



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Larissa Harju

# CLT-elementti- ja betonirungon kustannus- ja aikatauluvertailu kohteessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

9.4.2020

Tekijä Otsikko	Larissa Harju CLT-elementti- ja betonirungon kustannus- ja aikatauluvertailu kohteessa
Sivumäärä Aika	59 sivua + 0 liitettä 9.4.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Lehtori, Mauri Konttila, Rakentaminen ja arkkitehtuuri Työpäällikkö Reima Liikamaa, SRV Rakennus Oy
<p>Tämän insinööriyön aiheena on CLT-elementtirunkoisen ja betonirunkoisen rakennuksen kustannuksien ja työmenekkien vertailu kohteessa. Tilaajayrityksenä toimii SRV Rakennus Oy ja tavoitteena on saada realistista tietoa kustannuksista ja aikataulumenekeistä eri rakennusmateriaalien välillä, sekä positioista, jotka niihin eniten vaikuttavat.</p> <p>Puu- ja betonirakenteiden rakentamiskustannukset koostuvat hyvin monesta eri osa-alueesta. Puuelementtiteollisuuden tuotannon tai rakenneratkaisujen, kuten liitostekniikan tehokkuus ei ole niin pitkälle kehittynyttä kuin betonielementtiteollisuudessa, jolloin vaikutukset kustannuksiin insinööriyön vertailukohteessa näkyvät selvästi.</p> <p>Tutkimusaineistona käytettiin kirjallisuus- ja internetlähteiden lisäksi urakkatarjouksia, sekä SRV Rakennus Oy:n rekistereitä. Myös haastattelujen avulla saatiin kohdekohtaista tietoa rakentamisen kustannuksista ja aikataulutuksesta.</p> <p>Lopputuloksena syntyi kustannus- ja aikatauluvertailu rungon ulkoseinärakenteesta ja välipohjarakenteesta, sekä niiden palotekniikan, kosteuden, - ja olosuhdehallinnan ja akustiikan vaatimuksista. Tutkimuksen tuloksena voidaan todeta puuelementtirakenteiden käytön olevan kohteessa nykypäivänä vielä kalliimpia kuin betonirakenteiden käyttö niiden jalostusasteen takia. Eri toteutusratkaisuilla voidaan kuitenkin kustannuksiin vaikuttaa puurakenteiden kohdalla positiivisesti.</p>	
Avainsanat	CLT-elementti, Betonielementti, Kustannukset, Työmenekki

Author Title	Larissa Harju Cost and Schedule Comparison of CLT Element Structures and Concrete Structures on the Construction Site
Number of Pages Date	59 pages + 0 appendices 9 April 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Structural Engineering
Instructors	Reima Liikamaa, Project Manager, SRV Rakennus Oy Mauri Konttila, Master, Construction and Architecture
<p>The subject of this engineering thesis is a comparison of the costs and labor input between a prefabricated CLT building and a concrete structured building. The commissioning company is SRV Rakennus Oy, and the goal was to obtain realistic information on costs and schedule between these two building materials, as well as on the positions that affect them the most.</p> <p>The efficiency of production or structural solutions such as jointing technology in the wood element industry is not as advanced as in the precast concrete industry, thus the effects on costs in the reference project of the engineering thesis are clearly visible.</p> <p>In addition to literature and internet sources, contract tenders and SRV Rakennus Oy's registers were used as research material. The interviews also provided site-specific information on construction costs and scheduling.</p> <p>As a result, a cost and schedule comparison of the frames exterior wall structure and intermediate floor structure, as well as their fire engineering, humidity, and condition control and acoustics requirements were compiled. On the basis of the cost comparison, it can be stated that wooden element structures are still more expensive today than concrete structures due to their degree of processing. However, different implementation solutions can have a positive effect on the costs for wooden structures.</p>	
Keywords	CLT-element, Concrete element, Costs, Labour input

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Puurakentaminen yleisesti	2
2.1	CLT-elementtirakentaminen	3
2.2	CLT-Massiivipuulementtien historia	4
2.3	CLT-elementtien käyttökohteet	4
2.4	CLT-elementin valmistus	6
3	Betonirakentaminen yleisesti	7
3.1	Betoni- ja betonielementtirakentaminen	7
3.2	Betonielementtirakentamisen historia	8
3.3	Betonielementtien käyttökohteet	8
3.4	Betonielementtien valmistus	9
4	Rakentamisen kustannukset	10
4.1	Puurakentamisen kustannukset yleisesti	10
4.2	Betonirakentamisen kustannukset yleisesti	11
4.3	Ulkoseinärakenteiden kustannukset	12
4.4	Välipohjarakenteiden kustannukset	19
4.5	Paloteknisten vaatimusten aiheuttamien toimenpiteiden kustannukset	23
4.6	Kosteuden- ja olosuhdehallinnasta aiheutuvat kustannukset	27
4.7	Akustisista vaatimuksista aiheutuvat kustannukset	30
5	Rakennushankkeen aikataulus ja työmenekit	32
5.1	Puurakentamisen aikataulus ja työmenekit yleisesti	32
5.2	Betonirakentamisen aikataulus ja työmenekit yleisesti	33
5.3	Seinärakenteiden työmenekit	33
5.4	Välipohjarakenteiden työmenekit	37
5.5	Paloteknisten vaatimusten työmenekit	39
5.6	Olosuhde- ja kosteusteknisen hallinnan vaikutus työmenekkeihin	40
5.7	Akustiikkavaatimusten vaikutukset työmenekkeihin	42
6	Vertailu	43

6.1	Yleisesti	43
6.2	Seinärakenteiden vertailu	43
6.3	Välipohjarakenteiden vertailu	46
6.4	Palotekninen vertailu	47
6.5	Kosteus- ja olosuhdehallinen vertailu	49
6.6	Akustiikan vertailu	50
6.7	Vertailun yhteenveto	51
7	Johtopäätökset	53
8	Yhteenveto	55
	Lähteet	57

## Lyhenteet

CLT Cross-laminated timber, Ristiinlaminoitu massiivinen puulevy (CLT-levy)

BES Betoni Elementti Systeemi

PES Puu Elementti Systeemi

## 1 Johdanto

Nykypäivänä Suomessa sekä muualla maailmassa erilaiset rakennevaihtoehdot ovat tulleet kilpailijaksi betonirakenteelle. Monesti kysymyksenä on rakennusprojektien päästöt, materiaalivalinnat sekä rakennuksen elinkaari kohteiden runkomateriaalia valitessa. Näihin asioihin pyritään kaikkialla kiinnittämään enemmän huomiota, joka johtaa siihen, että puusta on tullut rakennusmateriaalina nykypäivänä trendi.

Betoni- ja betonielementtirakentaminen puolestaan on laajasti tunnettu ja hyvin kustannustehokasta tapa toteuttaa rakenteita kohteesta riippumatta. Betonielementtien tuotanto on hyvin tehokasta ja teollistunutta, jolloin myös kustannussäästöjä on helpompi toteuttaa. Rakennusmateriaalina betoni on hyvin muokattavissa ja sovellettavissa erilaisiin rakenneratkaisuihin. Betonirakenteissa myös detaljiikka on hyvin vakiintunutta ja toimijoita on useita.

Tämän insinööriyön tilaajayrityksenä toimii SRV Rakennus Oy ja insinööriyö toteutetaan yrityksen halusta saada realistista tietoa eri rakennevaihtoehtojen kustannuksista ja aikataulumenekeistä massiivipuorakenteiden ja betonirakenteiden välillä.

Insinööriyön vertailukohteenä on Suomalais-Venäläisen koulun uudisrakennus, johon rungon päärakennusmateriaaliksi on valikoitunut massiivipuulementit kustannussyistä. Projektityön tarkoituksena on tutkia massiivipuulementti- ja betonirakentamisen toteutuneita kustannuksia, aikatauluja ja niitä työvaiheita tai rakenneratkaisuja, jotka niihin eniten vaikuttaa välipohja- ja ulkoseinärakenteesta.

Insinööriyössä otetaan huomioon myös materiaaliominaisuuksista johtuvia työvaiheita kuten palosuojaus, kosteudenhallinta tai akustiikka. Tutkimusmateriaalina käytetään kohteen todellisia kustannuksia ja verrataan niitä ennakkotarjouksiin toteutuksesta betonielementeillä. Työmaan henkilöstön ja alan asiantuntien haastattelujen avulla saadaan käytännön kokemuksia todellisista kustannuksista ja aikatauluista.

## 2 Puurakentaminen yleisesti

Suomessa metsäteollisuus on avainasemassa puurakenteiden toteuttamiselle. Se kattaa viidenneksen Suomen vientituloista ja tuottaa noin 70% uusiutuvasta energiasta Suomessa. Sahatavarasta vain viidennes käytetään muuhun tarkoitukseen kuin rakentamiseen.

Nykypäivänä puurakentamisella on suuret kasvumahdollisuudet monilla eri rakennusalan sektoreilla kuten kerrostalorakentamisessa, julkisissa rakennuksissa, toimitilarakentamisessa, sekä silta-, piha-, - ja ympäristörakentamisessa. Myös korjausrakentamisen kohteissa puurakenteeseen tuovat lisämahdollisuuksia esimerkiksi energiakorjauksiin, lisäkerros- ja täydennysrakentamisessa. Kuvassa 1 nähdään Jätkäsaaren rakentuva suomen ensimmäinen puutoimistotalo, joka rakennetaan ilman sääsuoja. <sup>1</sup>



Kuva 1. Woodcity, havainnekuva

---

<sup>1</sup> Karjalainen. Markku. 2020. Tampere. Puurakentamisen asema ja mahdollisuudet suomessa. 1/2020. Päivitetty 3/2020. Verkkoaineisto [www.puuinfo.fi](http://www.puuinfo.fi) , viitattu 15.1.2020



## 2.1 CLT-elementtirakentaminen

Massiivipuiset CLT-elementit, muodostuvat ristikkäin liimatuista puulevykerroksista (CLT-Cross Laminated Timber), joiden lujuuden ja vahvuuden määrittelevät levykerroksien lukumäärä ja ainevahvuus. Yleisimmin levykerroksia on kolme tai viisi, mutta näitä voidaan mukauttaa käyttötarkoitusta varten kuten kuvassa 2 esitetyssä CLT-elementissä näitä on 7. CLT on myös itsessään huomattavasti kevyempää kuin esimerkiksi vastaavat betoni, tiili tai harkkorakenteet, joka vähentää esimerkiksi perustusten lujuusvaatimuksia.<sup>2,3</sup>



Kuva 2. CLT-elementissä näkyviä levykerroksia

CLT-elementit ovat rakenteeltaan erittäin tiiviitä, jolloin voidaan välttyä erillisten ilmanvaihto- tai höyrynsulun asentamiselta. CLT-elementtirakenne toimii myös osana rakennuksen lämmöneristystä, on kylmäsillaton, ja parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. Rakenteen jäykkyys mahdollistaa suuret aukot ilman lisäjäykisteitä ja vaakarakenteissa voidaan myös toteuttaa erilaisia ulokeratkaisuja. Ristiin liimaaminen myös minimoi puun elämistä, jolloin sitä voidaan helposti yhdistää erilaisiin materiaaleihin kuten lasiin tai teräkseen.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Rakentamisen ratkaisut, CLT-elementit. 2020. Verkkoaineisto <[www.puumerkki.fi](http://www.puumerkki.fi)>, viitattu 17.1.2020

<sup>3</sup> CLT bt Stora Enso. 2018. Verkkodokumentti <[www.clt.info.fi](http://www.clt.info.fi)>, viitattu 17.1.2020

## 2.2 CLT-Massiivipuuelementtien historia

CLT-puu kehitettiin alun perin Itävallassa ja Saksassa 1990-luvun alkupuolella Gerhard Schickhoferin toimesta, kun hän teki lopputyönsä aiheesta “Jäykkä ja joustava sidos kerroksellisilla, litteillä puurakenteilla”. Tämän jälkeen sen tieteellinen tutkimus julkaistiin vuonna 1996, ja vuonna 2002 ensimmäiset laskentanormit CLT-rakenteista julkaistiin. 2000-luvun alussa sen käyttö rakennusalalla yleistyi ympäri Eurooppaa ja Pohjois-Amerikkaa, myöskin osana ilmastonmuutoksen vastaista kampanjaa hiilineutraliutensa vuoksi.<sup>4</sup>

Ensimmäistä kertaa suomeen perustettiin CLT-levyä valmistava yritys CrossLam Kuhmo LTd vuonna 2014. Sen tuottamat CLT-levyt valmistetaan lähialueen raaka-aineesta, joka on lujuusominaisuuksiltaan pohjoisen havumetsävyöhykkeen parhaita.<sup>5</sup>

## 2.3 CLT-elementtien käyttökohteet

CLT-elementtejä voidaan käyttää rakennuksen ja rakennelmien runkomateriaalina kaikissa pysty ja vaakarakenteissa. Kuvasta 3 nähdään CLT-ulkoseinäelementtejä asennettuna. Massiivipuulevyillä voidaan tehdä erilaisia ulokkeita ilman pilareita kuten katoksia ja parvekkeita. CLT-elementtien käyttö sopii lähes kaikenlaisten rakennusten rakennusmateriaaliksi, oli kyseessä sitten kerrostalo, pientalo tai suuri toimisto- tai koulurakennus.<sup>6</sup>

---

<sup>4</sup> Green technology behind high rise wood-based buildings. 3/2019. Verkko uutinen <[www.mynewsdesk.com](http://www.mynewsdesk.com)>, viitattu 28.3.2020

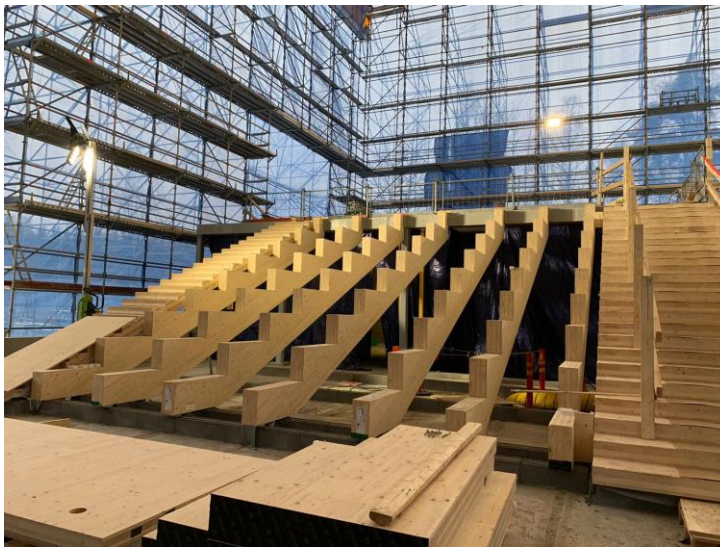
<sup>5</sup> Oy CrossLam Kuhmo Ltd. 2019. Oy CrossLam Kuhmo Ltd verkkoaineisto [www.crosslam.fi](http://www.crosslam.fi), viitattu 18.1.2020

<sup>6</sup> Crosslam levyn käyttökohteet. 2019. Oy CrossLam Kuhmo Ltd. Verkkoaineisto <[www.crosslam.fi](http://www.crosslam.fi)>, viitattu 18.1.2020



Kuva 3. CLT-ulkoseinäelementtejä asennettuna

CLT-elementeistä voidaan toteuttaa myös erilaisia porraselementtiratkaisuja. Tämän insinööriyön vertailukohteessa CLT-elementtejä käytetään porraselementteinä ja muotoon sahattuina palkkirakenteina portaiden alla kuvan 4 mukaisesti. Palkkirakenteiden päälle asennetaan CLT-levyistä kansirakenteet. CLT-elementeistä on myös mahdollisuus toteuttaa valmiita tilaelementtejä tehtaalla.



Kuva 4. CLT-porraselementtejä

## 2.4 CLT-elementin valmistus

CLT-levy kuuluu insinööripuutuotteiden kategoriaan. Se valmistetaan useimmiten männystä tai kuusesta, mutta ulkopintoihin voidaan käyttää muitakin puulajeja lopullisen käyttökohteen mukaan. Levyn käytettävät puut lajitellaan lujuuden mukaan ja sormijatketaan levyyn sopivaksi. CLT-levyn suurin koko on 3 metriä x 16 metriä.<sup>7</sup>

CLT-levyn valmistuksessa voidaan käyttää kahta erilaista liimaustapaa, jotka vaikuttavat levyn ominaisuuksiin: Syrjäliimattu ja syrjäliimaamaton. Syrjäliimatussa liimaustavassa levykerrokset kootaan ja liimataan ensin laudoista yksittäisiksi levyiksi, jonka jälkeen ne ladotaan ristiin ja liimataan yhteen. Syrjäliimattu levy on ilmatiiviimpi, mutta laudoissa halkeilu on mahdollista kuivumisen aikana. Syrjäliimaamattomassa levyssä laudat ladotaan irrallisena ja liima levitetään lapepuolelle lautakerrosten väliin. Molemmissa tavoissa liimauksen jälkeinen puristus toteutetaan vakuumpressillä (tyhjiön avulla) tai hydraulisella prässillä.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Monikerroslevy (CLT). 2019. Verkkoaineisto <[www.puuinfo.fi](http://www.puuinfo.fi)>, viitattu 19.1.2020

### 3 Betonirakentaminen yleisesti

Betoni on maailmalla eniten käytetty rakennusmateriaali. Betonin valmistukseen käytetään pääasiassa kiviainesta, sementtiä, vettä ja lisäaineita tarpeen mukaisesti. Vuosittain betonia valmistetaan jopa 13 miljardia kuutiometriä ja suomessa 5 miljoonaa kuutiometriä. Itse betonin käyttötapoja ja -kohteita on lukemattomia kuten esimerkiksi infrarakenteissa: sillat, voimalaitokset ja satamat. Talorakenteissa: Kerrostalot, toimitilat, koulut ja tornitalot. Betonista voidaan valmistaa myös erilaisia tuotteita, kuten pihakiviä, tiiltä ja harkkoja. Betonia käytetään myös hyvin usein maapohjan kantavuuden parantamiseksi paalujen ja muiden perustusrakenteiden avulla. <sup>8</sup> Betonia voidaan käyttää materiaalina hyvin erilaisissa kohteissa ja kosteudenkestävyyden ja tiiviiden vuoksi. Suomessa betonirakentaminen on alkanut jo 1850-luvulla, jolloin ensimmäinen tuontisementtiera saapui Suomeen. <sup>9</sup>

#### 3.1 Betoni- ja betonielementtirakentaminen

Betonielementtejä voidaan käyttää monin tavoin kaiken tyyppisessä rakentamisessa. Betonielementeillä voidaan toteuttaa monipuolisesti, sekä omatoimisessa rakentamisessa pientalot, että ammattimaisessa rakentamisessa isommat rakennushankkeet kuten kerrostalot, toimitila- ja infrarakennushankkeet. Betonielementtien osuus kaikesta rakentamisesta on noin kolmannes ja betonijulkisivuelementtien osuus on noin 15 %. <sup>10</sup>

Betonielementtien runkojärjestelmät ovat hyvin pitkälti valikoituja ja moduulimitoitettuja, Käytetyimpiä ovat pilari- palkki-laatta tai kantava seinä-laatta järjestelmät. Betonielementeistä saadaan tehtyä myös niin sanottuja tekniikkalaattoja, jolloin betonielementtiin voidaan asentaa valmiina tehtaalla talotekniikan osia, jolloin työvaiheet työmaalla vähenevät. <sup>10</sup>

<sup>8</sup> Betonin ominaisuudet ja käyttö.2020. Betoniteollisuus ry. Verkkoaineisto <www.betoni.com>, viitattu 23.1.2020

<sup>9</sup> Betonin ominaisuudet ja käyttö.2020. Betoniteollisuus ry. Verkkoaineisto <www.betoni.com>, viitattu 23.1.2020

<sup>10</sup> Talonrakentaminen. 2020. Betoniteollisuus ry. Verkkoaineisto <www.elementtisuunnittelu.fi>, viitattu 23.1.2020

Betonilla voidaan toteuttaa hyvin kestäviä ja kustannustehokkaita julkisivuratkaisuja. Betonia voidaan värjätä etukäteen, eikä ylimääräistä pintakäsittelyä näin ollen välttämättä tarvita. Sen pintaa voidaan muotoilla lähes rajattomilla tekniikoilla.<sup>10</sup>

### 3.2 Betonielementtirakentamisen historia

Vaikka betoni on ollut käytössä jo vuosisatoja ennen nykypäivää, ensimmäiset kohteet betonielementeistä toteutettiin 1950-luvulla. Ensimmäisen ja toisen maailmansodan jälkeisten tuhojen korjaaminen nosti kysyntää betonielementeille, koska talous oli heikossa asemassa. Elementtirakentaminen toimi ratkaisuna tehokkuutensa ja taloudellisuutensa vuoksi tuhojen korjaamiselle. Suomessa 1940- ja 1950-lukujen vaihteessa, betoniteollisuutta ruvettiin kehittämään elementtitekniologian avulla. Betonielementtirakentamisen kultakaudella 1970-luvulla asuntorakentamista varten kehitettiin BES-järjestelmä, jolla elementit standardoitiin yhteneväiseksi eri toimittajien välillä.<sup>11</sup>

### 3.3 Betonielementtien käyttökohteet

Betonielementtien käyttö on hyvin monipuolista ympäri maailmaa. Suurimmat käyttökohteet sijoittuvat useimmiten erilaisiin rakennuksiin ja rakennelmiin. Tulevaisuudessa pyritään kuitenkin entistä teollisempaan ja nopeampaan rakentamiseen, ja tämä on mahdollista pitkälle esivalmistettujen valmisosarakenteiden avulla.<sup>12</sup>

Betonielementeistä voidaan toteuttaa monipuolisesti laattaelementtejä ala-, -väli- ja yläpohjarakenteiksi (kuva 5). Betonielementtejä käytetään myös seinärakenteina ulko- ja väliseinissä. Betonielementtien käyttökohteet ei lopu kuitenkaan talonrakennuksen sektorille, vaan niitä voidaan hyödyntää myös esimerkiksi infrarakentamisen sektorilla. Betonielementtejä voidaan hyödyntää infrarakentamisessa esimerkiksi satamarakenteissa, tunneleissa ja putkilinjoissa. Myös erilaiset aidat ja esteet voidaan toteuttaa betonielementeistä.<sup>13</sup>

<sup>11</sup> Elementtirakentamisen historia. 2020. Betonireollisuus Ry. Verkkoaineisto <[www.elementtisuunnittelu.fi](http://www.elementtisuunnittelu.fi)>, viitattu 2.2.2020

<sup>12</sup> Teollinen valmisosarakentaminen. 2020. Betonireollisuus Ry. Verkkoaineisto <[www.elementtisuunnittelu.fi](http://www.elementtisuunnittelu.fi)>, viitattu 2.2.2020

<sup>13</sup> Infrarakentaminen. 2020. Betonireollisuus Ry. Verkkoaineisto <[www.elementtisuunnittelu.fi](http://www.elementtisuunnittelu.fi)>, viitattu 2.2.2020





Kuva 5. Ontelolaattoja alapohjarakenteena

### 3.4 Betonielementtien valmistus

Betonielementtien valmistuksessa käytetään nimensä mukaan betonia. Käytetyn betonin lujuusluokka riippuu rakenteen paksuudesta, käyttökohteesta ja sille aiheutuvista kuormista. Yleisesti suunnittelulujuutena betonielementeille käytetään C40, C50 tai C60.<sup>14</sup>

Ontelolaatat valetaan useimmiten liukuvaluna yli 100-metriä pitkillä valualustoilla. Ontelolaatan alapinta on teräsmuottia vasten valettu ja yläpinta jää käsittelemättömäksi liukuvalukoneen mukaan. Seinäelementit valetaan usein patterivaluna tai vaakavaluna.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Talonrakentaminen. 2020. Betoniteollisuus ry. Verkkoaineisto <[www.elementtisuunnittelu.fi](http://www.elementtisuunnittelu.fi)>, viitattu 3.2.2020

## 4 Rakentamisen kustannukset

Rakennuskustannukset nousevat toistaiseksi vuodesta toiseen tasaiseen tahtiin vaikkakin rakennustuotanto tulee vähenemään kerrostalorakennusten rakennuslupien myöntämisen vähentyessä noin 20% vuonna 2019 tammi-heinäkuun aikana. Vuonna 2020 uusien asuntojen rakentamisaloituksia on tuhansia vähemmän kuin vuonna 2019. Tuotannollisten tilojen rakennusluvut ovat puolestaan vähentyneet noin 10%. Kuitenkin terveydenhuollon-, kokoontumistilojen ja julkisten hankkeiden rakentaminen on vilkasta ja uskotaan kehittyvän vuonna 2020. Rakentamisen hintakehityksen arvioidaan tasaantuvan sitä edeltävän noususuhdanteen jälkeen, jolloin myös rakennustuoteteollisuuden hintakehityksen tulisi hidastua, pysyessään kuitenkin myönteisenä.<sup>15</sup>

Rakennuskustannusindeksi kuvaa keskeisiltä rakenneominaisuuksiltaan samankaltaisten rakennustöiden ja rakennusten rakennuskustannusten suhteellista muutosta rakentamisessa käytettyjen peruspanosten hintakehityksen avulla.<sup>16</sup>

Tammikuussa 2020 rakennuskustannusindeksi nousi 0,2 prosenttia vuoden 2019 joulukuuhun verrattuna. Työkustannukset nousivat 1,8 prosenttia, sekä palveluiden hinnat 1,4 prosenttia.<sup>16, 17</sup>

### 4.1 Puurakentamisen kustannukset yleisesti

Hallitusohjelman kehittämiseen liittyvät päätavoitteena ja taloudellisina satsauksina hiili-neutraalin yhteiskunnan rakentaminen ja laadun parantaminen. Sen lisäksi hallitusohjelman neljännessä tavoitteessa mainitaan palomääräyksen materiaalineutraaliuden parantaminen niin, että puurakennusten kaksinkertainen palonsuojaustarve vähenee. Myös puurakentamisen palomääräysten kevennystä selvitetään. Hallituksen kärkihanke-kerhoitus on myönnetty myös puurakentamisen toimenpideohjelmalle.<sup>18, 19</sup>

<sup>15</sup> Rakentaminen 2019-2020, syksy 2019. 2019. Verkkodokumentti <vm.fi>. Valtiovarainministeriön julkaisu. viitattu 17.1.2020

<sup>16</sup> Rakennuskustannusindeksi. 1/2020. Tilastokeskus. Verkkoaineisto <www.stat.fi>, viitattu 17.1.2020

<sup>17</sup> Rakennuslehti nro 7. 21.2.2020

<sup>18</sup> Puurakentamisen ohjelma. 7/2020. Verkkoaineisto < www.ym.fi>, viitattu 20.1.2020

<sup>19</sup> Pääministeri Rinteen hallitusohjelma. 2019. Verkkodokumentti <www.valtioneuvosto.fi>, viitattu 20.1.2020



Rakennusmateriaalinen kustannuksien noususta huolimatta puun kilpailukyky hinnoissa on säilynyt melko hyvänä. Useasti CLT-elementeissä käytetty puu on kotimaista ja lähellä tuotettua, jolloin myös kuljetuksesta aiheutuneet kulut pienenevät. Toisaalta paksumen ulkoeristysten kilpailukykyä on heikentänyt sahatavaran hinnannousu esimerkiksi tiileen verrattuna. Sen sijaan peltihutlevyverho on kallistunut.<sup>20</sup>

Puuinfon mukaan samanlaisten teräsbetoni-, teräs- ja liimapuupalkkien, joissa tekniset ominaisuudet kohtaavat on hintojen kehityksen seurannassa liimapuu osoittautunut selvästi edullisemmaksi.<sup>20</sup> Tuloksiin tulee kuitenkin suhtautua kriittisesti, sillä konkreettisia vertailun tuloksia ei lähteestä ole esitetty.

CLT-elementtien kustannukset koostuvat pääasiassa materiaalikustannuksista (40%), joita ovat puu, sekä puuelementin kasaamiseen käytetty liima. Elementin tuotannosta, työstöistä ja laitekuluista koostuu CLT-elementin loput kustannukset. Tehtaat määrittävät elementeille materiaali- ja tuotantokustannusten lisäksi käyttökateen, joka usein liikkuu 20% ympärillä riippuen tuotteesta.<sup>21</sup>

Liitoksiin liittyy CLT-elementtirungon osalta paljon yksityiskohtaista suunnittelutyötä. Puurakenteille on luotu avoin puuelementtistandardi RunkoPES, joka vakioi asuintuotannon puuelementtirakentamista. Toimitilarakentamiseen ei standardia yksinomaan ole, joka lisää suunnittelukustannuksia, koska vakioituja ratkaisuja ei ole. Suunnittelukustannuksia ei tässä insinööriyössä kuitenkaan oteta huomioon.

#### 4.2 Betonirakentamisen kustannukset yleisesti

Rakennuslehdelle FMC Laskentapalveluiden teettämän tutkimuksen mukaan runkomateriaaleista talonrakennuksen osa-alueella laski edelliseen vuoteen verrattuna eniten betonielementtien hinnat. Kysyntä on tasaantunut aiemmin mainittujen syiden vuoksi asuintalorakentamisessa, jonka takia hintaa on tiputettu alaspäin. Kuitenkin korkearakentamisessa valmisbetonia käytetään hyvin paljon sen teknisten ominaisuuksien vuoksi, jonka takia valmisbetonin hinnat ovat puolestaan nousseet.<sup>22</sup>

<sup>20</sup> Puurakentamisen taloudellinen kestävyys. 2020. Verkkoaineisto <www.puuinfo.fi>, viitattu 1.3.2020

<sup>21</sup> Harju, Heikki. 2020. Hallituksen jäsen, Clt-Plant Oy, Kauhajoki. Haastattelu 15.2.2020

<sup>22</sup> Rakennuslehti nro 7. 21.2.2020

Teollisessa valmisosarakentamisessa suunnittelu tehdään hyvissä ajoin ennen itse toteutusta. Näin ollen materiaalin hukat voidaan minimoida, jolloin ylimääräisiltä materiaalikustannuksilta säästytään ja materiaalitehokkuus on muutenkin parempaa. Betonielementtirakentamisen edullisuus perustuu tehtaan tuottavuuteen ja työmenekkien pienemiseen työmaalla. Teollistunut betonin valmisosarakentaminen tehostaa myös työmaalla tapahtuvaa ennakkointia työvaiheisiin, jolloin eri toiminnot ja työvaiheet voidaan vakioida ja yllättävät kustannukset voidaan minimoida.<sup>23</sup>

Suurin hyöty valmisosarakentamisen kustannussäästöistä saadaan, mikäli mahdollisimman moni rakenneosa on esivalmistettu mahdollisimman pitkälle tehtaalla etukäteen. Kustannuksiin yleisesti vaikuttaa myös betonin rakennustekniset- ja fysikaaliset ominaisuudet, jolloin myös sääolosuhteet, kuten esimerkiksi talven aiheuttamat toimenpiteet tulee ottaa huomioon kustannuksissa.<sup>23</sup>

#### 4.3 Ulkoseinärakenteiden kustannukset

Yleisesti ulkoseinien tehtävänä on toimia osana rungon rakennetta ja seinärakenteet jaetaan usein kantaviin ja ei-kantaviin seinärakenteisiin. Ulkoseiniin liittyy myöskin hyvin paljon teknisiä ominaisuuksia, joiden tulee nykymääräysten mukaisesti täytyä. Ulkoseinän tulee toimia eristävänä rakenteena sisäilman ja ulkoilman välillä, estää veden ja kosteuden pääsy sisätilaan, sekä kannattaa väli- ja yläpohjista aiheutuvat kuormat rakenteisiin ja siirtää ne perustuksille.

Tässä projektityössä ulkoseinärakenteita tarkasteltaessa tutkitaan ulkoseinärakenteiden kustannuksia valmiista seinän sisäpinnasta, valmiiseen seinän ulkopintaan. Kohteen väestönsuojan aiheuttamia kustannuksia ei oteta huomioon, sillä tämä olisi joka tapauksessa pitänyt toteuttaa betonisella ratkaisulla.

---

<sup>23</sup> Teollinen valmisosarakentaminen. 2020. Betoniteollisuus Ry. Verkkoaineisto <[www.elementtisuunnittelu.fi](http://www.elementtisuunnittelu.fi)> viitattu 25.2.2020

### *Massiivipuuelementtirakenteisen ulkoseinän kustannukset*

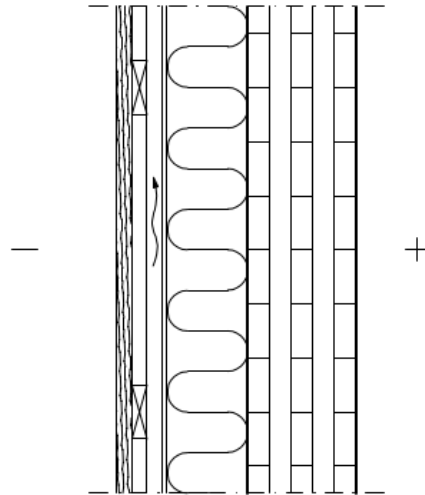
CLT-runkorakenteisissa seinissä on useimmiten kolme rakennekerrosta: CLT-levy, lämmöneriste ja ulkoverhous. Projektityön tutkittavassa kohteessa ovat ulkoseinärakenteet pitkälti samalla periaatteella toteutettuja, mutta näiden lisäksi myös tuulensuojakipsilevy, sekä koolauspuut ovat ulkoseinärakenteessa mukana. Kustannuksissa ei oteta huomioon esimerkiksi ikkunoihin tai oviin liittyviä rakenteita ja detaljeja ulkoseinärakenteen lisäksi.

Runkorakenteena massiivipuun kohdalla käytetään ulkoseinien osalta massiivipuuelementtejä, jotka on toteutettu CLT:stä. Kuvassa 6 on esitetty vertailun CLT-elementtirunkoinen rakennetyyppi. CLT-elementeissä useimmiten puulevykerroksia on 3-5 kappaletta, mutta tutkittavassa kohteessa niitä on 7 kappaletta ja paksuus 200 millimetriä.

Kohteen rakennesuunnittelijan Tuomo Virtasen mukaan suurin vaikuttava tekijä rakenteen paksuuteen ovat olleet rakennuksen akustiikkaan liittyvät syyt. Vertailukohde sijaitsee lähellä vilkasta moottoritietä, joka vaikuttaa hyvin paljon rakenteiden valintaan akustisten syiden kautta. Virtasen mukaan, myös kevyemmät tai pienemmät rakenteet olisivat kantavuutensa puolesta sopineet kohteeseen, mutta akustiikka, sekä rakenteiden palonkesto tuli määrääväksi tekijäksi kantavia rakenteita suunniteltaessa.<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> Virtanen, Tuomo. 2020. Projektipäällikkö, A-insinöörit Suunnittelu Oy. Helsinki. Haastattelu 28.2.2020



28 mm	PYSTYSUUNTAINEN VERHOUSLAUTA 28x145 ARK-suunnitelmien mukaan Palosuojakäsitelty luokkaan B-s1-d0
28 mm	VAAKAKOOLAUS 28x100mm k600
28 mm	PYSTYKOOLAUS 28x100mm k600
9 mm	TUULENSUOJAKIPSILEVY
150 mm	LÄMMÖNERISTE JA PYSTYKOOLAUS 50x150 k600 Mineraalivilla, $\lambda_D = 0,036W/mK$
200 mm	CLT -ELEMENTTI

Kuva 6. Ulkoseinän rakennetyyppi CLT-elementtirunko<sup>24</sup>

Julkisivun verhoustyyppiä kohteessa on karkeasti jaoteltuna kahta eri tyyppiä: pystysuoraa palosuojamaalattua kuusilautaa (kuvassa 6), sekä eri kokoisilla naulalevykehillä tehtyä kolmiulotteista julkisivua verhoiltuna palosuojakäsitellyllä UTW-Lehtikuusipaneelilla.

Ulkoseinärakenteessa CLT-elementti toimii itsessään höyrinsulkuna, eikä erillistä höyrinsulkua rakenteeseen tarvita. CLT-elementtien ulkopinnoissa saumat tiivistetään tiivistysnauhoilla, sekä/tai tiivistysteipillä.<sup>25</sup> Sisäpuolella näkyviin jäävät CLT pinnat käsitellään palosuojalakalla, jonka kustannukset huomioidaan palosuojauksessa.

<sup>25</sup> CLT. 2020. Celt Oy. Verkkoaineisto <www.celt.fi>

Kustannuksia ulkoseinärakenteesta koostuu alla olevan listauksen mukaisista positioidista:

- CLT-elementit
- Lämmöneriste
- Koolauspuut
- Tuulensuojalevy
- Julkisivuverhousmateriaali
- Sisäpihan ristikkorakenteet
- Kiinnikkeet ja muut pienmateriaalit
- Työ

Taulukossa 1 on esitetty yllä olevan luettelman mukaisia kokonaiskustannuksia positioidittain. Kustannukset on kasattu saatujen tarjousten perusteella ja niistä on laskettu keskimääräinen kustannus positioidittain.

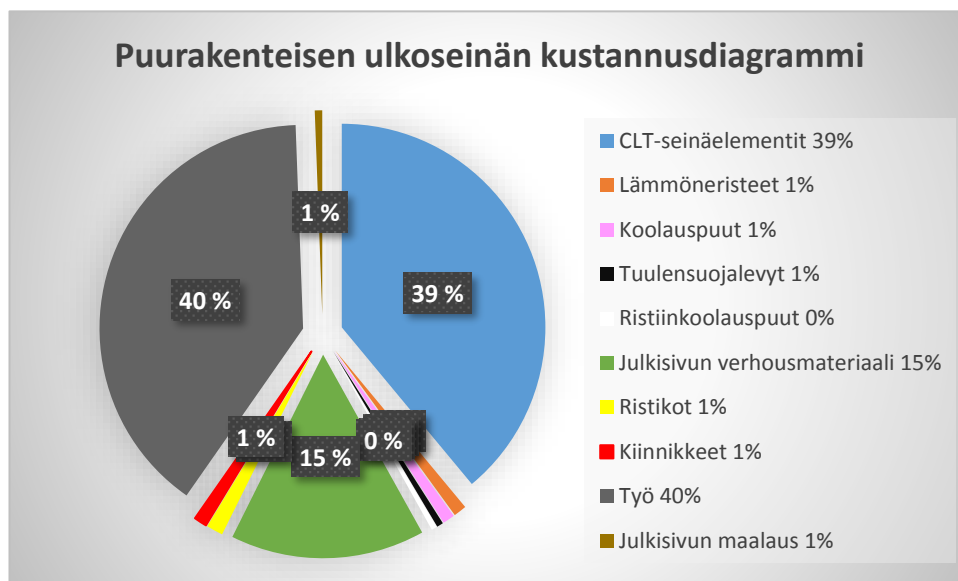
Taulukko 1. Puurakenteisen ulkoseinän kokonaiskustannukset positioidittain<sup>26</sup>

Rakenneosa	Kustannukset
CLT-seinäelementit	265 000,00 €
Lämmöneristeet	7 000,00 €
Koolauspuut	6 500,00 €
Tuulensuojalevyt	3 500,00 €
Ristiinkoolauspuut	3 000,00 €
Julkisivun verhouksmateriaali	105 000,00 €
Ristikot	9 000,00 €
Kiinnikkeet	7 000,00 €
Työ	270 000,00 €
Julkisivun maalaus	4 000,00 €
<b>Yhteensä</b>	<b>680 000,00 €</b>

Kuvassa 7 nähdään kustannusten jakautuminen eri positioidiin prosentuaalisesti esitettyinä taulukosta 1. koostetusta diagrammista. Kustannuksista 62 prosenttia muodostuu CLT-elementtien asennuksista, sekä muun runkorakenteen ja verhouksen asennustyöstä. Toiseksi suurimman vaikutuksen kustannuksille antaa CLT-elementit, joiden kus-

<sup>26</sup> SRV Rakennus Oy. 2019. Urakkatarjoukset ja rekisterit, viitattu 1.3.2020

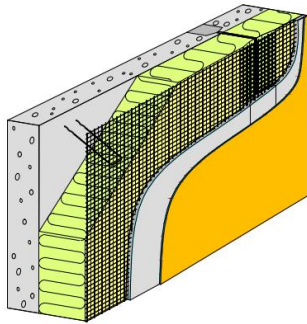
tannukset ylätvät 25 prosenttiin ulkoseinän kokonaiskustannuksista. Julkisivuverhousmateriaaleissa käytetään yllämainituin tavoin kahta eri julkisivuverhousmateriaalia ja tyyppiä, joiden materiaalien yhteiskustannukset ylätvät 10 prosenttiin kokonaiskustannuksista. Taulukon työkustannuksiin sisältyy myös elementtien suojauskustannukset. CLT-elementtien suojaus täytyy toteuttaa esimerkiksi pintabetonilattioiden valujen ja teräsbetoniholvin betonivalujen takia, jotta näkyviin jäätvät pinnat pysyvät siistinä rakennusaikana. Sisäpinnan näkyviin jäätvien CLT-pintojen palosuojaalakkausta ei ole otettu huomioon näissä kustannuksissa, sillä palosuojauskäsittelyä ja siihen liittyviä kustannuksia käsitellään kappaleessa 4.5.



Kuva 7. Puurakenteisen ulkoseinän kustannusdiagrammi

#### *Betonielementtirakenteisen ulkoseinän kustannukset*

Betonirakenteisia ulkoseiniä voidaan toteuttaa monella eri tapaa. Näissäkin kuitenkin yleisesti rakennekerroksia on karkeasti kolme: sisäkuori, eriste ja ulkokuori. Tässä projektityössä tutkitaan sandwich-betonielementeistä rakennetyyppikuvan 8 mukaisesti toteutettua ulkoseinäratkaisua, jossa sisäkuori on 150mm paksu, eriste 220mm paksua ja ulkokuori noin 25mm paksu rappaus.<sup>27</sup>



Kuva 8. Sandwichelementti, PARMARappaus <sup>27</sup>

Rakennuksen ulkopinta toteutetaan Parma Consolis Oy:n, Tampereen teknillisen yliopiston, sekä Weber Oy:n kanssa yhteistyössä kehittämällä PARMARappauksella. Kyseessä on kolmikerrosrappaus, jonka alla käytetään kuumasinkittyä teräsverkkoa lujittamaan tehtaalla tehtävää rappauspintaa. Rappaus viimeistellään työmaalla, jolloin esimerkiksi elementtien saumat täytetään kuituvahvistetulla kalkkisementtilaastilla ja saadaan rapattua piiloon saumattomasti. Rappauksessa on käytössä paljon vakiovärejä, sekä tilaajan toiveesta toteutettavia erikoissävyjä. <sup>28</sup> Sisäpinta tasoitetaan ja maalataan arkkitehdin maalaustyöselostuksen mukaisesti.

Kustannuksia ulkoseinärakenteesta koostuu alla olevan listauksen mukaisista asioista:

- Betonisandwichelementit
- Pystysaumaraudat
- Saumavalut
- Julkisivun rappaus työmaalla
- Kiinnikkeet ja muut pienmateriaalit
- Työ

Taulukossa 2. on esitetty yllä olevan luettelman mukaisia kustannuksia betonirakenteiselle ulkoseinälle. Kustannukset on kasattu saatujen tarjousten perusteella, sekä yleisesti tiedossa olevien kustannusten perusteella. Osa kustannuksista on laskettu eri tarjousten yhdistelmistä, mikäli tarkkaa valmista tietoa ei ole ollut saatavissa.

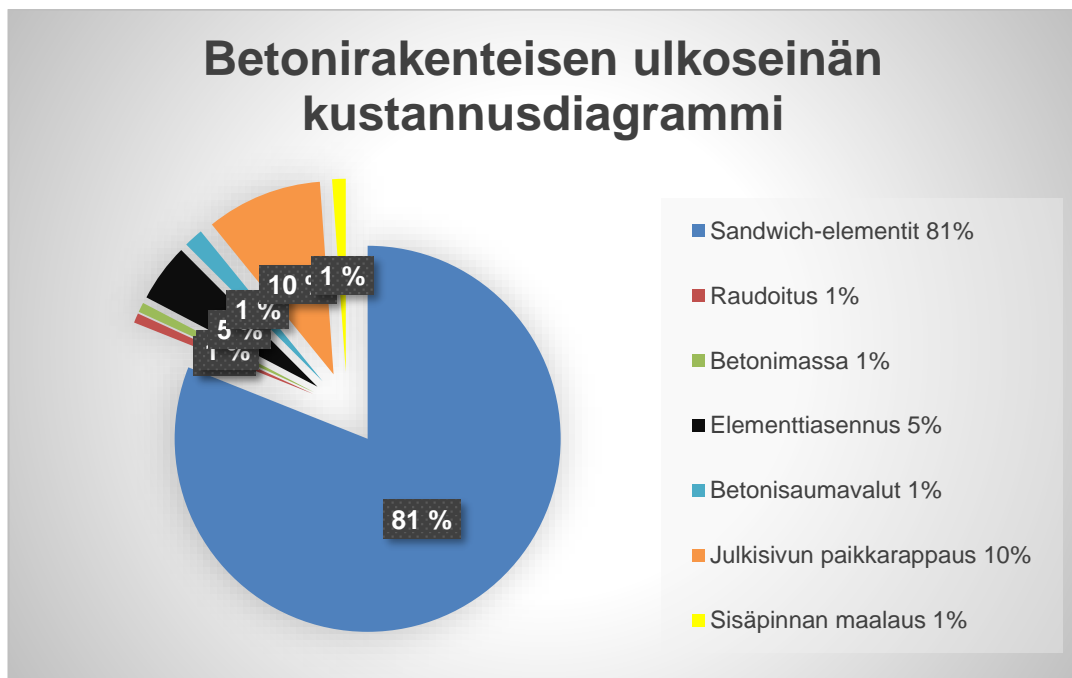
<sup>27</sup> PARMARappaus esite. Verkkodokumentti <[www.parma.fi](http://www.parma.fi)>, viitattu 23.2.2020

<sup>28</sup> Parmarappaus esite. Verkkodokumentti <[www.parma.fi](http://www.parma.fi)> viitattu 4.3.2020

Taulukko 2. Betonirakenteisen ulkoseinän kustannukset <sup>29</sup>

Rakenneosa	Kustannukset
Sandwich-elementit	500 000,00 €
Raudoitus	5 000,00 €
Betonimassa	5 000,00 €
Elementtiasennus	30 000,00 €
Betonisaumavalut	10 000,00 €
Julkisivun paikkaus	60 000,00 €
Sisäpinnan maalaus	7 000 €
<b>Yhteensä</b>	<b>617 000,00 €</b>

Alla olevasta kuvasta 9. voidaan nähdä betonirakenteisen ulkoseinän kustannuksien jakaantuminen prosentuaalisesti. Suurimmat kustannuserät koostuvat sandwich-elementeistä, elementtiasennuksesta, sekä julkisivun paikkaus.



Kuva 9. Betonirakenteisen ulkoseinän kustannusdiagrammi

<sup>29</sup> SRV Rakennus Oy. 2019. Urakkatarjoukset ja rekisterit, viitattu 3.3.2020



#### 4.4 Välipohjarakenteiden kustannukset

Välipohjan tehtävänä on toimia kantavana rakenteena talon sisällä oleville hyötykuorille. Sen rakenne voidaan toteuttaa hyvin monella eri tapaa, kuten elementoimalla tai paikallaan tehtynä, joista tässä insinöörityössä tutkitaan kahta eri tapaa toteuttaa. Myös eri materiaaleista koostuva välipohja on yleinen, jossa voidaan käyttää esimerkiksi, sekä puuta, että betonia. Välipohja liittyy poikkeuksetta kantaviin seinärakenteisiin erilaisilla liitostavoilla riippuen rakennusmateriaalista. Välipohjan tulee myös toimia ääni- ja kosteusteknisesti oikein, jotta esimerkiksi rakenteen ääneneristysluvut ovat sallittujen raja-arvojen sisäpuolella.

##### *Massiivipuuelementtirakenteisen välipohjan kustannukset*

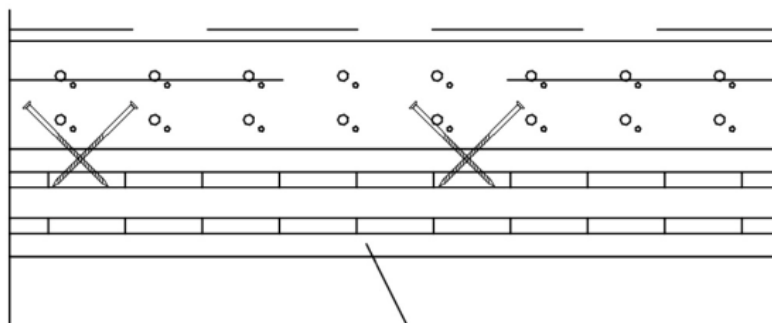
Välipohjia puusta voidaan tehdä monella tapaa. Sen rakenne vaihtelee hyvin paljon sen mukaan, mitä rakennusteknisiä, äänitekniisiä, paloteknisiä tai arkkitehtuurisia vaatimuksia sille asetetaan. Välipohjan toteutustapaan vaikuttaa puurakenteissa olennaisesti myös välipohjan taipumien ja värähtelyn minimointi.<sup>30</sup>

Tässä projektityössä tutkitaan 140mm paksua CLT- välipohjajaelementtityyppiä, jossa 140mm paksuisen CLT-elementtilaatan päälle valetaan 140mm paksu raudoitettu betonivalu kuvan 10 mukaisesti. CLT-levyn pinta uritetaan tai vaihtoehtoisesti tartunnat betonin ja massiivipuuelementin välillä toteutetaan ruuveilla.<sup>31</sup> CLT-levyn pintaan lisätään kosteussulku, jotta betonin kosteus ei imeytyisi massiivipuuelementtiin. Kustannuksia välipohjan elementoinnista CLT-laatastolla koostuu seuraavista:

- CLT-laattaelementit
- Kosteussulku
- Raudoitteet ja tartunnat
- Betoni
- Työ

<sup>30</sup> Siikanen. Unto. 2016. Puurakentaminen. Rakennustieto Oy, s. 262

<sup>31</sup> Manninen, Janne. 2020. Wood expert Oy, Helsinki. Haastattelu 16.3.2020



Kuva 10. CLT-liittovälipohjan rakennetyyppi<sup>31</sup>

Alla olevasta taulukosta 3. voidaan nähdä massiivipuu-elementti / liittorakenteisen välipohjan kustannukset karkeasti jaoteltuna positiioittain. Välipohjan valmista ala- tai yläpinnan käsittelyä ei oteta huomioon, sillä niiden käsittelystä aiheutuvat kustannukset liikkuvat lähes samalla tasolla minkä tahansa välipohjavaihtoehdon kanssa. Mikäli alapuoli, eli CLT:n pinta jäisi näkyviin, tulisi se suojata palosuojalakkauksella.

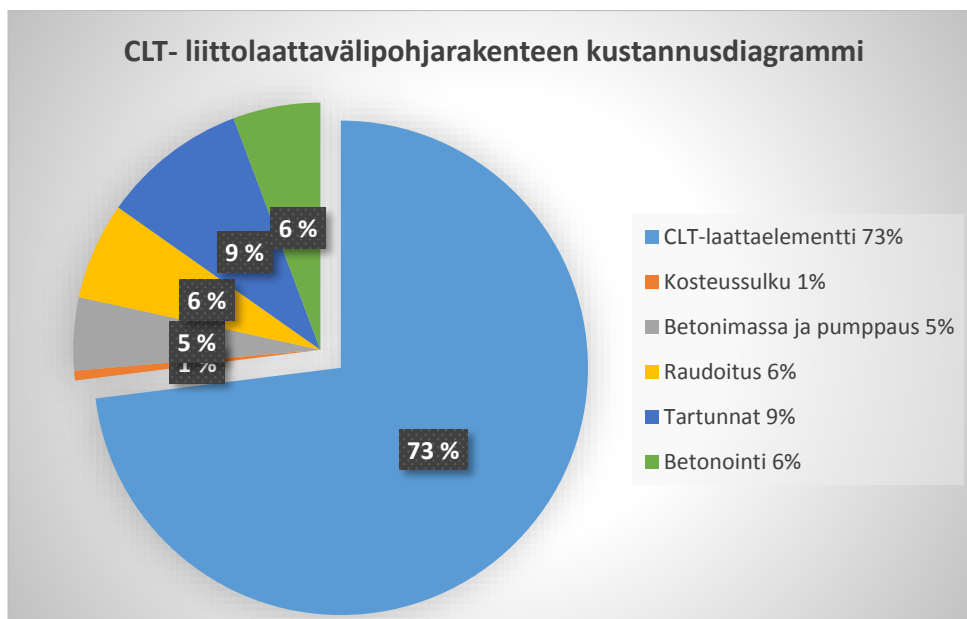
Taulukko 3. Liittorakenteellisen välipohjan kustannukset<sup>32,33</sup>

Rakenneosa	Kustannukset
CLT-laattaelementti 73%	230 000,00 €
Kosteussulku 1%	2 000,00 €
Betonimassa ja pumppaus 5%	15 000,00 €
Raudoitus 6%	20 000,00 €
Tartunnat 9%	30 000,00 €
Betonointi 6%	18 000,00 €
<b>Yhteensä</b>	<b>315 000,00 €</b>

Kuvasta 11 nähdään CLT-betoni liittorakenteen kustannuksien jakaantuminen eri positiioihin kustannusten perusteella. Luonnollisesti elementtien kustannusvaikutus kokonaishintaan on suuri. Myös liittolaatan toimivuuden kannalta tartunnat ja raudoitus näyttelevät suurta osaa kustannuksissa.

<sup>32</sup> Manninen, Janne. 2020. Wood expert Oy, Helsinki. Haastattelu 16.3.2020

<sup>33</sup> SRV Rakennus Oy. 2019. Urakkatarjoukset ja rekisterit, viitattu 5.3.2020

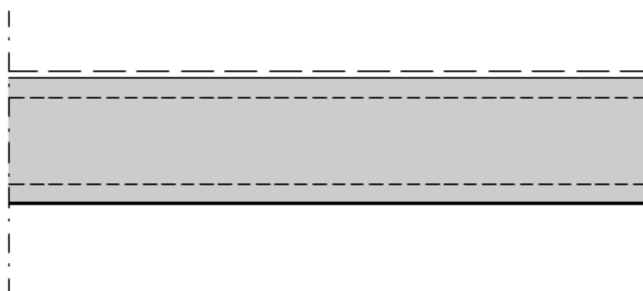


Kuva 11. CLT liittolaattarakenteen kustannusdiagrammi

Yllä olevan diagrammin mukaan CLT-laattaelementtien kustannusvaikutus kokonaishintaan on suuri. Raudoitus, betonointi, sekä itse betonimassa ja sen pumppaus ovat kustannuksiltaan melko samalla viivalla keskenään.

#### *Betonirakenteisen välipohjan kustannukset*

Projektityön vertailukohteena betonisen välipohjan osalta toimii paikallaan valettu 200mm paksu teräsbetoniholvi kuvan 12 rakennetyypin mukaan.



Kuva 12. Paikallavaletun välipohjan rakennetyyppi<sup>34</sup>

<sup>34</sup> Virtanen. Tuomo. 2020. Projektipäällikkö, A-insinöörit Suunnittelu Oy. Helsinki. Haastattelu 28.2.2020

Välipohjan työsuorituksen osalta siihen liittyy paljon valmistelevia töitä ennen itse varsinaista paikallavalutyötä. Välipohjan ala- ja yläpinnan työstöjä ei oteta kustannuksissa huomioon. Betonisen välipohjan kustannuksiin tulee ottaa huomioon positioina seuraavat:

- Muotitus
- Raudoitukset
- Liikuntasaumat
- Betonimassa ja pumppaus
- Työkustannukset

Paikallavalettu välipohja toteutetaan kolmessa eri lohossa arkityönä tehtynä. Toteutuneet viikonlopputyöt aiheuttavat myös lisäkustannuksia työlle, joita ei kuitenkaan tässä insinööriyössä oteta huomioon. Välipohjaan saadaan asennettua rauditusvaiheessa paljon talotekniikkaa, konsoleita ja esimerkiksi lattialämmitysputkia tarvittaessa ennen varsinaista valutyötä, joita ei näihin kustannuksiin oteta myöskään huomioon<sup>35</sup>.

Kustannukset positioittain paikallavaletulle teräsbetoniselle välipohjalle nähdään alla olevasta taulukosta 4. Positioihin kuten raudoitukseen on laskettu mukaan työkustannukset, joten niitä ei ole erikseen jokaisessa kohdassa eriytetty.

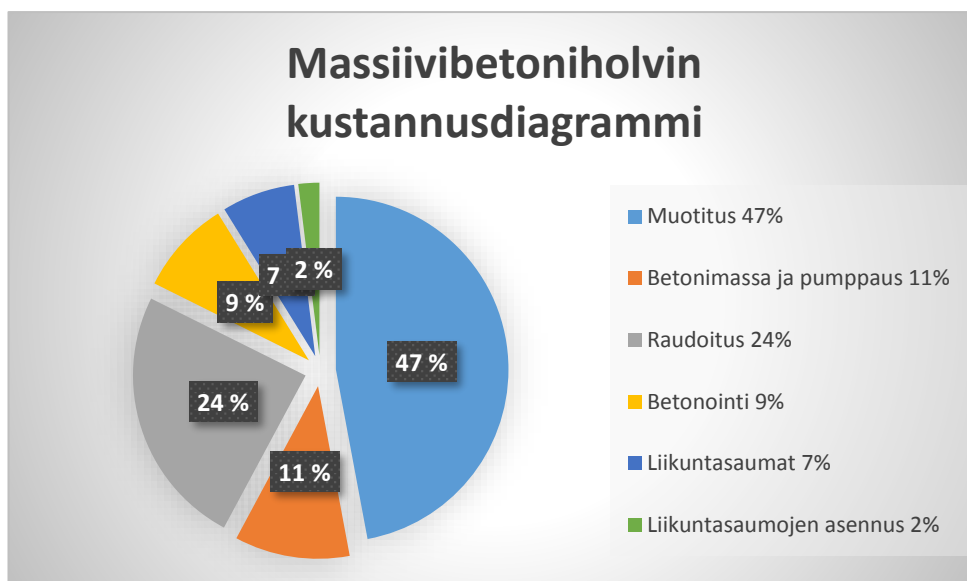
Taulukko 4. Paikallavaletun massiivibetoniholvin kustannukset<sup>36</sup>

Rakenneosa	Kustannukset
Muotitus 47%	96 000,00 €
Betonimassa ja pumppaus 11%	22 000,00 €
Rauditus 24%	50 000,00 €
Betonointi 9%	18 000,00 €
Liikuntasaumat 7%	14 000,00 €
Liikuntasaumojen asennus 2%	4 000,00 €
<b>Yhteensä</b>	<b>204 000,00 €</b>

<sup>35</sup> Työnjohtaja. 2020. SRV Rakennus Oy, Helsinki. Haastattelu 19.3.2020

<sup>36</sup> SRV Rakennus Oy. 2019. Urakkatarjoukset ja rekisterit, viitattu 5.3.2020

Kustannusdiagrammista kuvasta 13. nähdään massiivibetonirakenteisen holvin kustannuksien jakaantuminen.



Kuva 13. Massiivibetoniholvin kustannusdiagrammi

Kustannuspositioita on monia, joista isoimpina kustannuksia aiheuttaa holvin muottityöt, rauditus, sekä betonimassa ja pumppaus. Kuitenkin eri työvaiheiden kustannukset jakaantuvat melko tasaisesti, jolloin yksittäisellä työvaiheella tai rakennusosan hinnalla ei kustannuksiin ole suurta vaikutusta.

#### 4.5 Paloteknisten vaatimusten aiheuttamien toimenpiteiden kustannukset

Rakennusmateriaali määrittää hyvin pitkälti rakenteiden kestävyyttä onnettomuustilanteissa kuten palotilanteessa. Rakennushankkeeseen ryhtyvällä on vastuu huolehtia siitä, että rakennus toimii paloturvallisesti sen käyttötarkoituksen edellyttämällä rakenteilla ja tavalla. Rakennuksen tulee yleisesti toimia paloturvallisesti niin, että onnettomuustilanteessa sieltä voidaan pelastautua. Usein myös pelastusviranomaiset ottavat kantaa rakennuksen paloturvallisuuteen ja hyväksyvät rakennuksesta tehdyn turvallisuusselvityksen.<sup>37</sup>

<sup>37</sup> Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Asetus rakennusten paloturvallisuudesta, 848/2017. Verkkodokumentti <[www.ym.fi](http://www.ym.fi)>

Eri rakennusosat kuten kantavat rakenteet ja osastoivat rakenteet jaetaan luokkiin niiden palonkestävyyden perusteella. Palonkestävyyttä kuvataan yleisesti seuraavilla termeillä:

- R = kantavuus,
- E=Tiiviys
- I= eristävyys.

Palonkestävyyttä ilmaistaessa voidaan käyttää yllä mainittuja termejä yhdessä palonkestoajan kanssa minuutteina ilmaistuna. Esimerkiksi ilmaisulla R60 tarkoitetaan kantavan rakenteen kantavuuden kestoksi 60 minuuttia. Rakennustarvikkeille ja tuotteille on määritelty myös omat paloluokat niiden palotilanteen alkuvaiheen käyttäytymisen perusteella.<sup>38</sup>

Yleisesti eri rakennusmateriaalien välillä on suuriakin eroja palokuormituksien, materiaalin paloluokan ja rakenteiden palonkestävyyden välillä. Tässä kappaleessa käsitellään paloteknisten syiden aiheuttamia kustannuksia ja työvaiheita, joita palonkestävyyden parantamiseksi täytyy eri rakennusmateriaalivaihtoehtojen välillä tehdä. Projektityön tutkimuskohde kuuluu paloluokkaan P1, ja sen suojaustaso on 2. Kantavien ja osastoivien rakenteiden paloluokkavaatimus on karkeasti R60, jota sovelletaan tässä insinööri-työssä. Sisäpintojen paloluokkavaatimus on C-s2, d1.<sup>39</sup>

#### *Puurakenteiden palotekniikan aiheuttamat kustannukset*

Puu ja puupohjaiset tuotteet määritellään yleisesti palavaksi materiaaliksi. Puun palaessa se hiiltyy ensin pinnastaan, jolloin se muodostaa samalla lämmön siirtyvistä hidastavan transitiovyöhykkeen. Yleisesti puu ei tarvitse erillistä palosuojausta, mikäli se itsessään palotilanteessa täyttää ja säilyttää tarvittavan kanto- ja suojaamiskyvyn määritetyn ajan vaatimuksien mukaisesti. Kantaviin puurakenteisiin liittyy kuitenkin lähes poik-

<sup>38</sup> Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Asetus rakennusten paloturvallisuudesta, perustelumuihistio 2017. Verkkodokumentti <[www.ym.fi](http://www.ym.fi)>

<sup>39</sup> Paloturvallisuussuunnitelma SVK 2019. Kauriala. Markku. Palotekninen insinööri-toimisto Markku Kauriala Oy

keuksetta erilaisia teräsrakenteita, jotka täytyy palonkestovaatimusten mukaisesti palosuojata tarvittaessa. Pultti-, naula- ja naulalevyliitoksille ei voida laskea ollenkaan palonkestoaikaa.<sup>40</sup>

Massiivipuu on itsessään hyvin kestävä materiaalia palotilanteissa, jolla voidaan saavuttaa 30-60 minuutin palonkestoaika itsessään.<sup>38</sup> CLT-massiivipuu-elementit kuuluu paloluokkaan D-s2,d0.<sup>41</sup>

Vaatimustaso vertailun kohteessa sisäpinnoille on kuitenkin C-s2, d1 jolloin näkyviin jäävät CLT pinnat suojataan palosuojalakalla. Julkisivujen pintaluokkavaatimus on B-s1, d0, joka saavutetaan verhouksen tehtaalla tehtävällä palosuojakäsittelyllä.<sup>42</sup>

Palosuojauksesta aiheutuvia kustannuksia kerääntyy vertailtavan kohteen seinärakenteista, välipohjasta ja liitosrakenteista seuraavasti:

- Näkyviin jäävien CLT-pintojen palosuojalakkaus
- Julkisivun pintojen palosuojakäsittely
- Julkisivujen liekinrajoittimet
- Julkisivujen palokatkot LVL-levystä

Julkisivuverhoilun palosuojakäsittely on mukana ulkoseinärakenteen kustannuksissa, jolloin sitä ei tässä kappaleessa oteta huomioon kustannuksia nostavana. Taulukosta 5 nähdään palovaatimuksista aiheutuvia kustannuksia puurakenteille.

Taulukko 5. Palovaatimusten aiheuttamat kustannukset puurakenteille<sup>43</sup>

Rakenneosa	Kustannukset
Sisäpinnan palosuojaus	20 000,00 €
Julkisivujen liekinrajoittimet	2 500,00 €
Julkisivujen palokatkokolevyt	8 000,00 €
Julkisivun palosuojakäsittely	Sisältyy us. Kustannuksiin
<b>Yhteensä</b>	<b>30 500,00 €</b>

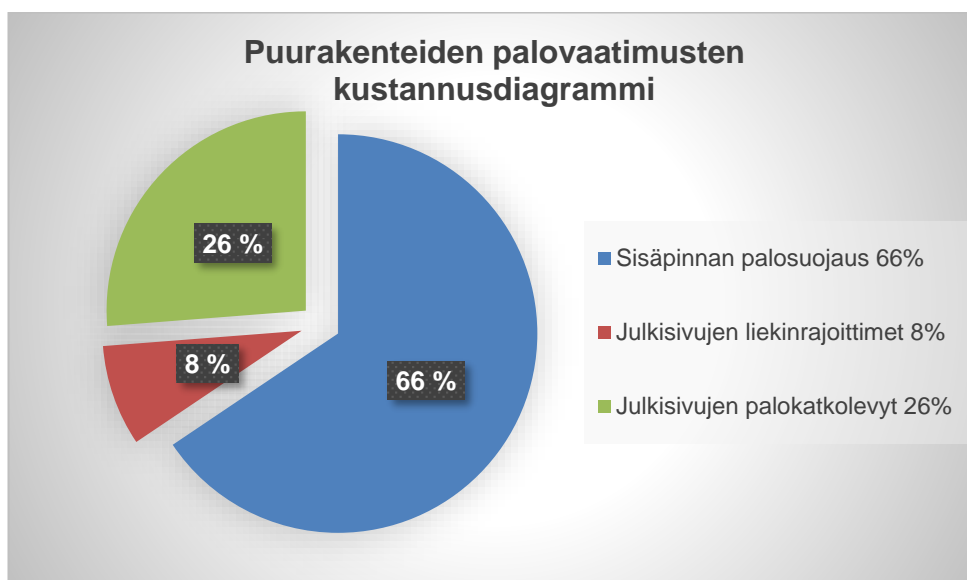
<sup>40</sup> Siikanen. Unto. 2016. Puurakentaminen. Rakennustieto Oy, s.183

<sup>41</sup> Tekninen kansio. 4/2012. Verkkoaineisto <www.clt.info.fi >, viitattu 10.3.2020

<sup>42</sup> Lausunto palosuojatuotteista SVK. 2019. Kauriala. Markku. Palotekninen Insinööritoimisto Markku Kauriala Oy

<sup>43</sup> SRV Rakennus Oy. 2019. Urakkatarjoukset ja rekisterit, viitattu 19.3.2020

Kuvasta 14 voidaan todeta sisäpinnan palosuojalakkauksen oleva suurin kustannusvaihtelu puurakenteissa. Tähän vaikuttaa hyvin paljon arkkitehtisuunnittelu, jolla voidaan kontrolloida esimerkiksi sitä, että käytetäänkö palosuojauksessa kipsilevyverhoilua vai kyseessä olevaa palosuojalakkausta. Myös julkisivun palokatkot näyttelevät suurta osaa kustannuksissa. Huomioon täytyy myös ottaa erikoismuotoon leikattujen LVL-levyjen toimitusten vähyys, jolloin kilpailu vähenee ja hinnat pysyttelevät korkealla.



Kuva 14. Puurakenteiden palovaatimusten kustannusdiagrammi

### *Betonirakenteiden palotekniikan aiheuttamat kustannukset*

Betoni on itsessään palamaton rakennusmateriaali ja se luokitellaan parhaaseen paloluokkaan A1. Hoikkia rakenteita lukuun ottamatta betoni kestää aina vähintään tunnin standardipalon. Kuitenkin betonissa ja betonielementeissä käytettävät teräkset ja teräsosat tuovat myös betonille omat palonkestävyyden raja-arvot, joihin voidaan vaikuttaa muun muassa betonipeitettä kasvattamalla. Betonipeitteen kasvattamisella tarkoitetaan betonin paksuuden kasvattamista elementin tai valun ulkopinnasta teräksen pintaan, jolla voidaan viivästyttää teräsosien lämpenemistä niiden kriittiseen lämpötilaan, joka on noin 500 °C. Voimakkaissa tulipaloissa betonirakenteet kestävät hyvin pitkälti lähes aina



sortumatta. Pintakerros saattaa kuitenkin vaurioitua tai lohkeilla, joka voidaan tarvittaessa korjata esimerkiksi ruiskubetonoinnilla.<sup>44</sup>

Betonirakenteiden palosuojauksen kustannuksien osalta voidaan todeta, että palosuojauksesta aiheutuvia kustannuksia ei betonirakenteille kuten seinäelementille, välipohjalle tai niiden liitoksille tule niiltä osin mitä tässä projektityössä otetaan huomioon. Betonirakenteissa kuitenkin käytetään enemmän teräsosia, joiden palosuojauksesta kohdekohtaisesti voi tulla kustannuksia. Tässä tapauksessa niitä ei kuitenkaan tule.<sup>42</sup>

#### 4.6 Kosteuden- ja olosuhdehallinnasta aiheutuvat kustannukset

Kosteudenhallinta on nykypäivänä hyvin keskeinen osa rakennushanketta. Myös ympäristöministeriön asetuksessa (782/2017) rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta määritellään, että rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava rakennushankkeen kosteudenhallintaselvityksen laatimisesta.<sup>45</sup> Kuivaketju 10 toimintamalli on kehitetty ehkäisemään kosteusvaurioiden syntyminen rakennusprosessin eri vaiheissa. Suunnittelu- vaiheessa eri osa-alueiden suunnittelijat tarkentavat kuivaketju 10 toimintamallin määrittämisen riskilistan vastaamaan kunkin kyseessä olevan kohteen erityispiirteitä. Esimerkiksi CLT-liittolaattarakenteen kosteussulku betonin ja CLT-laatan väliin on riskirakenne, sillä tutkittua näyttöä ei rakenteen kosteudenkestävyydestä ole, ja homevauriot ovat käytännössä mahdollisia. Kuivaketju 10 riskilistan mukaisten kohtien todentaminen luo oletettavasti hieman lisäkustannuksia ja työtä projektille, joita ei kuitenkaan tässä yksittäisinä tekijöinä oteta huomioon.<sup>46</sup>

Kosteudenhallinnan osalta rakennushankkeessa eri rakennusmateriaalien välillä on eroja, kuinka kosteuden pääsyä rakenteeseen hallitaan. Ympäröivä ilma ja kaikki huokoiset materiaalit ja rakenteet sisältävät normaalisti kosteutta itsessään. Myös vuodenaika vaikuttaa rakennusaikaiseen suojaustarpeeseen.<sup>47</sup>

---

<sup>44</sup> Paloturvallisuus & palovahingot. 2020. Betonteollisuus ry. <[www.betoni.com](http://www.betoni.com)>- viitattu 6.3.2020

<sup>45</sup> Ympäristöministeriön. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017. Verkkodokumentti <[www.ymparisto.fi](http://www.ymparisto.fi)>- viitattu 20.3.2020

<sup>46</sup> Kuivaketju 10. 2020. Rakentamisen laatu RALA ry. Verkkokoaineisto <[www.kuivaketju10.fi](http://www.kuivaketju10.fi)>, viitattu 20.3.2020

<sup>47</sup> Siikanen. Unto. 2016. Puurakentaminen. Rakennustieto Oy s.159

Vertailukohteen rungon rakennusaika keskittyy talviaikaan, joka olosuhteidensa puolesta on melko haasteellinen. Lisäksi vähäluminen talvi, mutta runsas sade ja kosteus ovat tuoneet omat lisähaasteensa kohteen rakennusaikaiselle kosteuden- ja olosuhteidenhallinnalle. Kohteen tilaajan vaatimuksena massiivipuuelementtitoteutukselle oli sääsuojan käyttö rungon rakennusaikana, kun taas betonirakenteisen rungon rakennusvaiheessa ei sääsuoja olisi tarvittu.

Kosteuden- ja olosuhdehallinnan kustannuksia tulee puurakenteiselle rungolle sääsuojasta, sekä CLT-elementtien suojauksesta höyrynsulkupaperilla. Myös olosuhdehallinta alkoi jo ennen vaipan umpeutumista massiivipuorakenteiden takia, jolloin olosuhdeseurannasta aiheutuvia kustannuksia koostuu noin neljältä kuukaudelta enemmän.<sup>48</sup> Taulukosta 6. nähdään puurakenteista aiheutuvia olosuhdehallinnan kustannuksia.

Taulukko 6. Puurakenteiden olosuhdehallinnan kustannukset<sup>49</sup>

Kustannusaihe	Kustannukset
Sääsuoja	555 000,00 €
Kostaudenseurantalaitteet	1 000,00 €
Olosuhdehallintalaitteet	1 000,00 €
<b>Yhteensä</b>	<b>557 000,00 €</b>

Puurakenteiden rungon sääsuojaus voidaan toteuttaa myös monella muulla tapaa kuin kokonaisella sääsuojalla tai jopa ilman sääsuojaa, joilla voidaan vähentää sääsuojauksesta aiheutuvia kustannuksia. Vaihtoehtona esimerkiksi rungon rakentamisen tahditus niin, että rakenne osa asennetaan valmiiksi vesikattoon saakka, jolloin rakenneosaa suojaa käytännössä itse itseään. Nämä vaihtoehdot vaativat kuitenkin huolellista tarkkaavaisuutta toteutuksen kanssa, jolloin myös kosteudenhallinnan osalta myös riskit ovat suurempia. Myös rakenteen valmistusaste tulee olla suurempi, esimerkiksi ulkoseinäelementeillä tuulensuojapintaan asti.<sup>50</sup>

<sup>48</sup> Kiviranta, Henri. 2020. Projekti-insinööri, SRV Rakennus Oy. Helsinki. Haastattelu 11.2.2020

<sup>49</sup> SRV Rakennus Oy. 2019. Urakkatarjoukset ja rekisterit, viitattu 15.2.2020

<sup>50</sup> Konttila, Mauri. 2020. Lehtori, Metropolia Ammattikorkeakoulu. Haastattelu 27.3.2020

Betonirakenteisen rungon aikaiseen kosteuden- ja olosuhdehallinnan kustannuksia tulee esimerkiksi talvilisätöistä sääsuojan puuttuessa. Myös esimerkiksi paikallavaluholvin ja pysty- ja vaakasaumojen lämmityksestä ja kuivattamisesta koostuu kustannuksia. CLT-välipohjan liittorakenteessa käytetään myöskin betonia, jolloin kustannuksista koostuisi lähes samat välipohjan osalta. Kuitenkin betonin käyttö on huomattavasti suurempaa betonirakenteisessa kohteessa yleisesti, jolloin voidaan kustannuksien osalta luottaa myös lämmityskaapeleiden ja peitteiden osuus suuremmaksi.

Taulukosta 7. voidaan nähdä vuoden 2019-2020 olosuhteista riippuvat kustannukset betonirakenteiden kosteuden- ja olosuhteidenhallinnalle.

Taulukko 7. Betonirakenteiden olosuhdehallinnan kustannukset<sup>51</sup>

Kustannusaihe	Kustannukset
Talvilisätyöt	11 500,00 €
Peitteet	3 000,00 €
Lämmityskaapelit	4 000,00 €
<b>Yhteensä</b>	<b>18 500,00 €</b>

Vuoden 2019-2020 talvi on ollut melko vähäluminen ja lämmin. Talvilisätöitä, kuten esimerkiksi höyryttämistä ja lumitöitä ennen betonin valutöitä ei ole tarvinnut tästä syystä poikkeuksellisesti tehdä. Kustannukset taulukon 7. mukaisille kustannuksille on koostettu betonirakenneurakoitsijan toteutuneista talvilisätöistä, joiden voidaan olettaa olevan melko samoja myös kokonaan betonirakenteisessa kohteessa.

<sup>51</sup> SRV Rakennus Oy. 2019. Urakkatarjoukset ja rekisterit, viitattu 15.2.2020

#### 4.7 Akustisista vaatimuksista aiheutuvat kustannukset

Rakenteita mitoitettaessa tulee huomioida äänen kolme eri kulkeutumistapaa, jotka ovat ilmaääni, askelääni ja runkoääni. Ilmäänenellä tarkoitetaan ilmassa kulkevaa ääntä, joka voi aiheutua esimerkiksi puheesta tai liikenteen melusta. Askelääni kuvaa kävelystä tai tavaroiden siirtelystä aiheutuvaa ääntä eri tilojen välillä. Runkoäänellä puolestaan tarkoitetaan rakenteessa etenevää mekaanista värähtelyä, joka tuottaa ilmaääntä. Rakennusta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, että melu, jolle rakennuksessa altistutaan, saadaan minimoitua rakenteiden avulla niin, hyvin, että se mahdollistaa työskentelyn riittävän hyvissä olosuhteissa.<sup>52</sup>

Puu on tilavuuspainoltaan kevyt materiaali, jolloin sen ääneneristysominaisuudet ovat myöskin huonot. Puu rakennusmateriaalina näin ollen tarvitsee lisäksi muuta ääneneristysmateriaalia, jolloin rakenne koostuu useista vaihtoehtoisista tarvikkekerroksista.<sup>53</sup>

Yleisesti paras ääneneristävyys saavutetaan massiivisilla kiviaineisilla seinämillä kuten paikallavaletuilla- tai betonielementtiseinillä. Seinien osalta 180mm rakennepaksuudella päästään jo 58 dB ääneneristävyyteen. Kuitenkin rakenteiden ja liitosten tiiviydellä on vaikutusta rakenteen äänitekniisiin ominaisuuksiin, sillä pienikin rako voi vaikuttaa ääneneristävyyteen merkittävästi.<sup>54</sup>

Puurakenteita mitoittaessa ääneneristävyys on usein mitoitettava tekijä esimerkiksi massiivipuelementtien paksuutta ajatellen. Suunnitteluvaiheessa vertailukohteessa välipohjana toimi Kerto-Ripa liittorakenne, jossa ulkoseinä jatkui yhtenäisenä alhaalta kerroksien läpi ylös asti. Suunnittelun edetessä kuitenkin välipohjatyypin vaihdettiin paikallavalettuun laattaan, jolloin myös seinä niin sanotusti katkaistiin kerrosten välillä.

---

<sup>52</sup> Siikanen. Unto. 2016. Puurakentaminen. Rakennustieto Oy. s.169

<sup>53</sup> Siikanen. Unto. 2016. Puurakentaminen. Rakennustieto Oy. s.45

<sup>54</sup> Talonrakentaminen. 2020. Betoniteollisuus ry. Verkkoaineisto <[www.elementtisuunnittelu.fi](http://www.elementtisuunnittelu.fi)>, viitattu 16.3.2020

Kohteen puukonsultin Janne Mannisen mukaan, rakenteet olisi voitu tässä tapauksessa toteuttaa myös ohuemmalla esimerkiksi 140mm paksulla CLT-seinäelementtirakenteella, jolloin kustannukset myös suhteessa pienenevät noin 30€/m<sup>2</sup>.<sup>55</sup> Voidaan olettaa akustisista syistä, sekä suunnittelusta koostuvan kustannuksia seuraavasti; Paksuudeltaan 200mm ja 140mm CLT-elementin kustannuserotus on 30 €/m<sup>2</sup>. Yhteensä kustannuksia siis vain akustiikasta riippuvaisista syistä koostuu noin **60 000€** puurakenteille.<sup>53</sup>

Betonirakenteille ei akustiikasta riippuvia kustannuksia koostu, koska betonirakenteiden materiaaliarvot niille rakenteille jotka tässä insinööriyössä ovat vertailussa ovat riittävät.

---

<sup>55</sup> Manninen, Janne. 2020. Wood Expert Oy, Helsinki. Haastattelu 16.3.2020

## 5 Rakennushankkeen aikataulut ja työmenekit

Rakennushankkeissa aikataulusuunnittelu toimii kaiken tuotannon toteutuksen perustana. Aikataulut alkaa jo hyvin varhaisessa vaiheessa projektia, sillä jo tarjousvaiheessa laaditaan alustavia aikatauluja kohteen toteutukselle. Aikataulusuunnittelu on hyvin keskeinen osa hankkeen suunnittelua ja ohjaamista, sillä usein myös aikataulu on sidottu kustannuksiin hyvin vahvasti. Keskeisimmät ratkaisut aikataulutuksessa tehdään jo hankesuunnitteluvaiheessa, jolloin ajalliset reunaehdot ja tavoitteet päättää rakennuttaja. Hankesuunnittelunvaiheen aikatauluun vaikuttaa hyvin paljon rakenteelliset ratkaisut, joita hankkeessa tullaan toteuttamaan ja sitä kautta myös toteutusvaiheen aikataulutukseen ja hankkeen etenemiseen.<sup>56</sup>

Tässä insinööriyössä tutkitaan rakennemateriaalivalintojen vaikutusta työmenekkeihin ja sitä kautta aikataulutukseen puurakenteiden ja betonirakenteiden välillä. Työnkestoa laskettaessa työmenekit on ilmoitettu työntekijätunteina ja sitä kautta viikkoina, eikä työnkestoa voida käyttää suoraan aikataulutuksen apuvälineenä. Huomioon täytyisi ottaa vielä lisäksi työryhmän koko, joka vähentää työnkestoa kokonaisuudessaan merkittävästi. Kuitenkin ilmoitettujen työmenekkien avulla voidaan arvioida työmaan työntekijöiden ja sitä kautta myös kustannusvaikutuksia eri rakenneosille.<sup>54</sup>

### 5.1 Puurakentamisen aikataulut ja työmenekit yleisesti

Puurakentaminen on vielä nykypäivänä melko uutta varsinkin suurien kerrostaloasunto-kohteiden, sekä toimitilojen rakentamisessa. Puurakentaminen on pitkään ollut kuitenkin pientalorakentamisessa suosittua, mutta puurakenteiden elementoinnin vaihtoehtoja ollaan vasta kehittämässä esimerkiksi betonielementtirakenteiden tasolle.

Puun on itsessään jo valmis rakennusmateriaali, joka ei tarvitse erikseen kuivatusta tai muita toimenpiteitä ennen todellisen lujuuden saavuttamista, jolla voidaan puolestaan säästää aikaa seuraavien työvaiheiden aloituksessa. Insinööripuutuotteet ovat tulleet monelle tutuiksi ja puuta voidaan yhä enemmän käsitellä ja soveltaa erilaisia rakenneratkaisuja varten. Puuelementtirakenteilla saadaan nopeutettua nykypäivänä monien

---

<sup>56</sup> Koskenvesa, Sahlstedt. 2020. Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. Rakennustieto Oy.

puurakenteiden rakentamisen aikatauluja verrattuna rankarakentamiseen. Puurakentamisessa on kuitenkin kritisoitu kosteudenhallinnan haasteita esimerkiksi sääsuojien puuttumisella, joka puolestaan nostaa esiin työvaiheita suojausten tarpeesta vieden aikaa.

## 5.2 Betonirakentamisen aikataulut ja työmenekit yleisesti

Valmisosarakentamisessa rakennusosat tuotetaan hyvissä ajoin etukäteen ennen toteutusta kuten aiemmin jo mainittu. Betonielementtien asennus on nopeaa ja vähentää työmaalla tapahtuvia työvaiheita ja menekkejä. Betonin valmisosarakentaminen on pitkälti teollistunut, joka tuo uusia mahdollisuuksia elementtien toimintaan ja sisältöön. Betonielementtien avulla voidaan toteuttaa yhä enemmän valmisosarakenteita ja näin ollen nopeuttaa kokonaisvaltaisesti projektien aikatauluja niin rakentamisen kuin talotekniikan osa-alueilla.<sup>57</sup>

## 5.3 Seinärakenteiden työmenekit

Seinärakenteen asennuksen ja viimeistelyn aikataulutus riippuu hyvin pitkälti sen rakennusmateriaalista ja toteutustavasta. Elementointiratkaisut ovat yleisesti kannattavampia aikataulullisesti, mutta huomioida täytyy kuitenkin monet eri tavat toteuttaa elementteihin liittyvät rakenteet.

Betonisia seinäelementtejä on monenlaisia. Elementit voidaan toteuttaa sisäkuoresta, erikseen asennettavasta eristeestä, sekä ulkokuoresta. Erikseen asennettuna tämä ratkaisu vie luonnollisesti enemmän aikaa kuin esimerkiksi sandwich-elementtien asennus, sillä näissä elementeissä on jo sisäkuori ja ulkokuori valmiina.

---

<sup>57</sup> Teollinen valmisosarakentaminen. 2020. Betoniteollisuus Ry. Verkkoaineisto <[www.elementtisuunnittelu.fi](http://www.elementtisuunnittelu.fi)>, viitattu 24.3.2020.

Myös puurakentamisessa vaihtoehtoja on monia seinärakenteissa. Tutuimmaksi puurakenteeksi on yleisesti tullut rankarakenteet, joissa seinärakenne toteutetaan alusta asti paikalla rakentaen. Nykypäivänä ovat insinööripuutuotteet mahdollistaneet myös puurakenteiden elementoinnin, joilla voidaan säästää aikaa ja toteuttaa suurempia massoja kerrallaan puurakentamisen parissa.

#### *Massiivipuurakenteisen ulkoseinän työmenekit*

Projektityön vertailukohteessa jokainen ulkoseinärakenteen rakenneosia asennetaan erikseen. Aikataulullisesti runkorakenteen aikataulusuunnittelu on melko monimutkaista. Rakenteeseen liittyy paljon eri rakenneosia, joista jokaiselle voidaan laskea erikseen työmenekki alla olevan taulukon 8 mukaisesti.

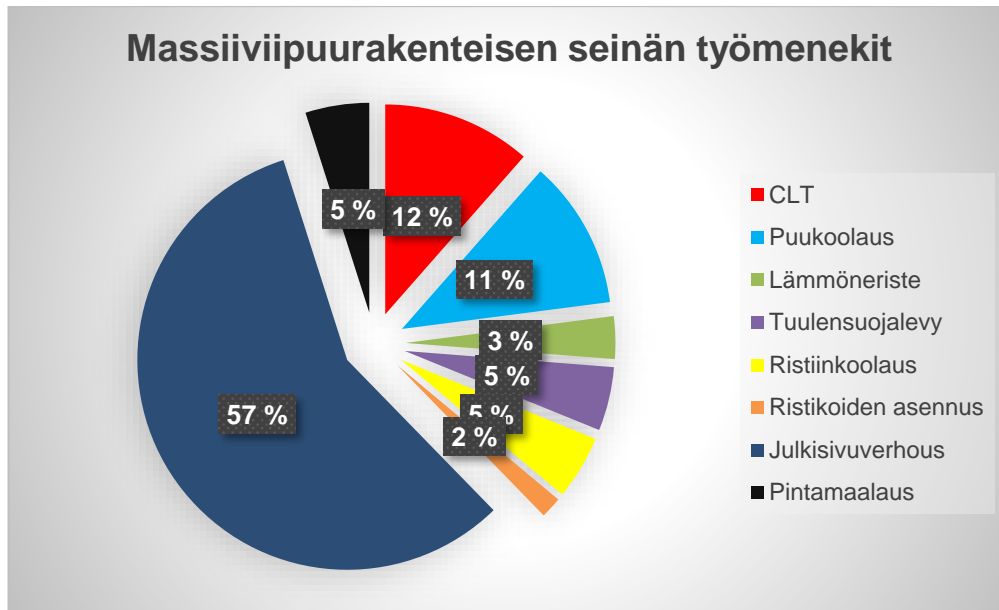
Taulukko 8. Puurakenteisen ulkoseinän työmenekki<sup>58</sup>

Rakenneosa	Kesto viikkoina
CLT	7,00
Puukoolaus	7,00
Lämmöneriste	2,00
Tuulensuojalevy	3,00
Ristiinkoolaus	3,00
Ristikoiden asennus	1,00
Julkisivuverhous	35,00
Pintamaalaus	3,00
<b>Yhteensä</b>	<b>61,00</b>

Puurakenteiden elementointivaihtoehdot eivät ole nykypäivänä vielä niin pitkälle kehittyneitä kuin betonissa. Kuten yllä olevasta taulukosta 8 voidaan havainnoida, työvaiheita ja tehtäviä on edelleen paljon. Määrä viikkoina on teoreettinen ja laskettu yhden henkilön työryhmälle, joten todellinen kesto riippuu työryhmän koosta. Kuvasta 15 voidaan kuitenkin nähdä eri työvaiheiden menekit prosentuaalisesti diagrammissa esitettynä. Sen avulla voidaan havainnoida työmenekkien suuruutta suhteessa muihin rakenneosien työmenekkeihin. Myös työryhmän suuruuden tarvetta voidaan arvioida diagrammin avulla.

<sup>58</sup> Wind, Kivimäki, Koistinen, ym. 2019. Rakennustöiden menekit 2020. Rakennustieto Oy





Kuva 15. Massiiviipuurakenteiden seinän työmenekkiagrammi

Diagrammista voidaan huomata julkisivuverhouksen asennuksen vievän eniten aikaa. Tähän olisi tarpeen ottaa isompi työryhmä kuin esimerkiksi pintamaalaukseen.

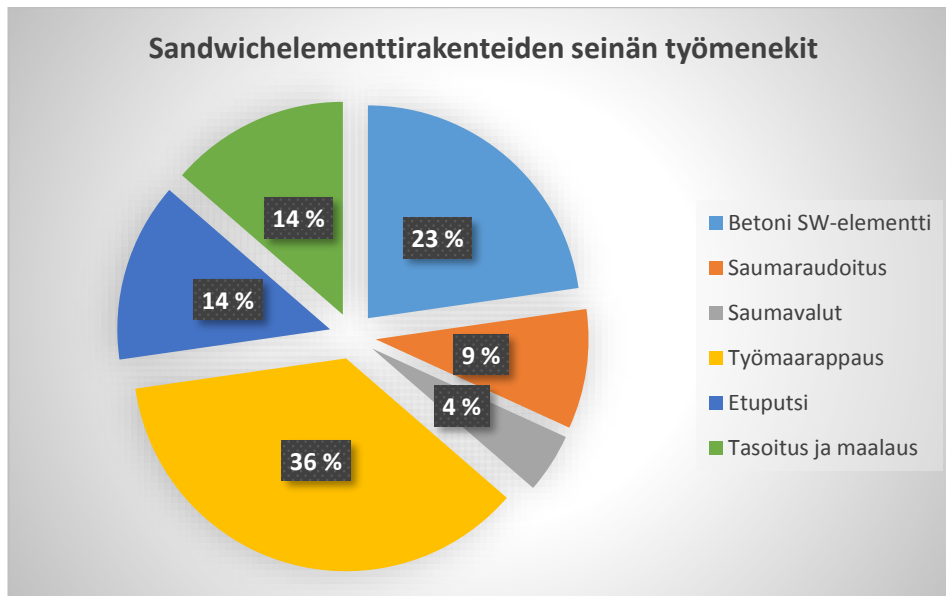
#### *Betonisandwichelementtiseinän työmenekit*

Betonirakenteisen ulkoseinän rakenteessa käytetään tämän projektityön vertailussa sandwich-elementtiä. Sandwich-elementissä sisä- ja ulkokuori saadaan asennettua samalla kertaa, jolloin asennuksen aikataulu oleellisesti pienenee. Asennuksessa täytyy kuitenkin ottaa huomioon alla olevassa taulukossa 9. esitetyt saumaraudoituksen, saumavalujen ja juurivalujen aiheuttamat lisäykset aikatauluun. Myöskin julkisivuun liittyvä työmaalla tehtävä paikka- ja silotus, sisäpinnan hionta ja silotus, sekä maalaus.

Taulukko 9. Sandwichelementtirakenteisen ulkoseinän työmenekki<sup>59</sup>

Rakenneosa	Kesto viikkoina
Betoni SW-elementti	5,00
Saumaradoitus	2,00
Saumavalut	1,00
Työmaarappaus	8,00
Etuputsi	3,00
Tasoitus ja maalaus	3,00
<b>Yhteensä</b>	<b>22,00</b>

Alla olevasta kuvasta 16. voidaan nähdä eri työvaiheiden menekit prosentuaalisesti kokonaisaikataulusta. Näistä selkeästi isoimmat työmenekit sisältävät työmaalla tehtävä julkisivun viimeinen rappauspinta, sekä sandwich-elementtien asennus.



Kuva 16. Sandwich-elementtirakenteisen ulkoseinän työmenekit

<sup>59</sup> Wind, Kivimäki, Koistinen, ym. 2019. Rakennustöiden menekit 2020. Rakennustieto Oy

## 5.4 Välipohjarakenteiden työmenekit

Välipohjan aikataulutusta tahdittaa pitkälti edeltävät työvaiheet rungon rakentamisessa, kuten ensimmäisen kerroksen seinät tai pilarit joihin välipohja tukeutuu. Välipohjia voidaan tehdä monenlaisia niin elementteinä kuin paikalla tehtynäkin. Usein molempiin vaihtoehtoihin liittyy kuitenkin lisäksi paljon muutakin kuin elementin asennus itsessään. Tässä insinöörityössä CLT-liittolaattarakenteen, jossa CLT-laatan päälle tehdään paikallavalettu laatta, verrataan paikallavaletun betonirakenteisen holvin aikataulutukseen ja työmenekkeihin.

### *CLT-liittolaattavälipohjan työmenekit*

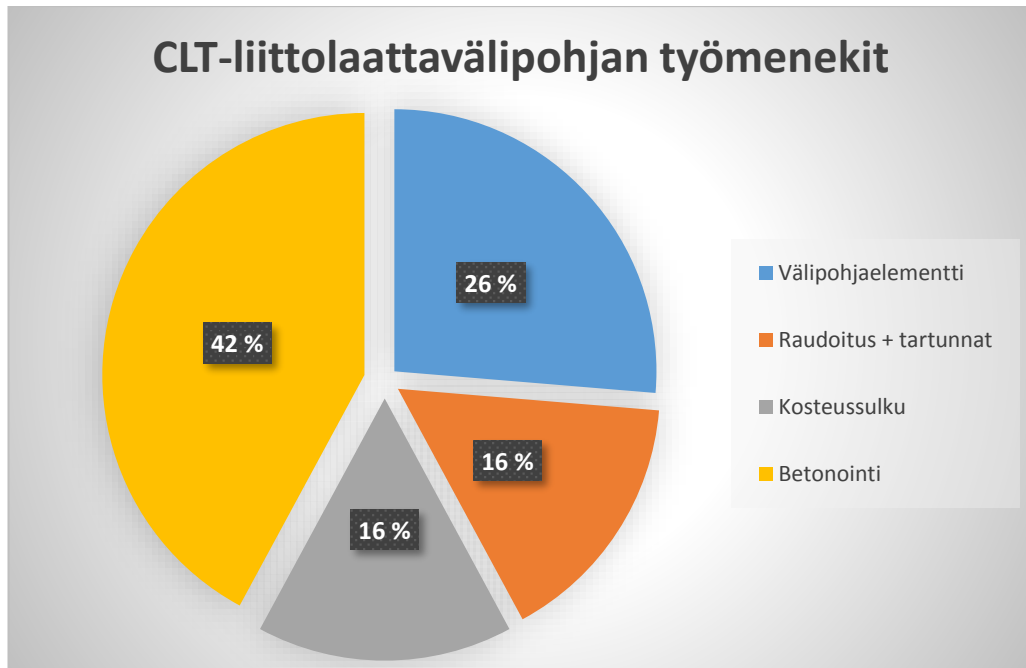
CLT-liittolaattavälipohjassa käytetään CLT-massiivipuulementtejä, sekä paikallavalettua betonia, jolle massiivipuulementit toimivat ikään kuin muottina. Aikataulua tutkittaessa liittolaattavälipohjalle tulee aikatauluvaikutuksia CLT-laattaelementin asennuksesta, kosteussulusta, raudoituksesta, betonoinnista, sekä betonin kuivumisajasta. Työmenekit on esitetty alla olevassa taulukossa 10.

Taulukko 10. CLT-liittolaattavälipohjan työmenekki<sup>60</sup>

Rakenneosa	Kesto viikkoina
Välipohjaelementti	5,00
Raudoitus + tartunnat	3,00
Kosteussulku	3,00
Betonointi	8,00
<b>Yhteensä</b>	<b>19,00</b>

Kuvasta 17. nähdään CLT-liittolaattavälipohjan työmenekin suuruus suhteutettuna rakenteen kokonaiskestoon diagrammina.

<sup>60</sup> Wind, Kivimäki, Koistinen, ym. 2019. Rakennustöiden menekit 2020. Rakennustieto Oy



Kuva 17. CLT-liittolaattavälipohjan työmenekkiagrammi

#### *Paikallavaletun teräsbetoniholvin työmenekit*

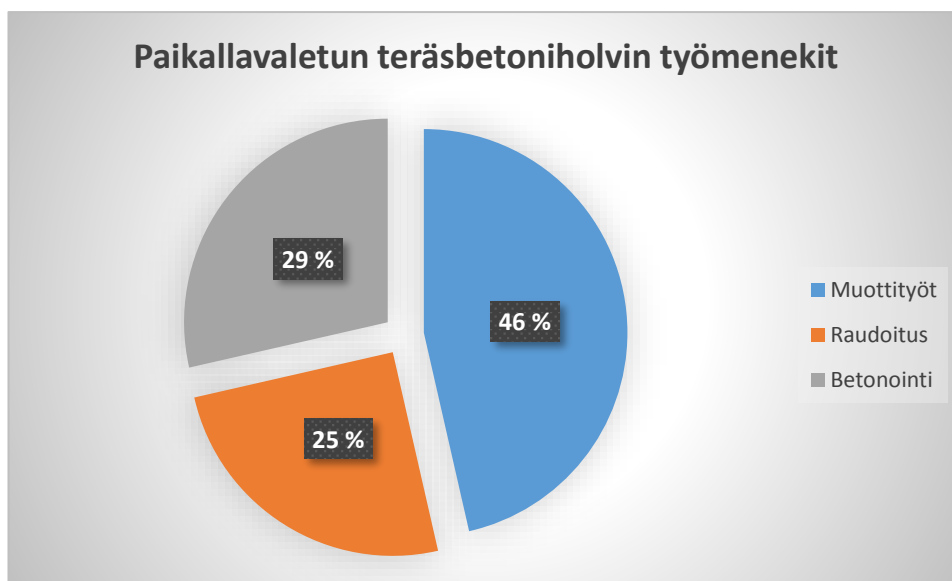
Paikallavalettu teräsbetoniholvi toteutetaan paikalla rakentaen. Paikallavalutyöt toteutetaan työmaalla lohkoittain, kolmessa eri lohkoissa. Paikallavaletun teräsbetoniholvin työmenekkeihin tulee huomioida muotitus, raudoitus, betonointi, sekä jälkihoito tai kuivumisaika. Liitoksiin tai talotekniikkaan liittyviä töitä ei oteta tässä insinööriyössä huomioon työmenekkeissä. Liikuntasauvojen asennus on mukana raudoitustöiden työmenekissä. Paikallavaletun betoniholvin työmenekit on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Paikallavaletun teräsbetoniholvin työmenekki<sup>61</sup>

Rakenneosa	Kesto viikkoina
Muottityöt	13,00
Raudoitus	7,00
Betonointi	8,00
<b>Yhteensä</b>	<b>28,00</b>

<sup>61</sup> Wind, Kivimäki, Koistinen, ym. 2019. Rakennustöiden menekit 2020. Rakennustieto Oy

Kuvassa 18. on esitetty taulukon 11 mukaiset työmenekit ja niiden suhteet verrattuna rakenteen kokonaiskeston.



Kuva 18. Paikallavaletun teräsbetoniholvin työmenekit

Paikallavaletun teräsbetoniholvin työmenekit jakaantuvat hyvin tasaisesti kokonaisuudessaan. Suurimman ajan vie holvin muottityöt. Paikallavaletun teräsbetoniholvin aikataulutuksessa täytyy myös lisäksi ottaa huomioon jälkituenta aika, joka tahdittaa seuraavia työvaiheita alemmissä kerroksissa. Paikallavaletun teräsbetoniholvin jälkituenta aika on noin 38 vuorokautta, jonka jälkeen vasta voidaan esimerkiksi alemman kerroksen pintabetonointi aloittaa.<sup>62</sup>

### 5.5 Paloteknisten vaatimusten työmenekit

Paloteknisesti aikatauluun vaikuttavia tekijöitä on vaikea määrittää. Näkyviin jäävien CLT- pintojen palosuojakäsittelyyn kuluu aikaa lähes saman verran kuin vastaavan betoniseinän pinnan maalaukseen. Kuitenkaan betoniseinän maalaus ei aiheudu palosuojauksesta. Aiemmin kustannuksien osalta todettiin, ettei betonille aiheudu kustannuksia palosuojauksesta, jolloin sillä ei myöskään tule olemaan aikatauluvaikutuksia palosuo-

<sup>62</sup> Kiviranta, Henri. 2020. Projekti-insinööri, SRV Rakennus Oy. Helsinki. Haastattelu 11.2.2020

jauksen osalta. Massiivipuurakenteille sen sijaan toteutuksen liekinrajoittimien asennuksesta, sekä LVL-palokatkolevyjien asennuksesta, sekä näkyviin jäävien CLT-pintojen palosuojalakkauksesta saadaan aikatauluvaikutusta taulukon 12 mukaisesti.

Taulukko 12. Puurakenteiden palosuojauksen työmenekit<sup>63</sup>

Rakenneosa	Kesto viikkoina
Liekinrajoittimien asennus	1,00
LVL-palokatkolevy	1,00
Palosuojalakkkaus	4,00
<b>Yhteensä</b>	<b>6,00</b>

## 5.6 Olosuhde- ja kosteusteknisen hallinnan vaikutus työmenekkeihin

Olosuhdehallinnan aikatauluvaikutuksia on monenlaisia riippuen rakennusmateriaalista. Suurimmat vaikutukset puurakenteiden ja betonirakenteiden aikataulutukseen tuo pintamateriaalit, joiden asennukseen vaikuttaa pohjamateriaalin suhteellinen kosteus. Sen osalta esimerkiksi betonin kuivumisaika on pidempi kuin puulla. Myös sääsuojan pystytyksen aikataulu vaikuttaa puurungon pystytyksen aloitusaikatauluun toisin kuin betonilla. Olosuhdeseurannan aikatauluvaikutuksia ei itsessään oteta huomioon, sillä niillä ei ole vaikutusta töiden etenemiseen.

Taulukoissa 13. on esitetty puurakenteiden kosteuden- ja olosuhdehallinnan teoreettisia työmenekkejä.

Taulukko 13. Puurakenteiden kosteudenhallinnan työmenekit<sup>57</sup>

Puurakenteiden kosteudenhallinta	Kesto viikkoina
Liittorakenteen kuivumisaika	10,00
Sääsuojan pystytys	3,00
CLT-elementtien suojaus	1,00
<b>Yhteensä</b>	<b>14,00</b>

<sup>63</sup> Wind, Kivimäki, Koistinen, ym. 2019. Rakennustöiden menekit 2020. Rakennustieto Oy

Taulukossa 14. on esitetty betonirakenteiden kosteuden- ja olosuhdehallinnan teoreettisia työmenekkejä

Taulukko 14. Betonirakenteiden kosteudenhallinnan työmenekit<sup>64</sup>

Betonin kosteudenhallinta	Kesto viikkoina
Saumabetonin kuivumisaika	2,00
Teräsbetoniholvin kuivumisaika	14,00
Sääsuojan puuttuminen	2,00
<b>Yhteensä</b>	<b>18,00</b>

Sääsuojan osalta taulukossa 13 on sääsuojan aikatauluvaikutus perusteltu sillä, että mikäli sääsuoja ei olisi ollut vaatimuksena, olisi työt päästy aloittamaan 3 viikkoa aiemmin. Taulukossa 14 esitettyä sääsuojan puuttumista taas voidaan perustella sillä, että sääsuoja yleisesti nopeuttaa muita työvaiheita kuten elementtien asennusta, kun säähaitat kuten tuuli tai sade eivät viivästyttä asennuksia.<sup>65</sup>

Olosuhdehallinnan osalta puun ja betonin yhdistelmä on haastava, jolloin se vaikuttaa aikataulutukseen. Puun ja betonin ominaisuudet eroavat toisistaan hyvinkin paljon niin, että olosuhteet sääsuojan alla tulee pitää puulle tarpeeksi kosteana, mutta betonin kuivumisen kannalta kuitenkin tarpeeksi kuivana. Näin ollen rakenteissa, joissa yhdistetään puuta ja paikallavalettua betonia, ei saada betonia kuivumaan yhtä tehokkaasti kuin esimerkiksi täysin betonirakenteisessa kohteessa.<sup>63</sup>

<sup>64</sup> Wind, Kivimäki, Koistinen, ym. 2019. Rakennustöiden menekit 2020. Rakennustieto Oy

<sup>65</sup> Kiviranta, Henri. 2020. Projektinsinööri, SRV Rakennus Oy. Helsinki. Haastattelu 11.2.2020

## 5.7 Akustiikkavaatimusten vaikutukset työmenekkeihin

Akustiikan osalta aikatauluvaikutuksia on lähes mahdoton mitata. Akustiikka vaikuttaa puurakenteiden osalta hyvinkin ratkaisevasti rakenteiden toteutukseen ja käytettäviin materiaaleihin. Betonirakenteissa äänitekniset vaatimukset tulee harvemmin vastaan, mutta vaikuttaa sielläkin. Tämän insinööriyön rakenneosien vaihtoehdoissa massiivipuun ja betonirakenteen välillä akustiikka ei suoranaisesti vaikuta aikataulutukseen.

Tiettyjen tilojen tulee täyttää äänen eristävyden raja-arvot kuten musiikinopetustilat tai teknisen työn opetustilat. Näissä tiloissa CLT-elementin tai betonielementin sisäpintaan toteutetaan ns. lisäeristys ja levytys. Kuitenkin määrä on vertailukohteessa, niin vähäinen, että se ei tuo työmenekkeihin kasvua merkittävästi toisen rakennusmateriaalin kannalta.<sup>66</sup>

---

<sup>66</sup> Akustiikkaselostus SVK. 2020. A-Insinöörit Sunnittelu Oy.



## 6 Vertailu

### 6.1 Yleisesti

Puu ja betonirakenteiden välillä on selkeästi hyvin paljon eroja niin materiaaliominaisuuksien kannalta kuin toteutustavoissa. Rakenneratkaisut eroavat toisistaan hyvin paljon, sillä puuelementtirakentaminen on vielä paljon betonielementtirakentamista jäljessä. Puurakenteiden ja betonirakenteiden toimijoiden määrässä on myös suuria eroja, eikä puuelementtirakenteille osaavia asennusurakoitsijoita ole tarpeeksi. Suurimpina eroina voidaan huomata, että puurakenteissa työvaiheita on huomattavasti enemmän ja iso osa rakenneosista toteutetaan erikseen ja muiden apumateriaalien avulla. Työnkestojen osalta puurakenteiden työvaiheiden ollessa isompia myös työmenekit niissä kasvavat. Betonirakenteissa puolestaan betonin kuivumisaika on oleellinen tekijä aikataulutuksen kannalta. Työnkestot on vertailussa laskettu työntekijätunteina, joten voidaan todeta, että työryhmää kasvattamalla kokonaistyömenekki pienenee työryhmän koon mukaan. Myös työvaiheiden päällekkäisyys ja limitys vaikuttavat todelliseen aikataulutoteumaan, jolloin todellinen aikataulu supistuu. Betonin kuivumisaika kuitenkin pysyy saman riippumatta työryhmän koosta.

### 6.2 Seinärakenteiden vertailu

#### *Kustannukset*

Seinärakenteissa suurimpana erona betonisandwich-elementin ja CLT-elementtirakenteen välillä ovat eri rakennusmateriaalien määrä. Taulukosta 15. nähdään kustannuksien jakaantuminen näiden kahden rakennetyypin mukaan.

Taulukko 15. Seinärakenteen kustannusvertailu

CLT-seinärakenne	Kustannukset	Sandwich betonirakenne	Kustannukset
CLT-seinäelementit 39%	265 000,00 €	Sandwich-elementit 81%	500 000,00 €
Lämmöneristeet 1%	7 000,00 €	Raudoitus 1%	5 000,00 €
Koolauspuut 1%	6 500,00 €	Betonimassa 1%	5 000,00 €
Tuulensuojalevyt 1%	3 500,00 €	Betonisaumavalut 1%	10 000,00 €
Ristiinkoolauspuut 0%	3 000,00 €	-	- €
Julkisivun verhousmateriaali 15%	105 000,00 €	Julkisivun paikkaus 10%	60 000,00 €
Ristikot 1%	9 000,00 €	-	- €
Kiinnikkeet 1%	7 000,00 €	Sisältyy kustannuksiin	- €
Työ 40%	270 000,00 €	Elementtiasennus 5%	30 000,00 €
Julkisivun maalaus 1%	4 000,00 €	Sisäpinnan maalaus 1%	7 000,00 €
<b>Yhteensä</b>	<b>680 000,00 €</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>617 000,00 €</b>

Taulukosta 15. huomataan, että elementit itsessään maksavat sandwich-betonielementteinä enemmän kuin CLT-elementit. Tämän voidaan olettaa johtuvan tehtaalla tapahtuvan varustelun tasosta, jolloin eristeiden asennus ja pintarakenne toteutetaan tehdasolosuhteissa valmiiksi. Kustannuksia koostuu CLT-elementtirakenteelle enemmän materiaalikustannusten ja isomman työmäärän kautta. Jokainen CLT-elementin pintaan tuleva rakenneosaa asennetaan erikseen, jolloin työmäärä kasvaa. CLT-seinärakenteen kustannuksissa julkisivun verhousmateriaali on palosuojattua, joka nostaa itsessään kustannuksia. Taulukossa 16. on esitetty seinärakenteiden kokonaiskustannuksien ero, josta voidaan havaita, että CLT-seinäelementtirakenteen kokonaiskustannukset ovat noin 10 % suuremmat kuin betonisandwichelementin kustannukset.

Taulukko 16. Seinärakenteiden kokonaiskustannuksien vertailu

Rakennetyyppi	Kustannukset
Betonisandwichelementti	617 000,00 €
CLT-seinäelementti	680 000,00 €
<b>Erotus</b>	<b>63 000,00 €</b>

Seinärakenteen kustannuksiin vaikuttaa hyvin paljon elementin jalostusaste. Betonirakenteissa pitkälle jalostetut elementit ovat vakioituneita ja toimittajia esimerkiksi betonisandwichelementeille on monia toisin kuin CLT-rakenteiselle sandwich-rakenteelle. Tällä hetkellä Suomessa ei ole toimittajia, jotka voisivat toteuttaa elementtien jalostuksen omalla tehtaallaan kustannustehokkaasti, pois lukien tilaelementtien valmistajat. Yksit-

täisen CLT-elementtien jalostus on kuitenkin mahdollista, mikäli tilaaja näin toivoo. Tällöin CLT-elementtien valmistajat toimittavat elementit ulkopuoliselle yritykselle varusteltaviksi. Logistiikkakustannuksia elementtien kuljetuksesta syntyy näin ollen enemmän, jolloin myös kokonaiskustannukset elementeille nousevat. Janne Mannisen mukaan tämän hetken CLT-elementtien jalostaminen pitkälle tehdasolosuhteissa on hyödytöntä, eikä tuo työmaan kustannussäästöihin merkittäviä etuja. Työmäärän vähentyminen elementtien jalostuksesta johtuen kuitenkin täytyy ottaa huomioon, jolloin kustannuksissa voidaan teoreettisella tasolla säästää. Täytyy myös huomioida, että suurin osa Suomessa käytettävästä CLT:stä tulee ulkomailta. Tulevaisuudessa CLT-elementtien varustelutaso tulee varmasti kehittymään, jolloin niillä päästään kilpailemaan betonielementtien kanssa.<sup>67</sup>

#### *Aikataulu ja työmenekit*

Aikatauluvaikutus on suuri eri rakennusmateriaalien välillä. Betonielementteihin useammin asennetaan jo tehtaalla sen valmistusvaiheessa kaikki tarvittavat osat kiinnitykseen, kun taas CLT-elementeissä näitä harvemmin on. Myös työmaalle toimitetun elementin valmiusaste on täysin eri, joka vaikuttaa teoreettisesti työmenekkiin työntekijätunteina. Taulukosta 17. nähdään työmenekit rakennetyyppien välillä.

Taulukko 17. Seinärakenteen työmenekin vertailu

Rakennetyyppi	Kokonaistyömenekki
Betonisandwichelementti	22 viikkoa
CLT-seinäelementti	61 viikkoa
<b>Erotus</b>	<b>39 viikkoa</b>

CLT-seinäelementin työmenekki on jopa 177% suurempi kuin betonisandwichelementillä. Mikäli työryhmän koko CLT-seinäelementtirakenteen asennukseen on esimerkiksi 2 rakennusmiestä, puolittuu ilmoitettu 61 viikkoa noin 30: en viikkoon.

<sup>67</sup> Manninen, Janne. 2020. Wood expert Oy, Helsinki. Haastattelu 16.3.2020

### 6.3 Välipohjarakenteiden vertailu

#### *Kustannukset*

Välipohjan kustannusvertailussa huomataan oleellisesti CLT-elementtien kustannusvai-  
kutuksen verrattuna betonimassaan. Materiaalikustannukset välipohjan kustannusvertai-  
lussa on huomattavasti korkeammat CLT-liittolaattarakenteessa, jossa käytetään mo-  
lempia rakennusmateriaaleja betonia ja CLT:tä. Taulukosta 18. nähdään välipohjaraken-  
teiden kustannusvertailu positioittain.

Taulukko 18. Välipohjarakenteen kustannusvertailu

CLT-liittolaattarakenne	Kustannukset	PV-teräsbetoniholvi	Kustannukset
CLT-laattaelementit 73%	230 000,00 €	Muotitus 47%	96 000,00 €
Kosteussulku 1%	2 000,00 €	Liikuntasauvojen asennus 2%	4 000,00 €
Betonimassa ja pumppaus 5%	15 000,00 €	Betonimassa ja pumppaus 11%	22 000,00 €
Raudoitus 6%	20 000,00 €	Raudoitus 24%	50 000,00 €
Tartunnat 9%	30 000,00 €	Liikuntasauvat 7%	14 000,00 €
Betonointi 6%	18 000,00 €	Betonointi 9%	18 000,00 €
<b>Yhteensä</b>	<b>315 000,00 €</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>204 000,00 €</b>

Välipohjarakenteissa CLT-liittolaattarakenteen ja paikallavaletun teräsbetoniholvin välillä  
työvaiheita on yhtä paljon ja lähes saman kaltaisia. CLT-laattaelementit toimivat liittora-  
kenteessa ns. muottina betonille. Suurimmat erot koostuvat näin ollen ”muotituksen” kus-  
tannuksista, sillä betonoinnin työmäärä on sama, vaikka paksuus ei ole. Myös raudoituk-  
sen määrässä on eroja, sillä teräsbetoniholvin tulee kantaa itsensä, kun CLT-liittolaatta-  
rakenteessa CLT-elementit toimivat myös osin kantavana rakenteena.

Taulukko 19. Välipohjarakenteen kokonaiskustannusvertailu

Rakennetyyppi	Kustannukset
CLT-liittolaatta	315 000,00 €
Massiivibetonilaatta	204 000,00 €
<b>Erotus</b>	<b>111 000,00 €</b>

Taulukon 19. mukaan välipohjan kustannusvertailun tuloksena CLT-liittolaatan kokonaiskustannukset ovat noin 54% suuremmat kuin paikallavaletulla massiivibetonilaatalla. Huomioon täytyy kuitenkin ottaa myös CLT-liittolaatan elementtien asennukseen käytettävä nostotyön määrä.

#### *Aikataulu ja työmenekit*

Vaikka välipohjassa työvaiheita on CLT-liittolaattarakenteessa enemmän, massiivibetonilaatan muottityöt ovat hitaampi työvaihe isomman työmäärän takia. CLT-liittolaattarakenteessa massiivipuelementit toimivat valmiina muottina asennuksen jälkeen betonimassalle, jolloin erillistä muottityötä ei tarvita. Taulukosta 20. nähdään välipohjan eri rakennetyyppien työmenekit.

Taulukko 20. Välipohjarakenteen työmenekin vertailu

Rakennetyyppi	Kokonaistyömenekki
CLT-liittolaatta	19,00
Massiivibetonilaatta	28,00
<b>Erotus</b>	<b>9,00</b>

Työmenekkien osalta massiivibetonilaatan työmenekki on noin 47% suurempi kuin CLT-liittolaatan työmenekki. Myös kuivumisen vaikutukset otetaan huomioon kosteuden ja olosuhdehallinnan kappaleessa.

#### 6.4 Palotekninen vertailu

##### *Kustannukset*

Koska puu ja betoni ovat materiaaliominaisuuksiltaan hyvin erilaisia, palotekniset ominaisuudet poikkeavat toisistaan hyvin paljon. Betonin ollessa itsessään palonkestävää ei sitä tarvitse erikseen palosuojata. Erillisiä kustannus tai aikatauluvaikutuksia ei betonin palosuojaukselle vertailukohteesta tule, toisin kuin puurakenteille. Kustannusvertailussa

ei otettu huomioon niitä palosuojaustoimenpiteitä, jotka tulisi tehdä molemmille rakennevaihtoehdoille. Taulukosta 21 nähdään puurakenteiden palosuojauksen kustannusvaihtokutukset suhteessa betoniin.

Taulukko 21. Palosuojauksen kustannuksien vertailu

Rakenne	Kustannukset
Puurakenteet	30 500,00 €
Betonirakenteet	- €
<b>Erotus</b>	<b>30 500,00 €</b>

Puurakenteiden palosuojaukseen joudutaan kiinnittämään huomiota hyvinkin paljon enemmän kuin vaihtoehtoiseen betoniseen ratkaisuun, joka näkyy myös yllä olevan taulukon mukaisesti kustannuksissa.

#### *Aikataulu ja työmenekit*

Itse palosuojaukseen liittyvien rakenteiden, osien ja materiaalien asennuksesta aiheutuu lisää työtä kohteeseen. Betonirakenteiden palosuojaukseen ei lasketa työmenekkiä koska palosuojauksesta aiheutuvaa työtä ei rakenteessa tule. Taulukossa 22. on esitetty palosuojauksen aikatauluvaikutus työmenekkeinä.

Taulukko 22. Palosuojauksen työmenekkien vertailu

Rakenne	Kesto viikkoina
Puurakenteet	6,00
Betonirakenteet	0,00
<b>Erotus</b>	<b>6,00</b>

## 6.5 Kosteus- ja olosuhdehallinnan vertailu

### *Kustannukset*

Kosteudenhallinta on hyvin keskeisessä asemassa niin betoni- kuin puurakenteisessa rungossa. Puu materiaalina on melko altis ulkoisille kosteuden vaikutuksille toisin kuin betoni. Liiallisen kosteuden päästessä puurakenteisiin rakentamisvaiheessa voi aiheuttaa hometta ja lahovaurioita<sup>68</sup>. Näin ollen puurakentamista yleisesti suositellaan toteutettavan sääsuojan alla, mikä tässäkin insinööriyössä on iso kustannusvaikutus. Myöskään liian alhainen ilman suhteellinen kosteus ei ole hyväksi puun mahdollisen halkeilun takia, jolloin ilman suhteellista kosteutta tulee tarkkailla lähtökohtaisesti ensimmäisen puurakenteen asennuksesta. Betoni puolestaan ei saa jäätyä ja sen tulee kuivaa sopivassa ajassa lujuuden kehityksen kannalta optimaalisesti. Useimmiten betonirakenteiset kohteet rakennetaan ilman sääsuojaa, jolloin määrääväksi tekijäksi tulee usein sääolosuhteet, vesi- tai lumisade, tuuli tai pakkasen. Näin ollen pv-betonin lämmitys ja talvilisätyöt, kuten lumityöt aiheuttavat kustannuksia. Taulukossa 23. on esitetty kosteuden- ja olosuhdehallinnan kustannuksia puu- ja betonirakenteiden välillä.

Taulukko 23. Kosteuden- ja olosuhdehallinnan kustannusvertailu

<b>Rakenne</b>	<b>Kustannukset</b>
Puurakenteet	557 000,00 €
Betonirakenteet	18 500,00 €
<b>Erotus</b>	<b>538 500,00 €</b>

Puu- ja betonirakenteiden kosteuden- ja olosuhdehallinnan kustannusten ero koostuu pitkälti lämpimän ja lumettoman talven olosuhteista. Todellisuudessa tavanomaisessa betonirakentamisen kohteessa, jossa välipohjana olisi ontelolaatat, kustannuksia olisi huomattavasti enemmän, mikäli talven tuomat olosuhteet olisivat tavanomaiset. Kuitenkin vähemmän kuin vertailun mukaisessa puurakentamisen kohteessa, sillä massiivinen sääsuoja on iso kustannus.

<sup>68</sup> Siikanen. Unto. 2016. Puurakentaminen. Rakennustieto Oy s.164

### *Aikataulu ja työmenekit*

Vaikka kustannukset puurakenteissa ovat suuret voidaan massiivipuulementtirakentamisessa säästää hieman aikaa. Puu on itsessään valmis rakennusmateriaali eikä vaadi kuivumisaikaa toisin kuin betonirakenteet. Betonielementit tulevat itsessään valmiina työmaalle eivätkä vaadi kuivatusta, mutta paikallavaletut betonirakenteet ja saumavalut sen sijaan ottavat aikaa lujudenkehitykseen, sekä kuivumiseen. Taulukossa 24. on esitetty rakennemateriaali kosteuden- ja olosuhdehallinnan työmenekit.

Taulukko 24. Kosteus- ja olosuhdehallinnan työmenekit

<b>Rakenne</b>	<b>Kesto viikkoina</b>
Puurakenteet	14,00
Betonirakenteet	18,00
<b>Erotus</b>	<b>4,00</b>

Betonirakenteiden aikataulumenekit ovat selkeästi hieman suuremmat kuin puurakenteilla kuivumisaikojen takia. Myös esimerkiksi teräbetoniholvin kuivumisajan täytyy holvia tukea alapuolisilla tuilla, joka siirtää seuraavien työvaiheiden aloitusta holvin alapuolella, ja näin ollen kasvattaa aikataulun pituutta hieman.

### 6.6 Akustiikan vertailu

Betoni- ja puurakenteilla akustiset ominaisuudet ovat melko erilaisia. Puun akustiset ominaisuudet ovat heikkoja verrattuna kiviaineisten materiaalien kuten betonin ominaisuuksiin. Akustiikka tulee useimmiten suunnitteluvaiheessa ensimmäisenä vastaan ja näin ollen monet rakenneratkaisut toteutetaan akustisia vaatimuksia noudattaen. Kustannuksien osalta esimerkiksi seinärakenteen kantavat CLT-elementtiseinät kantavat myös ohuempana rakenteena tarvittavat kuormat kuten nykyinen 200mm paksu elementti. Myös palovaatimukset olisivat täyttyneet ohuemmalla seinärakenteella, jolloin voidaan akustisten ominaisuuksien oleva mitoittava tekijä esimerkiksi seinärakenteen paksuutta mitoittaessa. Betonirakenteilla päästään huomattavasti ohuemmilla rakenteilla vaadittui-



hin akustisiin vaatimuksiin niin ääneneristävyyden kuin värähtelyn kannalta, jolloin akustiikka harvemmin toimii mitoittavana tekijänä rakenteille. Taulukossa 25 on esitetty rakennemateriaalien kustannuksia puu- ja betonirakenteiden välille.<sup>69</sup>

Taulukko 25. Akustisten rakenneratkaisujen kustannusvertailu

Rakenne	Kustannukset
Puurakenteet	60 000,00 €
Betonirakenteet	- €
<b>Erotus</b>	<b>60 000,00 €</b>

Akustiikkaa voidaan hallita eri tavoin. Usein esimerkiksi koulurakennuksissa musiikki- luokkien ääneneristys tulee olla huomattavasti parempi kuin muualla luokkatiloissa. Akustiikkaa voidaan parantaa esimerkiksi akustiikkalevyillä tai huone-huoneessa rakenteella, jossa seinän sisäpintaan tehdään vielä lisäeristys ja verhoilu. Näitä akustiikkaan liittyviä toimenpiteitä ei kuitenkaan oteta tässä kustannusvertailussa huomioon, sillä ne toteutettaisiin käytännön kannalta ja suhteellisesti samalla tapaa.

#### *Aikataulu ja työmenekit*

Projektinjohtourakoitsijan näkökulmasta ei tämän insinööriyön vertailukohteessa tule akustiikasta lisää työmenekkejä kummankaan rakennusmateriaalin osalta. Käytännössä rakenteen paksuuteen liittyvät toimenpiteet tapahtuvat tehtaalla, ja näin ollen aikataulu- vaikutus akustisista syistä on lähes olematon.

## 6.7 Vertailun yhteenveto

#### *Kokonaiskustannusten vertailu*

Kokonaiskustannukset puu- ja betonirakenteille on esitetty taulukossa 26. Voidaan huomata, että betonirakenteiden kustannukset ovat huomattavasti alhaisempia verrattuna puurakenteiden kustannuksiin. Syitä tälle ovat esimerkiksi sääsuojasta aiheutuvat suuret kustannukset, sekä CLT-elementtien matala jalostusaste.

<sup>69</sup> Manninen, Janne. 2020. Wood expert Oy, Helsinki. Haastattelu 16.3.2020

Taulukko 26. Kokonaiskustannusvertailu

Rakenneosa	Puurakenteet €	Betonirakenteet €
Seinärakenne	680 000,00 €	617 000,00 €
Välipohjarakenne	315 000,00 €	204 000,00 €
Palotekniikka	30 500,00 €	- €
Kosteus- ja olosuhdehallinta	557 000,00 €	18 500,00 €
Akustiikka	60 000,00 €	- €
<b>Yhteensä</b>	<b>1 582 500,00 €</b>	<b>839 500,00 €</b>

Akustiikasta aiheutuvia kustannuksia ei ole otettu huomioon yhteiskustannuksissa, sillä summa on teoreettinen akustiikkavaatimuksista johtuvan CLT-elementtien paksuuden kasvattamiseen. Akustiikan kustannukset ovat mukana jo seinärakenteen kustannuksissa itsessään.

#### *Kokonaistyömenekien vertailu*

Kokonaistyömenekit puu- ja betonirakenteille on esitetty taulukossa 27. Puurakenteiden kokonaistyömenekit ovat huomattavasti betonirakenteita suurempia. Tämä johtuu suurelta osin myöskin seinäelementtien jalostusasteesta. Kun jokainen rakenneosa joudutaan asentamaan erikseen, työmenekki kasvaa huomattavasti. Myös betonirakenteiden työmenekkeissä tulee huomioida rakenteiden kuivumis- ja jälkituenta-aika.

Taulukko 27. Kokonaistyömenekivertailu

Rakenneosa	Puurakenteet / vkoa	Betonirakenteet / vkoa
Seinärakenne	61,00	22,00
Välipohjarakenne	19,00	28,00
Palotekniikka	6,00	0,00
Kosteus- ja olosuhdehallinta	14,00	18,00
Akustiikka	0,00	0,00
<b>Yhteensä</b>	<b>100,00</b>	<b>68,00</b>

Kokonaistyömenekkeistä voidaan työryhmän koolla ja työvaiheiden limityksellä vaikuttaa aikatauluun huomattavasti.

## 7 Johtopäätökset

Vaikka tämän insinööriyön vertailukohtina olivat ainoastaan seinärakenteet ja välipohjarakenteet, sekä niihin liittyvät palotekniikka, kosteuden- ja olosuhteiden hallinta, ja akustiikka, antaa tämän insinööriyön tulokset todellista suuntaa kohteen kustannuksille ja työmenekkeille eri materiaalien välillä.

Iso osa kustannusvaikutuksista koostuu työvaiheiden ja erillisten materiaalin määrästä, jotka luonnollisesti vaikuttavat rakennuskustannuksiin ja työmenekkeihin. Kustannuksien osalta on haastavaa löytää juuri ne positiot ja todelliset kustannukset jotka ovat vertailukelpoisia. Myös monet toimittajat tarjoavat usein kokonaishintaurakkana, jolloin tietyn rakenneosan kustannuksia on vaikea irrottaa kokonaisuudesta. Haastattelujen avulla kuitenkin monien rakenneosien kustannukset saatiin selvitettyä suunnitelman mukaisesti.

Aikataulujen laskennassa on työmenekit koostettu rakenneosan määrästä kerrottuna työntekijätunneilla. Käytännössä työmenekit ovat ilmoitettu niin, että kauanko yhdeltä työmieheltä kestää tietyn rakenneosan asennus. Todellista aikataulua ei tämän insinööriyön pohjalta siis voida kuitenkaan toteuttaa. Saadut työmenekit voivat kuitenkin antaa erinomaisen kuvan siitä, millainen työmaan vahvuus tulisi olemaan ja sitä kautta peilata työmäärää kustannuksien koostumiseen. Myöskään työvaiheiden limitystä ei tässä insinööriyössä otettu huomioon, jolloin todellisuudessa aikataulu voi supistua. Puuelementtirakenteilla toteutus voi olla huomattavasti nopeampaa verrattuna betonirakenteisiin. Suurin hyöty puurakentamisessa saadaan työvaiheiden limittämällä, sillä erillisiä jälkityöntö- tai kuivumisaikoja ei tarvita.

Kompastuskivinä tämän insinööriyön vertailun kannalta on suunnittelu. Suunnittelukustannuksia ei tässä insinööriyössä ole huomioitu, vaikka puurakenteissa ja betonirakenteissa niiden eroavaisuus on varmasti huomattava. Puurakentamisen ollessa hyvin uutta, ei vakioituja normeja rakentamiselle ole, jolloin suunnitteluun käytetään enemmän aikaa ja näin ollen se luo myös kustannuksia. Myös puuelementtiteollisuuden tuotannon ja rakenneratkaisujen kuten liitostekniikan ollessa vielä lasten kengissä verrattuna betonielementtiteollisuuteen, ei suunnitteluratkaisuja osata ottaa huomioon puuelementtiteollisuuden kanssa yhteistyössä. Myös suunnittelijoiden epä tietoisuus olemassa olevista

vaihtoehtoista on puutteellista, jolloin mahdolliset kustannus- tai aikataulutehokkaat ratkaisut jäävät käyttämättä. Puu- ja puuelementtiteollisuuden tuotannon kehittyessä ja puuelementtien käytön yleistyessä samalle tasolle betoni- ja betonielementtiteollisuuden kanssa voidaan todellinen vertailu rakenneosien kustannuksista, aikatauluista ja toteutuksesta tehdä. Tulevaisuudessa puurakentamisesta saadaan myös varmasti suurta kilpailua betonirakentamisen rinnalle.

## 8 Yhteenveto

Insinööriyössä tutkittiin puurakenteiden ja betonirakenteiden kustannusten ja aikataulutuksen eroja. Työssä keskityttiin tutkimaan ulkoseinärakenteen ja välipohjan kustannuksia ja työmenekkejä CLT-elementtirakenteiden ja betoni-/ betonielementtirakenteiden välillä. Myös näihin liittyviä palotekniikan, kosteuden ja olosuhdehallinnan ja akustiikan työvaihteita ja toimenpiteitä, sekä niiden vaikutusta kustannuksiin ja aikatauluihin tutkittiin. Työ toteutettiin yrityksen halusta saada tietoa toteutuneista kustannuksista rakennusmateriaalivaihtoehtojen välillä. Työn vertailukohteena toimi SVK Uudisrakennuksen työmaa. Tietoa haettiin muun muassa internet- ja kirjallisuuslähteistä, yrityksen asiakirjoista ja urakkatarjouksista, sekä SVK Uudisrakennuksen projektihenkilöstöä haastatteleamalla.

Puelementtirakentaminen on betonielementtirakentamista huomattavasti jäljessä esimerkiksi tuotannon tehokkuudessa ja erilaisten elementtien jalostuksessa. Insinööripuuotteet kuten CLT-elementit ja niiden rakennejärjestelmät ovat uusia verrattuna jo vakiintuneisiin betonielementtijärjestelmiin. Insinööriyön vertailussa betonirakenteiden kustannukset tulivat huomattavasti edullisemmaksi verrattuna puurakenteiden kustannuksiin. Isolta osaltaan tähän vaikuttaa puelementtirakenteiden jalostusaste kohteessa, jolloin materiaalien, työvaiheiden ja sitä kautta kustannusten määrä nousee. Myös rakennusaineiden materiaaliominaisuudet vaikuttavat työn toteutukseen siltä osin, että puurakentamisessa sääsuojaa on iso osa rakentamisen kokonaiskustannuksia. Ilman sääsuojaa tai kustannustehokkaammalla ratkaisulla ja pidemmälle jalostetuilla elementtiratkaisuilla kustannukset olisivat lähempänä betonirakenteiden tasoa.

Aikataulutuksen kannalta rakenteiden työmenekissä puurakenteiden toteutuksen työmenekit olivat myös huomattavasti suurempia. Syynä työmenekkien eroille on myöskin elementtien jalostusaste. Seinärakenteessa CLT-elementit asennetaan yksinään, ja jokainen rakennekerros asennetaan erikseen. Betonielementeissä rakennekerrokset ovat jo valmiina elementissä työmaalle toimitettaessa. Betonin kosteus- ja olosuhdehallinnan kannalta työmenekit ovat suurempia lujudenkehityksen ja kuivumisen kannalta. Myös pidemmät jälkituenta-ajat viivästyttävät aikataulua seuraavien työvaiheiden aloituksen siirtyessä myöhempään. Kuitenkaan työvaiheiden limitystä ei ole huomioitu ja työryhmää kasvattamalla voidaan aikataulu jakaa työryhmän koon mukaisesti.

Lopputuloksena koottiin kustannusvertailu rakennusmateriaalien välille. Puuelementeistä koostetut rakenteet ovat työn tuloksissa kustannuksiltaan kalliimpia kuin betonirakenteet. Myös työmenekkien kannalta puuelementteihin liittyvä työvaiheita on enemmän ja sitä kautta myös työmenekit ovat suurempia kuin betonirakenteilla. Tulokset ovat teoreettisia ja niitä voidaan soveltaa ainoastaan tämän insinööriyön kohteessa, mutta kuitenkin hyvin suuntaa antavia tämän hetken tilanteesta puuelementtirakentamisen ja betonirakentamisen välillä.

## Lähteet

### Haastattelut

Harju, Heikki. 2020. Hallituksen jäsen, Clt-Plant Oy, Kauhajoki. Haastattelu 15.2.2020

Kiviranta, Henri. 2020. Projekti-insinööri, SRV Rakennus Oy. Helsinki. Haastattelu 11.2.2020

Konttila, Mauri. 2020. Lehtori, Metropolia Ammattikorkeakoulu. Haastattelu 27.3.2020

Manninen, Janne. 2020. Wood expert Oy, Helsinki. Haastattelu 16.3.2020

Työnjohtaja. 2020. SRV Rakennus Oy, Helsinki. Haastattelu 19.3.2020

Virtanen, Tuomo. 2020. Projektipäällikkö, A-insinöörit Suunnittelu Oy. Helsinki. Haastattelu 28.2.2020

### Kirjallisuuslähteet

Paloturvallisuussuunnitelma SVK 2019. Kauriala. Markku. Palotekninen insinööritöimistö Markku Kauriala Oy

Akustiikkaselostus SVK. 2020. A-Insinöörit Suunnittelu Oy.

Koskenvesa, Sahlstedt. 2020. Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. Rakennustieto Oy.

Lausunto palosuojatuotteista SVK. 2019. Kauriala. Markku. Palotekninen Insinööritöimistö Markku Kauriala Oy

Siikanen. Unto. 2016. Puurakentaminen. Rakennustieto Oy

SRV Rakennus Oy. 2019. Urakkatarjoukset ja rekisterit

Wind, Kivimäki, Koistinen, ym. 2019. Rakennustöiden menekit 2020. Rakennustieto Oy

Verkkolähteet

Betonin ominaisuudet ja käyttö.2020. Betoniteollisuus ry. Verkkoaineisto <[www.betoni.com](http://www.betoni.com)>

CLT bt Stora Enso. 2018. Verkkodokumentti <[www.clt.info.fi](http://www.clt.info.fi)>

CLT. 2020. Celt Oy. Verkkoaineisto <[www.celt.fi](http://www.celt.fi)>

Crosslam levyn käyttökohteet. 2019. Oy CrossLam Kuhmo Ltd. Verkkoaineisto <[www.crosslam.fi](http://www.crosslam.fi)>

Elementtirakentamisen historia. 2020. Betonireollisuus Ry. Verkkoaineisto <[www.elementtisuunnittelu.fi](http://www.elementtisuunnittelu.fi)>

Green technology behind high rise wood-based buildings. 3/2019. Verkkouutinen <[www.mynewsdesk.com](http://www.mynewsdesk.com)>

Infrarakentaminen. 2020. Betonireollisuus Ry. Verkkoaineisto <[www.elementtisuunnittelu.fi](http://www.elementtisuunnittelu.fi)>

Karjalainen. Markku. 2020. Tampere.Puurakentamisen asema ja mahdollisuudet Suomessa. 1/2020. Päivitetty 3/2020. Verkkoaineisto <[www.puuinfo.fi](http://www.puuinfo.fi)>

Kuivaketju 10. 2020. Rakentamisen laatu RALA ry. Verkkoaineisto <[www.kuivaketju10.fi](http://www.kuivaketju10.fi)>

Monikerroslevy (CLT). 2019. Verkkoaineisto <[www.puuinfo.fi](http://www.puuinfo.fi)>

Oy CrossLamn Kuhmo Ltd. 2019. Oy CrossLam Kuhmo Ltd verkkoaineisto <[www.crosslam.fi](http://www.crosslam.fi)>

Paloturvallisuus & palovahingot. 2020. Betoniteollisuus ry. <[www.betoni.com](http://www.betoni.com)>

Parmarappaus esite. Verkkodokumentti <[www.parma.fi](http://www.parma.fi)>

Parmarappaus, detaljisarja. 9/2018. Verkkodokumentti <[parma.fi](http://parma.fi)>

Puurakentamisen ohjelma. 7/2020. Verkkoaineisto <[www.ym.fi](http://www.ym.fi)>

Puurakentamisen taloudellinen kestävyys. 2020. Verkkoaineisto <[www.puuinfo.fi](http://www.puuinfo.fi)>

Pääministeri Rinteen hallitusohjelma. 2019. Verkkodokumentti <[www.valtioneuvosto.fi](http://www.valtioneuvosto.fi)>



Rakennuskustannusindeksi. 1/2020. Tilastokeskus. Verkkoaineisto <[www.stat.fi](http://www.stat.fi)>

Rakennuslehti nro 7. 21.2.2020

Rakentaminen 2019-2020, syyskuu 2019. 2019. Valtiovarainministeriön julkaisu. Verkkodokumentti <[ym.fi](http://ym.fi)>.

Rakentamisen ratkaisut, CLT-elementit. 2020. Verkkoaineisto <[www.puumerkki.fi](http://www.puumerkki.fi)>

Talonrakentaminen. 2020. Betoniteollisuus ry. Verkkoaineisto <[www.elementtisuunnittelu.fi](http://www.elementtisuunnittelu.fi)>

Tekninen kansio. 4/2012. Verkkoaineisto <[www.clt.info.fi](http://www.clt.info.fi)>

Teollinen valmisosarakentaminen. 2020. Betoniteollisuus Ry. Verkkoaineisto <[www.elementtisuunnittelu.fi](http://www.elementtisuunnittelu.fi)>

Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Asetus rakennusten paloturvallisuudesta, perustelumuistio 2017. Verkkodokumentti <[www.ym.fi](http://www.ym.fi)>

Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Asetus rakennusten paloturvallisuudesta, 848/2017. Verkkodokumentti <[www.ym.fi](http://www.ym.fi)>

Ympäristöministeriön. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017. Verkkodokumentti <[www.ym.fi](http://www.ym.fi)>