valkobetonipinnalla.

Kun tarkastellaan kohteen kannattavuutta, tutkitaan huoneistoneliöiden ja julkisivuneliöiden neliöhintoja. Taulukkoon 16 on kerätty kannattavuusnäkökulmasta yritykselle tarkeitä avainlukuja.

Taulukko 16. Kohteen 1 avainlukuja

<i>Kohde 1</i>	<i>Kokonaiskustannukset €</i>	<i>€/huoneisto-neliö</i>	<i>€/julkisivu-neliö</i>
<i>Sandwich-elementti</i>	192006	167,40	202,11
<i>Puuelementti/SK + muuraus</i>	243895	212,64	256,73
<i>Rappaus- ja sandwich-elementti</i>	238703	208,11	251,3
<i>Sisäkuorielementti + muuraus</i>	254115	221,55	267,52

Tutkitaan rakennusoikeuden käyttötehokkuutta vertaamalla huoneistoneliöitä rakennusoikeuteen. Mitä lähemmäksi päästään lukua 1, sitä parempi on käyttötehokkuus. Kohteessa 1 rakennusoikeuden käyttötehokkuus on 0,72, mikä kertoo rakennusoikeuden käytön tehostomuudesta. Yhtenä vaikuttavana tekijänä on ollut kaavamääräys, mikä on velvoittanut sisällyttämään rakennusoikeuteen mm. väestönsuojan ja muiden yleisten tilojen neliöt.

$$\text{Rakennusoikeuden käyttötehokkuus htm}^2 / \text{kem}^2 \rightarrow 1147/1591 = 0,72$$

Huoneistoalatehokkuus vertailussa bruttoneliöiden ja huoneistoneliöiden suhde on kohtalaisen hyvä, arvolla 1,53. Huoneistoalatehokkuusluku on yllättävän hyvä, kun vertaa taulukon 16 huoneistoneliöhintoihin, jotka ovat aika korkeat. Todella hyvästä huoneistoalatehokkuudesta puhutaan kun päästään arvoon 1,45.

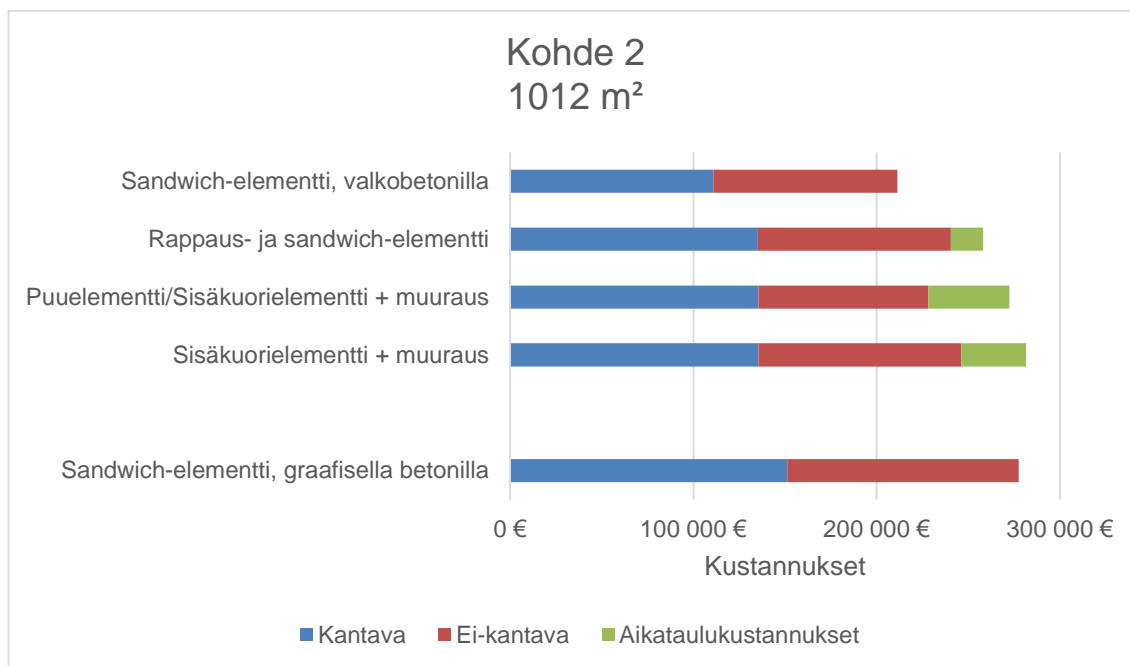
$$\text{Huoneistoalatehokkuus brm}^2 / \text{htm}^2 \rightarrow 1760 / 1147 = 1,53$$

5.4 Kohteen 2 kustannukset

Kohteessa 2 on 1012 m² julkisivuneliöitä ja se on rakennettu kokonaan sandwich-elementeistä. Kantavien ulkoseinien osuus on 52 % eli 530 m², ja ei-kantavia ulkoseiniä on 48 % eli 482 m². Taulukosta 17 nähdään että kaikki julkisivuvaihtoehdot on laskettu samoilla määrillä.

Taulukko 17. Kohteen 2 rakennejakauma

Kohde 2	Kantava	Ei-kantava
Sandwich-elementti, valkobetonilla	52 %	48 %
Puuelementti/SK + muuraus	52 %	48 %
Rappaus- ja sandwich-elementti	52 %	48 %
Sisäkuorielementti + muuraus	52 %	48 %
Sandwich-elementti, graafisella betonilla	52 %	48 %



Kuva 19. Kohteen 2 investointi- ja kokonaiskustannukset

Tutkitaan kohteen 2 kokonaiskustannuksia ja investointikustannuksia. 8-9-litteroiden muodostamat aikataulusidonnaiset kustannukset ovat tässä kohteessa 9053 €/viikko. Kuvassa 19 julkisivuvaihtoehdot ovat kokonaiskustannuksiltaan ylhäältä alaspäin edullisimmasta kalleimpaan. Järjestys on sama kuin kohteessa 1. Graafinen betoni ei tässä kohtaa ole osa kokonaistarkastelua.

Vaikka kokonaiskustannuksiltaan tulokset ovat yhtenäiset kohteen 1 kanssa, havaitaan että investointikustannuksissa on eroa kahden kalleimman vaihtoehdon välillä. Kuvasta 19 nähdään, että kohteessa 2 betoninen sisäkuorielementti muodostuu investointikustannuksiltaan kalleimmaksi. Kun tutkitaan mahdollisia vaikuttavia tekijöitä investointikustannuksiin, huomataan yhdeksi tekijäksi julkisivumuuraus. Kohteessa 2 on julkisivumuurausta 86 % julkisivuneliöistä, kun kohteessa 1, muurausta on 77 %. Määrällä näyttää olevan vaikutus investointikustannuksiin. Kun kohteen 2 julkisivumuurauksen määrä muutetaan vertailun vuoksi 77 %:iin, muodostuu rappaus- ja sandwich-elementti kalleimmaksi vaihtoehdoksi kuten kohteessa 1.

Kohteessa 2 puolikkaan kerroksen muodostaa katolla oleva IV-konehuone. Tämä on varmasti yksi tekijä, joka vaikuttaa siihen, että muurausta on julkisivuneliöihin nähden

hyvin paljon. Voidaan päätellä, että rakennuksen monimuotoisuudella on tässä kohtaa vaikutusta investointikustannuksiin.

Sandwich-elementti jää myös kohteessa 2 kokonaiskustannuksiltaan muita julkisivuratkaisuja edullisemmaksi. Kustannusero toiseksi edullisimpaan vaihtoehtoon on 46 700 € ja kalleimpaan vaihtoehtoon 70 200 €. Kolmen kalleimman vaihtoehdon kokonaiskustannukset ovat 23 500 €:n välillä toisistaan.

Investointikustannuksiltaan rappaus-elementin ja sandwich-elementin yhdistelmä on kalliimpi kuin puuelementin ja betonisen sisäkuorielementin sekarakenne julkisivumuurauksella. Rakennusajan huomioiminen muuttaa näiden kahden rakenteen kustannusjärjestystä, ja puuelementin ja betonisen sisäkuorielementin sekarakenne julkisivumuurauksella muodostuu kalliimmaksi. Takuuajaiset korjauskustannukset jäävät puuelementtien osalta hyvin pieneksi. Osuus on ainoastaan 0,6 % kokonaiskustannuksista.

Kohteessa 2 sandwich-elementin pintamateriaalien, valkobetonin ja graafisen betonin hintaero on 66 000 €. Graafisen betonin käyttö valkobetonin sijaan nostaa kokonaiskustannuksia 31 %.

Sandwich-elementti graafisella betonilla jää hieman yllättäen jopa 4100 € edullisemmaksi kokonaiskustannuksiltaan kuin betoninen sisäkuorielementti julkisivumuurauksella. Kustannusero on yllättävän suuri, kun vertaa kohteeseen 1, missä sama ero vaihtoehtojen välillä on ainoastaan 790 €.

Kohteen 2 kustannusvertailun avainlukuja on esitetty taulukossa 18. Rakennusoikeuden käyttötehokkuus on 0,82, mikä tarkoittaa hyvin tehokasta käyttöä. Huoneistoalatehokkuus on sitä parempi, mitä vähemmän bruttoneliöitä on suhteessa huoneistoneliöihin. Huoneistoalatehokkuusluku on 1,58.

Kohteen 2 rakennusoikeuden käyttötehokkuus on ollut hyvä, mutta huoneistoalatehokkuus on jäänyt hieman tehottomammaksi. Tämä johtuu siitä, että bruttoneliöiden suhde huoneistoneliöihin ei ole optimaalisin. Huoneistoalatehokkuusluku on suurempi eli huonompi kuin kohteessa 1, mutta huoneistoneliöhinnat ovat pienemmät.

Taulukko 18. Kohteen 2 avainlukuja

Kohde 2	Kokonaiskustannukset €	€/huoneisto- neliö	€/julkisivune- liö
<i>Sandwich-elementti, valkobe- toni</i>	211 350	142,42	208,82
<i>Puuelementti/SK + muuraus</i>	270 806	182,49	267,59
<i>Rappaus- ja sandwich-elementti</i>	258 039	173,88	254,95
<i>SK + muuraus</i>	281 556	189,73	278,18

5.5 Kohteen 3 kustannukset

Taulukosta 19 nähdään, että kustannusvertailussa kantavien ja ei-kantavien ulkoseinien määrät toisiinsa nähden ovat lähes samat. Kohteen 3 kokonaisjulkisivuneliömäärä on 2408 m², josta kantavien ulkoseinien osuus on 56 % ja ei-kantavien 44 %. Ainoa poikkeus tästä on puuelementin ja betonisen sisäkuorielementin sekarakenne, jossa kantavia ulkoseiniä on 66 % ja ei-kantavia 34 %. Puuelementin ja sisäkuorielementin sekarakennetta ei olisi voinut toteuttaa samoilla määrillä kuin muita rakenteita.

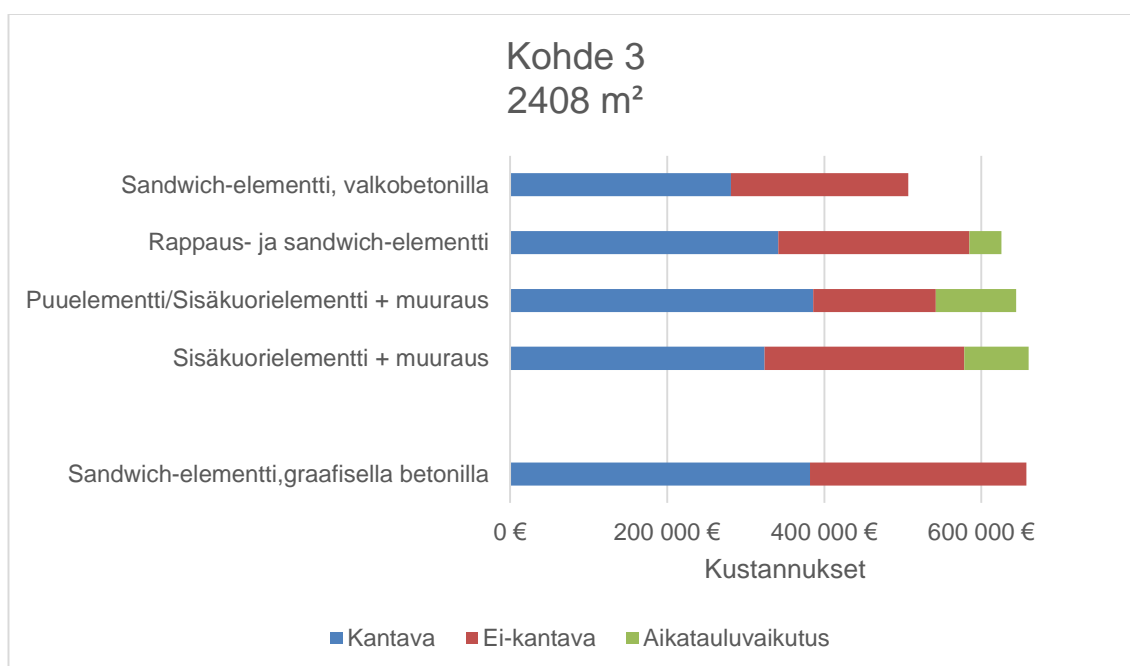
Taulukko 19. Kohteen 3 rakennejakauma

Kohde 3	Kantava	Ei-kantava
Sandwich-elementti, valkobetonilla	56 %	44 %
Puuelementti/Sisäkuorielementti + muuraus	66 %	34 %
Rappaus- ja sandwich-elementti	56 %	44 %
Sisäkuorielementti + muuraus	56 %	44 %
Sandwich-elementti, graafisella betonilla	56 %	44 %

Yksi selitys sille, miksei, ei-kantavia puuelementtejä voinut käyttää yhtä paljon kuin betonisia ei-kantavia rakenteita, näkyy kuvasta 20. B- ja C-talon päädyt, jotka on merkitty punaisella, ovat toisesta reunasta liian lähellä toisiaan. Seinien tulee täyttää palomääräykset EI60. Jotta tämä palomääräys täyttyisi puuelementeillä, vaatisi se lisäselvitystä. Tästä syystä päädyttiin, että nämä ei-kantavat päätyseinät tehtäisiin betonielementeillä.



Kuva 20. Kohteen 3 asemakaava



Kuva 21. Kohteen 3 investointi- ja kokonaiskustannukset

Kahteen julkisivuratkaisuun, joissa on ulkoverhouksena tiilimuuraus, on jätetty rakenteellisista syistä myös kantavia sandwich-elementtejä. Betonipintaisia sandwich-elementtejä on jouduttu jättämään niihin kohtiin, joissa maa nousee elementtiä vasten. Näissä kohdissa ei ole mahdollista käyttää puuelementtiä, eikä sisäkuorielementin käyttäminen ole järkevää, koska se tulisi villoittaa sekä muurata. Betonipintaisten sandwich-elementtien osuus on ainoastaan 58 m².

Kuvasta 21 nähdään, että kokonaiskustannuksiltaan vaihtoehdot noudattavat samaa järjestystä edullisimmasta kalleimpaan kuin kahdessa aiemmassa vertailukohteessa. Edullisin on sandwich-elementti ja kallein sisäkuorielementti julkisivumuurauksella. Toiseksi edullisin on rappaus- ja sandwich-elementti ja toiseksi kalleimmaksi muodostuu puuelementin ja sisäkuorielementin sekarakenne julkisivumuurauksella.

Kohteessa 3 aikataulusidonnaisista kustannuksista muodostuva viikkohinta on 20 939 €. Tämä on kaksinkertainen määrä kohteiden 1 ja 2 aikataulusidonnaisiin kustannuksiin. Korkeat aikataulukustannukset korostavat halvimman ja toiseksi halvimman vaihtoehdon hintaeroa. Kohteessa 3 kahden halvimman vaihtoehdon ero on jo 118 800 €. Hintaero on lähes kolminkertainen verrattuna kohteeseen 1, jossa samainen hintaero on 42 700 €, ja kohteessa 2 se on 46 700 €. Edullisimman ja kalleimman julkisivuvaihtoehdon kustannusero on 153 000 €. Kolmen kalleimman julkisivuvaihtoehdon hintaerot toisistaan ovat 34 300 €: n sisällä. Aikataulukustannusten suuruus osoittaa, kuinka rajusti se vaikuttaa halvimman ja kolmen kalleimman vaihtoehdon välillä.

Rappaus- ja sandwich-elementin yhdistelmän investointikustannukset ovat vain prosentin kalliimmat kuin betonisen sisäkuorielementin julkisivumuurauksella. Kun rakennusaikeensidottu kustannukset huomioidaan, muuttuu betoninen sisäkuorielementti 5 % kalliimmaksi kuin rappaus- ja sandwich-elementin yhdistelmä. Rappaus- ja sandwich-elementin yhdistelmä on myös puuelementin ja betonisen sisäkuorielementin sekarakennetta 8,5 % kalliimpi investointikustannuksiltaan. Sekarakenteen pidempi tuotantopeus muuttaa tilannetta, ja sekarakenne muodostuu lopulta 2 % kalliimmaksi. Puuelementtien nurkkahalkeamista aiheutuvat takuuajaiset kustannukset ovat ainoastaan 0,5 % kokonaiskustannuksista.

Tarkastellaan, mikä on kokonaiskustannusvaikutus, kun ulkokuori toteutetaan julkisivumuurauksella ja rakennuksen rungossa käytetään kantavissa ja ei-kantavissa ulkoseinissä betonisia sisäkuorielementtejä tai vaihtoehtoisesti ei-kantavissa ulkorakenteissa puuelementtejä. Tässä kohteessa kokonaiskustannukset ovat 3 % kalliimmat, mikäli kaikki ulkoseinärakenteet toteutetaan betonisilla sisäkuorielementeillä.

Sandwich-elementti graafisella betonilla on 150 500 € kalliimpaa kuin valkobetonilla. Kokonaiskustannuksissa tämä tarkoittaa 30 %:n eroa. Kaikissa kolmessa vertailukohteessa graafisen betonin kokonaiskustannukset ovat noin 30 % kalliimmat kuin valkobetonin.

Taulukossa 20 on kustannusten avainlukuja. Huoneistoneliöiden suhde rakennusoikeuden muodostaa rakennusoikeuden käyttötehokkuusluvun. Kohteessa 3 luku on 0,85, mikä on erinomainen. Huoneistoalatehokkuudessa on päästy myös hyvään tulokseen. Bruttoneliöiden suhde huoneistoneliöihin on 1,50.

Taulukko 20. Kohteen 3 avainlukuja

<i>Kohde 3</i>	<i>Kokonaiskustannukset €</i>	<i>€/huoneistoneliö</i>	<i>€/julkisivuneliö</i>
<i>Sandwich-elementti</i>	506 884	133,11	210,51
<i>Puuelementti/SK + muuraus</i>	640 747	168,26	266,09
<i>Rappaus- ja sandwich-elementti</i>	625 662	164,30	259,84
<i>SK + muuraus</i>	659 964	173,31	274,09

6 Kohteiden välinen vertailu

Tutkitaan julkisivuratkaisuiden kokonaiskustannuksia kohteiden välillä. Yritetään selvittää, mitkä ovat vaikuttavimmat tekijät kussakin julkisivuvaihtoehdossa kokonaiskustannuksen muodostukseen, ja tutkitaan, millä keinoin julkisivuvaihtoehdosta saadaan kustannustehokkain. Tiedetään, että aikataulukustannuksilla on iso merkitys, mutta selvitetään, löytyykö julkisivuratkaisuissa optimaalinen suhde kantavien ja ei-kantavien ulkoseinien välillä ja minkälaisia vaikutuksia saadaan työkustannuksia muuttamalla.

6.1 Sandwich-elementti

Sandwich-elementtirakenteessa kaikki näkyvät pinnat ovat hienopestyä valkobetonia ja parveketaustat maalattua betonia. Hieman vertailukohteesta riippuen on valkobetoin määrä 84–87 % ja maalattun betonin määrä 13–16 %. Ero on näin suuri, koska vertailun yhtenäistämiseksi, haluttiin maalattua betonia kaikissa kohteissa ainoastaan parveketäustoihin. Yleensä maalattua betonia on kohteissa enemmän ja pintamateriaalien suhde on lähempänä 70 % valkobetonia ja 30 % maalattua betonia.

Taulukosta 21 nähdään valkobetoin ja maalattun betonin kantavan ja ei-kantavan ulkoseinäelementin neliöhinnat. Oletuksena oli, että maalattu betonipinta on edullisempää kuin valkobetoni. Ei-kantava sandwich-elementti maalatulla pinnalla on edullisempi kuin vastaava sandwich-elementti valkobetoinipinnalla. Kantavassa rakenteessa maalattu betoni muodostuu kuitenkin kalliimmaksi, kuten taulukosta 21 nähdään. Kantavassa rakenteessa maalattavan sandwich-elementin hinta muodostuu elementin neliöhinnasta 168 €/m² ja maalaus kustannuksista 15 €/m².

Taulukko 21. Hienopestyn valkobetoin ja maalattun betonin neliöhinnat

Pintamateriaali	Kantava	Ei-kantava
Hienopesty valkobetoni	179 €/m ²	174 €/m ²
Maalattu betoni	183 €/m ²	171 €/m ²

Tutkitaan, miten neliöhinnat vaikuttavat investointikustannuksiin. Tarkastellaan kustannusvaikutusta muuttamalla kantavien ja ei-kantavien rakenteiden suhdetta toisiinsa nähdessä. Toiseksi tarkastellaan vaikutusta, jos maalattun betonin sijasta käytettäisiin ainoastaan valkobetonia.

Taulukossa 22 on kohteittain vertailu, jossa kantavien ja ei-kantavien rakenteiden määrät muuttuvat. Vertailtavuuden vuoksi kaikissa kohteissa maalattua betonia on kantavista seinistä 25 % ja ei-kantavista 10 %. Taulukosta 22 nähdään, ettei kantavien ja ei-kantavien seinärakenteiden suhteella toisiinsa nähden ole merkittävää vaikutusta. Kokonaiskustannusten ero on ainoastaan 0,4 %.

Taulukko 22. Kantavien ja ei-kantavien rakenteiden suhde toisiinsa nähden

Kantava / Ei-kantava	Kohde 1	Kohde 2	Kohde 3
28 % / 72 %	192 006	211 011	505 906
52 % / 48 %	192 861	211 914	508 055

Tarkastellaan, miten maalatun betonin käyttö vaikuttaa kustannuksiin. Taulukon 23 ylemmällä rivillä on sandwich-elementin pintamateriaalista 65 % valkobetonia ja 35 % maalattua betonia. Alemman rivillä sandwich-elementissä on käytetty ainoastaan valkobetonia. Kantavien ja ei-kantavien ulkoseinärakenteiden määrä on molemmissa sama. Vaikka kantava sandwich-elementti maalatulla betonipinnalla on tässä vertailussa neliöhinnaltaan kaikkein kalleinta, nähdään taulukon 23 kustannuksista, että ei sen pois jättämisellä ole merkittävää vaikutusta.

Taulukko 23. Maalatun betonin kustannusvaikutus sandwich-elementin pintamateriaalina

Pintamateriaali	Kohde 1	Kohde 2	Kohde 3
Valkobetoni/maalattu betoni	192 861	211 914	508 055
Valkobetoni	192 596	211 688	507 342

Sandwich-elementti on kokonaiskustannuksiltaan ylivoimaisesti edullisin kaikissa kohteissa. Sandwich-elementin etuna on, ettei siihen tule lainkaan aikataulukustannuksia, koska se on tuotantonopeudeltaan kaikkein tehokkain.

Suurin hintaan vaikuttava tekijä elementtityypin ja julkisivun pintamateriaalin lisäksi on elementissä käytettävät raudoitukset. Hintaan vaikuttaa se, onko sandwich-elementissä kiertävät teräkset vai teräsverkot ja mitkä ovat terästen paksuudet. Teräslaadun sekä paksuuden määrittelyllä voi olla yksittäisessä elementissä hintaeroa 6-13 €/m². Elementtien lisäraudoituksista aiheutuva lisähinta on 6 €/m², esimerkiksi jos tulee toinen verkko-raudoitus.

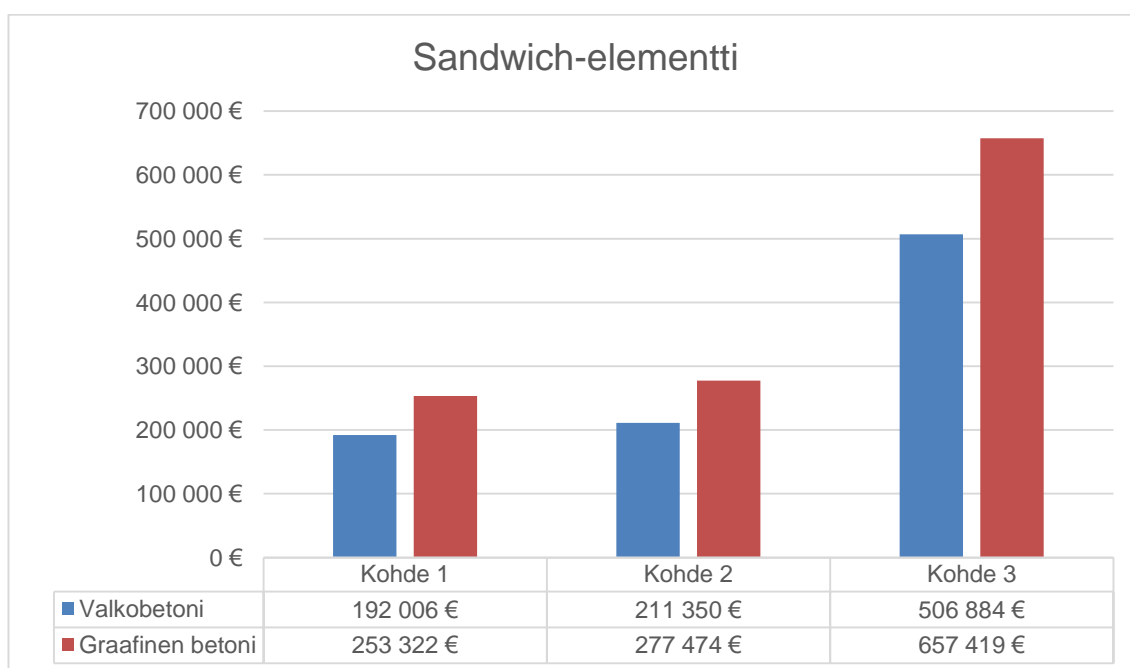
6.1.1 Hienopesty valkobetoni vs. graafinen betoni

Taulukossa 24 on sandwich-elementin pintamateriaalien hinnat valkobetoni- ja graafiselle betonille. Graafinen betoni on 76 €/m² kalliimpaa kuin valkobetoni.

Taulukko 24. Hienopestyn valkobetonin ja graafisen betonin neliöhinnat

Pintamateriaali	Kantava	Ei-kantava
Hienopesty valkobetoni	179 €/m ²	174 €/m ²
Graafinen betoni	255 €/m ²	250 €/m ²

Sandwich-elementin investointikustannukset graafisella betonilla ja valkobetoni- näkyvät kuvassa 22. Graafinen betoni muodostuu kokonaiskustannuksiltaan 30 % kalliimaksi kuin valkobetoni.



Kuva 22. Sandwich-elementin pintamateriaalien vertailu

Sandwich-elementin hinta muodostuu aina perushinnasta ja lisähinnasta. Lisähinta määräytyy valittavan pintamateriaalin mukaan ja se ilmoitetaan €/m². Sandwich-elementin perushinnan muodostukseen vaikuttaa kohteen koko ja elementtimäärä sekä kuinka pal-

jon toistoa elementeissä on. Kun verrataan valkobetonin ja graafisen betonin muodostamaa kokonaishintaa, ei hankkeen koolla ole vaikutusta pintamateriaalien väliseen hintaeroon. Koska perushinta on molemmissa sama ja hintaero muodostuu lisähinnan mukaan, ei elementtimäärällä tai kohteen koolla ole merkitystä. Näin ollen 30 %:n hintaero säilyy isommassakin kohteessa.

Vertailussa graafisen betonin osuus on kohteesta riippuen ollut 84–87 %. Näin laajassa mittakaavassa käytettynä kokonaiskustannukset nousevat kohtuuttoman korkeaksi ja käyttö voi olla kallista. Lapti on hyvin kiinnostunut graafisen betonin käytöstä tulevilla projekteilla, joten tutkitaan sen käyttömahdollisuuksia pienemmässä mittakaavassa. Tutkitaan, mikä on vaikutus investointikustannuksiin, jos sandwich-elementeistä 30 % on graafista betonia ja 70 % valkobetonia.

Investointikustannuksiltaan puuelementin ja betonisen sisäkuorielementin sekarakente julkisivumuurauksella jää edullisemmaksi, kuin sandwich-elementti graafisella betonilla ja valkobetoniilla. Kun kaikkiin julkisivuratkaisuihin lisätään aikataulusidonnaiset kustannukset, muodostuu graafisen ja valkobetonin yhdistelmä kokonaiskustannuksiltaan edullisimmaksi. Ainoastaan vielä edullisemmaksi jää sandwich-elementti valkobetoniilla ja maalatulla betonilla.

6.2 Rappauselementti ja sandwich-elementti

Rappauselementeissä kantava ja ei-kantava ulkoseinä on hinnoiteltu samanhintaiseksi. Hintaero on niin pieni, että selvyyden vuoksi hinnat ilmoitetaan aina yhtä suurina, vaikka todellisuudessa ei-kantava rakenne on hieman edullisempi.

Tutkimuksessa ei tullut esille mitään tiettyä neliömäärää, jonka ylittyessä neliöhinta laskisi merkittävästi. Keskustellessani asiasta Parman myynnin kanssa, ei heilläkään ollut antaa mitään tiettyä rajaa, jonka jälkeen hinta laskisi selvästi. Ainoastaan voitiin todeta, että volyymin kasvaessa on mahdollista saada elementin neliöhintaa edullisemmaksi.

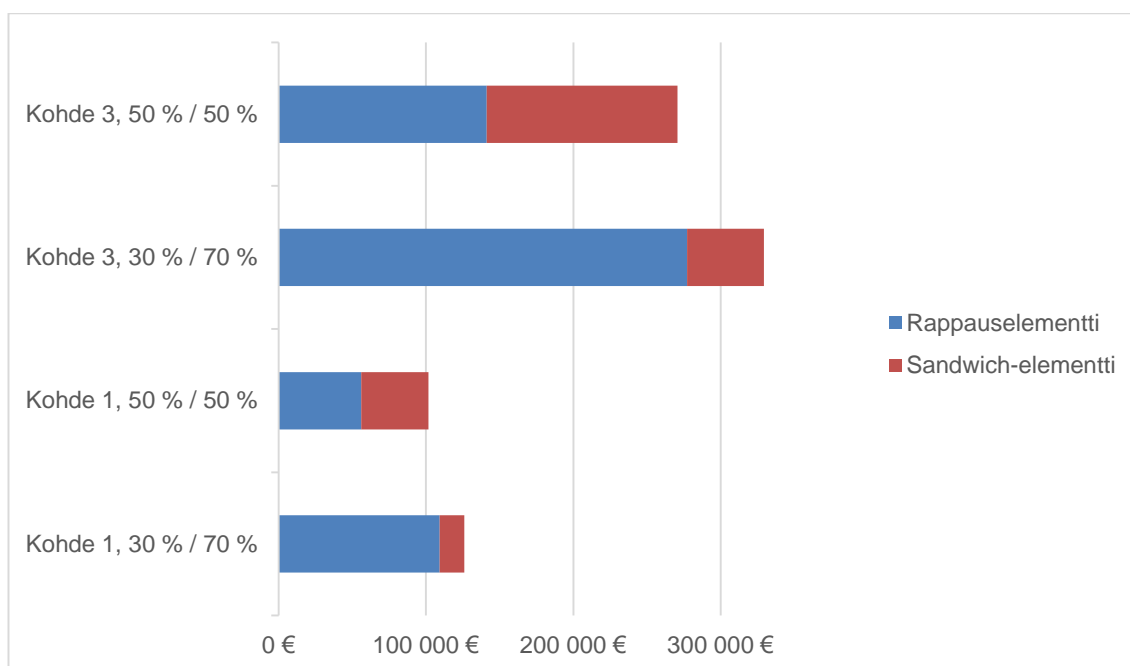
Tutkitaan, mikä vaikutus on kokonaiskustannuksiin, kun muutetaan rappauselementin ja sandwich-elementin määrää toistensa suhteen. Sandwich-elementin pintamateriaalina on tässä tarkastelussa ainoastaan valkobetoni. Lisäksi tutkitaan, mikä vaikutus on kokonaiskustannuksiin, kun rappauselementin ja sandwich-elementin määrä on sama, mutta

muutetaan kantavien ja ei-kantavien ulkoseinien määrää. Verrataan kohdetta 1 ja 3 keskenään.

Tarkastelussa jätetään ikkuna-asennuksen, elementtiasennuksen sekä asennustarvikkeiden hinta huomioimatta. Rappauselementin hintaan sisältyy rappauksen materiaali-, työ- ja nostinkulut. Vertailtavuuden säilymiseksi huomioidaan sandwich-elementissä ikkuna- ja julkisivukittauksesta aiheutuvat työ- ja materiaalikulut sekä työhön käytettävän nostimen kustannukset. Näin molemmat saadaan vertailuun sisä- ja ulkopinnoilta yhtä valmiiksi.

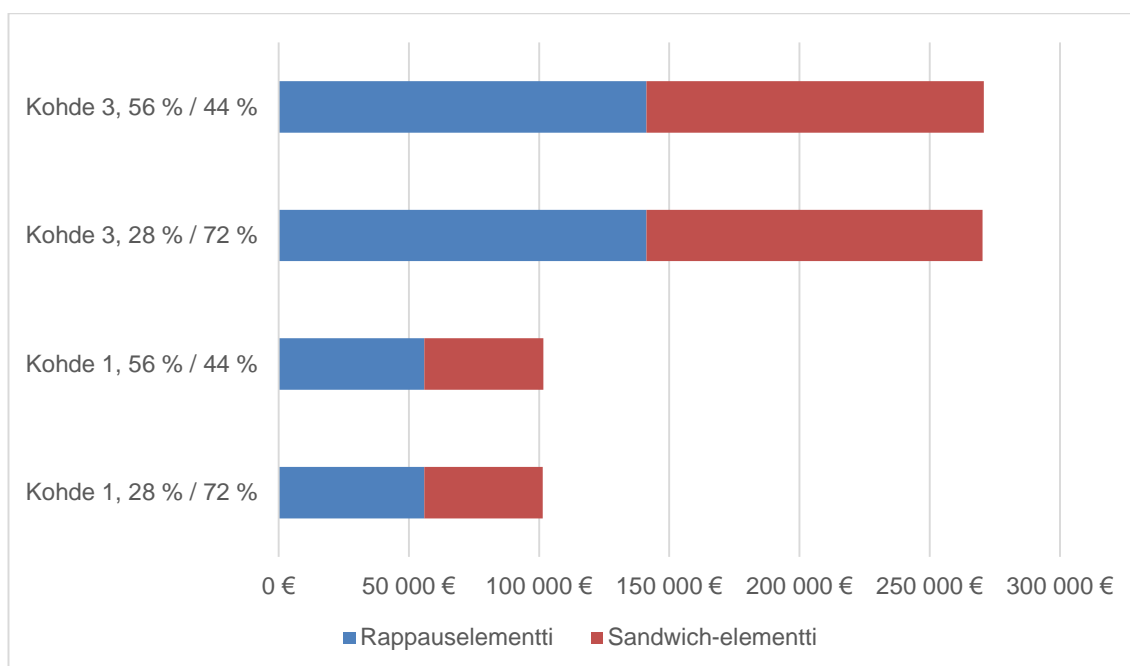
Taulukossa 25 on tulokset rappauselementin ja sandwich-elementin rakenteelle, kun kantavien ja ei-kantavien ulkoseinärakenteiden osuus pysyy samana, mutta rappauselementin ja sandwich-elementin määrä toistensa suhteen muuttuu. Rakenne on kustantehokkaampi, jos rappaus- ja sandwich-elementtejä on kumpiakin 50 %. Kokonaiskustannukset ovat 19 % korkeammat, mikäli rappauselementtejä on 70 % ja sandwich-elementtejä 30 %. Kohteen koolla ei ole vaikutusta tuloksiin.

Taulukko 25. Rappauselementin ja sandwich-elementin välinen suhde



Tutkitaan, mitä tapahtuu kokonaiskustannuksille, kun rappauselementtejä ja sandwich-elementtejä on molempia 50 %, mutta kantavien ja ei-kantavien rakenteiden osuus muuttuu. Tarkastellaan tilannetta taulukon 26 avulla, jossa vertailuvaihtoehtojen kantavien ja ei-kantavien ulkorakenteiden osuudet ovat erilaiset. Toisessa vaihtoehdossa on kantavia ulkoseinärakenteita 28 % ja ei-kantavia 72 %, ja toisessa vaihtoehdossa kantavia ulkoseinärakenteita on 56 % ja ei-kantavia 44 %.

Taulukko 26. Kantavien ja ei-kantavien rakenteiden muutos



Taulukko 26 osoittaa, ettei kokonaiskustannuksiin ole vaikutusta sillä, missä suhteessa on kantavia ja ei-kantavia ulkoseinärakenteita. Kokonaiskustannukset ovat ainoastaan 0,2 % edullisemmat, kun kantavia rakenteita on vähemmän. Tulokseen ei näytä olevan vaikutusta hankkeen koolla.

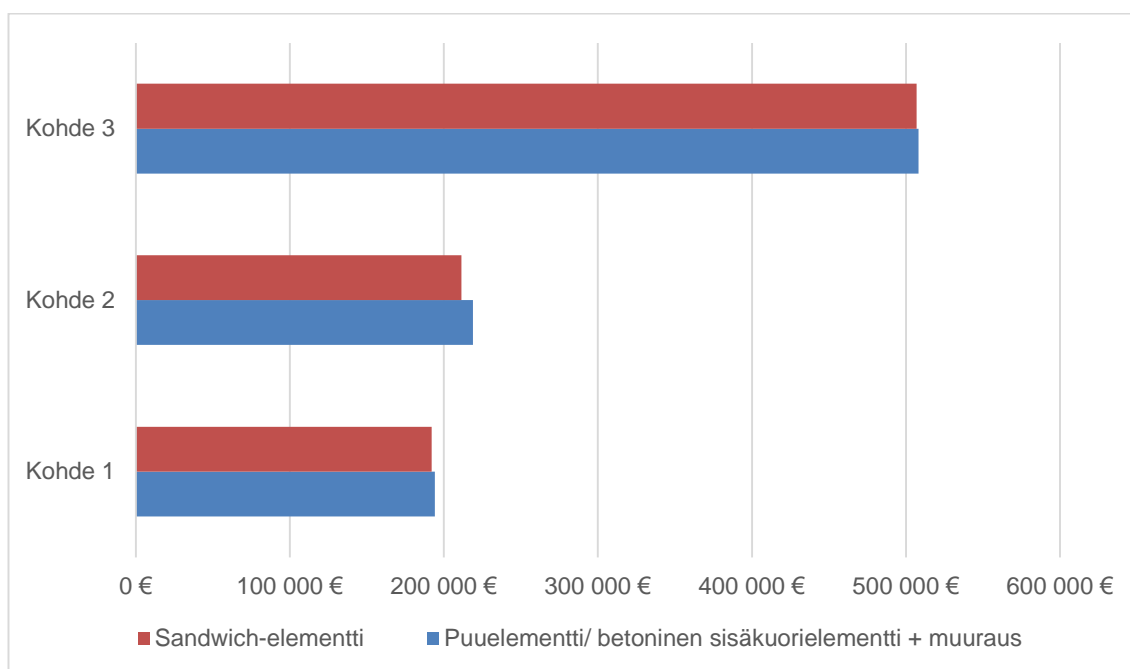
Vertailu osoittaa, että kokonaiskustannuksiin on huomattava vaikutus, missä suhteessa rappauselementtejä on sandwich-elementteihin. Tähän vaikuttaa rappauselementtien korkea hinta, mikä korostuu, kun rappauselementissä ei ole eri hintaa kantavalle ja ei-kantavalle rakenteelle. Näin ollen ei ole vaikutusta missä suhteessa kantavia ja ei-

tavia rappauselementtejä on, vaan ainoastaan rappauselementtien kokonaismäärä suhteessa sandwich-elementteihin. Tutkimus osoittaa, että 1 %:n kasvu rappauselementin määrässä, lisää kustannuksia 2900 €.

6.3 Puuelementti ja betoninen sisäkuorielementti + julkisivumuuraus

Kohteessa 1 on puuelementin ja betonisen sisäkuorielementin sekarakenteen sekä sandwich-elementin investointikustannusten ero kaikkein pienin. Rakenteen kantavien ulkoseinien osuus on 28 % ja ei-kantavien ulkoseinien 72 %. Tutkitaan taulukon 27 avulla vaikutusta kustannuksiin kohteissa 2 ja 3, kun kantavan ja ei-kantavan ulkoseinärakenteen suhde muutetaan samanlaiseksi kuin kohteessa 1.

Taulukko 27. Kantavia ulkoseinärakenteita 28 %, ei-kantavia 72 %



Taulukon 27 tuloksista huomataan, että muuttamalla sekarakenteen kantavien ja ei-kantavien ulkoseinärakenteiden suhdetta toisiinsa nähden, päästään myös kohteessa 2 ja 3 hyvin lähelle sandwich-elementin investointikustannuksia.

Kohteessa 3 on alun perin puuelementin ja betonisen sisäkuorielementin investointikustannuksissa kantavia ulkoseinärakenteita 66 % ja ei-kantavia ulkoseinärakenteita 34 %.

Investointikustannukset pienenevät 36 000 € eli hieman alle 6 %, kun kantavien ulkoseinärakenteiden osuus on 28 %. Puuelementin ja betonisen sisäkuorielementin investointikustannuksiin on vaikutusta kantavien ja ei-kantavien ulkorakenteiden suhteella toisiinsa.

Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, ettei aina ole rakenteellisesti mahdollista käyttää vain 28 % kantavia ulkoseinärakenteita. Kohteissa 2 ja 3 puuelementtien käyttö parvekejulkisivuissa olisi vaatinut parvekkeisiin pilarit tai kokonaan erilaisen parvekedetaljin. Tämä olisi lisännyt puuelementtien investointikustannuksia entisestään. Koska parvekkeet oli rajattu tutkimuksesta pois, ei tätä huomioitu tuloksissa.

Taulukko 28.

	<i>Julkisivuelementtinieliöt</i>	<i>Elementtien määrä</i>
<i>Kohde 1</i>	950 m ²	59 kpl
<i>Kohde 2</i>	1012 m ²	93 kpl
<i>Kohde 3</i>	2407 m ²	243 kpl

Taulukossa 28 on kohteiden julkisivuneliömäärät ja asennettavien ulkoseinäelementtien määrät. Esimerkiksi kohteessa 2 on 6 % enemmän julkisivuneliöitä, mutta 36 % enemmän asennettavia elementtejä kuin kohteessa 1. Mitä enemmän on asennettavia elementtejä, sitä enemmän on puuelementeissä työmaalla tehtävää työtä ja materiaalikustannuksia. Puuelementeissä lisäkustannuksia tuovat lisääntyvien sähkörsioiden määrä, elementtien väliset saumat ja liitokset, sisäpuolinen levytys, koolaus ja villoitus, palokitus sekä tilkitys.

Tulokset vahvistavat käsityksen työmaalla tehtävän työn kalleudesta. Puuelementtien määrän ollessa suurempi kuin betonisten sisäkuorielementtien on elementtien kokonaishankintahinta huomattavasti edullisempi. Tämä kustannussäästö kuitenkin kapeenee, kun työmaalla tehtävä työmäärä lisääntyy samassa suhteessa puuelementtien määrän lisääntyessä.

6.3.1 Puuelementtien kustannustehokkuus

Puuelementin ja betonisen sisäkuorielementin sekarakenteesta saataisiin mahdollisesti kustannustehokkaampi, mikäli puuelementeissä olisi julkisivuverhouksen puupaneeli. Kerrostalojulkisivuissa käytettävä puupaneeliverhous aiheuttaa kuitenkin vaatimuksia

palomääräysten suhteen, mikä nostaa kustannuksia. Puuverhouksen käytöstä aiheutuvat lisäkustannukset mm. palomääräysten ja suunnittelun suhteen kaventavat kustannustehokkuutta.

Tutkimus on antanut viitteitä, ettei puuelementtien käyttö kerrostalokohteissa vaikuta kustannustehokkaalta. Puuelementtien kustannustehokkuus saavutetaan paremmin pientalo- ja rivitalotuotannossa. Esimerkiksi rivitalokohteissa puuelementtien asentaminen on nopeaa ja vesikatto on mahdollista kasata jo maassa, jolloin se saadaan nostettua asennettujen ulkoseinäelementtien päälle ja puuelementit ovat nopeasti sateelta suojassa.

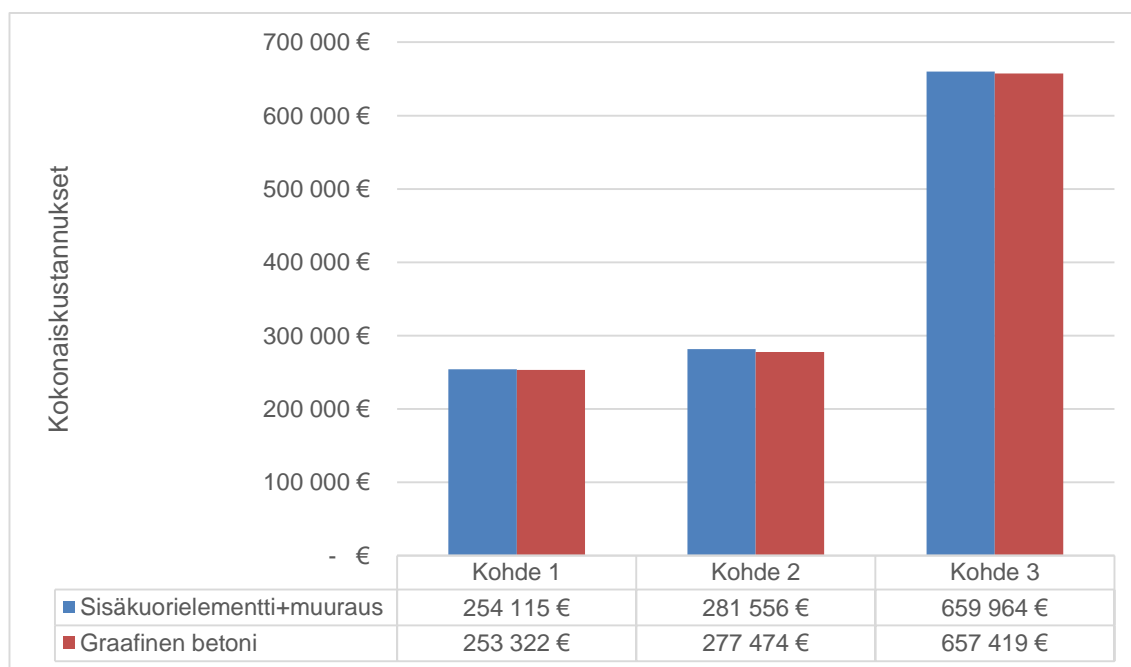
6.4 Sisäkuorielementti + julkisivumuuraus

Sisäkuorielementti julkisivumuurauksella on kokonaiskustannuksiltaan kaikkein kallein vaihtoehto kaikissa kolmessa kohteessa. Mikäli huomioitaisiin ainoastaan investointikustannukset, on rappaus-elementin ja sandwich-elementin yhdistelmä kallein kohteissa 1 ja 3. Elementtiasennus on molemmissa kohteissa yhtä nopeaa, mutta julkisivuvilloitus ja muuraus on noin kaksi viikkoa hitaampaa kuin rappaus ja julkisivukittaus. Tästä aiheutuva viive rakennusaikaan nostaa kokonaiskustannuksia ratkaisevasti ja betoninen sisäkuorielementti julkisivumuurauksella nousee kalleimmaksi vaihtoehdoksi. Julkisivuratkaisu saadaan kokonaiskustannuksiltaan samanhintaiseksi kuin rappaus- ja sandwich-elementin yhdistelmästä ja jopa edullisemmaksi.

Kohteessa 3 tutkittiin, mikä on vaikutus kokonaiskustannuksiin, kun kantavana ja ei-kantavana ulkoseinä-rakenteena on betoninen sisäkuorielementti tai vaihtoehtoisesti kaikki ei-kantavat ulkoseinä-rakenteet ovat puuelementtejä. Kohteessa 3 kokonaiskustannustenero on 3 % ja kohteissa 1 ja 2 ero on 4 %. Kun tutkitaan pelkästään investointikustannuksia, saadaan kustannushyöty paremmin esille. Mitä enemmän ulkoseinä-rakenteissa on ei-kantavia puuelementtejä, sitä isompi on investointikustannustenero. Esimerkiksi kohteessa 1, betoninen sisäkuorielementti julkisivumuurauksella on 10 % kalliimpi kuin betonisen sisäkuorielementin ja puuelementin sekarakenne, missä puuelementtejä on 72 %.

Kuvassa 23 on kokonaiskustannukset sandwich-elementille graafisella betonipinnalla ja betoniselle sisäkuorielementille julkisivumuurauksella. Sandwich-elementti graafisella

betonilla on edullisempi. Hintaero on kuitenkin niin pieni, että betonisesta sisäkuorielementti rakenteesta saadaan edullisempi kun muuraustyön hintaa lasketaan 5 €/m². Tämä vahvistaa entisestään sitä, kuinka suuri vaikutus julkisivumuurausten työkustannuksilla on kokonaiskustannuksiin.



Kuva 23. Graafisen betonin ja betonisen sisäkuorielementin + julkisivumuuraus kokonaiskustannukset

Kuvan 23 tulokset myös havainnollistavat, ettei graafisen betonin käyttö ole niin kallista kuin on ehkä ajateltu.

6.5 Työmaalla tehtävän työn vähentäminen

Työmaalla tehtävä työ koetaan kalliiksi ja aikaa vieväksi. Tutkimuksen aikana yritettiin löytää, olisiko jokin työvaihe, mikä voitaisiin siirtää jo elementtitehtaalle. Ainoa työvaihe, mikä nousi esille, on ikkuna-asennus. Ikkunat asennettaisiin betonielementteihin jo tehtaalla kuten puuelementeissä. Elementtitehtaalla ikkuna-asennuksen hinta olisi kolminkertainen verrattuna työmaalla tehtävään hintaan. Ikkuna-asennuksen siirtäminen tehtäväksi elementtitehtaalle ei ole siis kannattavaa. Jatkon kannalta jää mietintään, löytyykö jokin työvaihe, jonka tekeminen voidaan välttää työmaalla kustannustehokkaasti.

7 Tulokset

Tulokseksi muodostui kattavasti tietoa julkisivuratkaisujen investointi- ja kokonaiskustannuksista. Kohteiden julkisivuvaihtoehtojen kustannuksia voidaan tarkastella kuvasta 24. Kokonaiskustannuksiltaan julkisivuvaihtoehdot ovat edullisimmasta kalleimpaan samat kaikissa kohteissa. Edullisin on sandwich-elementti ja kallein sisäkuorielementti julkisivumuurauksella. Toiseksi edullisin on rappaus- ja sandwich-elementin yhdistelmä ja toiseksi kalleimmaksi muodostuu puuelementin ja sisäkuorielementin sekarakenne julkisivumuurauksella.

Sandwich-elementti valkobetoniilla ja maalatuilla betonisilla parveketaustoilla muodostuu kustannustehokkaimmaksi. Se on julkisivuvaihtoehtona sekä investointi- että kokonaiskustannuksiltaan taloudellisin vaihtoehto. Kustannustehokkuus saavutetaan sandwich-elementin valmiusasteella, mikä on viety mahdollisimman pitkälle elementtitehtaalla. Kun mietitään sandwich-elementtiä julkisivuvaihtoehtona, on hintaan vaikuttavia tekijöitä huomioitava ulkokuoren pintamateriaali, koko, aukotus ja sarjojen suuruus.

Graafinen betoni sandwich-elementin pintamateriaalina on neliöhinnaltaan kallista, mutta pienissä määrin se ei nosta kokonaiskustannuksia liikaa. Kustannustehokkuus säilyy kun sandwich-elementin pintamateriaalista on 30 % graafista betonia ja 70 % valkobetonia. Vältetään aikaa vievältä muuraukselta tai rappaukselta, mutta saadaan monimuotoista pintaa ja rakennusaika säilyy mahdollisimman lyhyenä

Halvin

Toiseksi halvin

Toiseksi kallein

Kallein

	Kohde 1 950 m ²		Kohde 2 1012 m ²		Kohde 3 2408 m ²	
	Investointikustannukset	Kokonaiskustannukset	Investointikustannukset	Kokonaiskustannukset	Investointikustannukset	Kokonaiskustannukset
Rakenne						
Sandwich-elementti, valkobetoni ja maalattu	192 006	192 006	211 350	211 350	506 884	506 884
Puuelementti/SK + muuraus	194 043	243 895	226 806	270 928	538 702	640 747
Rappauselementti ja sandwich-elementti	218 762	238 703	240 391	258 039	584 844	625 662
SK + muuraus	214 233	254 115	246 259	281 556	578 327	659 964

Kuva 24. Investointi- ja kokonaiskustannukset kohteittain

Kuvassa 24 esitetyissä tuloksissa nähdään, kuinka kustannukset muuttuvat investointi- ja kokonaiskustannusten välillä. Kustannusten muutos johtuu julkisivuvaihtoehtojen rakennusajan huomioimisesta kokonaiskustannuksiin. Aikataulukustannusten johdosta kolmen kalleimman julkisivun kustannusjärjestys muuttuu investointikustannusten ja kokonaiskustannusten välillä. Rakennusajalla on yllättävän suuri vaikutus julkisivun kus-

tannustehokkuuteen. Pohdittaessa julkisivuvaihtoehdon valintaa on investointikustannusten lisäksi syytä huomioida aikataulun vaikutus kustannuksiin, jotta saadaan kokonaiskuva julkisivuvaihtoehdon taloudellisuudesta.

Investointikustannuksissa on poikkeama kohteessa 2 kahden kalleimman vaihtoehdon välillä. Ainoastaan kohteessa 2 betoninen sisäkuorielementti julkisivumuurauksella muodostui investointikustannuksilta kalleimmaksi. Tähän on syynä muurattavien neliöiden määrä suhteessa julkisivuneliöihin. Muurattavia neliöitä on 86 % koko julkisivuneliöistä. Muurauksen määrää nostivat kohteen kulmikas muoto ja katolla puolikkaan kerroksen muodostava IV-konehuone. Julkisivumuuraus oli ainut julkisivuvaihtoehdoista, jossa rakennuksen muodolla näyttää olevan vaikutusta kustannuksiin. Tämä on syytä huomioida kun suunnitellaan julkisivumuurausta kohteeseen, jossa on ulokkeita, paljon kulmia tai muuten monimuotoinen. Muuraustyön ja muurauksen ainekustannuksiin voidaan huomattavasti vaikuttaa, jos hintaa pystytään tinkimään 5-15 €/m².

Huoneistoneliöiden kustannukset (€/huoneistoneliö) on sitä parempi, mitä isompi kohde on. Huoneistoneliöiden kustannuksissa oli eroja kohteiden välillä. Niiden tarkemmat taulukot löytyvät luvusta 5.

Julkisivuneliöiden kustannukset (€/julkisivuneliöt) puolestaan ovat lähes samat kaikissa kolmessa kohteessa, eikä kohteen koolla näytä olevan vaikutusta. Kantavien ja ei-kantavien ulkoseinärakenteiden suhteella toisiinsa nähden ei myöskään ole vaikutusta. Näiden kolmen kohteen julkisivuneliöiden keskiarvohinnat on esitetty taulukossa 29. Luvussa 5 on kunkin kohteen taulukot, joista nähdään tarkemmin ulkoseinärakenteiden suhteet toisiinsa nähden ja mistä keskiarvot on muodostunut.

Taulukko 29. Julkisivuneliöiden keskiarvot

<i>Julkisivuneliöiden kustannukset</i>	<i>€/julkisivuneliö</i>
<i>Sandwich-elementti</i>	207,1
<i>Puuelementti/sisäkuorielementti julkisivumuurauksella</i>	263,5
<i>Rappaus- ja sandwich-elementti</i>	255,4
<i>Sisäkuorielementti julkisivumuurauksella</i>	273,3

Mitä pienempi huoneistoalatehokkuusluku on, sitä alhaisempi on hinta. Huoneistoalatehokkuusluku on huonoin kohteessa 2: 1,58 ja paras kohteessa 3: 1,50. Kohteessa 1 vastaava luku on 1,53. Huoneistoalatehokkuus luku on sitä parempi mitä vähemmän kohteessa on bruttoneliöitä suhteessa huoneistoneliöihin. Kohteen 2 tuloksen selittää, että bruttoneliöiden suhde huoneistoneliöihin on vertailukohteista kaikkein suurin.

Rakennusoikeuden käyttötehokkuus on sitä parempi, mitä lähemmäksi päästään lukua 1. Kohteessa 3 rakennuksen käyttötehokkuudessa on päästy erinomaisen arvoon: 0,85. Kohteessa 1 rakennusoikeuden käyttötehokkuusluku on 0,72 ja kohteessa 2 luku on 0,82. Kohteen 1 rakennusoikeuden käyttötehokkuusluku on jäänyt tehottomaksi. Yksi syy tähän on kaavamääräys, joka on sisällyttänyt kaikki yleiset tilat kuuluvaksi rakennusoikeuteen.

Avainlukuja tarkasteltaessa kohteen koolla näyttää olevan merkitystä. Kaikkein parhaimmat tulokset saatiin huoneistoneliöiden, huoneistoalatehokkuuden ja rakennusoikeuden käyttötehokkuudesta kohteessa 3, joka on neliöiltään huomattavasti muita kohteita isompi.

Puuelementin investointikustannukset ovat huomattavasti edullisemmat kuin betonisten elementtien, mutta kun huomioidaan puuelementin työ- ja aikataulukustannukset, ei puuelementti ole niin kustannustehokas kuin miltä ehkä aluksi vaikuttaa. Puuelementtien takuuajaisilla kustannuksilla ei ole taloudellista merkitystä kokonaiskustannusten muodostumiseen. Vertailukohteesta riippuen takuutöiden osuus on ainoastaan 0,5-1 % kokonaiskustannuksista.

7.1 Kriittisyys tarkastelu

Tutkimustuloksia on tarkasteltava myös kriittisesti. Rakennushankkeen kustannuksiin on monia vaikuttavia tekijöitä ja täysin yksiselitteisiä laskelmia kustannusten muodostumiseen ei voida antaa. Nämä tulokset on saatu kyseisiin tutkimuskohteisiin. Etenkin aikataulun muodostumista ja vaikutusta on tarkasteltu juuri vertailukohteita silmällä pitäen. Tulokset ovat suuntaa antavia, mutta eivät yksiselitteisiä.

Tuotantonopeuden muodostuminen ja koko rakennushankkeen kokonaisaikaan vaikuttavat tekijät ovat moniselitteisiä. Rakentamisen sijoittuminen talvelle pidentää tietyissä rakennusvaiheissa rakennusaikaa. Talvityölisät, kuten suojaus ja lumityöt, aiheuttavat

keskeytyksiä ja talvi kasvattaa työmenekkiä. Aikatauluun vaikuttaa myös joissakin materiaaleissa olevat lämpötilarajoitukset, niiden vaatimat suojaukset sekä koneiden ja laitteiden käyttörajoitukset. Noin vuoden mittaisissa rakennushankkeissa on aloitusajankohdalla vaikutusta ja kustannukset ovat riippuvaisia aloitusajankohdasta. Perustus- ja runkovaiheen ajoittuessa talveen on sillä huomattavasti suurempi vaikutus kustannuksiin kuin sisävalmisteluvaiheen ajoittuminen talven. [23.]

Osaltaan on varmasti paikkansa pitävää, ettei julkisivuvaihtoehtojen välille muodostuisi niin suuria aikataulueroja kuin tässä tutkimuksessa on todettu. Tähänkin asiaan saatiin haastatteluiden osalta kahdenlaista näkökantaa. Toisaalta oltiin samoilla linjoilla julkisivuvaihtoehtojen aikatauluerojen muodostumisesta, mutta toinen näkökulma oli, että runkovaiheessa saatu aikatauluviive saadaan kurottua umpeen. On toki mahdollista, että aikatauluviivettä saataisiin kurottua umpeen. Tällöin on huomioitava, että aikataulun kirjitys vaatii lisää resursseja ja lisäresurssit aiheuttavat lisää kustannuksia.

8 Yhteenveto

Tutkimuksessa vertailtiin kolmen uudiskerrostalokohteen toteutusta neljällä erilaisella julkisivuvaihtoehdolla. Vertailtavina julkisivuvaihtoehtoina tutkimuksessa oli sandwich-elementti valkobetonilla, ja parveketaustat maalattua betonia, rappaus- ja sandwich-elementin yhdistelmä, puuelementin ja sisäkuorielementin sekarakenne, jossa julkisivuna puhtaaksi muurattu tiili ja parveketaustat paneloituna sekä sisäkuorielementti julkisivumuurauksella ja parveketaustat paneloituna.

Tähän työhön ryhdyttiin, koska yritys halusi saada vertailukelpoista tietoa, siitä miten kustannukset muodostuvat julkisivuvaihtoehtojen välillä erilaisissa ja erikokoisissa kohteissa. Kohteittain tutkittiin kunkin julkisivun muodostamia investointi- ja kokonaiskustannuksia. Julkisivuista aiheutuvat muutokset rakennusaikaan huomioitiin kokonaiskustannuksissa 8-9 litteroiden kautta.

Tutkimus toteutettiin haastattelemalla yrityksen henkilöstöä ja yhteistyökumppaneita sekä eri kirjallisuuslähteiden avulla. Tutkimuksessa käytettävät yksikköhinnat ja neliöhinnat saatiin pääasiassa yrityksen omaan projektipankkiin tallennetuista sopimuksista sekä tarjouspyynnöistä. Hankinta oli isona apuna kustannusten selvittämisessä.

Ulkoseinärakenne on yksi rakennuksen kalleimpia rakennusosia ja vaikuttaa suuresti koko rakennushankkeen kustannuksiin. Hankkeen kustannustehokkuuden kannalta on oleellista miettiä julkisivumateriaalin ja runkorakenteen lisäksi kohdekohtaisesti julkisivuratkaisun aikatauluvaikutuksia. Rakennusajan muodostuminen julkisivuratkaisun perusteella ei ole yksiselitteistä, vaan vaikuttavia tekijöitä on monia, jotka tulisi huomioida tarkasteltaessa kokonaisuutta. Kun kohteessa käytetään erilaisia ulkoseinäelementtejä, voidaan näiden elementtien välisillä suhteilla vaikuttaa kustannustehokkuuteen.

Tutkimuksessa saatiin kattavasti tietoa kustannusten muodostumiseen vaikuttavista tekijöistä. Tuloksia on tietyiltä osin syytä tarkastella kriittisesti, mutta tulokset antavat perspektiiviä, kuinka eri tekijät vaikuttavat kokonaiskustannusten muodostumiseen. Tuloksia voidaan käyttää apuna suunniteltaessa mahdollisimman kustannustehokasta toteutustapaa.

Lähteet

- 1 Parma. Tuotteet. Luettu 4.12.2015
< <http://www.parma.fi/tuotteet/seinaet/parmarappaus>>
- 2 Suomen Betoniyhdistys ry, Eriste ja levyrappaus, 2011, Esa Print Oy, Lahti
- 3 Sarvelainen Ilkka, Julkisivurakenteiden kustannusvertailu kerrostalokoh-
teessa, 2012, Opinnäytetyö
<[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38944/Sarvelai-
nen_Ilkka.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38944/Sarvelai-
nen_Ilkka.pdf?sequence=1)>
- 4 Puuinfo. Puu-materiaalina. Kosteustekniset ominaisuudet. Luettu 25.11.2015
<[http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/kosteusteknisi%C3%A4-omi-
naisuuksia](http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/kosteusteknisi%C3%A4-omi-
naisuuksia)>
- 5 Parma. Tuotteet. Luettu 4.12.2015
<<http://www.parma.fi/tuotteet/seinaet/julkisivut>>
- 6 Kielipalvelut. Luettu 10.12.2015
<<http://languageservices.blogs.tamk.fi/opinnaytetyon-kirjoittaminen>>
- 7 Rakennustuoteteollisuus RTT ry, Uudet betonijulkisivurakenteet, 1998, Suo-
men Betonitieto Oy, Jyväskylä
- 8 Koskenvesa Anssi ja Sahlstedt Satu, Rakennushankkeen ajallinen suunnit-
telu ja ohjaus, 2011, Tammerprint Oy, Tampere
- 9 Rakennustieto, Betoniset julkisivurakenteet RT-kortti 82-10766
- 10 Rakennekirjasto. Ulkoseinät. Luettu 25.11.2015
< [http://download.rockwool.fi/rakennekirjasto/ulkoseinaet/tuuletetut-raken-
teet.aspx?page=1548](http://download.rockwool.fi/rakennekirjasto/ulkoseinaet/tuuletetut-raken-
teet.aspx?page=1548)>
- 11 Suomen Betoniyhdistys ry, Betonitekniikan oppikirja, 2009, viides painos,
Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä
- 12 Tiileri. Julkisivut. Luettu 21.1.2016
<<http://www.tiileri.fi/fi/julkisivut>>
- 13 Tolppanen Janne, Suomalainen puukerrostalo, 2013, Opetushallitus, Tam-
pere

- 14 Puumateriaalien terveysvaikutukset sisäkäytössä, kirjallisuuskatsaus. Verkko-dokumentti.
<<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp320.pdf>>
- 15 Tiileri. Tekinen opas II. Luettu 21.1.2016
<http://www.tiileri.fi/tiedostot/tekninen_opas_II.pdf>
- 16 Wienerberger. Lehdistö tiedote. Luettu 20.2.2016
< www.wienerberger.fi/tiili-on-investointi-tulevaisuuteen.html>
- 17 Julkisivuyhdistys. Luettu 20.2.2016
<www.julkisivuyhdistys.fi>
- 18 Graphic Concrete. Tuotteet. Luettu 5.10.2016
< <http://www.graphicconcrete.com/fi/>>
- 19 Wikipedia. Luettu 10.2.2016
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Graafinen_betoni>
- 20 Vuorela Kari, Urpola Jussi ja Kankainen Jouko, Johdatus rakentamistalou-teen, 2001, uudistettu painos, Otamedia Oy
- 21 VTT. Julkaisut. Luettu 22.2.2016
<<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2214.pdf>>
- 22 Iltalehti. Asuminen. Luettu 19.3.2015
http://www.iltalehti.fi/asuminen/2015030519303814_an.shtml
- 23 Rakennustietosäätiö, Rakennusurakan yleiset sopimusehdot - YSE 1998, RT-kortti 16-10660
- 24 Taloforum. Projektit. Luettu 27.3.2016
<<http://taloforum.fi/viewtopic.php?t=82&start=1920>>

