

## Puurakentamisen uusi aika – hybridirakenteet

*Miika Poikajärvi, insinööri(AMK), projektiharjoittelija, Arctic Civil Engineering TKI-ryhmä  
Lapin ammattikorkeakoulu*

Asiasanat: rakentaminen, puurakentaminen, betoni

Pyrkimykset rakentamisen hiilidioksidipäästöjen pienentämiseen ja kestävän kehityksen edistämiseen ovat ohjanneet uusien rakenneratkaisujen kehittymiseen. Yleisesti käytettyjä rakennusmenetelmiä on alettu miettimään uudelleen ja puun käyttö yhdessä perinteisten teräs- ja betonirakenteiden kanssa on herättänyt paljon kiinnostusta. Puun käytössä kiehtoo eniten sen ekologisuus ja toiminta hiilinieluna. Nykyaikaisten insinööripuutuotteiden käytön yleistyessä, niiden integroimista perinteisiin rakennusmenetelmiin on tutkittu runsaasti (Kars 2014). Suurta suosiota varsinkin Keski-Euroopassa saavuttanut CLT(Cross laminated timber) -rakentaminen on hyvä esimerkki ikivanhan rakennusmateriaalin jatkojalostamisesta nykyaikaisin tekniikoin.

Mikään ei estä käyttämästä CLT-levyä yhdessä totuttujen runkoratkaisuiden, kuten teräsbetonin kanssa. Betonirunkoisen rakennuksen välipohjat toteutettuna CLT-betoniliittorakenteella, voivat osaltaan auttaa laskemaan rakennuksen kokonaishiilijalanjälkeä, kiitos puun negatiivisen hiilijalanjäljen. Hybridirakenteet ovat käytännössä liittorakenteita ja liittorakenteen käyttöön ohjaa tarve käyttää materiaaleja optimaalisesti juuri siellä, missä materiaalityypille ominaisia piirteitä pystytään parhaiten hyödyntämään. Näin voidaan vähentää rakentamiseen käytettyjen materiaalien määrää ja voidaan mahdollisesti pienentää rakentamisen kustannuksia. Yleisesti käytettyjä teräsbetoni rakenteita voidaan joissain tapauksissa korvata puu-betoniliittorakenteella, jolloin puulla pyritään vahvistamaan betonin heikkoa vetolujuutta, kun betonia käytetään ainoastaan rakenteen puristusrasitetulla osalla. (Kars 2014.)

Puun yhdistäminen betonin kanssa mahdollistaa puun käytön kohteissa, joissa puun käyttäminen olisi muuten mahdotonta tai kohtuuttoman hankalaa ja sitä myöten kallista. Samalla se antaa myös uusia mahdollisuuksia betonin hyödyntämiseen yhdessä puurakenteiden

kanssa. Rakennuksen runkomateriaaleja pohdittaessa, vertailut suoritetaan hyvin yleisesti teräsbetoni- ja puurungon välillä. Riippuen rakennuksesta, voi myös teräsrunko olla vaihtoehtona. Joissain tapauksissa puurunko voidaan mahdollisesti jättää kokonaan harkitsematta, siihen liittyvien ennako oletusten vuoksi. Massiivipuun korkea hinta on varmasti suurin yksittäinen tekijä, joka vaikeuttaa CLT-rakentamisen yleistymistä. Rakentajien tulisi kuitenkin ottaa huomioon, että puulla on myös muita arvoja, joiden tulisi vaikuttaa päätöksen tekoon runkomateriaalin valintaa tehdessä.

Tulevaisuudessa tullaan mittaamaan rakennusten ympäristövaikutuksia ja taloudellista- sekä sosiaalista suorituskykyä erilaisten standardien avulla. Näillä standardeilla pystytään luokittelemaan rakennuksien suorituskykyä kestävän kehityksen kannalta jo rakennesuunnitteluvaiheessa, jolloin on mahdollista valita se toteutustapa kohteelle, joka toimii parhaiten kestävän rakentamisen standardien puitteissa. (Rakennusteollisuus 2017.) Puun ja betonin yhdistäminen hybridirakenteissa voi auttaa parantamaan betonin suorituskykyä näillä mittareilla mitattuna, kiitos puun ekologisuuden ja toiminnan hiilinieluna.

## Puu-betoniliittorakenteet

Maailmansotien jälkeisenä aikana oli laajalti pulaa teräksen saannissa, jota tarvittiin betonirakenteiden vahvistamiseen. Teräsvahvikkeiden puuttuessa jouduttiin miettimään korvaavia rakennevaihtoehtoja ja päädyttiin kokeilemaan puuta teräksen korvaajana rakenteen vetorasitetulla puolella. Ensimmäinen puu-betoniliittorakenteisiin liittyä patentti on jo 1920-luvulta, mutta merkittävimpiä läpimurtoja liittorakenteen tutkimusten saralla on tehty viimeisten 30-vuoden aikana. Puun ja betonin liittorakenne kehitettiin alun perin siltojenrakennukseen, sekä parantamaan jo olemassa olevien puurakenteisten lattioiden ominaisuuksia. Sitä onkin käytetty olemassa olevien puulattioiden vahvistamiseen jo tuhansien neliöiden alalta. Viimeisten kolmenvuosikymmenen aikana puu-betoniliittorakenteiden käyttö on yleistynyt merkittävästi silta- sekä talonrakennuksessa ja niiden käytön uskotaan lisääntyvän entisestään, kun kysyntä entistä vaativimmille puurakennuksille lisääntyy. Tulevaisuudessa onkin odotettavissa oma osio puu-betoniliittorakenteille, puurakentamisen suunnitteluohjeita määrittelevään Eurokoodi 5: n. (Dias 2005&2015; Yeoh 2010.)

Kun tarpeeksi hyvä liitos saadaan aikaan puun ja betonin välille, on mahdollista saavuttaa jopa kolminkertainen kantavuus ja kuusinkertainen taivutusjäykkyys verrattuna perinteisiin

puulattioihin. Puu-betoniliittorakenteen kantavuuden suhde omaan painoon on parempi verrattuna teräsbetoniseen rakenteeseen. Sillä saadaan myös parempi ilmaaneneristävyys kuin puulattioilla suuremman massan ansiosta ja parempi iskuääneneristävyys kuin betonilattioilla puun vaimentavien ominaisuuksien vuoksi. Tulipalossa betonikerros toimii yläpuolisena palokatkona joka parantaa lattian palonkesto-aikaa verrattuna täyspuisiin lattioihin, kun puu alkaa hiiltä vastata betonikerroksen murruttua. Massiivipuun palaminen hiiltymällä ja hyvä lämmöneristyskyky taas toimivat alapuolisena suojana betonille. (Ceccotti 2002.)

## CLT-betoniliittorakenne

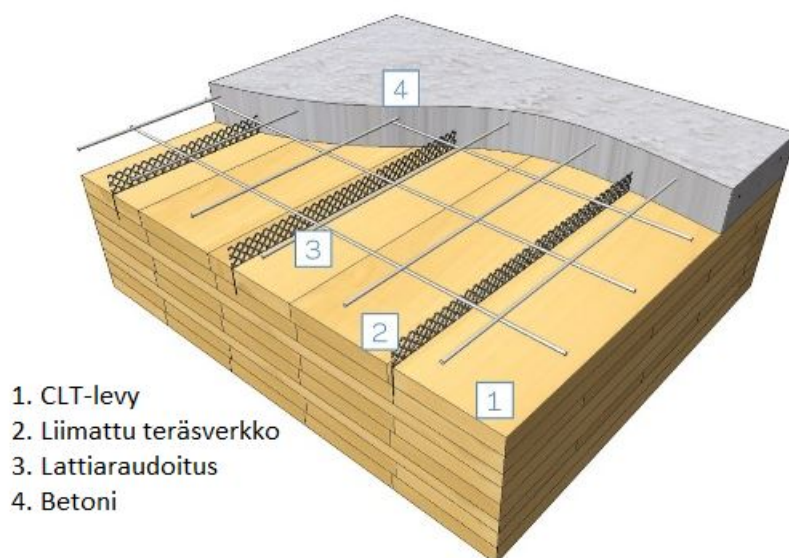
CLT-levy koostuu vähintään kolmesta ristikkäin liimatusta puulamellikerroksesta. Lamellikerrosten määrä sekä levyn dimensiot vaihtelevat levyn käyttötarkoituksen ja siltä vaadittavien ominaisuuksien mukaan. Käytännössä valmistajan tuotankoneiston kapasiteetti ja logistiset järjestelyt luovat rajoituksia levyn maksimidimensioille. CLT-levyllä voidaan toteuttaa esimerkiksi yhdellä suurelementillä kokonainen pientalon ulkoseinä, johon ikkuna ja oviaukot on tehty valmiiksi tietokoneohjatulla jyrsimellä. Levyn tulee kuitenkin olla säänvaikutuksilta suojattuna, joten se vaatii ulkoverhoilun ja mahdollisen ulkopuolisen lisälämmöneristysten. Nämä kaikki voidaan kiinnittää CLT-levyyn jo tehtaalla, jonka jälkeen ulkoseinäelementti on toimitusta ja asennusta vaille valmis.

Koulurakennus, johon tuli tanssistudio ja sen päälle isoja luokkahuoneita, rakennettiin CLT:stä ja välipohjissa käytettiin CLT-betoniliittorakennetta. Välipohjan piti pystyä kantamaan tanssijaryhmän yhtäaikaista hyppimistä ja tanssahtelua, ilman haitallista värinää ja taipumaa. Huonekorkeudet oli määritelty jo ennakkoon ja tämä rajoitti välipohjan maksimipaksuudeksi 420 mm. Tämä osaltaan rajasi pois teräspalkeilla tuetun välipohjan, joka olisi vaatinut liikaa tilaa ja ontelolaattavälipohja olisi vaatinut teräsbetonirungon, joka ei tullut kysymykseen maaperällä, jolla oli huono kantavuus. Rakennuksen rungon tuli olla mahdollisimman kevyt, jotta vältytään liiallisilta paalutuksilta perustuksissa. (Lane 2012.)

Keveys, riittävä kantavuus ja avarat tilat pystyttiin toteuttamaan CLT-betoniliittorakenteen avulla. Tanssisalin liittorakenteinen välipohja (Kuvio 1) koostui 300 mm paksusta CLT-levystä, jonka päällä 100 mm paksu betonilaatta. Betonivalussa käytettiin normaalia lattiaraudoitusta betonin kutistumishalkeilua vastaan mutta muuta rakenteellista raudoitusta ei tehty. CLT ja betoni on yhdistetty toisiinsa CLT-levyyn sahattuihin uriin liimatuilla

teräsverkoilla, jotka betonivalun sisään jäädessään mahdollistavat jäykän ja kestävä leikkausliitoksen näiden kahden materiaalin välillä. (Lane 2012.)

Liittorakenteen avulla saavutettiin 10,0 m jänneväli ilman liiallista taipumaa ja haitallista värinää. Puun negatiivisen hiilijalanjäljen ansiosta rakenteen kokonaishiilijalanjälki pieni huomattavasti verrattuna teräsbetoniin vaihtoehtoihin. Vaikka huomioon otetaan CLT-levyn päälle valettu betonilaatta, pysyi rakenteen hiilijalanjälki negatiivisena, tarkoittaen sitä, että rakenteeseen on sitoutunut enemmän hiilidioksidia, kuin sen valmistaminen on sitä synnyttänyt. Myös ilmaääneneristävyys parani verrattuna pelkkään CLT-rakenteeseen tai ontelolaataan, jäädessään ainoastaan hiukan huonommaksi siitä, mitä voidaan saavuttaa teräsbetonirakenteella sen suuremman massan ansiosta. (Lane 2012.)



Kuva 1. CLT-betoniliittorakenne. (Lane 2012.)

## Hybridirunkoinen tornitalo

Yhdysvalloissa on suunniteltu 42-kerroksista puu-betonihybridirakenteista tornitaloa, jonka runkorakenteena toimii betonilla yhdistetty puurunko. Liimapuupilarit kannattelevat CLT-betoniliittorakenteista välipohjaa, mutta puuosat eivät liity toisiinsa, vaan liitokset tapahtuvat teräsbetonipalkkien ja liimattavien teräskiinnikkeiden avulla, jotka juotetaan betonivalulla yhtenäiseksi laatastoksi ontelolaattojen tavoin. Näin saadaan vahvistettua liitoksia, joihin kohdistuu suurimmat rasitukset korkeissa rakennuksissa. Rakennuksen ensimmäinen ja toinen kerros ovat betonirakenteisia, jonka johdosta rakennuksen materiaalien kokonaisjakauma on 70% puuta ja 30% betonia. (SOM 2013.)

Prototyypin vertauskohteena toimii saman suunnittelutoimiston aiemmin toteuttama 42-kerroksinen teräsbetonirunkoinen rakennus. Kerroskorkeus ja perustamistapa valittiin samaksi, mutta johtuen prototyypin hieman paksummasta välipohjarakenteesta, prototyypirakennus kasvoi hieman korkeammaksi, jolloin siihen kohdistuu enemmän tuulesta johtuvia vaakavoimia. Tästä huolimatta, prototyypin perustuksiin tarvitaan ainoastaan 65% betonirunkoisen rakennuksen materiaaleista, johtuen hybridirakenteen keveydestä. Hybridirakenne myös pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä 60-75%. (SOM 2013.)

Oregonin yliopistossa Yhdysvalloissa valmistettiin testikappale tornitalon prototyypissä käytettävästä CLT-betoniliittorakenteesta (Kuvio 2), joka oli 2,5 m leveä sekä 11,0 m pitkä ja se koostui viisikerroksisesta CLT-levystä, paksuudeltaan 170 mm ja päällystettynä 50 mm betonivalulla. CLT-levy ja betonikerros yhdistettiin mekaanisin liittimin jotka saivat aikaan yhteistoiminnan materiaalien välillä. Kaksi tuntia kestäneen puristuskokeen aikana rakennetta mitattiin 48 sensorin avulla ja saavutettu murtolujuus oli noin kahdeksankertainen siihen mitä amerikkalaiset rakennusmääräykset vaativat – noin 400 kN, joka vastaa noin 40 000 kg pistekuormaa. (Johnson 2016.)



Kuva 2. Prototyypissä käytettävä CLT-betoni liittorakenne (Johnson 2016.)

Vaativat puurakennuskohteet yleistyvät kovaa vauhtia Suomessa, kun päiväkoteja ja kouluja on alettu rakentamaan massiivipuusta, vanhoissa betonirakennuksissa todettujen sisäilmaongelmien vuoksi. Joissain kunnissa on tehty jopa päätös, että tulevaisuudessa kaikki uudet julkiset rakennukset tullaan rakentamaan puusta. Rakentamisessa ilmenneiden puutteiden ansiosta on alettu myös kiinnittämään huomiota kestävään rakentamiseen ja sitä osataan myös vaatia jo suunnitteluvaiheessa.

Pelkällä puulla toteutetuilla rakenteilla on kuitenkin omat rajoitteensa ja täyspuiset ratkaisut voivat osaltaan muodostua hyvin kalliiksi ratkaisuksiksi. CLT-betoniliittorakenteella saavutetut, perinteisiä puurakenteita pidemmät jännevälit mahdollistavat avarammat tilat, kun välituennan tarve on vähäisempää ja tällä on suuri vaikutus tilojen estetiikkaan sekä muuntojoustavuuteen. Tilojen muuntojoustavuus on tärkeä asia varsinkin julkisissa rakennuksissa, joiden käyttötarkoitus voi muuttua useaan otteeseen vuosien saatossa ja tämä tulisi myös ottaa huomioon suunniteltaessa rakennuksia kestäväan rakentamisen näkökulmasta.

Tämä artikkeli on toteutettu osana Future possibilities for CLT -hanketta. Lapin alueen toimijoista, Lapin AMK yhdessä Kemin Digipolis Oy:n kanssa pyrkivät hankkeessa lisäämään tietoa CLT-rakentamisesta ja tunnistamaan sekä poistamaan mahdollisia esteitä CLT-rakentamisen osaamiseen liittyen yhdessä alueen liike-elämän kanssa. (Vatanen 2015, 232.)

## Lähteet

- ArchDaily. 2016. Earth Sciences Building. Viitattu 7. 2 2017.  
<http://www.archdaily.com/343465/earth-sciences-building-perkins-will>.
- Ceccotti, A. 2002. Composite concrete-timber structures. Progress in Structural Engineering. Viitattu 20.3.2017  
[https://www.researchgate.net/publication/229964540\\_Composite\\_concrete-timber\\_structures?ev=prf\\_pub](https://www.researchgate.net/publication/229964540_Composite_concrete-timber_structures?ev=prf_pub).
- Dias, A, Skinner, J, Crews, K, Tannert, T. 2015. Timber-concrete-composites increasing the use of timber construction. Viitattu 7. 2 2017.  
[https://www.researchgate.net/publication/283282515\\_Timber-concrete-composites\\_increasing\\_the\\_use\\_of\\_timber\\_in\\_construction](https://www.researchgate.net/publication/283282515_Timber-concrete-composites_increasing_the_use_of_timber_in_construction).
- Dias, A. 2005. Mechanical behaviour of timber-concrete joints. University of Coimbra.
- Johnson, N. 2016. Test highlight massive benefits of CLT/concrete hybrid construction system. Viitattu 20.2.2017. <http://www.architectureanddesign.com.au/news/tests-highlight-massive-benefits-of-clt-concrete-h>.
- Kars, E. 2014. Modern Timber Connections. StructureMag. Viitattu 7.2.2017  
<http://www.structuremag.org/?p=4061>.
- Lane, T. 2012. Designing of dancefloor: Ramboll's new moves.  
<http://www.building.co.uk/designing-a-dancefloor-rambolls-new-moves/5033378.article>.
- Rakennusteollisuus RT. 2017. Kestävän rakentamisen standardit luovat yhdenmukaiset pelisäännöt. Viitattu 17.3.2017. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentaminen-ja-vaaralliset-aineet/CENCT-350-Kestava-rakentaminen/>.
- SOM. 2013. Timber Tower Research Project. Skidmore, Owings & Merrill LLP. Viitattu 20.3.2017 [http://www.som.com/ideas/research/timber\\_tower\\_research\\_project](http://www.som.com/ideas/research/timber_tower_research_project).
- Vatanen, M. 2015. Future possibilities for CLT. Teollisuus ja luonnonvarat – T&K toiminta ja palvelut. Lapin AMK:n julkaisuja Sarja B 30/2015. Viitattu 13.2.2017  
<http://www.lapinamk.fi/loader.aspx?id=21559c62-42e6-47fb-83c8-fdccb0ef382a>.
- Yeoh, D. 2010. Behaviour and Design of Timber-Concrete Composite Floor System. University of Canterbury, 2010.