Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

KASPERI VÄHÄTUPA

Asuinrakennuksen välipohjan toteuttaminen DLT-puutuotteella

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2023

TIIVISTELMÄ

Vähätupa, Kasperi: Asuinrakennuksen välipohjan toteuttaminen DLT-puutuotteella
Opinnäytetyö, AMK
Tutkinto-ohjelma: Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Kuukausi Vuosi: Joulukuu 2023
Sivumäärä: 57

Tämä opinnäytetyö laadittiin Sweco Finland Oy:lle. Työssä tutkittiin eri massiivipuurakenteita ja erityisesti vaarnattua massiivipuulevyä eli DLT-puutuotetta. Kyseinen rakenne on melko tuore keksintö ja tästä syystä Swecolla haluttiin aiheesta lisätietoa, jota voidaan hyödyntää tulevaisuudessa.

Tämä selvitys toteutettiin 1.10.2023 ja 15.12.2023 välisenä aikana. Opinnäytetyössä tutkittiin DLT:n eri ominaisuuksia ja arvioitiin sen käyttömahdollisuuksia tulevaisuuden rakentamisessa. Lisäksi tutustuttiin esimerkiksi sen valmistusmenetelmään ja kiinnitysmahdollisuuksiin. Erityisesti tavoitteena oli saada selville DLT-tuotteen hintaa sekä sen mahdollisia jännevälejä muihin massiivipuurakenteisiin nähden.

Työ aloitettiin hakemalla mahdollisimman paljon eri lähteitä, joita työssä voitiin hyödyntää. Samalla tutustuttiin aiheeseen ja saatiin paljon tietoa verrattavissa olevista massiivipuutuotteista. Kyseiseen DLT-tekniikkaan tutustumisessa meni aikaa, koska siitä on vähän tietoa saatavilla.

DLT-puutuotetta ei valmisteta eikä käytetä Suomessa ollenkaan. Tässä opinnäytetyössä suoritettiin sähköpostihaastattelut suoraan DLT:n valmistajille, joiden avulla saatiin paljon tietoa kyseisestä tekniikasta. Haastattelujen avulla selvitettiin esimerkiksi tuotteen hintaa ja sen tulevaisuuden näkymää rakentamisessa. Teorian kirjoittamisen jälkeen selvityksessä laadittiin taulukot, joissa vertailtiin massiivipuurakenteita toisiinsa.

Tämän selvityksen seurauksena voidaan tehdä oletus, että kyseinen massiivipuurakenne tulee yleistymään tulevaisuuden rakentamisessa. DLT:n ominaisuudet eivät poikkea merkittävästi muista massiivipuista. Ainoastaan sen valmistustekniikka ja rakenne on erilainen. Sen hinta on hieman kalliimpi kuin esimerkiksi CLT:n, mutta tuotteen yleistyessä hintakin tulee varmasti putoamaan. DLT-elementillä voidaan toteuttaa myös yhtä pitkiä jännevälejä kuin CLT:llä. Johtopäätöksenä voidaan todeta, että DLT tulee ainakin osittain korvaamaan muut massiivipuurakenteet tulevaisuudessa.

Avainsanat: massiivipuurakenteet, vaarnattu massiivipuulevy, elementtirakentaminen, rakennesuunnittelu

Abstract

Vähätupa, Kasperi: Implementation of the intermediate floor of the residential building with a DLT wood product
Thesis, University of Applied Sciences
Construction and Municipal Engineering
December 2023
Number of pages: 57

This thesis was done to Sweco Finland Oy. In this work different solid wood structures were investigated and especially dowel laminated timber abbreviated DLT wood product. That structure is pretty new invention and for this reason Sweco was wanted more information that could be used in the future.

This statement was implemented between 1.10.2023-15.12.2023. In this thesis was investigated different characteristics of DLT and estimated its possibilities of use in the construction of the future. In addition, was learned about its manufacturing methods and mounting possibilities. Especially the goal was to find out the price of DLT product and its span possibilities compared to the other solid wood structures.

This work was started by searching as many different sources as possible that could be used at work. At the same time was got to know the subject and got a lot of information about solid wood products as well. It took time to get to know the DLT technology because there is little information available about it.

The DLT wood product is neither manufactured nor used at all in Finland. In this thesis were conducted email interviews straight to the manufacturers of dowel laminated timber with the help of which of information was obtained. With the help of interviews, the price of the product and its future outlook in construction were clarified. After writing the theory, tables were prepared in this statement in which solid wood structures were compared to each other.

As a result of this statement can be assumed to be that DLT solid wood structure become more common in the construction of the future. The characteristics of DLT are not diverged significantly from other solid wood structures. Only its manufacturing technology and structure are different. Its price is slightly more expensive than, for example CLT but as its technology becomes more common so the price will likely drop. With the DLT element can be implemented also as long span as CLT. As a conclusion, can be stated that DLT will at least partially replace other solid wood structures in the future.

Keywords: solid wood structures, dowel laminated timber, prefabricated construction, structural design

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 5
2 SELVITYKSEN TAUSTAA 6
2.1 Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoitteet 6
2.2 Tutkimusmenetelmät 7
2.3 Toimeksiantajan esittely 8
3 PUU RAKENNUSMATERIAALINA 9
3.1 Puun ominaisuudet 9
3.2 Puurakentamisen tulevaisuus 11
4 MASSIIVIPUURAKENTEET 13
4.1 Liimalla kootut massiivipuurakenteet 13
4.1.1 Liimapuu 14
4.1.2 Viilupuu (Laminated Veneer Lumber) 15
4.1.3 CLT (Cross Laminated Timber) 16
4.2 Liittimillä kootut massiivipuurakenteet 17
4.2.1 NLT (Nail Laminated Timber) 17
4.2.2 MHM (Massiv-Holz-Mauer) 18
5 DLT (DOWEL LAMINATED TIMBER) 20
5.1 Historia 21
5.2 Elementin rakenne 22
5.3 DLT:n valmistusprosessi 24
5.4 Elementtien kiinnitysmahdollisuudet 25
5.4.1 Seinäliitokset 25
5.4.2 DLT-elementti välipohjaliitoksessa 28
5.5 Paloluokka ja hiiltyminen 31
5.6 DLT:n käyttökohteet 33
5.7 DLT-elementin hinta 34
5.8 DLT-profiilit ja akustiikka 35
5.9 Välipohja- ja hybridirakentaminen 38
6 MASSIIVIPUURAKENTEIDEN VERTAILU 41
7 HAASTATTELUN TULOKSET 43
8 DLT-PUUTUOTE TULEVAISUUDEN RAKENTAMISESSA 46
9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET 49
LÄHTEET 51
LIITE 1: DLT:N VALMISTAJILLE ESITETYT KYSYMYKSET 56
LIITE 2: DLT-ELEMENTIN KOOTUT TEKNISET TIEDOT 57

1 JOHDANTO

Tämä selvitys on Satakunnan ammattikorkeakoulun rakennus- ja yhdyskuntatekniikan lopputyö ja sen tilaajana on Sweco Finland Oy. Opinnäytetyössä tutkitaan massiivipuurakenteita ja tarkemmin ottaen DLT-puutuotetta. DLT tulee englannin kielen lyhenteestä dowel laminated timber, joka tarkoittaa vaarnattua massiivipuulevyä. Tämä massiivipuurakenne koostuu lamelleista, jotka ovat yhdistetty toisiinsa puutappien avulla. Työssä tutkitaan DLT-tekniikan ominaisuuksia, mahdollisuuksia ja hintaa muihin massiivipuurakenteisiin nähden. DLT-puutuote on varsin tuntematon rakenne Suomessa. Siitä on melko vähän myös tietoa, koska sitä valmistetaan tällä hetkellä vain muutamissa Euroopan maissa sekä Pohjois-Amerikassa.

Kyseisen selvityksen aihe rajataan siten, että käsitellään ainoastaan asuinrakennukseen liittyviä asioita eli jätetään esimerkiksi liike- ja toimistotilat huomioimatta. Työ rajataan sen takia, koska asuinrakennukselle asetetut vaatimukset saattavat olla erilaisia kuin esimerkiksi liike- tai toimistorakennukselle määrätyt vaatimukset. Työhön löytyy todennäköisesti niukasti eri lähteitä, koska kyseinen massiivipuurakenne on melko uusi keksintö, joten esimerkiksi kirjallisuuslähteitä voi olla vaikea löytää. Työssä tiedonhankinta tullaan toteuttamaan siten, että käytetään apuna eri lähteitä sekä lisäksi DLT:n syventävää tiedonhankintaa varten suoritetaan sähköpostihaastattelut suoraan DLT:n valmistajille.

2 SELVITYKSEN TAUSTAA

Kyseistä aihetta on tutkittu tähän mennessä todella vähän, sillä DLT-puutuote on melko uusi keksintö. StructureCraft on vuonna 1929 perustettu kanadalainen yritys, joka on luonut DLT-tekniikasta suunnittelu- ja profiilioppaan. (StructureCraft, n.d.) Theseuksesta löytyy myös kaksi ammattikorkeakoulun opinnäytetyötä, joissa on käsitelty DLT-tekniikkaa. Tony Kankaanpään opinnäytetyössä on käsitelty DLT:n valmistusta, profiileja, käyttökohteita, suorituskykyä, ominaisuutta ja valmistuksessa käytettävää prässiä (Kankaanpää, 2021). Yara Sulimanin laatimassa opinnäytetyössä ei ole käsitelty DLT-tekniikkaa niin laajasti kuin edellä mainitun (Suliman, 2022).

Itselleni saattaa tulla ongelmia sellaisten lähteiden löytämisessä, joissa keskitytään enemmän DLT:n rakenneteknisiin ominaisuuksiin. Luulen myös, että kovin monessa lähteessä ei ole käsitelty DLT:n tulevaisuutta, joten se täytyy yrittää selvittää suoraan DLT:n valmistajilta.

2.1 Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoitteet

Sweco tekee rakennesuunnittelua myös ulkomaille, joten yrityksen näkökulmasta on ensiarvoisen tärkeää, että kaikki käytettävissä olevat rakenneratkaisut ovat suunnittelijoiden tiedossa. Sweco on johtava rakennetun ympäristön ja teollisuuden johtava asiantuntija, joten on erittäin tärkeää, että se pysyy kehityksessä mukana ja on tietoinen uusista tuotteista, joita rakentamisessa voidaan hyödyntää. Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää DLT-puutuotteen mahdollisuuksia, hintaa sekä sitä, miten se soveltuu asuinrakennuksen välipohjarakenteeksi. Tämä selvitys pyrkii tuomaan DLT-tekniikkaa suunnittelijoiden tietoisuuteen. Puurakentaminen mielletään usein vähähiiliseksi rakentamiseksi. Työssä pyritään selvittämään myös sitä, voiko DLT-tuote olla suosittu materiaali tulevaisuudessa sen ansiosta, kun siinä ei ole käytetty metallisia kiinnikkeitä tai liimaa liitosten tekemiseen, vaan rakenne koostuu pelkästä puusta. Sen takia onkin tärkeää, että myös suunnittelijat tietävät kyseisen

tekniikan tämänhetkiset hyödyt, mahdolliset haitat ja käyttömahdollisuudet. Opinnäytetyön tavoitteena on, että laaditun selvityksen avulla kyseinen tekniikka tulee tunnetuksi ja sitä voidaan hyödyntää rakennesuunnittelussa myös Suomessa. Tässä opinnäytetyössä pyritään selvittämään rakennesuunnitteluun liittyviä seikkoja, kuten esimerkiksi sen paloteknisiä ominaisuuksia.

2.2 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön tutkimusote on yhdistelmä kvalitatiivista- ja kvantitatiivista tutkimusta (Surveymonkey, 2023). Työtä selvitetään laadullisesta näkökulmasta haastattelemalla DLT:n valmistajia, jotka valmistavat massiivipuurakenteita. Lisäksi pyritään löytämään tietoa muista massiivipuurakenteista. Haastattelujen avulla saadaan tietoa, jota käytetään työn kvantitatiivisessa tutkimuksessa. Työn kvantitatiivisen tutkimuksen osuudessa luodaan taulukko, josta vertaillaan eri massiivipuurakenteita.

Tämä opinnäytetyö lähtee liikkeelle siten, että aluksi tutustutaan olemassa olevaan teoriaan liittyen massiivipuurakenteisiin. Maankäyttö- ja rakennuslaki on uudistumassa vuoden 2025 alussa, joten työssä perehdytään siihen, mihin suuntaan rakentamista pyritään viemään tulevaisuudessa (Ympäristöministeriö, 2023). Tämän jälkeen vertaillaan eri rakenteita keskenään ja pyritään löytämään niissä olevia eroja. Kun teoriaosuus on kirjoitettu, niin etsitään tietoa, missä maissa DLT-tuotetta käytetään ja missä sitä valmistetaan. Seuraavaksi tullaan pohtimaan sitä, mihin rakentaminen tulevaisuudessa kehittyy ja voiko esimerkiksi DLT-puutuote olla tulevaisuudessa käytetyin runkomateriaali puurakentamisessa. Työn tulostavoitteena on saada selkeä tiivistys olemassa olevista massiivipuurakenteista, niiden eroista sekä niiden mahdollisuuksista tulevaisuudessa.

2.3 Toimeksiantajan esittely

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Sweco Finland Oy, joka kuuluu osaksi kansainvälistä Sweco-konsernia. Swecon osake on listattu Tukholman pörssiin ja se toimii johtavana Euroopan suunnittelu- ja konsultoinnin yrityksenä. Swecon toimitusjohtaja on ruotsalainen Åsa Bergman. Sweco Finland Oy:n toimialoja ovat:

- Rakennukset ja kaupunkikehitys
    - Esim. rakennesuunnittelu, kiinteistökehittäminen, talotekniset ratkaisut ja projektinjohto ja rakennuttaminen.

- Teollisuus, energia ja ympäristö
    - Teollisuuden suunnittelu ja konsultointi, akkuteollisuus ja biotalous ja kestävän kehityksen palvelut

- Infra ja liikenne
    - Tie-, katu- ja aluesuunnittelu, maisemasuunnittelu, geotekniikka ja kalliorakenteet.

- Arkkitehtuuri
    - Rakennus-, kaupunki- ja sisustussuunnittelu.

Sweco toteuttaa projekteja vuosittain 70 maassa ympäri maailmaa. Vuonna 2022 Sweco-konsernin liikevaihto oli 1,9 miljardia. Swecolla on töissä tällä hetkellä 21 000 asiantuntijaa, joista noin kolme tuhatta työskentelee ympäri Suomea eri paikkakunnilla. Suomessa Swecon toimipaikkoja on 27:llä eri paikkakunnalla. (Sweco, 2023).

3 PUU RAKENNUSMATERIAALINA

Puu on rakennusmateriaalina erinomainen. Oikeaoppisesti käytettynä sitä voidaan käyttää lähes kaikkialla. Puulla on huono lämmönjohtokyky, joten esimerkiksi betoniin ja teräkseen verrattuna sillä on parempi lämmöneristyskyky (Myllärinen ym., 2017, s. 16). Puutuotteita voidaan käyttää sekä uudis- että korjauskohteissa. Puulla on monia materiaali- ja runkojärjestelmävaihtoehtoja (Puuinfo, 2020a). Eri puulajeilla on erilaiset ominaisuudet, jotka johtuvat esimerkiksi puulajin tiheydestä.

3.1 Puun ominaisuudet

Puulla on monia hyviä ominaisuuksia, joiden ansiosta sen käyttökohteet rakentamisessa ovat niin monipuoliset. Puun ominaisuuksiin vaikuttavat monet asiat, kuten esimerkiksi kasvupaikka, ilmasto, kasvunopeus ja ikä (Saranpää, 1997, s. 86). Puuta on saatavilla runsaasti, koska Suomessa kasvaa paljon metsää ja sitä osataan jalostaa tukkipuusta esimerkiksi sahatavaraa. Puu on luonnossa uusiutuva ja helposti kierrätettävä rakennusmateriaali. Sitä voidaan jatkojalostaa sopimaan johonkin toiseen kohteeseen tai lopuksi polttaa, jolloin siihen varastoitunut energia saadaan vapautettua. (Puuinfo Oy, 2006).

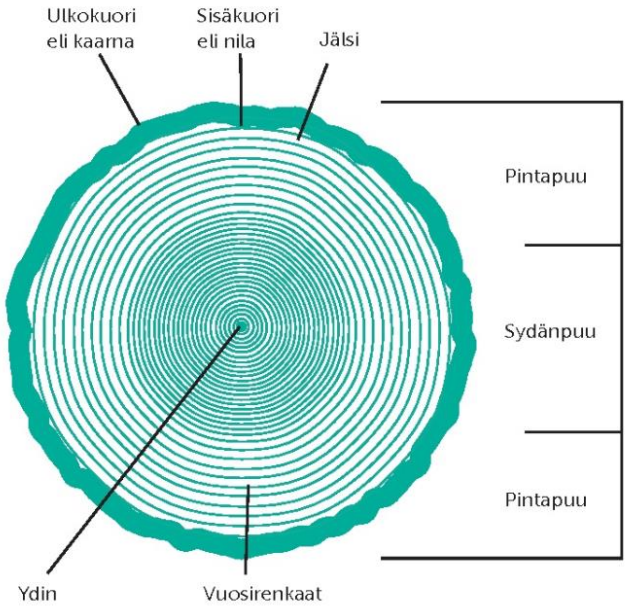
Puurakentaminen on erittäin suosittua varsinkin pientalorakentamisessa. Yksi syy saattaa olla se, että puu on yksi helpoimmista materiaaleista työstää (Puuinfo Oy, 2006). Puurakentamisessa ei vaadita monimutkaisia laitteita, vaan yksinkertaisillakin työkaluilla voi saada paljon aikaan.

Puun palonsuojakykyä voidaan kasvattaa suojaverhoamalla rakenne esimerkiksi kipsilevyllä. Nopeasti ajateltuna puu on huono materiaali paloon liittyvistä syistä, mutta todellisuudessa se on hyvin paloturvallinen materiaali oikein verhoiltuna ja suojattuna. Puun tärkein palotekninen ominaisuus on, että se alkaa hiiltymään hitaasti palaessa, joten se kestää kuorman suhteellisen kauan ilman sortumatta. Tämä taas auttaa pelastajia palotilanteessa ja antaa heille enemmän aikaa pelastustehtäviin. Kun rakenteet ovat tehty paloturvallisesti,

niin ne ovat usein myös tällöin hyvin ääntä eristäviä. (Puuinfo, 2020a). Lähtökohtaisesti puumateriaalilla on huono ääneneristävyyskyky. Puu johtaa pituussuunnassa paremmin ääntä kuin poikkisuunnassa, joten se täytyy ottaa huomioon esimerkiksi sellaisissa kohteissa, joissa puurakenteelta vaaditaan akustisia ominaisuuksia. (Siikanen, 2017, s. 45).

Puu on hygroskooppinen materiaali. Hygroskooppisuus tarkoittaa materiaalin kykyä sitoa ja luovuttaa ilmassa olevaa kosteutta. Se tarkoittaa yksinkertaisuudessaan sitä, että huoneilman ollessa kosteaa, puu imee itseensä kosteutta. Vastaavasti huoneilman ollessa kuivaa se luovuttaa kosteutta huoneilmaan. (Kilpiäinen & Sairanen, 2022, kohta ”Mutta eihän sillä ole mitään merkitystä?”).

Suomi sijaitsee todella otollisella paikalla puun kasvamista ajatellen. Suomessa ilmasto on riittävän sateista ja puiden kasvuaika on lyhyt. Tämä tarkoittaa sitä, että puusta kasvaa luja rakennusmateriaali, joka on todella kestävää sen painoon nähden. Puu on todella sitkeää, kun sen vuosikasvu on pientä. (Puuinfo, 2020b). Kuvassa 1 on esitetty puun osat. Vuosirenkaat kertovat puun iästä. Mitä hitaampaa puun vuosikasvu on, niin sitä sitkeämpää ja kestävämpää siitä tulee. Kuvasta voidaankin päätellä, että sydänpuu on kestävämpää kuin pintapuu.



Kuva 1. Puun osat (Puuinfo, 2020b)

3.2 Puurakentamisen tulevaisuus

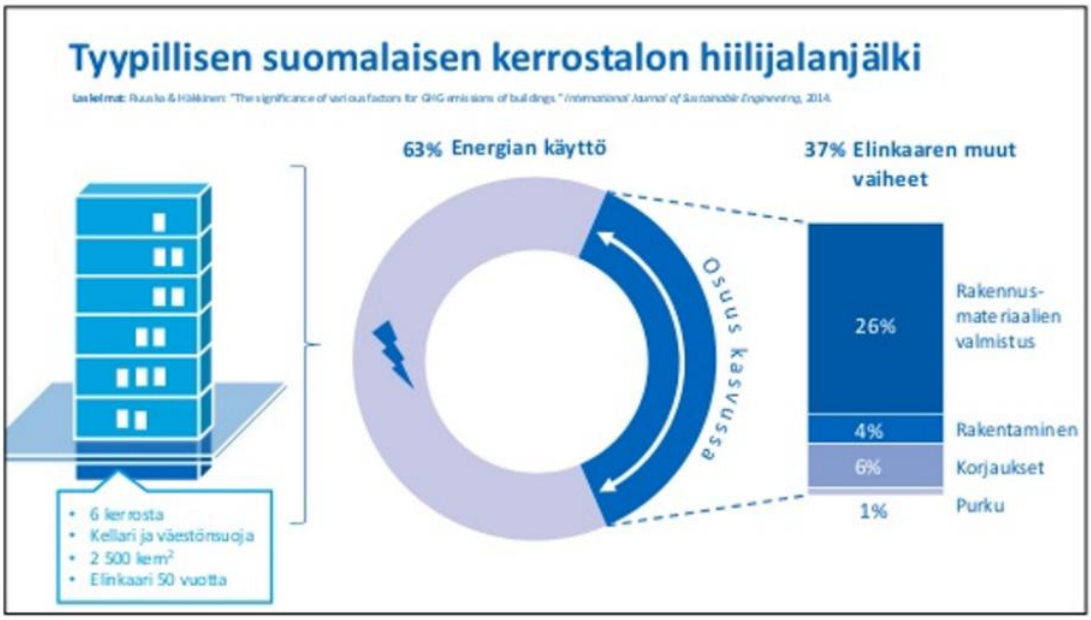
Ympäristöministeriö julkaisee säännöllisesti edistäviä ohjelmia, jotka ohjaavat puurakentamista. Käynnissä olevan ohjelman tavoitteita ovat: puun käytön lisääminen julkisessa rakentamisessa, edistää kansainvälisesti kilpailukykyistä puurakentamisen osaamista Suomessa ja lisätä puun käyttöä kaupunkirakentamisessa. Kyseinen ohjelma on tullut voimaan vuonna 2016 ja päättyy vuoteen 2023. Ympäristöministeriön mukaan puun käyttö pienentää rakentamisen aiheuttamaa hiilijalanjälkeä, koska se toimii rakennuksessa hiilivarastona. (Ympäristöministeriö, n.d.). Käynnissä olevan ohjelman mukaan hiilijalanjälkeä pyritään rakentamisessa pienentämään huomattavasti. Tässä työssä tutkittava DLT-tekniikka saattaisi olla merkittävä tekijä rakentamisesta aiheutuvaan hiilijalanjäljen laskuun, sillä kyseisellä tekniikalla elementti voidaan valmistaa ilman liimoja tai metallisia kiinnikkeitä.

Puurakentamista suositaan koko ajan enemmän tulevaisuuden rakentamisessa. Merkittävin syy on todennäköisesti ilmastosyihin liittyvät asiat, kuten hiilijalanjäljen pieni osuus verrattaessa esimerkiksi betonirakentamiseen. Puu on uusiutuva materiaali tarkoittaen sitä, että se uusiutuu suhteellisen nopeasti.

Siparilan tekemän artikkelin mukaan 30 % kaikista hiilidioksidipäästöistä ovat peräisin rakennussektorilta. Rakennustuotteiden valmistuksessa 90 % päästöistä aiheutuu teräksestä ja sementistä. Tämä fakta tukee sitä, että puurakentaminen on tulevaisuudessa erityisen olennainen käsite, sillä eri arvioiden mukaan maapallon väkiluku tulee kasvamaan. (Siparila Oy, n.d.). Väkiluvun kasvu taas tarkoittaa sitä, että rakennuksiakin tarvitaan enemmän. Kun puurakentaminen yleistyy julkisessa rakentamisessa, se hillitsee hiilidioksidipäästöjen kasvua entisestään.

Kuvassa 2 on esitetty tyypillisen suomalaisen kerrostalon aiheuttama hiilijalanjälki. Tyypillisesti kyseinen rakennus koostuu betonielementeistä. Kuvasta nähdään, että rakennusmateriaalien valmistus aiheuttaa 26 % koko

rakennuksen hiilijalanjäljestä. Samalla huomataan, että tämän sarakkeen osuus on kasvussa.



Kuva 2. Kerrostalon hiilijalanjälki (Tampereen yliopisto, 2020)

4 MASSIIVIPUURAKENTEET

Rakennusmateriaaleina massiivipuurakenteet ovat tulevaisuudessa todennäköisesti yleisimpiä vaihtoehtoja, kun mietitään vähähiilistä rakentamista. Ympäri maailmaa eri maat asettavat ympäristövaatimuksia rakentamiselle, jolloin massiivipuurakenteiden käyttö nousee esiin, uusia rakennuksia suunniteltaessa. (Essve, 2020).

Massiivipuurakenteilla tarkoitetaan yleisesti sitä, kun puulevyjä kiinnitetään toisiinsa mekaanisesti eri kiinnikkeillä tai liimalla (Puuinfo, 2020c). Tällöin saadaan rakenne, joka on paljon kestävämpi kuin yksittäinen levy ja sen ansiosta sitä voidaan käyttää esimerkiksi rakennuksen runkojärjestelmänä. Monia massiivipuurakenteita käytetään usein apuna rakennuksen pilari-palkkijärjestelmässä. Se tarkoittaa sitä, että kyseinen järjestelmä toimii rakennuksen kantavana runkona. Esimerkiksi liimapuuta käytetään usein palkkeina. (Siikanen, 2017, s. 329).

4.1 Liimalla kootut massiivipuurakenteet

Liimalla koottuja massiivipuurakenteita on kolmea eri vaihtoehtoa. Näissä on pieniä eroja, miten tuotetta valmistetaan. Kuitenkin kaikissa eri rakenteissa yhteistä on se, että liitokset tapahtuvat liiman avulla. Kyseisissä liitoksissa käytetään yleensä synteettisiä liimoja, jotka ovat melamiini-, fenooli- tai polyuretaanipohjaisia. Usein kuitenkin liimat saattavat olla tuotteen elinkaaren lopussa haitallisia rakennusmateriaalien kierrätysprosessia ajatellen. Lisäksi liimat saattavat aiheuttaa negatiivisia terveysvaikutuksia, jotka ilmenevät ihmisissä eri tavoin. (Moilanen, 2019, s.32). Stora Enso on kuitenkin nykyään alkanut käyttää puun omaa sideainetta eli ligniiniä massiivipuurakenteen liitoksissa. Tämä on uusiutuva, biopohjainen ja fossiiliton liima, jota saadaan kuivan maan kasvien soluseinämistä. (Stora Enso, n.d.a).

4.1.1 Liimapuu

Liimapuu on lamelleista liiman avulla valmistettu puutuote. Siinä lamellit ovat liimattu tuotteen pituussuunnan mukaan (Puuinfo Oy, 2020d). Kuva 3 havainnollistaa liimapuun rakennetta. Standardissa SFS-EN14080 on esitetty vaatimuksia koskien liimapuuta. Sen mukaan yksittäisessä liimapuussa saa olla vain yhtä puulajia. (SFS-EN 14080, 2013, s.31). Liimapuu valmistetaan aina joko männystä tai kuusesta. Jotta standardissa esitetyt vaatimukset täyttyvät, niin liimapuussa käytettävä puu on oltava lujuusluokiteltua. Syntyvän liimapuu on suositusten mukaan oltava lujuusluokaltaan GL30c. (Puuinfo Oy, 2020d).

Kuva 3. Liimapuu (Puuinfo Oy, 2020d)

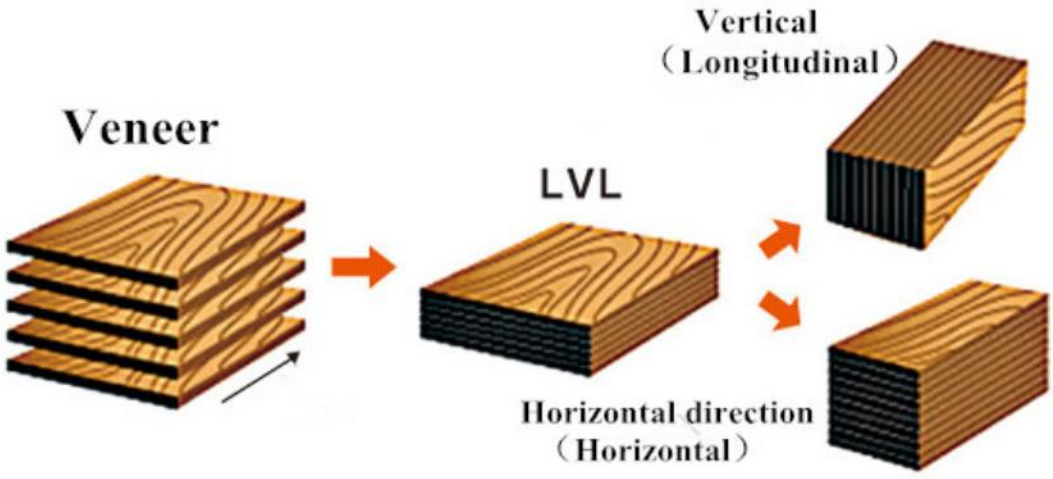
Suomessa on monia liimapuun valmistajia. Liimapuu on yleinen rakennusmateriaali ja sillä on yli sadan vuoden perinteet suomalaisessa rakentamisessa eli kyseessä on varsin tuttu rakennustuote. (Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy, 2014). Liimapuuta käytetään usein rakentamisessa palkkeina ja pilareina. Suuria aukonylityksiä tehtäessä liimapuut toimivat kantavina rakenteina.

4.1.2 Viilupuu (Laminated Veneer Lumber)

Viilupuu eli arkikielessä kertopuu on erittäin monipuolinen puutuote. Sitä käytetään niin uudis- kuin korjausrakentamisessakin aina kantavista pilareista seinien runkoratkaisuihin saakka. (Puuinfo Oy, 2020e). Viilupuuta voidaan käyttää valmistajan mukaan esimerkiksi kantavana palkkina, rakennuslevynä aluskatteena, runkovaihtoehtona tai muissa kevyissä ja kantavissa rakenteissa levynä (Metsä Group, n.d. a)

Viilupuun lyhenne LVL tulee englannin kielen sanoista Laminated Veneer Lumber, joka tarkoittaa laminoitua viilupuuta. Viilupuu valmistetaan siten, että liimataan noin 3 mm paksuja kuusiviiluja yhteen. Viilupuu voidaan valmistaa kahdella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on liimata viilut pituussuuntaan tai vaihtoehtoisesti siten, että osa viiluista liimataan ristiin pituussuuntaan nähden. (Puuinfo Oy, 2020e). Kuvasta 4 nähdään viilupuun valmistusperiaate. Alussa on yksittäisiä viiluja, jotka yhteen liimaamalla saadaan viilupuu.

Liimauksen jälkeen elementti sahataan oikeaan mittaan. Sahattua elementtiä voidaan käyttää vaakasuunnassa (horizontal) tai pystysuunnassa (longitudinal) riippuen siitä, mikä on sen käyttökohde. Kun viilut ovat pystysuunnassa, niin sen taipuma on huomattavasti pienempää, jolloin suuremmat jännevälit ovat paremmin toteutettavissa. (Metsä Group, n.d.b).



Kuva 4. Viilupuun valmistus (Fomex Group, 2021)

4.1.3 CLT (Cross Laminated Timber)

CLT eli Cross Laminated Timber tulee englannin kielen sanoista, joka tarkoittaa ristiinlaminoitua puutavaraa. CLT-elementti valmistetaan siten, että sahatavara sormijatketaan oikean kokoisiksi lamelleiksi. Tämän jälkeen kootut lamellikerrokset liimataan ristiin toisiin kerroksiin nähden, jolloin saadaan halutun kokoinen CLT-elementti. Elementistä tulee hyvin luja ja paloa kestävä rakenne. Tämän jälkeen alkaa työstö CNC-koneella, jolla saadaan elementistä sellainen kuin on suunniteltu. (Crosslam, n.d.)

CLT-elementistä voidaan toteuttaa jopa 12 metriä pitkä ja reilu kolme metriä korkea levy. Tätä voidaan käyttää suoraan esimerkiksi väliseinänä, jolloin puun pinta jää näkyviin asiakkaan näin halutessa. Elementtejä voidaan käyttää myös kantavana rakenteena ulkoseinissä. CLT-levy voi olla jopa 300 mm paksu riippuen siitä, kuinka monta puulevykerrosta on liimattu yhteen. Liimauksessa käytetään Crosslamin mukaan yksikomponenttisia formaldehydittömiä polyuretaaniliimoja ja heidän mukaansa liimasta ei haihdu epäpuhtauksia sisäilmaan. (Crosslam, n.d.)

Rakentaminen CLT-elementistä voi tapahtua joko tilaelementtitekniikkaa hyödyntäen tai suurelementtirakentamisena. Suurelementtirakentaminen tarkoittaa sitä, että tehtaalla valmistaja tekee esimerkiksi oikean kokoisen väliseinän, joka nostetaan työmaalla nosturilla oikealle paikalle ja kiinnitetään alustaan. Tilaelementtitekniikka sen sijaan tarkoittaa sitä, että tehtaalla tehdään jokin tila kokonaan valmiiksi, joka työmaalla nostetaan oikealle paikalle. Tämä on erittäin nopea rakentamistapa, sillä tehtaalla käsitellään kaikki seinät, katot ja lattiat valmiiksi. (Crosslam, n.d.)

Kuvasta 5 nähdään, kuinka CLT-elementtiä asennetaan. Nosturi nostaa työmaalla oikeisiin mittoihin työstetyn elementin suoraan paikalle, jolloin työmaalle tehtäväksi jää vain elementin kiinnitys. Elementtiin on tehtaalla työstetty kaikki ikkunoiden ja ovien aukot valmiiksi. (CLT Finland Oy, 2022).

Kuva 5. CLT-elementin asennusta (CLT Finland Oy, 2022)

4.2 Liittimillä kootut massiivipuurakenteet

Massiivipuurakenteita voidaan valmistaa myös ilman liimaa. Näissä rakenteissa puutuotteet yhdistetään toisiinsa mekaanisin kiinnikkein, kuten esimerkiksi nauloilla tai puutapeilla. Massiivipuurakenteiden ominaisuuksia voidaan parantaa esimerkiksi siten, että ennen yhteen liittämistä puihin tehdään urituksia, jolloin valmistuvan rakenteen lämmöneristävyys kasvaa. (Puuinfo, 2020c). Seuraavissa alaluvuissa käsitellään muut mekaanisesti kiinnitettävät puutuotteet paitsi DLT.

4.2.1 NLT (Nail Laminated Timber)

NLT on noin sata vuotta vanha rakennusmateriaali, joka koostuu yhteen naulatuista samansuuntaisista laudoista. Rakenteesta saadaan paljon jäykempi ja kestävämpi, kuin useampi lauta kiinnitetään toisiinsa. (Think Wood, 2023). NLT tulee englannin kielen sanoista Nail Laminated Timber.

NLT:tä ei valmisteta Suomessa ja muutenkin sen tuotanto on hiipunut siitä, mitä se on aiemmin ollut. Siihen saattaa vaikuttaa esimerkiksi muiden massiivipuutuotteiden yleistyminen. Nykyään on aloitettu käyttämään naulojen sijasta esimerkiksi puutappeja liittämään laudat toisiinsa kiinni. Puutapeilla kootut elementit ovat käytännöllisempiä, kun elementtiä työstetään CNC-koneella. CNC-koneen terät eivät kestä NLT:ssä olevia nauloja, mutta puutapeista ei ole siinä haittaa. (Think Wood, 2023). Kuvasta 6 nähdään, kuinka yksinkertaisesta tekniikasta NLT:ssä on kyse.

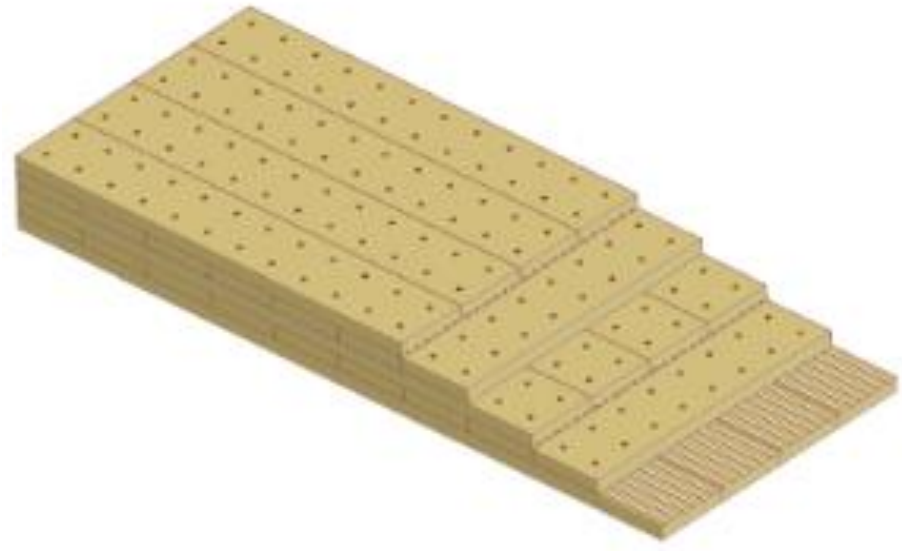
Kuva 6. NLT:n valmistus (Think Wood, 2023)

4.2.2 MHM (Massiv-Holz-Mauer)

MHM eli Massiv-Holz-Mauer on verrattavissa NLT-puutuotteeseen. Se tarkoittaa ristiinnaulattua massiivipuurakennetta. MHM-rakenteen voidaan ajatella olevan sekoitus NLT:tä ja CLT:tä. MHM-elementti valmistetaan samalla periaatteella kuin CLT eli lautakerrokset laitetaan ristiin toisiinsa nähden. MHM-rakenteella ja NLT:llä yhteistä on, että molemmissa laudat kiinnitetään toisiinsa

ilman liimaa naulojen avulla. Erot näiden kahden välillä tulee kuitenkin siitä, että MHM-tuotteessa käytetään tavallisten naulojen sijaan alumiininauloja, joista ei ole haittaa myöhemmin suoritettavassa CNC-työstössä. Alumiini on materiaalina pehmeämpää, niin CNC-koneen terät kestävät sen. MHM-tekniikka on varsin uusi ja todennäköisesti tulee yleistymään tulevaisuudessa ja korvaamaan ainakin osittain NLT:n. (Puuinfo Oy, 2020c)

MHM-tekniikka on kehitetty aikanaan kantavien seinien rakenteeksi. Kyseistä rakennetta ei ole tarpeen erikseen jäykistää, sillä sen oma ristiin naulattu rakenne on riittävän vahva kestämään siihen kohdistuvan kuormituksen. Kuvassa 7 nähdään tarkemmin MHM:n rakenne. MHM-tekniikassa yhteen naulatut laudat uritetaan pituussuunnassa. Valmiin elementin lämmöneristävyys paranee urituksessa syntyvien ilmataskujen ansiosta. Valmis elementti ei kuitenkaan muodosta ilman- ja höyrynsulkukerrosta. Ulkoseinärakenteessa kyseistä elementtiä käytettäessä täytyy huolehtia asianmukaisen ilman- ja höyrynsulkukerroksen rakentamisesta. MHM-levyä ei käytetä ikinä vaakarakenteissa, vaan sitä käytetään aina seinissä. (Puuinfo, 2020c).



Kuva 7. Massiv-Holz-Mauer:n rakenne (Puuinfo, 2020c)

5 DLT (DOWEL LAMINATED TIMBER)

Dowel Laminated Timber eli DLT on yksi liittimillä kootuista massiivipuurakenteista. DLT:n nimi tulee englannin kielen lyhenteestä, joka tarkoittaa vaarnattua massiivipuulevyä. Tämä puutuote on verrattavissa hyvin paljon muihin mekaanisesti kiinnitettyihin massiivipuutuotteisiin, mutta tässä liitokset tehdään puutappien avulla. (Puuinfo Oy, 2020c). DLT otetaan tässä opinnäytetyössä tarkempaan tarkasteluun kuin muut massiivipuurakenteet.

DLT on melko uusi massiivipuurakenne, sitä ei valmisteta eikä sitä myöskään ole tiettävästi käytetty rakentamisessa vielä Suomessa ollenkaan. Tässä tutkimuksessa suoritettiin haastattelut suoraan DLT:n valmistajille, jotta saatiin lisätietoa kyseisestä puutuotteesta. Internetistä saatiin selvitettyä Euroopassa DLT-elementtejä valmistavat yritykset ja laadittiin kysymykset, jotka lähetettiin suoraan heille. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään haastatteluista ja valmistajien suunnitteluoppaista kerättyjä tietoja. Tämän takia tässä tutkimuksessa käytetyt lähteet ovat melko yksipuolisia. DLT-valmistajien mukaan heidän suunnittelunsa noudattaa Eurokoodissa 5 olevia määräyksiä. Kuitenkin ETA määrittää valmistajille yksityiskohtaisemmat vaatimukset koskien valmistettavaa elementtiä.

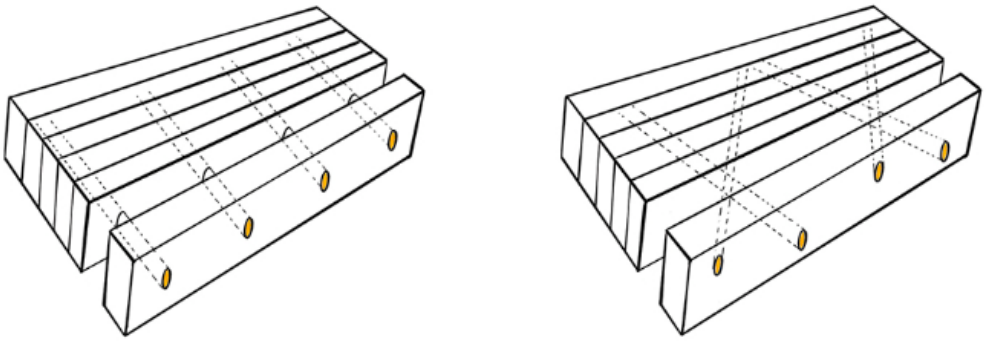
ETA on lyhenne, joka tulee englannin kielen sanoista (European Technical Assesment) ja se tarkoittaa eurooppalaista teknistä arviointia. ETA on asiakirja, joka ilmoittaa valmistetun tuotteen suorituskyvyn, jota ei ole standardeissa määritelty. Se on määrätty rakennustuoteasetuksessa ja sen avulla valmistajat voivat laatia suoritustasoilmoituksen ja saada tuotteelleen CE-merkinnän. (European Commission, n.d.). CE-merkinnän avulla tuotteen valmistaja vakuuttaa, että tuote on valmistettu Euroopan Unionin direktiivien ja asetusten olennaiset vaatimukset huomioon ottaen (Tukes, n.d.).

5.1 Historia

DLT:llä on varsin lyhyt historia. Sen keksi aikoinaan saksalainen insinööri nimeltään Julius Natterer 1970-luvulla. Alussa DLT koostui puupylväistä, joita naulaamalla yhteen saatiin vahvempia puuelementtejä. Vuonna 1999 Saksassa kehitettiin tekniikka lähemmäs nykyistä muotoaan, jolloin sen toiminta perustui nykyisinkin olevaan kosteuspitoisuuksien eroihin. Harvat valmistajat kuitenkin luottivat pelkkään kosteuteen perustuvaan liitokseen, ja he alkoivat laittaa puutappien lisäksi liimaa puiden väliin. (Designing Buildings, 2023). Vuonna 1999 tekniikka tunnettiin nimellä Dübelholz, joka on vieläkin Euroopassa käytössä (Henderson ym., 2012a). Lisäksi Euroopassa käytetään nimitystä Brettstapel, joka tarkoittaa yleisesti massiivipuulevyä, joka valmistetaan ilman liimaa (Puuinfo, 2020c).

2000-luvun alkupuolella itävaltalainen yritys kehitti eteenpäin kyseistä tekniikkaa siten, että aiemmin kohtisuoraan laitetut puutapit laitettiin V- ja W-asentoon. Kuvasta 8 huomataan, että vasemmanpuoleisessa kuvassa puutapit on asetettu kohtisuoraan puutavaraan nähden, mutta oikeanpuoleisessa kuvassa ne on laitettu vinottain. Tällöin saatiin poistettua ongelma, että kuivuessaan yhteen liitetyt palat liikkuvat toisiinsa nähden. (Designing Buildings, 2023). Kun puutappeja keksittiin laittaa myös vinottain puun pituussuuntaan nähden, niin tällä tavoin voitiin luopua lähes kokonaan liiman käytöstä.

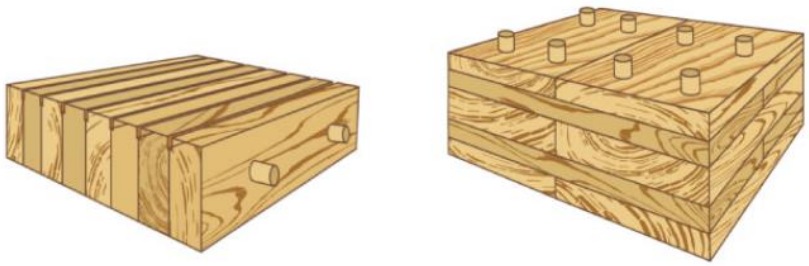
Nykyään kyseistä tuotetta valmistetaan ainakin Saksassa, Sveitsissä, Norjassa ja Itävallassa. Yleisimmin puutapit laitetaan kohtisuoraan ja monet yritykset eivät käytä rakenteessa liimaa ollenkaan. (Designing Buildings, 2023).



Kuva 8. Puutapit kohtisuorassa ja diagonaalisesti (Designing Buildings, 2023)

5.2 Elementin rakenne

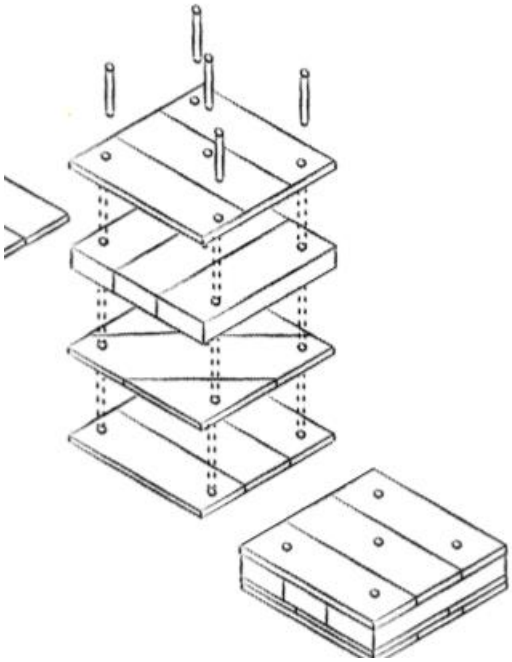
DLT-elementti koostuu havupuulamelleista, jotka ovat yhdistetty toisiinsa puutappien avulla. Puutapit ovat usein valmistettu pyökistä, saarnista tai tammesta. Yksinkertaisimmin lamellit voidaan latoa toisiinsa nähden samansuuntaisesti tai ristiin. (Puuinfo, 2020c). Kuvasta 9 nähdään vasemmalla puolella samansuuntaisesti ladotut lamellit ja oikealla puolella ristiin ladotut lamellit. Molemmissa tavoissa laudat lävistetään puutapeilla. Vasemmanpuoleisen elementin taipuma on pienempi kuin oikeanpuoleisen elementin.



Kuva 9. Samansuuntaisesti- ja ristiin ladottu DLT-elementti (Naturally Wood, 2023)

Lisäksi vaihtoehtona on latoa osa lamellikerroksista 45 asteen kulmaan edeltäviin lamellikerroksiin nähden kuvan 10 mukaan. Kuvasta 10 nähdään myös,

että ladotun DLT-elementin rakenne voi olla joskus epäsymmetrinen. Vastaavasti CLT:n ja LVL:n rakenne on aina symmetrinen.



Kuva 10. Syntyvän DLT-elementin kerrokset (Thoma, 2020, s.5)

Lautojen ja puutappien välillä syntyvä liitos perustuu siihen, että laudoilla ja puutapeilla on eri kosteuspitoisuudet. Puutappien kosteuspitoisuus on noin 8%, ja ympärillä olevien lamellien kosteuspitoisuus on noin 12–15%. Tällöin puutapit imevät laudoista kosteuden ja turpoavat tuottaen lujan liitoksen. (Puuinfo Oy, 2020c).

Valmiissa elementissä olevien puutappien määrä vaihtelee sen mukaan, mihin tarkoitukseen sitä valmistetaan ja mikä on sille aiheutuva kuorma rakennuksessa. Tappien määrä vaihtelee myös eri valmistajien mukaan. Saksalainen yritys nimeltä Rombach Holzbau kertoi käyttävänsä 10–12 tappia/m^2. Heidän mukaansa kuitenkin tappeja voidaan laittaa enemmänkin, mikäli elementille ajatellaan kohdistuvan suurempi voima. (Kappler, 2023). Sen sijaan Suttner Massivholzbau kertoi sähköpostihaastattelussa käyttävänsä puutappeja 30 cm välein. Heidän suunnitteluohjeensa mukaan tappeja käytetään 15 kpl/m^2. (Suttner, 2023).

5.3 DLT:n valmistusprosessi

DLT:n valmistus alkaa puutavaran lujuusluokittelulla ja puista poistetaan tässä kohtaa visuaaliset viat. Suuret oksan kohdat poistetaan myös, koska se heikentää huomattavasti puun lujuutta. DLT-elementti kootaan laudoista, joiden poikkileikkaus on enintään 150 mm x 300 mm. Jokainen lauta ajetaan höylän läpi ennen niiden yhdistämistä, jolloin laudat ovat samankokoisia. Aluksi laudoista tehdään riittävän pitkät sormijatkosten avulla. Tämän vaiheen jälkeen laudat laitetaan prässiin ja kootaan halutun kokoinen elementti. Hydraulinen prässi painaa laudat sivusuunnassa toisiinsa tiukasti kiinni pystysuunnassa pöytää vasten kuvan 11 mukaisesti. Kun laudat ovat puristuksessa, automatisoitu järjestelmä poraa läpimenevät 3/4" kokoiset reiät lautojen leveään sivuun. Tämän jälkeen kone painaa samankokoiset puutapit hydraulisesti reikiin, jonka jälkeen prässi vapautetaan. Tämänkaltaisen elementin pituus voi olla jopa 18 metriä. (StructureCraft, n.d.a, s.9). Kuvassa 11 puut ovat ladottu pystysuunnassa tapitusta nähden.

Kuva 11. Laudat prässissä tapitusta varten (Braunschweiler, 2018)

DLT-elementti voidaan myös koota kuvassa 9 olevan oikeanpuoleisen kuvan mukaisesti. Tällä tekniikalla tehdään esimerkiksi rakennuksen seinäelementit. Siinä lautojen ladonta perustuu CLT tekniikkaan eli laudat ladotaan

kerroksittain ristiin, jonka jälkeen prässi painaa kerrokset tiukasti yhteen ja prässi poraa reiät sekä puristaa puutapit hydraulisesti kerrosten läpi.

Kun DLT-elementin paneelien työstö ja tapitusprosessi ovat valmiit, voidaan valmis elementti työstää haluttuun muotoon ja kokoon CNC-koneen avulla. Kone toimii siten, että siihen syötetään halutut arvot ja sillä tehdään esimerkiksi ikkunan ja ovien aukot valmiiksi oikeisiin paikkoihin. Kuitenkin kuljetuksen ajaksi aukko täytyy yleensä tukea, ettei elementti hajoa matkalla työmaalle.

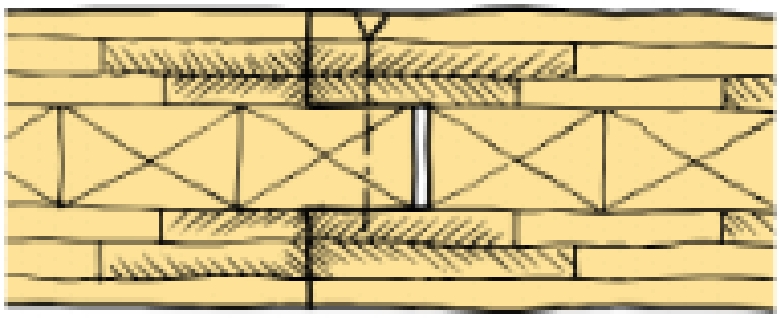
5.4 Elementtien kiinnitysmahdollisuudet

Yleisesti kiinnitysmahdollisuuksia kyseisellä tekniikalla on monia riippuen valmistajasta ja siitä, mihin elementti kiinnitetään. Tavallisimmin kuitenkin elementtien kiinnityksessä käytetään ruuveja, asennuspalkkeja tai perustuksiin liityttäessä kulmarautoja tai teräslevyjä (Rombach Holzbau, 2015, s.24).

Elementtien liitoksia tehtäessä on aina huolehdittava, että kaikki tulee toteutettua valmistajan ohjeiden mukaan. Elementtejä kiinnitettäessä erityistä huomiota tulee kiinnittää siihen, että tarvittaessa liitoksiin laitetaan esimerkiksi saumanauhatiiviste, jolloin liitoksesta tulee tiivis. Lisäksi mahdollisesta höyryntai ilmansulkukerroksen asennuksesta on tarvittaessa huolehdittava. (Rombach Holzbau, 2015, s.24).

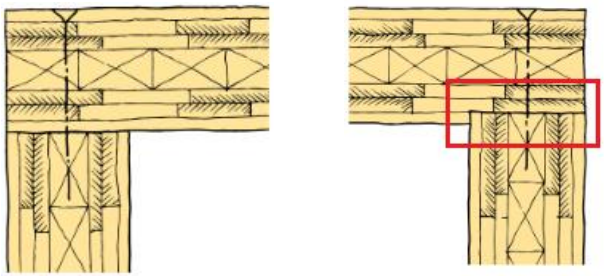
5.4.1 Seinäliitokset

DLT-seinäelementit kiinnitetään yleensä toisiinsa siten, että toisessa elementissä on uloke ja toisessa on sisennys, jolloin ne menevät limittäin toisiinsa nähden. Kun elementit ovat limittäin kiinni toisissaan, ne yhdistetään vielä mekaanisella kiinnikkeellä, kuten esimerkiksi puuruuvilla. (Thoma, 2020, s.19). Kuvassa 12 on esitetty esimerkki seinien liitoksesta.



Kuva 12. Kahden seinäelementin liitos (Thoma, 2020, s.19)

DLT-elementtien välinen kulmaliitos on yksinkertaista toteuttaa. Siinä elementti tuodaan toista elementtiä vasten ja liitos vahvistetaan esimerkiksi puuruvilla tai pulttaamalla (Thoma, 2020, s.18). Kuvassa 13 on kaksi vaihtoehtoa siitä, miten kulmaliitos voidaan toteuttaa. Kuvan 13 vasemmanpuoleisessa liitoksessa elementit ovat tuotu ainoastaan toisiaan vasten ja yhdistetty mekaanisella kiinnikkeellä. Liitos voidaan toteuttaa myös siten, että elementtitehtaalla toista elementtiä on kavennettu oikeanpuoleisen kuvan mukaisesti, jolloin asennettaessa niiden liittäminen ja kohdistaminen toisiinsa on helpompaa (Thoma, 2020, s.18).

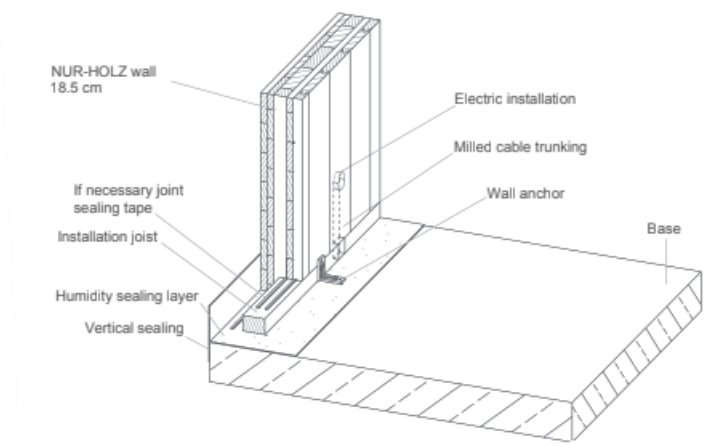


Kuva 13. DLT-elementtien kulmaliitosten vaihtoehdot (Thoma, 2020, s.18)

Väliseinäelementtiä yhdistettäessä ulkoseinään kiinnitysmahdollisuudet ovat samat kuin kulmaliitosta tehtäessä. Väliseinäelementti voidaan tuoda suoraan ulkoseinää vasten tai siten, että ulkoseinäelementtiin on tehty väliseinäelementin kokoinen ura, jolloin sen yhdistäminen menee kuvan 13 oikeanpuoleisen liitoksen periaatteen mukaisesti. (Thoma, 2020, s.19).

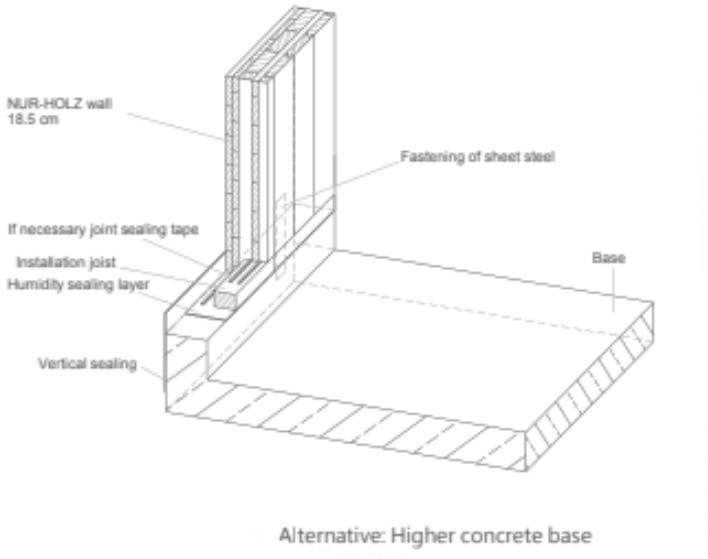
DLT-seinäelementtiä kiinnitettäessä perustuksiin tai pohjalaattaan kiinnitysvaihtoehdot riippuvat siitä, onko kyseessä väli- tai ulkoseinäelementti.

Ulkoseinäelementin kohdalla yleensä kiinnityksessä hyödynnetään asennuspalkkia, joka kiinnitetään aluksi perustukseen kuvan 14 mukaisesti. Elementtiin on tehty tehtaalla ura tai kolo, johon palkki asettuu työmaalla. Elementti kiinnitetään laattaan esimerkiksi kulmaraudan avulla. (Rombach Holzbau, 2015, s.24).



Kuva 14. DLT-elementti laattaan kiinnitettäessä (Rombach Holzbau, 2015, s.24)

Kiinnityksessä voidaan käyttää esimerkiksi apuna myös teräslevyä kuvan 15 mukaisesti, mikäli elementtiä ei kiinnitetä tasaiseen betonilaattaan. Tässä tapauksessa kulmarautaa ei voida käyttää apuna kiinnityksessä.



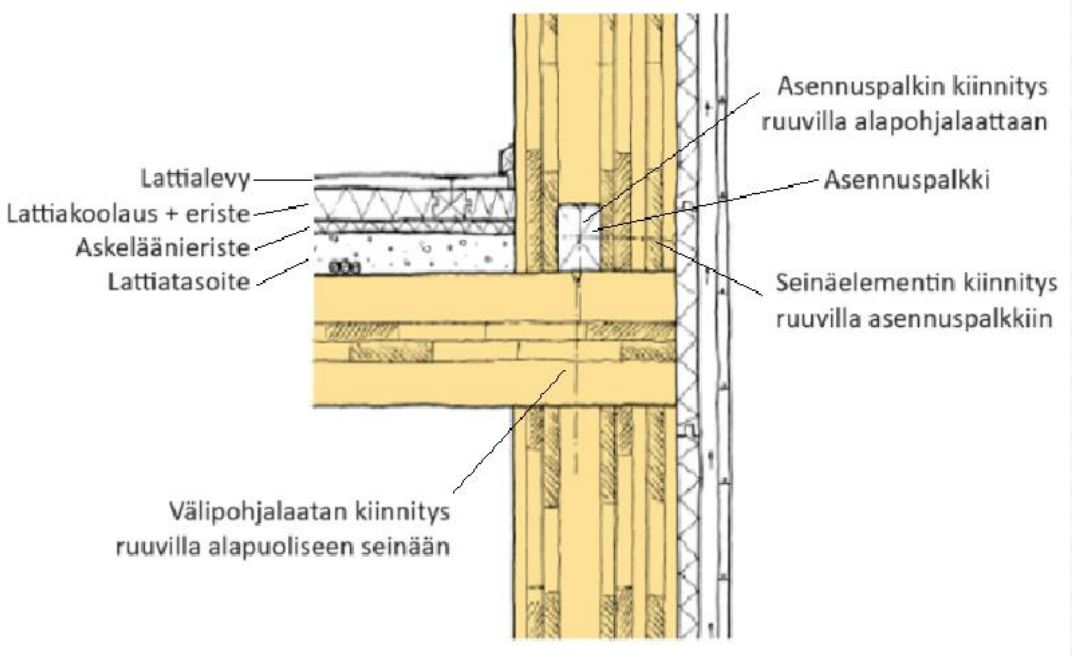
Kuva 15. DLT-elementti korotettuun betonilaattaan kiinnitettäessä (Rombach Holzbau, 2015, s.24)

Väliseinäelementtiä kiinnitettäessä laattaan ei yleensä käytetä asennuspalkkia apuna, sillä se on kapeampi kuin ulkoseinäelementti. Sen kiinnityksessä käytetään yleensä vain kulmarautaa. Kulmarauta kiinnitetään elementtiin usein puuruuvien avulla. (Thoma, 2020, s.22).

5.4.2 DLT-elementti välipohjaliitoksessa

Kun DLT-elementtiä käytetään välipohjana, se asennetaan usein kantavan seinän päälle kuvan 16 mukaisesti. Elementti kiinnitetään puuruuvien avulla alapuolella olevaan kantavaan elementtiin. Kun välipohjan päältä jatketaan rakentamista, niin välipohjaelementtiin asennetaan asennuspalkki ja siihen nostetaan sopiva ulkoseinäelementti. (Thoma, 2020, s.31).

Kuvassa 16 näkyy, miten valmista lattiapintaa rakennetaan välipohjaelementin päälle. Kuvassa elementin päälle on ensin valettu 6–10 cm paksu lattiatasoite. Sen päälle on asennettu 3 cm paksu askeläänieriste. Askeläänieristeen jälkeen tulee lattiakoolaus, jonka päälle valmis lattialevy, joka ruuvataan kiinni koolaukseen. (Thoma, 2020, s.31).



Kuva 16. DLT-elementin välipohjaliitos (Thoma, 2020, s.31)

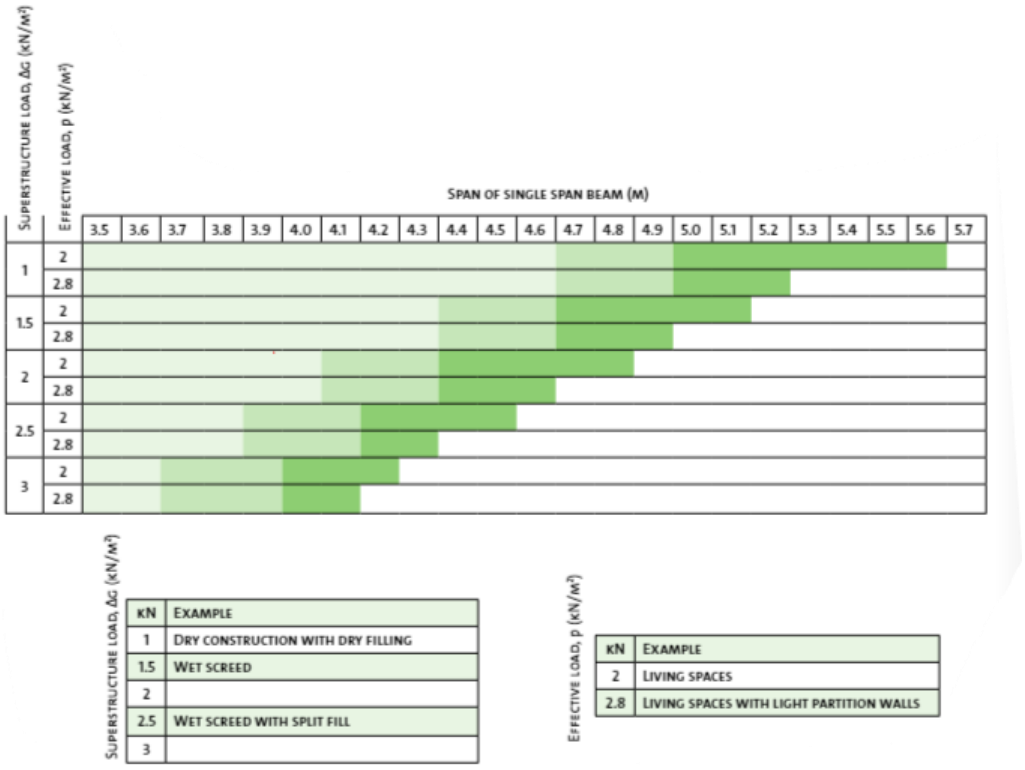
Kuvassa 17 oleva elementti on koottu neljästä kerroksesta, jossa ylin ja alin kerros ovat 7,7 cm paksuja. Niiden välissä olevat kerrokset ovat 2,9 cm paksut. Kerrokset ovat ladottu siten, että ylin ja alin kerros ovat samansuuntaisesti ladottu ja toiseksi ylin kerros on laitettu 45 asteen kulmaan näiden suhteen. Kolmas kerros on ladottu poikittain ylimpään ja alimpaan kerrokseen nähden. Thoman suunnitteluoppaan mukaan kuvan 17 elementillä voidaan toteuttaa jopa yli viiden metrin jännevälejä. Kuvan alla olevassa taulukossa on käytetty kuvan 17 mukaista elementtiä. Taulukossa on esitetty mahdollisia jännevälejä rakenteen kuorman ja painokapasiteetin funktiona.

Kuva 17. 21,2 cm paksu välipohjaelementti (Thoma, 2020, s.11)

Taulukossa 1 vaakasuunnassa ovat jännevälien mitat metreinä. Pystysuunnassa vasemmanpuoleisessa sarakkeessa on esitetty rakenteen pysyvä kuormaa. 1 kN kuvaa kuivaa rakennetta kuivalla täytöllä, 1,5 kN kuvaa märkää tasoitetta ja 2,5 kN kuvaa märkää tasoitetta jaetulla täytöllä. Oikeanpuoleisessa sarakkeessa on esitetty mahdollista muuttuvaa kuormaa. 2 kN kuvaa normaalia asuintiloja ja 2,8 kN kuvaa asuintiloja, jossa on otettu kevyet väliseinät huomioon. Taulukossa tumman vihreä väri kuvaa hetkellistä taipumaa, jossa W_{inst}=l/300. Vaalean vihreä kuvaa värähtelyä, jossa on käytetty kavennettua vaarnatappiruudukkoa. Siinä puutappien välinen etäisyys on 18 cm, kun normaalisti se on noin 50 cm. Vaalein väri kuvaa värähtelyä, jossa on otettu luonnollinen taajuus huomioon, joka on suurempi kuin 8 Hz. (Thoma, 2020, s.40). Oppaassa kuitenkin mainitaan, että esitetyt arvot ovat vain suuntaa antavia.

Heidän mukaansa kuitenkin jokainen rakenneratkaisu on mitoitettava tapauskohtaisesti.

Taulukko 1. Kuvan 17 mukaisen elementin mahdolliset jännevälit (Thoma, 2020, s.40)



Myös Rombach Holzbaun suunnitteluohjeessa on otettu kantaa DLT-elementillä toteutettaviin jänneväleihin taulukon 2 mukaan. Heidän taulukossaan ei ole otettu huomioon värähtelystä aiheutuvaa rasitusta. Taulukossa oletetaan, että kuormista puolet koostuu elementin pysyvästä kuormasta ja puolet muuttuvasta kuormasta.

Taulukon vaakasuunnassa on esitetty elementtiin kohdistuvat kuormat. Pystysuunnassa on vasemmanpuoleisessa sarakkeessa esitetty elementin paksuus (thickness), keskimmäisessä sarakkeessa elementissä olevien välikerroksien määrä (intermediate layers). Oikeanpuoleisessa sarakkeessa (dowel grid) esitetään, onko kyseessä normaali 52 cm vai kavennettu 10 cm vaarnatappiruudukko. Oletetaan elementin olevan 20,8 cm paksu ja koostuvan yhdestä

välikerroksesta ja normaalista tapitusristikosta. Tällöin esimerkiksi 5,0 kN/m^2 kuormalla kyseisen elementin suurin mahdollinen jänneväli on 3,63 m.

Taulukko 2. DLT-elementillä toteutetut jännevälit (Rombach Holzbau, 2015, s.51)

Thick-ness (cm)	Intermediate layers (apiece)	Dowel grid (cm)	Load (kN/m²) 2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
			Span (m)							
17.9	1	52	4.50	4.14	3.87	3.65	3.47	3.32	3.19	3.07
	1	10	6.06	5.63	5.27	4.96	4.72	4.50	4.32	4.14
20.8	2	52	4.63	4.25	3.96	3.72	3.53	3.38	3.24	3.12
	1	52	5.11	4.68	4.32	4.05	3.82	3.63	3.48	3.34
	2	10	6.80	6.28	5.86	5.52	5.23	4.97	4.75	4.55
	1	10	7.17	6.65	6.24	5.90	5.60	5.37	5.13	4.93
25.0	2	52	5.90	5.40	5.05	4.75	4.50	4.29	4.13	3.97
	1	52	6.47	5.93	5.50	5.15	4.85	4.62	4.42	4.24
	2	10	8.32	7.70	7.20	6.80	6.45	6.15	5.87	5.65
	1	10	8.70	8.10	7.60	7.20	6.85	6.55	6.30	6.07

Välipohjaa suunniteltaessa usein mitoittavaksi tekijäksi muodostuu rakenteen värähtely eli ominaistaajuus. Raja-arvot vaihtelevat maakohtaisesti eli ennen rakennuksen suunnittelua täytyy olla tietoinen kyseisessä maassa oleviin määräyksiin. Suomessa ominaistaajuus saa olla matalimmillaan 9 Hz ja hetkellinen taipuma enintään 0,5 mm. (Puuinfo Oy).

5.5 Paloluokka ja hiiltyminen

Suomessa rakennuksen paloluokat ovat P0, P1, P2 ja P3. Rakennuksen osien paloluokka määräytyy sen mukaan, mitkä ovat sen palotekniset vaatimukset. Rakennustarvikkeiden paloluokat ovat varustettu merkinnöin A1, A2, B, C, D, E tai F. Lisäksi usein savuntuotto luokitellaan lisämerkinnöillä s1, s2 ja s3 sekä palava pisarointi d0, d1 ja d2 merkinnöin. (Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta, 2002).

- A1 = Tarvikkeet, jotka eivät osallistu lainkaan paloon (palamaton)
- A2 = Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu
- B = Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu
- C = Tarvikkeet, jotka osallistuvat paloon rajoitetusti
- D = Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä
- E = Tarvikkeet, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksytty
- F = Tarvikkeet, joiden käyttäytymistä ei ole määritetty
- s1 = Savuntuotto on erittäin vähäistä
- s2 = Savuntuotto on vähäistä
- s3 = Savuntuotto ei täytä s1 eikä s2 vaatimuksia
- d0 = Palavia pisaroita tai osia ei esiinny
- d1 = Palavat pisarat tai osat sammuvat nopeasti
- d2 = Palavien pisaroiden tai osien tuotto ei täytä d0 eikä d1 vaatimuksia.

(Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta, 2002).

DLT-elementin valmistajan toimittaman ETA:n mukaan valmis elementti käyttäytyy palossa luokan D-s2, d0 mukaisesti. Mikäli elementtiä käytetään lattiarakenteena, niin se käyttäytyy luokan D_{FL}-s1 mukaisesti. (Deutsches Institut für Bautechnik, 2017, s.5) Merkintä tarkoittaa siis sitä, että DLT-elementti on tarvike, jonka osallistuminen paloon on hyväksyttävissä ja palaessa sen savuntuotto on vähäistä. Alaindeksissä oleva FL viittaa siihen, että sitä käytetään lattiarakenteena.

Puun suojaverhoilulla parannetaan rakenteen pintaluokaa. Palotilanteessa massiivipuu on hyvin palonkestävä materiaali ja se kestää kuormitettuna jopa 90 minuutin ajan sortumatta. (Honka, 2012). Standardin SFS-EN 1995-1-2 + AC mukaan havupuulle ja pyökille yksidimensioisen hiiltymisnopeuden β_0 arvo on 0,65 mm/min ja nimellisen hiiltymisnopeuden mitoitusarvo β_n on 0,7 mm/min, joka ottaa huomioon myös kulmapyöristykset ja halkeamat (SFS-EN 1995-1-2 + AC, 2004, s.44). Yllä olevat hiiltymisnopeudet koskevat DLT-elementtiä, koska se koostuu nimenomaan havupuusta ja pyökkitapeista.

Massiivipuun hyvä palonkesto-ominaisuus perustuu siihen, että puu alkaa hiiltymään palaessa (kuva 18), jonka ansiosta puun pintapuu palaa ja itse puun ydin kuitenkin kestää rakennuksesta aiheutuvaa kuormitusta sortumatta. Kun puun pinta alkaa hiiltymään palotilanteessa, niin siihen syntyvä hiilikerros myös suojaa ydinpuuta. (Nordtreat, 2023).

Kuva 18. Puun pintaan syntyvä hiilikerros palaessa (Puuinfo Oy, 2021, s.84)

5.6 DLT:n käyttökohteet

DLT-elementtiä voidaan käyttää lähes kaikkialla rakentamisessa. Sitä voidaan käyttää ulko- tai väliseinänä, välipohjana tai kattona. Mikäli elementtiä käytetään ulkoseinässä, täytyy huolehtia riittävästä lämmöneristyksestä. Lämmöneriste voidaan mahdollisesti laittaa työmaallakin vasta elementin ulkoseinään kiinni, mutta tällöin täytyy huolehtia riittävästä rakenteen tuulettumisesta. (Rombach Bauholz, 2015, s.14).

DLT-puutuotetta käytetään rakentamisessa monessa paikassa ja se kehittyy jatkuvasti. Saksalaisen DLT-valmistajan Rombach Bauholz:n kanssa käydyn sähköpostikeskustelun perusteella he kehittävät parhaillaan pilari- ja palkkijärjestelmää, joka tulee korvaamaan kokonaan liimapuun. Tällä hetkellä he pystyvät toteuttamaan jopa 7-kerroksisen talon liimattomien puurakenteiden

avulla. Heidän mukaansa tätä korkeammat rakennukset tarvitsevat lisäksi CLT:tä tai liimapuuta. (Kappler, 2023).

Kuva 19. DLT-elementin asennusta (Think Wood, n.d.)

5.7 DLT-elementin hinta

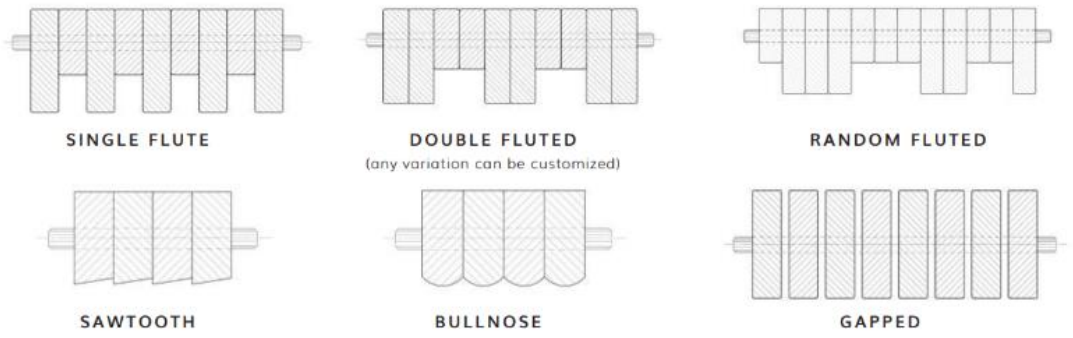
DLT-elementin hinta syntyy pääasiassa siitä, kuinka paksu- ja minkä kokoinen valmistettava elementti on. Lisäksi hintaan vaikuttavat elementissä olevat aukot ja halutaanko esimerkiksi elementin sisäpintaan jotain tiettyä puulajia. Tämän takia DLT:n hintaa on vaikea arvioida, koska se riippuu niin monesta tekijästä.

DLT-valmistajan kanssa käydyn sähköpostikeskustelun perusteella kuitenkin DLT-elementin voidaan karkeasti arvioida olevan noin 20 % kalliimpi kuin CLT-elementin (Suttner, 2023). Michael Kappler kuitenkin kertoi myös sähköpostikeskustelussa, että DLT:n hintaa on vaikea vertailla muihin massiivipuurakenteisiin johtuen siitä, että hinta määräytyy tilatun elementin mukaan. Hän esitti yrityksensä hintoja, jotka sisältävät myös elementtisuunnittelun. Hänen mukaansa heidän standardielementtinsä hinta on 1100–1170 €/m^3 ja eristetyn

elementin 920–960 €/m^3. (Kappler, 2023). Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että kyseessä ovat vain kahden valmistajan ilmoittamat hinnat ja todellinen hinta määräytyy kuitenkin elementin koon, siinä olevien aukkojen ja muun työstön määrän mukaan.

5.8 DLT-profiilit ja akustiikka

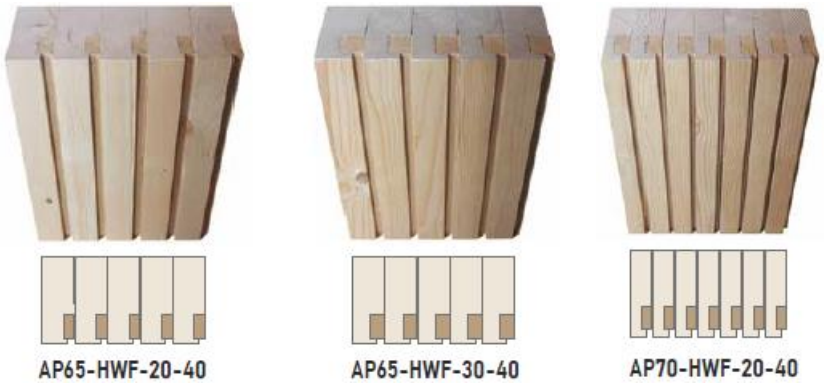
Yksinkertaisimmin DLT-elementti on tasainen ja reunoissa ei ole mitään pyöristyksiä. DLT-elementin ei kuitenkaan ole pakko olla tasainen, vaan siihen voidaan työstää erilaisia kuvioita, jolloin elementin yleisilme muuttuu. DLT-elementissä olevat lamellit voidaan reunoilta pyöristää tai loveta. Elementti voidaan toteuttaa esimerkiksi kuvassa 20 näkyvillä vaihtoehdoilla, jolloin esimerkiksi koloihin saadaan sijoitettua tilan sähköjohtoja. Yksinkertaisimmat vaihtoehdot voidaan toteuttaa tehtaalla ilman lisäkustannuksia. (StructureCraft, n.d.a, s.19).



Kuva 20. DLT-profiilit (StructureCraft, n.d.a, s.19)

Mikäli DLT-elementtiä käytetään esimerkiksi huonetilan kattona, niin siihen voidaan tehdä uria, jotka ovat täytetty palamattomilla ja kuitumaisilla eristekaistaleilla (kuva 21). Näin ollen tilan ääniteknisiä ominaisuuksia voidaan parantaa huomattavasti. Urat katto- tai välipohjaelementissä tuo tilaan myös erilaista ilmettä verrattuna tasaiseen puuelementtiin. Urat ottavat tilassa syntyviä ääniaaltoja tehokkaasti vastaan ja näin ollen pienentää huomattavasti jälkikaiunta-aikaa. (StructureCraft, n.d.a,. s.18). Kuvan 21 mukaisten

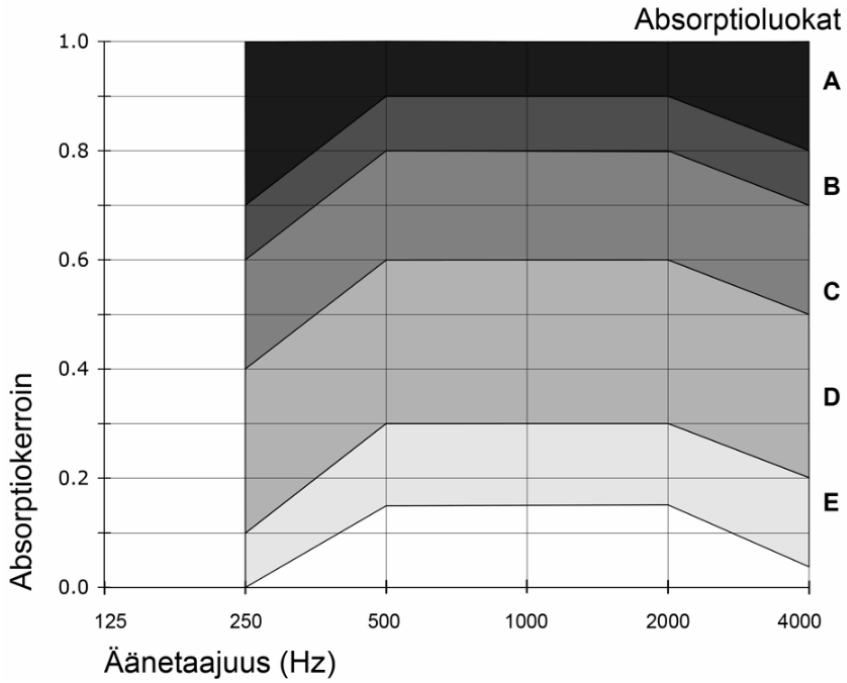
rakenneratkaisujen avulla äänen absorptiokertoimeksi saavutetaan 0,65–0,7 (Suttner Massivholzbau, n.d., s.15).



Kuva 21. DLT:n akustiset uraelementit (Suttner Massivholzbau, n.d., s.15)

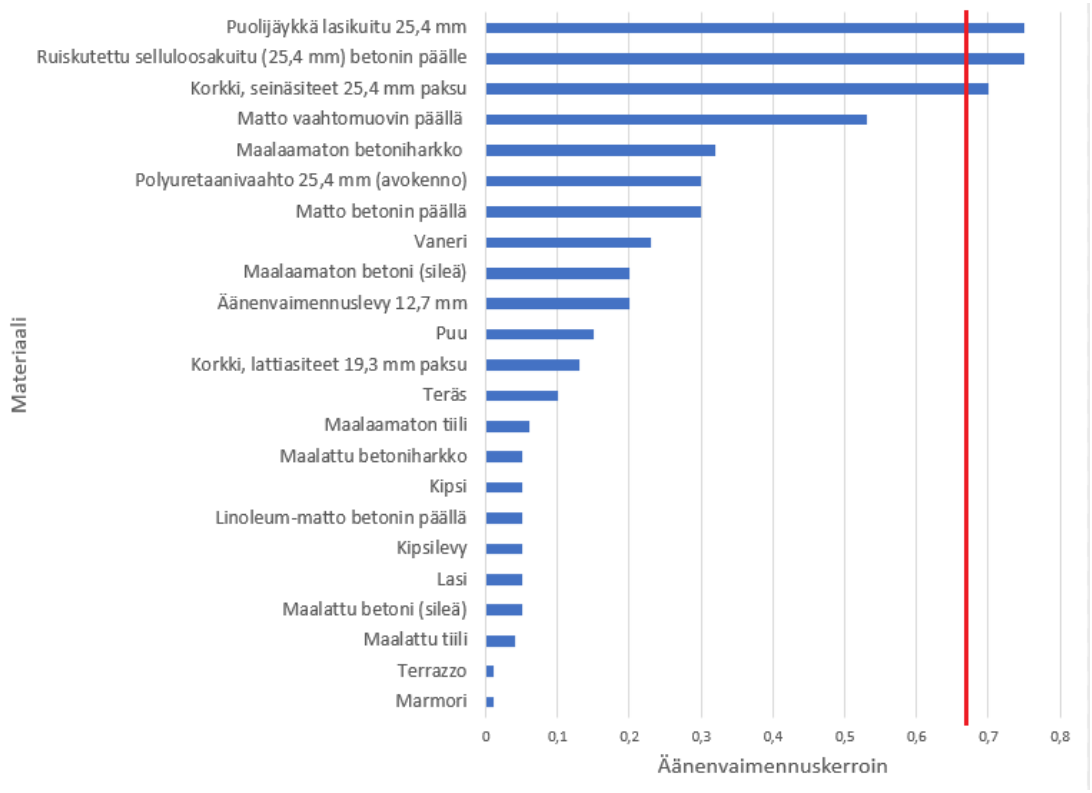
Absorptiokerroin (α) ilmaisee materiaalin pinnan kykyä vaimentaa ääntä ja sen avulla voidaan laskea jälkikaiuntaääniä. Mitä suurempi kerroin on, sitä paremmin se vaimentaa ääntä. Kerroin vaihtelee 0 ja 1,0 välillä eri materiaalien kesken siten, että 0 on täysin heijastava ja 1,0 on täysin vaimentava. (Acusta, 2023). Materiaalit jaetaan absorptiokertoimien avulla absorptioluokkiin standardin EN ISO 11654 mukaan. Kaaviosta 1 nähdään, että DLT-elementtien kohdalla päästään absorptioluokkaan C eli hieman keskitason yläpuolelle.

Kaavio 1. Absorptioluokat (Acusta, 2023)



Kaaviossa 2 on esitetty eri rakennusmateriaalien äänenvaimennuskertoimia. Kaavio laadittiin sen vuoksi, että sen avulla on helpompi hahmottaa, kuinka hyvä äänenvaimennuskerroin DLT-elementille saadaan, kun siihen tehdään urituksia. Rakennusmateriaaleille haettiin tiedot, jotka syötettiin kaavioon. Kaaviosta nähdään, että esimerkiksi raakapuun äänenvaimennuskerroin on noin 0,15. Vastaavasti huomataan, että maalatun betonin kerroin on noin 0,05, mutta kun saman rakenteen päälle asennetaan muovimatto, niin kertoimeksi saadaan jo 0,30. Sisäkattojen akustoinnissa käytetään usein vuorivillaa, jonka pinnassa on vahva lasikuitukangas. Tämän 50 mm levyn äänenvaimennuskertoimeksi saadaan 0,90. (Paroc Oy & Inlook, n.d.). Kaaviossa 3 oleva punainen viiva kuvaa sitä, kuinka hyvät akustiset ominaisuudet DLT:n uraelementillä saavutetaan.

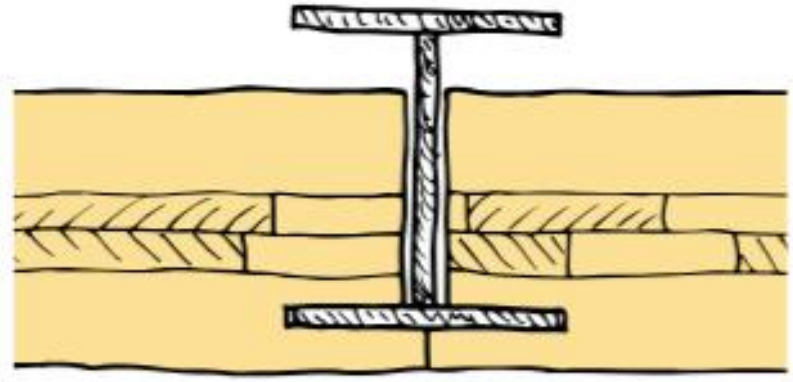
Kaavio 2. Rakennusmateriaalien äänenvaimennuskertoimia (Fediuk ym., 2021, s. 5)



5.9 Välipohja- ja hybridirakentaminen

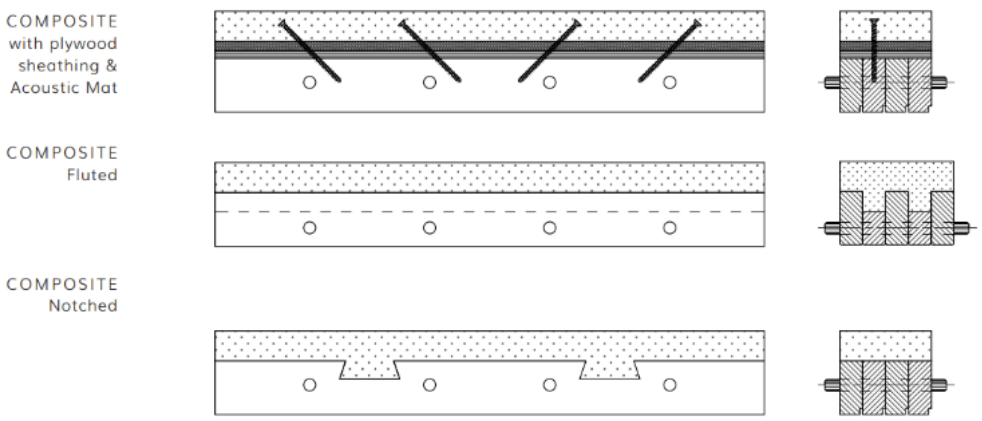
Hybridirakentamisella tarkoitetaan yleisesti sitä, että rakentamisessa yhdistellään materiaaleja, kuten esimerkiksi puuta, terästä ja betonia. Hybridirakentaminen on viime aikoina lisääntynyt merkittävästi, koska puurakentamista pyritään lisäämään rakentamisessa sen vähähiilisyyden takia. (Puuinfo Oy, 2023).

Hybridirakentaminen nousee myös keskeiseksi käsitteeksi, kun puhutaan DLT-rakentamisesta. DLT-elementillä on tietyt maksimimitat, joita ei voida ylittää. Mikäli kyseessä on esimerkiksi jokin aukonylitys vaakatasossa, niin silloin rakentamisen apuna täytyy käyttää puu- tai teräspalkkia. Se pystytään piilottamaan rakenteen sisälle kuvan 22 mukaan, kun elementtiin tehdään teräspalkin muotoinen kolo. Mikäli teräspalkki lävistää ulkokuoren, niin täytyy huolehtia, ettei rakenteeseen synny kylmäsiltaa. (Thoma, 2020, s.21).



Kuva 22. Piilotettu teräspalkki (Thoma, 2020, s.21)

Hybridirakentamisen etuja voidaan myös hyödyntää välipohjarakentamisessa. Välipohjassa käytetään usein TCC-rakennetta (Timber-Concrete Composite), kun rakenteen jänneväli on yli kuusi metriä. TCC-rakenne perustuu puulevyn ja betonin liittorakenteeseen eli siihen, että välipohjana olevan DLT-elementin päälle valettu betonikerros ovat yhdistetty toisiinsa. Rakenteet täytyy olla yhdistetty toisiinsa esimerkiksi ruuvin avulla, jolloin se toimii yhdistettynä rakenteena. DLT-puurakenne ottaa vastaan taivutuksesta aiheutuvaa kuormaa, kun taas betoni ottaa vastaan puristusjännitystä. TCC-rakenteella saadaan poikkileikkausarvoa pienennettyä tehokkaasti. (Suttner Massivholzbau, n.d., s.28). Kuvasta 23 nähdään, miten liittovaikutus saadaan puulla ja betonilla toteutettua TCC-rakenteessa. Kuvan 23 ylimmässä rakenteessa betonikerroksen alle on laitettu myös vaneria ja äänieristys, jotka ovat kiinnitetty ruuveilla DLT-elementtiin. Kahdessa muussa rakenteessa on kelluva betonikerros puuelementin päällä. Keskimmäisessä kuvassa puuelementtiä koostuu eri kokoisista olevista puukerroksista ja alimmassa kuvassa elementtiä on lovettu sivusuunnassa.



Kuva 23. TCC-rakenteen yleisimmät liitosvaihtoehdot (StructureCraft, n.d.a, s.17)

Usein välipohjaa rakennettaessa halutaan kiinnittää huomiota sen äänitekniisiin ominaisuuksiin, sillä asumisviihtyvyys kasvaa huomattavasti, kun asuintila on hiljainen. TCC-rakentamista suositaan käytettäväksi myös silloin, kun rakenteen paksuus halutaan minimoida tai välipohjalle on asetettu erityisiä jäykkyyttä tai värähtelyä koskevia vaatimuksia. (StructureCraft, n.d.a, s.17).

Sähköpostikeskusteluissa sekä Suttner Massivholzbau että Rombach Holzbau kertoivat käyttävänsä TCC-rakenteen lisäksi puu-savi-järjestelmää, jossa betoni on korvattu savella. Savea on käytetty kauan rakentamisessa ja nykyään on tieteellisesti osoitettu, että savi voi korjata huoneilmassa olevan mikrobiongelman (RakentajaPRO, 2022).

6 MASSIIVIPUURAKENTEIDEN VERTAILU

Alla olevassa taulukossa on koottu massiivipuiden oleellisimmat tekniset tiedot yhteen vertailua varten. Taulukkoon on huomioitu levymäiset massiivipuutuotteet, jonka takia esimerkiksi liimapuu on jätetty pois. Kaikkia rakenteita ei suoraan voi vertailla toisiinsa eri käyttötarkoitusten vuoksi. Taulukon tarkoituksena on, että saadaan vertailtua massiivipuuelementtejä karkeasti toisiinsa. Taulukkoon kootut tiedot ovat pääosin koottu suoraan valmistajilta, joten siinä olevat tiedot ovat vain suuntaa antavia. Eri valmistajilla on todennäköisesti hieman eroja esimerkiksi valmistetun elementin maksimimitoissa.

Taulukossa olevat sarakkeissa on aluksi käsitelty massiivipuulevyn kokoja, joita valmistetaan. ”Kerrokset (kpl)” -sarakkeessa on esitetty, kuinka monesta lamelli- tai puukerroksesta kyseinen tuote valmistetaan. ”Liitoksen tekotapa” -sarakkeessa esitetään, miten puutuotteen lamelli- tai puukerrokset ovat yhdistetty toisiinsa.

Taulukko 3. Massiivipuulevyjen vertailu

		Massiivilevyn koot					
		Pituus (m)	Leveys (m)	Paksuus (mm)	Kerrokset (kpl)	Liitoksen tekotapa	Lähde
DLT		8,5 - 18,4	0,29 - 3,65	10-364	4,5,6,7,9 tai 11	Puutapit	Thoma, StructureCraft
CLT		4-12	2,5 - 3,2	60-300	3,5 tai 7	Liima	Crosslam CLT
LVL							
	Q-paneeli	2-25	0,2 - 2,5	21-75	Viilujen paksuus saa olla enintään 6 mm	Liima	Metsä Wood
	L-Paneeli	2-25	0,2 - 2,5	21-75		Liima	Metsä Wood
	QP-palkki	2-20	0,5 - 2,5	39-75		Liima	Metsä Wood
MHM		6	3 - 4	115 -340	5- 15	Alumiininaulat	Puuinfo Oy
NLT		30	0,01 - 0,305	2x, 3x tai 4x nimellispaksuus	2x, 3x tai 4x	Naulat	NLT U.S Design and Construction Guide, StructureCraft

Oleellisinta on huomata, että liitoksen tekotavat poikkeavat paljon toisistaan. Ainoastaan DLT voidaan toteuttaa ilman nauloja tai liiman käyttöä. Sen uskotaan myös olevan DLT-tuotteen etu muihin massiivipuurakenteisiin nähden ajatellen esimerkiksi elementin kierrätystä sen käyttöiän päätyttyä. DLT-elementissä ei ole metallisia kiinnikkeitä tai liimaa, jotka saattavat olla haitaksi materiaalia kierrätettäessä. Nykyään tärkeänä ominaisuutena pidetään materiaalin uusiokäyttöä, joka tarkoittaa sitä, että kun se poistetaan alkuperäisestä käyttökohteesta, niin sitä voidaan käyttää vielä jossain muualla, jolloin sen elinkaari pitenee. DLT-elementti on materiaali, jossa ei ole lainkaan nauloja tai

liimaa liitoksissa käytettynä, niin se on helpompi käyttää toisessa kohteessa tai lopuksi esimerkiksi polttaa sen elinkaaren päätyttyä.

Taulukosta 3 nähdään, että DLT-elementistä voidaan tehdä lähes 20 metriä pitkä. Vastaavasti esimerkiksi CLT-elementtiä hyödyntämällä päästään hieman yli kymmenen metrin pituiseen elementtiin. Sen sijaan MHM-tekniikalla voi valmistaa ainoastaan kuusi metriä pitkän elementin. Viilupuita voidaan valmistaa jopa 25 metriin saakka.

DLT-tekniikassa voidaan käyttää jopa 11 lamellikerroksesta koostuvaa elementtiä. Ainoastaan MHM-tekniikalla kerroksia voidaan käyttää enemmän, jopa 15 kappaletta.

Taulukossa 1 ja 2 on esitetty, että DLT-elementillä toteutetut jännevälit vaihtelevat valmistajien mukaan. Jänneväliin vaikuttaa myös se, mitä laskennassa on otettu huomioon. Thoman suunnitteluohjeen mukaan jänneväli voi olla 4,1–5,6 metriä, ottaen huomioon luonnollisesta värähtelystä aiheutuvan rasituksen. Sen sijaan Rombach Holzbaun suunnitteluohjeen mukaan jännevälit DLT-elementillä voivat olla 3,07–8,70 metriä. Heidän suunnitteluarvoissaan värähtelyä ei ole otettu huomioon. Eräs suomalainen CLT:n tuottaja on ilmoittanut omassa asuinrakennuksen mitoitusohjelmassaan, että heidän elementeillänsä pystytään toteuttamaan 3,7–5,6 metrin jännevälejä. Jännevälien suhteen ei siis ole huomattavasti eroja näiden elementtien välillä. (CrossLam, 2015). Vastaavasti ”Vaakarakenteissa LVL-rakenteiden tyypillinen jännevälialue on 5–12 m” (Puuinfo Oy, 2019, s. 71).

Kimmokertoimissa on myös materiaalien välillä eroja. Stora Enson suoritustasoilmoituksen mukaan CLT:n kimmokerroin on 12 000 N/mm^2 (Stora Enso, 2020). LVL:n kimmokerroin on niin ikään suoritustasoilmoituksen mukaan 10 500 N/mm^2 (Stora Enso, n.d.b). Vastaavasti eräs DLT:n valmistaja kertoi, että DLT on tehokkaampi materiaali CLT-elementtiin verrattuna sen korkeamman kimmokertoimen ansiosta, mutta he eivät kertoneet kuitenkaan DLT:n kimmokerrointa.

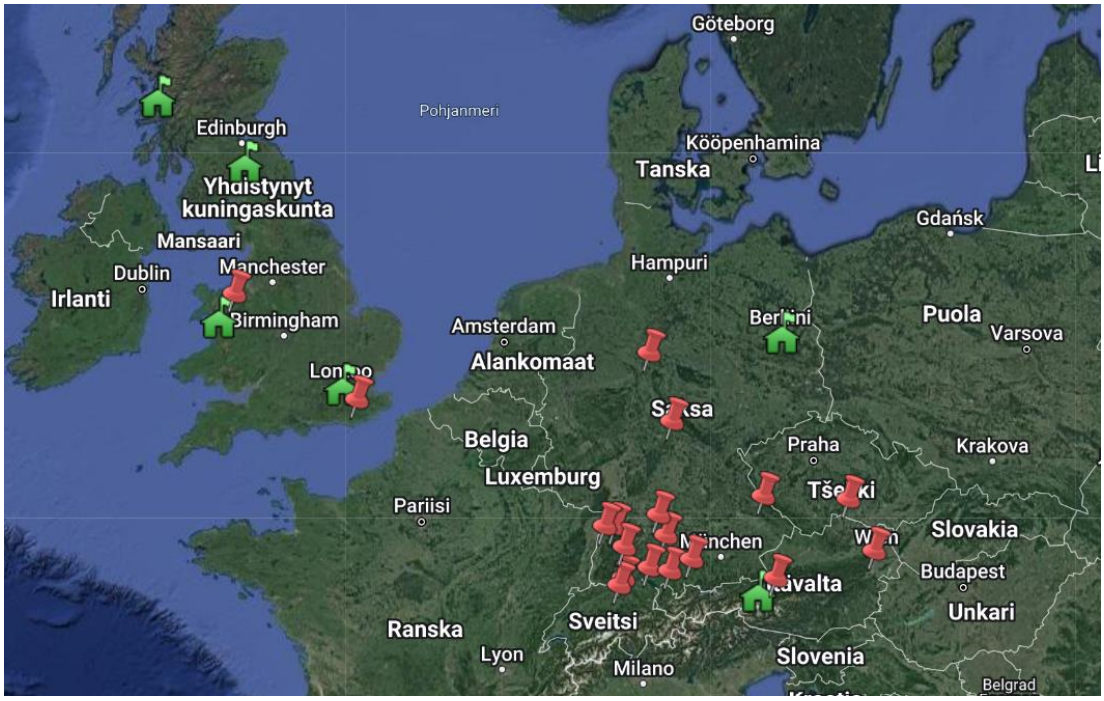
7 HAASTATTELUN TULOKSET

DLT:n ominaisuuksia selvitettiin sähköpostihaastatteluilla, jonka tavoitteena oli saada DLT-tekniikasta lisätietoa sekä esimerkiksi sen toimivuudesta asuinrakennuksen välipohjana. Työssä haastateltiin DLT:n valmistajia ja haastattelun kysymykset lähettiin (liite 1) maanantaina 30.10.2023, joihin osa yrityksistä vastasi jo saman viikon aikana. Kysymykset lähetettiin 19 eri valmistajalle, joiden yhteystiedot löytyivät kuvan 24 avulla. 12.11.2023 mennessä lähetettyihin kysymyksiin vastasi viisi eri DLT:n valmistajaa. Heiltä saatiin todella kattavasti yleistä tietoa kyseisestä puutuotteesta. Monet lähettivät oman suunnitteluohjeensa ja osa jopa vastasi suoraan esitettyihin kysymyksiin. Vastaukset valmistajien välillä eivät juurikaan poikenneet toisistaan. Ainoastaan valmistettavan elementin maksimimitoissa oli hieman eroja valmistajien välillä. Tutkimuksessa esitettyihin tietoihin pitää suhtautua kuitenkin hyvin lähdekriittisesti, koska yritykset saattavat yrittää markkinoida omaa tuotettaan.

17.11.2023 lähetettiin muistutukset niille valmistajille, jotka eivät vastanneet mitään aiemmin lähetettyihin kysymyksiin. Tästä muistutuksesta huolimatta, enempää vastauksia ei saatu. Liitteessä 2 on koottu yhteen valmistajien ilmoittamat tekniset tiedot DLT-puutuotteesta. Liitteessä 2 koottuun taulukkoon on myös haettu tiedot StuctureCraftin sivulta. SturctureCraft on Pohjois-Amerikkalainen yritys, joka auttaa arkkitehteja, omistajia ja rakennuttajia suunnittelemaan ja rakentamaan puu- ja hybridirakenteita (StructureCraft, n.d.b). Heille ei kuitenkaan lähetetty haastattelua, vaan haettu tieto perustuu suoraan heidän DLT:n suunnittelu- ja profiilioppaaseen. Lopulta kysymyksiin vastasi viisi eri valmistajaa.

Nykyään DLT-elementtejä valmistaa Euroopassa noin 20 eri yritystä. Eniten DLT-elementtejä valmistetaan Saksassa, josta se on lähtöisinkin, mutta myös Saksan naapurimaat kuten Sveitsi ja Itävalta ovat alkaneet valmistamaan tuotetta. Sen valmistus on myös levinnyt Isoon-Britanniaan. Kuvassa 24 punaiset nastat osoittavat DLT-elementin valmistajia ja vihreän talon symbolit

tarkoittavat käynnissä olevia rakennuskohteita, joissa käytetään kyseistä tekniikkaa. (Henderson ym., 2012b).



Kuva 24. DLT:n valmistajat ja käynnissä olevia projektit (Google, 2023)

DLT-elementtejä valmistavat yritykset olivat lopulta melko helppo löytää. Pienen etsimisen jälkeen löytyi kartta (kuva 24), josta löytyivät valmistajien yhteystiedot. Rombcah Holzbau sekä Suttner Massivholzbau vastasivat suoraan laadittuihin kysymyksiin. GaiaGroup vastasi, että kaikki tiedot löytyvät heidän kotisivuiltaan. Kun heidän kotisivuiltaan haettiin tietoja, niin joihinkin tiedostoihin vaadittiin kuitenkin rekisteröitymistä. Thoma Holz kertoi, että suunnitteluopas löytyy heidän kotisivuiltaan ja tulevaisuuden rakentamisesta löytyy tietoa, kun sivuille rekisteröityy. Architype London vastasi suoraan, että he ovat olleet kahdessa projektissa mukana, jossa on käytetty kyseistä puutuotetta, joten heillä ei ole kokemusta kertoa vastauksia kysymyksiin. Muutamat yritykset lähettivät myös käyttämänsä ETA:n, johon heidän suunnittelunsa perustuu. Sieltä löytyi myös paljon tietoa valmistettavista elementeistä sekä raja-arvoista, joiden mukaan elementit valmistetaan.

Taulukossa 4 on esitetty Euroopassa olevien valmistajien nimet sekä maat, jossa he toimivat. Taulukossa vasemmanpuoleisessa sarakkeessa on esitetty

valmistajien nimet ja oikeanpuoleisessa sarakkeessa valmistajien kotimaat. Oikealla olevassa laatikossa on esitetty prosenttiosuuksien avulla, missä maissa DLT-elementtejä valmistetaan. Taulukossa olevassa laskelmasta käy ilmi, että eniten kyseistä puutuotetta valmistavia yrityksiä on Saksassa. Seuraavaksi eniten DLT-tuotetta valmistavia yrityksiä on Isossa-Britanniassa ja Itävallassa. Vähiten kyseistä puutuotetta valmistavia yrityksiä on Sveitsissä.

Taulukko 4. DLT:n valmistajat

Valmistajat	**Valmistusmaa**
Williams-Homes	Iso-Britannia
Gaia-Group	Itävalta
London Architype	Iso-Britannia
Hereford Architype	
Edinburgh Architype	
Hecker-System-Holzbau	Saksa
Roemmelt-Hallenbau	Saksa
Suttner Massivholzbau	Saksa
Holzbau-Longin	Itävalta
Thoma.at	Itävalta
Kaufmannbau	Saksa
Weihele-holz	Saksa
Sohm-holzbau	Itävalta
Kaufmann-oberholzer	Saksa
Tschopp-holzbau	Sveitsi
Sidlerholz	Sveitsi
Zwick-Holzbau	Saksa
Rombach Holzbau	Saksa
Rombach-saegewerk	Saksa

Valmistusmaa	%-osuus kaikista
Saksa	47,4
Iso-Britannia	21,1
Itävalta	21,1
Sveitsi	10,5

8 DLT-PUUTUOTE TULEVAISUUDEN RAKENTAMISESSA

DLT-puutuote tulee todennäköisesti yleistymään tulevaisuuden rakentamisessa. DLT-elementti voidaan valmistaa ilman liimaa ja nauloja, joka tekee kyseisestä tuotteesta erittäin ympäristöystävällisen. Ajatellen puutuotteen koko elinkaarta, niin DLT on olemassa olevista massiivipuurakenteista yksi parhaista sen kierrätettävyyden ansiosta. Vaarnattu massiivipuu on myös valmistettaessa helppo, koska se koostuu pelkästään puusta, niin tarvittavat aukot ja lovet voidaan työstää huolettomasti CNC-koneella.

Jatkuvasti puhutaan maapallon lämpenemisestä, joka johtuu kasvihuonekaasuista. Suurimmalta osin syntyvät päästöt ovat peräisin ihmisen toiminnasta. Luvussa 3.2 esitettiin, että kaikista hiilidioksidipäästöistä 30 % syntyy rakennussektorilta. Rakentamista pyritään viemään koko ajan enemmän vähähiilisempään suuntaan, sillä kasvihuonekaasujen syntymistä pyritään merkittävästi vähentämään eri keinoin.

DLT-puutuote saattaa olla käänteentekevä materiaali rakentamisessa. Rakennuksesta aiheutuva hiilijalanjälki koostuu esimerkiksi runkoratkaisusta ja materiaalivalinnoista (A-Insinöörit, n.d.). DLT-elementillä on valmistajien mukaan todella pieni hiilijalanjälki. Ainut kysymysmerkki on elementin valmistuksesta aiheutuva hiilijalanjälki. Tähän kysymykseen vastasi kaksi DLT:n valmistajaa, mutta kummallakaan ei tuntunut olevan selvää vastausta. Toinen yrityksistä sanoi valmistuksesta aiheutuvan hiilijalanjäljen olevan tosi alhainen ja toinen sanoi, että heillä ei ole tarkkaa tietoa asiasta, mutta he käyttävät tehtaalla hyödyksi aurinkoenergiaa. Aurinkoenergiaa pystytään hyödyntämään esimerkiksi tuotantotiloissa.

Thoman suunnitteluoppaassa kerrotaan DLT:n elinkaariarvioinnista. Taulukossa 5 on arvot ilmaston lämpenemisen potentiaali kilogramma hiilidioksidi ekvivalenttina. Maaperän ja vesistöjen happamoitumispotentiaali on ilmoitettu taulukossa kilogramma rikkidioksidiekvivalenttina. Taulukon alimmalla rivillä on uusiutumattomien primäärienergioiden kokonaismäärä megajouleina.

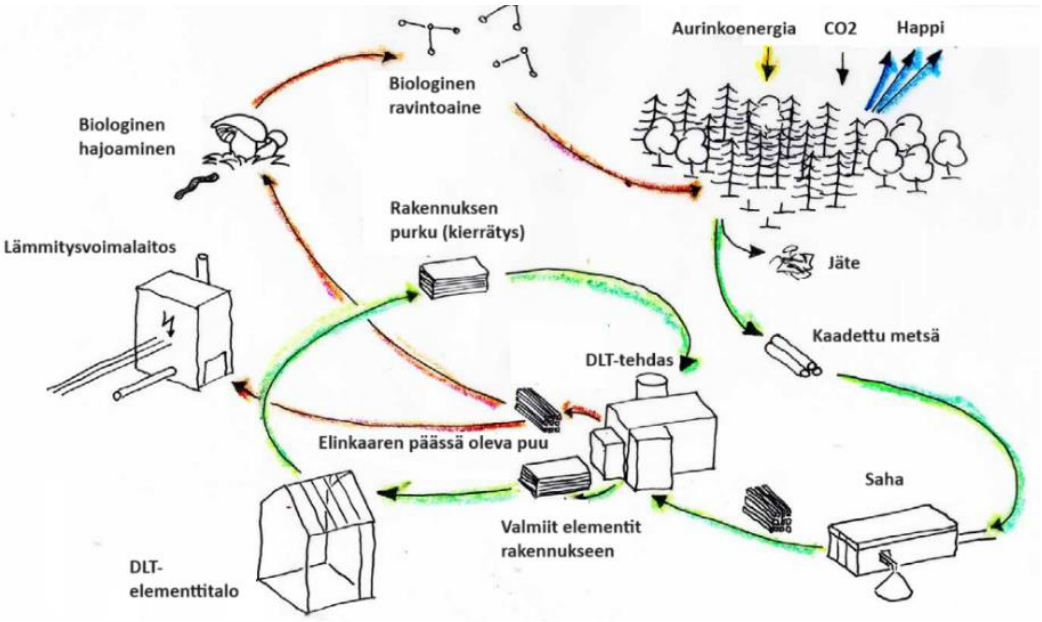
Sarakkeessa A1-A3 ilmoitettu arvo syntyy käytössä olevien materiaalien hankinnasta, valmistuksesta ja kuljetuksesta. D sarakkeessa oleva arvo syntyy, kun ajatellaan, että elinkaaren päässä oleva tuote poltetaan tuottaen lämpöenergiaa ja sähköä.

Taulukko 5. DLT:n elinkaariarviointi (Thoma, 2020, s.60)

Parameter	Unit	A1-A3	D
Global warming potential	kg CO_2-eq.	-1.35E+02	4.40E+01
Acidification potential of soil and water	kg SO_2-eq.	1.03E-01	-5.28E-02
Total non-renewable primary energy sources	MJ	2.70E+02	-1.39E+03

Suunnitteluoppaassa ei ole mainittu siitä, miksi esimerkiksi ilmaston lämpenemisen potentiaali on sarakkeessa negatiivinen. Se saattaa johtua esimerkiksi siitä, että siinä on otettu huomioon jo tuotteeseen varastoitunut hiilidioksidi.

Molemmat yrityksistä olivat kuitenkin sitä mieltä, että DLT tulee korvaamaan vastaavat massiivipuurakenteet. Luvussa 5.6 kerrottiin, että eräs yritys pyrkii korvaamaan liimapuun kokonaan liimattoman pilari-palkkijärjestelmän avulla. Sama yritys oli myös sitä mieltä, että DLT tulee olemaan tulevaisuudessa massiivipuurakenteiden suosituin vaihtoehto. Heidän mukaansa DLT voi korvata esimerkiksi CLT:n hybridirakentamisessa tulevaisuudessa, sillä esimerkiksi lattiarakenteessa DLT-rakenne on tehokkaampi sen korkeamman kimmokertoimen ansiosta. Kuvassa 25 on esitetty Thoman suunnitteluoppaassa esitetty DLT:n elinkaari, josta tekstit ovat käännetty suomen kielelle.



Kuva 25. DLT:n elinkaari (Thoma, 2020, s.61)

9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua DLT-tekniikan ominaisuuksiin, mahdollisuuksiin ja ottaa selvää rakenteen hinnasta muihin massiivipuurakenteisiin verrattuna. Kyseinen tuote on melko uusi, joten siitä ei ole saatavilla paljoa julkista tietoa. Työn nimi muodostui siitä, kun ennen työn aloittamista ei ollut tiedossa, että DLT-tuotetta voidaan käyttää hyväksi myös muualla kuin välipohjarakentamisessa. Kuitenkin työn aikana päätettiin yhdessä ohjaajien kanssa, että aihe kannattaa rajata välipohjaan, koska muuten työ olisi saattanut paisua liian laajaksi.

Selvitys aloitettiin siten, että tutustuttiin aluksi puurakentamiseen yleisesti. Etsittiin tietoja muista olemassa olevista massiivipuurakenteista eri kirjallisuuden lähteistä. Massiivipuurakenteita vertailtiin taulukon avulla, jossa esitettiin oleellisimpia teknisiä tietoja niiden välillä. Tutkimukseen saatiin paljon tietoa internetistä löytyvistä lähteistä, mutta DLT:n harvinaisuuden takia tutkimuksessa suoritettiin sähköpostihaastatteluja Eurooppaan suoraan DLT:n valmistajille. Eri valmistajilta saadut tiedot yhdistettiin, jotta saatiin mahdollisimman kattava tieto ja mahdolliset poikkeavuudet ilmi.

Tutkimuksessa kävi ilmi, että DLT on erittäin varteenotettava vaihtoehto puurakentamisessa. Sen eri ominaisuudet vahvistavat sen, että se ei ole ainakaan huonompi massiivipuurakenne muihin verrattuna. Päinvastoin DLT:n ehdoton etu on sen ympäristöystävällisyys. Rakentamiseen tulee koko ajan enemmän tiukentavia säädöksiä. DLT:n uskotaan monien lähteiden mukaan olevan tulevaisuuden rakennusmateriaali, kun vähähiilisen rakentamisen merkittävyyttä korostetaan.

DLT-tekniikkaa hyödynnetään todennäköisesti hybridirakentamisessa paljon tulevaisuudessa. Massiivipuurakenne ainoana rakennusmateriaalina on yleisesti ottaen huono, koska esimerkiksi ääneneristävyys puulla on heikko. DLT-elementti soveltuu hyvin asuinrakennuksessa käytettävään välipohjaan. DLT-elementissä itsessään on huono ääneneristävyys, mutta siihen saadaan

helposti tehtyä elementtitehtaalla esimerkiksi urituksia, jotka parantamat huomattavasti sen ääniteknisiä ominaisuuksia. Kun DLT-elementti asennetaan välipohjaksi, niin usein sen päälle valetaan vielä betoni- tai savikerros luvun 5.9 mukaan, jolloin sen ääneneristävyyttä saadaan parannettua paljon. DLT-elementillä voidaan välipohjassa toteuttaa 3,07–8,70 metrin jännevälejä riippuen siitä, kuinka suuri värähtely ja kuorma välipohjalle aiheutuu.

Rakentamisen joka osa-alue tulee jatkuvasti kehittymään tulevaisuudessa, joka tuo enemmän mahdollisuuksia rakentamiseen. DLT on vielä varsin tuntematon massiivipuurakenne, joten saattaa olla, että tulevaisuudessa keksitään esimerkiksi sen heikkoon ääneneristävyyteen ratkaisu. Myös DLT:n hinta tulee varmasti muuttumaan, kun DLT yleistyy ja kilpailua tulee enemmän valmistajien välille.

Tämä opinnäytetyö eteni kokonaisuudessaan hyvin. Opinnäytetyö on hyödynnettävissä laajasti sekä yleisesti ottaen että tilaajan näkökulmasta. Työstä löytyy vertailu eri massiivipuurakenteiden kesken sekä erityisesti tarkemmat tiedot DLT-puutuotteesta. Tilaaja pystyy hyödyntämään DLT:stä saatua aineistoa. Tilaajan pyynnöstä työstä laaditaan vielä tiivistetty tieto DLT-puutuotteesta ja se tullaan esittämään yrityksen omassa seminaarissa. Lisäksi tiivistettyä tietoa voidaan hyödyntää puurakentamisen koulutuksissa.

LÄHTEET

Acusta. (2023). Akustiikasta yleisesti. Haettu 27.11.2023 osoitteesta https://www.acusta.fi/akustiikka/

A-Insinöörit. (23.10.2019). Laske rakennushankkeesi hiilijalanjälki – nämä 5 asiaa kannustavat etsimään vähähiilisiä ratkaisuja rakentamisessa. https://www.ains.fi/asiantuntija-artikkelit/laske-rakennushankkeen-hiilijalan-jalki-5-ohjetta-paastojen-vahentamiseen

Braunschweiler, D. (13.12.2018). Dübelmasvhine für Brettstapel DLT machine dowel laminated timber [video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=YWVcql6uUi8

CLT Finland Oy. (22.09.2022). Talo pystyyn talvella? CLT:stä se sujuu. https://hoisko.fi/2022/09/22/talo-pystyyn-talvella-cltsta-se-sujuu/

CrossLam. (10.03.2015). Asuinrakennuksen lattian jänneväli. https://crosslam.fi/wp-content/uploads/2022/10/osa-3_asuinrakennuksen-lattian-janneväli.pdf

CrossLam. (n.d.). Crosslam CLT. Haettu 25.10.2023 osoitteesta https://crosslam.fi/crosslam-clt/

Designing Buildings. (11.04.2023). Dowel laminated timber DLT. https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Dowel_laminated_timber_DLT

Deutsches Institut für Bautechnik. (31.01.2017). European Technical Approval [ETA-11/0338]. https://www.dibt.de/pdf_storage/2011/ETA-11%210338%288.03.04-52%2110%29e.pdf

Essve. (2020). Massiivipuu, tulevaisuuden materiaali rakennusteollisuuteen. Haettu 24.10.2023 osoitteesta https://www.essve.com/fi/palvelut/fi_massiivipuu/

European Commission. (n.d.). European assessment documents and European technical assessments. Haettu 04.12.2023 osoitteesta https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/construction/construction-products-regulation-cpr/european-assessment-documents-and-european-technical-assessments_en

Fediuk, R., Amran, M., Vatin, N., Vasilev, Y., Lesovik, V & Ozbakkaloglu, T. (14.01.2021). Acoustic Properties of Innovativa Concretes: A Review. MDPI, 14(2), 5. https://www.mdpi.com/1996-1944/14/2/398

Fomex Group. (2021). What is LVL? How is it made? And the application of LVL. https://fomexgroup.vn/news-event/what-is-lvl-how-is-it-made-and-the-application-of-lvl.html

Google. (13.10.2023). [Otettu kuvakaappaus Google My Maps:sta Brettstapelin valmistajista ja käynnissä olevista DLT-projekteista]. https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?msa=0&ie=UTF8&t=h&z=5&source=embed&mid=1AUCTw2cKLaR8T0-XTYBWczMEODI&ll=52.211449159462035%2C5.169775499999987

Henderson, J., Foster, S. & Bridgestock, M. (2012a). What is Brettstapel? http://www.brettstapel.org/Brettstapel/What_is_it.html

Henderson, J., Foster, S. & Bridgestock, M. (2012b). Brettstapel Manufactures. http://www.brettstapel.org/Brettstapel/Manufacturers.html

Honka. (07.12.2012). Massiivipuulla erinomainen palonkestävyys. https://honka.com/en/blog/2012/12/07/massiivipuulla-erinomainen-palonkestavyys/

Kankaanpää, T. (2021). Tuotantohallin suunnittelu ja sen kustannuslaskenta [AMK-opinnäytetyö, Vaasan ammattikorkeakoulu]. Theseus. https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021061416009

Kappler, M. (01.11.2023). Yrityksen Rombach Holzbau:n vastaus sähköpostikyselyyn.

Kilpiäinen, M. & Sairanen, M. (30.05.2022). Puu parantaa sisäilmaa. Xamk Read, (2). https://read.xamk.fi/2022/metsa-ymparisto-ja-energia/puu-parantaa-sisailmaa/

Metsä Group. (n.d. a). Kerto LVL. Haettu 24.10.2023 osoitteesta https://www.metsagroup.com/fi/metsawood/tuotteet-ja-palvelut/tuotteet/kerto-lvl/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=KertoLVL&utm_term=lvl&gclid=CjwKCAjw1t2pBhAFEiwA_-ANBRALzV4idSGYjNTzjVlFlW1d5rF15COs8jY-bHhOig6HXB_4rCBEjhoC390QAvD_BwE

Metsä Group. (n.d. b) Kerto LVL S-beam. Haettu 24.10.2023 osoitteesta https://www.metsagroup.com/fi/metsawood/tuotteet-ja-palvelut/tuotteet/kerto-lvl/s-beam/

Moilanen, K. (27.02.2019). Massiivipuu ekologisesti kestävän rakentamisen mahdollistajana. http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201903011271.pdf

Myllärinen, T., Pahajoki, H., Peltonen, P. & Saarikko, J. (2017). Rakentamisen perusteet. Sanoma Pro.

Naturally Wood. (2023). What is DLT?. Haettu 06.11.2023 osoitteesta https://www.naturallywood.com/products/dowel-laminated-timber/

Nordtreat. (2023). 1. Puurakennusten palosuojaus. Haettu 06.11.2023 osoitteesta https://www.nordtreat.com/fi/resurssit/puun-palosuojaus

Paroc Oy & Inlook. (n.d.) Parafon® Buller Solid. Haettu 16.11.2023 osoitteesta https://www.inlook.fi/files/692/Parafon_Buller_Solid.pdf

Puuinfo Oy. (2019). Korkeat rakennukset, Massiivipuu, Hiilijalanjälki. Puu, 39(3), 71. https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/PUU_3_koko-naan_low.pdf

Puuinfo Oy. (23.04.2020a). Puun käyttö rakentamisessa. https://puu-info.fi/puutieto/kayttokohteet/

Puuinfo Oy. (23.04.2020b). Puun ominaisuudet. https://puuinfo.fi/puu-tieto/puun-ominaisuuksia/

Puuinfo Oy. (23.06.2020c). Liittimillä kootut massiivipuulevyt (NLT, MHM, DLT). https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/olet-taalla-liittimilla-kootut-massiivipuulevyt-nlt-mhm-dlt/

Puuinfo Oy. (23.06.2020d). Liimapuu. https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituot-teet/liimapuu-glt/

Puuinfo Oy. (23.06.2020e). Viilupuu (LVL). https://puuinfo.fi/puutieto/insinoo-rituotteet/viilupuu-lvl/

Puuinfo Oy. (10.07.2020f). Jännevälit. https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivi-puulevyrakenteet/jannevalit/

Puuinfo Oy. (2021). Paloturvallinen puutalo (toinen painos). Puuinfo Oy. https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_netti_kokonainen.pdf

Puuinfo Oy. (12.10.2023). Hamk Techille ennnätysrahoitus – tutkmusaiheena suosiotaan lisäävä hybridirakentaminen. https://puuinfo.fi/2023/10/12/hamk-techille-ennatysrahoitus-tutkimusaiheena-suosiotaan-lisaava-hybridirakenta-minen/

Puuinfo Oy. (20.11.2006). Puurakentaminen. https://rakentaja.fi/artikkelit/puu-rakentaminen/

RakentajaPRO. (15.11.2022). Savi voi olla ratkaisu homeongelmaan – eks-pertti ihmettelee, miksei sitä hyödynnetä. https://rakentaja.pro/artikkelit/savi-voi-olla-ratkaisu-homeongelmaan-ekspertti-ihmettelee-miksei-sit%C3%A4-hy%C3%B6dynnet%C3%A4/

Rombach Bauholz. (2015). Planning brochure. Abbund GmbH.

Saranpää, P. (1997). Puun rakenne, ominaisuudet ja kasvu. Metsätieteen ai-kakauskirja, (1). 86. https://jukuri.luke.fi/bitstream/han-dle/10024/532384/6360.pdf?sequence=1

SFS-EN 1995-1-2 + AC. (2004). Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1–2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus. Suomen Standardisoimisliitto. https://online.sfs.fi

SFS-EN 14080. (18.11.2013). Puurakenteet. Liimapuu ja liimattu sahatavara. Vaatimukset. Suomen standardisoimisliitto. https://online.sfs.fi

Siikanen, U. (2017) Puurakentaminen (2., uudistettu painos). Rakennustieto.

Siparila Oy. (n.d.). Puurakentaminen on tulevaisuuden rakentamisen tärkeimpiä teemoja. Haettu 23.10.2023 osoitteesta https://www.siparila.com/puurakentaminen-on-tulevaisuuden-rakentamisen-tarkeimpia-teemoja/

Stora Enso. (06.04.2020). Suoritustasoilmoitus. https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/certificates/wood-products-approvals-and-certificates/dop/gruvoen/dop_clt/suoritustasoilmoitus-clt-2020-gruvn---fi.pdf

Stora Enso. (n.d.a). Ligniini – luonnon oma sideaine, jolla voidaan korvata fossiilisia materiaaleja. Haettu 24.10.2023 osoitteesta https://www.storaenso.com/fi-fi/products/lignin

Stora Enso. (n.d.b). LVL by Stora Enso, X-laatu. Haettu 07.12.2023 osoitteesta https://puumerkki.fi/files/4992/LVL_A4_factsheet_X_Grade_FI_Puumerkki_02162017.pdf

StructureCraft. (n.d.a). DLT-design and profile quide v4.1. Haettu 10.10.2023 osoitteesta https://structurecraft.com/blog/dlt-design-quide

StructureCraft. (n.d.b). Engineering Positions. Haettu 14.11.2023 osoitteesta https://structurecraft.com/hiring

Suliman, Y. (2022). Mekaanisilla liittimillä kootut massiivipuulevyt [AMK-opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu]. Theseus. https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2022051910580

Suomen Liimapuuyhdistys ry & Puuinfo Oy. (2014). Liimapuukäsikirja, Osa 1. https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Liimapuuk%C3%A4sikirja-Osa-1.pdf

Suttner Massivholzbau. (n.d.). Dübelholz. Suttner GmbH & Co. KG.

Suttner, D. (30.10.2023). Yrityksen Suttner Massivholzbau:n vastaus sähköpostikyselyyn.

Surveymonkey. (2023). Määrällisen ja laadullisen tutkimuksen ero. Haettu 17.10.2023 osoitteesta https://fi.surveymonkey.com/mp/quantitative-vs-qualitative-research/

Sweco. (2023). Sweco:n kotisivut. Haettu 17.10.2023 osoitteesta https://www.sweco.fi/

Tampereen yliopisto. (2020). Kiertotalous – uusia mahdollisuuksia puurakennusteollisuudelle. https://www.novia.fi/cewood/images/ce-wood-uutiskirje-6-2020-rakennusmateriaalien-hiilijalanjaljen-vertailua.pdf

Think Wood. (2023). Nail Laminated Timber (NLT) Design + Construction. https://www.thinkwood.com/mass-timber/nail-laminated-timber-nlt

Think Wood. (n.d.) Design and Construction of Taller Wood Buildnings. Haettu 06.11.2023 osoitteesta https://www.thinkwood.com/continuing-education/design-and-construction-of-taller-wood-buildings

Thoma. (2020). Planning Guide (toinen painos). Thoma Holz GmbH. https://www.thoma.at/en/broschueren/thoma-planning-guide/

Tukes. (n.d.). CE-merkintä. Haettu 04.12.2023 osoitteesta https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta#d884d794

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. (12.03.2002). Haettu 04.12.2023 osoitteesta https://finlex.fi/data/normit/10530-37-3762-4.pdf

Ympäristöministeriö. (n.d.). Puurakentamisen ohjelma. Haettu 23.10.2023 osoitteesta https://ym.fi/puurakentaminen

LIITE 1: DLT:N VALMISTAJILLE ESITETYT KYSYMYKSET

1. Can you send me your Dowel Laminated Timber design quide?

2. Which sections of the Eurocode are referred to in the design of Dowel Laminated Timber?

3. Who does product-specific design in projects?

4. How big is carbon footprint caused by manufacturing in Dowel Laminated Timber?

5. How much Dowel Laminated Timber cost compared to others solid wood construction?

6. What is the probability that Dowel Laminated Timber replace other solid wood constructions in the future?

7. Whether Dowel Laminated Timber technique can be used in hybrid construction? How?

8. How Dowel Laminated Timber suitable for intermediate floor in residential construction?

9. How densely do you have to put dowels? What factors determine it?

LIITE 2: DLT-ELEMENTIN KOOTUT TEKNISET TIEDOT

		Vastanneet valmistajat							
	Yksikkö	Gaia Group	Architype	Suttner Massivholzbau	Rombach Holzbau	Thoma	Structure Craft		Lisätietoa
Maksimimitat									
Pituus	[m]	-	-	max. 12,5	max. 8,6	max. 8,5	max. 18,4		
Leveys	[mm]	-	-	max. 600, min 300	max. 290	max. 3100	max. 3650		
Paksuus	[mm]	-	-	60-240	125-350	max. 364	10-305		
Puun kosteus	[%]	-	-	12-15* (± 1)	12 (± 1)	12 (± 2)	15-19 (valmistushetki)	* = riippuen lamellin paksuudesta	
Lämmönjohtavuus	[(W/(m*K)]	-	-	-	0,087	0,079 - 0,12	-		
Lämpökapasiteetti	[kJ/(kg*K)]	-	-	-	-	1,6	1,6		
U-arvo		-	-	-	0,18	0,16 - 0,19	-		
Palokäyttäytyminen		-	-	D-s2 d0 *	D-s2 d0 *	D-s2 d0 *	-	* = D_{floor} = d-s1	
Palonopeus	[mm/min]	-	-	0,65 - 0,7 *	0,65 - 0,7 *	0,7*		* = EN 1995-1-2	
Diffuusiovastus	[µ]	-	-	-	20-50	37	-		
Ilmanläpäisevyys	[Luokka]	-	-	-	Ei määritelty	4	-		