

Läpimenoajan pienentäminen CLT-rungon asennuksessa

LAB-ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK), Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

2021

Toni Viisanen

Tiivistelmä

Tekijä(t) Viisanen, Toni	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2021
	Sivumäärä 32	
Työn nimi Läpimenoajan pienentäminen CLT-rungon asennuksessa		
Tutkinto Rakennusmestari (AMK)		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Pasi Porento, Työpäällikkö, Arka Rakennuskultti Oy		
Tiivistelmä Opinnäytetyön avulla pyrittiin selvittämään keinoja läpimenoajan pienentämiseksi CLT-rungon asennuksessa. Opinnäytetyössä esitellään CLT:n ominaisuudet ja yleisimmät käyttötarkoitukset, selkeimmät erot betonielementtirakentamiseen sekä CLT-rungon aikataulutuksen perusteet. Opinnäytetyön lähdemateriaalina käytettiin alan kirjallisuutta, suullisia ja kirjallisia haastatteluja rungon asennusurakoitsijalta sekä erilaisia verkkolähteitä muun muassa Stora Enson tutkimusmateriaalia. Opinnäytetyön perusteella voidaan päätellä CLT-rungon asennusajan pienenevän sitä mukaa kun CLT-runkoja asentavat yritykset löytävät uusia tekniikoita, ja Suomeen saadaan yhteneväiset standardit CLT-rakentamiseen.		
Asiasanat CLT, Aikataulu, 4D		

Abstract

Author(s) Viisanen, Toni	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2021
	Number of Pages 32	
Title of Publication Reducing total time at installation of CLT-frame		
Name of Degree Bachelor of Construction Management		
Name, title and organization of the client Pasi Porento, Project Manager, Arkta Rakennuskultti Oy/Ltd		
<p>Abstract</p> <p>The goal for this thesis was to present ways on how to reduce installation time when installing a CLT-frame. This thesis presents properties of CLT, and where it's most commonly used. Also it covers most distinctive differences when comparing to building out of concrete elements, and the basis on how to schedule installation of CLT-frame.</p> <p>This thesis was based on literature about building out of wood, personal interviews from site staff and frame installation company and online sources. Online sources include for example research conducted by Stora Enso.</p> <p>From this thesis one can determine that the installation time of CLT-frame will reduce when companies in charge of installation find new ways and techniques to make their installation process more efficient. Also an standardization system for CLT-building needs to be implemented in Finland for these changes to make an impact in reducing total installation time.</p>		
Keywords CLT, Schedule, 4D		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Mitä CLT on ja mihin sitä käytetään?	2
2.1	CLT:stä yleisesti	2
2.2	CLT:n ominaisuudet.....	4
2.3	Erot betonirakentamiseen	5
2.4	CLT-rungon pystytystyö.....	7
2.5	CLT rungon asennukseen liittyvät työt ja työvaiheet	8
3	Aikataulutus	12
3.1	CLT-rungon aikataulutuksen perusteet	12
3.2	CLT-rungon asennusjärjestyksen perusteet.....	14
3.3	CLT-runkoon liittymättömien töiden yhteensovitus	16
4	Läpimenoajan pienentäminen	18
4.1	Lean-ajattelu.....	19
4.2	4D-aikataulu	20
5	Yhteenveto	22
	Lähteet	25

Liitteet

Liite 1. Sähköpostihaastattelun kysymykset

Liite 2. Rakennemallin määrät

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää mahdollisuuksia ja toteutustapoja läpime-noajan pienentämiseksi CLT-rungon asennuksessa. Opinnäytetyössä esitellään CLT ma-teriaalina, verrataan CLT-elementtirakentamista perinteiseen betonielementtirakentami-seen, kerrotaan, miten etenee CLT-rungon asennus ja esitellään siihen liittyvät työt, käy-dään läpi CLT-rungon eroavaisuuksia betonirunkoon verrattuna asennusjärjestyksen sekä aikataulutuksen osalta, sekä pohditaan vaihtoehtoisia tapoja yhdistää ja limittää esimerkiksi talotekniikkaurakoitsijoiden töitä CLT-rungon asennuksen yhteyteen. Opinnäytetyön tilaa-jana toimii Arkta Rakennuskultti Oy. Esimerkkityömaa, jossa opinnäytetyö toteutetaan, on Martta Wendelin päiväkotit Tuusulassa.

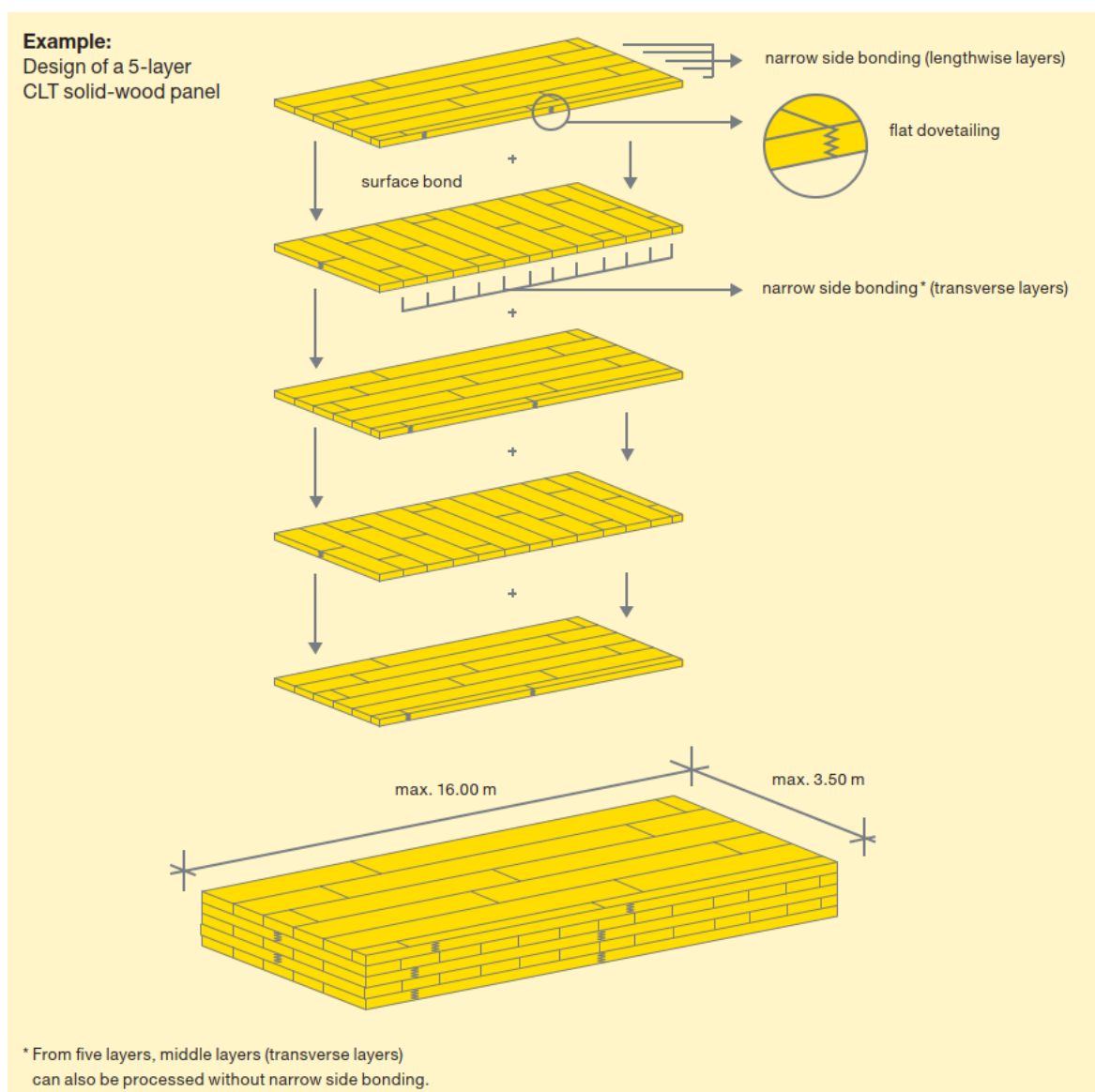
Arkta-konsernin 22. helmikuuta 2019 yrityskaupalla hankkima Oy Rakennuskultti Ab, vaihtoi nimensä Arkta Rakennuskultiksi. Oy Rakennuskultti Ab, ja myöhemmin Arkta Rakennus-kultti Oy on erikoistunut julkisten rakennusten, kuten koulujen ja päiväkotien uudis- ja kor-jausrakentamiseen pääkaupunkiseudulla. Yhteensä Oy Rakennuskultti Ab:llä sekä Arkta Rakennuskultilla on yli 30 vuoden kokemus nimenomaan julkisesta rakentamisesta. Arkta-konserniin kuuluu lisäksi Arkta Reponen Oy, Arkta Rakennus Oy, Arkta Kultti Oy sekä Arkta Laatusena Oy. Arkta-konsernin liikevaihto vuonna 2019 oli noin 110 miljoonaa euroa.

Rakennustyöt Martta Wendelin päiväkodin työmaalla alkoivat joulukuussa 2020 ja raken-nuksen on määrä valmistua toukokuun 2022 aikana. Valmistuessaan Martta Wendelin päi-väkotit tulee olemaan Suomen suurin massiivipuurunkoinen päiväkotit, johon käytetään yli 1500 kuutiometriä CLT:tä. Työmaan pääurakoitsijana toimii Arkta Rakennuskultti Oy ja CLT-rungon toimittaa ja asentaa Puurakentajat Oy. CLT-elementit valmistetaan Stora En-son tehtaalla Ruotsissa.

2 Mitä CLT on ja mihin sitä käytetään?

2.1 CLT:stä yleisesti

CLT tulee sanoista Cross-Laminated-Timber, joka tarkoittaa ristiin liimattua puuta. CLT kehitettiin Itävallassa ja Saksassa 1990-luvulla Gerhard Schickhoferin toimesta, ja tämän jälkeen se on kasvattanut jatkuvasti suosiotaan rakennusmateriaalina erityisesti Keski-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Kuvassa 1 esitetään, miten CLT-elementti muodostetaan liimamalla formaldehydivapaalla liimalla lujuusluokitellusta (C16...C40) männystä tai kuusesta muodostettuja puulevykerroksia kiinni toisiinsa. (Harju 2020, 4; Kekäläinen 2015, 9.)



Kuva 1. Viisikerroksisen CLT-levyn rakenne ja sormijatkos (Stora Enso 2013, 5)

Elementin lujuuden ja vahvuuden määrittää liimattavien kerrosten, eli lamellien ainevahvuus ja lukumäärä. Ympärihöylätyn laudan paksuus on 14–15 mm, ja laudan on oltava vähintään neljä kertaa paksuuden levyinen. Näin ollen koko CLT-elementin paksuus vaihtelee 60 mm ja 400 mm välillä. Euronormien mukaisesti jokaisen kantavan CLT-rakenteen on oltava symmetrinen, ja tästä johtuen lamellien määrä on pariton. Yleisimmin CLT-elementissä on joko kolme tai viisi lamellia, mutta tarpeen vaatiessa voidaan käyttää jopa yhdeksää lamellia. (Kekäläinen 2015, 9.)

CLT-elementin lamellit liimataan aina lappeiltaan kiinni toisiinsa, mutta toisinaan tarve on myös syrjäliimatulle CLT:lle. Syrjäliimatussa CLT:ssä puutavara liimataan ensin toisiinsa kiinni muodostaen levyn, jonka jälkeen aikaansaadut levyt liimataan myös lappeiltaan toisiinsa. Syrjäliimauksen etu verrattuna liimaamattomaan on parempi tiiveys, mutta syrjäliimauksen riskinä on suurempi todennäköisyys yksittäisten lautojen halkeilulle. Lamellit liimataan aina 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden. Liimauksen jälkeen levyt puristetaan kiinni toisiinsa hydraulisella prässillä tai tyhjiötä hyväksi käyttäen vakuumpiirrässillä. Puristamisen jälkeen CLT-elementtiin tehdään tarvittaessa suunnitelmien mukaiset työstöt, kuten ovi- ja ikkuna-aukot, nurkka- ja saumaliitokset sekä talotekniikan tarvitsemat roiloukset ja läpiviennit. (Puuinfo 2020.) Esimerkkinä edellä mainituista työstöistä on esitetty kuvassa 2 näkyvät talotekniikan läpiviennit. LVI-suunnitelmien vaatimien läpivientien oikeellisuus korostuu CLT-rakentamisessa. Jälkikäteen erityisesti esimerkiksi sähköputkien vaatimien roilojen tekeminen on erittäin työlästä.



Kuva 2. Läpivientejä CLT-elementissä

2.2 CLT:n ominaisuudet

CLT on ominaisuuksiltaan erinomainen rakennusmateriaali. Sitä on helppo työstää myös työmaaolosuhteissa, se on nopeaa asentaa ja se on mittatarkkaa. CLT:stä rakennettaessa rungolla on keveytensä ansiosta suhteessa muuhun rakentamiseen lyhyt pystytysaika ja mittatarkkuuden ansiosta liitoksista on helppo saada tiiviitä (Crosslam a). Tämän lisäksi CLT:n eduksi voidaan lukea myös helppo muutettavuus. CLT-elementtejä on helpompi työstää jälkikäteen, kuin betonielementtejä, mikäli esimerkiksi rakennuksen käyttötarkoitus muuttuu (Müller 2021.)

CLT soveltuu niin kantavien rakenteiden kuin kevyiden väliseinienkin rakentamiseen. Siitä voidaan rakentaa talon ulkoseinät, väliseinät ja ala- väli- ja yläpohjat, ja se sopii niin omakotitalojen, kerrostalojen kuin suurien julkistenkin rakennusten rakennusmateriaaliksi. Jokainen CLT-elementti on yksilökohtainen ja valmistetaan juuri kyseistä kohdetta ja tarvetta varten, joten tuotantolaitokset eivät valmista CLT-elementtejä varastoon lainkaan. Lisäksi Suomen oloissa CLT:n eduksi voidaan laskea turvallinen talvirakentaminen. (Kekäläinen 2015, 10).

CLT:n ominaisuuksiin kuuluu edellä mainittujen lisäksi myös hyvä lämmöneristävyyys. Massiivisia CLT-ulkoseinäelementtejä ei tarvitse enää nykyään eristää kuten vastaavia betonirakenteita. Lisäksi CLT:ssä käytetyn liiman ja puun yhteisvaikutuksesta muodostuvasta tiiveydestä johtuen myöskään erillistä höyrynsulkua ei tarvitse asentaa. (Crosslam b). Suunnittelussa ja asennuksessa tulee kuitenkin muistaa, että puuelementin ja betonirakenteen liitoskohtaan tulee aina kosteussulku (Nikkanen 2021.)

CLT on myös paloturvallisuusominaisuuksiltaan erinomainen materiaali, joka palaessaan hiiltyy pinnasta säilyttäen kuitenkin rakenteellisen lujuutensa paloluokituksen mukaan määritetyn ajan. Tämä palonkestävyys todettiin VTT:n palolaboratoriossa jo 1990-luvun alkupuolella. Suomessa yli neljäkerroksiset puukerrostalot on varustettava tämän lisäksi sprinklerijärjestelmällä, joka tekee niistä kaikkein paloturvallisimpia rakennuksia. Erityisesti julkisissa, puusta valmistetuissa rakennuksissa palosuunnittelu on siirtynyt taulukkomitoituksesta toiminnalliseen mitoitukseen, jolloin suunnittelijat yhteistyössä pelastuslaitoksen ja tilaajan kanssa määrittävät tarvittavan palosuojauksen tason. (Puuinfo 2021, Paloturvallinen Puutalo, 12–14).

2.3 Erot betonirakentamiseen

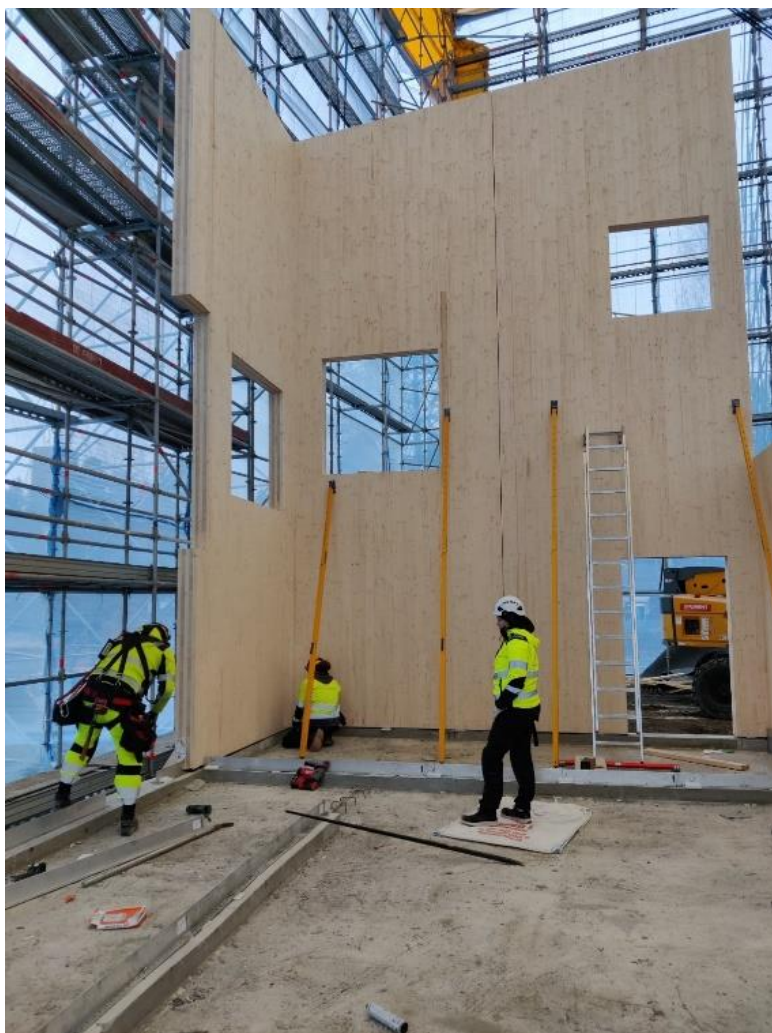
Verrattaessa CLT-rakentamisen aikataulua perinteiseen betonielementtirakentamiseen, tulee suurin ero esiin puurungon pystytyksen nopeudessa. CLT-rungon asentaminen on nopeampaa, ja elementtien keveydestä johtuen niitä voidaan asentaa tavallisilla HIAB-nostimilla ja kurottajilla. Myöskään betonin kuivumisaikoja ei tarvitse CLT-asennuksessa ottaa huomioon. Perustusrakenteiden kuormitusluokat ovat edellä mainitusta syystä huomattavasti pienemmät kuin betonielementtirakenteiden kanssa käytetyt perustukset. Myös CLT:hen liittyvien betonirakenteiden mittatarkkuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota. CLT-elementtien ja betonin välisten liitoskohtien toleranssit ovat noin puolet pienemmät kuin pelkkien betonirakenteiden välillä. (Huttunen 2021; Müller 2021).

Taloudellisesti katsasteltuna puurakentaminen on vielä nykyään keskimäärin 10–20 % kalliimpaa, mutta eroa on pikkuhiljaa saatu kurottua kiinni. Rakentamisessa puun käyttöön kuitenkin kannustetaan sen ekologisuuden takia, puu sitoo hiiltä elinkaarensa aikana huomattavasti betonirakenteita enemmän. Edellä mainitusta syystä johtuen, sekä poliittisen ohjauksen avulla julkisessa rakentamisessa suositaan puuta jatkossa entistä enemmän. Julkisista rakennuksista 45 % tulisi olla puusta rakennettuja vuoteen 2025 mennessä. Useat kunnat ja kaupungit ovatkin tehneet linjauksia, joissa paremmalle sisäilmalle ja käyttäjäystävällisille tiloille ja pinnoille on annettu enemmän painoarvoa kuin pelkälle kokonaishinnalle. (Lättilä 2020; Mölsä 2021).

Työmaaloissa merkittävimmän eron betonirakentamiseen aikataulullisesti ja kustannusvaikutuksellisesti tekee se, että CLT-runko kootaan pääasiallisesti sääsuojan alla. Esimerkiksi työmaalla sääsuojan pystyttäminen kesti kuusi viikkoa, ja hintavaikutus on noin 850 euroa per päivä. CLT-runkoja on kuitenkin pystytetty myös ilman sääsuojaa, tosin näissä tapauksissa korostuu kosteudenhallinta vielä entistäkin suuremmin (Huttunen, 2021.)

Sääsuojan lisäksi CLT-rakentamiseen liittyväksi yksityiskohdaksi voidaan laskea, ainakin esimerkkikohteen kohdalla, Joutsenmerkki. Joutsenmerkin tavoitteena on varmistaa rakennuksen ympäristöystävällisyys koko sen elinkaari huomioiden (Ympäristömerkintä Suomi Oy.) Ympäristömerkinnän saaminen rakennukselle vaatii suunnittelijoilta erityistä huolellisuutta, jotta suunnitelmiin määritellyt tuotteet täyttävät Joutsenmerkin kriteeristön. Tämän lisäksi jokainen tuote on dokumentoitava ja hyväksyttävä mikäli niiltä ei löydy Joutsenmerkkiä tai ole jo aiemmin hyväksytty Joutsenmerkittyä tuotetta korvaavaksi. Tämä aiheuttaa lisävaikutusta erityisesti aikataulutuksen suunnitteluun, koska ajoittain erilaisten tuotteiden hyväksyttäminen ympäristömerkkikelpoisiksi vaatii huomattavan ajan ja työpanoksen, josta saattaa aiheutua tätä kautta aikataulutuksellisia haasteita.

CLT:n huonoksi puoleksi, verrattuna hyvin standardoituun ja teollistettuun betonielementtirakentamiseen, voidaan katsoa puutteellinen standardointijärjestelmä ja kokemus puurakenteiden suunnittelusta. Puurunkoisen rakennuksen kiinnitysten suunnittelu vaatii yksityiskohtaista suunnittelutyötä, useassa tapauksessa vielä nykyäänkin jokainen elementtien välinen liitos joudutaan suunnittelemaan erikseen. Tämän lisäksi puurakenteiden kiinnikkeet ovat todella suurikokoisia, ja pienet valmistusmäärät kiinnikkeille pitävät hinnat suhteessa korkeampina betonille käytettäviin kiinnikkeisiin. Kuvassa 3 voidaan nähdä esimerkkityömaalla käytettäviä alumiinikiskoja CLT-elementin alareunan kiinnitykseen. Mikäli puurakentamiseen ja erityisesti suunnitteluun tulisi vakiintunut järjestelmä, kuten betonirakentamisessa olisi kustannusten pienentäminen ja aikataulujen tehostaminen entistä helpompaa. (Harju 2020, 8–11).



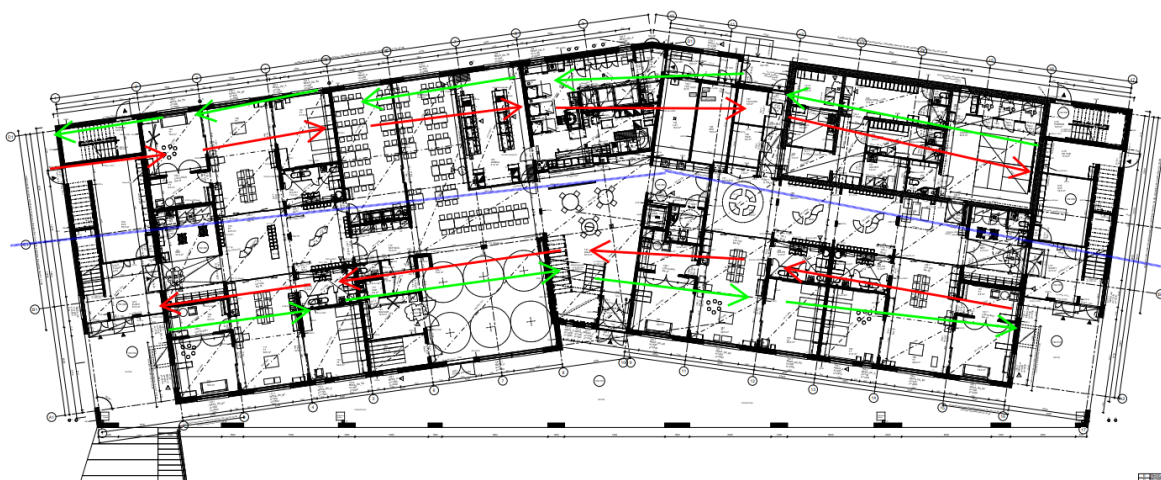
Kuva 3. CLT-rungon asennus käynnissä

Erona perinteiseen betonirunkorakentamiseen voidaan pitää rungon asennuksen osalta lisäksi sitä, että Puurakentajat Oy:n asentajien kanssa työmaalla käytyjen keskustelujen perusteella Puurakentajat eivät käytä lainkaan urakkasopimuksia rungon asennusryhmälle.

Tämä johtuu pääosin siitä, että CLT-toimittajien toimitusajat ovat hyvin vaihtelevia ainakin vuoden 2021 osalta merkittävästi kasvaneen maailmanlaajuisen CLT-elementtien materiaaltarpeen takia. Edellä mainitusta tilanteesta johtuen elementtikuormien viivästyminen voi aiheuttaa turhia venttatunteja urakka-asentajille, joka ei urakkamuotoisessa työskentelyssä ole tavoiteltavaa.

2.4 CLT-rungon pystytystyö

Opinnäytetyön tarkastelukohteena olevalla työmaalla asennusjärjestys etenee alla olevan kuvan 4 mukaisesti.



Kuva 4. CLT-elementtien asennusjärjestys pohjakuvassa (mukailtu AFKS 2020)

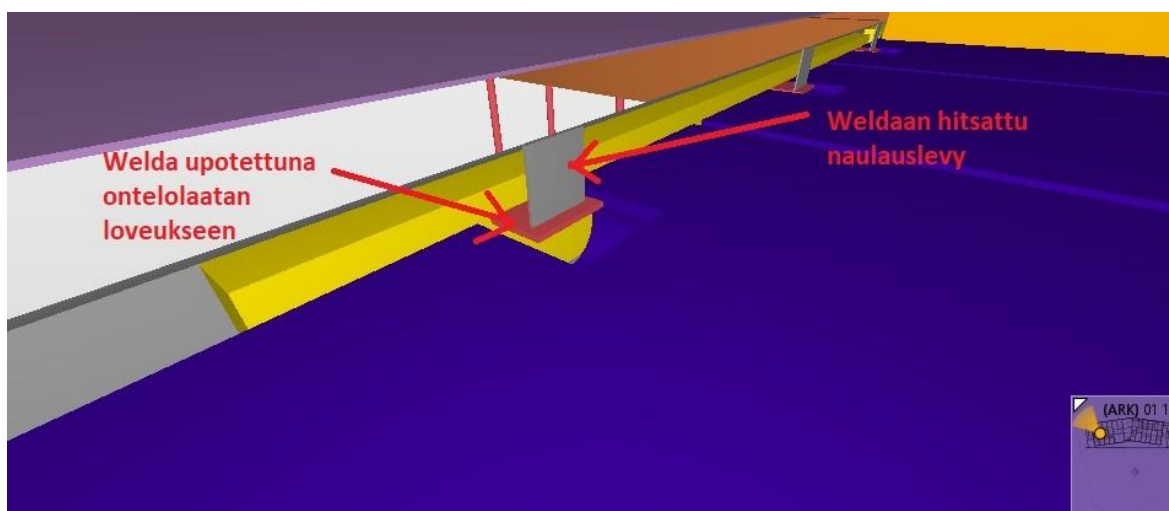
Kuten kuvassa 4 esitetään, rakennus on jaettu keskeltä kahtia (sininen viiva) jonka jälkeen elementtien asennus etenee myötäpäivään rakennuksen ympäri. (punaiset nuolet) Elementtiasennuksessa asennetaan kantavat CLT-elementtiseinät sekä kevyet väliseinät nosturin ulottuvuuden mukaiselle alueelle, jonka jälkeen nosturia siirretään. Seuraavalta nostopaikalta asennetaan jälleen nosturin ulottuvuuden mukaisesti kaikki seinäelementit kyseiselle alueelle. Kun kaikki kerrokseen tulevat seinät ovat pystyssä alkaa välipohjien asennus nostopaikalta, josta viimeiset seinäelementit on nostettu paikoilleen. Tämän jälkeen välipohjaelementit asennetaan kiertämällä rakennusta vastapäivään (vihreät nuolet) nosturin ulottuvuuden mukaisia nostopaikkoja noudattaen.

Kun kaikki välipohjaelementit ovat paikoillaan, aletaan asentamaan toisen kerroksen seinäelementtejä kiertäen rakennusta nostopaikoittain myötäpäivään. Tässä kohtaa puurungon asennusurakoitsija lisää henkilöstöresursseja työmaalle. Samalla kun asennusryhmä etenee toisen kerroksen seinäelementtien asennuksessa, lisätyövoima keskittyy ensimmäisessä kerroksessa tehtäviin lopullisiin kiinnitysruuvauksiin, saumojen teippaamiseen

höyrynsulkuteipillä, kuljetustukien poistamiseen oviaukkojen kohdalta sekä muihin rungon asennukseen liittyviin töihin.

2.5 CLT rungon asennukseen liittyvät työt ja työvaiheet

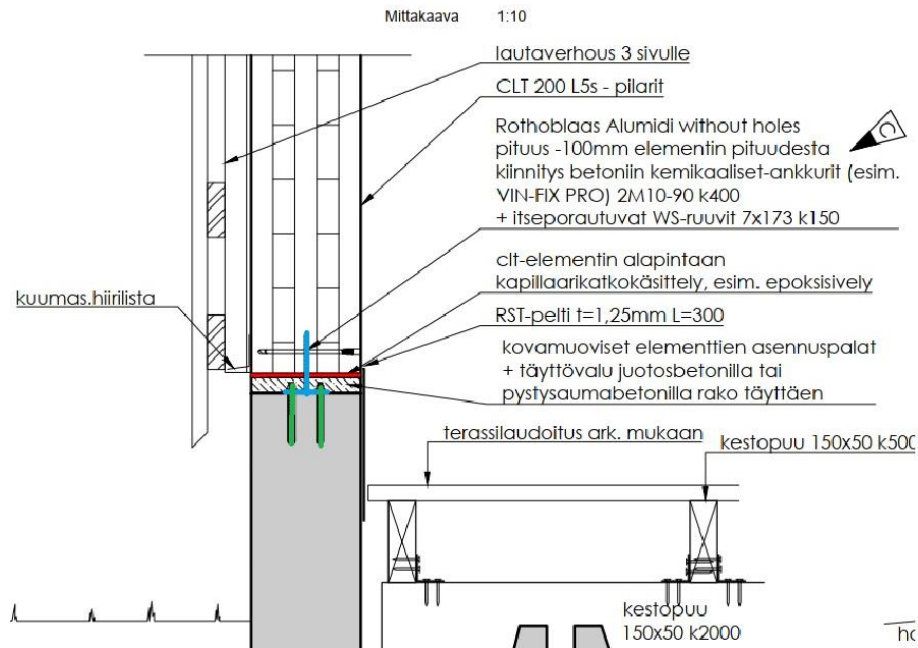
Tarkastelun kohteena olevalla työmaalla CLT-rungon asennukseen liittyvät työt alkoivat ontelokentän saumavalujen yhteydessä asennettujen Welda-levyjen paikalleen asennuksesta. Tämän jälkeen kyseisiin Welda-levyihin hitsattiin naulauslevy 90 asteen kulmassa, joihin CLT-elementit myöhemmin kiinnitetään (kuva 5).



Kuva 5. Welda-levy ja naulauslevy esitettynä BIM-mallissa (mukailtu IdeaStructura 2020)

Hitsaustöiden jälkeen CLT-elementtien asennus alkoi korkolappujen asettamisella elementtien linjalle, joiden päälle elementit lasketaan. Korkolappujen avulla varmistetaan, että elementit ovat suorassa toisiinsa nähden ja yläpuolelle tulevat elementit saadaan asennettua näiden päälle ilman, että toisen kerroksen elementtejä tarvitsee tasata uusilla korkolappupakoilla.

Näiden työvaiheiden lisäksi esimerkkityömaalla kokeiltiin uudenlaista kiinnitystekniikkaa CLT-elementeille. Rakennuksen molemmissa päissä olevilla kylmillä kuisteilla ulkoseinäelementit asennettiin betoniin injektoitujen kiila-ankkurien kiinnittämän alumiinikiskon päälle (kuva 6). Tämä kuitenkin ei asentajien mielestä ollut kovin käytännöllinen tapa asentaa. Kisko olisi ollut helpompaa kiinnittää suoraan raudoitukseen tai valuun, mutta näin toimiessa tulee suunnittelussa ottaa huomioon galvaaninen korroosio.



Kuva 6. Alumiinikiskon kiinnitysdetalji (mukailtu IdeaStructura 2020)

CLT-elementin painaessa huomattavasti vähemmän kuin vastaavan betonielementin on myös elementtien kuormakoko kappalemääräisesti merkittävästi suurempi. Ratu 0424:n mukaisesti elementit pyritään mahdollisuuksien mukaan asentamaan suoraan paikoilleen kuljetusajoneuvosta ilman välivarastointia, mikä aiheuttaa aikataulupainetta kiinnitysten osalta. Tästä johtuen elementteihin tehtiin vain välttämättömät kiinnitykset paikallapysymisen varmistamiseksi. Tämän lisäksi elementtien kaatumistuenta varmistettiin tönäreiden avulla kuvan 7 mukaisesti.



Kuva 7. Tönäreillä tuettuja CLT-elementtejä

Kun ensimmäisen kerroksen seinäelementit oli saatu pystyyn, niiden alareunaan tehtiin juotosvalu Ratu 0424:n sivu 12:n mukaisesti. Juotosvalu lisää elementtien kantavuutta pystysuunnassa. Tämän jälkeen asennettiin välipohjaelementit Kuvan 4 mukaisessa järjestyksessä. Välipohjat toimivat jäykistävänä rakenteena, mutta niiden asentaminen ei kuitenkaan poista työnaikaisen tuennan tarvetta kantavilta väliseiniltä, vaan tuet saa poistaa vasta kun rungon kokonaisjäykistys on varmistettu. (Ratu 0424, s.12).

CLT:n ollessa puumateriaali, tulee työmaalla tehtävistä työstöistä ja hiontatöistä tuleva puupöly ja -puru ottaa huomioon kaikissa runkoon liittymättömissä rakennustöissä. Esimerkkitilanteessa on suuri määrä valmiita pintoja, joiden pinnalle tulee vain CLT:lle soveltuva UV-vaha, joten elementtien sotkeentumista ja kolhiintumista tulee välttää, koska jälkien korjaaminen tai piilottaminen on todella haastavaa (Nikkanen 2021.)

Ennen alareunojen juotosvaluja kaikki ensimmäisen kerroksen lattiat imuroitiin kaikesta ylimääräisestä betoni-, hiekka- ja puujätteestä, jotta valun alle tai sekaan ei sekoitu mitään orgaanista ainesta, joka voisi aiheuttaa myöhemmin ongelmia joko betonin lujuuteen tai vielä myöhemmin sisäilmaan. Esimerkkitilanteessa puhtausluokka on IV-töiden osalta P1 ja muiden töiden osalta P2.

Merkittävän osan CLT:n asennukseen liittyvistä jälkitöistä muodostavat erilaiset hionnat ja paikkaukset. Esimerkkikohteessa esimerkiksi kaikki ikkuna-aukot ja suuri osa seinäpinoista vain hiotaan, jonka jälkeen pinta vahataan UV-suojavahalla joka muodostaa puolestaan valmiin seinäpinnan tai ikkunanpielen. Myös ruuvausten ja kiinnitysten, sekä elementtien saumojen paikkaukset vaativat suurehkon työpanoksen. Jokainen ruuvin kanta peitetään liimaamalla halkaisijaltaan kannan syvennyksen kokoinen puutappi paikoilleen, jonka jälkeen tappi katkaistaan ja hiotaan ympäröivän pinnan tasoon. Elementtien välissä olevat saumat täytetään kiilaamalla liimalla sivelty lauta sauman väliin, jonka jälkeen pinnat hiotaan ympäröivän pinnan tasoon. Tämän lisäksi oviaukkojen alareunaan ja osaan läpivienneistä jätetyt kuljetustuet sahattiin ja hiottiin kun elementit olivat paikoillaan ja juurivalu oli tehtynä.

3 Aikataulutus

3.1 CLT-rungon aikataulutuksen perusteet

Mihin laskennalliset asennusajat perustuvat?

Stora Enson vuonna 2014 tekemän tutkimuksen, johon Tuomas Müller viittaa sähköposti-haastattelussaan (Müller 2021), mukaan CLT-elementtien asennusnopeus, sisältäen nau-laukset, ruuvaukset sekä teippaukset sekä muut asennukseen liittyvät työt, on laskennalli-sesti 0,14 h/m² pystyelementeille, ja 0,06 h/m² vaakaelementeille. Tutkimuksessa käytössä oli neljän asentajan työryhmä ja tehokasta työaikaa oli 83 % ajasta.

Ratu 0436:n määrittelyn mukainen laskennallinen asennusaika välipohjaelementille on 0,60tth/kpl sisältäen kiinnitykset, ja kattoelementeille 1,5tth/kpl. Tämän lisäksi Ratu 0424:n määrittelyn mukaisesti seinäelementtien laskennallinen asennusaika, sisältäen kiinnityk-sen, on elementin pituudesta riippuen 0,80 tth/kpl – 1,15 tth/kpl ulkoseinäelementeillä, sekä 0,50 tth/kpl – 0,90 tth/kpl väliseinäelementeillä.

Opinnäytetyön esimerkkityömaalla asennetaan yhteensä 875 kappaletta CLT-elementtejä liitteen 2 Rakennemallin määrät mukaisesti. CLT:tä työmaalle tulee yhteensä 1387,8 m³. Näistä kappalemääristä ja tilavuuksista sain laskettua 3D-mallin avulla pysty- ja vaakaele-menttien lukumäärät, jonka jälkeen elementin paksuuden ja tilavuuden avulla sain laskettua kyseisten elementtien pinta-alan neliömetreinä. Tulokset esitetään taulukossa 1.

Pystyelementit (kpl)	594	Joista ulkoseinää (kpl)	200
		Joista väliseinää (kpl)	394
Pystyelementit (m ²)	4983,1		
Vaakaelementit (kpl)	281	Joista välipohjia (kpl)	182
		Joista kattoelementtejä (kpl)	99
Vaakaelementit (m ²)	4947,9		

Taulukko 1. CLT-elementtien kappalemäärät (mukailtu IdeaStructura 2021)

Stora Enson tutkimukseen pohjautuvalla asennusajalla esimerkkityömaan rungon pystytys kestäisi pystyelementtien osalta $4983,1 \text{ m}^2 \times 0,14 \text{ h/m}^2 = 697,64 \text{ h}$ ja vaakaelementtien

osalta $4947,9 \text{ m}^2 \times 0,06 \text{ h/m}^2 = 296,87 \text{ h}$. Kokonaisuudessaan rungon pystytykseen menisi siis 994,5 h.

Ratu -kortiston mukaisella asennusajalla ulkoseinien pystytyksen kesto olisi: $200 \text{ kpl} \times 0,9 \text{ tth/kpl} = 180 \text{ tth}$, ja väliseinien pystytyksen kesto olisi: $394 \text{ kpl} \times 0,70 \text{ tth/kpl} = 275,8 \text{ h}$

Ratu -kortiston mukaisella asennusajalla välipohjien asennuksen kesto olisi $182 \text{ kpl} \times 0,60 \text{ tth/kpl} = 109,2 \text{ tth}$. Ja kattoelementtien asennuksen kesto olisi $99 \text{ kpl} \times 1,5 \text{ tth/kpl} = 148,5 \text{ tth}$.

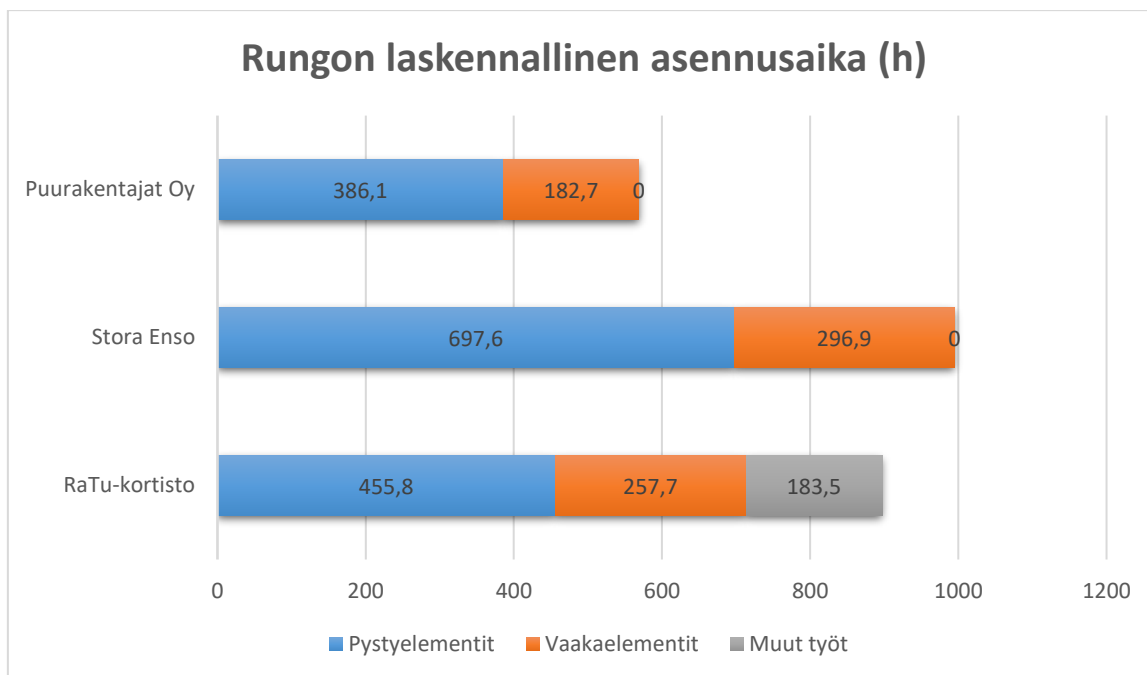
Näiden lisäksi Ratu -kortiston mukaan aikataulua määrittäessä tulee ottaa huomioon nostot ja siivous, johon on CLT-elementtien osalta määritetty $0,20 \text{ tth/kpl}$, ja siivoukselle $0,01 \text{ tth/kpl}$. Nostojen osuus Ratu-kortiston mukaan on siis näin ollen: $875 \text{ kpl} \times 0,2 \text{ tth/kpl} = 175 \text{ tth}$. Siivouksen osuus rungon asennuksessa on: $875 \text{ kpl} \times 0,01 \text{ tth/kpl} = 8,75 \text{ tth}$.

Ratu-kortiston mukaan rungon kokonaisasennukseen menisi aikaa 897,25 h.

Esimerkkityömaalla CLT-rungon asennusurakoitsija käyttää aikataulunsa määrittämiseen elementtikohtaista asennusaikaa, joka on 39 min/kpl . Tämä sisältää noston ja asennuksen työnaikaisilla kiinnikkeillä työryhmän vahvuuden ollessa kolme asentajaa ja asennukseen osallistuva nosturinkuljettaja. Puurakentajat Oy:n laskukaavalla rungon asennusaikatauluksi muodostuisi näin ollen $875 \text{ kpl} \times 0,65 \text{ tth/kpl} = \underline{568,75 \text{ tth}}$.

Todellisuudessa tämä kuitenkin ei toteudu, vaan asennustyöhön kuuluvia sahauksia, elementtien kiinnityksiä, saumojen teippauksia sekä muita asennukseen kuuluvia töitä varten Puurakentajat lisäävät resursseja työmaalle. Kokonaishintaurakassa tämä kuitenkin ei näy aikataulussa, vaan Puurakentajien aikataulu muodostuu tuolla $0,65 \text{ tth/kpl}$ laskukaavalla. Jos aikataulua ja edistymistä tarkastellessa huomataan asennuksen jäävän jälkeen suunnitellusta asennusaikataulusta, lisätään henkilöresursseja tarpeen mukaan aikatauluviiveen kiinni kuromiseksi.

Kuten taulukosta 2 ilmenee, asennusaikojen määrittämisessä on havaittavissa suurta vaihtelua. Tämä johtuu siitä, että vakiintuneen standardointijärjestelmän puute aiheuttaa lähes jokaiselle CLT-rungon asennusurakoitsijalle mahdollisuuden luoda oma aikataulutussjärjestelmänsä. Ratu-kortiston mukaisella aikataulutuksella huomioon saatetaan myös ottaa sellaisia työvaiheita ja asioita mitkä eivät normaalisti kuulu asennusurakoitsijan sopimukseen. Stora Enson tekemä tutkimus taas puolestaan on toteutettu ulkomailla, joten jo pelkästään siitä syystä se ei ole suoraan sovellettavissa Suomen oloihin, erilaisesta työaikalainsäädännöstä ja työkultuurista johtuen.



Taulukko 2. Pylväsdiagrammi laskennallisista asennusajoista esimerkkikohteessa (mukailtu IdeaStructura 2021)

3.2 CLT-rungon asennusjärjestyksen perusteet

CLT-rungon asennusjärjestyksen suunnitteluun ja asennukseen vaikuttavat monet tekijät. Näitä tekijöitä ovat muun muassa materiaalivalinnat ja onko rakennus suunniteltu toteutettavaksi täysin CLT-rakenteisena. Myös erilaiset rakennusmateriaalien yhdistämiset ja hybridikäyttö sekä uudet asennustavat ja -tekniikat vaikuttavat asennusjärjestyksen muodostumiseen.

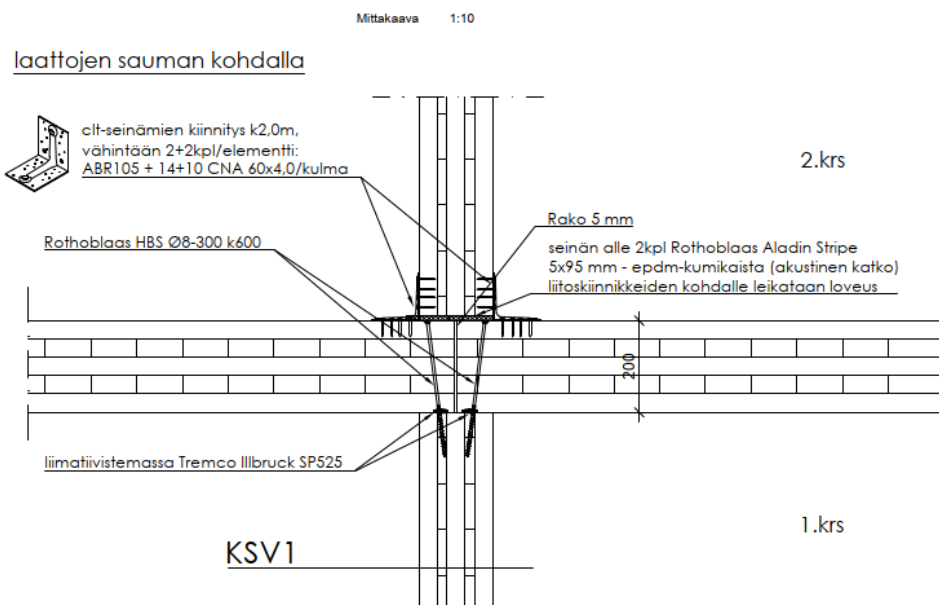
Asennusjärjestyksessä yksi suurimmista järjestystä määrittävistä tekijöistä on elementtien koko. Suurikokoiset elementit vaativat erityisjärjestelyjä kuljetuksen kannalta niin käytettävän kaluston kuin työmaan kulkujärjestelyjen osalta. Kuljetuskalustolla on oltava tarpeeksi tilaa sääsuojan alla. Suunnitellessa kuormien järjestystä, määrää ja elementtien saapumisjärjestystä työmaalle on otettava huomioon kuljetuskaluston kapasiteetti. Lisäksi on pyrittävä huomioimaan, että runko etenee loogisessa järjestyksessä. Väli- ja taaksenostot pyritään minimoimaan suunnittelemalla asennusjärjestys myös edellä mainitut seikat huomioiden. Tämä johtaa siihen, että hyötykuormien maksimoimiseksi elementtejä on ajoittain varastoitava työmaalla. (Müller 2021; Huttunen 2021).

CLT-rungon asennusjärjestys esimerkkikohteessa muodostuu seuraavasti: kaikki väliseinät, kantavat väliseinät ja ulkoseinät asennetaan nosturin ulottuvuuden ja nostokyvyn

mukaiselle alueelle, jonka jälkeen siirrytään seuraavalle nostopaikalle. Tätä jatketaan niin kauan, että kaikki kyseisen kerroksen seinäelementit ovat asennettu, jonka jälkeen aletaan asentamaan väli- tai yläpohjia. Välipohjia asennettaessa asennusjärjestyksen määrittävin tekijä on elementtien ponttien suunta ja elementtien koko (Müller 2021; Huttunen 2021.)

CLT-runkoisessa rakennuksessa kantavat seinät kulkevat samassa linjassa perustuksista vesikatolle asti. Tästä johtuen esimerkiksi suurten jännevälien toteutus pelkillä puuelementeillä on haasteellista. Myöskään kerroskohtaisia eroja tilojen suhteen on vaikea toteuttaa, kantavien seinien rajoittaessa tilankäyttöä merkittävästi. Koska väliseinät toimivat myös vaakajäykisteinä on asennusjärjestyksen muuttaminen nykyisillä rakennustekniikoilla ja toteutustavoilla vaikeaa. (Nikkanen 2021).

Rungon pystyttäminen lohkoissa vaatii suunnittelua. Välipohjat ja niiden alapuolella olevat seinät jäykistävät runkoa sitä mukaa kuin sitä asennetaan, ja tästä johtuen lohkojen liittäminen toisiinsa on huomattavasti haastavampaa kuin betonielementeissä. Kuvassa 8 esitettyssä liitosdetaljissa näkyy hyvin liitosten monimutkaisuus. Lohkoajattelun toteuttaminen onnistuu tekemällä asennukset ikään kuin kolmion muodossa. Ensin asennetaan seinäelementtejä kolmion alareunaksi, jonka jälkeen pystytään nostamaan välipohjia ja niiden päälle myös toisen kerroksen seinäelementtejä. Näitä välipohjia ja toisen kerroksen seinäelementtejä kuitenkin ei voida laittaa yhtä suurelle alueelle kuin alapuolisia seinäelementtejä, jotta rakenne säilyttää tarvittavan jäykkyyden. (Müller 2021).



Kuva 8: CLT-elementtien liitosdetalji välipohjalaatan ja kantavan väliseinän välillä (mukailtu IdeaStructura 2020)

Lohkoajattelua ja rakennuksen toteuttamista lohkoina on tutkittu Puurakentajien toimesta. Tutkimuksessa kuitenkin ei havaittu merkittävää aikatauluhyödyn saavuttamista lohkomallin toteutuksella verrattuna normaaliin asennusjärjestykseen. Myös tutkimukseen osallistuneet talotekniikkaurakoitsijat huomasivat, ettei töiden tahdistamisella lohkomallin mukaisesti saavutettu merkittävää aikataulullista tai kustannuksellista hyötyä. (Huttunen 2021).

Näiden lisäksi CLT-runkoisessa rakennuksessa tulee ottaa huomioon CLT-välipohjien vaatima pinnoitus. Akustiikan takia CLT-välipohja on aina päällystettävä. Esimerkkikohteessa tämä tapahtui askelääniä eristävällä lämmöneristeellä sekä maakosteasta kuituvahvisteisesta betonista tehdyllä pintabetonilaatalla. (Nikkanen 2021).

3.3 CLT-runkoon liittymättömien töiden yhteensovitus

Yleisesti katsottuna, CLT-rungon asennuksen, ja muiden työmaalla tapahtuvien töiden yhteensovittamisessa suurin vaikutusarvo on suunnittelulla. Suunnittelu tulee tehdä 3D-muodossa, jotta talotekniikan vaatimien putkitusten törmäykset on mahdollista havaita hyvissä ajoin. Talotekniikan edellyttämien läpivientien tekeminen työmaalla jälkikäteen on kallista, hidasta ja työlästä. Mikäli suunnittelijat kykenevät suunnittelemaan rakenteita ja osakokonaisuuksia siten, että usean työvaiheen ja urakoitsijan töiden limittäminen onnistuu, vaikuttaa se positiivisesti myös läpimenoaikaan kokonaisuutena. Tätä kautta myös puurakennusten kustannukset on mahdollista saada pienemmiksi. Esimerkkityömaalla käytetty runkourakoitsija suositteliekin puurakenteille urakkamuodoksi SR-urakkaa, suunnittelun ja siinä havaittavien ristiriitojen ja törmäyskohtien minimoimiseksi. SR-urakalla tarkoitetaan urakkamuotoa, jossa suunnittelun ja toteutuksen suorittaa sama urakoitsija tilaajan asettamien viitekehysten puitteissa (Juurikka 2020). Puurakentajat Groupin toimitusjohtaja Mikko Leino mainitsee Rakennuslehdelle antamassaan haastattelussa (Lättilä 2020), että mikäli puurakennuksia toteutettaisiin SR-urakoina, olisi betoni- ja puurakentamisen hintaeroa mahdollista kuroa umpeen.

Myös CLT-runko itsessään aiheuttaa kuitenkin ongelmia töiden limittämisen suunnitteluun, sillä perinteinen betonielementtirakentamisessa käytetty lohkoajattelu ei onnistu, vaan CLT-runko asennetaan useimmiten kerros kerrallaan alhaalta ylöspäin. Nykyään esimerkiksi IV-konehuoneet sijaitsevat pääasiallisesti ullakkotiloissa, joten tähän talotekniikkatöiden kannalta merkityksellisempään ja eniten aikaa vievään kohteeseen päästään CLT-runkoisessa rakennuksessa vasta rungon asennuksen lopussa.

Opinnäytetyön kohteena olevalla työmaalla suurimmat ongelmat rungon pystytyksen ja muiden rakennustöiden yhteensovittamisessa muodostuivat ikkuna-asennuksen, sekä julkisivutöiden ja vesikaton huopatöiden yhteensovittamisessa CLT-rungon

asennusaikatauluun. Runko pystytetään täysin sääsuojan alla, joten rakennuksen ympärillä ei ole juurikaan tilaa varastoida suurikokoisia rakennustarvikkeita, eikä tilaa nostimien liikkumiselle ole lähes lainkaan. Lisäksi talon toisella sivulla olevan katoksen alle tulee useita suuria ikkunoita, joita havainnollistetaan kuvassa 9. Näin suurien ikkunoiden asentaminen yläpohjaelementtien jälkeen olisi todella vaikeaa erityisesti 2.kerroksen ikkunoiden kohdalla.



Kuva 9. Esimerkki-ikkunoita katoksen alla BIM-mallissa (mukailtu IdeaStructura 2020)

Ikkunoiden toimitusaika esimerkkitilanteessa oli lisäksi useita viikkoja, joten hyvin suunnitellulle aikataululle oli tarvetta. Ikkunoiden toimitus ja asennus tuli suorittaa siten, että rungon pystytys pääsi myös etenemään keskeytyksettä. Aikataulussa pysymisen varmistamiseksi työmaalla pidettiin runkourakoitsijan sekä pääurakoitsijan kesken tarkastuskierroksia, joiden avulla varmistettiin aikataulussa pysyminen rungon osalta. CLT:n suuri kysyntä maailmanlaajuisesti johti myös viivästyksiin toimituksissa. Tästä johtuen aikataulun aktiivinen tarkastelu oli tarpeellista, jotta pääurakoitsija pystyi varmistamaan materiaalien ja asennuksen toimitus- ja alkamispäivämäärät tarkasti hyvissä ajoin.

Talotekniikkaurakoitsijoiden töiden aikataulutukseen rungon pystytyksellä ei ollut suurta merkitystä, vaan ongelmat tulivat esiin pääosin puutteellisten suunnitelmien kautta. CLT-elementteihin tehtyjen läpivientien koot ja sijainnit esimerkiksi liian lähellä välipohjaa aiheuttivat ongelmia kiinnitysten ja varausten läpi kulkevien putkien tiivistyksen ja äänieristämisen kannalta.

4 Lämpimenoajan pienentäminen

Puurakentamisen kasvavasta määrästä johtuen puuraaka-aineiden ja -tuotteiden maailmanlaajuinen kysyntä on kasvanut viime vuosina merkittävästi, eikä taantumista kasvulle ole lähivuosina havaittavissa. Mikäli maailmanlaajuinen raaka-ainepula saadaan tyydytetyä, on mahdollista ottaa käyttöön lisää keinoja läpimenoajan pienentämiseksi. Vaatii kuitenkin useita erilaisia tapahtumia raaka-ainepulan tyydyttämisen lisäksi, niin suunnittelu- kuin toteutusorganisaatioissa sekä poliittisella tasolla ennen kuin kyseiset aikatauluun positiivisesti vaikuttavat tekijät saadaan näkymään työmaaoloissa.

Jotta voitaisiin päästä lyhyempiin asennusaikoihin, Suomessa tulisi painostaa merkittävää nykyistä enemmän CLT-elementtien tuotantoon. Suomen CLT-tuotannon kapasiteetti ei tällä hetkellä riitä suuriin julkisiin hankkeisiin, vaan suomalaisesta CLT:stä tehdään pääasiassa pientaloja, ja muita pienen mittakaavan rakennuksia.

Yhtenäinen standardijärjestelmä puurakenteille ja niiden kiinnityksille ja saumojen toteutuksille puolestaan helpottaisi elementtien tuotantoa huomattavasti nykyisestä, jolloin päästäisiin lähemmäs betonielementtien tuotantoa ja tätä kautta myös rakentamiseen vaadittava läpimenoaika pienenee rakentajien saadessa kokemusta yleisessä käytössä olevista rakennustekniikoista. Standardointijärjestelmän saaminen voisi myös edesauttaa myös kotimaisen CLT-tuotannon kasvattamista. Esimerkkikohteessa CLT-elementit jouduttiin tilaamaan Ruotsista juuri siitä syystä, että Suomesta ei löytynyt tuotantokapasiteettia näin suuren kokoluokan kohteeseen.

Lämpimenoajan pienentämiseksi käytössä olevilla tekniikoilla ja rakennustavoilla on nykyään käytännössä vain yksi tapa: työntekijäresurssien lisääminen. Tämä tapa kuitenkin nojaa siihen olettamukseen, että CLT-elementtejä saadaan toimitettua suuria määriä nopealla aikataululla, mikä vuonna 2021 vallitsevassa markkinatilanteessa on käytännössä mahdotonta, eikä läpimenoajan pienentäminen tällä tavoin vähennä rungon asennuksen kokonaishintaa laisinkaan.

Kokonaisläpimenoajan pienentämiseksi suunnitelmien merkittävyys, erityisesti CLT-runkoon liittyvissä töissä vaikuttaa merkittävästi. Jos suunnittelussa on otettu huomioon esimerkiksi pintarakenteet, on mahdollisuus pienentää kokonaisläpimenoaikkaa rungon osalta. Jos CLT-elementeistä ei muodostu valmis pinta rakennuksen sisäosiin, on runko nopeammin ja pienemmillä henkilöresursseilla pystytettävissä. Paikkaukset, hionnat ja erilaiset valmiiden pintojen jälkityöt ovat suuri osa kokonaisaikataulua, ja mikäli esimerkiksi nämä edellä mainitut työvaiheet voi jättää pois, tekemällä pinnat esimerkiksi koolauksen varaan asennettavalla levytyksellä, on rungon pystytys merkittävästi nopeampaa. Edellä mainittu

sisäseinien koolaaminen ja levytys helpottaa myös talotekniikan asennuksia. CLT-elementteihin tehtävien läpivientien, kolojen ja roilojen määrä vähenee kun putkia ja johtoja pystytään kuljettamaan levyseinän ja CLT-elementin välisessä tilassa.

Eräs läpimenoaikaan vaikuttava tekijä niin betoni- kuin puuelementtirakentamisessa on valmiiden tilaelementtien asentaminen. Tilaelementit kootaan valmiita pintoja ja talotekniikkaa myöden valmiiksi jo kokoonpanopaikassa, ja työmaalla ne nostetaan vain paikoilleen. Tämän toteutustavan hyödyntäminen julkisissa rakennuksissa vaatisi kuitenkin myös merkittävää tuotantokapasiteetin kasvua kotimaassa.

Esimerkkikohteessa rungon pystytyksen läpimenoajan pienentämiseksi hankitaan toinen ajoneuvonosturi sekä asennusryhmä Puurakentajien ehdotuksen pohjalta. Lisäresurssit otetaan käyttöön rungon asennuksen viimeisen kolmanneksen kohdalla, jolloin Stora Enso pystyy toimittamaan suurempia määriä CLT:tä työmaalle viikoittain. Tämän toteutustavan aikataulullisen hyödyn merkitys on kuitenkin esimerkkityömaalla minimaalinen, sillä rungon asennuksen alkuvaiheessa CLT-elementtejä ei olla saatu toimitettua työmaalle Stora Enson toimesta tilauksen mukaisessa aikataulussa.

4.1 Lean-ajattelu

Lean-ajattelulla tarkoitetaan johtamisfilosofiaa, jolla pyritään poistamaan tuotantoketjusta hukka. Hukaksi lasketaan erilaiset laatuvirheet, odotusajat kuten varastointi ja yleensäkin kaikki mikä aiheuttaa loppukäyttäjälle ylimääräisiä kustannuksia tai aikatauluviiveitä. Leanissa pyritään saamaan oikea määrä, oikean laatuista tuotteita oikeaan aikaan oikeaan paikkaan, ja tätä kautta kasvattamaan tuotteen tai palvelun arvoa loppukäyttäjälle. (LCI Finland).

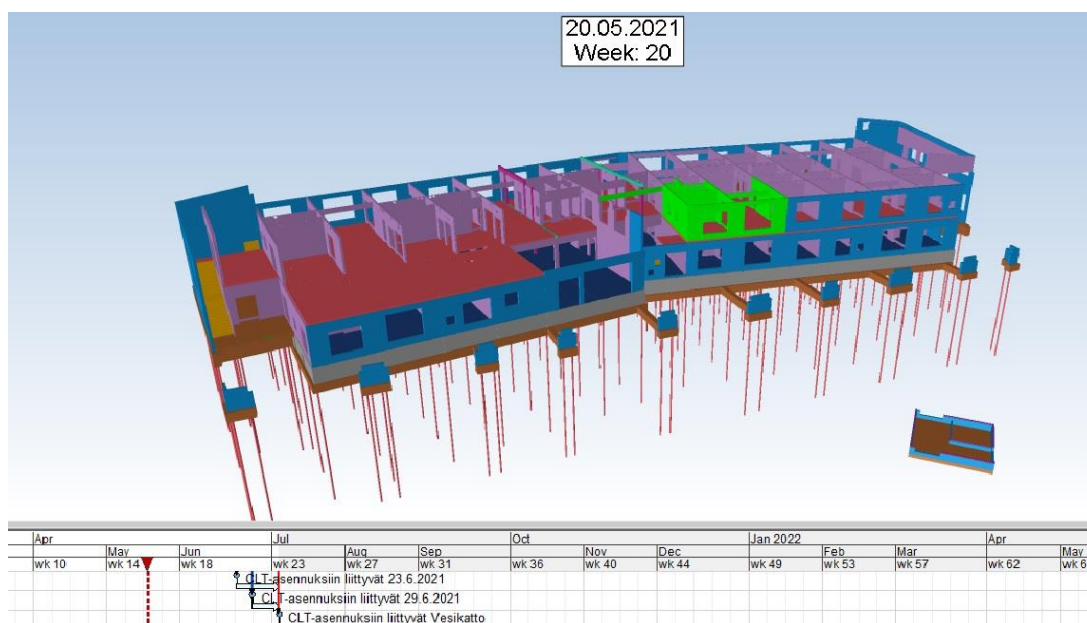
CLT-rungon pystytyksessä jo Ratu-kortisto ohjaa omalla tavallaan lean-ajatteluun. Ratu-kortin 0424 mukaan puuelementit asennetaan aina paikoilleen suoraan kuljetusajoneuvosta ilman välivarastointia. Jotta tämä toteutuisi, tulisi työmaalla ehdottomasti olla käytössä vähintään kaksi ajoneuvonosturia ja kaksi elementtien asennusryhmää. Ja tämä taas johtaisi siihen, että elementtitoimitusten viikoittainen kapasiteetti tulisi olla merkittävästi suurempi. Ongelmia tähän asennustapaan aiheuttaa myös kuljetuskapasiteettiin liittyvät ongelmat. Kuljetuskaluston maksimikapasiteetin hyödyntäminen siten, että hukkaa kuormien koossa ja tilavuudessa ei tulisi, on vaikea toteuttaa. Käytännössä aina esimerkiksi pilarielementit tulevat työmaalle sellaisten kuormien yhteydessä, jossa on niille tilaa, eikä niinkään sen mukaan milloin kyseisille elementeille on tarve. Tämä aiheuttaa tarpeen välivarastoinnille työmaalla.

Lean-ajattelun toteutumisen kannalta suurimmat ongelmat johtuvat kysynnän ja tarjonnan epäsuhdasta toisiinsa nähden, sekä materiaalin pitkistä toimitusmatkoista ja -ajoista. Myös laadullisista tekijöistä aiheutuvaa lisätyötä ja tätä kautta aikatauluviiveitä on ollut jonkin verran havaittavissa esimerkkityömaan elementtejä ja Puurakentajien asentajien sekä työnjohdon kanssa keskustellessa.

4.2 4D-aikataulu

4D-aikataululla tarkoitetaan aikataulua, joka esitetään 3D-muotoisena. Nykyään lähes kaikista julkisista uudisrakennuksista tehdään 3D-tietomalli, jonka avulla pystytään tarkastelemaan erilaisia rakenteita ja miten ne toimivat yhdessä. 4D-aikataulussa tähän lisätään normaalin kolmen ulottuvuuden X, Y ja Z lisäksi neljäs ulottuvuus eli aika. 4D-aikataulussa pystytään mallintamaan rakennustöiden edistyminen aikaan sidottuna, jolloin eri työvaiheiden tahdistaminen helpottuu.

Esimerkkityömaalla tehtiin rungon pystytyksestä myös 4D-aikataulu. 4D-aikataulusta pystyy näkemään asennuksen etenemisen jopa tunnin tarkkuudella. Tähän tarkkuuteen päästäkseen tulee kuitenkin asennusaikataulun suunnittelijan tehdä jokaiselle elementille tarkka asennusajankohta. Suunnitelman voi tehdä hyvin tarkaksi, mutta elementtikohtainen asennusajan vaihtelu saattaa olla merkittävää, joten aikataulua ei tule seurata yksikoisesti. Työmaalla 4D-aikataulua käytettäessä tarkastelun kannalta käytännöllisimmäksi aikaväliksi havaittiin päiväkohtainen tarkastelu. 4D-aikataulussa pystyy näin ollen näkemään kaikki päivän aikana asennettavat elementit korostettuna, kuten kuvassa 10, jolloin myöskään mahdollisten yksittäisten elementtien asennusten viivästyminen ei pomppaa esiin liian räikeästi.



Kuva 10. Esimerkki 4D-aikataulusta (mukailtu Lean4D 2021)

Mikäli 4D-aikataulusta on tavoitteena saada mahdollisimman suuri hyöty, pitäisi tämä ottaa huomioon jo suunnitteluajana. Erityisen suuressa merkityksessä on kaikkien urakoitsijoiden huomioiminen aikataulua tehdessä. Mikäli näin toimitaan, on urakoitsijoilla mahdollista yhdessä sopia omien töidensä limittämisestä, joka poistaa työmaalla tapahtuvaa asennusryhmien ja töiden päällekkäisyyttä. Mikäli aikataulut suunnitellaan mahdollisimman tarkasti, ja jo etukäteen pystytään määrittämään esimerkiksi tarvittavan nostokaluston koko, pystytään 4D-aikataulun avulla määrittämään mahdolliset aikataulujen ristiriidat ja törmäyskohdat ennen kuin ne huomataan työmaaoiloissa.

Suuremman hyödyn tavoittelun saavuttamiseksi 4D-aikataulua hyödyntäen edellyttäisi että, järjestelmään olisi mahdollista lisätä aktiivinen edistymisen seuranta. Ensin jo suunnitteluvaiheessa tehty aikataulu tuodaan asennusryhmien mobiililaitteeseen tai muuhun vastaavaan, johon asennusryhmä kuittaa tehdyt asennuksensa työn edetessä. Tämän avulla töiden tahdistaminen ja aikataulussa pysymisen seuranta helpottuu.

Puurakentajilla on käytössään jo tällä hetkellä mobiilisovellus, jonka avulla elementtikohtaisen QR-koodin skannaamalla näkee mihin kohtaan kyseinen elementti sijoittuu. Tämän jatkojalostaminen edellä mainitulla aktiivisen edistymisen seurannalla on suhteellisen helposti toteutettavissa.

5 Yhteenveto

Puurakentamisen yleistyminen Suomessa viime vuosina ajaa rakennusteollisuuden mielestäni pian ongelmiin, mikäli opinnäytetyötä tehdessäni eri lähteistä eniten esiin nousseita ongelmakohtia aiheuttaville asioille ei tehdä jotain. Yhtenäisen standardointijärjestelmän puuttuminen puurakentamisesta kallistaa taloudellisesti ajateltuna vaakakupin betonirakentamisen puolelle. Toisaalta mikäli puurakentamiseen saataisiin samanlainen järjestelmä, sen yhdistäminen jo olemassa olevien valmistus- ja asennusratkaisujen kanssa saattaisi auttaa puurakentamisen kokonaiskustannuksen positiivisessa kehityksessä todelliseksi kilpailijaksi betonirakentamiselle.

Opinnäytetyötä tehdessäni minulle korostui myös betoniteollisuuden vahva jalansija suomalaisessa rakentamisessa. Rakennusmestarin ja -insinöörin koulutuksessa puurakentamisen opettamiseen käytetään marginaalinen aika verrattuna betonirakentamiseen, vaikkakin osaa opetettavista asioista pystyy soveltamaan niin puu- kuin betonirakentamisessakin. Uskoisinkin tähän olevan tarpeellista saada muutos hyvin nopealla aikataululla. Muussa tapauksessa on mahdollista, että lähivuosiksi kaavailtu puurakentamisen lisääminen kaatuu, tai ainakin kärsii merkittävästi, pätevien ja koulutettujen työnjohtajien ja työmaainsinöörin puutteesta.

Puurakentamisen ehdottomiksi eduiksi voidaan laskea helppo muunneltavuus. Tiloista voidaan suunnitella monipuolisesti erilaisia tarpeita vastaaviksi. Esimerkkityömaalla rakennetaan päiväkotia, jossa tarvitaan monipuolisesti muotoiltavia, usein normaalia koululuokkatiloja pienempiä tiloja, mutta myös suuria saleja. CLT:n helppo muokattavuus antaa rakennukselle lisäarvoa, myös siinä tapauksessa mikäli tilojen tai rakennuksen käyttötarkoitus myöhemmin muuttuu. CLT-rakenteita on helppo muokata uutta tarvetta vastaavaksi myös jälkikäteen. Muita etuja ovat helppo asennettavuus sekä rakennusfysikaaliset ominaisuudet. Puurakennukset ovat sisäilmaltaan hyvälaatuisia, ja tämä korostuu julkisissa rakennuksissa, joista yhä useampi rakennetaan puurunkoisena. Mediassa jo vuosia esillä ollut keskustelu julkisten tilojen sisäilmaongelmista voidaan kääntää parempaan suuntaan käyttämällä rakentamisessa enenevässä määrin puuta. Rakentamisessa aiemmin tehdyt virheet pyritään korjaamaan rakentamalla terveitä taloja, ja tässä puurakentaminen onkin avainasemassa.

Myös ekologisuus ja kestävä kehityksen arvot ovat olleet vahvasti esillä julkisessa keskustelussa ja mediassa. Puurakentamisen positiiviset ympäristövaikutukset puoltavat puurakentamisen lisäämistä. Puu on huomattavasti ympäristöystävällisempi rakennusmateriaali kuin perinteisesti käytössä oleva betoni. Puurakennusten toimisesta hiilinieluna tosin käydään keskustelua. Lähteestä ja mittaustavasta ja -aikavälistä riippuen tuloksista

saadaan hyvin erinäköiset. Betoniteollisuus pyrkii saamaan puurakentamisen ympärille muodostunutta positiivista ilmapiiriä ja nostetta hieman laannutettua, jotta heidän oma teollisuudenalansa ei kärsisi merkittäviä taloudellisia tappioita. Ympäristövaikutukset kuitenkin toimivat merkittävänä tekijänä tehdessä poliittisia päätöksiä, joilla erityisesti julkista rakentamista ohjataan. Tästä johtuen puurakentaminen tulee lisääntymään merkittävästi tulevaisuudessakin.

Puurakentamisella on huomattava määrä käyttämätöntä potentiaalia. Mikäli puurakentamisen kustannukset saadaan kilpailukykyiselle tasolle betonirakentamisen kanssa, on hyvinkin mahdollista, että myös niin sanottu kovan rahan puurakentaminen lähtee nousuun Suomessa. Tämä kuitenkin vaatii merkittävän määrän uskaliaita urakoitsijoita tarttumaan haasteisiin ja luomaan ja kehittämään puurakentamiselle soveltuvia rakennustekniikoita ja -tapoja. Tämänhetkinen tilanne on käytännössä se, että kaikki suurimmat yritykset odottavat muiden tekevän läpimurtoja ja tutkimusta, jonka vanavedessä on tavoite päästä ratsastamaan sitten kun kaikki puurakentamisen sudenkuopat on selätetty.

Läpimenoajan pienentämiseksi tarvitaan kuitenkin merkittäviä muutoksia nykyiseen CLT-tuotantoon sekä lainsäädäntöön ja normistoon. Suomen CLT-tuotanto ei mitenkään voi nykyisellään vastata jatkuvasti kasvavaan tarpeeseen, jota puurakentamisen lisääntyminen tulee vain kasvattamaan entisestään. Puurakentamisella saavutetut ympäristöhyödyt menetetään, mikäli elementit tuodaan esimerkiksi Keski-Euroopan suurilta tuotantolaitoksilta, kun vaihtoehtona voisi olla kotimainen tuotanto. Tämä on ristiriidassa poliittisten päätösten kanssa, joiden avulla pyritään rakentamisesta tekemään aiempaa ympäristöystävällisempää

Pitkät toimitusmatkat myös luovat epävarmuutta ja vaikeuksia saada rungon läpimenoaika pienennettyä. Mahdollisten virheiden korjaamiseksi ja muutosten tekemiseksi lähituotanto olisi aikataulullisesti merkittävästi parempi vaihtoehto. Suomella on myös merkittävät raaka-ainevarastot puun osalta, ja kotimainen puu on kaiken lisäksi laadultaan ja lujuudeltaan erinomaista.

Opinnäytetyötäni tehdessäni huomasin myös suunnittelun merkityksen korostuvan. CLT-rakentaminen vaatii entistä parempaa yhteistyötä niin arkkitehdilta, rakennesuunnittelijalta kuin talotekniikkasuunnittelijoiltakin. Kaikki suunnitelmat tulisi tehdä 3D-mallin pohjalle, jotta mahdolliset ristiriidat ja törmäykset saadaan huomattua hyvissä ajoin, ja korvaavat ratkaisut suunniteltua ennen elementtien tuotantoa. Tämän lisäksi mielestäni rungon asennusaikataulu olisi hyvä olla valmiina jo ennen kuin rakennustyöt alkavat. Tämä helpottaa muiden urakoitsijoiden ja heidän töiden yhteensovittamista CLT-rungon suhteen. Myös asennusjärjestyksen määrittäminen kaikkien urakoitsijoiden kesken kuulostaa mielestäni

järkevämmältä vaihtoehdolta. Sen avulla olisi mahdollista saada kokonaisaikataulussa säästöä, kun kaikki työmaan työt on suunniteltu yhteistyössä, jolloin oletettavasti jokaisen toiveet ja tarpeet on otettu huomioon.

Lisähyötyä aikataulun hahmottamiseksi ja töiden tahdistamisen helpottamiseksi on mahdollista saada 4D-aikataulun avulla. Sen avulla pystytään aikatauluttamaan koko työmaan toiminnot erittäin tarkasti, joskin päiväkohtainen tarkkuus on mielestäni riittävä. Liian tarkka minuuttiaikataulu ei palvele kokonaistarkoitusta, koska siinä korostuu liiaksi mahdolliset yksittäisiä elementtejä koskevat viivästykset. Esimerkiksi elementtien työstäminen työmaalla voi viivästyttää yksittäisen elementin asennusaikaa, mutta asennusryhmä saa kurottua eron umpeen päivän aikana. Jotta 4D-aikataulusta on mahdollista saada maksimaalinen hyöty se edellyttää kuitenkin jokaiselta urakoitsijalta tarkkoja asennussuunnitelmia hyvissä ajoin, jotta tarpeeksi tarkka 4D-aikataulu voidaan muodostaa. 4D-aikataulun käyttö tulevaisuudessa tulee varmasti lisääntymään digitalisaation määrän kasvaessa myös rakennusalalla. 4D-aikataulussa on merkittävä määrä käyttämätöntä potentiaalia, mutta se vaatii myös jonkin yrityksen ottamaan riskiä uusien toimintatapojen ja -mallien käyttöönottamiseksi.

Lähteet

Crosslam a. CLT-levyn ominaisuudet. Viitattu 29.4.2021. Saatavissa <https://www.crosslam.fi/tuotteet/crosslam-levy-ja-sen-ominaisuudet.html>

Crosslam b. CLT-levyn tekniset tiedot. Viitattu 29.4.2021. Saatavissa <https://www.crosslam.fi/tuotteet/tekniset-tiedot.html> 29.4.

Harju, Larissa 2020. CLT-elementti- ja betonirungon aikataulu- ja kustannusvertailu kohteessa. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Insinööriyö. Viitattu 14.5.2021. Saatavissa <https://www.theseus.fi/handle/10024/335642>

Huttunen, Jyrki 2021. Toimitusjohtaja. Puurakentajat Oy. Sähköpostihaastattelu 19.5.2021.

Juurikka, Jorma 2020. KVR-urakka tai SR-urakka – rakkaalla urakalla on monta nimeä. Tikakoski. Blogi. Viitattu 21.5.2021. Saatavissa <https://tikakoski.fi/rakkaalla-urakalla-on-monta-nimea/>

Kekäläinen, Reeta 2015. CLT-rakentaminen. Vaasan Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 14.5.2021. Saatavissa <https://www.theseus.fi/handle/10024/87366>

Lättilä, Hannu 2020. Puurakentajat sanovat pärjäävänsä kustannuskilpailukyvyssä, jos pääsevät mukaan suunnitteluun – onko näin todellisuudessa? Rakennuslehti. Artikkel. Viitattu 12.5.2021. Saatavissa <https://www.rakennuslehti.fi/2020/12/puurakentajat-sanovat-parjaavansa-kustannuskilpailukyvyssa-jos-paasevat-mukaan-suunnitteluun-onko-nain-todellisuudessa/>

Müller, Tuomas 2021. Työnjohtaja. Puurakentajat Oy. Sähköpostihaastattelu 13.5.2021.

Mölsä, Seppo 2021. Puurakentamista on edistetty yli 25 vuotta, mutta vasta pakko tuotti tulosta. Rakennuslehti. Artikkel. Viitattu 12.5.2021. Saatavissa <https://www.rakennuslehti.fi/2021/03/analyysi-puurakentamista-on-edistetty-yli-25-vuotta-mutta-vasta-pakko-tuotti-tulosta/>

Nikkanen, Juha 2021. Vastaava työnjohtaja. Arkta Rakennuskultti Oy. Haastattelu 13.5.2021

Puuinfo, 2021. Paloturvallinen puutalo. Viitattu 16.5.2021. Saatavissa https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_netti_kokonainen.pdf

Puuinfo, 2020. Puutieto - Monikerroslevy (CLT). Viitattu 16.5.2021. Saatavissa <https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/monikerroslevy-clt/>

Puuinfo, 2020. Puutieto - Puun käyttö rakentamisessa. Viitattu 16.5.2021 Saatavissa <https://puuinfo.fi/puutieto/kayttokohteet/>

Puuinfo, 2020. Puutieto – Puun käytön ympäristövaikutukset. Viitattu 12.5.2021. Saatavissa <https://puuinfo.fi/puutieto/ymparistovaikutukset/>

Ratu 0424 2014. Puuelementtirakentaminen, seinät. Rakennustieto.

Ratu 0436 2014. Puuelementtirakentaminen, väli- ja yläpohjaelementit. Rakennustieto.

Stora Enso. CLT by Stora Enso. Viitattu 21.5.2021. Saatavissa <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt-by-stora-enso-technical-brochure-en.pdf>

Tolppanen, J., Karjalainen M., Lahtela T. & Viljakainen, M. 2013. Suomalainen puukerrostalo - Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Opetushallitus

Ympäristömerkintä Suomi Oy. Rakentaminen. Viitattu 21.5.2021. Saatavissa <https://joutsenmerkki.fi/teemat/rakentaminen/>

Liite 1. Sähköpostihaastattelut Puurakentajat

Opinnäytetyö, RKM AMK

Toni Viisanen
LAB AMK
Kevät 2021

Sähköpostihaastattelu koskien opinnäytetyötäni aiheella ”Lämpimenoajan pienentäminen CLT-rungon asennuksessa”

RUNKOURAKOITSIJAN EDUSTAJAT: Jyrki Huttunen, Toimitusjohtaja

Kysymys 1: Mitä erityispiirteitä CLT-rakentamisessa tulee ottaa huomioon? (esim. sääsuoja, kuljetukset, varastointi)

- massiivipuu ei itsessään tarvitse sääsuojaa
- Varastointi maasta aluspuilla korotettuna
- Yhteen rahtiin mahtuu verrattain paljon asennettavia kappaleita joten lastausjärjestys on oleellinen työn sujumisen kannalta
-

Kysymys 2: Mitä erityispiirteitä CLT-elementtien asennuksessa tulee ottaa huomioon? (esim. asennusjärjestys, nostot)

- asennusjärjestys tulee ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Liitosten suunnittelulla voidaan päättää asennus suunnat yms.

Kysymys 3: Mitkä ovat suurimmat eroavaisuudet CLT:n ja perinteisen betonirakentamisen välillä? (asennuksessa ja aikataulutuksessa)

- Yhteen rahtiin mahtuu 10-30 elementtiä joten logistiikan pitää olla kunnossa.
- Pystytään asentamaan verrattain pienillä nostureilla
- Näkyvät pinnat valmiina joten asennuksessa saa olla tarkkana
-

Kysymys 4: Mitkä ovat CLT-rungon asennusjärjestyksen määrittävät tekijät? (Kriittiset vaiheet)

Opinnäytetyö, RKM AMK

Toni Viisanen
LAB AMK
Kevät 2021

- detaljit (huomioitava suunnittelussa järjestys, esim. tilanteita joissa suunnittelija on suunnitellut kohteen pontit siten, että joudutaan jättämään saumoja auki jotta saa seuraavan asennettua)
- Vältettävä väliin asennusta, koska liitoksissa ei ole toleransseja
-

Kysymys 5: Voiko rungon asennusjärjestykseen vaikuttaa esim. vaihtamalla välipohjamateriaalin?

- ei merkittävästi. CLT VP on nopea asentaa

Kysymys 6: Miten CLT-runkoa asennettaessa voisi ottaa muut urakoitsijat ja heidän työvaiheensa (esim. TATE) huomioon?

- Pyritään saamaan kerros nopeasti valmiiksi, jotta TATE pääsee koko alalle töihin
-

Kysymys 7: Onko CLT-runkoa mahdollista pystyttää lohkoissa? (Eli esimerkiksi puolet rakennuksesta alapohjasta vesikattoon, jonka jälkeen toinen puoli) Jos on, mitkä ovat asennukseen vaikuttavat tekijät?

- kyllä mutta ei mielestäni hyödytä aikataulussa. Liitosten suunnittelu on tässäkin isossa osassa.
- On tutkittu tätä mahdollisuutta ilman sääsuojaa tehtävissä kohteissa mutta on tultu siihen tulokseen, että puolikas auki oleva seinä on hankalampi suojata kuin tasainen VP. Myöskään TATE ei ole nähnyt tätä vaihtoehtoa paremmaksi.

Opinnäytetyö, RKM AMK

Toni Viisanen
LAB AMK
Kevät 2021

Sähköpostihaastattelu koskien opinnäytetyötäni aiheella ”Läpimenoajan pienentäminen CLT-rungon asennuksessa”

RUNKOURAKOITSIJAN EDUSTAJAT: Tuomas Müller, työnjohtaja

Kysymys 1: Mitä erityispiirteitä CLT-rakentamisessa tulee ottaa huomioon? (esim. sääsuoja, kuljetukset, varastointi)

CLT-rakentamisessa tulee ottaa huomioon seuraavia asioita:

- Mahdollisen sääsuojan koko ja sen tuomat rajoitteet asennukseen. CLT-rakentaminen on mahdollista ilman sääsuojaa ja tällaisia kohteita on tehty.
- Tontille kulku CLT-toimitusten kanssa sekä mahdollisten ylläleiden kuormien kanssa sekä näiden haalaus.
- CLT-toimitusten lastausjärjestys, kaikkia elementtejä ei saada lastattua kuormaan niin, että ne olisivat heti asennettavissa vaan tontilla tulee olla laskutilaa. Tämä on kuljetuksen turvallisuuteen liittyvä asia.
- Jos sääsuojaa ei ole varastointi tulee suorittaa niin, ettei paketteja avata ennen asennusta.

Kysymys 2: Mitä erityispiirteitä CLT-elementtien asennuksessa tulee ottaa huomioon? (esim. asennusjärjestys, nostot)

- Haluttu etenemistahti ja täten kuormien toimituspäivät.
- Asennusjärjesjestyksessä väli- ja taakseasennusten määrän minimointi ja haastavat nostot sekä asennukset.
- Nostokaluston ulottuvuus
- Tontin/sääsuojan muoto, nostopaikat
- Tilaaajan haluama aikataulu (vaikuttaa pintojen sekä ruuvausten tahdistamiseen)
- CLT liittyvät betonirakenteet tulee olla kunnolla tehty, toleranssit CLT rakentamisessa ovat noin puolet betonirakentamisen toleransseista.

Kysymys 3: Mitkä ovat suurimmat eroavaisuudet CLT:n ja perinteisen betonirakentamisen välillä? (asennuksessa ja aikataulutuksessa)

CLT-rakentamisessa ei tarvitse aikatauluttaa valupäiviä, eikä odottaa kuivumista. Lisäksi CLT pinta on maalausta vaille valmis, eikä näin vaadi pintatöitä niin paljoa kuin betoni. Asennus voidaan tehdä kevyemmällä ja ketterämmällä kalustolla kuin betonielementtiasennus (vrt puun ja betonin tilavuuspaino).

Opinnäytetyö, RKM AMK

Toni Viisanen
LAB AMK
Kevät 2021

CLT- elementtejä on myös helpompi säilyttää ja liikutella työmaalla niiden keveyden vuoksi. CLT- elementtien asentaminen on hieman nopeampaa

Suunnitelmavirheiden varalta puuta on helpompi työstää ja asennus ei keskeydy niin pitkäksi aikaa kun betonielementtien kanssa. Puuta on myös jälkikäteen helpompi työstää jos rakennuksen käyttötarkoitusta halutaan muuntaa.

Kysymys 4: Mitkä ovat CLT-rungon asennusjärjestyksen määrittävät tekijät? (Kriittiset vaiheet)

Määrittävät tekijät riippuvat paljon kohteen luonteesta ja rakennetaanko sääsuojan alla vai ei.

Asennusjärjestyksessä pyritään huomioimaan tilaajan toiveet niin pitkälle kuin mahdollista.

Muuten asennusjärjestys pyritään luomaan huomioon ottaen nostokalusto ja niin että vältytään väli- ja taakseasennuksilta.

Kysymys 5: Voiko rungon asennusjärjestykseen vaikuttaa esim. vaihtamalla välipohjamateriaalin?

Tällä ei ole juurikaan vaikutusta asennusjärjestykseen. Suuri vaikutus on elementtien ponttaus suunnalla ja elementtien koolla. Toisin sanoen jos esimerkiksi välipohjalaatan kokoa kasvatetaan niin täytyy ottaa huomioon riittääkö nosturilla nostokyky enää asentamaan laattaa suunnitellusta paikasta.

Kysymys 6: Miten CLT-runkoa asennettaessa voisi ottaa muut urakoitsijat ja heidän työvaiheensa (esim. TATE) huomioon?

















































Muut urakoitsijat pyritään ottamaan aina huomioon. Jo asennusjärjestystä ja työvoiman määrää laatiessa tulisi tilaajan toimittaa mahdollisimman tarkka aikataulu työvaiheista jotka vaikuttavat runkoon (ikkunat, pintakäsittelyn, kipsitöiden, putkitöiden yms.), jotta saadaan tehtyä kriittiset kohdat valmiiksi ennen näiden aloitusta.



Kysymys 7: Onko CLT-runkoa mahdollista pystyttää lohkoissa? (Eli esimerkiksi puolet rakennuksesta alapohjasta vesikattoon, jonka jälkeen toinen puoli) Jos on, mitkä ovat asennukseen vaikuttavat tekijät?

Tämä on mahdollista ja näin olemme myös joskus toimineet tilan ahtauden vuoksi. Jos rakennusta kootaan lohkoissa, se tulee alusta lähtien suunnitella myös niin. Asennusta ei ihan tarkalleen koota lohkoissa vaan ”kolmion muotoisena” eteenpäin eli 1. krs on edempänä kuin 2. krs jne. jotta saadaan rakennus jäykistettyä.

Liite 2. Rakennemallin määrät

'Tietomallitoimituksen tarkistus - Rakenne.cset'-säännöstö on ladattu, mutta sitä ei ole tarkastettu.

Komponentti Nimi	Pinta-ala	Pituus	Pohjan pin	Korkeus	Tilavuus	Lukumäärä	Väri
Kokoonpar ALUMIDI					0	1	
Kokoonpar ALUMIDI320N					0,005	14	
Kokoonpar ALUSPUU					0,009	3	
Kokoonpar ASENNUSSOSA					0,003	16	
Kokoonpar BEAM					0,106	10	
Kokoonpar CLT C3s					25,77	33	
Kokoonpar CLT-100-C3s					24,5	18	
Kokoonpar CLT-100-L3s					248,95	298	
Kokoonpar CLT-100-L5s					2,93	7	
Kokoonpar CLT-160-C5s					110,53	48	
Kokoonpar CLT-200-C5s					17,12	13	
Kokoonpar CLT-200-L5s					411,97	152	
Kokoonpar CLT-240-C7s					187,39	44	
Kokoonpar CLT-240-L7s					13,88	9	
Kokoonpar CLT-80-C3s					40,83	59	
Kokoonpar CLT-C3s					4,72	11	
Kokoonpar CLT-C5s					87,97	40	
Kokoonpar CLT-L3S					193,41	99	
Kokoonpar CLT-L5S					0,676	1	
Kokoonpar CLT-L7s					1,94	1	
Kokoonpar CLT-NUOLILAATIKKO					0,002	338	
Kokoonpar CLT-PINTANUOLI					0,009	308	
Kokoonpar CLT-PINTANUOLIPOHJA					0,02	750	
Kokoonpar CLT-PINTANUOLI_PR					0	16	
Kokoonpar CUT					0,005	14	
Kokoonpar ERISTE					68,35	3	
Kokoonpar Eriste					3,83	2	
Kokoonpar Floor:AP - Terassi:23					3,79	1	
Kokoonpar KAHIHARKKO					0,144	8	
Kokoonpar KANNAKE					0,056	56	
Kokoonpar KERTOPUUPALKKI					3,71	16	
Kokoonpar KIINNITYSOSA					0,205	29	
Kokoonpar KOHDISTUSKUUTIO					1	1	
Kokoonpar KOROTUSVALU					0,928	4	
Kokoonpar KULMALEVY					0,076	1141	
Kokoonpar KUORIELEMENTTI					1,9	4	
Kokoonpar LAATTA					140,57	5	
Kokoonpar LEVY					0,022	253	
Kokoonpar LIIMAPUUPALKKI					8,95	19	
Kokoonpar LIIMAPUUPILARI					5,49	23	
Kokoonpar Latta					0,001	11	
Kokoonpar ONTELOLAATTA					115,03	217	
Kokoonpar OVIAUKKO					0,695	1	
Kokoonpar PAALU					7,03	163	
Kokoonpar PERUSPILARI					8,42	23	
Kokoonpar PERUSTUS					271,89	58	
Kokoonpar PINTAVALU					114,39	3	
Kokoonpar PLATE					0,054	2	

Kokoonpar PORRAS	22,16	1	
Kokoonpar PV_SOKKELI	28,21	7	
Kokoonpar PYSTYLEBY	0,008	6	
Kokoonpar P\\TYLEVY	0,005	3	
Kokoonpar REIK\	0	5	
Kokoonpar SBKL100x150	0	1	
Kokoonpar SLAB	0,757	1	
Kokoonpar SOKKELI	51,79	48	
Kokoonpar SOKKELIELEMENTTI	62,98	31	
Kokoonpar STAIR	14,92	13	
Kokoonpar Sokkeli	0,506	1	
Kokoonpar TB-LAATTA	6,14	1	
Kokoonpar TB-SEIN\	61,11	9	
Kokoonpar TER\SPALKKI	0,322	9	
Kokoonpar VEMO	0	2	
Kokoonpar VOID	0,186	5	
Kokoonpar VS-LAATTA	36,72	1	
Kokoonpar WELDA 100*150	0,035	236	
Kokoonpar WELDA 200x200	0,003	6	
Kokoonpar WHT PLATE	0,001	5	

23.12.2020		Tilavuus	Lukumäärä	16.2.2021
Kokoonpano	CLT C3s	25,77	33	Kokoonpano
Kokoonpano	CLT-100-C3s	24,5	18	Kokoonpano
Kokoonpano	CLT-100-L3s	248,95	298	Kokoonpano
Kokoonpano	CLT-100-L5s	2,93	7	Kokoonpano
Kokoonpano	CLT-160-C5s	110,53	48	Kokoonpano
Kokoonpano	CLT-200-C5s	17,12	13	Kokoonpano
Kokoonpano	CLT-200-L5s	411,97	152	Kokoonpano
Kokoonpano	CLT-240-C7s	187,39	44	Kokoonpano
Kokoonpano	CLT-240-L7s	13,88	9	Kokoonpano
Kokoonpano	CLT-80-C3s	40,83	59	Kokoonpano
Kokoonpano	CLT-C3s	4,72	11	Kokoonpano
Kokoonpano	CLT-C5s	87,97	40	Kokoonpano
Kokoonpano	CLT-L3S	193,41	99	Kokoonpano
Kokoonpano	CLT-L5S	0,676	1	Kokoonpano
Kokoonpano	CLT-L7s	1,94	1	Kokoonpano
		1372,586	833	
Seinät	CLT-200-L5	136,758	65	
Laatat	CLT-200-L5	272,602	88	
Seinät	CLT-240-C7	187,26	44	
Seinät	CLT-240-L7	13,88	9	
Seinät	CLT-100-C3	260,34	300	