

Meeri Koivistoinen

CLT-MONIKERROSPUULEVY SUOMEN JULKISESSA RAKENTAMISESSA

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Markku Karjalainen
Teemu Hirvilammi
Huhtikuu 2023

TIIVISTELMÄ

Meeri Koivistoinen: CLT-monikerrospuulevy Suomen julkisessa rakentamisessa
(Cross laminated timber in Finnish public construction)
Tampereen yliopisto
Arkkitehtuurin TkK-tutkinto-ohjelma
Kandidaatintyö
Huhtikuu 2023

Työssä esittelen CLT:n (Cross Laminated Timber) ominaisuuksia sekä sen hyviä ja huonoja puolia. Työn tarkoituksena on kartoittaa CLT-levyn soveltuvuutta julkisessa rakentamisessa Suomen rakennuskannassa. Käsittelen työssä myös Suomen julkiseen rakentamiseen kohdistuvia määräyksiä sekä miten puurakentamista voidaan edistää julkisessa rakentamisessa.

CLT-monikerrospuulevy on kasvattanut suosiotaan Suomen rakennuskannassa viime vuosien aikana. CLT-levy on massiivipuusta tehtyä kestäväää rakennusmateriaalia, jota yleensä käytetään kantavana rakenteena seinissä ja välipohjissa. CLT-levyn käytön suosioon on vaikuttanut sen ympäristöystävällisyys, muokattavuus, jäykkyys ja kustannustehokkuus. Puutuotteena, CLT:n valmistuksessa ja käytössä rakentamisen hiilijalanjälki on huomattavasti pienempi kuin muissa suosituissa rakennusmateriaaleissa, kuten betonissa, sillä puu sitoo kasvaessaan ilmakehän hiilidioksidia ja toimii näin hiilivarastona.

Aluksi esittelen työssä CLT-levyn yleisiä materiaaliominaisuuksia ja asioita mitkä vaikuttavat levyn ominaisuuksiin. Käyn läpi CLT-levyn etuja ja vertaan niitä betoniin. Lopuksi käyn läpi Suomen julkisen rakentamisen kansallisia tavoitteita ja kuinka CLT-levyä käyttämällä voitaisiin mahdollisesti päästä tavoitteisiin. Lopuksi käyn läpi onnistuneita julkisen rakentamisen esimerkkikohteita, joissa kaikissa on käytetty CLT-levyä.

CLT-levy on tehty ristiinliimaamalla pariton määrä kuusesta tai männystä tehtyjä lautakerroksia päällekkäin. Kerroksia voi olla vähintään kolme sekä uloimmat samansuuntaiset kerrokset määräävät levyn kantavan suunnan. Lautakerrokset voidaan syrjäliimata täysin ilmatiiviillä tai syrjäliimammattomalla tavalla. Syrjäliimatussa tavassa levyn kuivuessa se voi halkeilla. Syrjäliimaamattomassa levyssä taas lautojen välisissä saumoissa voi tapahtua kosteuselämistä. Ristiinliimaus saa levyt kiinnittymään toisiinsa todella jäykällä ja lujalla tavalla tehden CLT-levystä kestävään sekä lämpöä eristävän rakenteen. Ristiinliimaus ja ilmatiivis rakenne tekee rakenteesta ilmatiiviin sekä rakenteeltaan toimivan ilman erillistä höyrynsulkua. CLT-levy mahdollistaa arkkitehtonisesti monenlaisia mahdollisuuksia sen muovailtavuutensa takia. CLT:stä voidaan tehdä myös kokonaisia tilaelementtejä, jolloin rakentamisnopeus työmailla paranee. Rakentamisnopeus ja -helppous kompensoivat CLT-levyn korkeaa 1000 euron kuutiometrihintaa. CLT-levyllä on monia hyviä puolia, mutta myös huonoja. Betoni on CLT-levyä parempi ääneneristävyydessä ja palokestävyyydessä. Kuitenkin CLT-levyn palonkesto on todella hyvä, sillä sen pintaan muodostuu hiilikerros suojaten alempia kerroksia. Tällöin CLT-levy ei romahda yllättäen ja pitää lujuutensa. Palonkesto parantaa myös erilaiset pintakäsittelyt.

Suomessa julkiselle puurakentamiselle on laadittu kansallisia tavoitteita ja ne ovat osana Suomen tavoitetta olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Tässä kandidaatin työssä tutkin julkisen puurakentamisen lisäämisen hyötyjä, sen positiivisia ympäristövaikutuksia sekä kuinka sitä voidaan edistää suomessa. Tutkimalla Suomen julkista puurakentamista voidaan huomata, että se on vielä varsin vähäistä, mutta kuitenkin kasvussa Suomen rakennuskannassa. Puun käyttö julkisissa rakennuksissa tekee niistä viihtyisimpiä sekä terveellisempiä. Massiivipuun käyttö sopii siis erinomaisesti julkisiin rakennuksiin. Esimerkkikohteiden kautta osoitetaan CLT-levyn onnistunut käyttö julkisessa puurakentamisessa. CLT-levyn käyttö tulevaisuudessa julkisissa rakennuksissa edistää Suomen tavoitteita olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja on yhtenä mahdollisena avainasemana tulevassa rakennuslain uudistuksessa, jossa 1.1.2025 lähtien kaikkien rakennuksien hiilijalanjälkeä aletaan valvomaan.

Avainsanat: CLT-levy, CLT, massiivipuun, puurakentaminen, julkinen rakentaminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. CLT- MONIKERROSPUULEVY	3
2.1 Ominaisuudet.....	8
2.2 Hyvät ja huonot puolet	10
2.3 CLT-levy verrattuna betoniin rakennusmateriaalina	14
3. JULKISEN PUURAKENTAMISEN KANSALLISET TAVOITTEET SUOMESSA..	17
3.1 Julkisen puurakentamisen edistäminen Suomessa	17
3.2 CLT-levystä rakentaminen Suomessa.....	19
4. ESIMERKKIKOhteita.....	21
4.1 Luontokeskus Haltia.....	21
4.2 Tampereen Hippoksen päiväkot.....	22
4.3 Helsingin Hopealaakson päiväkot.....	24
5. JOHTOPÄÄTÖKSET.....	26
LÄHTEET	28
KUVALÄHTEET	32

1. JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen hillitsemisessä rakennetulla ympäristöllä on merkittävä vaikutus. Noin puolet maailman raaka-aineista kulutetaan vuosittain rakentamiseen. (Julkinen puurakentaminen, 2023) Materiaalien valmistukseen käytetään suuri määrä energiaa sekä uusiutumattomia raaka-aineita, jolloin hiilidioksidipäästöt ilmakehässä kasvavat. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi on tärkeää huomioida, millaisista materiaaleista rakennamme.

Luonnon monimuotoisuuden kato sekä ylikulutus ovat ongelmia, joihin tulee tarttua kestävyyskriisin pahentuessa. Hiilinielujen vahvistaminen sekä päästövähennyksien nopeuttaminen on osa Suomen hiilineutraalia hallitusohjelmaa. (Hiilineutraali Suomi 2035, 2023) Ohjelmassa rakentamisen hiilijalanjäljen pienentäminen pyritään toteuttamaan vähähiilisen rakentamisen sekä puurakentamisen ohjelmissa.

Puurakentamisen ohjelmassa pyritään lisäämään puun käyttöä sekä kasvattamaan hiilen pitkäaikaisia varastoja. Puun käyttöä halutaan lisätä erityisesti julkisessa rakentamisessa. (Puurakentaminen, 2023) Puun käyttöä lisäämällä on mahdollista vähentää hiilidioksidin määrää ilmakehässä sekä korvata ympäristölle haitallisempia rakennusmateriaaleja ja siten olla osana estämässä ilmastonmuutosta.

Jotta Suomi saadaan hiilineutraaliksi vuoteen 2035 mennessä ja puun käyttö vakiintuisi suomalaisessa rakennuskannassa 2020-luvun loppuun mennessä, pitää kuntien alkaa noudattamaan julkisen rakentamisen sekä puurakentamisen ohjelmia. Tässä kandidaattityössä näkökulmana on perehtyä näiden ohjelmien vaatimuksien ja tavoitteiden kautta julkiseen puurakentamiseen Suomessa.

CLT-levystä rakentaminen on yksi ratkaisu toteuttaa ohjelman tavoitteet. CLT-levyrakentaminen on alkanut yleistymään Suomessa, ja se näkyy myös julkisessa rakentamisessa. Tämän vuoksi rajasin näkökulmani CLT-levystä rakennettuihin julkisiin rakennuksiin Suomessa.

Tämän kandidaattityön tarkoituksena on siis tutkia CLT-levyn käyttöä Suomen julkisessa rakentamisessa. Työssä on tarkoitus vastata seuraaviin kysymyksiin:

- Millaisia ovat CLT-levyn hyödyt suhteessa muihin yleisiin rakennusmateriaaleihin?
- Millaista on CLT-levyn käyttö julkisessa rakentamisessa Suomessa ja miten sitä voidaan edistää?

Tämä kandidaatintyö on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, jossa analysoidaan olemassa olevaa tietoa CLT-levystä, julkiseen rakentamiseen liittyviä määräyksiä sekä kuinka CLT-levyä käytetään julkisessa rakentamisessa. Ensimmäisessä kappaleessa käsitellään CLT-monikerrospuulevyn ominaisuuksia sekä vertaillaan sitä muihin yleisiin rakennusmateriaaleihin. Seuraavissa kappaleissa käsitellään julkiseen rakentamiseen kohdistuvia tavoitteita Suomessa ja miten ne ilmenevät julkisessa rakentamisessa. Alaluvuissa käsitellään CLT-levyn käyttöä ja mahdollisuuksia julkisessa rakentamisessa ja lopuksi käydään läpi esimerkkikohteita.

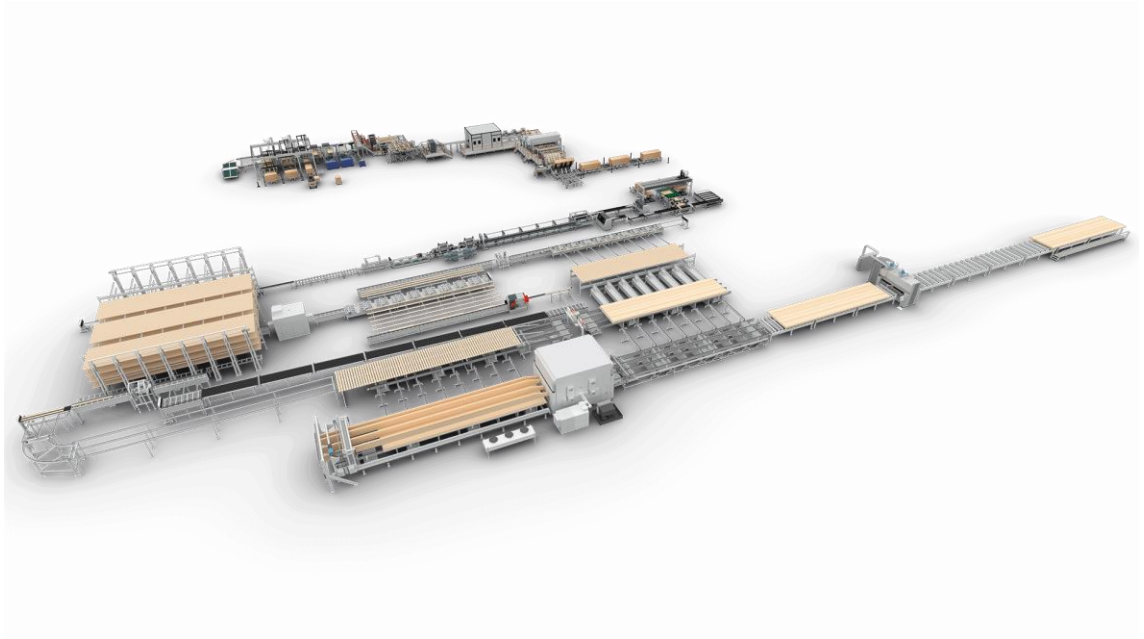
2. CLT-MONIKERROSPUULEVY

Monia vuosia rakennusalaan ovat hallinneet betoni- ja teräsrakentaminen. Nykypäivänä puu on yleistynyt rakennusmateriaalina sen uusien mahdollisuuksien sekä ilmastonmuutoksen torjumisen vuoksi. 1990-luvulla Keski-Euroopassa kehitettiin moderni tapa puurakentamiselle: CLT (cross laminated timber) eli monikerrospuulevy. CLT on ristiinlaminointua, kuusesta tai männystä tehtyä massiivipuuta, joka tunnetaan sen kestävästä ominaisuuksista. (Asumma, 2022)

CLT-levyä Suomessa valmistaa Oy Crosslam Ltd, CLT Finland Oy ja CLT Plant Oy. Suomeen CLT-levyä toimittaa Stora Enso. Levyjen ominaisuudet sekä valmistustavat riippuvat valmistajasta. Suomessa Crosslam on esimerkiksi ainut valmistaja, joka valmistaa levyä molemmilla liimaustavoilla. Levyjen paksuudet vaihtelevat 60–400 mm välillä ja leveys 2,95–4,8 m välillä. Levyjen pituus voi olla enintään 12–20 m. (Puuinfo, 2023a)



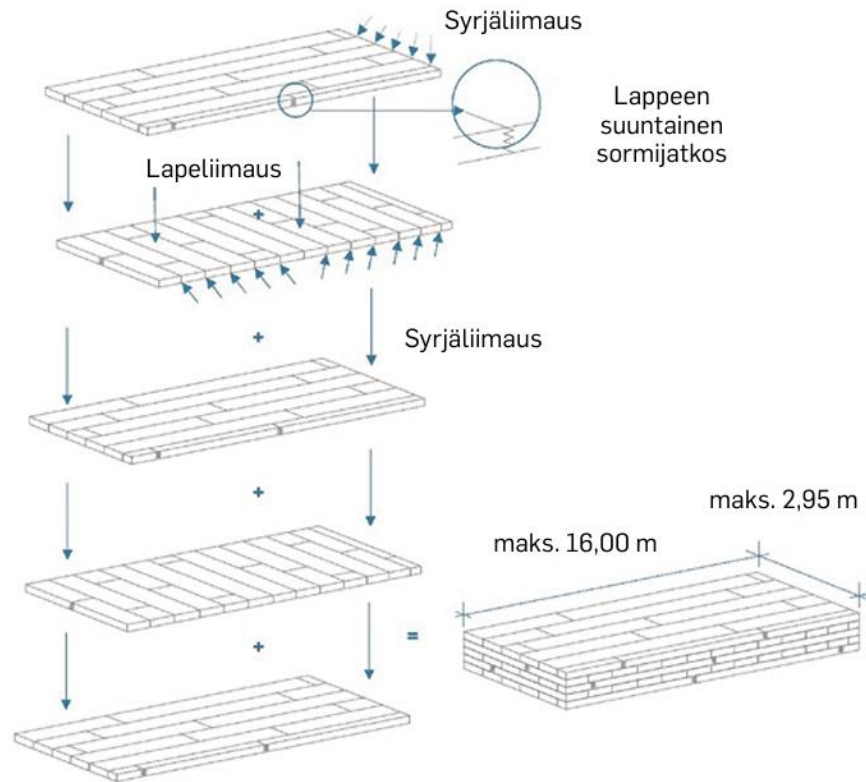
Kuva 1. CLT-tuotantolinjasto Oy Crosslam:in tehtaalla (Crosslam, 2023).



Kuva 2. Perinteinen CLT-levy tuotantolinjasto (Kallesoe Machinery, 2023).

CLT koostuu useista parittomasta määrästä lautakerroksista, joita on liimattu toisiinsa ristikkäin. Valmistustekniikkana käytetään keskieuropalaista tapaa vakuumiliimata kerrokset toisiinsa käyttäen apuna tyhjiötä tai vaihtoehtoisesti puristaa liimatut levyt präsien avulla yhteen. (Puuinfo, 2023a) Yleensä ristiinliimattuja kerroksia on useita riippuen valmistajasta, mutta tavallisesti kolme tai viisi. Syrjäliimattuja CLT-levyjä voidaan liimata ensin syrjästä levyiksi, jotka sitten liimataan päällekkäin. Syrjäliimausta ei tarvitse, jos laudat liimataan kiinni vain lappeilta. Liimaustapa vaikuttaa levyn ominaisuuksiin. (M. Mahamid, 2020, luku 1).

Eri valmistajilla on erilaiset liimaus- ja työstötekniikat. Laitteiston mukaan levyistä voidaan tehdä jopa 20 metriä pitkiä, 3,5 metriä leveitä ja 0,5 metriä paksuja. Raakalevyt työstetään leikkaamalla ne työpiirustusten mittoihin, jonka jälkeen niihin työstetään levyjen reunat, ikkuna- ja oviaukot sekä jysittää urat. Levyihin leikataan aukot tietoliikennettä varten. Loppuviimeistelyssä levyjen pinta käsitellään poistattamalla oksat sekä muut näkyvissä olevat virheet. Lopuksi höylätään ja hiotaan koko CLT-levypinta ja pintakäsitellään haluamalla tavalla. (KI-Group, 2021)



Kuva 3. Viisikerroksisen CLT-levyn rakenne (Stora Enso 2013)

Massiivipuulevyrakennusrunko koostuu useista rakennekerroksista. Kerroksilla on omat tehtävänsä ja niiden mukaan määritellään, millainen massiivipuulevyrakennus on paras valinta suunnittelukohteeseen. (Puuinfo, 2020a)



Kuva 4. CLT-levyä (Puuinfo, 2023).

Arkkitehtuurissa CLT-levyä on alettu käyttämään rakennuksien kantavana rakenteena sekä sen mahdollisuudesta sijoitella ikkunoita ja ovia vapaammin julkisivussa. CLT materiaalina tuo julkisivuun sekä sisäpintoihin myös kauniin puupinnan, joka on lopputulokseltaan arkkitehtoniselta kannalta miellyttävä. Suomessa levyn käyttö on vasta yleistymässä, ja sitä nähdäänkin usein kerrostaloissa sekä julkisissa rakennuksissa runkorakenteiden tilaelementteinä. (Puuinfo, 2023a) CLT-massiivipuulevyillä on hyvä työstettävyys ja sitä voidaan työstää millintarkkuudella suunnitelmien mukaan. Tämä tuo mahdollisuuden vapaampaan tyyliin, rakenteiden ja arkkitehdin suunnittelun suhteen. (Stora Enso CLT, 2016)



Kuva 5. CLT:stä tehty seinäelementti (Hoisko CLT, 2023).

CLT-levyistä esivalmistetaan kokonaisia elementtejä kuten seiniä ja välipohjia. Nämä elementit toimivat suoraan kantavina sekä jäykistävinä rakenteina. Aukotukset tehdään elementteihin säältä suojassa tehtailla millintarkkuudella. CLT-levyä voidaan muovata joustavasti aukotuksien kannalta seinissä sekä välipohjissa ja ulokerakenteissa. Elementteihin voidaan lisätä halutun valmiusasteen mukaan kaikki eristeet, pintamateriaalit sekä ikkunat ja ovet. Asennukseen voi kuulua yleensä myös kuljetus työmaalle. (Puuinfo, 2020b) Nämä elementit kootaan valmiiksi tilaelementti rakenteiksi, kuten asunnoiksi ja voidaan kuljettaa sellaisenaan työmaalle, jolloin se vähentää paikallista työtä työmailla. Tämä myös tarjoaa korkean työstettävyuden sekä joustavuuden valmistuksessa. (Crawley, N., 2021, s.22) Tilaelementtejä käytetään yleensä hankkeissa missä on monta samanlaista yksikköä eli suosituimmin kerrostalorakentamisessa. (Stora Enso CLT, 2016)



Kuva 6. Kokonainen CLT:stä tehty tilaelementti (Aitopuu Suomi Oy, 2023).

Rakentamisessa CLT-levyjä voidaan käyttää rakennuksen kantavissa rakenteissa sekä kaikissa näkyvissä rakenteissa (Celt, 2017). Seinissä sekä lattioissa CLT-levyjä käytetään kantavina rakenteina aina valmistettuna asiakasmittoihin (Crosslam, 2023a). Välipohjissa CLT-levyjä voidaan käyttää kahdella tavalla: joko yksittäin tai yhdessä. Yksittäin CLT-levyä käytetään, jos välipohjan ääneneristävyydelle ei ole asetettu isoja määräyksiä. Yhdessä CLT-levyä voidaan käyttää liittorakenteena betonivalun tai puupalkiston kanssa. Ulkoseinissä levyjä käytetään siten, että eriste sijoitetaan levyn ulkopuolelle, jotta varmistetaan ettei levy ime kosteutta. (Puuinfo, 2023a)

CLT:stä voidaan tehdä myös muita elementtejä kuten kattoikkunoita, huonekaluja sekä portaita. CLT:tä voidaan käyttää myös muotteina vaikeiden betonielementtien kanssa. (Crawley,N., 2021, s.23)

2.1. Ominaisuudet

CLT-levy tunnetaan sen kestävästä ominaisuudesta. Valmistustekniikan ansiosta levykerrokset saadaan puristettua todella vahvaksi sekä kestäväksi materiaaliksi. (Asumma, 2022). Ristikkäin liimattujen jäykkien kerroksien ansiosta CLT-levyjä ei tarvitse erikseen jäykistää ja toimii sen vuoksi rakennuksissa hyvänä kantavana materiaalina. Kantavana rakenteena kuormat saadaan jaettua tasaisesti kumpaankin suuntaan levyä ristikkäisten kerrosten ansiosta. Ristiinliimaus sekä puun kevyt ominaisuus tekee CLT-levyistä kevyitä niiden ominaisuuksiinsa nähden. (Puuinfo, 2023a) Ristiinliimaus on turvallinen sekä jäykkä rakenne ja joissain elementeissä kestää painumattomana jopa 250- vuoden ajan. (Puurakentajat Group Oy, 2023.)

Syrjäliimattu CLT



Syrjäliimaamaton CLT



Kuva 7. Syrjäliimattu sekä syrjäliimaamaton CLT (Tero Lahtela, 2022).

Syrjäliimatut levyt ovat täysin ilmatiiviitä. Yhtenäisen sekä kiinteän rakenteensa takia liimaus parantaa ilmatiiveyttä ja lämpöarvoa massiivipuurakenteissa. (Hoisko CLT, 2021). Kuitenkin vain leveiltä sivuilta liimatut levyt eivät ole ulkoseinissä niin ilmatiiviitä kuin valmistuksessa ympäriliimattavat lamellikerrokset. Jos laudat eivät ole ympäriliimattu niin ulkoseinärakenteissa kuitenkin käytetään ilmasulkua CLT-levyn sekä ulkopuolelle tulevan lämmöneristeen välissä. (Karjalainen, 2023).

Puu on itsessään eristävä materiaali, jolloin rakentamisessa CLT-levyn käyttö parantaa rakennuksien lämmöneristävyttä. CLT-levy toimii yksinään jo hyvänä lämmöneristeenä , mutta jos halutaan parantaa rakennuksen kokonaislämmöneristystä silloin, lisäeriste

tulee sijoittaa CLT-levyn ulkopuolelle. Sijoittamalla lämmöneristys ulkopuolelle CLT vähentää lämpötilaerojen aiheuttamia ilmavirtauksia eristeen sisä- ja ulkopintojen välillä. (Crosslam, 2023a)

Puu on hygroskooppinen materiaali, joka mahdollistaa puun toimivan kosteuspuskurina. Koska puu tasaa sisäilman kosteutta ja näin parantaa sitä niin tämän vuoksi CLT-levy vaikuttaa positiivisesti rakennuksen sisäilmaan. (Crosslam, 2023a) Ilmankosteuden imeytyessä puuhun, se poistaa ilmasta bakteereja. Siispä puu toimii luonnollisena höyrünsulkuna eikä rakenteissa tarvitse erillistä muovihöyrünsulkua. (Celt, 2017) Koska massiivipuinen seinärakenne tasapainottaa kosteuden- sekä lämmönvaihteluja sisäilman kosteus saadaan asettumaan sen täydelliselle kosteusalueelleen (Hoisko CLT, 2023b)

Kosteusteknisesti CLT-elementeissä liimaamattomissa puuliitoksissa kosteus siirtyy levyissä saumojen kohdilla, tämä on ominaisuus, joka tulee ottaa huomioon suunnittelussa (Paroc.fi, 2023). Huomioon tulee ottaa myös puun normaali eläminen sekä halkeilujen mahdollisuus vuosien kuluessa. Puu voidaan suojata värimuutoksilta tietyillä pintakäsittelyillä. Jos CLT-levyä ei suojata se voi kellastua sisätiloissa taikka harmaantua ulkoa. (Hoisko CLT, 2023c)

CLT-levyrakenteille ei ole standardisoituja mittoja, koska sen suunnitteluohjeet, materiaaliominaisuudet sekä tuotteen hyväksynnät ovat valmistajakohtaisia. Ominaisuudet vaihtelevat käytettävien materiaalien mukaan sekä siinä käytetyistä puulajeista, lujuusluokista, liimasta, liimaustavasta ja kuormitustesteistä riippuen. (R. Brandner et al. 2016) CLT-elementeillä rakentaminen on tietomalli pohjaista, joka takaa millintarkkaa suunnittelua kustannustehokkaasti jättäen materiaalihukan minimiin (Celt, 2017). Tämä mahdollistaa helpon tavan muovata CLT-elementtejä asiakkaan toivomiin mittoihin sekä muihin ominaisuuksiin.

Paloturvallisuus on aihe mikä tulee usein mieleen, kun puhutaan puurakentamisesta. Puurakenne ei heti romahda palotilanteessa, mutta CLT-levyn pinta hiiltyy. Mitoituksessa on huomioitu hiiltymisvaara ja siksi kerroksia on monia, jotta sisäkerrokset ovat hiiltyvän ulkopinnan suojassa. Nykyisien palomääräysten vuoksi monet julkiset puurakennukset varustetaan sprinklerijärjestelmällä. Rakennusten varustaminen sprinklausjärjestelmällä, hiiltymisvaaran huomioiminen sekä puun käsittely palosuojamaaleilla mahdollistavat kaikkein paloturvallisempien puurakennusten rakentamisen. (Crosslam, 2023a)

Normaali puun paloluokka D, saadaan nostettua paloluokkaan C tai B palosuojakäsittelyillä, jolloin puun käyttö monipuolistuu palomääräysten vaatimuksissa (Karjalainen, 2023).

Palo- ja äänitekniiseen toimintaan vaikuttaa massiivilevyrunkoseinän sisäpuolen levytys. Yleensä huoneistojen välisissä väliseinissä tarvitaan kipsilevytys, jotta ilmaääneneristävyyden vaatimuksen täyttyvät. Kipsilevy tietenkin tällöin peittää CLT-levyn kauniin pinnan seinärakenteessa, mutta äänitekniisesti vaihtoehtoinen tapa on asentaa kipsilevyn massiivipuulevyn taustapuolelle. (Puuinfo, 2020a)

2.2. Hyvät ja huonot puolet

CLT-levy tarjoaa paljon etuja rakentamisessa. Sen luja kantava ominaisuus sekä visuaalisesti miellyttävä ulkokuori mahdollistaa lukemattomia tapoja työstää materiaalia. On mahdollista muodostaa pitkiä jännevälejä, kaltevia pintoja, erilaisia aukotuksia sekä samalla jättää puun kaunis pinta näkyviin. (Celt, 2017)

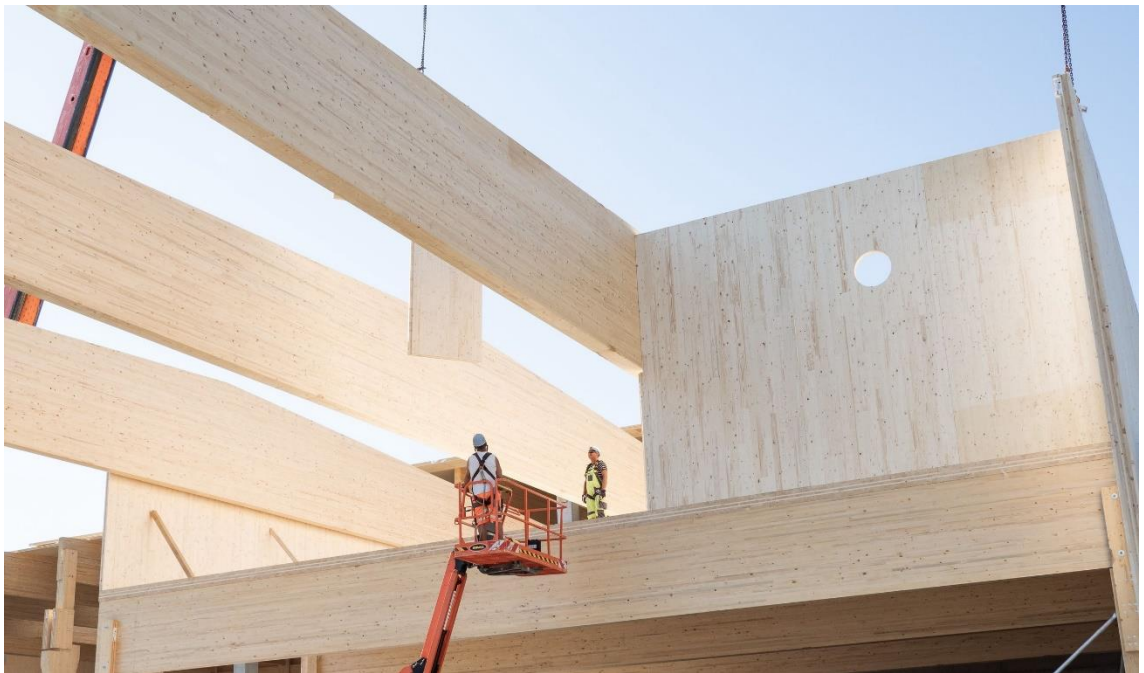
Puu on ekologinen valinta, joka on iso etu materiaalin valitsemisen kannalta. Kestävän kehityksen näkökulmasta puu on erinomainen vaihtoehto sen ominaisuuksien takia. Koska puu on uusiutuva luonnonvara sekä vastuullisesti käytettynä voi varmistaa luonnonvarojen jatkuvan riittävyyden puutavaran tuotannossa sillä voidaan korvata fossiilisia polttoaineita. Tämä ehkäisee energiantuotannossa kasvihuonepäästöjä ja siksi puun valitseminen on hyvä vaihtoehto rakennusmateriaaliksi. (Puucomp, 2022a)

Arjen hyvinvointiin voidaan vaikuttaa puusisutuksella. Jos sisäpintoihin sekä rakennettuun ympäristöön tuodaan puumateriaaleja se rauhoittaa mieltä ja kehoa. Tämä lisää myös positiivista energiaa sekä vähentää stressiä ja väsymystä. Puu siis rauhoittaa ihmistä monin tavoin. Sisätiloissa puupinnat voi alentaa myös verenpainetta ja pulssia sekä stressihormonien määrää. Luonnollisesti puu mielletään luontoon ja sitä kautta rauhoittavaksi, kodikkaaksi ja lämmittäväksi materiaaliksi. (Puucomp, 2022b)

Tämän lisäksi puuta voidaan helposti uudelleen käyttää taikka kierrättää. Puurakennuksissa kierrätysmahdollisuudet ovat hyvät, sillä ruuvit voidaan poistaa elementeistä, jolloin ne voidaan purkaa, kierrättää ja polttaa lopuksi energiakäytössä. (Puurakentajat Group Oy, 2023.) Tuotannossa ylijäämää voidaan käyttää pienempien elementtien sekä kalusteiden tekoon. Tuotantotavan mukaan levyihin tehtävät ikkuna- ja oviaukot joutuvat silti joskus hukkapaloiksi (Karjalainen, 2023).

Puu puhdistaa ilmaa, kun ilmankosteus imeytyy siihen poistaen samalla ilmasta bakteereja. Orgaanisen olemuksensa vuoksi puu rentouttaa sekä parantaa elinympäristön kokemisen laatua. CLT on siis tuote joka tuo kodikkuutta, lämpöä, luonnollista kauneutta koteihin luonnonläheisellä tavalla. (Celt, 2017) Nämä ominaisuudet ovat kaikki korkealaatuisen asumisen perusteita. Puusisustuksella on todettu olevan hyviä vaikutuksia hyvinvointiin liittyen. Tähän vaikuttaa edellä mainitut puun ominaisuudet esimerkiksi huoneilman kosteuden tasaamisessa sekä sitä kautta homeen syntymisen ennaltaehkäisyssä. (Ympäristöministeriö, 2022)

Valmistuotteeksi CLT on erinomainen ja helppo vaihtoehto tuomaan rakennuksiin luonnollista kodikkuutta sekä lämpöä sisä- ja ulkopintoihin (Crosslam, 2023a). Levyjen tuotannossa huonoa on niiden kokorajoitukset. Usein tarve olisi suurikokoisemmille levyille, kuten 3,4–3,6 m, mutta jotkut valmistajat tekevät vain 3–3,2 m levyjä. (Karjalainen, 2023)



Kuva 8. Puuelementtien käyttö työmaalla (Kjell Andersson, 2022).

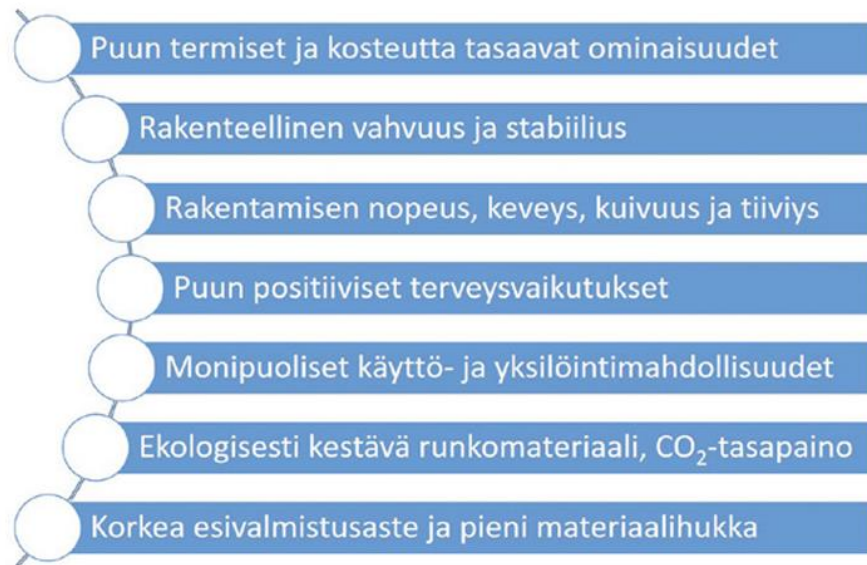
Tilaelementtejä käytetään suosituimmin kerrostalohankkeissa, jossa voidaan käyttää montaa samalaista yksikköä. Tällainen modulaarinen ominaisuus nopeuttaa työmaan toimintaa sekä vähentää monen erilaisen komponentin kanssa työskentelyä (Stora Enso CLT, 2016) Tilaelementeissä kuitenkin CLT-levyn paino on huomattavasti suurempi verrattuna esimerkiksi rankarakenteisiin (Karjalainen, 2023). CLT-elementtien ansiosta rakennusnopeus työmaalla on parempi. Tilaelementtien käyttö työmaalla voi lyhentää rakennusaikaa jopa 70 %:lla. (Stora Enso CLT, 2016) Tilaelementit valmistetaan kokonaan

sisätiloissa, joten ne eivät altistu säävaihteluille. Koska elementit valmistetaan käyttövalmiiksi nopeuttaen niiden asennusta työmaalla, massiivipuurakenne ei myöskään vaadi kuivumisaikoja. Tämä lisää vaivatonta sekä nopeaa työskentelyä työmaalla. (Celt, 2017) CLT:n sopiessa tilaelementtien runkorakenteeksi se nostattaa CLT:n kilpailukykyä mitä enemmän kerrosmääriä rakennetaan (Puuinfo, 2023a).



Kuva 9. Esivalmistettujen tilaelementtien käyttö työmaalla. (Luento: Puukerrostalot, 24.1.2023)

Tiiviin rakenteensa ansiosta, liitoskohtiin ei tarvita erillistä höyrynsulkua, jolloin rakenteen muovittomuus säästää kustannuksissa sekä pitää rakennuksen terveenä. (CLT Plant, 2023) Kuitenkin syrjäliimattujen levyjen kuivuessa liimasaumat rajoittavat lautojen kutistumista poikittain, joka aiheuttaa erityisesti pintakerroksen halkeilua. Nämä kuivumisesta aiheutuneet halkeamat eivät kumminkaan aiheuta ongelmia lujuudessa. (Sami Pajunen, 2022) Levyissä käytettyjen liimojen kierrätys on kuitenkin yksi huonoja puolia levyn käytössä. Palotilanteessa liima kiehuu ja näin lamellit putoilevat pois. Tätä kutsutaan delaminoitumiseksi. (Karjalainen, 2023)



Kuva 10. CLT-rakentamisen hyötyjä. (Crosslam, 2014) (Hoisko CLT, 2016) (Stora Enso, 2013)

Julkisuudessa CLT mielletään kalliiksi tuotteeksi. Itse CLT-levyn kuutiometrihinta on noin 1000e, joka on kallis verrattuna muihin yleisiin rakennusmateriaaleihin. Tämän vuoksi monissa hankkeissa rankarakentamiseen. (Karjalainen, 2023) CLT-levy on kustannustehokas materiaali, joka kuitenkin kompensoi sen rakennuttamisnopeudella. Valmistaja kohtaisesti hinta määräytyy elementin paksuuden sekä CLT-levyssä olevien lamellikerroksien mukaan. Kaikkeen vaikuttaa myös käyttötarkoituksen kantavuus- ja palomäärästarpeet. Elementtien työstämisen määrä vaikuttaa myös kustannuksiin sekä kuinka pinta viimeistellään. (Hoisko CLT, 2023c)

Monesti puisissa taloissa mietityttää ääneneristävyys. CLT-levyn ääneneristystä ei ole parasta parantaa CLT-levyn massan lisäämisellä, koska se ei ole tehokasta turhien rakenteiden paksunemisen ja tätä myötä kustannuksien nousujen takia. (Labopen, 2022) Tämän sekä askelääneneristävyyden takia yleensä välipohjiin lisätään liittorakenteena betonivalu ääneneristyksen, palosuojan sekä kantavuuden parantamiseksi. Välipohjissa levyä voidaan myös käyttää yhdessä puupalkiston kanssa. (Puuinfo, 2023a)

Puurakentamisessa ei ole enempää riskejä kuin muussakaan rakentamisessa. Tilaajan tulee kuitenkin ottaa hankkeen alusta asti huomioon poikkeavia tilanteita ja huomioida ne riskienhallintasuunnitelmassa. Hyvä esimerkki on kosteudenhallinta sekä liiketoimintariskien huomioiminen. (Koskinen et al., 2022,15) Yksi kustannuksia nostattava tekijä on sprinklausjärjestelmä. Tämä on kuitenkin rakennuksen turvallisuutta parantava ja väliillä pakollinen hankinta, joka tulee ottaa huomioon. (Crosslam, 2017) Yleisesti voidaan

sanoa, että puurakentaminen, joissain toteutusmalleissa voi muuttaa koko prosessia merkittävästi lisäten kustannuksia. Toisaalta joissain malleissa puurakentaminen ei eroa perinteisestä rakentamisesta juuri ollenkaan. Onnistuneen hankkeen alkuvaiheessa on tärkeää arvioida näiden eroja, vaikutuksia sekä arvioida hankintamenettelyitä ja kerryttää oikeanlaista tietoa. (Ympäristöministeriö, 2022)

2.3. CLT-levy verrattuna betoniin rakennusmateriaalina

Puurakentamisessa monia kiinnostaa sen kilpailukyky verrattuna muihin rakennus materiaaleihin etenkin betoniin. CLT- levyt ovat yhtä kestäviä tai jopa vahvempia kuin teräs ja betoni (Asumma, 2022). Betonin elinkaarena pidetään 50 vuotta, mutta CLT voi kestää jopa kolme kertaa kauemmin. (CLT Plant, 2023)

Kantavissa rakenteissa levyjen ristiinliimaus luo CLT-levyistä keveitä materiaaleja verrattuna betoniin. (Puuinfo, 2023a) CLT-levyt ovat viidesosa betonin painosta (Crosslam, 2023a). Kevyen ominaisuutensa ansiosta CLT-elementtien kanssa työmaalla työskentely on nopeampaa kuin betonielementtien kanssa. Kevyen rakenteen ansiosta CLT mahdollistaa lisäkerrosrakentamisen sekä muut hybridirakenteet toteutuksissa, joissa raskaat materiaalit eivät sovellu kohteen käyttöön. (CLT Plant, 2023) Työmaan turvallisuutta parantaa sekä työmaa-aikaa lyhentää elementtirakentaminen. Koska elementtirakentaminen tapahtuu sisätiloissa elementtitehtailla työmailla, säästetään huomattavasti aikaa kaupunkiympäristöissä. On huomattu myös, että puurakennuksien työmailla on vähemmän melu- ja pölyhaittoja. (Ympäristöministeriö, 2022)

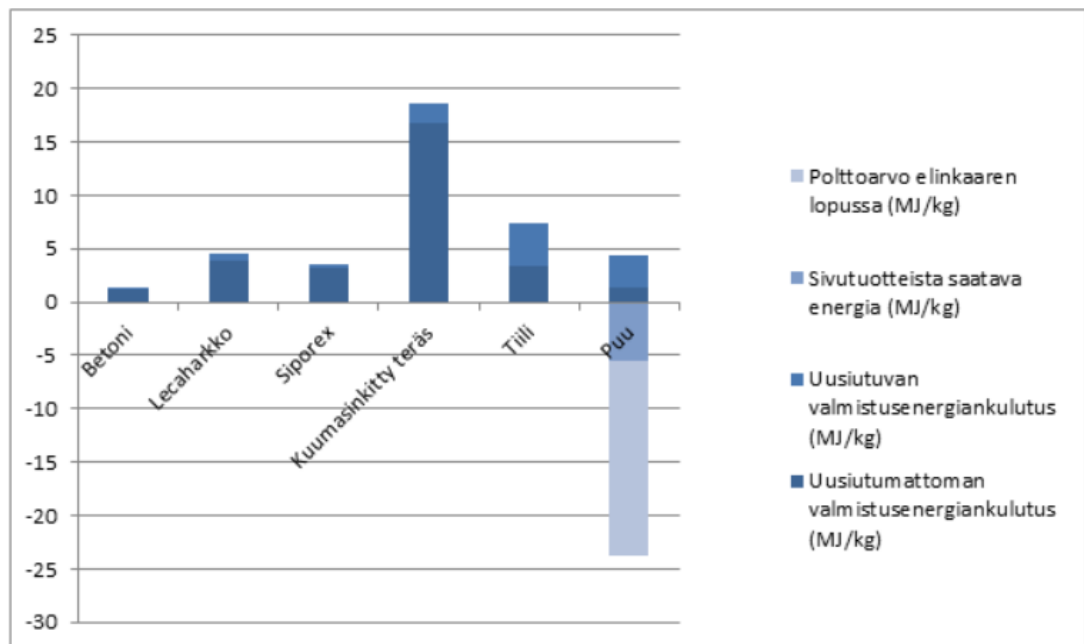
Lisälämmöneristyksen tarve on pienempi kuin betonilla, sillä puu on sellaisenaan eristävä materiaali. CLT:llä on taas huonompi ääneneristävyys, mutta sitä voidaan parantaa kipsilevyillä sekä ilmapäleillä, jos kohteessa on kovia vaatimuksia ääneneristävyydelle (Puuinfo, 2023a).

Betoni on CLT:tä halvempi raaka-ainekustannuksissa, mutta se tulee kalliimmaksi muissa rakentamisen osa-alueissa. Hankkeissa yleensä rahaa kuluu työmaakustannuksiin sekä siellä tapahtuviin virheisiin. Koska CLT saadaan nopeasti sekä kuivasti esivalmistettua siitä tehdyn rakennuksen pystyttäminen on jopa puoliksi nopeampaa kuin betonirakennuksen pystyttäminen. Tällöin kustannukset pienenevät sekä työmaalla työskentely on helpompaa ja sujuvampaa eikä työntekijöiden tarvitse työskennellä huonoissa sääolosuhteissa. (CLT Plant, 2023)

CLT ylikuumenee betonia helpommin, jonka vuoksi CLT-levyistä on parempi rakentaa alueilla, joissa kesälämpötilat ovat matalia. CLT-rakennuksien lämmittämiseen kuluu myös

vähemmän energiaa kuin betonirakennuksien lämmittämiseen. Myöskin tulipalo tilanteessa luonnollisesti CLT palaa betonia helpommin, jos se altistetaan suurille asteille liian pitkään.

Puutuotteiden valmistus kuluttaa vähemmän energiaa kuin muiden rakennusaineiden. Puutuotteiden valmistuksessa tarvittava energia perustuu uusiutuviin energianlähteisiin. Koska puun elinkaaren lopussa se voidaan kierrättää tai muuttaa energiaksi puusta saatu energia on uusiutuvaa. (Puuinfo, 2020c)



Kuva 11. Rakennusmateriaalien valmistuksessa aiheutettu energiankulutus. (Puuinfo, 2020)

Kun halutaan vertailla CLT:tä ja sen korkeampia rakennuskustannuksia tulee ottaa huomioon myös sen positiiviset tekijät, kuten ekologisuus, työturvallisuuden lisääntyminen, laadukkuus ja modulaarisuus. (Crawley, N., 2021, s.36) CLT on yleisesti sen kestäväyhtensä takia hyvin kilpailukykyinen vaihtoehto betonille (CLT Plant, 2023).

Kustannuksiin on viimeisien vuosien aikana vaikuttanut maailmantilanne pandemian sekä Ukrainan sodan alkaessa ja tätä myötä tulleen energiakriisi. Hinnannousu aiheutti sahatavaran hinnan tuplaantumisen, joka koetteli massiivipuुरakentamista alana. (Hoisko, 2022) Kuitenkin Hoisko CLT:n toimitusjohtajan Tero Yli-Sikkilän mukaan voidaan jo sanoa, että sahatavaran ja puutuotteiden hintamurheet ovat toistaiseksi ohi.

Kun vertaillaan näitä rakennusmateriaaleja keskenään, on huomattava kuinka niiden hybridimuodot yleistyvät koko ajan enemmän. Koska ympäristö ystävällisiä ratkaisuja etsitään koko ajan lisää hybridirakennukset yleistyvät. (Crosslam, 2017) Hyvä esimerkki on hybridiseinäelementti, jossa kummankin materiaalin parhaat puolet saadaan esiin. Puu tekee rakenteesta kevyen sekä ekologisen. Betoni parantaa paloturvallisuuteen sekä ääneneristävyyteen liittyviä tekijöitä. Välipohjien erilaiset hybridimuodot ovat yleisiä, jotta päästään kohteiden ääneneristys vaatimuksiin. (Puuinfo, 2023a)

CLT-levyn käyttöön vaikuttaa edelleen rakennusalan ennakkoluulot puurakentamiseen liittyen. Rakennuttajille on helpointa pysyä tutussa rakentamismuodossa kuten betoni parissa. CLT-rakentamisen yleistyminen on kuitenkin nousussa. Skanskan työmaainsinööri Wilskan mukaan tulevaisuudessa Skanskalla CLT-rakentaminen näkyy lisääntyvän, kunhan käytännöt vakiintuvat ja päästään kustannustehokkaampaan rakentamiseen. Skanskan runkotöiden johtaja Miikka Ukkonen kertoo myös, että siirtyminen betonielementeistä puuelementteihin on ollut helppoa kokeneille betoninasentajille. (Hoisko, 2023d)

3. JULKISEN PUURAKENTAMISEN KANSALLISET TAVOITTEET SUOMESSA

Suomen tulee olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Jotta tämä toteutuisi tulee kaksinkertaistaa puun käyttö rakentamisessa. Kuntien tulee valita puurakentaminen sen ekologisuuden sekä hallitusohjelman tavoitteiden toteuttamisen vuoksi. Tavoitteita seuraamalla vähennetään päästöjä sekä autetaan kotimaan taloutta sekä parannetaan elinkeinoa. (Julkinen puurakentaminen, 2023) Julkisella puurakennuksella tarkoitetaan toimijoiden toteuttamia rakennuksia, jotka noudattavat hankinnassaan hankintalakia sekä niitä, joissa rakennuksen kantava runko on pääosin puuta.

Puurakentamisen ohjelma (2016–2023) on valtioneuvoston yhteinen, ympäristöministeriön hallinnoima ohjelma, jonka tavoitteina on lisätä puun käyttöä rakentamisessa yleisesti. Ohjelman tavoitteina oli kaksinkertaistaa puun käyttö etenkin julkisissa rakennuksissa. Päämääränä halutaan luoda puun käytöstä luontevaa Suomen julkisessa rakentamisessa ja sitä kautta lisätä puun käyttöä sekä osaamista. Tavoitteina on myös edistää puurakentamisen teollisen valmistuksen yritystoimintaa Suomessa sekä sitä kautta luoda Suomesta kilpailukykyinen puurakentamisen osaaja kansainvälisesti. Ohjelman kaikkiin tavoitteisiin ei olla vielä päästy, mutta julkista puurakentamista on saatu lisättyä. Ohjelma on tähän mennessä myös saanut edistettyä kansainvälistä tutkimus- ja kehitystyötä sekä varmistettua osaamisen koulutuksen. (Valtioneuvosto, 2018)

Puun käyttöä on erityisesti lisätty opetusrakennuksien toteutuksessa ohjelman jälkeen. Puu luo myös tunnelmaa opetusrakennuksiin sekä on hyvä terveydelle vaikuttava tekijä. Vanhojen opetusrakennuksien sisäilmaongelmat ovat olleet myös yksi syy kuntien puun käytön nousuun. Yleisesti julkiset rakennuttajat näyttävät rakentamisen suuntaa koko rakennusalalle sekä kaavoitukselle, joka on tärkeää puun käytön kasvulle rakennus- alalla. Tämä lisää puun käyttöä myös yksityisellä sektorilla, sillä osaaminen paranee sekä kustannustasot pienenevät rakennusvolyymien kasvaessa. (Koskinen et al., 2022,4)

3.1. Julkisen puurakentamisen edistäminen Suomessa

Jotta voimme seurata kuntien toteutuneita julkisen puurakentamisen kansallisia tavoitteita, ympäristöministeriö on luvannut julkaista tilastollisen tarkastelun nykyisen hallituskauden päätyttyä.

Julkisen puurakentamisen kunnianhimoiset tavoitteet puun käytön lisäämiselle edellyttää muutosta kaavoituksessa sekä julkisissa hankinnoissa. Kuntien tulee olla esimerkkinä

sekä mahdollistajina ilmastotyölle. (Kuntien ilmastoratkaisut -ohjelma, 2023) Kaavoituksen avulla voidaan taata tontteja puurakenteisille rakennuksille ja samalla kannustaa rakennuttajia sekä kehittäjiä. (Suomen metsäkeskus, 2023) Tavoitteisiin pääsy helpottuisi, jos kunnat lisäisivät puurakentamisen taikka hiilineutraalisen rakentamisen heidän strategiaihinsa. (Puuinfo, 2022a)

Jotta puurakentamisen edistäminen julkisessa päätöksenteossa lisääntyisi kuntien keskinäisinä keinoina on ohjata julkisia rakennushankkeita. Tähän sisältyy kuntastrategian, kaavoituksen, maankäytön- ja tontinluovutus sopimukset sekä yksittäiset hankintapäätökset, joita ohjaa laki julkisista hankinnoista. Puurakentamisen huomioiminen esimerkiksi tarveselvityksessä on tärkeää ja sillä on suuri merkitys, etenkin kustannusarvioinnissa. Puurakentaminen pitää asettaa tavoitteeksi heti alussa, ettei sen lisääminen myöhemmin lisää ongelmia hankkeen etenemisessä. Viimeistään kohteen hankesuunniteluvaiheessa tulisi huomioida onko kohde päätetty rakentaa puusta. Jos julkinen rakennuttaja haluaa hankkia puurakennuksen niin tulee se määritellä pakolliseksi vähimmäisvaatimukseksi hankkeen hankinnan kuvauksessa. (Ympäristöministeriö, 2022)

Puurakenteisten rakennusten toteutukseen kannustaa myös valtion helpotukset. Helputuksia sekä alennuksia jaetaan erilaisten maankäyttösopimuksiin, rakennushankkeisiin sekä tonttien varausaikaisiin kuluihin. (Suomen metsäkeskus, 2023)

Suomalaisten asenteet puusiin julkisiin rakennuksiin on myönteinen. 69 prosenttia ympäristöministeriön tilaaman selvityksen mukaan toivovat lisää puurakentamista kuntiinsa. Pienimmissä maakunnissa puurakentamista toivottiin kaupunkikuvaan enemmän verrattuna isoihin maakuntiin. Suomalaisten keskuudessa asenteet puurakentamista kohtaan ovat silti positiiviset, joka on tärkeä tieto. Isoimmissa kunnissa puurakentamisen imagoa tulisi silti edistää. (Selvitys: Valtaosa suomalaisista haluaa, että oma kotikunta rakentaisi enemmän puusta, 2021)

Ennakkoluuloihin sekä yleiseen tukeen on koottu ympäristöministeriön tukioppaita (Puuinfo, 2022a). Netistä löytyy myös neuvontapalveluja. Motiva jakaa neuvontaa, koulutusta, tukea sekä yhteiskehittämistä liittyen puurakentamiseen. Neuvontaa sekä koulutuksia jaetaan kunnille ja kaupungeille. (Julkinen puurakentaminen, 2023) Yleinen julkinen puhe on myös tärkeää. Ammattilaisten jakama tieto lehdissä sekä artikkeleissa edistää puurakentamista sekä antaa näkyvyyttä ja faktoja helposti tarjolle, joka edistää puurakentamista.

1.3.2023 hyväksyttiin rakentamislaki, joka astuu voimaan 1.1.2025. Lain keskeiset muutokset liittyvät rakentamisen ilmastovaikutusten säätelyyn, kiertotalouteen sekä digitaalisen tiedon rakentamisen päätösten ja tietosisällön väyläksi. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että rakentamisessa aletaan tarkemmin huomioidaan sekä valvomaan rakennusten vähähiilisyttä sekä elinkaariominaisuuksia. Puurakentamiselle sekä massiivipuu tuotannolle tämä laki on eduksi, sillä se nostaa rakentamisesta johtuvat ilmastovaikutukset esille sekä edistää puurakentamista sen vähähiilisyden vuoksi. (Puuinfo, 2023b)

Julkisen puurakentamisen kansallisissa tavoitteissa mainitaan hiilineutraaliustavoitteiden tukevan erityisesti massiivipuun käyttöä rakennuskannassa. Massiivipuu muodostaa pitkäaikaisia hiilivarastoja ja on vastuullinen rakennusmateriaali julkisessa rakentamisessa. (Julkinen puurakentaminen, 2023)

3.2. CLT-levystä rakentaminen Suomessa

Suomessa CLT-levyä on käytetty rakentamisessa jo vuosikymmenen ajan. Suomen metsät peittävät yli 75 % prosenttia koko maan pinta-alasta siksi CLT on sen hyvien ominaisuuksien lisäksi luonnollinen valinta rakennushankkeissa. Keski-Eurooppaan verrattuna CLT:stä rakentaminen on varsin uutta Suomessa, mutta kuitenkin yleistymässä nopeaa tahtia. (Rakentaja.fi, 2023) Koska korkealaatuista raaka-ainetta saadaan Suomessa lähialueilta Suomessa CLT-levyä valmistavilla tehtailla ei ole puutetta valmistuksessa käytettävästä puusta. CLT-levyn käytön yleistymiseen vaikuttaa pitkälle kehittyneet puutuotteet, teknologia, osaaminen valmistuksessa sekä ammattitaidon paraneminen ajan myötä. (Puuinfo, 2021)

Suomessa CLT-levyn käyttö keskittyy usein asuinrakennuksiin etenkin kerrostaloihin. Kerrostalorakentamisessa moduuli- eli tilaelementtitekniikka on yleistymässä. CLT:n modulaarisuuden ansiosta se soveltuu korkeaan kerrostalorakentamiseen. Julkisessa rakentamisessa CLT-levyä käytetään usein opetusrakennuksissa, kuten päiväkodeissa sekä kouluissa.

Oppimisympäristöissä CLT-levyn yleistyvään käyttöön vaikuttaa puun tuomat edut. Pui-silla elementeillä tuodaan luokkatiloihin sekä koulun muihin osiin psykologisia hyötyjä. Puuta sisältävissä luokissa koululaisten stressitasoja saadaan alennettua sekä väsymys ja aikaansaamattomuuden tunteet ovat vähäisempiä. On myös huomattu, että muissa julkisissa rakennuksissa kuten toimistoissa ja hoitokodeissa puu materiaalina lisää sosi-aalisuutta. (Puucomp, 2022b)

Suomessa avattiin vuonna 2014 ensimmäinen CLT-levyä valmistava tehdas Kuhmossa, Oy Crosslam. Crosslam on ollut yksi suurista puurakentamisen ja etenkin CLT-levyn käytön esimerkeistä Suomessa. Crosslam oli mukana valmistamassa Suomen ensimmäistä CLT:stä rakennettua koulua sekä monia muita esimerkillisiä projekteja. (Crosslam, 2023b)

Julkisessa rakentamisessa ongelmia syntyy rakennuskohteen kustannuspaineista, terveellisyydestä sekä pitkäikäisyydestä. Etenkin opetusrakennuksissa terveellinen sisäilma sekä ympäristö on ollut tärkeä keskustelunaihe. (Hoisko CLT, 2023a) Nic Crawley (2021, s.60) kirjoittaa kirjassaan, että korkealaatuisten rakennusten uskotaan parantavan opetuksenlaatua 10 %, nopeuttavan paranemista sairaaloissa 27 % sekä lisäävän työpaikoilla tuottavuutta 20 %. Tämän vuoksi onkin merkittävää panostaa hyvä laatuiseen rakentamiseen etenkin julkisissa rakennuksissa. On siis tärkeää rakentaa julkisia rakennuksia hyvä laatuista materiaaleista kuten massiivipuusta.

4. ESIMERKKIKOhteita

Tässä luvussa tarkastellaan CLT-levystä valmistuneita uusia julkisia rakennuksia. Esimerkkikohteet ovat kaikki opetusrakennuksia. Kaksi niistä ovat varhaiskasvatuksen rakennuksia ja kolmas on julkinen kokoontumisrakennus. Kohteet on valittu niiden onnistuneiden hankkeidensa vuoksi sekä niissä käytetyn monikerroslevyn takia.

4.1. Luontokeskus Haltia

Nuoksion kansallispuistossa sijaitseva Luontokeskus Haltia on Suomen sekä Pohjois-Euroopan ensimmäinen CLT-puuelementtitekniikalla tehty julkinen rakennus. Vuonna 2013 avattu, elämyksellinen sekä arkkitehtuuriltaan paikkaansa sopiva rakennus toimii näyttely-, tieto- ja tapahtumakeskuksena. Keskuksen tarkoituksena on opettaa Suomen luonnosta. Rakennus opettaa luonnon kanssa yhteistyöstä jo arkkitehtuurillisella olemuksellaan. Rakennuksen arkkitehtuuri mukailee ympärillään olevaa luotoa materiaalivalinnoillaan sekä kestävyydellään.

Haltian päärakennusmateriaaliksi valikoitu kuusi sekä tarkemmin siitä tehty CLT-puuelementit valittiin niiden tarjoaman kauniin ulkoilunsa sekä kestävyytensä takia. (Haltia, Finnish Nature Centre, 2018) Rakennuksen kokonaispinta-ala on 5200 m² ja rakennusteknisesti 870 m² siitä on CLT materiaalista tehtyä, kuten kantavat rakenteet sekä verhoilu. Jotta rakennus olisi pitkäaikaisesti kestävä sekä paloteknisesti turvallinen sen ulkoilun lämpökäsiteltiin sekä piidioksidikyllästettiin. Pintakäsittelyt haluttiin myös tehdä niin, että ne ovat ympäristöystävällisiä sekä täysin kierrätettäviä ratkaisuja. Rakennuksen kellari ei kumminkaan ole tehty CLT:stä. (Lahdelma & Mahlamäki Architects, 2018) Rakennuksen massiivipuuelementit eivät kuitenkaan ole kotimaisesta puusta. Materiaali kuljetettiin Itävaltasta Suomeen sillä silloin ei vielä valmistettu CLT-levyjä.

Rakennuksen korkeatasoisen arkkitehtuurin sekä laadukkaan rakentamisen vuoksi Haltia voitti Puupalkinnon vuonna 2013 (Stora Enso CLT, 2016). Haltialle myönnettiin myös kunniainio Euroopan museofoorumilta sen kestävien ratkaisujen takia vuonna 2015 (Lahdelma & Mahlamäki Architects, 2018.). Rakennuksen on suunnittelut arkkitehtitoimisto Lahdelma & Mahlamäki sekä hankkeen pääurakoitsijana on toiminut YIT Rakennus Oy. (Stora Enso CLT, 2016)



Kuva 12. Suomen luontokeskus Haltia, Espoo (Mika Huisman. 2018).

4.2. Tampereen Hippoksen päiväkot

Hippoksen päiväkodin uudisrakennuksen hanke aloitettiin vuonna 2017 tehdyn tarveselvityksen pohjalta. Selvityksessä todettiin vanhan, vuonna 1984 rakennetun, Hippoksen päiväkodin olevan tilaratkaisuiden sekä siihen kohdistuvien perusparannuksien kustannuksien kannalta epätaloudelliseksi ratkaisuksi. Suurien korjaus- sekä laajennustöiden sijaan samalle tontille päätettiin tutkia ratkaisua, jossa rakennetaan uusi päiväkotirakennus. (Tarveselvitys, 2017, s.3)

Tampereen Kissanmaan kaupunginosaan valmistui uudisrakennus Hippoksen päiväkot CLT:stä toukokuussa 2020. Päiväkot sijaitsee neljän kilometrin päästä Tampereen keskustasta ja mahdollistaa päiväkotiopetuksen 120 lapselle sekä 25 henkilökunnan jäsenelle. Päiväkodin tilaratkaisut ovat sijoitettu sen 1-kerrokseen. Rakennuksen tilaratkaisuiden takana on ollut ajatus pitää tilat mahdollisimman avoimina sekä muuntojoustavina. (Toteutussuunnitelma, 2019, s.2)

Pääsuunnittelusta vastannut Pekka Koli onnistui suunnittelemaan uudesta päiväkodista toiminnallisen sekä käyttäjilleen miellyttävän kohteen. Toteutussuunnitelmassa erityisesti haluttiin huomioida järjestelmien muuntojoustavuus, huollettavuus, energiatehokkuus sekä elinkaari. Tilojen välisiä seiniä pystyy siirtelemään sekä yhdistelemään tehden tiloista avonaisia sekä muunneltavia. Ryhmätiloista pääsee suoraan ulos märkätilojen

kautta mahdollistaen tilojen monipuolisen käytön. Iltapäiväkäyttöön suunnitellut tilat ovat myös mietitty tarkasti, jotta ne voivat toimia erikseen rajattuna muista tiloista. (FP-tuotteet, 2023)

Rakennus on ensimmäinen CLT:stä rakennettu päiväkotitampereella. Toteutussuunnitelmassa kerrotaan, että rakennuksen ulkoseinät sekä kantavat seinät ovat tehty CLT-elementeistä. Palkit ja pilarit ovat tehty myös puusta. Julkisivumateriaaliksi valikoitui myös puu.

Puun ääniteknisten ominaisuuksien takia rakennukseen on mietitty huolellisesti ääneneristys sekä akustiikka. Lepohuoneisiin on suunniteltu eritysrakenne, jotta saavutettaisiin tilanjakajilta vaaditut desibelimääritykset. Rakennuksen käyttäjät ovat olleet tyytyväisiä tilanjakajien ääneneristävyyteen sekä muuntojoustavuuteen. (FP-tuotteet, 2023) Yleisesti Hippoksen päiväkotit on hieno esimerkki CLT-rakenteisesta rakennuksesta, jossa muuntojoustavuus sekä viihtyvyys tavoitteina ovat onnistuneet suunnitelmien mukaan.



Kuva 13. Havainnekuva 2, Hippoksen päiväkotit, Tampere. Pääsuunnittelu Arkkitehtitoimisto Tilatakomo (Pekka Koli, 2019).

4.3. Helsingin Hopealaakson päiväkoti

Helsingissä sijaitseva Hopealaakson päiväkoti on kaunis esimerkki CLT-rakenteisesta julkisesta rakennuksesta. Päiväkoti toimii oppimisympäristönä 150 lapselle päivittäin ja tarjoaa sijainniltaan sekä arkkitehtuuriltaan luonnonläheisen ja mielekkään ympäristön opetukselle. Rakennukseen haluttiin tuoda aidon puun tuntu materiaalivalinnoilla. Puuta näkyikin monipuolisesti sisätiloissa sekä ulkopinnoissa.



Kuva 14. Hopealaakson päiväkoti, Helsinki. Arkkitehtisuunnittelu Arkkitehdit AFKS Oy. (Hannu Rytty. ei päiväystä).

Rakennuksen ulkomuoto on kauniin polveileva sekä rytmikäs. CLT-levyn muovailtavuus on mahdollistanut suuret sekä vaihtelevat ikkunat päiväkodin julkisivussa. Tiloihin tulvii valoa lasiseinien läpi sekä isojen ikkunoiden kautta. Tässäkin päiväkodissa tilaratkaisut ovat suunniteltu avoimiksi sekä joustaviksi, ja sen vuoksi käytäviä ei löydy rakennuksesta juuri ollenkaan. Tilat ovat esteettömiä sekä ergonomisesti toimivia. Ääniteknisesti lattioihin on tehty askelääntä vaimentava pinnoite sekä seinäpinnat ovat verhoiltu vaimentamalla materiaaleilla. (Puuinfo, 2022b)

Rakennuksen kantavat ulkoseinät sekä porrashuoneiden seinät ovat tehty CLT-puuelementeistä, joissa on haluttu jättää puupinta kauniisti näkyviin. Rakennuksessa myös kattorakenteet ovat tehty kantavasta CLT-laatasta. Julkisivuissa on käytetty puun vastapai-

noksi esipatinoitua sinkkiöhtölevyä, joka sopii hyvin rakennuksen hillittyyn värimaailmaan. Sisäpihalle päin avautuu luonnonläheinen esipatinoitu pystysuuntainen lehtikuisiverhoilu. Materiaalivalinnoilla on onnistuttu tuomaan rakennukseen patinoitunut sekä luonnonläheinen tunnelma. Päiväkoti voitti vuonna 2021 vuoden Puupalkinnon. (Puuinfo, 2022b)



Kuva 15. Hopealaakson päiväkodin rakennusvaihe, jossa runkoa rakennetaan CLT-massiivipuulementeistä (Puurakentajat Group Oy, 2023).

Rakennukseen teräspalkkien varaan tehty CLT-betoni-liittorakenne on yksi ensimmäisiä Suomessa. Liittorakenne mahdollistaa sen, että alakaton palkit on voitu jättää kokonaan pois ja näin saatu enemmän tilaa talotekniikalle. Akustiikkalevyjen taakse on saatu sijoitettua talotekniikka ja samalla niillä saatiin sisäkattopinnoista vaimentavia.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä kandidaatintyössä tutkin aihetta näiden kysymysten kautta:

- Millaisia ovat CLT-levyn hyödyt suhteessa muihin yleisiin rakennusmateriaaleihin?
- Millaista on CLT-levyn käyttö julkisessa rakentamisessa Suomessa ja miten sitä voidaan edistää?

CLT-levyn hyödyt ovat hyvin kilpailukykyiset verrattuna betoniin. CLT on ekologinen sekä kestävä vaihtoehto rakennusmateriaalina. CLT materiaalina mahdollistaa arkkitehtonisesti paljon hienoja ratkaisuja aukotusten sekä rakennuksen yleisen tunnelman kannalta. Korkea esivalmistusaste, muovailtavuus sekä modulaarisuus ovat CLT-rakentamisen selkeitä etuja rakennusmaailmassa. CLT-elementit ja niiden korkea esivalmistusaste mahdollistavat myös nopeamman sekä turvallisemman toiminnan työmaalla. CLT vaihtoehtona on kestävä ratkaisu, sillä puurakennukset toimivat hiilivarastoina sekä puutuotteita pystyy helposti kierrättämään koko elinkaaren ajan. Puutuotteiden valmistuksessa käytetään myös huomattavasti vähemmän energiaa kuin betonin valmistuksessa. Yleisesti puutuotteena CLT-levyllä on pienempi hiilijalanjälki sekä se on ympäristöystävällisempi vaihtoehto kuin betoni.

CLT-levyn käyttö keskittyy Suomen julkisessa rakentamisessa paljon opetusrakennuksiin kuten päiväkoteihin sekä kouluihin. Tähän on vaikuttanut ympäristöministeriön puurakentamisohjelman tavoitteet sekä niiden edistäminen. Puu materiaalina on myös todettu olevan sisäilman kannalta terveellinen sekä tunnelman kannalta viihtyisä ratkaisu julkisissa rakennuksissa. Kuitenkin julkinen puurakentaminen ei ole vielä kovin suurta, mutta kuitenkin yleistymässä kovaa vauhtia Suomessa.

Julkista puurakentamista on saatu edistettyä yleisen tietotaidon sekä informaation jakamisella. Vanhoja ennakkoluuloja on kumottu sekä puurakentaminen on todettu helpoksi sekä ympäristöystävälliseksi ratkaisuksi kaupunkiympäristössä. Jotta julkiset rakennuttajat saadaan julkisen puurakentamisen puolelle, tulee kuntien ottaa ekologisuus jo hankkeen alkuvaiheissa prioriteetiksi. Hankkeiden tarveselvityksissä sekä kaavoituksessa, puu tulee osoittaa rakennusmateriaaliksi sekä edistää tulevaisuudessa puun asemaa hankkeissa. Esimerkkikohteita tutkimalla nähdään onnistuneita hankkeita julkisesta puurakentamisesta, jotka kaikki ovat toimineet hyvinä esimerkkeinä koko rakennusalalle.

Yleisesti CLT-levyn käyttö on alkanut kasvamaan yhä suosittumaksi materiaaliksi Suomen julkisessa rakentamisessa ilmastonmuutoksen torjumisen näkökulmasta. Suomen tulee löytää uusia tapoja torjua ilmastonmuutosta, jonka takia uusia lakimuutoksia tehdään. Tähän vaikuttaa esimerkiksi puun ekologisuus, vähähiilisyys, arkkitehtoniset mahdollisuudet sekä positiiviset vaikutukset työmailla. On oletettavaa, että CLT-levyn käyttö kasvaa tulevaisuudessa julkisessa rakentamisessa ympäristöministeriön ohjelman avustuksella sekä yleisen ilmapiirin muuttuessa myönteisemmäksi CLT-levyn käytön kannalta.

Julkinen rakentaminen antaa suuntaa koko rakennusosalalle ja siksi ihmisten sekä ympäristön kannalta on tärkeää, että uusia julkisia rakennuksia tehdään korkealaatuisesta sekä ekologisesta materiaalista. CLT:n käyttö on hyvä väylä toteuttaa nykyiset sekä tulevat tavoitteet hiilijalanjäljen seurannan kannalta sekä Suomi hiilineutraaliksi 2035 ohjelman näkökulmasta.

LÄHTEET

- Asumma, 2022. *Miksi tulevaisuuden kodit rakennetaan CLT:stä?* Saatavissa: <https://asumma.com/fi/sustainability/why-will-the-homes-of-the-future-be-constructed-from-clt> [noudettu 17.1.2023].
- Brandner, R, Flatscher, G, Ringhofer, A, Schickhofer, G & Thiel, A 2016, *Cross laminated timber (CLT): overview and development*, *European Journal of Wood and Wood Products*, vol. 74, no. 3. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0999-5>
- Celt, 2017 *CLT*. Saatavilla: <https://celt.fi/clt/> [noudettu 7.2.2023].
- CLT Plant, 2023. *CLT-rakentaminen*. Saatavilla: <https://www.cltplant.com/> [noudettu: 13.3.2023].
- Crawley, N., 2021. *Cross Laminated Timber: A design stage primer*. London: RIBA Publishing. Saatavissa: <https://doi.org/10.4324/9781003108597>.
- Crosslam, 2023a. *Ominaisuudet*. [Verkkosivu] Saatavissa: <https://crosslam.fi/crosslam-clt/> [noudettu 24.1.2023].
- Crosslam, 2023b. *Crosslamin tarina*. Saatavissa: <https://crosslam.fi/crosslamin-tarina/>[noudettu:29.2.2023].
- Crosslam, 2017. *CLT-elementtien käyttö rakentamisessa*. Saatavissa: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://kalajoki.fi/wp-content/uploads/2017/06/20170601_CrossLam_Kalajoki.pdf [noudettu 27.3.2023].
- FP-tuotteet, 2023. *Hippoksen päiväkodin akustiikka on suunniteltu huolellisesti*. Saatavissa: <https://fp-tuotteet.fi/ajankohtaiset/hippoksen-paivakodin-akustiikka-on-suunniteltu-huolellisesti/> [noudettu 2.3.2023].
- Lahdelma & Mahlamäki Architects, 2018. *Haltia, Finnish Nature Centre*. [Verkkosivu] Saatavissa: <https://lma.fi/projects/finnish-nature-centre-haltia> [noudettu 28.2.2023].
- Hoisko, 2023a. *Julkinen rakentaminen CLT:stä ja terveellinen sisäilma*. Saatavissa: <https://hoisko.fi/rakentaminen/julkinen-rakentaminen/> [noudettu 31.1.2023].
- Hoisko, 2023b. *Kotimaisuus ja ekologisuus ovat tärkeitä arvoja*. Saatavissa: <https://hoisko.fi/hoisko/arvot/> [noudettu: 14.3.2023].
- Hoisko, 2023 c. *Kysymyksiä ja vastauksia*. Saatavissa: <https://hoisko.fi/clt/kysymyksia-ja-vastauksia/> [noudettu:28.3.2023].
- Hoisko, 2023d. *Siirtyminen betonielementeistä CLT:hen oli helppo*. Saatavissa: <https://hoisko.fi/2023/03/21/siirtyminen-betonielementeista-clthen-oli-helppo/> [noudettu:30.3.2023].
- Hoisko CLT, 2022. *Massiivipuu on tätä päivää ja tulevaisuutta - Puun hinnan paluu normaaliin edistää CLT-rakentamista*. Saatavissa: <https://hoisko.fi/2022/11/07/massiivipuu-on-tata-paivaa-ja-tulevaisuutta-puun-hinnan-paluu-normaaliin-edistaa-clt-rakentamista/> [noudettu 7.2.2023].

Hoisko CLT, 2021. *Liima tekee CLT:stä vahvan, kauniin ja tiiviin rakenteen*. Saatavissa: <https://hoisko.fi/2021/01/18/liima-tekee-cltsta-vahvan-kauniin-ja-tiiviin-rakenteen/> [noudettu 16.2.2023].

Karjalainen, M., 2023. Sähköpostihaastattelu 22.3.2023.

KI-Group, 2021. *CLT hinta?* Saatavissa: <https://www.kigroup.fi/post/clt-hinta> [noudettu: 14.3.2023].

Koskinen, Sini; Turunen, Anu; Neittamo, Iina; Ylinen, Sauli, 2022. Ympäristöministeriö. *Puun käyttö julkisessa rakentamisessa : Hankintaopas*. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164407> [noudettu 14.3.2023].

Labopen, 2022. Massiivipuorakenne ja sen ääneneristävyys. Saatavissa: <https://www.labopen.fi/lab-pro/massiivipuorakenne-ja-sen-aaneneristavyys/> [noudettu: 5.4.2023].

M. Mahamid, Cross-Laminated Timber Design: Structural Properties, Standards, and Safety, N.Y: McGraw-Hill Education, New York, 2020.

Motiva, 2023. *Julkinen puurakentaminen*. Saatavissa: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/puurakentaminen/julkinen_puurakentaminen [noudettu 3.2.2023].

Paroc.fi, 2023. *CLT rakenteet / PAROC ZEROfix -asennusjärjestelmä*. Saatavissa: <https://www.paroc.fi/kayttokohteet/rakennusten-eristaminen/tuulettuvat-julkisivuratkaisut/clt-rakenteet> [noudettu: 7.3.2023].

Puucomp, 2022a. *Kestävä kehitys - puu materiaalina*. Saatavissa: <https://www.puucomp.com/fi/blogi/kestava-kehitys-puu-materiaalina> [noudettu:30.3.2023].

Puucomp, 2022b. *Luonnollisilla puupinnoilla on merkittävä vaikutus hyvinvointiin*. Saatavissa: <https://www.puucomp.com/fi/blogi/luonnollinen-puu-ja-hyvinvointi> [noudettu:30.3.2023].

Puurakentajat Group Oy, 2023. *CLT-rakentaminen*. Saatavissa: <https://www.puurakentajat.fi/clt-rakentaminen> [noudettu: 21.3.2023].

Puuinfo, 2023a. *Monikerroslevy (CLT)*, 16 January. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puu-tieto/insinööri tuotteet/monikerroslevy-clt/> [noudettu 17.1.2023].

Puuinfo, 2023b. *Uusi rakentamislaki kirittää ilmasto- ja kiertotaloustoimia*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/2023/03/07/uusi-rakentamislaki-kirittaa-ilmasto-ja-kiertotaloustoimia/> [noudettu: 22.3.2023].

Puuinfo, 2022a. *Puurakennuksen hankinnassa tarvitaan uudenlaista ajattelua*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/2022/12/07/136944/> [noudettu 29.1.2023].

Puuinfo, 2022b. *Hopealaakson päiväkotit*, Saatavissa: <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/paivakodit-ja-koulut/hopealaakson-paivakoti/> [noudettu: 2.3.2023].

Puuinfo, 2021. *CLT tuo kustannustehokkuutta, ekologisuutta ja modernia ulkonäköä rakentamisen eri sektoreille*. Saatavilla:<https://puuinfo.fi/2021/09/20/clt-tuo-kustannustehokkuutta-ekologisuutta-ja-modernia-ulkonakoa-rakentamisen-eri-sektoreille/> [noudettu: 29.3.2023].

Puuinfo, 2020a. *Seinän ominaisuudet*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/seinan-ominaisuudet/> [noudettu: 7.3.2023].

Puuinfo, 2020b. *Yleisimmät rakennejärjestelmät*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puu-tieto/kayttokohteet/yleisimmat-rakennejarjestelmat/> [noudettu: 15.3.2023].

Puuinfo, 2020c. Puutuotteiden valmistus tuottaa enemmän energiaa kuin kuluttaa. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/ymparistovaikutukset/puutuotteiden-valmistus-tuottaa-enemman-energiaa-kuin-kuluttaa/> [noudettu: 24.3.2023].

Ramboll Finland Oy, 2023. *Suomen luontokeskus Haltia*. [Verkkosivu] Saatavissa: <https://fi.ramboll.com/projektit/rfi/suomen-luontokeskus-haltia> [noudettu 31.1.2023].

Rakentaja.fi, 2023. *Talon rakentaminen CLT:stä - mitä CLT tarkoittaa ja mitä se mahdollistaa?* Saatavissa: https://www.rakentaja.fi/artikkelit/18205/saaristotalot_kodin_rakentaminen_clt_tekniikka_mita_se_on.htm [noudettu 28.3.2023].

Sami Pajunen, 2022. *Rakennesuunnittelu – CLT-rakenteiden suunnittelu*. Saatavissa: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://puuosaamista.fi/wp-content/uploads/2022/09/CLT-rakenteiden-suunnittelu_S.-Pajunen_23.9.2022.pdf [noudettu 22.3.2023].

Stora Enso CLT, 2016. *Puu maailman vanhin ja myös modernein rakennusmateriaali - PDF Free Download*. Saatavissa: <https://docplayer.fi/16027534-Stora-enso-clt-puu-maailman-vanhin-ja-myos-modernein-rakennusmateriaali.html> [noudettu 3.2.2023].

Suomen metsäkeskus, 2023. *Puun käytön edistäminen rakentamisessa*. Saatavissa: https://www.esitteemme.fi/puu_rakentamisessa/WebView/ [noudettu 31.1.2023].

Tampereen tilapalvelut, 2023. *Hippoksen päiväkotii, uudisrakennus*. Saatavissa: <https://tampereentilapalvelut.fi/hankkeet/hippoksen-paivakoti-uudisrakennus/> [noudettu 31.1.2023].

Tarveselvitys, 2017. *Hippoksen päiväkodin uudisrakennus*. Saatavissa: <file:///C:/Users/Omistaja/Downloads/Liite%20Akila%2025.4.2018%20Tarveselvitys,%20%20hyv%C3%A4ksyty%20sikulassa%2012.9.2017%20.pdf> [noudettu 6.3.2023].

Toteutussuunnitelma, 2019. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://tampere.cloudnc.fi/download/noname/%7B7650a129-b13a-4a64-8302-a0e3ab0b73c4%7D/3103262> Saatavissa: [noudettu 6.3.2023].

Valtioneuvosto, 2021. *Selvitys: Valtaosa suomalaisista haluaa, että oma kotikunta rakentaisi enemmän puusta*. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/selvitys-valtaosa-suomalaisista-haluaa-etta-oma-kotikunta-rakentaisi-enemman-puusta> [noudettu 29.1.2023].

Valtioneuvosto, 2018. Puurakentamisen toimenpideohjelma. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=YM025:00/2018>[noudettu:29.3.2023].

Ympäristöministeriö, 2023a. *Hiilineutraali Suomi 2035*. Saatavissa: <https://ym.fi/hiilineutraalisuomi2035> [noudettu 16.1.2023].

Ympäristöministeriö, 2023b. *Julkinen puurakentaminen*. Saatavissa: <https://ym.fi/julkinen-puurakentaminen> [noudettu 13.1.2023].

Ympäristöministeriö, 2023c. *Kuntien ilmastoratkaisut -ohjelma*. Saatavissa: <https://ym.fi/kuntien-ilmastoratkaisut-ohjelma> [noudettu 29.1.2023].

Ympäristöministeriö, 2023d. *Puurakentaminen*. Saatavissa: <https://ym.fi/puurakentaminen> [noudettu 16.1.2023].

Ympäristöministeriö, 2022. Puun käyttö julkisessa rakentamisessa. Saatavissa: chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164407/YM_2022_25.pdf?sequence=4 [noudettu:30.3.2023].

KUVALÄHTEET

Kuva 1: Crosslam, 2023. *Laadukkaimmat CLT-materiaalit markkinajohtajalta*. Saatavissa: <https://crosslam.fi/ammattilaisille/> [noudettu 7.3.2023].

Kuva 2: Kallesoe Machinery, 2023. *CLT- System solutions*. Saatavissa: <https://kallesoe-machinery.com/system-solutions/clt-system-solutions/> [noudettu 7.3.2023].

Kuva 3: Stora Enso, 2013. *CLT- monipuolinen, nopea ja ekologinen rakennusmateriaali*. Saatavissa: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.lapinamk.fi/loader.aspx?id=c6498ebb-ea39-4048-9580-fc4f82b8ce00> [noudettu 24.3.2023].

Kuva 4: Puuinfo, 2023. *Monikerroslevy (CLT)*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/in-sinoorituotteet/monikerroslevy-clt/> [noudettu 7.3.2023].

Kuva 5: Hoisko CLT, 2023. *CLT*. Saatavissa: <https://hoisko.fi/clt/> [noudettu 7.3.2023].

Kuva 6: Aitopuu Suomi Oy, 2023. *Massiivipuiset tilaelementit*. Saatavissa: <https://www.aitopuu.fi/> [noudettu 7.3.2023].

Kuva 7: Sami Pajunen, 2022. *Rakennesuunnittelu – CLT-rakenteiden suunnittelu*. Saatavissa: chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://puuosaa-mista.fi/wp-content/uploads/2022/09/CLT-rakenteiden-suunnittelu_S.-Pajunen_23.9.2022.pdf [noudettu 22.3.2023].

Kuva 8: Kjell Andersson, 2022. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/stora-enso-tuo-markkinoille-puisia-esivalmistettuja-rakennuselementteja-viela-vuonna-2016-luopui-tehtaastaan-suomessa-ja-sanoi-keskittyvansa-muihin-bisneksiin/23b9fa47-6dc6-45c6-bd8d-a55dd59d2db3> [noudettu 8.4.2023].

Kuva 9: Markku Karjalainen, 2023. Luento 24.1.2023 *Puukerrostalot*. Saatavissa: chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://moodle.tuni.fi/pluginfile.php/3087959/mod_resource/content/1/Puukerrostalot.%20RO%20IV.24.1.2023.pdf [noudettu 8.4.2023].

Kuva 10: Crosslam 2014, Hoisko CLT Finland 2016, Stora Enso 2013, *CLT- monipuolinen, nopea ja ekologinen rakennusmateriaali*, Saatavissa: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.lapinamk.fi/loader.aspx?id=c6498ebb-ea39-4048-9580-fc4f82b8ce00> [noudettu: 24.3.2023].

Kuva 11: Puuinfo, 2020. *Puutuotteiden valmistus tuottaa enemmän energiaa kuin kuluttaa*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/ymparistovaikutukset/puutuotteiden-valmistus-tuottaa-enemman-energiaa-kuin-kuluttaa/> [noudettu: 24.3.2023].

Kuva 12: Mika Huisman, 2018. *Haltia, Finnish Nature Centre*. Saatavissa: <https://lma.fi/projects/finnish-nature-centre-haltia> [noudettu 28.2.2023].

Kuva 13: Hippoksen päiväkotit, uudisrakennus, 2023. Saatavissa: <https://tampereentilapalvelut.fi/hankkeet/hippoksen-paivakoti-uudisrakennus/> [noudettu 31.1.2023].

Kuva 14: Hilppa Iittiläinen, 7.12. 2022. *Puurakennuksen hankinnassa tarvitaan uudenlaista ajattelua*. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/2022/12/07/136944/> [noudettu 30.1.2023].

Kuva 15: Puurakentajat Group Oy, 2023. *Hopealaakson päiväkot*, puutarhassa. Saatavissa: https://www.puurakentajat.fi/referenssit_kohteet/hopealaakson-pivkoti-puutarhassa [noudettu 7.3.2023].