



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

MASSIIVIPUINEN CLT-ELEMENTTI PIENTALOTUOTANNOSSA

CLT-ELEMENTIN KÄYTTÖ TUOTANNON
NÄKÖKULMASTA

TEKIJÄ: Hannu Tuhkanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Hannu Tuhkanen	
Työn nimi Massiivipuinen CLT-elementti pientalotuotannossa	
Päiväys	15.5.2018
Sivumäärä/Liitteet	34 + 16
Ohjaajat Hannu Haaranen, lehtori, Teppo Houtsonen pt. tuntiopettaja	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-AMK	
Tiivistelmä	
<p>Vuoden 2018 alusta astui voimaan Suomen rakentamismääräyskokoelman uudistus massiivipuukurakenteen energiatehokkuudesta. Tässä opinnäytetyössä oli tavoitteena selvittää, miten tämä vaatimus vaikuttaa tuotantoon. Massiivipuun rinnastetaan uusitusasetuksessa hirsirakenteeseen, joka mahdollistaa pientalon ulkoseinien rakentamisen massiivipuulementeistä ilman lisälämmöneristystä. Tämä tarkoittaa siis huomattavaa huojennusta aiempaan.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin massiivipuun CLT-elementin käyttämistä pientalon rakennusmateriaalina. Tutkimus tehtiin tuotannon näkökulmasta, siinä perehdyttiin pientalon ulkoseinien ja alapohjan rakentamiseen CLT-levyistä ilman lisälämmöneristystä. Lisäksi perehdyttiin eristämättömyyden luomiin mahdollisuuksiin rakentamisen laadussa, kuivana rakentamisessa ja kustannuksissa.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin suunniteltua esimerkkitalo, jonka ulkoseinät ja alapohja on valmistettu CLT-massiivipuulementeistä. Märkätilojen osalta tutkittiin ennalta valettavan betonisen alapohjalaatan käyttömahdollisuuksia ja hyötyjä. Esimerkkitalosta tehtiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla laskelmat työ- ja materiaalikustannuksista sekä aikataulusta. Laskennassa apuna käytettiin RATU-kortistoa, eri valmistajien oppaita sekä netistä saatua materiaalia. Tutkimustuloksena tuotettiin tuotantotietoa, jota voidaan hyödyntää suunnittelussa, aikataulussa sekä rakentamisen eri vaiheissa.</p>	
Avainsanat CLT-pientalo, CLT-seinäelementti	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Hannu Tuhkanen			
Title of Thesis Solid Wood CTL Elements in Low-Rise Building Production			
Date	15 May 2018	Pages/Appendices	34 + 16
Supervisor(s) Mr. Hannu Haaranen, Senior Lecturer and Mr. Teppo Houtsonen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>At the beginning of 2018, an amendment of Finnish Building Regulations concerning the energy efficiency of solid wood, came into effect. This final project aimed at determining how this requirement affects production. In the new regulations, solid wood is paralleled to a log structure, which enables the construction of the exterior walls of a low-rise building of solid wood elements without additional thermal insulation. This leads to a considerable reduction in costs.</p> <p>In this project the use of solid wood CLT elements as construction material in a low-rise building was studied. The study was conducted from the perspective of production and included familiarization with the construction of the exterior walls and base floor from CLT panels without additional thermal insulation. The study also included examination of the opportunities brought by the elimination of insulation to the quality of construction, dry construction and costs.</p> <p>As a result of this study, a model house with exterior walls and base floor made of CLT solid wood elements was designed. Possibilities for using pre-moulded base floor tiles in wet rooms as well as related benefits were studied. Excel spreadsheet software was used to calculate labour and material costs as well as to plan timetables for the model house. The RATU (building production) card catalogue, guidebooks published by various manufacturers as well as online sources were used for to facilitate calculations. This study provided information about production, which can be utilized in the planning process, timetables and different stages of construction.</p>			
Keywords CLT low rise building, CLT wall element			

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	5
2	MASSIIVIPUINEN CLT-ELEMENTTI	6
2.1	Materiaali esittely.....	6
2.2	Mittoja ja mitoitusta.....	7
2.3	Kuljetus.....	8
3	ESIMERKKIRAKENNUS	9
3.1	Esimerkkitalo	9
3.2	Asetukset jotka ohjaavat lämmöneristystä ja energian kulutusta	11
3.3	Rakennusosat	12
3.3.1	Alapohja.....	12
3.3.2	Runko	16
3.3.3	Katto.....	17
3.4	Esimerkkitalon elementit	19
4	KUIVAKETJU	22
4.1	Rakentamisen aikainen kosteudenhallinta.....	22
4.2	Työmaatekniikka	26
4.2.1	Nostot	26
4.2.2	Liitokset.....	27
4.2.3	CLT-massiivipuelementtien asennus	28
5	ESIMERKKITALON KUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN	29
5.1	Materiaalihinta	29
5.2	Työmaatekniikan vaikutus hintaan	30
5.3	Rakennusosien hinnoittelu	30
6	YHTEENVETO	32
6.1	Ratkaisut joihin päädytty	32
6.2	Talous näkökulmat	33
7	POHDINTA.....	34
	LÄHTEET	35
	LIITTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	38

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on tutkia tuotannon näkökulmasta CLT-runkoisen esimerkki pientalon rakentamisen vaiheita 1.1.2018 jälkeen, jolloin astui voimaan Suomen rakentamismääräyskokoelmien uudistus. Massiivipuinen CLT-ulkoseinä sai samat huojennukset, jotka koskivat aiemmin hirsirakenteita. Mielenkiinto aiheen tutkimiseen kasvoi opinnäytetyön asteelle, kun kävi ilmi, että ilman lisälämmöneristettä valmistettujen CLT-massiivipuelementtien käytöstä rakentamisessa ei ole juurikaan suomalaisiin rakentamisen asetuksiin perustuvaa kirjallisuutta saatavilla. Tutkimuksesta saadaan tietoa suunnittelun avuksi pystytysnopeudesta ja sen vaikutuksesta kustannuksiin sekä rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan.

CLT-massiivirakenteen rakennusfysikaalisesta käyttäytymisestä suunnittelemassani esimerkkitalossa on tehnyt opinnäytetyön insinööriopiskelija Teemu Niskanen, (CLT-rakenteiden kehittäminen pientalotuotannossa). Rakentamisen aikaisia, rakenteiden kuivumisesta johtuvia viivytyksiä nopeuttamaan on työhön suunniteltu myös etukäteen valettava betoninen märkätilojen alapohjalaatta, joka valetaan työmaalla anturoiden valamisen yhteydessä. Myös betonisen alapohjalaatan kuivumista ja kosteuskäyttäytymistä käsitellään Niskasén opinnäytetyössä.

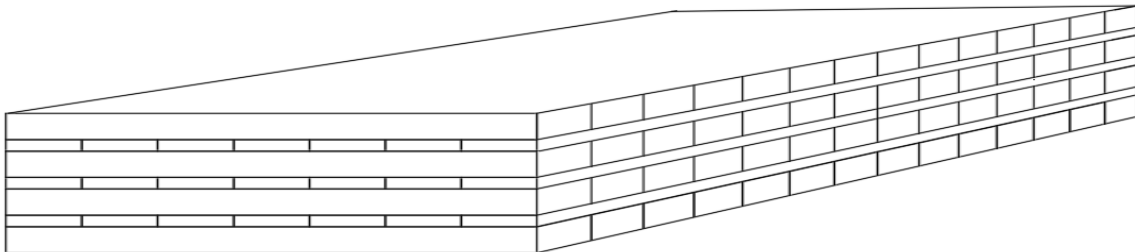
Laskelmissa on vertailtu CLT-massiivipuelementti toimituksen kustannuksia, kappaletavarasta valmistettujen rakenneosien kustannuksiin. Kappaletavaraseinién toteutus laskennassa on tehty valmiusasteella, jolla ne vastaavat CLT-elementtitoimitusta. Työssä on tutkimuskohteenä myös kuiva rakentaminen, johon tähdättiin ilman lattian korokevalua tehtävällä lattialämmityksellä, ennalta valetulla märkätilojen laatalla ja maassa tehdyllä nostokatolla joka nopeuttaa rakennuksen säältä suojaan valmistumista. Lisäeristeettömällä CLT-massiivipuelementti toimituksella ja alhaalla tehdyllä valmiskatolla pyritään myös vähentämään rakentamisen aikaista materiaalien suojaamisen tarvetta.

2 MASSIIVIPUINEN CLT-ELEMENTTI

2.1 Materiaali esittely

Monikerroslevy (CLT= cross Laminated Timber)

Monikerroslevy, CLT on valmistettu liimaamalla 20 mm - 60 mm paksuja lautoja tai rimoja puulevykerroksiksi. Tuotteessa käytettävä puu on kuusta tai mäntyä ja se on C24 lujuusluokan sahatavaraa. Levyistä koostuvia kerroksia on liimattu ristikkäin toisiinsa nähden, kunnes haluttu levyn vahvuus on saavutettu.



Kuva 1. Massiivipuulevy (Tuhkanen 2018)

Monikerroslevystä valmistetaan massiivipuelementti, jota käytetään rakennusten seinissä sekä ylä- ja välipohjissa. Levy toimii myös ulko- ja sisäverhouslevynä, mutta pääasiallisia käyttökohteita ovat rakennusten runkojen kantavat osat. Vakio toimituksessa olevia pintalaaduja ovat mänty ja kuusi mutta erikoistilauksesta on saatavilla esimerkiksi lehtikuusta, saksanpihlajaa ja seeprämäntyä. Erikoistilatut pintalaadut tehdään 20 mm:n lisäkerroksella, jolloin elementin runko on edelleen kuusta tai mäntyä. (Clt.info.fi.)

Työstöt levyihin tehdään tehtaalla CNC-koneilla, jolloin aukkojen ja varausten tekeminen on erittäin mittatarkkaa ja helppoa. Yleensä pintakerroksen puu on valikoitua, eli se voidaan jättää verhoilematta. Tarkoittaa siis, että CLT-massiivipuelementeistä rakennettaessa näkyviin jäävä pinta hiotaan ja käsitellään niin että puunsyyt jäävät pinnoitteen alta näkyviin.

(Hoisko 2017, Storaenso 2017, Crosslam 2017.)

2.2 Mittoja ja mitoitusta

Suomalaisten toimittajien kautta tilattavissa olevien CLT-levyjen dimensioissa on hienoisia eroja, jotka kannattaa selvittää ennen rakennussuunnittelua tai viimeistään elementtisuunnittelua aloitettaessa. Vaihteluvälinä mitoituksessa voitaneen pitää, että levyissä on eripaksuisia liimattuja kerroksia 3 - 10 kpl ja toimitettavat levyt ovat ohuimmillaan 60 mm, maksimi paksuuden ollessa 400 mm. Massiivipuulementeissä saatavilla oleva korkeus vaihtelee välillä 2 950 mm - 3 500 mm ja leveys välillä 12 000 mm - 16 000 mm.

Levyjä mitoittaessa on hyvä huomioida, että niitä voidaan tarvittaessa kääntää, joka mahdollistaa useamman kerroksen korkuiset elementit. Levyjä käännettäessä, elementin pituus jää valitettavan pieneksi ja saumojen detaljikkaan vaatii erikoishuomiota. Elementtisuunnittelu on siis kompromisseja rakenteiden, tehtaan toimitus dimensioiden ja kuljetus kapasiteetin välillä. (Hoisko 2017, Storaenso 2017, Crosslam 2017.)

CLT-levyn keskeisiä rakenteellisia ominaisuuksia ovat (puuinfo.fi)

- Lujuusluokka	C24 (rakenteellisen mitoituksen laskenta-arvo)
- kosteuspitoisuus	12 % +/- 2 %
- Liimatyyppe	Formaldehydivapaa PUR liima
- Paino	5,0 kN/m ³
- Paloluokka	D-s2, d0
- Palonkesto	Hiiltymisnopeus 0,65 mm/min
- Kosteuden läpäisevyys	20...50
- Lämmönjohtavuus (lamda)	0,11 W/(mk).
- Lämpökapasiteetti	1600 J/(kgK).
- Ilmatiiveys	Täysin tiivis

CLT-massiivipuuelementin ulomman lamellikerroksen rimojen reunat voidaan jättää liimamatta, jolloin se pääsee elämään lamellien saumoista. Työmaakäynnin perusteella tällä näyttäisi olevan positiivinen vaikutus rimojen halkeilun ehkäisijänä. Havainnekuvassa sisäpintaa normaali asuinolosuhteita kuivemmassa tilassa.



Kuva 2. CLT-elementin sisäpinta (Tuhkanen 2018)

2.3 Kuljetus

Stora Enson Itävallan tehtaalta esimerkkitaloon elementtejä tilattaessa kuljetuskustannuksiin vaikuttavat merkittävästi elementtien mitat. Yli 2450 mm korkea ja max.13000 mm pitkän elementti kuorman hinta on noin 3700 €, jos elementin korkeus nousee yli 2450 mm hinta on 5500 €/kuorma. Maksimi kuormakoko on 55 m³ / kuorma, käydyn sähköpostikeskustelun mukaan (CLT-elementin käyttö esimerkkikohteessa, 2018-15-02 – 2018-25-02).

Kuljetusten osuus toimituksessa voi siis nousta suureksi, mikäli elementtien määrä on suuri. Esimerkkitalossa kalliimman kuljetustavan kuormia joudutaan tilaamaan 2 kpl, joten kuljetuskustannukset ovat n. 11 000 €. Suunnittelua voisi siis ohjata tarkastelemaan esim. muita lattiovaihtoehtoja jolloin kuormia tulisi vain yksi. Mikäli alkuperäisissä suunnitelmissa halutaan pysyä, jouduttaneen tiedustelemaan lähempänä olevien tehtaiden toimitusmahdollisuuksia.

3 ESIMERKKIRAKENNUS

3.1 Esimerkkitalo

Opinnäytetyössä tavoitteena oli tutkia CLT-elementin käyttöä pientalossa. Laskelmia tukemaan suunniteltiin pientalo joka sisältää kaksi makuuhuonetta, tupakeittiön, erilliset takka-huone ja saunatilat sekä autokatos varaston. Esimerkkitalo on suunniteltu tavanomaista perustaloa kulmikkaammaksi, jotta vertailu eri rakentamisen vaiheissa olisi selkeämpää. Esimerkiksi suorakaiteenmuotoisen pientalon seinäelementtien pystytykseen varataan yleensä yksi työvuoro. Esimerkkitalossa pystytykseen käytettävä aika on kaksinkertainen johtuen CLT-elementtien suuresta määrästä ja talon L-mallisesta pohjaratkaisusta.

Suunnittelu on aloitettu pohjakuvasta, jonka jälkeen siirryttiin kuvassa 3 olevaan julkisivuun, tuotannon näkökulma huomioiden. Julkisivussa tuotantotapojen mukainen ajattelu johti siihen, että kattoja porrastettiin asennuksen aikaisten kosteusvaurioiden välttämiseksi. Suunnitelmien valmistuttua Teemu Niskanen on tutkinut rakenteita ja niiden kosteuskäyttäytymistä omassa opinnäytetyössään. Niskasen Savonia-ammattikorkeakoulussa 2018 tekemästä rakennustekniikan opinnäytetyössä, CLT-rakenteiden kehittäminen pientalotuotannossa, on siis saatu tukea suunnitteluratkaisuille.



Kuva 3. Julkisivu itään (Tuhkanen 2018)

Tutkimustarkoitukseen suunnitellussa pientalossa kerrosala on 134 m². Talossa huonekorkeudet ovat lisäsiivessä 2500 mm, saunassa 2200 mm, muissa oleskelutiloissa 2650 mm.

Pohjakuvassa 4 näkyvät kylmien tilojen seinät sekä lattiat ovat myös suunnitellut toteutettaviksi CLT-levyllä, mutta laskelmissa on esitetty myös rankaseinä ja maanvarainen laattaperustus. Esimerkkitalon suunnittelussa on haluttu huomioida elinkaari ajattelua suunnittelemalla rakennukseen lisäsiipi. Lisäsiivessä sijaitsevat takkahuone ja saunatilat, joiden erillisestä sijainnista on ajateltu olevan hyötyä rakennuksen elinkaaren aikana. Pientalon lämmitetty netto pinta-ala on 118 m², josta lisäsiiven osuus on noin 25 %. Lämpimänä kautena siipiosassa sijaitsevan saunan käytöstä johtuva oleskelutilojen viilennyksen tarve pienenee. Tilantarpeen muuttuessa lisäsiipeä voidaan käyttää esimerkiksi makuuhuoneena, toimistona tai matalamman lämmön tilana, jolloin käyttötarve olisi satunnaista.



Kuva 4. Esimerkkirakennuksen pohjakuva (Tuhkanen 2018)

Esimerkkitalossa ulkovaipan rakenteena on käytetty seinissä 260 mm paksua CLT-massiivipuelementtiä. Rossipohja lattiassa on 140 mm CLT /180 mm mineraalivillaa, sekä kosteissa tiloissa 120 mm betoni / 200 mm eps. Yläpohjan rakenteena toimii naulalevy ristikot jossa eristeenä 600 mm mineraalivillaa.

Kevyet väliseinät toteutetaan rankaseininä, joissa pyritään kuljettamaan mahdollisimman paljon talotekniikkaa. Väliseinät ovat kipsikartonkilevyseiniä joissa runkotolppina toimii 39 mm x 66 mm kertopuu. Kalusteseinillä pystyrankojen jako on k 300, ja vapailta seinillä k 600. Tiheämpi rankajako tukevoittaa seinää, eikä kalusteille tarvita vaakakoolausta. Mikäli talotekniikan kuljetus vaatii enemmän tilaa, käytetään väliseinän rankana 39 mm x 92 mm kertopuuta. Märkätilojen väliseinät toteutetaan harkkoseininä, jotka tasoitetaan ja kosteuseristetään.

3.2 Asetukset jotka ohjaavat lämmöneristystä ja energian kulutusta

Vuoden 2018 alusta muuttuneen ympäristöministeriön rakentamismääräyskokoelman johdosta, voidaan CLT- massiivirakenne rinnastaa energiatehokkuuslaskelmissa hirsi rakentamiseen. Massiivipuuseinän paksuuden ollessa 180 mm tai enemmän, rakennusosakohtaisena lämmönläpäisykertoimen vertailuarvona käytetään arvoa $U \leq 0,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (ym.fi. 2018, Tasauskalkentaopas).

Esimerkkitalon suunnitelmien energiamääräysten mukaisuus on varmistettu ympäristöministeriön ohjeiden mukaisella tasauskalkennalla. Laskelmalla osoitetaan täyttääkö rakennus lämpöhäviölle asetetut vaatimukset. Osatekijöiden, joita ovat vaippa, vuotoilma ja ilmanvaihto yhteenlaskettua lämpöhäviön vertailuratkaisua verrataan vastaavaan suunnitteluratkaisun lämpöhäviöön ja se ei saa olla vertailuratkaisua suurempi. Mikäli laskelmissa yhden osatekijän lämpöhäviö on suurempikuin vertailulämpöhäviö, se edellyttää vastaavan suuruista lämpöhäviön pienentämistä toisessa osatekijässä.

Tasauskohteet lämpöhäviötä laskettaessa tarkastelukohteina ovat (ym.fi. 2018, Tasauskalkentaopas).

- ikkunapinta-ala
- ilmanvuotoluku ja vuotoilmavirta
- ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde
- rakennusosien lämmönläpäisykertoimet (U-arvot).

Esimerkkitalon ulkovaipan lämmönläpäisykertoimen suunnittelu- ja vertailuarvoja (ym.fi. 2018, Tasauslaskentaopas).

- ulkoseinä 0,395 W/m²K (0,40 W/m²K)
CLT-massiivipuuseinä, vahvuus 260 mm
- yläpohja 0,08 W/m²K (0,09 W/m²K)
yläpohjassa puhallusvillaa 600 mm
- alapohja (maanvastainen) 0,14 W/m²K (0,16 W/m²K)
90 mm betonilaatta + 200 mm EPS lattia
- alapohja (ryömintätillallinen) 0,15 W/m²K (0,17 W/m²K)
CLT-elementti 140 mm + PAROC coretex one 180 mm
- ikkunat 1,00 W/m²K (1,00 W/m²K)
- ovet 1,00 W/m²K (1,00 W/m²K)

Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

- IV LTO % (55 %)

Rakennuksen ilmanvuotoluku

- Q₅₀ (2,0)

3.3 Rakennusosat

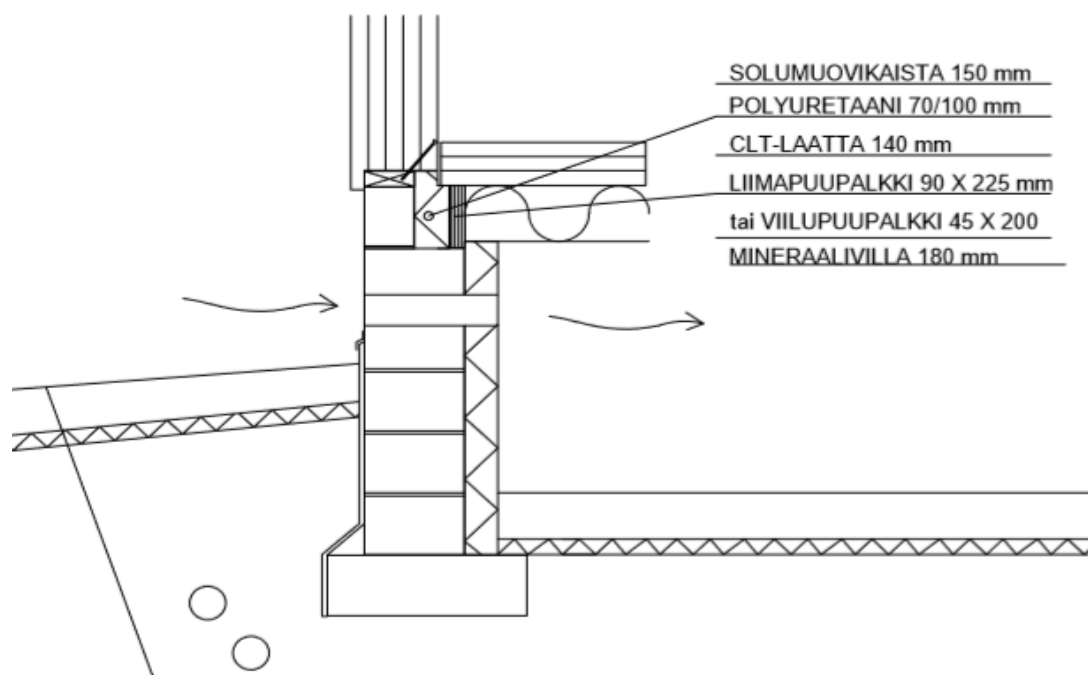
3.3.1 Alapohja

Valittaessa pientalon perustamistapaa on otettava huomioon seuraavat tekijät:

- tontin pohjasuhteet
- maaston muodot
- piha-alueiden korkeustasojen valinta
- mahdollinen kellari
- perustusten yläpuoliset rakenteet.
(Rakennustieto 1992.)

Perustamistapojen vertailuun valittiin, perusmuuri maanvaraisella alapohjalla (maanvarainen laatta) ja perusmuuri kantavalla alapohjalla sekä ryömintätalalla (rossipohja). Perusmuuri tehdään molemmissa tapauksissa kevytsoraharkoista muuraamalla. Rossipohja on tehty CLT-levystä ja siihen liitetään paikan päällä valettu kosteantilan lattia-laatta.

Kuvassa 5 näkyvän tuulettuvan alapohjan ryömintätalalla korkeus on 80 cm. Viemäröinnin putkukset tehdään maapohjassa eristekerroksen alla, ja nostetaan sieltä eristetyillä pystyvedoilla huonetilaan. Ryömintätalalla maapohja eristetään kauttaaltaan, joka vähentää lämpimän ilman siirtymistä maaperään ja maasta nousevan kosteuden tiivistymistä rakenteisiin.

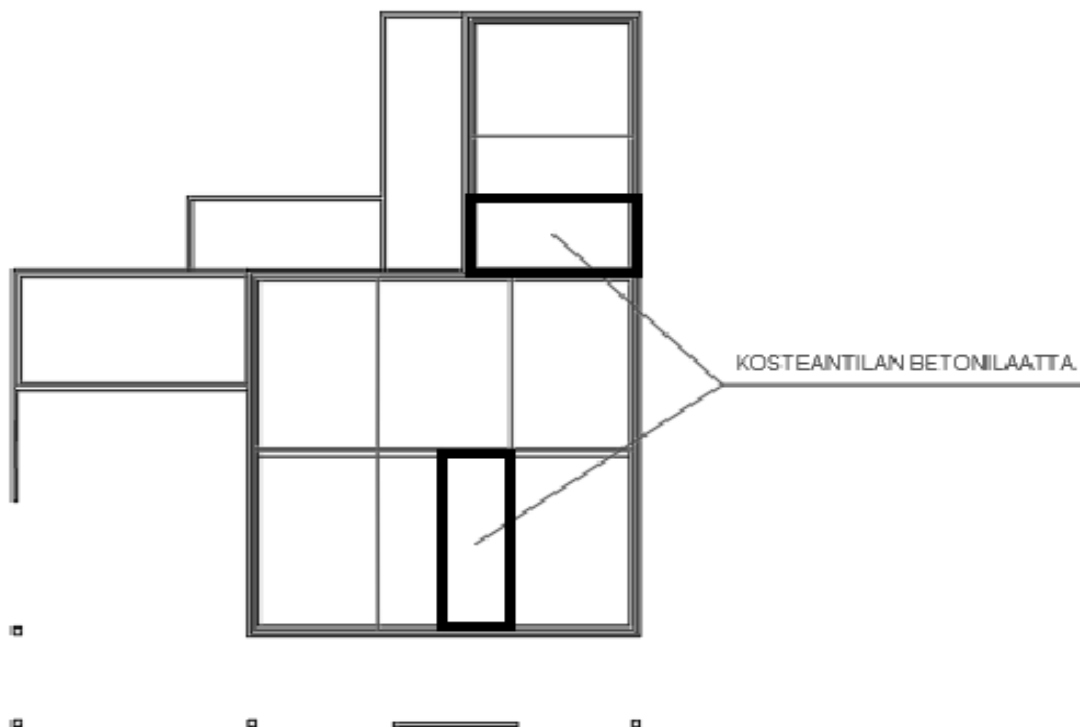


Kuva 5. Alapohja ryömintätalalla (Tuhkanen 2018)

- CLT 140 mm + 180 mm mineraalivilla. U-arvo 0,15 W/m²K
- kosteantilan betonilaatta 120 mm + 200 mm EPS 200 lattia (0,033 W/mK).

Tuulettuvalla alapohjalla olevan perustuksen hinta on 35 000 € sisältäen maankaivun, anturat, sokkelit, CLT-lattiaelementit eristettynä ja asennettuna, sekä erillään valmistetut märkätilojen laatat. Laskelmat eivät sisällä työmaatekniikka- ja rakennuttamiskustannuksia.

Esimerkkitalo on pyritty suunnittelemaan niin että, eri syistä johtuvia rakentamisen aikaisia kosteusrasituksia voidaan välttää. Tämä johti siihen että, märkätilojen toteutustapoja pohdituani päädyin ratkaisuun, jossa märkätilojen laatat valetaan betonista ennen asennusta. Kuvassa 6 näkyvät laatat valmistetaan työmaalla tasaisella alustalla, esimerkiksi tasattua maapohjaa vasten ja valetaan anturoiden valujen yhteydessä, jolloin laatan putkitus ja mahdollinen sähköistys voidaan suorittaa ilman että ne aiheuttaisivat erillisiä työmaakäyntejä. Eristyksen kiinnittymisen varmistamiseksi voidaan käyttää samoja ruuveja kuin CLT-alapohjalaatan eristyksessä. Laatan pintaan saadaan kaivolle tehtyä tarvittavat kaadot, mittatarkasti muotin reunoja pitkin.

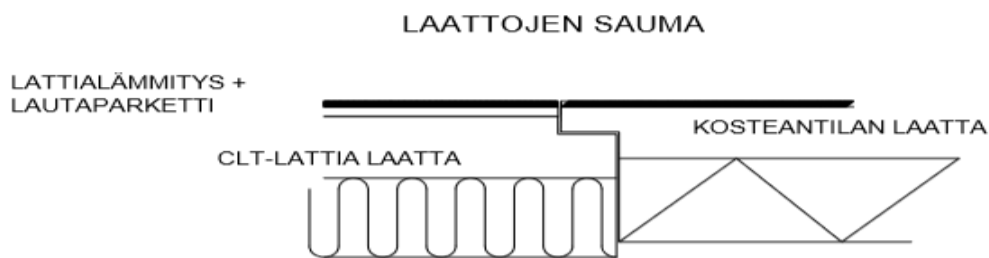


Kuva 6. Märkätilojen laattojen sijainti (Tuhkanen 2018)

Märkätilojen betonilaatta on kannatettu päistään sokkelille ja sivuistaan CLT-levyihin. Mikäli laskennassa ilmenee lujuus ongelmia kannatuksen suhteen, joudutaan pohjanteon yhteydessä valamaan kosteantilan betonilaatan alle lisä tuentaa, joka pienentää kannatusrasitusta CLT-levyjen huulloksilta.

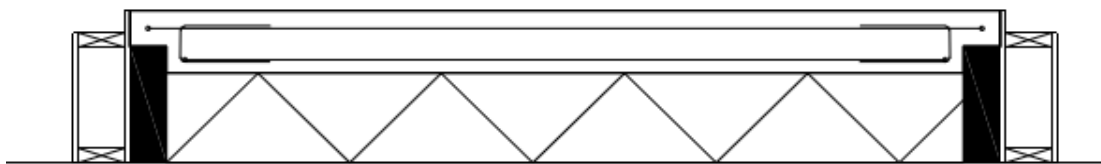
Esimerkkitalossa vesikiertoinen lattialämmitys asennetaan SPU-levyyn CLT-lattialaatan päälle. Näin meneteltäessä kuvassa 7 esitetyn CLT-laatan lattiakorko nousee noin 25 mm + pintamateriaali. Pintamateriaaliksi käy esim. laminaatti, lautaparketti tai laatta (min. 150 x 150 mm).

Kun oleskelutilojen ja märkätilan lattiakorko on samassa tasossa, CLT-lattiaelementin kantavan huuloksen paksuus on noin 100 mm.



Kuva 7. Alapohjalaattojen pitkittäissauma (Tuhkanen 2018.)

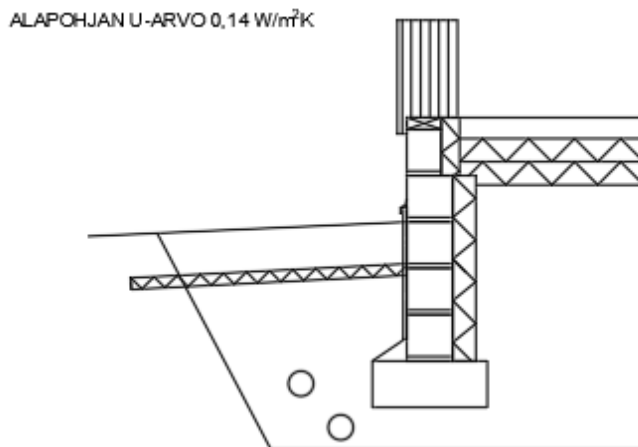
Betonin kuivuminen normaalilla lattia betonilla (C20/25) vie aikaa noin 27 vk, kun taas NP-betonilla aika on noin 12 vk. (Niskanen 2018). Rakenteen kuivumista voidaan nopeuttaa vielä tästä käyttämällä esim. lattialämmitystä kuivumisen apuna, mutta se on muistettava sammuttaa riittävän aikaisin ennen kosteuden mittausta.



Kuva 8. Märkätilan betonilaatta muotitettuna (Tuhkanen 2018.)

Paikalla tehtyjen märkätilan-alapohjalaattojen kustannukset ovat 2 600 €. Sisältäen työt, muotit ja materiaalit. Mikäli märkätilan laatat olisivat CLT-massiivipuuta ja lattialaatanpäälle tehtäisi kaatovalu muodostuisi hinnaksi 2 500 €. Asennuksen on ajateltu kestävän saman ajan kuin CLT-alapohjalaatan. Mikäli asennusaikataulu jostain syystä lähtisi venymään, asennukseen liittyviä lopullisia kiinnityksiä ja eristyksiä tehdään pystytyksen jälkeen.

Maanvaraisen alapohjan sokkelin (kuva 9) on suunniteltu olevan saman korkuinen kuin ryömintätilaisessa alapohjassa, jotta se ehkäisisi kosteuden nousua mahdollisimman tehokkaasti. Perustuksissa on siis 200 mm antura ja 1 000 mm korkea harkko sokkeli. Tällä suunnitelmalla lattian korko maanpinnasta on noin 450 mm.



Kuva 9. Maanvarainen alapohja (Tuhkanen 2018)

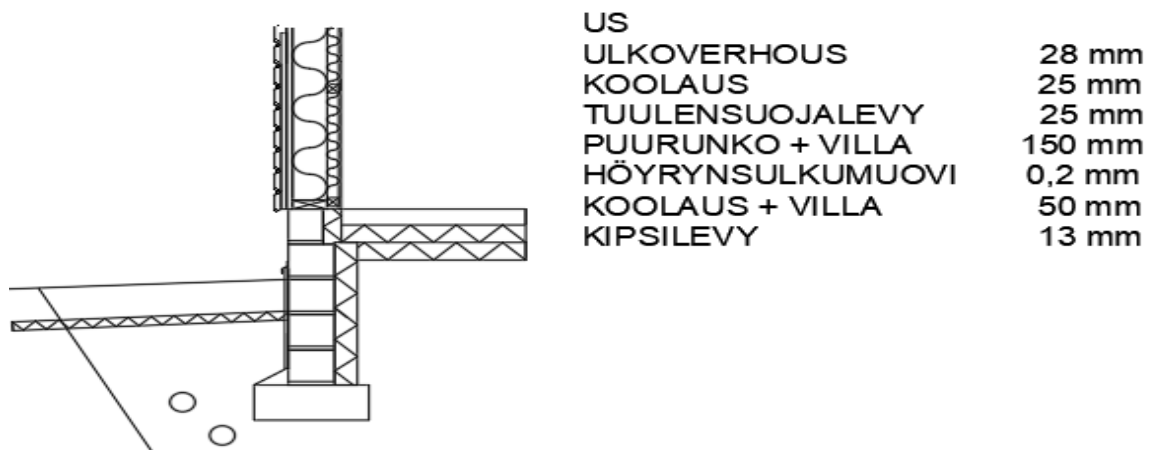
Perustusten hinta on 21 000 € (alv.0%) sisältäen anturat, sokkelin sekä maanvaraisen laatan. Laskelmissa ei ole huomioitu työmaatekniikka ja rakennuttamiskustannuksia.

3.3.2 Runko

Kohteessa lämpimien tilojen runkona toimii 260 mm paksu CLT-massiivipuulementti, josta kohteeseen tehty 7 kpl. ulkoseinä elementtejä, muita varaston 140 mm ja autokatoksen 90 mm vahvuisia elementtejä kohteessa on 5 kpl. Rungon hinta seinien osalta CLT-elementeistä rakennettuna ja asennettuna, ilman alapohjaa sekä työmaatekniikka- ja rakennuttamiskustannuksia on n. 35 000 €.

Rankarunko vs. CLT-elementti

Kuvassa 10 esitetyn ulkoseinän rankarungon rakenteeksi valittiin yhdistelmä, jolle saatiin laskelmissa U-arvoksi hieman alle 0,17 W/m²K. Ympäristöministeriön asettama raja-arvo saadaan siis tällä rakenteella täyttymään. Rakenne on näin ollen vertailukelpoinen CLT-massiivipuulementin kanssa. Havainnekuvassa lämpimäntilan ulkoseinästä on esitetty suunnitellut rakennekerrokset.



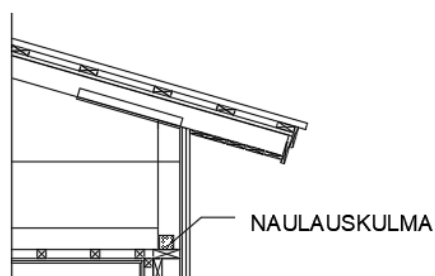
Kuva 10. Lämpimäntilan rankarunko (Tuhkanen 2018)

Rankarungon hinta niiltä osin joka vastaa CLT-toimitusta, sisältäen työt mutta ei rakennuttamis- ja työmaateknikkakustannuksia on 25 000 €. Rankarungon ja CLT-runkotoimituksen (ei sisällä alapohjaa) hinnan eroksi muodostuu siis noin 10 000 € - 15 000 € rankarungon hyväksi, erotukseen määrään vaikuttavat kuljetuskustannukset.

3.3.3 Katto

Katto valmistetaan nostokattona alapohjan sokkeliin päällä niiden valmistuttua. Katon kokonaisena nostamisesta ja siirrosta ei aiheudu merkittäviä lisäkustannuksia koska seinäelementtien nostamatkat ovat pitkät ja massiivipuelementit ovat suuria, jolloin elementtiasennuksessa on käytettävä kohtuullisen suurta nostokalustoa. Havainnekuvasssa 11 on esitetty katon rakennekerrokset.

YLÄPOHJAN U-ARVO 0,09 W/m²K



Kuva 11. Rakennekuva yläpohja (Tuhkanen 2018)

Yläpohjan rakenne kerrokset:

- | | | |
|----|---------------------------------|-------------|
| 1. | sisäverhous | |
| 2. | koolaus | 48 x 48 mm |
| 3. | Höyrynsulku | 0,2 mm |
| 4. | Eriste (puhallusvilla) | 600 mm |
| 5. | Kattokannattajat + tuuletustila | |
| 6. | Aluskate | |
| 7. | Tuuletusrima | 48 x 25 mm |
| 8. | Ruoteet | 32 x 100 mm |
| 9. | konesaumapelti kate | |

Maassa rakennettavat katot sopivat parhaiten pientalo ja hallirakentamiseen, koska näissä kohteissa tontin koko ei yleensä rajoita tekemistä. Muutamia alhaalla rakentamisen hyötyjä ovat työturvallisuuden paraneminen, nopeus ja kustannustehokkuus. Työturvallisuus paranee matalalla työskennellessä, koska katolle nousut vähenevät ja iso osa työskentelystä tapahtuu maassa seisten. (Haukkala 2012)

Katon tekeminen maassa on syytä olla suunnittelun tiedossa jo projektin alusta alkaen, jolloin arkkitehti ja rakennesuunnittelija osaavat ottaa suunnittelussaan huomioon katon nostotarpeen. Esimerkiksi kattoristikon sauvojen kuormat muuttuvat nostettaessa, jolloin alapaarteen veto muuttuu puristukseksi ja se on tuettava nurjahdukselta. Talotekniikan suunnittelijalle on hyvä antaa myös tieto katon alhaalla valmistuksesta, jolloin talotekniikkaa voidaan asentaa ennen nostoa maassa valmiiksi, mikä myös lyhentää työaikaa ja alentaa kustannuksia.

Esimerkkitalossa kattoon tehdään maassa otsalauδοitukset, räystään aluslauδοitukset, päätyjen paneloinnit, katon pellitykset ja asennetaan kattoturvatuotteet. Tällaisella valmiusasteella katolla liikkuminen on nostokaton paikalleen asennuksen jälkeen vähäistä, joka vaikuttaa myös työturvallisuuteen ja kustannuksiin. (Haukkala 2012)

Kuvassa 12 kuvatut esimerkkitalon kattolohkot ovat kaikki 3 kpl omassa tasossa olevia yksiköitä, joten niillä ei ole lujuusriippuvuutta toisiinsa nähden. Lohkot siirretään sivuun lohko kerrallaan elementtien asennuksen ajaksi. Asennukseen on varattu kaksi päivää, joten isoin lohko elementteineen on työn alla ensimmäisenä päivänä ja kaksi pienempää lohkoa asennetaan seuraavana päivänä.



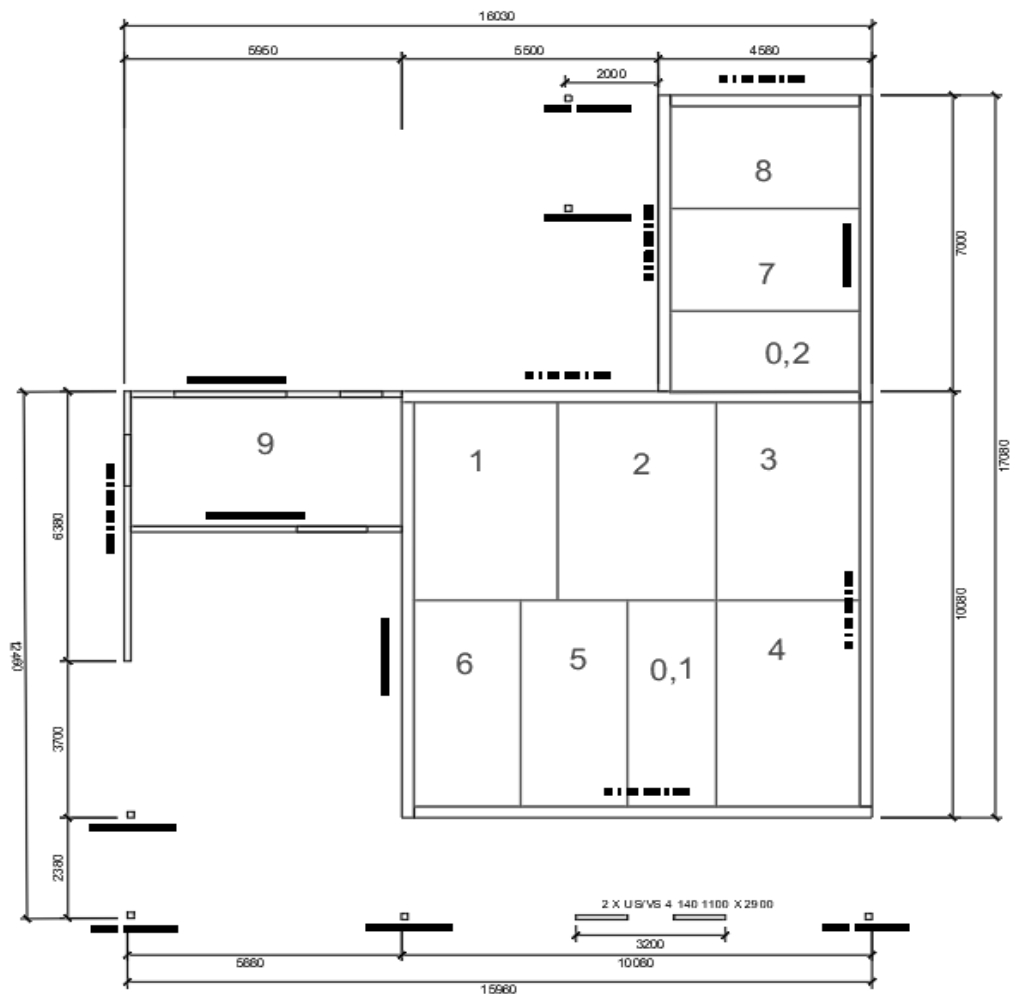
Kuva 12. Katon lohkojako (Tuhkanen 2018)

Asennussuunnitelman mukaan ensimmäisen päivän työsaavutus on 2 kpl katon siirtoja, 7 kpl alapohjalaatan asennuksia, 4 kpl seinäelementtien asennuksia ja yksi katon asennus. Toisen päivän työsaavutus on yksi katon siirto, 4 kpl alapohjalaattoja, 6 kpl seiiniä ja 2kpl katon asennuksia. Nostettavan kattolohkon alla oleva runko on siis työvuoron päätyttyä päivittäin säältä suojassa.

3.4 Esimerkkitalon elementit

CLT-elementtejä esimerkkitaloon suunniteltaessa on mitoituksen rajoina pidetty tehtaiden toimitusdimensioita, koska toimittajaa ei ole vielä tiedossa. Mikäli toimittaja löytyy maan rajojen ulkopuolelta, on suunnitelmia tarkennettava tilannekohtaisesti mahdolliset kuljetusrajoitukset huomioon ottaen. Massiivipuulementtien pienen omapainon johdosta osittainen laivamatka ei liene poissuljettu, joten myös Virossa toimivat yritykset voisivat tulla kysymykseen.

Yleensä pientalon alapohjan elementtijaon suunnittelu on melko vapaata, mutta esimerkkitalossa on CLT-elementtien jakoa suunniteltaessa otettava huomioon betoniset märkätilojenlaatat. Märkätilojen sijainti ja laajuus määrittelevät siis myös CLT-alapohjalaattojen dimensioita. Kun märkätilojen laattojen mitat on saatu selville, niitä monistetaan CLT-elementteihin, jotta alapuoliset tuentalinjat pysyvät yksinkertaisina. Havainnekuvassa 13 näkyy suora tuentalinja keskellä huoneistoa.



Kuva 13. Elementtikaavio, lattia (Tuhkanen 2018)

Elementtien mitoituksessa yritettiin tuottaa useampi samankaltaisilla dimensioilla oleva elementti, joka nopeuttaa tuotantoa tehtaalla. Alapohjan kantavuusmitoituksesta löytyvät laskelmat Niskasén opinnäytetyöstä.

Esimerkkitaloon suunniteltiin 23 kpl elementtiä, joista 2 kpl märkätilan laattoja.

- alapohja 9 kpl. + (betoniset märkätilanlaatat 2 kpl)
 - paksuus 140 mm + eriste 180 mm
 - pinta-ala 120 m², (märkätilanlaatat 17 m²)
 - tilavuus 17 m³, (märkätilanlaatat 2 m³)

- lämpimientilojen seinät 7 kpl
 - paksuus 260 mm
 - pinta-ala 160 m²
 - tilavuus 41 m³

- muut seinät 5 kpl
 - paksuus 100 mm – 140 mm
 - pinta-ala 53 m²
 - tilavuus 17 m³

(Tuhkanen 2018)

Hinnoiteltaessa CLT-massivipuu-elementti toimitusta, hintatietona on käytetty Stora Ensolta saatua karkeaa kokonaishinta arviota. Hinta-arviosta on irrotettu hinta jossa elementit ovat valmiina tehtaalla, hintaan ei sisälly siis kuljetusta. Kokonaishinnasta (alv. 0%) on laskettu keskimääräinen kuutiohinta, josta hintatiedot muutettu neliö hinnoiksi levynpaksuuden mukaan. Hinta-arvio on siis todella karkea, mutta tutkimusta tehtäessä vastaan tulleisiin muiden toimijoiden hintatietoihin nähden linjassa.

Elementtitoimituksen hintaerittely:

- alapohja 140 mm 11 650 €
- ulkoseinä 260 mm 28 408 €
- muut 90mm – 140 mm 4 941 €

Laskelmat rakennekohtaisista CLT-elementtien hinnoista, (Tuhkanen 2018)

4 KUIVAKETJU

4.1 Rakentamisen aikainen kosteudenhallinta

1.1.2018 alkaen on voimaanastunut ympäristöministeriön asetus, joka edellyttää luvan vaativalta rakennushankkeelta kosteudenhallintaselvityksen lupahakemuksen yhteydessä. Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava rakennushankkeen kosteudenhallintaselvityksen laatimisesta. Selvityksen laatu ja laajuus ovat erilaiset erityyppisissä rakennushankkeissa. (ym.fi. 2017, Kosteudenhallinta selvitys.)

Kymmenen suurimman kaupungin rakennusvalvontojen ohjeissa kosteudenhallintaselvitykseksi riittää ilmoitus sitoutumisesta kuivaketju 10-toimintamalliin, jota suunnittelijat täydentävät huomioiden kosteusriskit jotka aiheutuvat hankkeen erityispiirteistä. Erityispiirteitä voivat aiheuttaa asemakaava, rakennuspaikka, rakenneratkaisut sekä materiaalivalinnat. Kuivaketju 10 on toimintamalli, jolla minimoidaan kosteusvaurioiden riskit koko rakennuksen elinkaaren ajan. Toimintamallissa on riskilista ja todentamisohjeet kymmenelle keskeisimmälle kosteusriskille, jotka aiheuttavat yli 80 % kosteusvaurioiden seurannaiskustannuksista. Hankkeeseen on nimettävä kosteudenhallintakoordinaattori, joka valvoo ja ohjaa kuivaketju 10:n toteutumista koko projektin ajan. Koordinaattorin toimenkuvaan kuuluu myös raportointi tilaajalle, rakennusvalvontaan ja RALA.an toimintamallin etenemisestä prosessin kaikissa vaiheissa. (rala.fi 2017, kuivaketju10)

Mikäli rakennushankkeeseen ryhtyvä ei ota käyttöön kuivaketju10 -toimintamallia, kosteudenhallintaselvitys tulee olla seikkaperäinen ja siinä tulee ilmetä koko hankkeen kosteudenhallintaprosessi menettelyineen ja toimenpiteineen.

Kosteudenhallintaselvitykseltä edellytettävät asiat:

1. Hankkeen yleistiedot

- hanke
- hankkeeseen ryhtyvä taho
- hankkeen suunnittelu-, toteutus- ja käyttöönottoaikataulu

2. Kosteudenhallinnan henkilöresurssit sekä heidän tehtävät ja vastuut

- hankkeeseen ryhtyvän henkilöresurssit
 - Kosteudenhallintakoordinattori
 - suunnittelijat
 - valvojat
 - mahdolliset kosteudenhallinnan ulkopuolisen tarkastuksen suorittava henkilö / taho
- hankkeeseen ryhtyvän edellyttämät, päätoteuttajanasettamat kosteudenhallinnasta vastaavat henkilöt – nimet täydentyvät myöhemmässä vaiheessa.

3. Konkreettiset vaatimukset hankkeen kosteudenhallintaan

- yleisesti hankkeeseen ryhtyvän tavoite, tahtotila ko. hankkeen kosteudenhallintaan
 - hankkeeseen ryhtyvän suunnitteluvaiheen vaatimukset, esim.
 - kosteusriskien tarkastelu
 - rakennusfysikaaliset suunnitteluratkaisut
 - käytönaikaista kosteusteknistä toimivuutta edistävät ja sen seurannan mahdollistavat suunnitteluratkaisut
 - suunnitteluryhmän suunnittelijakelpoisuudet
 - Hankkeeseen ryhtyvän rakentamisvaiheen vaatimukset, esim.
 - kosteusriskitarkastelu (riskianalyysi)
 - kosteudenhallintasuunnitelmassa huomioitavat vaatimukset
 - päätoteuttajan kosteudenhallinnan henkilöresurssit
 - kosteudenhallinnan jalkautus työntekijöille
 - dokumentointi, raportointi ja hyväksyttämismenettelyt
 - Hankkeeseen ryhtyvän valmistumis- ja käyttöönottovaiheen vaatimukset, esim.
 - aikataulu ja esitystapa kosteudenhallinnan kokonaisuuden dokumentaatiolle
 - aikataulu ja menettelyt suunnitellun kosteusteknisen toimivuuden varmentamiselle
 - rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeen kosteustekniset osiot
 - Hankkeeseen ryhtyvän käyttöön ja ylläpitoon liittyvät vaatimukset
- ## 4. Toimenpiteet ja menettelyt asetettujen kosteudenhallintavaatimusten varmentamiseen
- Toimenpiteistä ja menettelyistä tulee vähintään esittää:
 - miten hankkeen kosteusriskit kartoitetaan ja miten toimitaan niiden välttämiseksi
 - suunnittelun ohjausmenettely kosteusriskittömiin, ristiriidattomiin ratkaisuihin
 - suunnitelma-asiakirjoihin vietävät toteutuksen kosteudenhallinnassa huomioitavat ja vaadittavat seikat

- toimenpiteet joita päätoteuttajan on tehtävä, hyväksyttävä kosteuskoordinaattorilla ennen rakennustyön aloittamista, työn aikana ja rakennuksen valmistuessa
- onnistuvan kosteudenhallinnan menettelytavat työmaalla asetetut vaatimukset huomioiden
- rakennuksen valmistuessa toimenpiteet sen osoittamiseksi, että rakennus on terveellinen ja se toimii rakennusfysikaalisesti suunnitellulla tavalla
- terveellisyyteen liittyvien käytönaikaisten seuranta- ja huoltotoimenpiteiden kuvaus käyttö- ja huolto-ohjeeseen, sekä niiden toteuttaminen

Tämän kosteudenhallintaselvityksen pohjalta, rakennushankkeeseen ryhtyvän nimeämä kosteudenhallintakoordinaattori laatii rakennukselle kosteudenhallintasuunnitelman.

Esimerkki työmaan kosteudenhallintasuunnitelman sisällöstä:

1. Yleistiedot

- perustiedot
- vastuuhenkilöt

2. Laatutavoitteet

- rakennuttajan laatutavoitteet
- urakoitsijan laatutavoitteet

3. Kosteusriskit

- suunnittelijan riskianalyysi
- valittu menettelytaso
- kriittiset rakenteet, materiaalit ja työtavat
- toimenpiteet

4. Kuivumisajat

- päällystämiseen liittyvät raja-arvot materiaaleittain
- rakenteiden kuivumisajat
- aikataulusuunnittelu
- toimenpiteet, jos rakenne ei kuivu suunnitellussa ajassa

5. Olosuhdehallinta

- materiaalien ja rakenteiden suojaus ja varastointi
- työnaikaisten vesivuotojen torjunta
- kuivumisolosuhteet (lämpötila, suhteellinen kosteus, tuuletus)

6. Erityisohjeet

- märkätilat
- muut erityistilat

7. Valvonta ja mittaus

- valvonnan organisointi
 - kosteusmittausuunnitelma
 - muut mittaukset
 - allekirjoitus (kosteudenhallinnasta vastaava, vastaava mestari, rakennuttaja, rakennesuunnittelija)
- (ym.fi. 2017, Kosteudenhallinta selvitys.)

Kosteudenhallinnan riskeinä esimerkkitalossa ovat:

Alapohjassa

- salaojien kaadot, kaivojen puhtaus ja niiden maa-aines
- ryömintätilan puhtaus ja tuuletus
- perusmaan kaadot ja pintavesien johtaminen
- märkätilojen laatat mitattava ennen vedeneristystä

Ulkoseinissä

- aukkojen nopea umpeen saattaminen
- vesipellitys ja aukkojen reunapellitykset/laudoitukset

Yläpohja

- yhtenäinen höyrynsulku ja sen liitos ulkoseinään

Rakennettaessa pientalo alhaalla tehtävällä nostokatolla ja ulkoseinät lisäeristämättömmistä CLT-massiivipuelementeistä, rakennuspaikalle ei tarvitse toimittaa varastoitavia eristeitä, ennen kun runko on säältä suojassa. Toimitusten ajoituksen- ja varastojen suunnittelu on siis tärkeässä roolissa. Pystytyksen jälkeen autokatokset ja varastot toimivat materiaali varastoina, joten kuivaa varastotilaa on pystytyksen jälkeen talossa riittävästi. Sokkelinpäällä nostokattojen tekeminen kestää noin 2-3 viikkoa, jolloin alapohjan ja pintavesien käyttäytymistä on hyvä seurata ja mahdollisiin puutteisiin reagoida. Ikkunoiden ja ovien asennus voi alkaa välittömästi pystytyksen jälkeen, joten ulkovaippa on käytännössä valmis hyvinkin nopeasti. Märkätilojen betonilaatat jatkavat kuivumista paikalleen asennettuina ja muihin tiloihin lattialämmitys toteutetaan ilman pintavaluja, joten ylimääräistä kosteuskuormaa ei sisätiloihin tule. Esimerkkitalon rakentamisaikainen kosteudenhallinta vaatii ainoastaan hieman huolellisuutta ja sen toteutuksen onnistumiseen on helppo luottaa.

4.2 Työmaatekniikka

4.2.1 Nostot

Onnistuneen nostosuorituksen varmistamiseksi selvitetään piirustuksista elementin paino ja painopisteen sijainti. Mikäli elementissä on ohuita kannaksia, selvitetään niiden tuenta. CLT-elementtitoimituksissa on usein niin sanotut hukkapalat jätetty aukkoihin paikoilleen, joten niitä voidaan hyödyntää tuennassa. Seinäelementti nostetaan elementtiin asennetusta ruuveista tai erillisistä nostoelimistä, nostoon tarkoitettujen apuvälineiden kapasiteetit tulee tarkastaa ennen nostotyön aloittamista.

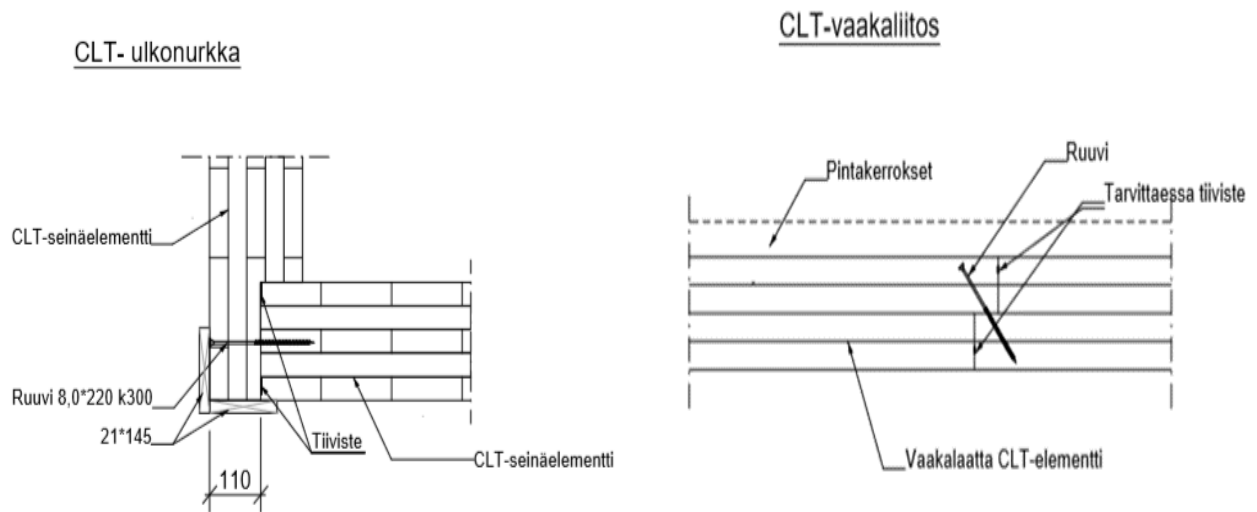
Nostokaluston kapasiteettia mitoitettaessa on tässä työssä mitoitavana nostona kattoelementti, johtuen sen suuresta koosta ja siirto etäisyydestä. Päivittäiset nostot pyritään siis hoitamaan yhdestä nostopisteestä, jotta siirtoihin ei hukata asennusaikaa. Tämän lisäksi on nostoa suunniteltaessa otettava huomioon mahdolliset noston esteet ja maapohjan kunto suhteessa nosturin sijoituspaikkaan.

Olosuhteiden vaikutus on syytä ottaa huomioon, koska asennuksia tehdään ympäri vuoden. Sauma-aineet ja eristevaahdot on pidettävä lämpimänä. Tuulen nopeus ei saa olla yli 10 m/s. Näkyviin jäävien valmiiden pintojen suojaus on huomioitava, esimerkiksi kuljetuksen aikaiset suojaukset poistetaan asennuksen edetessä. CLT-massiivipuu-elementin pinnat ovat niin sanottuja valmiita pintoja, jotka ovat erittäin herkkiä likaantumiselle ja kolhuille.

Sääolosuhteista ei tuulta lukuun ottamatta esimerkikohteessa pitäisi olla suurta haittaa, mikäli asennusaikataulut eivät veny. Asennus tapahtuu suoraan elementit toimittavista rekoista, jotka on tilattu peräkkäisille päville ja niiden seisonta tunnit huomioidaan asennuksen hinnoittelussa. Asennus-aikataulu on laadittu niin että päivän aikana asennetut elementit ovat säältä suojassa illalla. Alhaalla tehtyjen nostokattojen suunnittelussa on otettu huomioon, että kattojen lohkotus seuraa päivittäistä nostojen määrää.

4.2.2 Liitokset

Liitosten yksinkertaisuus vähentää tarvittavien detaljien määrää. Rakenteen jäykistyksen kannalta ei välttämättä tarvita erillistä levytystä koska liitokset toimivat siten, että ne pystyvät ottamaan rakennukseen kohdistuvat vaakavoimat vastaan. CLT-rakenne on myös lähes painumaton, jolloin sen voi liittää pystyrakenteisiin ilman säädettäviä liitoksia. (puuinfo.fi 2012)



Kuva 14. Liittymädetaleja (Hoisko.fi)

PAROC XFM 005 CLT-ruuvi (eristeisiin)



PAROC XFS 002 (julkisivuruuvi)



Kuva 15. Kiinnitystarvikkeet (paroc.fi)

4.2.3 CLT-massiivipuulementtien asennus

Asentamisessa voidaan soveltaa betonisten elementtien asennusohjeita ja asennussuunnitelmaa. Puisten massiivielementtien asennus käsittää siis kohteessa tehtävät elementtien nostot, siirrot, paikoilleen asennuksen, tuennan, kiinnityksen ja niihin liittyvät elementtirakentamisen työvaiheet. Riskeinä elementtien asennustöissä voidaan pitää nostoapuvälineiden huolellista käyttöä, nostojen riskejä ja putoamisvaaraa. Työmaalle tehdään asennustyön ajan noudatettava asennussuunnitelma.

Asennussuunnitelma sisältää:

- kohteen tiedot
 - elementtiluettelo
 - nostokalusto ja apuvälineet
 - elementtien kuljetus Max. 55 m³ kuorma
 - purku, vastaanotto ja varastointi
 - nostot, asennus ja asennusjärjestys
 - toleranssit ja seurantamittaus
 - asennuksen aikainen tuenta
 - elementtien kiinnitykset
 - tarvittavat telineet ja putoamissuojat
 - suunnittelun varmistukset
- (elementtisuunnittelu.fi)

Asennussuunnitelmasta on hyötyä myös asennuksen ajankäyttöä suunniteltaessa. Esimerkkitalon asennusaikataulun laskennassa käytettiin työryhmää 2 RAM + RM. Kuviossa 1 on esimerkki laskennasta jossa työmenekiksi näillä resursseilla saatiin kaksi työvuoroa.

Asennus suunnitelma		
LOHKO 1 (päivä 1)		
	kpl	kesto
katon siirto	2	1 h
alapohjalaatat	7	2,95 h
seinät	4	1,68 h
Katon asennus	1	2 h
		7,63 h
LOHKO 2 (päivä 2)		
	asennus kpl	2,38 kpl/tunti kesto
katonsiirto	1	0,5 h
alapohjalaatat	4	1,68 h
seinät	6	2,53 h
katon asennus	2	3 h
		yhteensä 7,7 h

Kuvio 1. Asennusaikataulu (Tuhkanen 2018)

5 ESIMERKKITALON KUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN

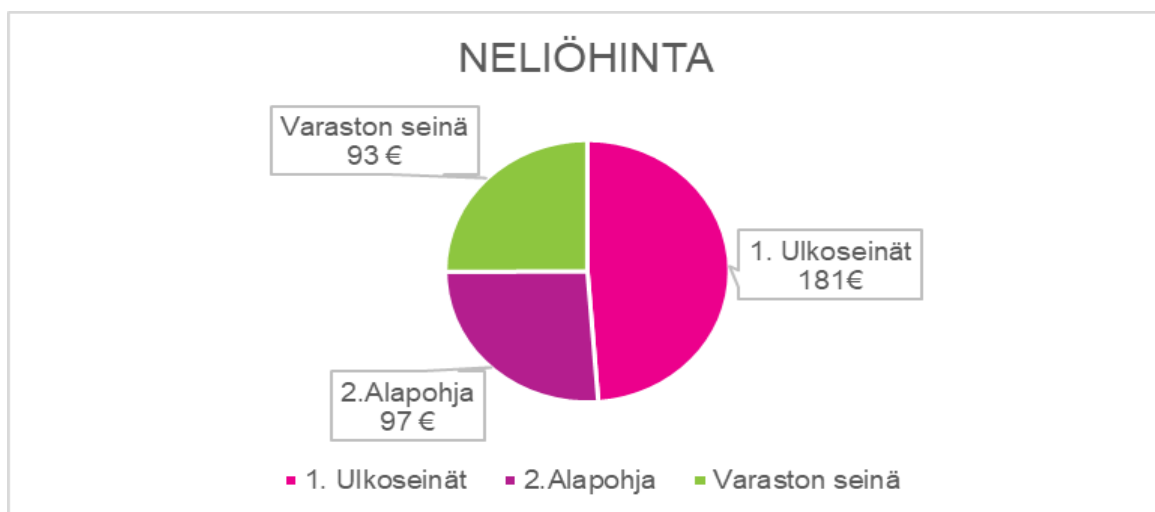
5.1 Materiaalihinta

Hinnoiteltaessa CLT-massiivipuu-elementti toimitusta, hintatietona on käytetty Stora Ensolta saatua karkeaa kokonaishinta arviota, josta irrotettu hinta jossa elementit ovat valmiina tehtaalla, hintaan ei sisälly siis kuljetusta. Kokonaishinnasta (alv. 0%) on laskettu keskimääräinen kuutiointi, josta hintatiedot muutettu neliö hintojen mukaan. Hinta-arvio siis todella karkea mutta tutkimusta tehtäessä vastaan tullessiin muiden toimijoiden hintatietoihin nähden linjassa.

CLT-runkotoimituksen hinta on 695 €/m³ (alv. 0%), josta neliöhinnoksi saadaan:

- Seinä 260 mm 181 €/m²
- Seinä 100 mm – 140 mm 93 €/m²
- alapohja 140 mm 97 €/m³

Laskelmat rakennekohtaisista CLT-elementtien hinnoista (Tuhkanen 2018)



Kuvio 2. Neliöhinta rakenneosittain (Tuhkanen 2018)

5.2 Työmaatekniikan vaikutus hintaan

Esimerkkitalon rakenteissa CLT-massiivipuulementeista rakennetun ulkoseinän materiaalitoimitus maksaa noin 12 500 € enemmän kuin rankarunkoinen seinä. Rankaseinien rakentaminen CLT-seinien kanssa vastaavaan valmiusasteeseen kestää puolestaan 5 vk. pidempään. Sen lisäksi kuivassa varastoitavien materiaalien käytöstä aiheutuu lisäkuluja varastoinnin ja materiaalien ylimääräisen siirtelyn johdosta. Hinnan eroa tasaavana tekijänä toimii siis myös työmaatekniikan osuus, josta saadaan säästöä noin 3 000 €. Lopullisena hinnan erona seinätoimitusten osalla voidaan siis pitää noin 10 000 €.

Alapohjan osalta rakentamisen aikatauluissa eroja ei juuriikaan synny ryömintätalaisen- ja maanvaraisen alapohjan välille. Työmaatekniikan osalta rakennustapa ei siis vaikuta alapohjarakenteen kokonaishinnan muodostukseen. Kokonaisuudessaan työmaatekniikan osalle syntyy säästöä CLT-massiivipuulementeistä rakentamalla 3 000 €. Työmaatekniikan hintaan alentavasti vaikuttavana tekijänä voitane pitää, aiemmin valettua märkätilojen betonilaattaa. Laatan nopeampi pinnoitettavuus antaa mahdollisuuden sisustusvaiheen lyhentämiseen, jolloin työmaatekniikan kustannukset edelleen pienenevät.

5.3 Rakennusosien hinnoittelu

Laskettaessa kustannuksia on pyritty vertailemaan pelkästään CLT-toimituksen ja paikalla kohteessa tehdyn kappaletavara ratkaisun eroavuuksia, joten valmiusasteet on laskennassa pidetty molemmissa samanlaisina. CLT-massiivielementit toimitetaan pinnat hiottuina, joten kappaletavaraseinät ovat ulkopuolet paneloituna, sisäseinät levytettynä, tasoitettuna ja hiottuna pintakäsittelyä vaille valmiit.

Hinnoitteluun tarvittava määrälaskenta on tehty esimerkkitaloon piirretyistä julkisivu-, rakenne- ja pohjakuvista. Rakennusosien hinnoittelussa on käytetty Rakennustöiden menekit 2015, sekä omien muistiinpanojen T4 työaikamenekkejä. Materiaalien hinnoittelussa on käytetty omia ja netistä saatavia hintatietoja. Näitä tietoja hyödyntäen on tehty Excel-taulukkolaskentaohjelmalla työn tarpeisiin soveltuva laskentataulukko, jossa eri osat linkittyvät toisiinsa ja se on helposti muokattavissa hinta tai määrätietojen päivittyessä. Hinnat ovat alv. 0 % hintoja myös

työntekijätuntien osalla koska yksityishenkilön palkatessa työntekijän suoraan työsuhteeseen sivukulut tulevat maksuun mutta arvonlisäveroa ei peritä. Laskelmissa työntekijöitten palkkaku-
luina on rakennusammattimiehellä 34,40 € ja rakennusmiehellä 28,38 €. Luvut sisältävät siis
sivukulut mutta eivät arvonlisäveroa.

Esimerkkitaloa varten laaditun Excel-laskentataulukon osat:
(laskentataulukot liitteenä)

- elementtiluettelo
- elementtien hintaerittely
- kappaletavarasta valmistettu ulkoseinä
- CLT-rungon pystytys
- eri alapohjarakenteet
- työmaatekniikka
- rakennuttaminen

6 YHTEENVETO

6.1 Ratkaisut joihin päädytty

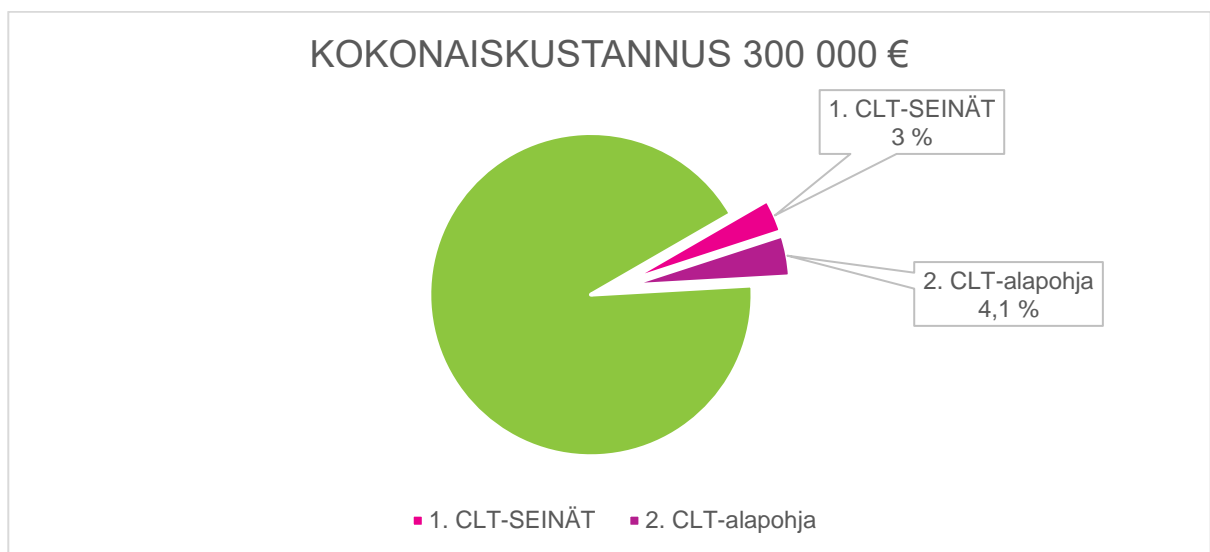
Alkuperäinen suunnitelma CLT-massiivipuulementti rakentamisesta ei ole matkanvarrella muuttunut. Alapohjan osalta ryömintätilalla varustettu ratkaisu tuntuu hyvältä vaihtoehdolta. Pohja on vuosienkin jälkeen huollettavissa, sekä pohjaratkaisua voi viemäröinnin osalta jopa muunnella, mikäli asukkaan tarpeet niin radikaalisti muuttuvat. Myös mahdollisuus lattialämmityksen asentamisesta ilman jälkivaluja on mielenkiintoinen seikka ja tukee ajatusta kuivasta rakentamisesta. Jälkivalu töissä on myös paljon peittelyä koska CLT-levyjen pinnat ovat ns. valmiita pintoja.

Ulkoseinä materiaalin valinnan suhteen on tutkimuksen edetessä CLT-massiivipuulementin ylivoima varmistunut. Elementti on tehty kuin yhdestä puusta, joten seinän sisällä olevat eri materiaalien rajapinnat puuttuvat. Rajapinnat ovat riskipaikkoja kosteuskäyttäytymisen, sekä rakentamisen aikana tapahtuvien rakennusvirheiden riski kasvaa monien työvaiheiden takia. Lisänä on vielä aikataulut, joka on helpompaa koska aikaa vieviä ja vaikeasti arvioitavia työvaiheen aloituksia ja lopetuksia on muita rakennevaihtoehtoja vähemmän. Massiivipuulementti yhdistettynä maassa tehtävään nostokattoon on rakennusaikaisen kosteudenhallinnan kannalta erittäin hyvä vaihtoehto.

Haasteena tällaisessa projektissa on suunnitelmien tarkka toteutus jo aikaisessa vaiheessa. Jokaisen osa-alueen suunnittelijan on tehtävä paljon yhteistyötä keskenään, jotta CLT-elementtien työstöt saadaan tarkasti oikein ja kaikki, myös talotekniikan tarpeet on muistettu huomioida. Aikataulun haasteet jatkuvat siihen asti, kunnes rakennus on säältä suojassa, tämän jälkeen työvaiheita voi olla käynnissä useampia samaan aikaan. Mikäli rakennusaikaa halutaan lyhentää, voisi pystytyspäivästä alkaen töihin ottaa lisämiehiä, mikä vähentää puolestaan työmaatekniikka ja rakennuttamiskustannuksia.

6.2 Talous näkökulmat

Tässä tutkimuksessa laskennassa oli myös muita arvoja kuin raha. Muutamina esimerkkeinä, hiilijalanjälki, kuiva ja home vapaa rakennus sekä rakennuksen pitkäikäisyys. Esimerkkitalon rakenteissa CLT-massiivipuu-elementeista rakennettu ulkoseinä maksaa noin 10 000 € enemmän kuin paikallarakennettu rankaseinä ratkaisu. ryömintätilallinen alapohja, tuli maksamaan 10 000 € - 15 000 € enemmän kun maanvarainen laattaperustus. Kyseessä on siis pieni rahallinen panostus luontoarvoihin sekä terveelliseen ja pitkäikäiseen rakennukseen.



Kuvio 3. Kustannusjakauma (Tuhkanen 2018)

Rakentamisen karkea kokonaiskustannusarvio tulisi olemaan 270 000 € + tontti, (pientaloteollisuus 2016.) Tämän tarkempaan kokonaiskustannusten erittelyyn ei tässä tutkimuksessa haluttu lähteä, koska pyrittiin keskittymään CLT-rakenteisten rakennusosien vertailuun. Tällöin muut rakentamisen hintaan vaikuttavat seikat esim. sijainti, sisustuksen taso yms. eivät vaikuta häiritsevästi hintoja vertailtaessa. Laskelmissa CLT-massiivipuurakenne alapohjassa ja seinissä nostaa rakentamisen kokonaiskustannuksia n. 7.5 % (22 500 €).

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia massiivipuulementin käyttöä pientalorakentamisessa. Aihe oli todella mielenkiintoinen ja haastava, johtuen Suomessa melko tuntemattomasta CLT-materiaalista. Opinnäytetyöprosessi sujui suunnitellusti alussa ilmenneiden, aiheen aikataulu- ja rajausongelmien jälkeen. Mielenkiintoani aiheeseen lisäsi tuore muutos rakennusasetuksiin, joka mahdollisti CLT-massiivipuisten ulkoseinien rakentamisen pientaloon ilman lisäälämmöneristystä. Jotta työssä päästiin tutkimaan eristämättömän seinän käyttömahdollisuuksia, jouduttiin suunnittelemaan esimerkkitalo, joka puolestaan auttoi kokonaisuuden hahmottumista.

Aiempaa tutkimustietoa lisälämmöneristeettömästä rakenneratkaisusta on vielä vähän saatavilla, joten opinnäytetyössä eteen tulleissa haasteissa on tukeuduttu omaan kokemukseen puurakenteisten pientalojen parissa. Tulkintojeni oikeellisuutta olen pyrkinyt tukemaan eristetyistä CLT-elementistä saatavilla olevilla tiedoilla, josta on enemmän selvityksiä ja teoretietoa saatavilla.

Työn laajuus jättää auki monia kohtia joihin olisin halunnut perehtyä tarkemmin. Mielenkiintoisimmat aiheet lisätutkimuksille voisivat olla esimerkiksi märkätilojen betonilaatta ja sen käyttö, nostokaton ja ylhäällä tehdyn katon eroavaisuudet. Työssäni on edellä mainittujen mahdollisten lisätutkimuskohteiden lisäksi jätetty muutamia asiakokonaisuuksia pintapuoliselle asteelle, jotta alkuperäinen tutkimuskohde pysyisi keskiössä.

LÄHTEET

CLT-ELEMENTINKÄYTTÖ ESIMERKKIKOHTEESSA 2018-15-02 – 2018-25-02. [Stora Enso sähköpostikeskustelu] Saatavissa: Siilinjärvi tekijän sähköiset arkistot.

Crosslam.fi tuotteet [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-02-20] Saatavissa:
www.crosslam.fi/tuotteet/crosslam-levy-ja-sen-ominaisuudet.html

Elementtisuunnittelu.fi elementtienasennus [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-02-18] Saatavissa:
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/elementtien-asennus/asennusohjeet>

HAUKKALA, Marjukka 2012. ohje vesikaton rakentamisesta maassa. Tampereen ammattikorkeakoulu. rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [viitattu 2018-04-01] Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/42782/Haukkala_Marjukka.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Hoisko.fi. Liittymädetaljeja [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-18] Saatavissa:
http://www.hoisko.fi/wp-content/uploads/2017/08/HOISKO_detaljit_8_2017-1.pdf

Kosteudenhallinta.fi. 2015. kosteudenhallinta [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-11] Saatavissa:
http://www.kosteudenhallinta.fi/attachments/article/101/Kosteudenhallinta_Kosteudenhallintasuunnitelma_artikkeli_30092015.pdf

Rala.fi. 2017. kuivaketju10 [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-04-09] Saatavissa:
https://kk10.rala.fi/ohjekortit/Kuivaketju10-Kosteudenhallintakoordinaattori_20171222.pdf

Paroc.fi. Ruuvit ja aluslevy [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-04-03] Saatavissa: <http://www.paroc.fi/tuotteet/rakennuseristeet/tuulettuvien-ulkoseinien-asennustarvikkeet>

Pientaloteollisuus.fi. Tutkittua tietoa [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-04-09] Saatavissa:
www.pientaloteollisuus.fi/fin/tutkittua_tietoa/keskimaarainen_omakotitalo_2016/kustannukset

Puuinfo.fi. Insinööripuutuotteet. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-02-20] Saatavissa:
<http://www.puuinfo.fi/puutieto/insinööripuutuotteet/monikerroslevy>

Puuinfo.fi. 2011. CLT - ristiin liimattu massiivipuu. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-02-20] Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/Polku:suunnitteluohjeet/clt-ristiinliimattu-massiivipuu-cross-laminated-timber>

Puuinfo.fi. 2012 rakenteet suunnittelun näkökulmasta. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-04-10] Saatavissa: <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puurakentamisen-roadshow-2012/CLT-rakenteiden%20suunnittelusta-23%20%202012.pdf>

RAKENNUSTYÖMAAN SÄÄSUOJAUS. RATU S-1232. 2013. Helsinki: Rakennustieto [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-22] saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/ratu/fi/index/talo-ratu.html.stx>

Rakennustieto.fi. 1992 pientalon perustustavan valinta. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-04-10] Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/10486.html.stx>

Storaenso.fi clt.info [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-02-18] Saatavissa: <http://www.storaEnso/clt.info/fi/tuote>

TUHKANEN, Hannu 2018. CLT-elementin sisäpinta [kuva]. Sijainti: Siilinjärvi tekijän sähköiset arkistot.

TUHKANEN, Hannu 2018. Massiivipuulevy [kuva]. Sijainti: Siilinjärvi tekijän sähköiset arkistot.

TUHKANEN, Hannu 2018. Julkisivu itään [kuva]. Sijainti: Siilinjärvi tekijän sähköiset arkistot.

TUHKANEN, Hannu 2018. Esimerkkirakennuksen pohjakuva [kuva]. Sijainti: Siilinjärvi tekijän sähköiset arkistot.

TUHKANEN, Hannu 2018. Elementtikaavio, lattia [kuva]. Sijainti: Siilinjärvi tekijän sähköiset arkistot.

TUHKANEN, Hannu 2018. Alapohja ryömintätalalla [kuva]. Sijainti: Siilinjärvi tekijän sähköiset arkistot.

TUHKANEN, Hannu 2018. Märkätilojen laattojen sijainti [kuva]. Sijainti: Siilinjärvi tekijän sähköiset arkistot.

TUHKANEN, Hannu 2018. Alapohjalaattojen pitkittäissauma [kuva]. Sijainti: Siilinjärvi tekijän sähköiset arkistot.

TUHKANEN, Hannu 2018. Märkätilan betonilaatta muotitettuna [kuva]. Sijainti: Siilinjärvi tekijän sähköiset arkistot.

TUHKANEN, Hannu 2018. Maanvarainen alapohja [kuva]. Sijainti: Siilinjärvi tekijän sähköiset arkistot.

TUHKANEN, Hannu 2018. Lämpimäntilan rankarunko. Sijainti [kuva]. Siilinjärvi tekijän sähköiset arkistot.

TUHKANEN, Hannu 2018. Rakennekuva yläpohja [kuva]. Sijainti: Siilinjärvi tekijän sähköiset arkistot.

TUHKANEN, Hannu 2018. Katon lohkojako [kuva]. Sijainti: Siilinjärvi tekijän sähköiset arkistot.

Ym.fi. 2018. Tasauslaskentaopas. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-20] Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamis-maarayskokoelma/Energiatehokkuus

Ym.fi. 2017. Kosteudenhallinta selvitys. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-03-20] Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uusi_asetus_edellyttaa_rakennushankkeelt\(45129\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uusi_asetus_edellyttaa_rakennushankkeelt(45129))

LIITTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

LIITE 1. Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, 2018 (voimassa 1.1.2018 alkaen)

Rakennuskohde	
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	1-kerroksinen pientalo, Ulkoseinä cit-massivipuu, U-arvo on 0,395 W/(m ² K)
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	Teemu Niskanen, Hannu Tuhkanen
Päiväys	15.1.2018
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	470 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	134 m ²
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	118 m ²
Lämmitetty nettoala, puoiliämpimät tilat	m ²
Rakennusluokka (1 - 9)	1
Rakennuksen kerros määrä	1 kerrosta

Laskentatuloksia

Julkisivupinta-ala on 137 m²
 Ikkunapinta-ala on 12 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
 Ikkunapinta-ala on 11 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 94 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT						
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä			0,17		-	-
Massivipuuseinä ¹⁾	110	115	0,40	0,40	44,2	45,4
Yläpohja	118	118	0,09	0,07	10,6	8,0
Alapohja (ulkolimaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)		118	0,17	0,15	20,1	17,6
Alapohja (maanvastainen)			0,16		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	20,1	15,5	1,00	1,00	20,1	15,5
Uiko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	6,3		1,00	1,00	6,3	6,3
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	373	373			101,2	92,8
<i>Puoiliämpimät tilat tai määräaikaist rakennukset</i>						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massivipuuseinä ¹⁾			0,60		-	-
Yläpohja			0,14		-	-
Alapohja (ulkolimaan rajoittuva)			0,14		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-	-
Ikkunat			1,40		-	-
Uiko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
Puoiliämpimät tilat yhteensä	-	-			-	-
VAIPAN ILMAVUODOT						
	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)		Vuotoilmavirta, m ³ /s		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q ₅₀]		[q _{v,v} = q ₅₀ / 35 - A/3600]		[H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0059	0,0059	7,1	7,1
Puoiliämpimät tilat	2,0				-	-
ILMANVAIHTO						
	Poistotilmavirta, m ³ /s		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q _{v,p}]		[η _a]		[H _{iv} = 1200 · q _{v,p} · (1-η _a)]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat	0,047		55	55	25,5	25,5
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
Puoiliämpimät tilat			55		-	-
Puoiliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus						
					Ominaislämpöhäviö, W/K	
					[H = H _{ohi} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]	
	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					134	125
Puoiliämpimien tilojen					-	-

¹⁾ Massivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, 2018 (voimassa 1.1.2018 alkaen)

Rakennuskohde
Rakennuslupatunnus

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista

Pinta-alat

Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta

kyllä	ei
v	

Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisussa

- lämpimissä tiloissa

- puolilämpimissä tiloissa

v	

Rakennusvaipan ilmanpitävyys

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnittelu-arvo on enintään enimmäisarvon suuruinen

- lämpimissä tiloissa

- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Enimmäisarvo	Suunnittelu-arvo
v		4	2,00
		4	

Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus

Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen

- lämpimissä tiloissa

- puolilämpimissä tiloissa

kyllä	ei	Vertailuarvo	Suunnittelu-arvo
v		134 W/K	125 W/K

Tarkistuslistan yhteenveto

Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset

kyllä	ei
v	

Lisätietoja

Rakennuksen ilmanpitävyys

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} suunnittelu-arvoa.

Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon,

jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.

Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittaamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde

Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenottolaitteen ominaisuuksia ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyn säävyöhykkeen 1 säätiötietoja. Kahden tai useamman ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan käyttäen näin määritettyä poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.

LIITE 2. Elementti laskelmat

Elementti luettelo

RUNKO

US		0,26 m		
	korkeus	leveys	m ²	m ³
US 1	2600	4060	10,56	2,74
US 2	2600	7260	18,88	4,91
US 3	2600	7000	18,20	4,73
US 4	2800	9820	27,50	7,15
US 5	2800	9820	27,50	7,15
US 6	2800	9560	26,77	6,96
US 7	2800	9820	27,50	7,15
yhteensä			156,89	40,79

US/VS		0,14 m		0,10 m	
	korkeus	leveys	m ²	m ³	
US/VS 1	2600	5680	14,77	2,07	
US/VS 2	2600	5680	14,77	2,07	
US/VS 3	2600	6380	16,59	2,32	
US/VS 4	2900	1100	3,19	0,32	
US/VS 4	2900	1100	3,19	0,32	
yhteensä			52,60	7,10	

Alapohjalaatat		0,14 m		
	korkeus	leveys	m ²	m ³
L 1	4680	3080	14,41	2,02
L 2	4680	3400	15,91	2,23
L 3	4680	3080	14,41	2,02
L 4	4880	3080	15,03	2,10
L 5	4880	2290	11,18	1,56
L 6	4880	2290	11,18	1,56
L 7	4060	2420	9,83	1,38
L 8	4060	2420	9,83	1,38
L 9	3050	5810	17,72	2,48
yhteensä			119,49	16,73

Betonilaatta		0,15 m		
	korkeus	leveys	m ²	m ³
L 0.1	1900	4880	9,27	1,39
L 0.2	1900	4060	7,71	1,16

ULKOSEINÄ US 260mm 156,89 m²

SEINÄ US/VS 140mm 52,60 m²

ALAPOHJALAATTA L 140mm 119,49 m²

CLT KUUTIOITA 64,62 m³

HINTA/KUUTIO 696 €/m³ (ei sisällä rahtia)

CLT RUNKOTOIMITUS 45000,00 € (alv 0%)

Elementtitoimituksen hinta

ELEMENTTIEN HINTA ERITTELY

TOIMITUKSEN KOKONAISHINTA (alv. 0%)			45000 €
		+ rahti	11000 €
TOIMITUS MÄÄRÄ		yht.	64,62 m ³
			329 m ²
		HINTA/m ³	696,43 €/m ³
		HINTA/m ²	136,78 €/m ²
ALAPOHJA	140 mm	16,73 m ³	119,49 m ²
		Neliöhinta	97,50 €
	ALAPOHJA YHTEENSÄ		11650,55 €
ULKOSEINÄ	260 mm	40,79 m ³	156,89 m ²
		Neliöhinta	181,07 €
	ULKOSEINÄT YHTEENSÄ		28408,02 €
MUUT SEINÄT	90/140 mm	7,10 m ³	52,60 m ²
		Neliöhinta	93,94 €
	MUUT SEINÄT YHTEENSÄ		4941,43 €

Elementtien asennus

CLT-RUNGON PYSTYTYS

RATU 2015 kortin mukaiset työsaavutukset 2kpl RAM + 1kpl RM

Työsaavutus uudiskohteessa 19 kpl/tv

- aloittavat työt
- ala- tai yläsidepuun asennus ja kiinnitys
- elementin (4.5 m) asennus ja kiinnitys (RATU 2015)

elementtejä asennetaan 2,38 kpl/tunti

Asennus suunnitelma

LOHKO 1 (päivä 1)

	kpl	kesto
katon siirto	2	1 h
alapohjalaatat	7	2,95 h
seinät	4	1,68 h
Katon asennus	1	2 h
		7,63 h

LOHKO 2 (päivä 2) asennus 2,38 kpl/tunti

	kpl	kesto
katonsiirto	1	0,5 h
alapohjalaatat	4	1,68 h
seinät	6	2,53 h
katon asennus	2	3 h
	yhteensä	7,7 h

Lohkossa 1:

Lattia elementit	91,39 m ²
Seinä elementit	109,26 m ²

Lohkossa 2:

Lattia elementit	45,08 m ²
Seinä elementit	100,14 m ²

Asennuksessa jätetty huomioimatta 2kpl portaanpieli elementtiä joiden paino on 150 kg/kpl sekä yksi pilari jonka asennus ajankohta on jossain välissä ennen viimeistä katon nostoa.

Asennusryhmä	2 RAM + RM	97,18 €/h
Nosturiauto + kuormasta asennus		160 €/h
Asennus yhteensä		3945,68 €

Kappaletavarasta valmistetut seinät

KAPPALETAVARASTA VALMISTETUT ULKOSEINÄT
--

HUONEISTON SEINÄT

(ajat RATU T4 aikoja)

		RAM	34,4 €
Ulkoseinä	260 mm	RM	28,38 €

RAKENNE

		Määrä	Hankinnat	Materiaalit	Työ	yhteensä
				14382,81	180 h	24641,86
Ulkoverhous	28 mm	157 m²		2175,628 €	55 h	5625,39 €
ulkoverhouspaneli 28 x 125 mm		10,7 jm		1,15		1931,885 €
sahattu lauta 25 x 100 (kuusi B)		1,75 jm		0,43		118,1425 €
naula		20 kpl		0,04		125,60 €
RAM		0,35 tth			34,40	1890,28 €
RM		0,35 tth			28,38	1559,48 €
Tuulensuojalevy	25 mm	157 m²		2261,585 €	16 h	3247,231 €
tuulensuojalevy 0,033 W/Km		1,1 m ²		12,55		2167,385 €
hakaset		20 kpl		0,03		94,2 €
RAM		0,1			34,40	540,08 €
RM		0,1			28,38	445,566 €
Puurunko + koolaus 150 + 50 mm		157 m²		2581,71 €	16 h	3567,354 €
runkotolppa 148 x 48 mm		4 jm		3,38		2122,64 €
koolaus 48 x 48 mm		1,9 jm		0,76		226,708 €
naula, lankanaula 3,1 x 90		20 kpl		0,02		62,8 €
höyrynsulkumuovi		1,2 m ²		0,90		169,56 €
RAM		0,1 tth			34,4	540,08 €
RM		0,1 tth			28,4	445,566 €
Lämmöneriste 150 + 50 mm		157 m²		3214,575 €	14 h	3228,705 €
mineraalivilla 150 mm		1,05 m ²		14,85		2448,023 €
lamda (λ) = 0,033 W/Km						
mineraalivilla 50 mm		1,05 m ²		4,65		766,5525 €
RM		0,09 tth				14,13 €
Seinän levytys, kipsilevy 13 mm		157 m²		698,96 €	19 h	1881,74 €
kipsilevy 1200 x 2700 mm		1,1 m ²		3,32		573,36 €
kipsilevyruuvi 25 mm		20 Kpl		0,04		125,60 €
RAM		0,12 tth			34,40	648,10 €
RM		0,12 tth			28,38	534,68 €

Seinän tasoitus 1.5, + saumaus	157 m²	153,39 €	11 h	843,34 €
saumanauha	0,7 jm	0,06		6,59 €
pohjatasoite	0,7 kg	0,55		60,45 €
pintatasoite	1 kg	0,55		86,35 €
RAM	0,07 tth		34,40	378,06 €
RM	0,07 tth		28,38	311,90 €

VARASTON SEINÄT

RAKENNE	Määrä	Hankinnat	Materiaalit	Työ	yhteensä
Ulkoerohous 28 mm	53 m²		885,90	19 h	2050,46 €
ulkoerohouspaneli 28 x 120 mm	10,7 jm		1,35		765,59 €
sahattu lauta 22 x 100 (kuusi)	1,75 jm		0,84		77,91 €
naula	20 kpl		0,04		42,40 €
RAM	0,35 tth			34,40	638,12 €
RM	0,35 tth			28,38	526,45 €
Tuulensuojalevy 25 mm	45 m²		648,23	5 h	930,74 €
tuulensuojalevy 0,033 W/Km	1,1 m ²		12,55		621,23 €
hakaset	20 kpl		0,03		27,00 €
RAM	0,1			34,40	154,80 €
RM	0,1			28,38	127,71 €
Puurunko 150 mm	53 m²		610,56	5 h	910,02 €
runkotolppa 148 x 48 mm	3 jm		3,38		537,42 €
lankanauha 3,1 x 90 mm	15 kpl		0,02		15,90 €
höyrynsulkumuovi	1,2 m ²		0,9		57,24 €
RAM	0,09 tth			34,40	164,09 €
RM	0,09 tth			28,38	135,37 €
Lämmöneriste 150 mm	45 m²		701,66	5 h	842,14 €
mineraalivilla 150 mm	1,05 m ²		14,85		701,66 €
lamda (λ) = 0,033 W/Km					€
RAM	0,11 tth			28,38	140,48 €
Seinän levytys, kipsilevy 13 mm	45 m²		200,34	5 h	539,35 €
kipsikartonkilevy 1200 x 2700 mm	1,1 m ²		3,32		164,34 €
kipsilevyruuvi 25 mm	20 kpl		0,04		36,00 €
RAM	0,12 tth			34,40	185,76 €
RM	0,12 tth			28,38	153,25 €

Seinän tasoitus 1.5, + saumaus	45 m²	39,02	3 h	236,77 €
saumanauha	0,7 jm	0,06		1,89 €
pohjatasoite	0,5 kg	0,55		12,38 €
pintatasoite	1 kg	0,55		24,75 €
RAM	0,07 tth		34,40	108,36 €
RM	0,07 tth		28,38	89,40 €

MUUT SEINÄT

Ulkoerous	28 mm	14 m²	177,87	5 h	485,49 €
ulkoerouspaneli 28 x 125 mm	10,7 jm	1,15		172,27 €	
naula	20 kpl	0,02		5,60 €	
RAM	0,35 tth		34,40	168,56 €	
RM	0,35 tth		28,38	139,06 €	

Puurunko 100 mm	7 m²	33,39	4 h	253,12 €
runkotolppa 98 x 48 mm	3 jm	1,49		31,29 €
lankanauha 3,4 x 90 mm	15 kg	0,02		2,10 €
RAM	0,5 tth		34,40	120,40 €
RM	0,5 tth		28,38	99,33 €

HUOM.

- Runkotolppien määrässä 0,5 m/m² aukkolisää
- Laskelma tehty clt-toimituksen valmiusastetta mukaillen
- Laskennassa ei ole vähennetty aukkoja, aukot huomioimalla hinta ero laskennassa 400 €

Alapohja

MAA- JA POHJARAKENTEET

MAANVARAINEN LAATTA		(ALV 0 %)			
kaivinkone, KKH 21 t (sis.kuljet.)	60,00 €				
Betonin pumppaus auto	110,00 €/h				
RAM	34,40 €				
RM	28,38 €				
RAKENNE	Määrä	Hankinnat	Materiaalit	Työ	yhteensä
Pohjarakenteet, maankaivu	150 m³			3,0 h	471,54 €
kaivinkone, KKH 21 t (sis.kuljet.)	0,02 h	60,00			180
maa-aines kuljetus					0
RAM	0,04 tth			34,40	206,4
RM	0,02 tth			28,38	85,14
Pohjarakenteet, putkiasennukset	70 jm			6 h	1135,63 €
vesi, viemäri, sähkönsyöttö (KKH)	0,09 tth	60,00			378
salaojaputki 110/95 mm x 6 m, PEH	1,1 jm		2,71		208,67
salaojakaivo 315 mm, 5 kpl	5 kpl		52		260,00
LVI-asentaja / sähköasentaja	0,12 tth			34,40	288,96
Harkkoperustus 300 mm, h = 1000 mm	59 jm			31 h	7976,08 €
bitumikermi, yläpinnassa	0,03 tth		0,94		55,46
keytsoraharkko, eristetty ylä osa	0,3 tth		47,45		2799,55
ohutrappaus, 2 x 0,5 m ²	0,07 tth		1,32		77,88
perusmuurilevy, anturan liitoseristys	0,11 tth		6,19		365,21
antura 600 x 200 mm, betoni+muut työt	0,40 tth		15,25		899,75
Aantura, raudoitus 2kpl 10 mm	0,20 tth		0,95		20,90
routasuojaus 100 mm, 1.2 m	0,07 tth		5,93		349,87
sepelitäyttö 1m ³ /jm	0,06 tth	60,00	15,23		1110,97
RAM	0,62 tth			34,40	1258,35
RM	0,62 tth			28,38	1038,14
Harkkoperustus 100 mm, h = 1000 mm	22 jm			16 h	2580,86 €
bitumikermi, yläpinnassa	0,03 tth		0,94		20,68
keytsoraharkko,	0,3 tth		22,7		499,40
ohutrappaus, 2 x 0,5 m ²	0,07 tth		1,32		29,04
perusmuurilevy, anturan liitoseristys	0,11 tth		6,19		136,18
antura 500 x 200 mm, betoni+muut työt	0,6 tth		15,25		335,50
Aantura, raudoitus 2kpl 10 mm	0,2 tth		0,95		20,90
routasuojaus 100 mm, 1.2 m	0,07 tth		5,93		130,46
sepelitäyttö 1m ³ /jm. Sis.kulj.	0,06 tth	60,00	15,23		414,26
RAM	0,72 tth			34,40	544,90
RM	0,72 tth			28,38	449,54

Harkkoperustus 150 mm, h = 1000 mm	10 jm		7 h	1903,68 €
bitumikermi, yläpinnassa	0,03 tth	0,94		20,68
keysoraharkko, eristetty ylä osa	0,3 tth	33,2		730,40
ohutrappaus, 2 x 0,5 m ²	0,07 tth	1,32		29,04
perusmuurilevy, anturan liitoseristys	0,11 tth	6,19		136,18
antura 500 x 200 mm, betoni+muu työ	0,6 tth	15,25		152,50
antura. Raudoitus 2kpl 10 mm	0,2 tth	0,95		20,90
routasuojaus 100 mm, 1.2 m	0,07 tth	5,93		130,46
sepelitäyttö 1m ³ /jm. Sis.kulj.	0,06 tth	60,00		231,50
RAM	0,72 tth		34,40	247,68
RM	0,72 tth		28,38	204,34
Alapohjan täytöt (maanvarainen)	118 m²		7 h	3616,26 €
seveli (m ³ tr). Sis.kulj.	0,3 m ³	21,62		765,35
täyttösora	0,45 m ³	15,23		808,71
kaivinkone, KKH 21 t	0,07 tth	60,00		495,60
suodatinkkangas	0,01 tth	0,52		61,36
polystyreeni 200 mm. EPS 100 lattia	0,25 tth	8,82		1040,76
RAM	0,06 tth		34,40	243,55
RM	0,06 tth		28,38	200,93
Alapohjan täytöt (ryömintätällinen)	118 m²		4 h	1768,63 €
seveli (m ³ tr). Sis.kulj.	0,25 m ³	21,62		637,79
kaivinkone, KKH 21 t	0,02 h	60,00		141,60
suodatinkkangas	0,01	0,52		61,36
EPS-100 mm routa 120	0,05	5,98		705,64
RAM	0,03 tth		34,40	121,78
RM	0,03 tth		28,38	100,47
Pohjalatan valu 90 mm	12 m³		8 h	2338,24
verkko 4 mm, k/k 150mm	0,13	22		264,00
Betoni c20/25	0,22	111,81		1341,72
pumppuauto	0,35 t	110		462
raudoituskoroke	3 kpl	0,19		6,84
RAM	0,35		34,40	144,48
RM	0,35		28,38	119,20
CLT lattian eristys	102 m²		16 h	4008,84
PAROC Coretex One 180 mm ($\lambda_d = 0.033$ W/mk)	1,05	24		2570,40
Ruuvi PAROC XFM 005	6 kpl	1,15		703,80
aluslevy PAROC XFW 003	6 kpl	0,13		79,56
Saumausteippi	2 kpl	0,7		142,80
RAM	0,08 tth/m ²		34,40	280,70
RM	0,08 tth/m ²		28,38	231,58

Maanvarainen laattaperustus	80 h	20782,07 €
Tuulettuva alapohja	84 h	35444,07 €

PAIKANPAÄLLÄ VALETTAVAT LAATAT

Kostean tilan pohjalaatta 1. (150 mm)	9,27 m ²		7 h	1408,82 €
Muottivaneri 12 mm	0,33 m ²	9,12		27,91
soiro 100 x 32 mm	6 jm	0,65		36,16
naulat	30 kpl	0,04		11,13
verkko 8 mm, k/k 150mm	2,5	5,35		124,01
Betoni c28/35	0,15	132,5		184,28
pumppuauto	0,1 t	110		101,99
raudoituskoroke	4 kpl	0,19		7,05
harjatanko 6mm	60 m	0,29		161,33
harjatanko 8 mm	60 m	0,52		289,29
RAM	0,8		34,40	255,17
RM	0,8		28,38	210,51
Kostean tilan pohjalaatta 2. (150 mm)	7,71 m ²		6 h	1172,09 €
Muottivaneri 12 mm	0,33 m ²	9,12		23,22
soiro 100 x 32 mm	6 jm	0,65		30,08
naulat	30 kpl	0,04		9,26
verkko 8 mm, k/k 150mm	2,5	5,35		103,17
Betoni c28/35	0,15	132,5		153,32
pumppuauto	0,1 t	110		84,85
raudoituskoroke	4 kpl	0,19		5,86
harjatanko 6mm	60 m	0,29		134,22
harjatanko 8 mm	60 m	0,52		240,68
RAM	0,8		34,40	212,29
RM	0,8		28,38	175,14

Työmaatekniikka

TYÖMAATEKNIikka, PIENTALO

TYÖMAATEKNIikka KUSTANNUKSET YHTEENSÄ **13425 €**
 Rakennusaika 5 kk/ 21 vk

Panokset	erä	hinta	YHT.
varasto/taukotila kontti	3 kk	150	450 €
suojaus ja siivous	5 kk	200	1000 €
työmaa energia	5 kk	250	1250 €
teline vuokra (kork. 3m)	3 kk	700	2100 €
autonosturi	2 tv	880	1760 €
työkalut	5 kk	350	1750 €
laadunvalvonta ja mittaukset	2 erä	300	600 €
jätelava, kuljetus ja tyhjennys	5 krt	700	3500 €
materiaalien rahdit	8 erä	80	640 €
tärylevy	5 pv	75	375 €
Työmaatekniikan kustannukset			639,29 vk 15,98 €/h

TYÖMAATEKNIikka KUSTANNUKSET YHTEENSÄ **10275 €**
 Rakennusaika 3 kk/ 13 vk

Panokset	erä	hinta	YHT.
varasto/taukotila kontti	2 kk	150	300 €
suojaus ja siivous	3 kk	200	600 €
työmaa energia	3 kk	250	750 €
teline vuokra (kork. 3m)	1 kk	700	700 €
autonosturi	2 tv	880	1760 €
työkalut	3 kk	350	1050 €
laadunvalvonta ja mittaukset	2 erä	300	600 €
jätelava, kuljetus ja tyhjennys	5 krt	700	3500 €
materiaalien rahdit	8 erä	80	640 €
tärylevy	5 pv	75	375 €
Työmaatekniikan kustannukset			790,38 vk 19,76 €/h

Rakennuttamiskustannukset

RAKENNUTTAMINEN, PIENTALO

Rakennuttaminen, pientalo (suppea, omantyön osuus suuri)

RAKENNUTTAMIS KULUT YHTEENSÄ 23400 €

Panos	hinta
pääsuunnittelu	1000 €
arkkitehtisuunnittelu	1500 €
rakennesuunnittelu	1500 €
LVI-suunnittelu	500 €
sähkösuunnittelu	500 €
pohjatutkimus	1000 €
vastaava työnjohtaja	3500 €
rakennuslupakulut	1000 €
vesi ja viemäri liittymä	8000 €
sähköliittymä	3500 €
puhelin yms. Liittymät	1000 €
kopiointi kulut	400 €