

**KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU**  
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Lauri Mononen

**BETONIRUNKOISEN JA CLT-RUNKOISEN ASUINKERROSTALON  
RUNGON KUSTANNUSVERTAILU**

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2016



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Huhtikuu 2016**  
**Rakennustekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80100 JOENSUU  
(013) 260 6800

Tekijä(t)  
Lauri Mononen

Nimeke  
Betonirunkoisen ja CLT-runkoisen asuinkerrostalon rungon kustannusvertailu

Toimeksiantaja  
Asennusliike J. Mononen Oy

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyössä selvitettiin kustannuseroja betonirunkoisen ja CLT-runkoisen rakennuksen kesken. Teräsbetonirungon kustannukset ovat oikeat ja CLT-rakenteiden kustannukset teoreettiset. Opinnäyte työssä pohdittiin myös CLT:n etuja rakentamisessa. Opinnäytetyön tilaaja halusi painon materiaalikustannuksille, mutta myös työkustannuksia on selvitetty työssä.

Työn vertailukohteena oli jo aikaisemmin rakennettu betonirunkoinen kaksikerroksinen asuinkerrostalo, jossa kantavat seinät ovat betonielementeistä ja väli- ja yläpohja paikallavalettuja teräsbetonilaattoja. Toimeksiantajalta saatiin kohteen elementtipiirustukset, joista selvitettiin teräsbetonielementeille vastaavanlaiset CLT-rakenteiset elementit, joista laskin hinnat. Toimeksiantaja oli kiinnostunut CLT:stä, koska aikoo jatkossakin rakentaa ja haluaisi kokeilla eri runkomenetelmiä. Toimeksiantaja pitää CLT:tä järkevänä ja ekologisena rakennusmateriaalina.

Opinnäytetyössä tehdyssä tutkimuksessa saatiin selville, että CLT-runkoisena kohderakennus maksaisi enemmän. Rungon aiheuttama kustannusero ei kuitenkaan ollut merkittävä, vaan suurimmat kustannukset aiheutuisivat puukerrostalon tekemisestä paloturvalliseksi. Automaattinen sammutusjärjestelmä aiheuttaisi huomattavia kuluja. On kuitenkin huomioitava, että CLT-elementein rakennettu talo voidaan saada huomattavasti nopeammin käyttöön, koska CLT-elementtien pystyttäminen on puolta nopeampaa verrattuna betonielementtien pystytykseen.

Kieli

Sivuja 20

Suomi

Liitteet 3

Liitesivumäärä 8

Asiasanat

CLT, betonirunko, kustannusvertailu



**THESIS**  
**April 2016**  
**Degree Programme in Civil Engineering**

Karjalankatu 3  
80100 JOENSUU  
FINLAND  
(013) 260 6800

Author (s)  
Lauri Mononen

Title  
Comparison of Costs Between Concrete Frame and CLT Frame of a Residential Building

Commissioned by  
Asennusliike J. Mononen Oy

Abstract

The aim of this thesis was to make comparisons of costs between a building build with concrete frame and a building built with CLT. The advantages of constructing with CLT technique were also considered in this thesis work. The main purpose was to find out the material costs but also work-related costs.

The comparison object was a two-storey concrete element residential building that had already been built. All the load-bearing walls were made of concrete elements and the slabs were cast concrete. The blueprints of this building were studied and it was find out how much the similar supporting structures made of CLT would have cost. The client of this thesis was interested in the CLT technique and was willing to try it out in the future. The company conceives the CLT technique as an ecologic and sensible way to build.

This study revealed that the CLT elements would cost slightly more than concrete elements. The CLT itself does not cost a lot but making it fireproof can cause notable costs for example automatic fire extinguishing system can be really expensive. On the other hand work costs are lower when building with concrete elements but with CLT, the building is built much faster and therefore it can make profit faster.

Language

Finnish

Pages 20

Appendices 3

Pages of Appendices 8

Keywords

CLT, concrete frame, quotation

## Sisältö

1	Johdanto.....	5
1.1	Tausta .....	5
1.2	Tavoite.....	5
1.3	Rajaus .....	5
1.4	Toimeksiantaja .....	6
2	Puurunkorakentaminen.....	6
2.1	Kantavat rakenteet puusta .....	7
2.2	CLT rakennusmateriaalina .....	8
2.3	CLT:n palotekniset ominaisuudet .....	9
2.4	CLT:n lujuus .....	10
3	Paloturvallisuus .....	10
4	Vertailukohde .....	11
5	Kohde CLT-runkoisena .....	12
6	Muodostuvat kustannukset .....	14
6.1	Betonirakenteet .....	14
6.2	CLT-rakenteet .....	17
7	Kustannusvertailu .....	20
8	CLT-rakentamisen edut.....	22
9	Pohdinta.....	22
	Lähteet.....	25

## Liitteet

Liite 1	Vertailukohteen pohjaratkaisu ja teräsbetonielementtien sijainti
Liite 2	CLT-rakenteet
Liite 3	Ruduksen teräsbetonielementtitarjous

# 1 Johdanto

## 1.1 Tausta

Tämän työn toimeksiantaja on kiinnostunut puurakentamisesta ja haluaa tulevaisuudessa käyttää enemmän puuta rakennusmateriaalina. Työssä verrataan toteutuneen betonielementtirakennuksen materiaali- ja työkustannuksia CLT-elementein toteutettavan rakennuksen kustannuksiin, sekä pohditaan CLT-rakentamisen etuja. Vertailukohteena on vuonna 2012 valmistunut kaksikerroksinen asuinkerrostalo, jonka kantava runko on toteutettu betonielementeistä ja väli- ja yläpohja paikalla valettuna. Tässä työssä käsitellään tehtaalla valmistettuja, esityöstettyjä suurelementtejä. Tämä opinnäytetyö toimii myös yleiskatsauksen antavana tietopakettina CLT-elementtirakentamiselle pienkerrostalokohteissa. Toimeksiantaja halusi kustannusarvion siitä, kuinka paljon runkovaiheen kustannukset olisivat muuttuneet, jos jo rakennetun kerrostalon kantava runko sekä väli- ja yläpohja olisi toteutettu CLT-elementein. Yritys antoi käyttöön kerrostalon rakennepiirustukset sekä kohteen materiaali- ja kokonaiskustannukset kustannusvertailua varten.

## 1.2 Tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on saada suuntaa antava kustannusarvio siitä, kuinka paljon jo rakennetun kohteen kantavan rungon kustannukset (kantavat seinät ja väli- ja yläpohja) olisivat muuttuneet teräsbetonielementtirunkoon verrattuna, mikäli vastaavat rakenteet olisi toteutettu CLT-elementteinä.

## 1.3 Rajaus

Työssä tutkitaan eri runkomenetelmien kustannuseroja ja CLT-rakentamisen tuomia hyötyjä. Tarvittavat rakennekuvat saatiin käyttöön suunnittelutoimistolta ja työn tilaajalta. Toimeksiantaja halusi asettaa painon materiaalien kustannusvertailuun, mutta piti myös tärkeänä työkustannuksia ja puurakentamisen mahdollisia etuja.

## 1.4 Toimeksiantaja

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on vuonna 1982 perustettu PK-yritys Asennusliike J. Mononen Oy. Yritys työllistää täyspäiväisesti noin 8 alakattoasentajaa, parhaimmillaan noin 30 asentajaa. Yritys toimii Pohjois-Karjalan alueella, pääasiassa Joensuussa. Vuonna 2004 yritys laajensi toimenkuvansa hoiva-alalle ja perusti ensimmäisen yksityisen hoitokotinsa, hoitokoti Helmen, Joensuun Kiihtelysvaaraan. Vuonna 2010 yritys rakensi toisen hoitokodin Joensuun Rantakylään ja laajensi tätä vielä vuonna 2012. Vuonna 2014 Asennusliike J. Mononen Oy rakensi kolmannen hoivakotinsa sekä 16-huoneistaisen kaksikerroksisen kerrostalon Joensuun Rantakylään (edellisen hoivakodin viereen), joka on tämän opinnäytetyön vertailukohde. Tällä hetkellä hoivapaikkoja on yhteensä 110. Hoivapuoli työllistää täyspäiväisesti noin 120 työntekijää.

## 2 Puurunkorakentaminen

Puu rakennusmateriaalina on miellyttänyt suomalaisia kautta aikojen. Puu on hyvin monipuolinen rakennusmateriaali, joka sopii erinomaisesti Suomen olosuhteisiin. Sitä voidaan käyttää ympäri vuoden ja se toimii niin runko- kuin pintarakenteissakin sekä myös lämmöneristeenä. [1, 8.]

Puun käyttö rakentamisessa perustuu sen hyviin ominaisuuksiin. Puu on suhteellisen kevyt materiaali ja sillä on hyvät rakennusfysikaaliset ominaisuudet ja se on helposti työstettävä, minkä takia sitä voidaan liittää toisiinsa monin eri liitoksien ja siitä saadaan monen muotoisia rakennelmia, joita muilla materiaaleilla on mahdoton tai vaikea toteuttaa. Puu on taloudellista, sitä on Suomessa kaikkialla saatavana eikä se ole ihmisen terveydelle haitallista. Puu on ympäristöystävällistä, sillä se voidaan palauttaa luontoon sitä saastuttamatta. [1, 8.]

Kun runkorakenteissa käytetään puuta, täytyy jo suunnitteluvaiheessa ottaa huomioon monia asioita. Rakennuksen sijainti, käyttötarkoitus, korkeus, rakenteiden jännevälit, ääneneristävyys ja paloturvallisuus ovat asioita, jotka määräävät pitkälti millaisia runkoratkaisuja on mahdollista käyttää. Kun runko rakennetaan puusta, ovat rakenteet totuttua paksumpia, jotta runkoon saadaan tarvittavat vahvuudet ja lujuudet. [3, 3-6.] Esimerkiksi puukerrostaloissa kerroskorkeus on yleensä 3100 mm tai 2300 mm (vertailukohteessa

kerrokorkeus on 3000 mm), jotta rakennusmääräyskokoelma G1:n vaatima 2500 mm huonekorkeus on mahdollinen [2, 62]. Ennen kaikkea puurunkoisen rakennuksen rakentaminen paloturvalliseksi on asia, mikä vaikuttaa rungon rakenteeseen. [3, 4.] Vaativuutta puurakentamiseen tuovat myös puun kosteuseläminen, painuma, lahoamisalttius ja materiaalin anisotrooppisuus eli ominaisuuksien erilaisuus pituus- ja poikkisuunnissa [1, 8].

Suomessa puun käyttöä suurimittakaavaisessa rakentamisessa rajoittavat erilaiset rakentamismääräykset. Esimerkiksi 1800-luvulta asti olevat määräykset estivät pitkään kaksikerroksisen puukerrostalon rakentamisen. 1990-luvulla Suomen liityttyä Euroopan unioniin, alkoi Suomessa puurakentamisen koevaihe, mikä mahdollisti palomääräysten yhtenäistämistavoitteet EU:n kanssa. [2, 16.]

## **2.1 Kantavat rakenteet puusta**

Kantavat ja ei-kantavat seinät ovat periaatteeltaan samanlaisia. Tolpparakenteisessa seinässä seinärakenne koostuu runkotolpista, joita sitovat ylä- ja alasidepuu sekä levytysmateriaali. CLT-rakenteisessa seinässä edellä mainittuja asioita ei välttämättä erikseen tarvita, koska CLT-rakenteet ovat jo itsessään jäykkiä ja tukevia. Eristeen laadun ja määrän määrittää seinän tarkoitus. [2, 42.] Kantavien ja osastoivien rakenteiden tulee täyttää rakennusmääräysten vaatimat mitoitusehdot, kuten palomitoitus ja äänenläpäisemättömyys, sekä niiden tulee kestää niihin kohdistuvat rasitukset.



Kuva 1. Havainnekuva rankarakenteisesta puurungosta [2, 41]

Välipohjissa täytyy palo- ja äänivaatimusten lisäksi huomioida taipuma ja värähtely. Rungon paksuuden määrittävät rungon tarkoitus sekä siihen kohdistuvat kuormitukset ja palotekniset vaatimukset. Välipohjarakenne voidaan myös toteuttaa rankarakenteisena palkkivälipohjana (kuva 1), CLT-elementeistä tai esimerkiksi kotelo- tai ripalaattana. Kantavuuteen ja fysikaalisiin ominaisuuksiin vaikutetaan eri materiaaleilla runkorakenteissa, rungon paksuudella, eristetyypeillä ja määrällä. Puurunkoinen rakenne ei tarkoita, että rakennusmateriaalina käytetään ainoastaan pelkkää puuta vaan esimerkiksi välipohjan jänneväliä ja ääneneristävyyttä saadaan nostettua käyttämällä rakenteessa esimerkiksi betonia, jolloin puhutaan niin sanotusta hybridirakenteesta. [2, 40, 42, 46–62.]

## 2.2 CLT rakennusmateriaalina

Jo vuosien ajan CLT-tekniikkaa (Cross laminated timber) on käytetty onnistuneesti ympäri Eurooppaa kaikenlaisissa rakennuskohteissa. CLT-massiivipuulevyistä voidaan toteuttaa eri rakenteet maanpäällisistä rakenteista yläpohjaan.[2, 34–35.]

CLT-levy on useista, useimmiten kolmesta seitsemään, kerroksittain ristiin liimatuista puulevyistä koostuva levyrakenne (kuva 2). Ristiin laminoidut massiiviset puulevyt antavat levyille hyvät fysikaaliset ominaisuudet ja toimivat rakenteen kantavana pysty- ja vaakaelementtinä mikä mahdollistaa sen käytön useissa eri rakenteissa. CLT-rakenne toimii jo itsessään kantavana ja jäykistävänä rakenteena, höyrysulkuna ja antaa raken-



teelle valmiiksi jonkin verran lämmöneristävyttä. CLT:ssä kantavien rakenteiden pinnat voidaan mahdollisesti jättää näkyviin, jos kohteen palotekniset vaatimukset sen sallivat, jolloin se ei tarvitse erikseen pintaverhousta. CLT:n monipuolisuus tekee siitä kilpailukykyisen erityisesti vaativissa kohteissa. [2, 34–45.] Rakenteissa tulisi pyrkiä käyttämään mahdollisimman suuria CLT-levyjä (maksimikoko 2,95 m x 16 m), jolloin lujuus säilyy erinomaisena ja liitosten määrä on pieni, sekä työn eteneminen nopeaa [6]. CLT-levyn minimipaksuus on 60 mm ja maksimi paksuus 400 mm [8].



Kuva 2. CLT-levy koostuu ristiinliimatuista massiivipuulevyistä [2, 44]

### 2.3 CLT:n palotekniset ominaisuudet

Massiivipuun palotekniset ominaisuudet ovat luultua parempia. Jotta puu syttyy, on puun sisältämän veden ensin haihduttava. CLT:ssä kosteuspitoisuus on 12 %. Puurakenteiden käyttäytyminen palon sattuessa on myös laskettavissa ja ennustettavissa. Kun puu palaa, sen pintaan muodostuva hiilikerros suojaa CLT-kerroksia, mikä hidastaa rakenteiden romahtamista. [9.]

Puun saavuttaessa +100 °C, siihen kemiallisesti sitoutunut vesi alkaa höyrystyä, jonka jälkeen puun terminen pehmeneminen alkaa. Terminen pehmeneminen alkaa noin 180 °C:ssa ja saavuttaa maksiminsa 320–380 °C. Yleensä puu syttyy, kun lämpötila saavuttaa 250–300 °C, riippuen siitä, kuinka kauan puu on ollut lämmölle alttiina. Puun palaessa sen pinta hiiltyy noin 0,8 mm minuutissa. Hiiltynyt suojakerros hidastaa puun lämpenemistä ja palon etenemistä massiivipuulevyissä. Koska puun käyttäytyminen palon

sattuessa on laskettavissa ja ennustettavissa, saadaan rakenteiden palomitoitus suunniteltua tarkasti [10].

## 2.4 CLT:n lujuus

Ristiin liimattujen puulevykerrosten ansiosta kuormat jakautuvat kahteen suuntaan, mikä tekee CLT-levystä rakenteellisesti erittäin lujan. Lujuutensa ansiosta tilat voidaan suunnitella uudessa valossa: rakenteista saadaan totuttua puurunkoista rakennetta ohuemmat ja tiloja päästään suunnittelemaan joustavammin. Käytettäessä CLT:tä rakennusmateriaalina, ei rakenteita tarvitse jäykistää niin paljoa, koska CLT toimii jo itsessään jäykistävänä rakenteena [11].

## 3 Paloturvallisuus

Yhteiskunta on velvollinen turvaamaan kansalaisiaan, jonka takia eri viranomaisille on määritelty ohjeenanto- ja valvontavelvoitteita myös rakennusten paloturvallisuuden toteutumisesta. [4, 9–13.] Rakennukset jaetaan kolmeen eri paloluokkaan: P1:een, P2:een ja P3:een riippuen rakennuksen käyttötarkoituksesta [5, 5]. Suomessa puurunkoiset asuinkerrostalot (maksimissaan 8-kerroksiset) kuuluvat luokkaan P2 ja kaksikerroksiset puuasuinrakennukset paloluokkaan P3 [2, 136]. P1-paloluokan rakennuksien tulee pysyä sortumattomina palon sattuessa koko palon ajan [5, 10]. Viranomaiset määrittävät rakennuksen paloluokan arvioimalla ja tarkastelemalla tulevaa rakennusta kolmesta eri näkökulmasta: henkilöturvallisuus, omaisuusvahinkojen torjunta ja ympäristönsuojeluvaatimus. [4, 12–13.] Paloturvallisuutta ja paloluokkia käsitellään Suomen rakentamismääräyskokoelmassa E1 [4, 9].

Henkilöturvallisuuden takaamiseksi täytyy rakenteista suunnitella sellaiset, että palon sattuessa ne kestävät tarvittavan ajan eikä palo lähde leviämään ympäristöön ja aiheuta näin vaaraa ulkopuolisille. Ihmisten on päästävä poistumaan turvallisesti rakennuksesta ja sammutus- ja pelastustehtävissä olevien henkilöiden tulee voida pelastaa rakennuksessa olevat henkilöt, estää paloa leviämästä ja sammuttaa palo ilman, että joutuvat itse alttiiksi vaarallisille olosuhteille. Omaisuusvahinkojen välttämiseksi rakenteet täytyy mitoittaa siten, ettei rakennus sorru palon sattuessa. Myös rakennuksen ja sitä ympäröivien rakennusten pintamateriaalien turvaaminen on huomioitava, jotta palon aiheut-

tamat vauriot saadaan minimoitua ja leviäminen estettyä. Ympäristön suojaamisella puolestaan tarkoitetaan ympäristön puhtauden, kulttuuriarvojen ja luonnon suojaamista. [4, 12–13.]

Paloturvallisuutta voidaan parantaa rakenteiden oikealla mitoituksella, koteloimalla palolle alttiit rakenteet, osastoimalla rakennus eri palo-osastoihin ja varustamalla rakennus automaattisella vesisammutusjärjestelmällä sekä valitsemalla paloturvallisia eli niin sanottuja palamattomia ja savuamattomia rakennusmateriaaleja [3, 136]. Massiivipuisissa rakenteissa on yleisesti luultua parempi palonkesto. Palon sattuessa puun pinta hiiltyy ja suojaa sisäkerroksia vaurioilta, kun taas teräs- ja betonirakenteet vääntyilevät ja sortuvat, kun lämpötila on kohonnut riittävän suureksi [6].

#### 4 Vertailukohde

Tämän opinnäytetyön vertailukohteena on vuonna 2013 valmistunut betonirunkoinen noin 1000 neliömetrin kokoinen kaksikerroksinen asuinkerrostalo (kuva 3). Rakennuksessa on 18 asuinhuoneistoa, jotka on jaettu yhtä suureen määrään yksiöitä ja kaksioita ylä- ja alakertaan. Jokaisessa asunnossa on oma parveke. Rakennuksessa on myös hissi, väestönsuoja ja yhteiset saunatilat. Rakennuksen kantavina rakenteina toimivat huoneistojen väliset seinät, käytävän seinät, päätyseinä sekä saunatilan seinä. Kohteen rakentaminen aloitettiin keväällä 2009 ja se valmistui alkuvuodesta 2010. Rakennus kuuluu paloluokkaan P2.



Kuva 3. Vertailukohde. (Kuva: Lauri Mononen)

Kantavina seininä toimivat huoneistojen väliseinät ja käytävän seinät sekä talon päädyt. Huoneistojen väliset seinät ja käytävän seinät ovat 200 mm paksuja, rakennuksen päätyseinä 150 mm paksuja ja saunatilan osastoiva seinä 160 mm paksuja teräsbetonielementtejä. Päätyseinä ja saunatilan osastoiva seinä ovat ohuempia, koska kyseisille seinille ei vaadita samaa ääneneristävyyttä ja kantavuutta kuin huoneistonvälisille seinille. Seinien näkyvät sisäpinnat on tasoitettu ja maalattu, sekä osittain tapetoitu. Kaikki seinät ovat REI 30 ja täyttävät täten kohteen vaatimukset palon- ja ääneneristävyydeltään. REI 30 tarkoittaa, että palon sattuessa runko säilyttää ominaisuutensa kantavuuden, tiiveyden ja eristävyyden suhteen 30 minuutin ajan. (Rungon kantavuus R, tiiveys E, eristävyys I ja 30 aika minuutteina) [5, 5]. Kaikki kohteen elementit ovat kuorielementtejä ja esimerkiksi päädyn lämmöneristys ja julkisivuverhous tehtiin paikan päällä.

Välipohja on 240 mm paksu paikalla valettu teräsbetonilaatta, jonka pinnassa on noin 20 mm:n tasoitevalu. Tasoitevalun päälle on asennettu askelsuojamatto, jonka päällä näkyvänä pintana on laminaatti. Välipohjan alapinta on rapattu värillisellä kalkkisementttilaastilla, mikä jää näkyviin alakerran huoneistojen kattopinnaksi.

Myös yläpohja on 240 mm paksu paikalla valettu teräsbetonilaatta. Yläpohjan alapinta on rapattu värillisellä kalkkisementttilaastilla, koska se jää huoneen katon näkyväksi pinnaksi. Yläpohjan päällä on kattotuolit, yläpohjan eristeet ja muut vesikattorakenteet.

Jokaisessa asunnossa on oma parveke ja vierekkäisten parvekkeiden välissä on parvekepielielementit. Parvekelaattaelementit ovat 285 mm paksuja ja pielielementit 200 mm paksuja. Parvekelaatoissa on käytetty teräksenä ruostumatonta terästä sääälttiuden takia. Kohteen elementit on esitetty liitteessä numero 1.

## **5 Kohde CLT-runkoisena**

Kaikki mainitut CLT-rakenteet on saatu Puuinfon sivuilta [12] ja eri materiaalipaksuudet on valittu yhteistyössä CLT-rakenteisiin perehtyneiden suunnittelijoiden kanssa. Tässä opinnäytetyössä käytetyt CLT-rakenteiden paksuudet ovat hyvin tyypillisiä vastaavanlaisissa kohteissa. Kohteeseen ei ole erikseen mitoitettu CLT-rakenteita.

Seuraavissa esitetyissä seinä-, väli- ja yläpohjarakenteissa vain kantava runko on mukana kustannusvertailussa. CLT-rakenteisena kantavina seininä ovat huoneistojen väliset seinät ja käytävän seinät kuten alkuperäisessäkin kohteessa. Seinärakenne koostuu kahdesta 80 mm paksusta CLT-levystä joiden välissä on 50 mm paksu mineraalivilla äänieristystä varten. CLT-levyjen pinnassa on molemmin puolin 13 mm paksu kipsilevy palosuojana ja kyseisen seinärakenteen kokonaispaksuus on 236 mm. Rakennuksen päädyissä olevat seinät ovat rakenteeltaan erilaisia, koska kyseessä on ulkoseinärakenne. Kantava päätyseinä on 100 mm paksu CLT-levy, jonka näkyvänä pintana ja palosuojana on 13 mm kipsilevy. Seinään tulee lämmöneristeeksi 175 mm mineraalivillaa, jonka pinnassa on jäykkä tuulensuojalevy. Lisäksi tuulensuojan ja tiiliverhouksen väliin jätetään noin 40 mm tuuletusrako. Rakenteen lämmönläpäisykerroin eli U-arvo on 0,16 W/m<sup>2</sup>K (vertailuarvo 0,17 W/m<sup>2</sup>K). Ulkoseinärakenteet eivät erikseen tarvitse höyrysulkua, koska CLT-levy itsessään toimii höyrysulkuna. Kaikilla edellä mainituilla rakenteilla päästään riittäviin vaatimuksiin kantavuuden, äänieristävyyden ja paloluokan suhteen. Rakenteet ovat REI 30 hiiltymäluokituksen perusteella ja äänieristysluokka huoneistojen välisissä seinissä  $R'w \geq 55$  dB. Valitut CLT-seinärakenteet on esitetty liitteissä numero 2.

Välipohjan runkona on 160 mm paksu CLT-levy. Rungon yläpuolella on äänieristävä 50 mm kalkkikivirouhe mitä päällystää 30 mm paksu askelääntä eristävä villa. Villan päälle asennetaan valusuojakangas, jonka päälle valetaan 50 mm valukerros tuomaan rakenteelle massaa ja eristämään ääntä. Kyseinen valu mahdollistaa tilan lattialämmitykselle. Pintaverhoukseen on käytetty laminaattia. Kantavan rungon alapinnassa on 48 x 48 k400 koolaus sähköasennuksille ja kannattelemaan alakattoa. Pintamateriaalina on kaksi 13 mm kipsilevyä tai yksi 15 mm palokipsi, mitkä kiinnitetään jousirangoin äänieristävyyden takia. Rakenteen kokonaispaksuus on 534 mm. Rakenteella päästään vaadittavaan paloluokkaan REI 30 ja ääneneristävyyteen  $R'w \geq 55$  dB;  $L'n,w \geq 53$  dB.

Yläpohjan runko koostuu 160 mm paksusta CLT-levystä. CLT-levyn yläpuolella on 400 mm mineraalivillaa ja kattoristikot 42 x 550 k900 jaolla. Kattoristikon yläpinnassa on 50 mm paksu jäykkä tuulensuojavilla ja noin 100 mm tuuletusrako. Yläpohjan lämmöneristeitä tai kattomateriaaleja ei ole otettu mukaan hintavertailuun, koska ne eivät ominaisuuksiltaan vaikuta rakenteen kantavuuteen. Väli- ja yläpohjarakenteet ovat esitetty liitteessä numero 2.

## 6 Muodostuvat kustannukset

### 6.1 Betonirakenteet

Betonielementtien yksikköhinnat on saatu betonielementtien toimittajalta Rudukselta. Kyseessä on vuoden 2013 hinnat. Materiaalikustannuksiin ei ole erikseen eritelty elementtien raudoitusta ja sähkötarvikkeiden osuutta, vaan kaikki sisältyy annettuun neliöhintaan (€/m<sup>2</sup>) ilman arvonlisäveroa. Arvonlisäverolliset hinnat ovat esitetty erikseen taulukoissa. Neliöhinta ei sisällä elementin asennuksessa muodostuvia työkustannuksia tai elementtien kuljetusta, vaan ne huomioidaan erikseen laskelmissa. Huoneiden väliset seinät, käytävän seinät, pääty ja saunatilän seinä ovat kaikki samanlaisia betonisia kuorielementtejä, mutta paksuus vaihtelee. Parvekelaattaelementti ja parvekkeen pieliementit voivat olla paksuudeltaan, pintakäsittelyltään tai raudoitukseltaan erilaisia. Rakennuksen väestönsuoja on jätetty pois kustannusvertailusta, koska väestönsuojan toteuttaminen CLT-rakentein olisi liki mahdotonta.

Suurin neliömäärä muodostuu käytävän- ja huoneiden seinäelementeistä (33 kappaletta) joiden pinta-ala on yhteensä 498 neliötä. Kyseisen betonielementin neliöhinta on 70 euroa, jolloin kokonaishinnaksi näille elementeille tulee 34 860 euroa. Parvekelaattaelementtejä on yhteensä 16 kappaletta ja 131 neliometriä. Parvekelaattaelementillä on korkeampi hinta betonin määrän ja erilaisen raudoituksen takia, 170 euroa neliölle. Parveke-elementtien kokonaishinnaksi tulee 22 270 euroa. Toisessa päädyssä elementtejä on yhteensä 10 kappaletta mikä tekee yhteensä 106 neliometriä betonielementtipintaa, jonka neliöhinnaksi on tehtaalta annettu 60 euroa ja kokonaishinnaksi tulee 6360 euroa. Parvekepieliementtejä on yhteensä 8 kappaletta ja 46 neliötä, jonka neliöhinta on 95 euroa. Näiden kokonaishinta on 4 370 euroa. Toisessa päädyssä on yhteensä kaksi kappaletta ulkoseinäelementtejä ja seinäpintaa muodostuu yhteensä 26 neliötä. Neliöhinta on 62 euroa, ja kokonaishinnaksi on annettu 1612 euroa. Päätyseinäelementit ovat kuorielementtejä, joten kustannuksissa ei ole mukana kuin kantava betonirunko. Lämmöneristeet on jätetty huomioimatta, koska ne on tehty erikseen paikanpäällä. Kaikkien elementtien kokonaishinnaksi muodostui 69 472 euroa ilman arvonlisäveroa. Rahdin hinta Ruduksen Kiteen tehtaalta Joensuuhun teräsbetonielementtien osalta on 3 311 euroa ilman arvonlisäveroa. Rahti maksaa 9 euroa 1 000 kilogrammaa kohden. Teräsbetonielementti painaa noin 2 400 kilogrammaa kuutiolta ja yhteensä teräsbetonielementtien

tilavuus oli noin 153 kuutiota. Rahdin kustannukset ovat esitetty taulukossa numero 8. Taulukossa numero 1 on esitetty teräsbetonielementtien kustannukset. Liitteessä numero 3 on esitetty Rudukselta saatu hyväksytty tarjous ja teräsbetonielementtien yksikköhinnat.

Taulukko 1. Teräsbetonielementtien kustannukset

<b>Teräsbetonielementit</b>	<b>Kpl</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>€/m<sup>2</sup></b>	<b>[€], Alv 0 %</b>	<b>[€], Alv. 24 %</b>
Päätyseinäelementit	10	106	60	6 360	7 886
Pienempi pääty	2	26	62	1 612	1 999
Huoneostojenväliset seinät / käytävän seinät	33	498	70	34 860	43 226
Parvekelaattaelementit	16	131	170	22 270	27 615
Parvekepieliementit	8	46	95	4 370	5 419
<b>Yhteensä [€]</b>				<b>69 472</b>	<b>86 145</b>

Vertailukohteen betonielementtien asennustyöt maksoivat 200 euroa kappaleelta, hinta on laskettu rakentamisen jälkeen. Elementtien asennustyöhinta sisältää tarvittavat koneet, kalustot, työn ja asennusvalut. Kohteessa on yhteensä 69 asennettavaa betonielementtiä mikä tekee työn kokonaiskustannukseksi 13 800 euroa ilman arvonlisäveroa. Taulukossa numero 2 on esitetty elementtien asennuskustannukset, sekä yhteenveto kokonaiskustannuksista.

Taulukko 2. Teräsbetonielementtien asennus- ja kokonaiskustannukset

<b>Elementtien asennuskustannukset [€]</b>		
200 € / elementti kpl	69 kpl	
<b>Alv. 0 %</b>		<b>13 800</b>
<b>Alv. 24 %</b>		<b>17 112</b>
<b>Työ ja materiaalit yhteensä [€]</b>		
<b>Alv. 0 %</b>		<b>83 272</b>
<b>Alv. 24 %</b>		<b>103 257</b>

Kerrostalossa välipohjan pinta-ala on 500 neliötä ja yläpohjan pinta-ala 500 neliötä, eli yhteensä paikallavalettujen rakenteiden pinta-alaa on 1000 neliötä. Väli- ja yläpohjan neliökustannus materiaaleineen, töineen ja tarvittavine kalusteineen on 115 euroa neliöltä. Näin ollen väli- ja yläpohjan hinnaksi muodostuu 115 000 euroa ilman arvonlisäveroä. Taulukossa numero 3 on esitetty väli- ja yläpohjan kustannukset.

Taulukko 3. Väli- ja yläpohjan kustannukset

Osa	Tiedot	m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	Yhteensä [€], Alv. 0 %	Yhteensä [€], Alv. 24 %
Välipohja	Teräsbetonilaatta hl=240	500	115	57 500	71 300
Yläpohja	Teräsbetonilaatta hl=240	500	115	57 500	71 300
<b>Yhteensä [€]</b>				<b>115 000</b>	<b>142 600</b>

Väli- ja yläpohjan sekä betonielementtien kokonaiskustannukset ilman arvonlisäveroä ovat yhteensä 198 272 euroa. Elementtien osuus kokonaishinnasta on 27,6 % ja väli- ja yläpohjan osuus 72,4 %. Kokonaiskustannukset on esitetty taulukossa numero 4. Hinnat on saatu Rudus Oy:ltä ja Kustannuslaskenta Seppo Jehkonen & kumpp:lta. Toimeksiantajalla ei ollut erikseen väli- ja yläpohjan valun työkustannuksia saatavilla, joten vertailussa käytettiin kokonaiskustannuksia.

Taulukko 4. Teräsbetonirungon kokonaiskustannukset

Osa	Materiaalikustannukset [€]	Työkustannukset [€]	Yhteensä [€], Alv. 0 %	Yhteensä [€], Alv. 24 %
Betonielementit	69 472	13 800	83 272	103 257
Paikalla valettu välipohja	57 500		57 500	71 300
Paikalla valettu yläpohja	57 500		57 500	71 300
<b>Yhteensä [€]</b>			<b>198 272</b>	<b>245 857</b>



## 6.2 CLT-rakenteet

CLT-lamellirakenteiden hinnat on saatu sekä Crosslamilta että Puumerkiltä ja ne vastaavat tämän päivän CLT-levyjen hintoja. Hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa tai kuljesta. Hinnat sisältävät tehtaalla tehdyt perustyöt kuten suorat sahaukset, puolipontit, sähkö- ja lvi-uritukset ja upotukset sekä kolot pilareille ja palkeille. Kohteeseen ei suunniteltu erikseen betonielementtejä vastaavia CLT-elementtejä, vaan eri rakenteista laskettiin neliöhinnat materiaaleille ja suuntaa antava elementin asennushinta saatiin Puurakentajat Oy:ltä. Muiden materiaalien kuin CLT-levyjen hinnat on saatu tarkastelemalla ja vertailemalla eri rautakaupoissa annettuja materiaalihintoja.

Koska kyseessä on teoreettinen vertailu, ei CLT-elementtien todellista korkeutta, pituutta ja määrää voida tietää. Vertailussa käytettiin CLT-seinäelementtien kokona 2,5 m x 6 m ja väli- ja yläpohjaelementtien kokona 2,95 m x 16 m, mitkä ovat hyvin perinteistä CLT-elementtikokoja kyseisissä rakenteissa pienkerrostaloissa. Parveke-elementit ja parvekkeiden pieliementit ovat samankokoisia kuin todellisessa kohteessakin. Parvekepieliementtien mitat ovat 2,675 m x 1,89 m ja parvekelaattaelementtien mitat ovat 4,29 m x 1,91 m. Kyseisillä mitoilla elementtien määräksi saatiin 33 kappaletta huoneistonvälistä seinäelementtiä ja käytävänseinäelementtiä, 9 kappaletta päätyseinäelementtejä (molempiin päätyihin rakenteeltaan samanlaiset elementit), 11 kappaletta välipohjaelementtejä ja 11 kappaletta yläpohjaelementtejä. Parveke-elementtejä on yhteensä 16 kappaletta ja parvekepieliementtejä 8 kappaletta, eli yhteensä 88 kappaletta CLT-elementtejä. Kyseessä on teoreettiset elementtimäärät.

Seuraavissa laskelmissa on käytetty kappaleessa 5.1 mainittuja rakenteita. Hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa, verollinen hinta on esitetty taulukoissa. Elementeissä on huomioitu ainoastaan kantavat rakenteet ja paloteknillisesti vaikuttavat materiaalit, eli esimerkiksi ulkoseinäelementit eivät sisällä lämmöneristystä, vaan ainoastaan rungon kantavan osuuden. Huoneistojen väliseinäelementit ja käytävän seinäelementtien kokonaismäärä on 33 kappaletta, jolle muodostui hinnaksi 132 euroa neliölle. Kokonaishinnaksi muodostui yhteensä 58 764 euroa. Päätyseinien CLT-elementtien määrä on 9 kappaletta ja näille muodostui neliöhinnaksi 63 euroa ja kokonaishinnaksi yhteensä 8 303 euroa. Päätyjen elementtihinta ei sisällä lämmöneristeitä tai julkisivuverhousta, vaan ainoastaan kantavan rungon ja sisäpinnassa olevan kipsilevyn. Välipohjaelementtejä on yhteensä 11 kappaletta. Pelkälle CLT-rakenteisella 160 mm paksulla välipohjaelementillä on ne-

liöhintana 78 euroa ja kokonaishintaa 39 000 euroa. Jos välipohjan äänieristykselliset rakennekerrokset huomioidaan, muodostuu materiaalien osalta neliö hinnaksi 144 euroa ja kokonaishinnaksi 68 580 euroa. Yläpohjassa käytettäviä CLT-elementtejä on yhteensä 11 kappaletta joilla on neliöhintana 78 euroa ja kokonaishinnaksi tulee 39 000 euroa. Yläpohjan kustannuksiin ei ole huomioitu CLT-levyn yläpuolisia lämmöneristeitä. Parvekepielielementtejä on yhteensä 8 kappaletta ja näille neliöhintana on 59 euroa, kokonaishinta 2 714 euroa. Parvekelaattaelementtejä on 16 kappaletta ja neliöhintana on 78 euroa ja kokonaishinta 10 218 euroa. Jos huomioidaan pelkästään välipohjan CLT-levy ilman muita välipohjan materiaaleja, elementtien kokonaishinnaksi muodostui 157 998 euroa. Kun kaikki välipohjan eri rakenteet otetaan vertailuun mukaan (mikä antaa todellisemmän vertailuarvon), muodostuu kokonaishinnaksi 187 578 euroa. CLT-elementtien hinnat ovat esitetty taulukossa numero 5. CLT-elementtien rahti Kuhmon tehtaalta Joensuuhun on 3 310 euroa. Yhteen kuormaan mahtuu CLT-elementtejä vaakatasoon pakattuna 50 kuutiota. Kohteen CLT-elementtien tilavuus on yhteensä noin 370 kuutiota, jotka saadaan toimitettua työmaalle 7,356 kuormalla eli seitsemän täyttä kuormaa ja yksi puolikas kuorma. Yhden kuorman hinta Kuhmosta Joensuuhun on 400 – 500 euroa. Tässä vertailussa hintana käytettiin 450 euroa per kuorma. Hinnat perustuu Crosslamilta saatuihin tietoihin. Rahtikustannukset ovat esitetty taulukossa numero 8.

Taulukko 5. CLT-elementtien kustannukset

CLT elementit	kpl	m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	[€], Alv. 0 %	[€], Alv. 24 %
Huoneistojenväliset seinät / käytävän seinät	33	498	132	58764	72 867
Päätyseinät	9	132	63	8 303	10 295
Parvekelaatat	16	131	78	10 218	12 670
Parvekepielet	8	46	59	2 714	3 365
Välipohja (CLT levyrunko)	11	500	78	39 000	48 360
Välipohja (koko rakenne)			144	68 580	85 039
Yläpohja	11	500	78	39 000	48 360
<b>Yhteensä [€] (välipohja CLT runko)</b>				<b>157 998</b>	<b>195918</b>
<b>Yhteensä [€] (välipohja koko rakenne)</b>				<b>187 578</b>	<b>232 597</b>

CLT-elementin asennustyöt maksavat 100 euroa kappaleelta ilman arvonlisäveroa. Hinta on keskiarvohinta CLT-elementtien pystytykselle, mikä perustuu Puurakentajat Oy:n omiin kokemuksiin CLT-elementtien asennuksesta. Hintaan sisältyy tarvittavat koneet, kalusto ja työmäärä. CLT-elementtejä on yhteensä 88 kappaletta mikä tekee elementtien asennuskustannukseksi 8 800 euroa. Välipohjan työosuus elementtien asennustyön lisäksi on 8 815. Näin ollen työkustannuksia muodostuu kaiken kaikkiaan yhteensä 17 615 euroa. Taulukossa numero 6 on esitetty yhteenveto työkustannuksista.

Taulukko 6. CLT elementtien asennuskustannukset

<b>Elementtien asennuskustannukset [€]</b>	
	100 €/ elementti kpl
	88 kpl
<b>Alv. 0 %</b>	<b>8 800</b>
<b>Alv. 24 %</b>	<b>10 912</b>
<b>Välipohjan työkustannukset [€]</b>	
<b>Alv. 0 %</b>	<b>8 815</b>
<b>Alv. 24 %</b>	<b>10 930</b>
<b>Työkustannukset yhteensä [€]</b>	
<b>Alv. 0 %</b>	<b>17 615</b>
<b>Alv. 24 %</b>	<b>21 842</b>

CLT-elementtien kokonaiskustannukset ovat yhteensä 205 193 euroa. Elementtien osuus kokonaishinnasta on 91,5 % ja työn osuus 8,5 %. Kokonaiskustannukset ovat esitetty taulukossa numero 7.

Taulukko 7. CLT rungon kokonaiskustannukset

<b>Osa</b>	<b>Materiaalikustannukset [€]</b>	<b>Työkustannukset [€]</b>	<b>Yhteensä [€] alv. 0 %</b>	<b>Yhteensä [€] alv. 24 %</b>
<b>CLT elementit</b>	187 579	17 615	<b>205 193</b>	<b>254 440</b>

## 7 Kustannusvertailu

Taulukossa numero 8 on teräsbetonirungon ja CLT-rungon eri rakenneosien työ- ja materiaalikustannukset. Hinnoissa on esitetty erikseen arvonlisäveroton ja arvonlisäverollinen hinta.

Taulukko 8. Rakennuksen eri osien työ- ja materiaalikustannukset

Rakenne		TERÄSBETONI	CLT
Osa			
Seinät	Materiaali	42 832	67 067
	Työ	9 000	4 200
	<b>Yhteensä</b>	<b>51 832</b>	<b>71 267</b>
Välipohja	Materiaali	57 500	68 580
	Työ		9 915
	<b>Yhteensä</b>	<b>57 500</b>	<b>78 495</b>
Yläpohja	Materiaali	57 500	39 000
	Työ		1 100
	<b>Yhteensä</b>	<b>57 500</b>	<b>40 100</b>
Parvekelaatat	Materiaali	22 270	10 218
	Työ	3 200	1 600
	<b>Yhteensä</b>	<b>25 470</b>	<b>11 818</b>
Parvekepielielementit	Materiaali	4 370	2 714
	Työ	1 600	800
	<b>Yhteensä</b>	<b>5 970</b>	<b>3 514</b>
Rahti yhteensä [€] Alv. 0 %		<b>3 311</b>	<b>3 310</b>
Rahti yhteensä [€] Alv. 24 %		<b>4 106</b>	<b>4 104</b>
Yhteensä [€] Alv. 0 % (ei sisällä rahtia)	Materiaalikustannukset	184 472	187 579
	Työkustannukset	13 800	17 615
	<b>Yhteensä</b>	<b>198 272</b>	<b>205 194</b>
Yhteensä [€] Alv. 24 % (ei sisällä rahtia)	Materiaalikustannukset	228 745	232 598
	Työkustannukset	17 112	21 843
	<b>Yhteensä</b>	<b>304 863</b>	<b>315 506</b>

Teräsbetoniseinäelementtien yhteishinnaksi saatiin 83 272 euroa, josta työn osuus oli 13 800 euroa ja vastaavanlaiset CLT-elementit maksoivat 86 528 euroa, josta työn osuus oli 6 600 euroa. CLT-rakenteisten seinäelementtien kokonaiskustannukset tulivat vain 3 256 euroa kalliimmaksi. Pieni hintaero johtuu osin siitä, että CLT-elementtien asennus on huomattavasti nopeampaa. Paikalla valettu välipohja maksoi 57 500 euroa työkustannuksineen ja vastaavanlaiset CLT-elementit äänieristysrakenteineen maksoivat yhteensä 93 854 euroa, josta työn osuus oli 8 815 euroa. Yleensä CLT-rakenteinen välipohja on kustannuksiltaan kallein verrattuna muihin CLT-rakenteisiin, johtuen välipohjan useasta eri rakennekerroksesta ja niiden tekemiseen kuluva ajasta. Betonirakenteisen yläpohjan kustannukset olivat 57 500 euroa ja CLT-elementein rakennetun yläpohjan kustannukset 48 360 euroa, josta työn osuus oli 1 100 euroa. Betonisten parve-

kelaattojen hinnaksi muodostui 22 270 euroa ja vastaavanlaiset CLT-rakenteiset parvekelaatat maksoivat 12 670 euroa. CLT-rakenteisten parveke-elementtien matala hinta johtuu siitä, että parvekelaatat voidaan toteuttaa pidentämällä välipohjaelementtejä. Yhteensä betonirunko maksoi 198 272 euroa ja CLT-runko 205 194 euroa.

Tekemässäni vertailussa kyseisen kohteen teräsbetonirunko on halvempi, kuin jos se toteutettaisiin CLT-elementeistä. Teräsbetonirunko maksoi töineen ja materiaaleineen 198 272 euroa alv. 0 % ja 304 863 euroa alv. 24 % ja CLT-runko 205 194 euroa alv. 0 % ja 315 506 euroa alv. 24 %. CLT-rakenteinen runko töineen ja materiaaleineen maksaa 6 922 euroa enemmän alv. 0 % ja 10 643 euroa alv. 24 %.

## 8 CLT-rakentamisen edut

Suurin hyöty CLT-rakentamisessa on sen nopeus. Mittatarkat tehtaalla työstetyt CLT-elementit ovat huomattavasti nopeammat asentaa betonielementtiin verrattuna muun muassa pulttiliitosten ansiosta. [13.] Hyvin suunnitellut ja esivalmistellut CLT-elementit mahdollistavat rakentamisajan puolittamisen teräsbetonirunkoisen talon rakentamisaikaan verrattuna [2, 174]. CLT-elementit eivät tarvitse erikseen sisäpinnan verhousta, vaan ne voidaan jättää näkyviin, milloin saadaan kaunis puupintainen sisäpinta. CLT-elementti toimii myös samanaikaisesti kantavana rakenteena, höyrysulkuna, ääntä ja lämpöä eristävänä rakenteena ja on paloturvallinen runkoratkaisu sekä hengittävä ja terveellinen rakenne. Ristiin liimatun rakenteen ansiosta CLT-on jäykkä ja lähes värähtelemätön, jolloin rakennusvaiheessa runkoa ei tarvitse erikseen jäykistää. CLT-elementtien valmistus on huomattavasti ekologisempaa kuin normaalin betonielementin valmistus. Lähitulevaisuudessa ekologisuus tulee olemaan suuremmissa merkityksessä kaikkialla, siksi puurakentaminen on tässäkin näkökulmassa hyvä ratkaisu: puumateriaalin hukka on pieni, ja CLT voidaan valmistaa kotimaisesta nopeasti uusiutuvasta metsäpuusta. [13.]

## 9 Pohdinta

Tämän opinnäytetyön tutkimuksissa saatiin suuntaa antava kustannusarvio CLT-rakenteisen pienkerrostalon kantavan rungon kustannuksista betonirakenteiseen verrat-

tuna. CLT-elementtien hinnat on laskettu CLT-levyjä valmistavan tehtaan antamilla neliöhinnoilla ja tarkastelemalla eri rautakauppojen antamia hintoja eri materiaaleille.. Elementtien tarkat hinnat saadaan vain pyytämällä tarjousta tarkoilla elementtikuvilla. Tässä työssä on käytetty teoreettisia CLT-elementtikokoja, jotka eivät todennäköisesti vastaa kokoja, joita kohteeseen olisi käytetty oikeasti. Crosslam antoi CLT-lamellirakenteille hinnat, joita oli käytetty todellisessa samantapaisessa rakennuskohdessa ja elementtien asennuskustannukset saatiin Puurakentajat Oy:ltä. Molemmilla yrityksillä on kokemusta CLT-rakentamisesta, joten heiltä saadut hinnat ovat realistiset. Suurin hintaa vääristävä tekijä on todennäköisesti CLT-rakenteisen välipohjan muodostuneet kustannukset. Kyseisessä välipohjassa on paljon erilaisia rakenteita ja työvaiheita, joiden työkustannuksia oli vaikea arvioida.

Toimeksiantajalta saadun tiedon mukaan kohteen betonirakenteille tuli hintaa ilman arvolisäveroa 198 272 euroa, ja tämän työn laskelmien perusteella sama kohde CLT-rakentein maksaisi 205 194 euroa. CLT-rakenteet olisivat vain 6 922 euroa kalliimpia. Monesti puurunko voi olla hyvinkin edullinen, mutta puurunko aiheuttaa muita kustannuksia, joita ei tule betonirunkoisessa rakennuksessa. Puurunkoisen rakennuksen saattaminen paloturvalliseksi aiheuttaa suuria kustannuksia, esimerkiksi automaattinen sammutusjärjestelmä voi aiheuttaa suuriakin kuluja. Vaikka CLT-rakenteinen rakennus tulisikin kalliimmaksi, täytyy ajatella kokonaisuutta. Jos rakennus saadaan puolet nopeammin valmiiksi ja näin ollen aikaisemmin käyttöön, voi CLT:stä rakentaminen olla loppujen lopuksi edullisempi vaihtoehto.

Uskon että CLT-rakentaminen yleistyy nopeasti Suomessa. Joensuussakin on muutamia kohteita, missä olisi mahdollisesti käytetty CLT-rakenteita, mikäli kokonaiskustannukset olisivat halvemmat. Koska puurakentaminen on Suomessa vielä aluillaan ja siitä on vasta vähän kokemusta ja tietoa, eivät rakennusliikkeet välttämättä uskalla lähteä toteuttamaan kohdetta puusta. Onneksi puurakentaminen kehittyy koko ajan ja siitä saadaan lisää tietoa. Uskon että puurakentaminen yleistyy voimakkaasti myös Suomessa lähitulevaisuudessa. Myös erilaiset normit ja määräykset hidastavat ja vaikeuttavat puurakentamista Suomessa.

CLT:stä on toistaiseksi tietoa melko vähän, Puuinfo ja Stora Enso näyttäisivät olevan CLT-rakentamisen edelläkävijöitä ja heiltä onkin saatu parhaat ja kattavimmat tiedot

tähän opinnäytetyöhön. Opinnäytetyön aihe oli tekijälleen kiinnostava ja työn tekeminen oli mielekästä ja opettavaa. Jos omistaisin rakennusliikkeen, lähtisin jossain määrin kokeilemaan CLT rakenteita niiden helppouden takia. Työn tekemisen aikana opin paljon rakenteiden kustannuksista ja CLT rakenteista.



## Lähteet

1. Siikanen, U. Puurakentaminen. Tampere. 2008.
2. Tolppanen, J. Suomalainen puukerrostalo. Tampere. 2014
3. Laaksonen, E. Puurakentaminen ja paloturvallisuus. Helsinki. 1995
4. Aarnio M. Suomen rakennusinsinöörien liitto. Paloturvallisuus suunnittelu: oletettuun palokehitykseen perustuva suunnittelu ja ratkaisuesimerkit. Helsinki. 2003.
5. Ympäristöministeri. E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma, rakennusten paloturvallisuus. 2011  
[http://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1\\_2011-fi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf). Luettu 15.02.2016
6. Stora Enso. Buildin solutions, rakentamisen ratkaisut. 2012.
7. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Teollinen betonirakentaminen. Tampere. 1996.
8. Puumerkki. Rakentamisen ratkaisut CLT-elementit  
[http://www.puumerkki.fi/rakentamisen\\_ratkaisut/clt-elementit.html](http://www.puumerkki.fi/rakentamisen_ratkaisut/clt-elementit.html). Luettu 15.02.2016.
9. Stora Enso. Paloturvallisuus. 2013  
<http://www.clt.info/fi/tuote/tekniset-tiedot/paloturvallisuus/>. Luettu 15.02.2016
10. Puuinfo. palotekniset ominaisuudet.  
<http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/paloteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>. Luettu 15.02.2016
11. Stora Enso. Statiikka / lujuuslaskenta: kaikki mitä sinun tarvitsee tietää lujuuslaskennasta. 2013  
<http://www.clt.info/fi/tuote/tekniset-tiedot/statiikka-lujuuslaskenta/>. Luettu 15.02.2016
12. Puuinfo. P2-paloluokan max 2 krs asuin- ja työpaikkarakennuksen CLT-rakennetyypit.  
<http://www.puuinfo.fi/suunnitteluty%C3%B6kalut/p2-paloluokan-max-2-krs-asuin-ja-ty%C3%B6paikkarakennuksen-clt-rakennetyypit>. luettu 15.2.2016
13. Puurakentajat.fi. CLT-rakentamisen edut.  
<http://www.puurakentajat.fi/clt-talot/>. Luettu 4.3.2016

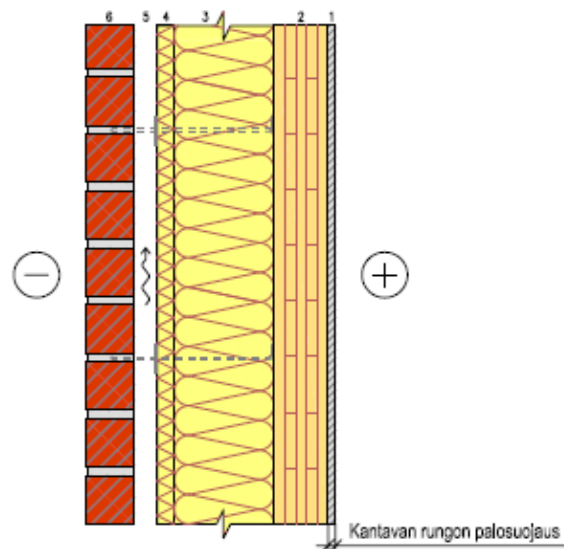




## CLT-rakenteinen ulkoseinä

	TYÖN NRO	TUNNUS
	PÄIVÄYS 2.1.2012	TEKIJÄ
RAKENNUSKOHTeen NIMI JA OSIte P2-paloluokan asuin- ja työpaikkarakennus 1 - 2 kerrosta		PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ Kantava ulkoseinä

1:10



US213	Uusiutuva	Uusiutumaton	Yhteensä
Luonnonvarojen kulutus	62 ... 78 kg/m <sup>2</sup>	234 kg/m <sup>2</sup>	295 ... 312 kg/m <sup>2</sup>
Energiakulutus	201 ... 244 MJ/m <sup>2</sup>	583 ... 764 MJ/m <sup>2</sup>	884 ... 1008 MJ/m <sup>2</sup>
Hilidioksidipäästöt			59 ... 63 kg/m <sup>2</sup>
Energiäsältö			800 ... 1020 MJ/m <sup>2</sup>
Sitoutuneen hiilidioksidin määrä			68 ... 87 kg/m <sup>2</sup>
Rakenteen massa			200 ... 213 kg/m <sup>2</sup>

NRO	TARKOITUS	VAATIMUS	ESIMERKKITUOTE / -MENETELMÄ	PAKSUUS
1	Stsäverhois Suojaverhois K2 10 Palosuojaus 15 minuutilla	B-e1, d0 *	Kipsilevy	13 mm
2	Lämmöneristys Kantava runko Jäykistävä levy Ilman- ja höyrynsulku **		CLT-levy RAK suunn. mukaan	95...121 mm
3	Lämmöneristys		Minaeraalivilla (kiinnitys tilistellä)	175 mm
4	Tuulensuoja		Jäykkä tuulensuojamateriaalivilla (kiinnitys tilistellä)	30 mm
5	Tuuletus		Rako	≥ 40 mm
6	Julkisivu		Tiili	≥ 85 mm

\*) D-e2, d2-luokan tuote mahdollinen, kun rakennus on sprittihattu.


\*\*) Mikäli CLT-levyn lamellit eivät ole syväkannattuja, käytetään CLT-levyn ja lämmöneristeen välissä erillistä ilman- ja höyrynsulkua.

## TEKNISET TIEDOT

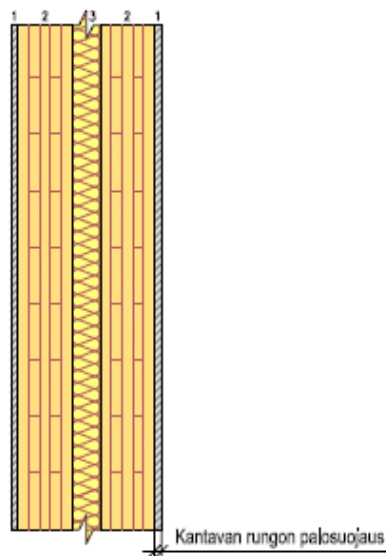
U-arvo	0,16 W/m <sup>2</sup> K (lämmöneristeen λ <sub>d</sub> = 0,037 W/mK)
Paloluokitus	REI 30 ⇒ Hilittymättömyyden perusteella

Lähde: <http://www.puuinfo.fi/suunnitteluty%C3%B6kalut/p2-paloluokan-max-2-krs-asuin-ja-ty%C3%B6paikkarakennuksen-clt-rakennetyypit>

## CLT-rakenteinen huoneistojen välinen seinä

	TYÖN NRO		TUNNUS <b>HVS211</b>
	PÄIVÄYS 2.1.2012	TEKIJÄ	
RAKENNUSKOHTEEN NIMI JA OSOITE P2-paloluokan asuin- ja työpalkkarakennus 1 - 2 kerrosta	PIRUSTUKSEN SISÄLTÖ Kantava huoneistojen välinen seinä		

1:10



HVS211	Uusiutuva	Uusiutumaton	Yhteensä
Luonnonvarojen kulutus	321...354 kg/m <sup>2</sup>	24...30 kg/m <sup>2</sup>	144...183 kg/m <sup>2</sup>
Energiankulutus	321...411 MJ/m <sup>2</sup>	716...910 MJ/m <sup>2</sup>	1037...1321 MJ/m <sup>2</sup>
Hilidioksidipäästöt			37...47 kg/m <sup>2</sup>
Energiasisältö			1801...2089 MJ/m <sup>2</sup>
Sitoutuneen hiilidioksidin määrä			139...174 kg/m <sup>2</sup>
Rakenteen massa			116...143 kg/m <sup>2</sup>

NRO	TARJOITUS	VAATIMUS	ESIMERKKITUOTE / MENETELMÄ	PAKSUUS
1	Sisäverhoitus Suojaverhoitus K <sub>2</sub> 10 Palosuojaus 15 minuuttia Ääneneristys (lisämassa)	B-s1, d0 *	Kipsilevy	13 mm
2	Ääneneristys Kantava runko Jäykistävä levy		CLT-levy RAK suunn. mukaan	95...121 mm
3	Ääneneristys		Rako CLT-levyjen välillä Mineraalivilla / puukuitueriste	≥ 50 mm ≥ 50 mm

\*) D-s2, d2-luokan tuote mahdollinen, kun rakennus on sprinkkattu.

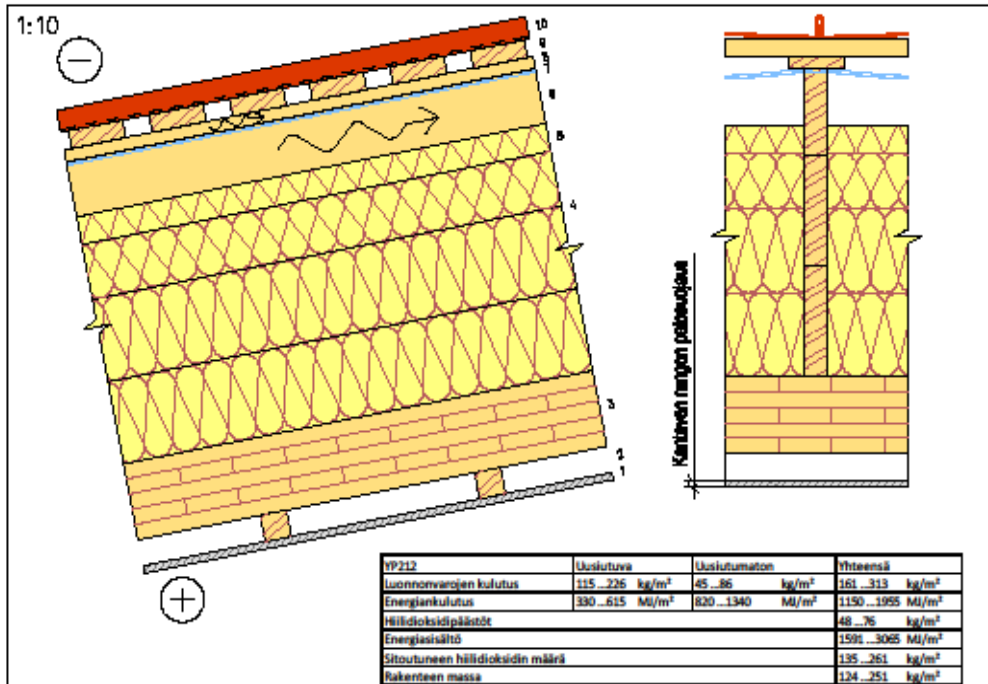
## TEKNISET TIEDOT

Ääneneristys	R' <sub>w</sub> ≥ 55 dB
Paloluokitus	REI 30 ⇒ Hilittymämittoituksen perusteella

Lähde: <http://www.puuinfo.fi/suunnitteluty%C3%B6kalut/p2-paloluokan-max-2-kr-asuin-ja-ty%C3%B6paikkarakennuksen-clt-rakennetyyp>

## CLT-rakenteinen yläpohja

	TYÖN NRO		TUNNUS <b>YP212</b>
	PÄIVÄYS 21.2012	TEXUS	
RAKENNUSTYÖN KINI JA OSIOTE <b>P2-paloluokan asuin- ja työpaikkarakennus 1 - 2 kerrosta</b>	PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ <b>Yläpohja</b>		



NRO	TARKOITUS	VAATIMUS	ESIMERKKI TUOTE / -MENETELMÄ	PAIKSUUS
1	Siltävaraus Suojavarhaus Kz 10 Paksuus 15 mm	B-21, d2 <sup>*)</sup>	Kemivy	13 mm
2	Akustinen barbaari rakenne Tila akustisoimiseksi		Kookon 45x45 mm	48 mm
3	Lämmöneristys Kantava rakenne Jäykistävät levy Ilman- ja höyrynsulku <sup>**)</sup>		CLT-levy RAK suurn. mukaan	121...285 mm
4	Lämmöneristys		Mikrosäilytys NR-palkit 42x80 mm RAK suurn. mukaan Jäykkiä kuularuokkainasäilytys	400 mm 660 mm
5	Tuokausuaja		Rak	50 mm
6	Yläpohjan tuuletus		Reik	≥ 100 mm
7	Akustite		Reik	
8	Tuuletus		Reik <sup>***)</sup>	
9	Akustiltaan kiinnitys		Lauts tai soiro palkin päällä	
10	Vesialueen kiinnitys		Kuonnikkeen ja vesialueen mukaan	
			ARK suurn. mukaan	

\*) D-21, d2-kokoa kuluu suojavarhaus, kun rakennus on soijittelu.

\*\*\*) Miksi CLT-levyn kinnitys on kiinnitys, kiinnitys CLT-levyn ja lämmöneristys on kiinnitys ilman- ja höyrynsulku.


\*\*\*\*) Kiinnitys on- ja vesialueen kiinnitys on kiinnitys mukaan.

## TEKNISET TIEDOT

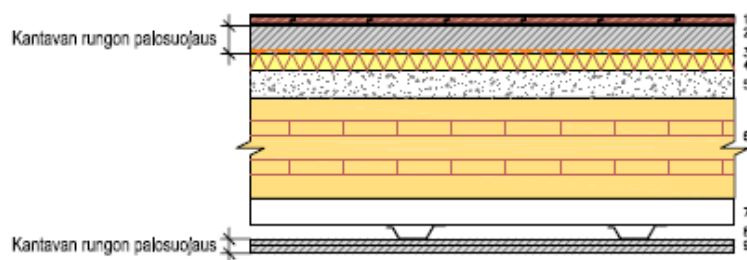
U-arvo	0,09 W/m <sup>2</sup> K (lämmöneristys L <sub>e</sub> = 0,037 W/m <sup>2</sup> K)
Palkkokuus	REI 30 => Hiljenninrakenteen perusteella

Lähde: <http://www.puuinfo.fi/suunnitteluty%C3%B6kalut/p2-paloluokan-max-2-kr-asuin-ja-ty%C3%B6paikkarakennuksen-clt-rakennetyypit>

## CLT-rakenteinen välipohja

	TYÖN NRO		TUNNUS <b>VP215</b>
	PÄIVÄYS 2.1.2012	TEKIJÄ	
RAKENNUSKOHTIEN NIMI JA OSIOTE P2-paloluokan asuin- ja työpajkkarakennus 1 - 2 kerrosta	PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ Huoneistojen välinen välipohja		

1: 10



VP215	Uusiutuva	Uusiutumaton	Yhteensä
Luonnonvarojen kulutus	105 .. 205 kg/m <sup>2</sup>	220 .. 225 kg/m <sup>2</sup>	325 .. 430 kg/m <sup>2</sup>
Energiankulutus	263 .. 530 MJ/m <sup>2</sup>	951 .. 1523 MJ/m <sup>2</sup>	1214 .. 2053 MJ/m <sup>2</sup>
Hilidioksidipäästöt			90 .. 78 kg/m <sup>2</sup>
Energiasisältö			1267 .. 2598 MJ/m <sup>2</sup>
Sitoutuneen hiilidioksidin määrä			108 .. 221 kg/m <sup>2</sup>
Rakenteen massa			269 .. 350 kg/m <sup>2</sup>

NRO	TARKOITUS	VAATIMUS	ESIMERKKITUOTE / -MENETELMÄ	PAKSUUS
1	Lattialapinnoite		ARK suunn. mukaan	
2	Lattialämmitys rakenne Ääneneristys		Floor 4320 Pikasaneeraus Pilaano * + lasikuituverkko	50 mm
3	Palosuojaus 30 minuuttia Valusuoja		Floor 4940 Erotuskangas (polypropeenikangas)	
4	Ääneneristys		Askelääneneristevilla (dynaam. jäyk. < 20 MN/m <sup>3</sup> )	30 .. 50 mm
5	Ääneneristys		Kalkkikiviruuh (ρ > 1400 kg/m <sup>3</sup> )	50 mm
6	Kantava runko Jäykistävä levy		CLT-levy RAK suunn. mukaan	138 .. 296 mm
7	Ajakaton kantava rakenne Tila sähköasennuksille		Koolaus 48x48 k400	48 mm
8	Ääneneristys		Akustiset jousirangat max k400	25 mm
9	Sisäverhoitus Suojaverhoitus K2 10 Palosuojaus 30 minuuttia Ääneneristys	B-s1, d0 **	Kipsilevy ***	2x 13 mm

\*) Suoite[...], jolla vajan vesimäärä saadaan m[...]

\*\*) D-s2, d2-luokan tuote mahdollinen, kun rakennus on sprinklattu.

\*\*\*) Levyn paino vähintään 9 kg/m<sup>2</sup>.

## TEKNISET TIEDOT

Ääneneristys	R'w ≥ 55 dB; L'n,w ≤ 53 dB
Paloluokitus	REI 30 ⇒ Kantava runko palosuojaattu

Lähde: <http://www.puuinfo.fi/suunnitteluty%C3%B6kalut/p2-paloluokan-max-2-kras-asuin-ja-ty%C3%B6paikkarakennuksen-clt-rakennetyyppi>

# Teräsbetonelementtitarjous

## Rudus

**ELEMENTO**

Asennusliike J Mononen Oy

Juha Mononen

puh: 0500 271087

sähköposti: [asennusliike.mononen@kolumbus.fi](mailto:asennusliike.mononen@kolumbus.fi)

**TARJOUS**  
26.11.2013

päivitetty 25.11.2013 kello 14:27

### Hoitokoti Helmi , Rantakylä Joensuu

Kiitämme kyselystänne ja tarjoamme Teille em. kohteen  
betonelementtitoimitusta **yksikköhinnoin**

	EUR	
tarjouslaskentaerittelyn mukaan	69 472,00 €	ALV 0 %
	86 145,28 €	ALV 24 %

Alkainen toimituksen aloitus 5/1/2013 (9 kpl)  
muut valmistus helmikuu 2014

<b>Laatuvaatimukset</b>	mittatarkkuus: betonelementtien toleranssit 2011 (Betonikeskus ry) normaaliuokan (N) mukaan, pinnat: BY 40 luokka A
<b>Toimitusaika</b>	sovitaan erikseen
<b>Toimitustapa</b>	Vapaaasti autoosa työmaalla, purkuaika 1h lisäalka 65 €/h
<b>Toimitusehto</b>	Rakennustarvikkeiden yleiset hankinta- ja toimitusehdot RYHT 2000
<b>Maksuehto</b>	7pv netto, valmistuserittäin 80%, toimituserittäin 20%
	viivästyskorke 16 %
<b>Tarjous on voimassa</b>	7 pv lähetyspäivästä
<b>Vakuudet</b>	toimittaja ei aseta vakuutta.
<b>Muut ehdot</b>	Elementtikuvat tehtaalta 6 vikoa ennen elementtien toimitusta (tehtaan loma-aikaa ei lasketa heinäkuussa 4viikkoa ja talvella 1 viko). Yksittäinen elementti valmistetaan ainoastaan elementtikuvan mukaan.  Puutteelliset elementtikuvat palautetaan.

HUOM Tarjous ei sisällä saumapintojen karhennusta / TTY TRT/1636/2008

Toivomme tarjouksemme sopivan Teille.

Tervetuin

**RUDUS BETONITUOTE OY**

pöytä Hannu Karppinen

Arppentie 26 82500 Kitee

Puh: 040 730 4573

[etunimi.sukunimi@rudus.fi](mailto:etunimi.sukunimi@rudus.fi)

[www.rudus.fi](http://www.rudus.fi)



ISO 9001  
ISO 14001





## Teräsbetonielementti tarjouslaskentaerittely

päivitetty 25.11.2013 kello 14:27

**Rudus**

ELEMENTO

**RUDUS RAKENNUSTUOTTEET OY :TARJOUSLASKENTAERITTELY**

Hoitokoti Helmi , Rantakylä Joensuu

					EUR	ALV 0% EUR
K35, A500HW	V	150mm	muottipinta / telapinta bet harmaa 10 kpl 2T10 ymp, vs-tart, normaalit sähkötarvikkeet	106 m2	60,00 €	6 360,00 €
K35, A500HW	V	160mm	muottipinta / telapinta bet harmaa 2 kpl 2T10 ymp, vs-tart, normaalit sähkötarvikkeet	26 m2	62,00 €	1 612,00 €
K35, A500HW	V	200mm	muottipinta / telapinta bet harmaa 33 kpl 2T10 ymp, vs-tart, normaalit sähkötarvikkeet	498 m2	70,00 €	34 860,00 €
K45, A500HW Kuppilaatta	CL	285mm	muottipinta hiekkapuh / telapinta bet harmaa 16 kpl 2#T8-150, haat T8 k150 ym, 2T10 ymp, ulosheittäjä, 4LAR 24, 2RD30 <b>P100x100x5 RST, PARVEKESARANA/ 8 elem</b>	131 m2	170,00 €	22 270,00 €
K45, A500HW	M	200mm	muottipinta / telapinta bet harmaa hiekkapu 8 kpl 2T10 ymp, kolot alar, tapit T16 ylä, RST NL	46 m2	95,00 €	4 370,00 €