



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Toni Turja

CLT-rakenteet tietomallinnuksesta koneistukseen

Opinnäytetyö

Kevät 2024

Insinööri (ylempi AMK), Rakentaminen



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (ylempi AMK), Rakentaminen

Suuntautumisvaihtoehto: Rakennesuunnittelu

Tekijä: Toni Turja

Työn nimi: CLT-rakenteet tietomallinnuksesta koneistukseen

Ohjaaja: Petri Koistinen

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 49

Liitteiden lukumäärä: 3

Opinnäytetyössä tutkittiin CLT-rakenteiden toteutusta tietomallinnuksesta CNC-koneistukseen. Työssä perehdyttiin kotimaisten elementtitoimittajien nykyisiin toimintatapoihin, CAM-ohjelmointiin sekä Tekla Structures -ohjelmiston käyttöön CNC-työstö huomioiden.

Työn tavoitteena oli selvittää puurakenteiden tietomallintamisen toimintatavat kotimaisten CLT-valmistajien osalta. Koska nykyiset ohjeistukset ovat kirjavia ja monitulkintaisia, tutkittiin, miten laajemmissa hankkeissa käytäntöjä voitaisiin yhdistää eri insinööritoimistojen välillä.

Teoriaosuudessa käydään läpi CLT-rakenteiden valmistusta, tietomallinnuksen periaatteita, työtapoja sekä erityispiirteitä. CAD/CAM-ohjelmiston ja Tekla Structures -ohjelmiston yhteensopivuuden testaamiseen käytettiin Mastercam-ohjelmistoa.

Tutkimuksessa selvitettiin kyselyllä kotimaisten CLT-valmistajien nykytilaa, haasteita ja toiveita tulevaisuuden toimintatavoista. Kyselyn ja teoretiedon perusteella laadittiin suunnitelmapaketti, jonka yhteensopivuutta testattiin yhteistyössä kotimaisten elementtitoimittajien kanssa.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin selville CLT-rakenteiden suunnitteluun ja CNC-työstöön liittyviä haasteita sekä elementtitehtaiden toivomia toimintatapoja tulevaisuudessa. Tuloksien perusteella voidaan laatia CLT-rakenteiden tietomallinnusohje sekä piirustusohjeet Tekla Structures -ohjelmistoon.

¹ Asiasanat: puurakenteet, ohjelmointi, koneistus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Master of Engineering, Construction Engineering

Specialisation: Structural Design

Author: Toni Turja

Title of thesis: CLT-Structures from BIM to machining

Supervisor: Petri Koistinen

Year: 2024

Number of pages: 49

Number of appendices: 3

This thesis examined the implementation of CLT structures from BIM to CNC machining. The work focused on the current operating methods of Finnish element suppliers, CAM-programming and the use of Tekla Structures, taking CNC-machining into account.

The aim of the work was to determine the operating methods of data modelling of wood structures for domestic CLT-manufacturers. As the current guidelines were varied and ambiguous, research was conducted on how practices could be combined in larger projects between different engineering firms.

The theory section covers the manufacturing of CLT-structures, the principles of BIM, working methods and special features. Mastercam software was used to test the compatibility between CAD/CAM-software and Tekla Structures.

The survey examined the current state, challenges and hopes of Finnish CLT manufacturers for future operating practices. Based on surveys and theoretical knowledge, a plan package was prepared, the compatibility of which was tested in cooperation with Finnish CLT-element suppliers.

As a result of the thesis, challenges related to the design of CLT structures and CNC machining were discovered, as well as the desired operating methods of the prefabricated factories in the future. Based on the results, a data modeling guide for CLT-structures can be prepared, as well as drawing templates for the Tekla Structures -program.

¹ Keywords: machining, programming, wooden structures

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuvioluettelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO	9
2 MASSIIVIPUUELEMENTTIEN VALMISTUS JA TIETOMALLINNUS.....	11
2.1 Tietomallinnus	16
2.1.1 Puurakenteiden tietomallinnus	17
2.1.2 CLT-rakenteiden tietomallinnus Tekla Structures -ohjelmistolla.....	19
2.2 CLT-elementtien koneistus.....	20
2.2.1 Mitat	22
2.2.2 Pintaluokat	22
2.2.3 Talotekniikkavaraukset ja reititykset.....	22
2.3 Betonirakenteiden tietomallintamisen toimintatavat.....	23
2.4 Puurakenteiden tietomallintamisen toimintatavat	24
3 KOTIMAISTEN CLT-ELEMENTTITEHTAIDEN TUTKIMINEN.....	26
3.1 Tutkimusmenetelmä	26
3.2 Tutkimuksen toteutus ja luotettavuus	27
3.3 Tutkimustulokset	28
3.3.1 CLT-rakenteiden valmistuksen ja suunnittelun toimintatavat	28
3.3.2 CLT-rakenteiden valmistuksen ja suunnittelun haasteet.....	29
3.3.3 CLT-rakenteiden valmistus ja suunnittelu tulevaisuudessa.....	30
4 CLT-RAKENTEIDEN TIETOMALLINNUS TEKLA STRUCTURES - OHJELMISTOLLA CNC-KONEISTUSTA VARTEN	31
4.1 Mallisuunnitelma.....	31
4.2 Mallisuunnitelmasisällön läpikäynti tehtaiden kanssa	36
4.3 Eri asetuksilla tulostettujen tiedostomuotojen testaus	38
4.4 Lopullinen suunnitelmatarve.....	43
5 YHTEENVETO JA POHDINTA.....	44

LÄHTEET	46
LIITTEET	49

Kuvioluettelo

Kuvio 1. CLT-valmistajien maantieteellinen jakautuminen vuoden 2023 alussa.....	11
Kuvio 2. Ristiinliimatun CLT-levyn rakenne	12
Kuvio 3. CLT-levyn valmistusvaiheet	13
Kuvio 4. Ristiinliimatun puun pintalamellien suunnat eri rakenneosissa	14
Kuvio 5. CLT-levyn kantosuunnan vaikutus taivutusjännitykseen suunnissa 0° ja 90°	15
Kuvio 6. Kokoonpanojen tunnukset	18
Kuvio 7. Komponenttien tunnukset	18
Kuvio 8. Puutuotelevyn kantosuunta lyhyen sivun mukaan.	19
Kuvio 9. Mastercam-ohjelmiston (opiskelijaversio) näkymä, työstöratujen CAM-ohjelmointia varten.....	21
Kuvio 10. Elementtien asettelu raakalevyille, harmaa alue raakalevyä.	21
Kuvio 11. Sähkövarauksien reititys hyödyntäen ovi- ja ikkuna-aukkoja.	23
Kuvio 12. Elementtipiirustuksen esitystapaesimerkki.....	25
Kuvio 13. Mikä seuraavista toimintatavoista olisi tulevaisuudessa tehokkain ja toimivin suuremmissa hankkeissa?.....	30
Kuvio 14. Tekla Structures -ohjelmistolla laadittu mallielementti.....	32
Kuvio 15. Tekla Structures -ohjelmiston IFC:n tulostusikkunan näkymä.....	34
Kuvio 16. Multi Converter -lisäosan tulostusikkunan näkymä.	35
Kuvio 17. Tekla Structures, BTL Export (ML019), tulostusasetuksien määrittäminen (Construsoft).....	36

Kuvio 18. Rasiatyöstöjen näkymä Steel Fabrication -asetuksilla tulostetusta IFC:stä, pinnat pyöreitä	39
Kuvio 19. BTL-viewer -ohjelmiston näkymä IFC4-tiedostosta konvertoidulla BTL-tiedostolla.....	40
Kuvio 20. Ohjelmoitu työstö sirkkelillä.....	41
Kuvio 21. Tekla Structures -ohjelmiston lisäosalla BTL Export (ML019) -tuotettu BTL-tiedosto, avattuna BTL-Viewer ohjelmistolla	42
Kuvio 22. Kadonnut varaus STP-tiedostossa Mastercam-ohjelmistolla avattuna.	43

Käytetyt termit ja lyhenteet

ACN	Tekla Structures -mallissa objekteille ja kokoonpanoille tallennettava kokonaislukutieto, jota käytetään betonielementtien yksilöintiin (Betoniteollisuus, 2016, s. 7).
CAD	Computer-aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu (Heinonen & Kalliolahti, 2020, s. 136).
CAM	Computer-aided manufacturing, tietokoneavusteinen valmistus. (Heinonen & Kalliolahti, 2020, s. 136).
CLT	Cross Laminated Timber, monikerroslevy, joka koostuu useista ristiliimatuista lautakerroksista (Puuinfo, 2023).
CNC	Computer numerical control, tietokoneella ohjattu (Heinonen & Kalliolahti, 2020, s. 86).
IFC	Kansainvälinen tuotestandardi tuotetietojen siirtoon rakennusten mallinnuksessa (Betoniteollisuus, 2016, s. 7).
LVISA	Lämpö, vesi, ilma, sähkö ja automaatio.
UDA	Mallin objekteille tallennettavaa liitännäistietoa Trimble Solutions Oy:n Tekla Structures -ohjelmistossa (Betoniteollisuus, 2016, s. 7).

1 JOHDANTO

Julkisessa rakentamisessa on ryhdytty käyttämään paljon cross laminated timber -rakenteita (CLT) eli massiivipuulevyjä. CLT-rakenteet koostuvat ristiinliimatuista lautakerroksista, ja se on ominaisuuksin nähden kevyt rakennuslevy (Puuinfo, 2023).

Vuosien 2023–2027 hallituskauden tavoitteissa mainitaan muun muassa, että teollisesti esivalmistettujen puuelementtien osuus lisääntyy laajarunkoisissa rakennuksissa (Mikkola, 2023). Teollinen puurakentaminen pienentää rakentamisen aiheuttamaa hiilipiikkiä ja kasvat-
taa rakennusten hiilivarastoa. Rakennussektori on suurimpia päästöjen aiheuttajia, joten puu-
rakentaminen tarjoaa keinon vähentää päästöjä. Teollista puurakentamista voidaankin pitää
keskeisenä keinona koko rakennusalan tuottavuuden edistämiseen.

Puurakentamisesta on tullut kustannuskilpailukykyisempää, kun markkinoille on tullut uusia
järjestelmätoimittajia ja yleinen osaaminen sekä puurakennusjärjestelmät ovat kehittyneet
merkittävästi (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022, s. 23). Puurakentamisella kasvatetaan raken-
nuskannan hiilivarastoa sekä edistetään ilmastotavoitteiden saavuttamista. CLT-rakenteiden
käyttöä perustellaan usein pienemmällä hiilijalanjäljellä, kun verrataan betonirakenteisiin. Il-
mastolain mukaan Suomi tavoittelee 80 prosentin vähennystä kasvihuonepäästöihin, kun ver-
rataan 1990 vuoden vertailutasoon (Ilmastolaki 609/2015, 6 §). Ympäristöministeriön Raken-
nuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä -julkaisun (2019, s.14) mukaan kaikkien raken-
nusmateriaalien kohdalla on huomioitava rakennustuotteen koko elinkaari. Rakennustuotteen
elinkaari lähtee rakennustuotteen valmistuksesta, päättyy purkuun ja kierrätykseen. Siinä on
huomioitava myös kuljetus, työmaa sekä rakennuksen käyttö ja huolto (mt.). Kun huomioita-
vaksi tulee myös kuljetukseen käytetty energia, voi olla perusteltua käyttää kotimaista CLT-
elementtivalmistajaa.

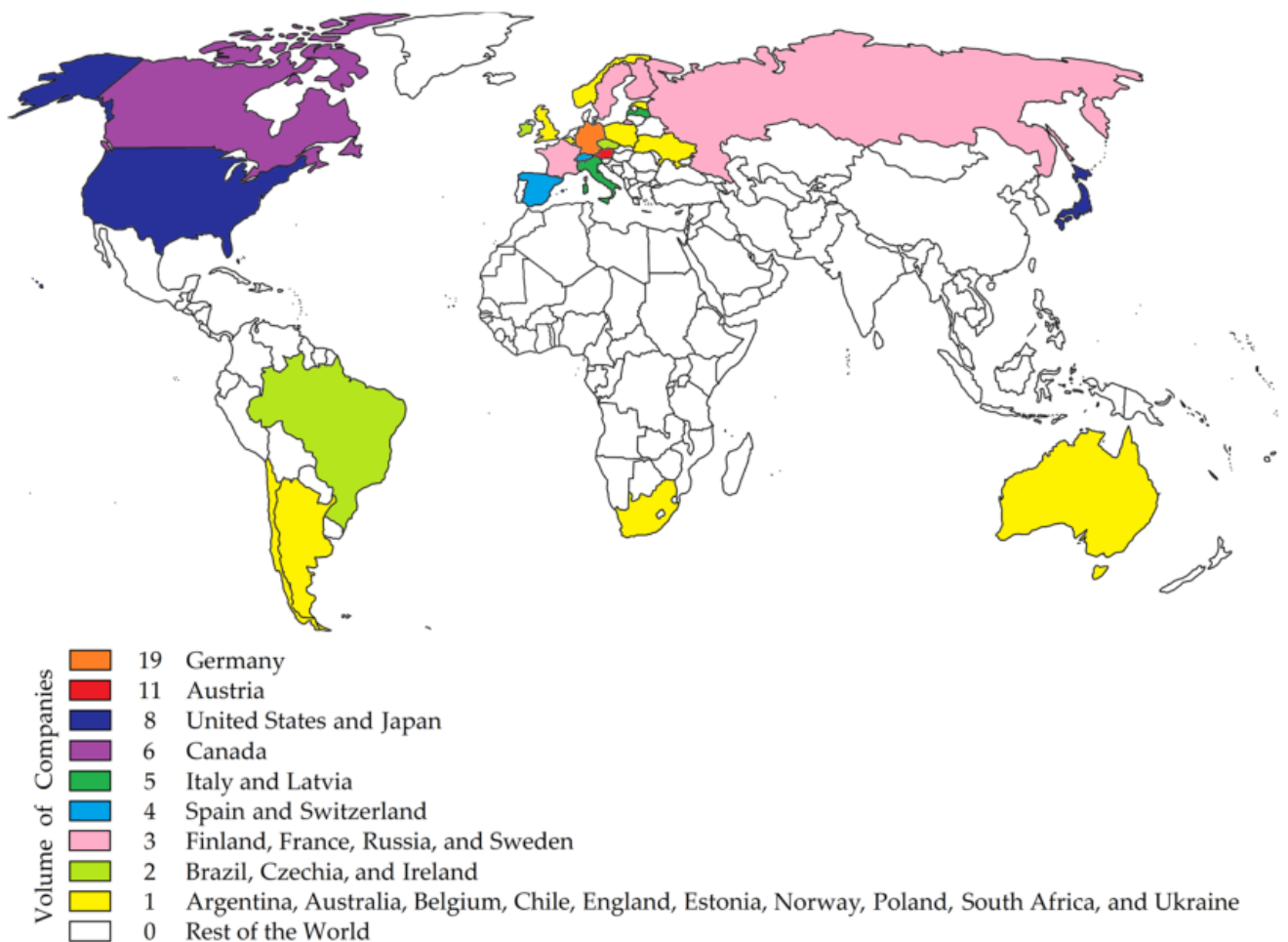
CLT-rakenteiden tietomallinnusta tehdään nykyisellään useilla eri ohjelmilla, ja vakiintunutta
käytäntöä ei ole vielä syntynyt eri elementtitoimittajien ja insinööritoimistojen välille. Useilla
insinööritoimistoilla on ennestään käytössä betoni- ja teräsrakenteiden tietomallinnukseen
Trimble Tekla Structures -ohjelmisto. Saman ohjelmiston hyödyntäminen eri materiaalien vä-
lillä tehostaa suunnittelua ja rakenteiden yhteensovitus tulee helpommaksi. Kun ajankäyttöä
saadaan vähennettyä tietomallintamalla rakenteet vain yhdessä ohjelmassa, saadaan pie-
nennettyä suunnittelukustannuksia. Käytön lisääntyessä yhtenäisten toimintatapojen selvittä-
minen auttaakin hankkeen kaikkia osapuolia.

Työn tavoitteena on selvittää puurakenteiden tietomallintamisen toimintatavat mallinnuksesta työstöön teorian tiedon sekä kyselyn perusteella. Työssä tutkitaan, mikä betoni- ja terästeollisuudesta tuttu tietomallintamisen ja piirustusten laadinnan toimintatapa soveltuisi parhaiten puurakentamiseen CLT-rakenteiden osalta. Lisäksi tutkitaan, miten Tekla Structures -ohjelmistolla saadaan tehtyä työstökoneen ohjelmointia tehostava, CAM-ohjelmointiin parhaiten sopiva tiedostomuoto ja missä laajuudessa suunnitelmat tulisi tehdä.

Työn teoreettinen viitekehys muodostuu CLT-rakenteiden valmistuksesta, tietomallintamisen periaatteista, työtavoista sekä erityispiirteistä. Tutkimusosassa selvitetään kyselyn avulla yleiset suunnittelukäytännöt sekä toivotut toimintatavat. Kehittämistyössä testataan kotimaisten CLT-valmistajien kanssa kyselyn sekä teorian tiedon perusteella laadittu mallipiirustussarja tarvittavine tiedostoineen. Eri tiedostoja testataan elementtitoimittajien ohjelmissa ja parhaiten toimivat tiedostot konvertoidaan CAM-ohjelmistoon sopivaan muotoon. Lopuksi CNC-koneen työstöjä kokeillaan simuloida CAM-ohjelmistolla.

2 MASSIIVIPUUELEMENTTIEN VALMISTUS JA TIETOMALLINNUS

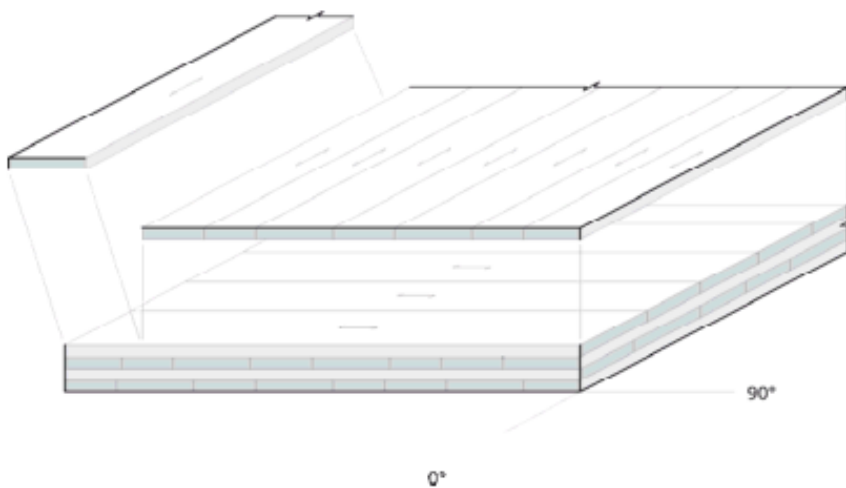
CLT-elementtien valmistuksen maailmanlaajuinen tuotantokapasiteetti on ollut noin kolme miljoonaa kuutiometriä vuonna 2020. CLT-tehtaiden suurin keskittymä painottuu Keski-Eurooppaan. Suomessa CLT-levyä valmistavat CLT Finland Oy (Hoisko CLT) ja Oy Crosslam Kuhmo Ltd. Kuviossa 1 on esitetty tehtaiden maantieteellinen jakauma (Araujo & Christoforo, 2023, s.11).



Kuvio 1. CLT-valmistajien maantieteellinen jakautuminen vuoden 2023 alussa (Araujo & Christoforo, 2023, s.11).

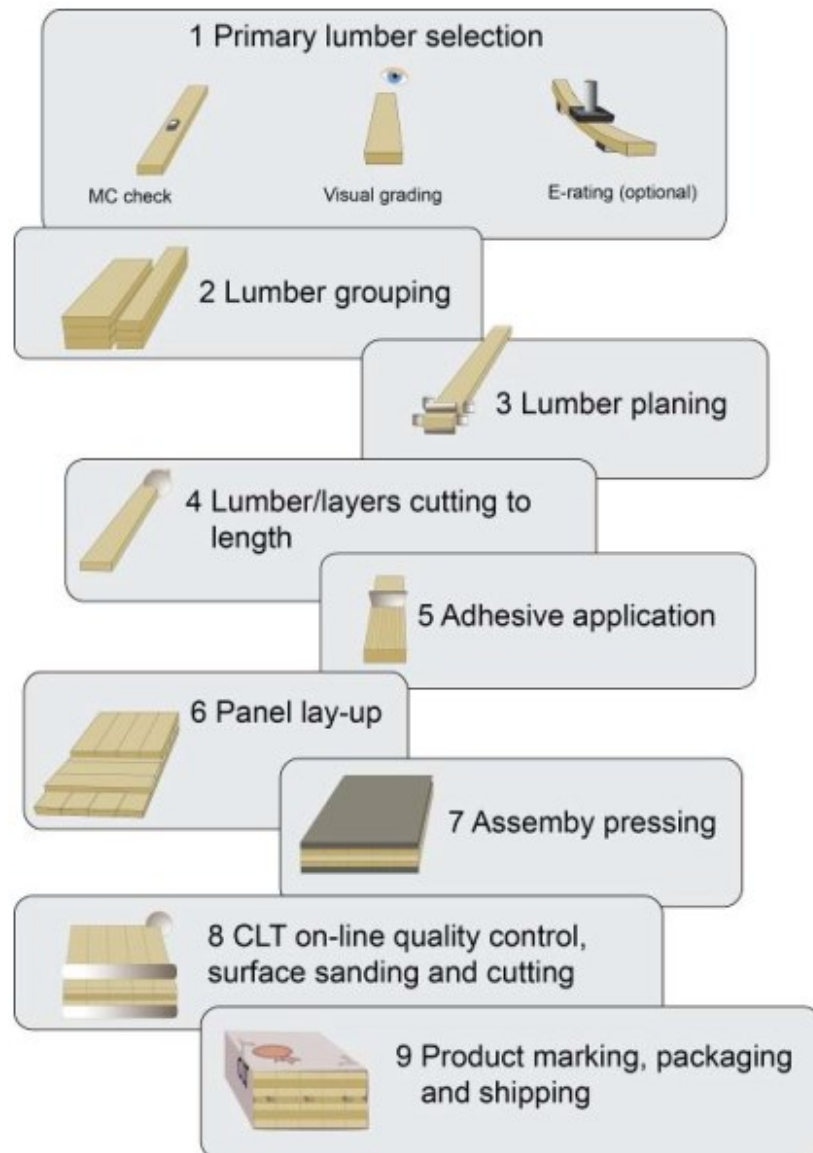
CLT-levyille on useita eri valmistustekniikoita (Puuinfo, 2023). Uusin tapa on tehdä liimaus prässien avulla puristamalla. Keski-Euroopassa käytetty yleinen tapa on vakuumiliimaus, jossa tyhjiön aiheuttaman paineen avulla liimataan laudat toisiinsa. Liimaus voidaan tehdä joko syrjäliimattuna tai liimaus voidaan vaihtoehtoisesti jättää pois. Liimaustapa vaikuttaa levyn ominaisuuksiin, kuten ilmatiiveyteen ja kuivumisen aiheuttamaan halkeiluun. Levyt työstetään haluttuun muotoonsa CNC-jyrsimellä, jyrsimen avulla työstetään aukot ja muut

varaukset. Työstön mittatarkkuus on +/- 1 mm. CLT-levyjen harmonisoidun tuotestandardin puuttuessa vielä toistaiseksi, levyt voidaan CE-merkitä eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaan. Rakennuslevyjä suunniteltaessa ja mitoitettaessa on huomioitava, että CLT-levyjen tekniset ominaisuudet ovat valmistajakohtaisia. CLT-levy on liimattu kasaan vähintään kolmesta eri kerroksesta, ja lamellit on aseteltu ristiin 90° kulmassa kuvion 2 periaatteella (Wallner-Novak ym., 2014, s. 8).



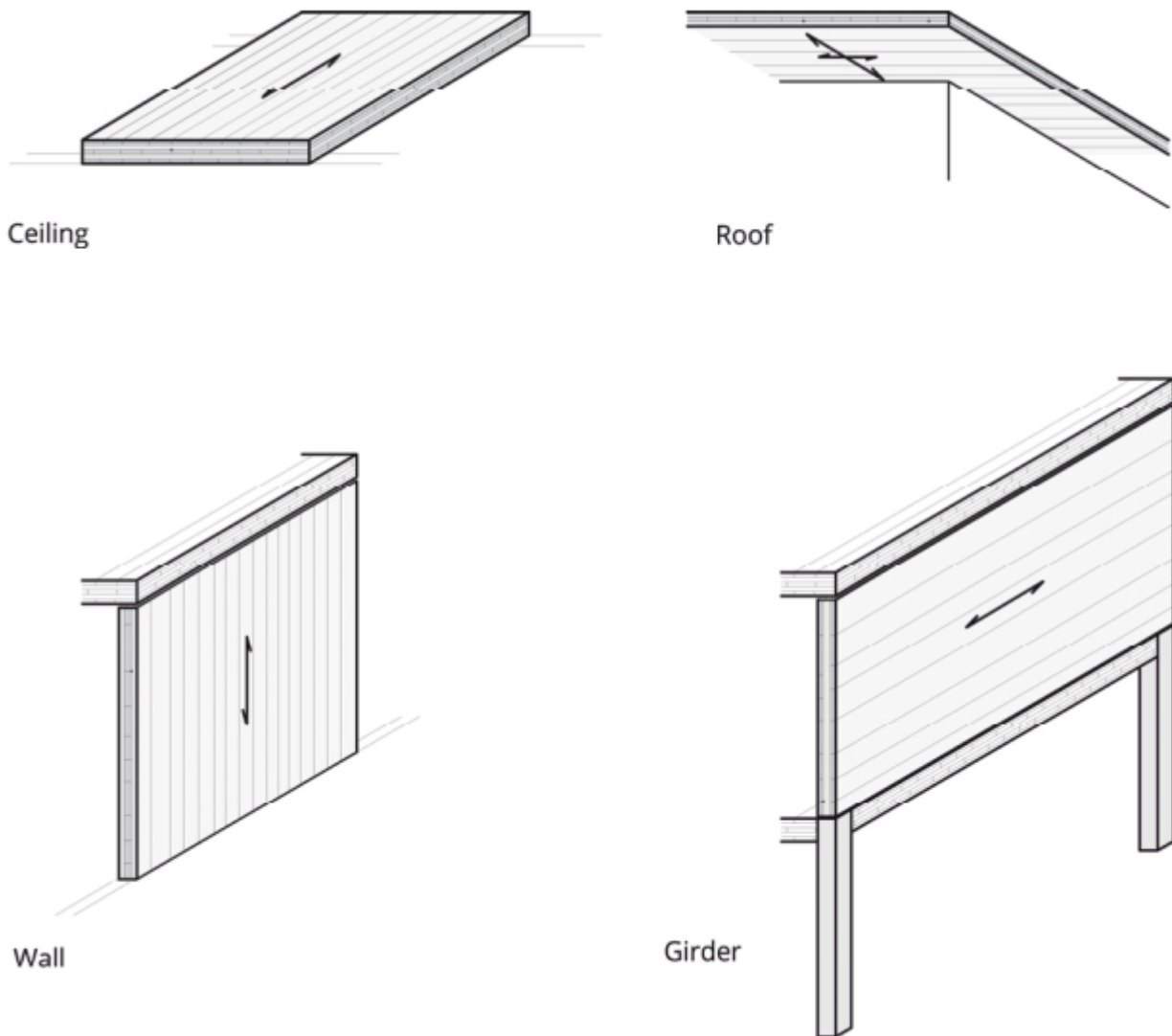
Kuvio 2. Ristiinliimatun CLT-levyn rakenne (Wallner-Novak ym., 2014, s. 8).

Kuviossa 3 on esitetty CLT-levyn valmistuksen vaiheet, puiden lajittelusta valmiiksi tuotteeksi (Grandmont ym., 2019, s. 26).



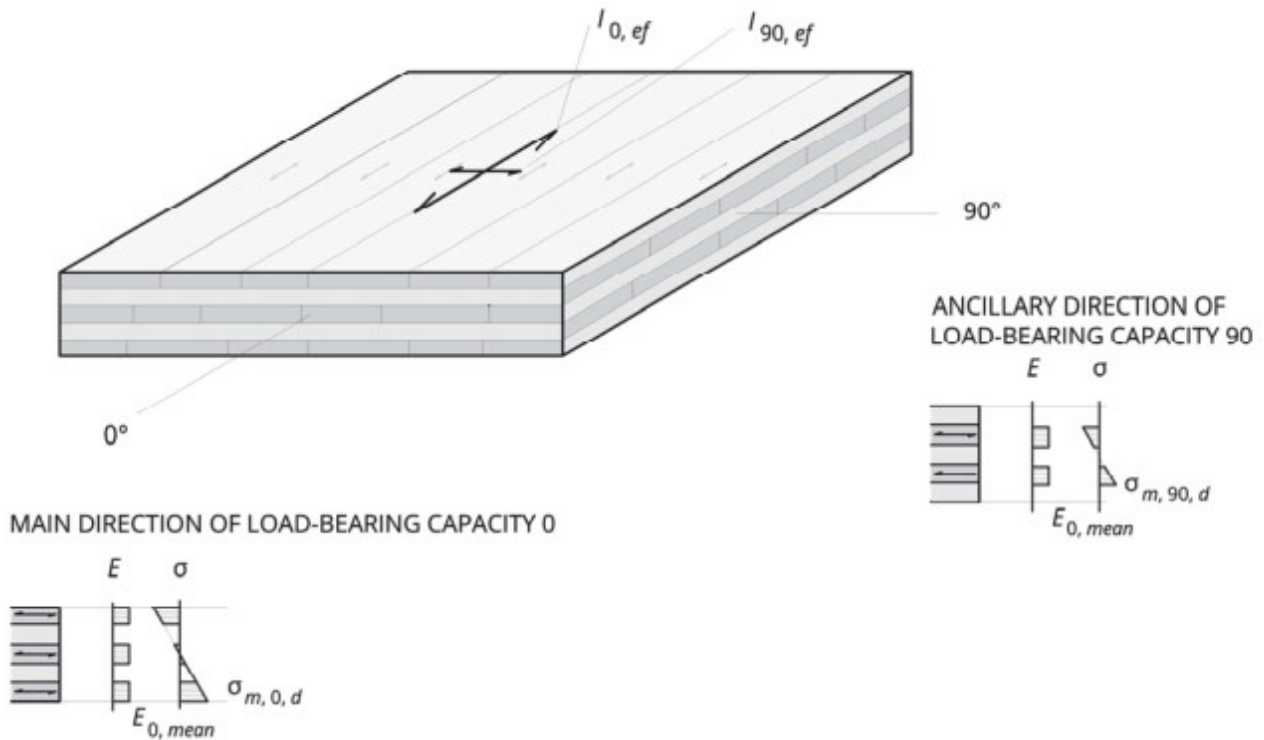
Kuvio 3. CLT-levyn valmistusvaiheet (Grandmont ym., 2019, s. 26)

Pintalamellien on oltava seinässä pystysuuntaisia, mutta vaakarakenteissa ne ovat yleensä jännevälän suuntaisia. Levy voidaan mitoittaa myös ristiin kantavana rakenteena. Kuviossa 4 on esitetty pintalamellien suunnat eri rakenneosissa (Wallner-Novak ym., 2014, s. 11).



Kuvio 4. Ristiinliimatun puun pintalamellien suunnat eri rakenneosissa (Wallner-Novak ym., 2014, s. 11)

Kuviossa 5 on esitetty CLT-levyn teholliset suunnat ja levyyn muodostuvat taivutusjännitykset suunnissa 0° ja 90° (Wallner-Novak ym., 2014, s. 12). Huomataan siis, että levyn pintalamellien suunnalla on merkittävä vaikutus taivutusjännitykseen ja sitä kautta rakenteen kestävyteen, mikä tulee huomioida levyjen mitoituksessa.



Kuvio 5. CLT-levyn kantosuunnan vaikutus taivutusjännitykseen suunnissa 0° ja 90° (Wallner-Novak ym., 2014, s. 12).

Riippuen rakennuksen paloluokasta CLT-rakenteiden suunnittelussa on huomioitava, että massiivipuun pintaa ei välttämättä voida jättää sisäpuolelta kokonaan näkyviin. Esimerkiksi P2-paloluokan yli 2-kerroksisen rakennuksen sisäpuoliset pinnat on suojaverhoitava K₂ 30-luokan suojaverhouksella, mikä on toteutettu A2-s1, d0-luokan tarvikkeista (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen paloturvallisuudesta 848/2017,24 §). Suojaverhousta ei kuitenkaan edellytetä, jos paljaaksi jäävien seinien yhteenlaskettu pinta-ala on pienempi kuin 20 prosenttia verrattuna palo-osaston kantavien-, osastoivien- ja ulkoseinien ja katon kokonaispinta-alaan. Palonkestävyysaikaa pidentämällä voidaan kasvattaa näkyviin jäävää pinta-ala.

Puukerrokset parantavat rakennuksen lämmöneristävyyttä, ja levy toimii rakenteen höyrynsulkuna (Crosslam CLT, i.a.-a). Ulkoseinät eristetään massiivipuun ulkopuolelta suosituksen mukaisesti, koska se parantaa rakennusosan lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa, ja lisäksi eristettä voidaan hyödyntää paloteknisessä suunnittelussa (Puuinfo, 2020a). Ulkoverhouksen taustalle tehdään yhtenäinen tuuletusväli.

2.1 Tietomallinnus

Eduskunta on 1.3.2023 hyväksynyt uuden rakentamislain, joka tulee voimaan 1.1.2025 (Ympäristöministeriö (YM), i.a.). Lain on tarkoitus olla rakentamisen päästöjä pienentävä ja rakennetun ympäristön digiuudistusta edistävä. Tulevan lain mukaan rakennussuunnitteljan ja erityissuunnittelijoiden on toimitettava suunnitelmat rakennusvalvontaviranomaisille tietomallimuotoisina tai muutoin koneluettavassa muodossa (Rakentamislaki 751/2023 60 §). Korjaus- ja muutostöissä suunnitelmat toimitetaan vain niitä koskevilta osin.

Tietomallinnuksen päätavoitteena on saada suunnittelusta ja rakentamisesta laadukkaampaa sekä tehokkaampaa (BuildingSMART Finland, 2012-a, s.5). Tietomallia hyödynnetään rakennuksen koko elinkaaren ajan. Tietomallinnukselle asetetaan tavoitteet ja painopisteet hankekohtaisesti. Tietomallivaatimukset 2012 -julkaisusarja kattaa uudis- ja korjausrakennuskohteet, ja siellä esitetään mallinnuksen vähimmäistaso, tietosisältö, sekä vaatimukset suunnittelualoittain. Tietomallintamisen eri vaiheita ovat ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu, toteutus-suunnittelu, hankintoja palveleva suunnittelu, toteutus ja vastaanotto (BuildingSMART Finland, 2012-a, s.13). Kussakin eri vaiheessa on määritelty vaiheeseen kuuluvat tehtävät ja tietomallinnuksen taso suunnittelualoittain.

Tietomallinnusta voidaan tehdä useilla eri ohjelmistoilla, jotka on sertifioitu IFC 2X3 -formaattiin (BuildingSMART Finland, 2012-a, s. 6–8). Tietomallintamisen tarkkuus paranee suunnitelmien edetessä, ja tarkkuus voi olla rakennusosamallivaiheeseen asti tehty liittymämitoilla eli nimellismitoilla. Rakennusosamallivaiheessa rakennus on mallinnettava todellisilla mitoilla asennusvaroineen. Mallintamisessa tulee kuitenkin noudattaa tarkoituksen mukaisuuden periaatetta.

Mallinnus pyritään tekemään siihen tarkoitukseen tehdyillä työkaluilla ja mikäli työkalua ei ole jollekin rakennusosalle tai komponentille, mallinnetaan soveltaen ja mallinnustapa dokumentoidaan tietomalliselostukseen (BuildingSMART Finland, 2012-a, s.8). Jokainen suunnittelu-ala laatii tietomalliselostuksen tietomallin tueksi. Tietomalliselostuksessa kuvataan tietomallin sisältö, mallinnustavat sekä mahdollisia poikkeamia yleisiin vaatimuksiin tai tapoihin (BuildingSMART Finland, 2012-a, s.9).

2.1.1 Puurakenteiden tietomallinnus

Puutuoteteollisuus ry (2023, s. 4) on laatinut vuonna 2023 Puuelementtien nimikkeistö- ja luettelo-ohjeen. Nimikkeistöohjeen laadinnan tavoitteena on ollut yhdistää puurakenteiden tietomallintamista eri rakennusalan toimijoiden välillä.

Mallinnettavat osat jaetaan eri hierarkiatasoihin, missä eri tasot määrittävät, onko kyseessä komponentti vai kokoonpano (Puutuoteteollisuus, 2023, s. 6). Puuelementtien mallintamisessa voidaan käyttää rakennejärjestelmän vaatiessa kahta eri tasoa. Ensimmäiselle tasolle mallinnetaan itsenäiset komponentit, jotka voivat olla myös sidottuna ylempään tasoon kaksi. Toinen taso koostuu yhdestä tai useammasta komponentista, jotka yhdessä muodostavat kokoonpanon.

Kaikki tietomallinnusohjelmistot numeroivat osat GUID-tunnisteilla, joiden avulla ne ovat tunnistettavissa koko hankkeen ajan (BuildingSMART Finland, 2012-b, s. 7). GUID-numeroinnin lisäksi osat ja kokoonpanot numeroidaan sovitulla tavalla. Eri hankkeissa voidaan noudattaa eri nimeämistapaa, kunhan se on looginen ja tilaajan hyväksymä. Puutuoteteollisuus ry:n (2023, s. 4) tunnistaminen ja identiteettiosiossa ohjeistetaan nimeämään kokoonpano muodossa ”tyyppitunnus-lohkotunnus-kokoonpanon sarjanumero”. Tyyppitunnus ryhmittelee valmisosat samaan käyttötarkoitukseen, tyyppitunnukset määritetään kokoonpanoissa kuvion 6 mukaisesti, ja komponenttien tyyppitunnukset määräytyvät kuvion 7 mukaisesti (mts. 8).

KOKOONPANO

ULKOSEINÄELEMENTTI
VÄLISEINÄELEMENTTI
KUORIELEMENTTI
VÄLIPOHJAELEMENTTI (RIPA-/AVOKOTELO-/KOTELOLAATTA)
VÄLIPOHJAELEMENTTI (MASSIIVILAATTA)
YLÄPOHJAELEMENTTI (RISTIKKOELEMENTTI)
YLÄPOHJAELEMENTTI (PALKKILAATTAELEMENTTI)
YLÄPOHJAELEMENTTI (MASSIIVILAATTA)
YLEMPI VAAKAELEMENTTI (TILAELEMENTIN KATTO)
ALEMPI VAAKAELEMENTTI (TILAELEMENTIN LATTIA)
PALKKI
PILARI
HIRSI (RAKENTEELLINEN)
HIRSI (EI-RAKENTEELLINEN)
FÖLJÄRI
PARVEKEPALKKI
PARVEKEPILARI
PARVEKELAATTA
PARVEKESEINÄ
PARVEKEYLÄPOHJA
PORRASSYÖKSY
PORRASTASOLAATTA
NR-RISTIKKO
RISTIKKO
TILAELEMENTTI

ASSEMBLY

EXTERIOR WALL ELEMENT
INTERIOR WALL ELEMENT
SHELL ELEMENT
INTERMEDIATE FLOOR ELEMENT (RIB/BOX SLAB)
INTERMEDIATE FLOOR ELEMENT (MASSIVE WOOD SLAB)
ROOF ELEMENT (TRUSS ELEMENT)
ROOF ELEMENT (BEAM-SLAB ELEMENT)
ROOF ELEMENT (MASSIVE WOOD SLAB)
MODULE'S TOP ELEMENT
MODULE'S BOTTOM ELEMENT
BEAM
COLUMN
LOG (STRUCTURAL)
LOG (NON-STRUCTURAL)
FOLLOWER/FÖLJÄRI
BALCONY BEAM
BALCONY COLUMN
BALCONY SLAB
BALCONY WALL
BALCONY ROOF
STAIRCASE
STAIRCASE LANDING
TRUSS (NAIL-PLATE)
TRUSS
MODULE

PREFIX

HR
HV
HS
HL
HLM
HY
HYL
HYM
HST
HSB
HB
HC
HLW
HLD
HLF
BB
BP
BL
BS
BY
PO
PL
NR
HT
MOD

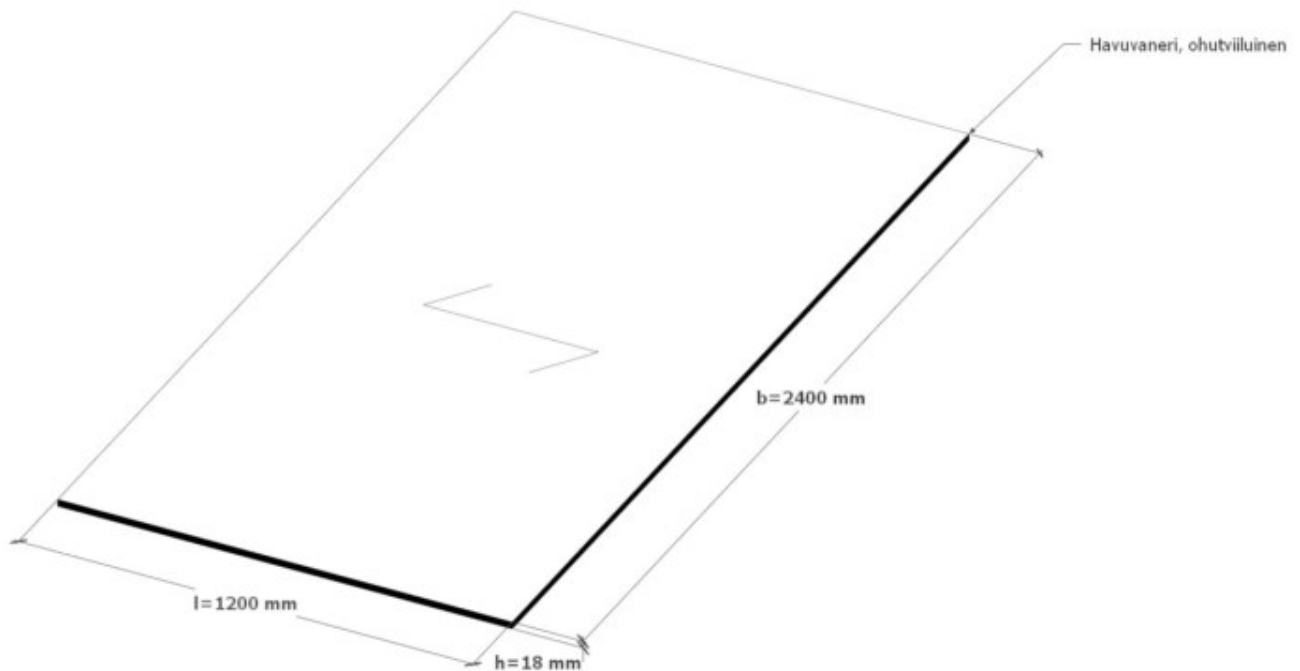
Kuvio 6. Kokoonpanojen tunnuksset (Puutuoteteollisuus, 2023, s. 33)

LEVYRAKENTEET / BOARDED STRUCTURES		
MATERIAALI	MATERIAL	PREFIX
CLT	CLT	LC
DLT	DLT	LD
VIILUPUU	LVL	LQ
VANERI	PLYWOOD	LV
OSB	OSB	OB
LASTULEVY	CHIPBOARD	LL
KATELEVY	RIDGE LEAD/BOARD	LK
NORMAALI KIPSILEVY	GYPSUM BOARD (NORMAL)	KN
ERIKOISKOVA KIPSILEVY	GYPSUM BOARD (ROBUST)	KE
PALOKIPSILEVY	FIRE PROOF GYPSUM BOARD	KP
LATTIAKIPSILEVY	FLOOR GYPSUM BOARD	KK
TUULENSUOJAKIPSILEVY	SHEATHING GYPSUM BOARD	KT
TUULENSUOJAERISTE	WIND BARRIER	LT
KOOLAUS	BATTEN	KL
OSA	PART	PREFIX
RUNKOTOLPPA	STUD	T
ALAJUOKSU	BOTTOM WOOD/CHORD	AJ
YLÄJUOKSU	TOP WOOD/CHORD	YJ
PALKKI	BEAM	K
PILARI	COLUMN	P
TÄYDENTÄVÄT PUUOSAT	SUPPLEMENTARY MEMBERS	H

Kuvio 7. Komponenttien tunnuksset (Puutuoteteollisuus, 2023, s. 34)

Lohkotunnus kertoo, missä lohkoissa komponentti tai kokoonpano sijaitsee (Puutuoteteollisuus, 2023, s. 7–8). Kokoonpanon sarjanumeroinnissa voidaan tarkentaa sijaintia esimerkiksi kerroksittain, käyttämällä eri sarjoja. Sarjat voidaan muodostaa esimerkiksi 10-, 100- tai 1000-alkuisena esimerkiksi siten, että ensimmäinen numero merkitsee sijaintikerrosta. Tunnus XX-X-101 sijaitsee 1. kerroksessa ja vastaavasti XX-X-201 2. kerroksessa. Numeroinnissa voidaan käyttää lisäksi myös juoksevaa ACN-numerointia, millä mahdollistetaan useamman samanlaisen elementin yksilöiminen. Numeroinnissa suositellaan käyttämään eri numerosarjoja. Valmistajakohtaisen tuotetyypin käyttö on myös mahdollista.

CLT-rakenteet voidaan mallintaa komponentteina tai kokoonpanoina. Puutuoteteollisuus ry:n (2023, s. 26–28) ohjeistuksen mukaan komponenteille ja kokoonpanoille on määritettävä puumateriaalien laatuvaatimukset hankkeen vaatimuksien mukaan. Laatuominaisuuksia ja -vaatimuksia ovat materiaalitiedot, lujuusluokka, käyttöluokka, suunniteltu käyttöikä, pintaluokitus ja -käsittely, pintojen luokkavaatimus / pinnan palotekninen ominaisuus, palonkestoluokitus, pintakäsittely (säilyvyys), päästöluokitus, päästötiedot, toleranssivaatimukset, liimaus, valmisisatuote, muut tiedot. CLT laatta- tai seinäkomponentin kantosuunta merkitään kuvion 8 mukaan.



Kuvio 8. Puutuotelevyn kantosuunta lyhyen sivun mukaan (Puutuoteteollisuus, 2023, s. 20).

2.1.2 CLT-rakenteiden tietomallinnus Tekla Structures -ohjelmistolla

Seinien ja laattojen mallinnus tehdään Wall- / floor layout -työkaluilla. Työkalut mahdollistavat eri kerroksien mallintamisen samalla kertaa. Kerrokset voivat olla osa kokoonpanoa tai työmaalla asennettavia kerroksia. Seinän päägeometrian ja aukotuksien muokkaaminen onnistuu työkaluilla nopeasti (Trimble Solutions Corporation, i.a-a). Wall- / floor layout -työkaluissa on myös UDA-kentät, jonne voi syöttää muita tarvittavia tietoja.

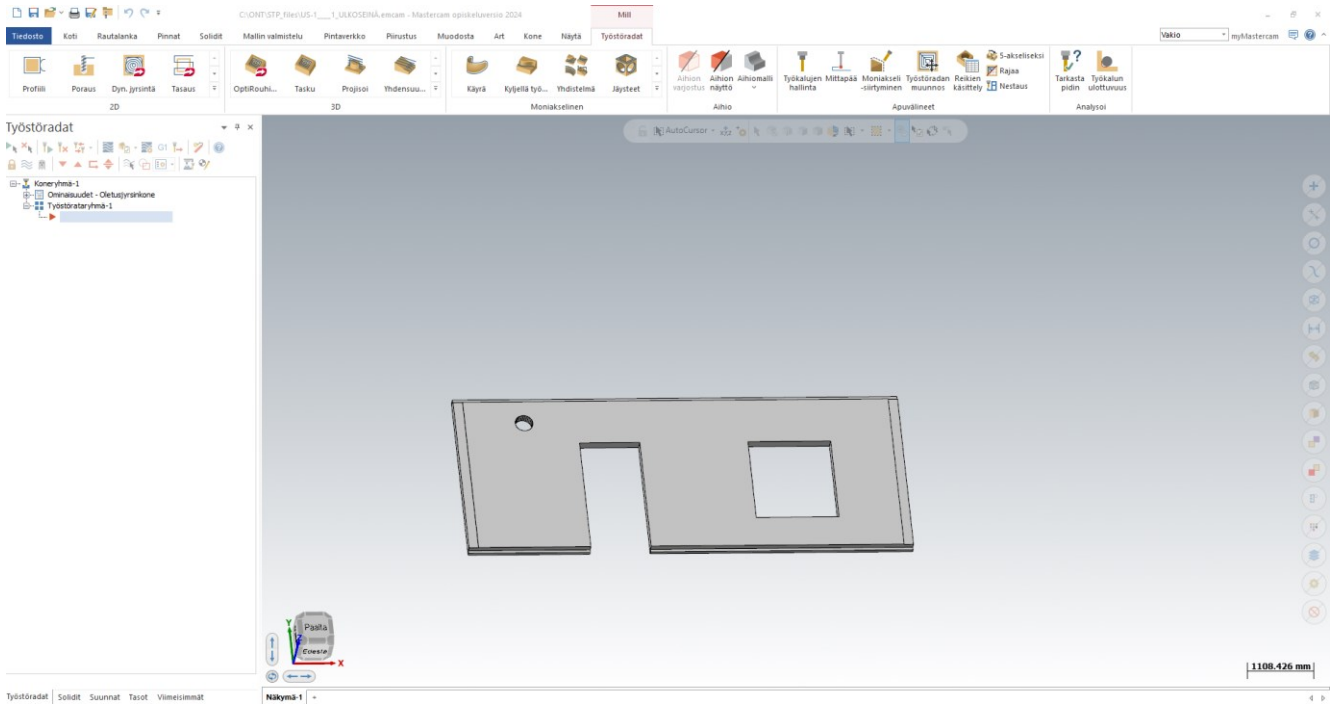
Seinä- ja laattaelementtien välisien liitoksien mallinnukseen voidaan käyttää Tekla Structures -ohjelmiston omia komponentteja. Mikäli haluttua valmista komponenttia ei kuitenkaan löydy, voidaan tehdä itse custom component (räätälöity komponentti) omien tarpeiden mukaisesti (Trimble Solutions Corporation, i.a-b). Custom componentit mahdollistavat CLT-levyjen välisien liitoksien asennusvarojen, syvennyksien ja mahdollisten esiporauksien mallintamisen tehokkaasti.

Eri elementteihin tulevat talotekniikkavaraukset tehdään erikseen ladattavalla hole reservation managerilla reikäkierron yhteydessä. Vaihtoehtoisesti varauksia voidaan tehdä myös leikkaamalla komponentin pintaa toisella objektilla.

2.2 CLT-elementtien koneistus

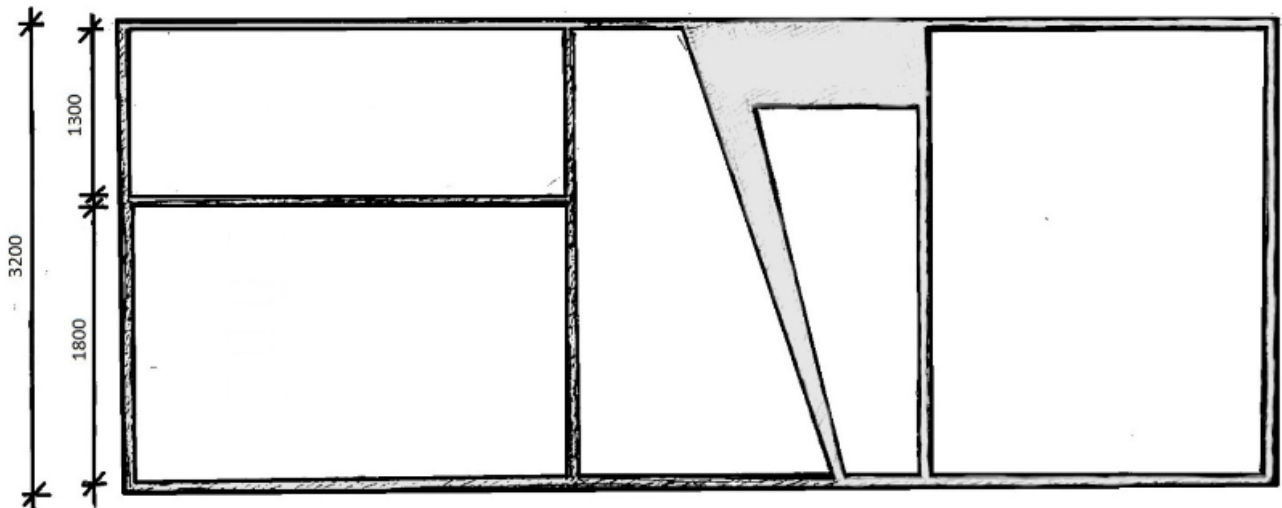
CLT-levyihin pystytään tekemään erilaisia työstöjä ja varauksia. Työstöt on tehtävä hankekohtaisesti sovitulla tavalla (Puutuoteteollisuus, 2023, s. 14). Työstöihin käytettävät määritteet ovat: aukko, hahlo, hionta, höyläys, jiiri, katkaisu, kolo, lovi, muotohöyläys, pintakäsittely, poraus, pyöristys, upotus, ura, viiste, pontti (puolipontti, tasapontti, yms.). CLT-levyn työstö tehdään CNC-jyrsimellä, kun levyn liimaus on valmis (Swedish wood, 2019, s. 17). Levyyn työstetään sahaamalla ja poraamalla halutut varaukset, ja CNC-koneessa on työstämistä varten sirkkeli, tappi- ja kiekkojyrsin (Crosslam CLT, i.a.-b, s. 6). Sirkkelillä pyritään tekemään mahdollisimman paljon työstöistä sen nopeuden takia, vaikka jälki ei ole yhtä siistiä kuin tappijyrsimellä. Ikkuna- ja oviaukkojen työstöt tehdään yleensä aina tappijyrsimellä, jolloin on huomioitava tappijyrsimen suuruinen pyöristys nurkissa. Nurkista saadaan tarvittaessa tehtyä teräviä käsityökaluilla, mikä aiheuttaa lisäkustannuksia elementille. CNC-jyrsin pystyy tekemään työstöjä vain levyn päälle ja reunoille; levyn kääntäminen on mahdollista, mutta käännöstä aiheutuva työ lisähinnoitellaan erikseen.

CNC-koneen työstöradat ohjelmoidaan nykyisin CAM-ohjelmistoa käyttäen, ohjelmistoon on tehty valmiiksi erinäisiä asetuksia, joilla nopeutetaan lopullisen ohjelmoinnin laatimista (Smid, 2008, s. 509). Ohjelmoinnin pohjalle voidaan ottaa CAD-ohjelmistolla luotu piirustus, jolloin CNC-ohjelmoija voi keskittyä käytettävien työkalujen valitsemiseen geometrian luomisen sijasta (mts. 512). 2D-piirustus voidaan korvata myös 3D-mallilla, mikä viedään CAM-ohjelmistoon pohjaksi (Puuinfo, i.a.-a, s. 25). CNC-ohjelmoija valitsee tämän jälkeen työstöä koskevat terät, nopeudet ja työstösuunnat. Kuviossa 9 on esitetty Mastercam-ohjelmiston näkymä, kun työstön 3D-tiedosto on tuotu referenssiksi.



Kuvio 9. Mastercam-ohjelmiston (opiskelijaversio) näkymä, työstöratojen CAM-ohjelmointia varten.

Ylimääräisten kustannuksien ja ympäristöystävällisyyden kannalta on pyrittävä mahdollisimman vähään materiaalihukkaan (Crosslam CLT, i.a.-b, s. 5). Kuviossa 10 on esitetty tehokasta elementtien asettelua.



Kuvio 10. Elementtien asettelu raakalevyille, harmaa alue raakalevyä (Crosslam CLT, i.a.-b, s. 5).

2.2.1 Mitat

Valmistettavan levyn maksimikoko vaihtelee elementtitoimittajien välillä, mikä on huomioitava suunnittelussa. Suomessa CLT Finland Oy valmistaa raakalevyn koossa 3,5 x 12,0 m², 60–400 mm paksuna, elementin lopullinen koko työstövarat huomioiden on 3,4 x 11,9 m² (CLT Finland, i.a.-a). Crosslamm valmistaa raakalevyn koossa 3,2 x 12,0 m², 60–300 mm paksuna, elementin lopullinen leveys työstövarat huomioiden on 3,1 m (Crosslam CLT, i.a.-b, s. 3). Valmistettavan levyn maksimikoko on varmistettava aina tehtaalta.

2.2.2 Pintaluokat

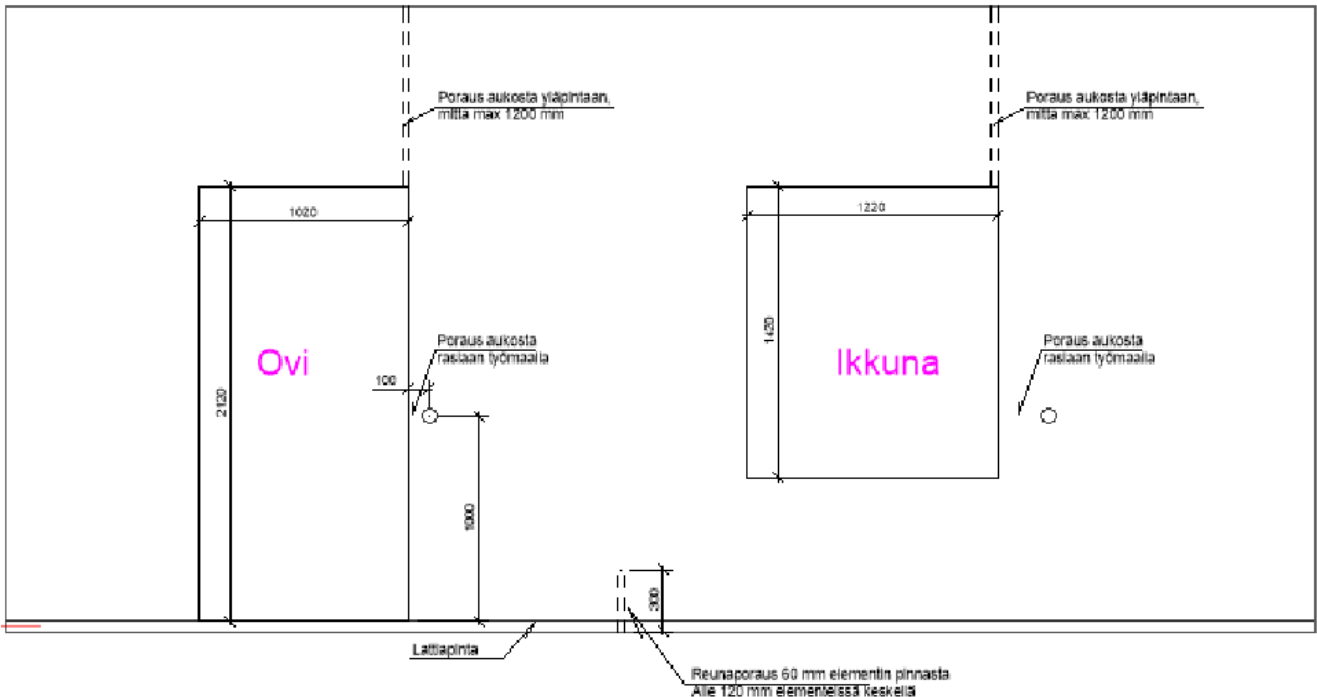
Elementtitoimittajat määrittävät pinnan laatuluokituksen omissa ohjeissaan, mutta yleensä laatuluokkina (Puuinfo, 2020b) ovat

- hiottu näkyvä laatu
- teollinen näkyvä laatu
- ei-näkyvä laatu.

Laatuluokkia merkitään suunnitelmissa usein merkinnöillä NVI (non-visual quality), VI (visual quality) ja IVI (industrial visual quality), riippuen siitä, minne rakenne tulee ja jääkö se näkyviin (Stora Enso, i.a.). Esimerkiksi CLT Finland Oy:n (i.a.-a) levyn näkyvä pinta voi olla plaanattu tai hiottu. Plaanauksella tarkoitetaan erikoishöyläysmenetelmää, joka karhentaa puupinnan ja parantaa siten maalin tarttuvuutta (CLT Finland, 2022). Viimeistelyhiottua pintaa käytetään huonetiloissa ja piiloon jäävät pinnat jätetään tuotantopinnalle ilman viimeistelyä.

2.2.3 Talotekniikkavaraukset ja reititykset

CNC-koneistus aiheuttaa tiettyjä reunaehtoja LVISA-varauksille ja reitityksille. CNC-koneella pystytään poraamaan levyn reunasta vain 300 mm:n syvyiset reiät, ja sitä suuremmat syvyydet porataan manuaalisesti käsin (CLT Finland, i.a.-b, s.1). Käsinporauksen maksimisyvyys on ääritapauksissa 1500 mm levyn reunasta. On siis suositeltavaa hyödyntää mahdollisuuksien mukaan kevyitä väliseiniä tai muita reitityksiä. Ikkuna- ja oviaukkoja pystytään hyödyntämään kytkimien ja pistorasioiden reitityksessä (CLT Finland, i.a.-b, s.1–2). Kuviossa 11 on esitetty mahdollisia reitityksiä valokytkimelle ja pistorasialle. Molemmissa tapauksissa on huomioitava riittävät asennusvarat. Ilmastoinnin vaatimat pyöreät reiät voidaan toteuttaa koneistamalla mitoituksen mukaan.



Kuvio 11. Sähkövarauksien reititys hyödyntäen ovi- ja ikkuna-aukkoja (CLT Finland, i.a.-b, s.2).

2.3 Betonirakenteiden tietomallintamisen toimintatavat

Betonielementtien tietomallinnukselle on olemassa BEC2012-ohjeistus, joka määrittelee tietomallinnuksen pelisääntöjä ja yhdenmukaistaa eri suunnittelutoimistojen välisiä malleja (Betoniteollisuus, 2016, S. 6). Betoniteollisuus ry (2022) on lisäksi kerännyt suunnitteluun, rakentamiseen ja käyttöön liittyviä hyödyllisiä tietoja *elementtisuunnittelu.fi* -sivustolle.

Yleensä betonirakenteiden elementtisuunnittelija laatii rakennesuunnittelijan tekemiin urakkalaskentakuviin pohjautuen lopulliset suunnitelmat elementtien tuotantoa, asennusta ja kuljetusta varten (Betoniteollisuus, i.a.). Elementtisuunnittelija laatii lujuuslaskelmat ja toimittaa ne rakennesuunnittelijalle, joka esittää suunnitelmat tarvittavin osin rakennusvalvontaviranomaisille. RT-ohjekortissa (Rakennustieto, 2024, s. 1–2) on tarkennettu rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK18 sisältöä siitä lähtökohdasta, että pääurakoitsija tai betonielementtitoimittaja vastaa elementtien valmisosasuunnittelusta. Ohjeessa käydään läpi vaadittavia betonielementtisuunnitteluun liittyviä lähtötietoja sekä rakenne- ja elementtisuunnittelijan välistä tiedonvaihtoa hankkeen eri vaiheissa. Vastaavan rakennesuunnittelijan tehtävä on tarkistaa, että rakenteellinen kokonaisuus toteutuu betonielementtisuunnittelijan suunnitelmilla ja laskelmilla. Vaikka vastaava rakennesuunnittelija tarkistaa suunnitelmat, vastaa kumpikin osapuoli omista suunnitelmistaan.

Esijännitetyjen laattojen, kuten ontelo- ja kuorilaattojen osalta, laaditaan elementtikaaviot, mittapiirustukset ja luettelot. Lähtötietojen perusteella valmisosien valmistaja laatii tuoteosakohtaiset suunnitelmat.

Tuoteosasuunnittelijat voidaan kutsua tekemään omat suunnitelmat elementtisuunnittelun kanssa samaan tietomalliin Tekla Structures -ohjelmiston model sharingin avulla (Trimble Solutions Corporation, i.a.-c). Tämä mahdollistaa samassa mallissa työskentelyn eri sijainneista. Useat eri toimijat ovatkin jo ottaneet tietomallipohjaisen suunnittelun käyttöön, esimerkiksi Consolis Parman tuoteosasuunnittelijat voidaan kutsua malliin model sharingin avulla, ja tällöin ontelolaatat on mallinnettava heidän mallinnusohjeensa mukaan (Parma, 2020, s. 4).

2.4 Puurakenteiden tietomallintamisen toimintatavat

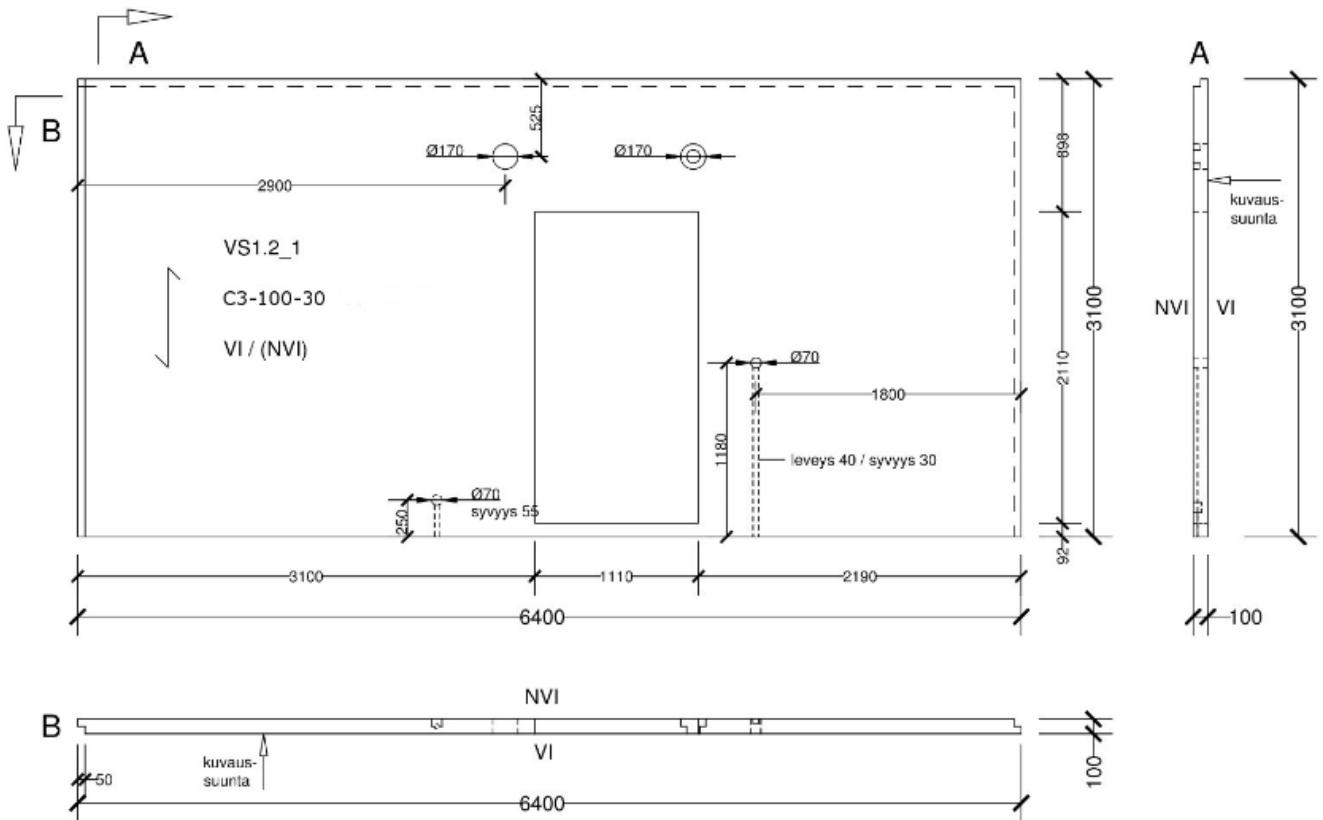
Puurakenteiden osalta tietomallintamiseen voidaan hyödyntää Puutuoteteollisuus ry:n (2023) puuelementin nimikkeistö- ja luettelo-ohjetta. Tietomallinnusohjeiden lisäksi Puuinfo Oy (i.a.-b) on kerännyt puurakentamisen tyyppisuunnitelmat, määräykset, suunnittelu- ja mitoitusohjeet sekä suunnittelutyökalut saman sivuston alle. Lisäksi sivuilta löytyy rakennusalan ammattilaisille paljon materiaalia, mitä voidaan hyödyntää suunnittelussa. BEC 2012 -ohjeistusta vastaavaa ohjetta ei kuitenkaan vielä ole laadittu puurakenteille.

CLT-elementtien tuotantopiirustuksien lähetys elementtitehtaalle vaihtelee hieman eri toimijoiden välillä. Piirustuksia voidaan lähettää tuotantoa varten PDF-, DWG- tai IFC-formaatissa tai ArchiCAD-projektina (CLT Finland, i.a.-c). Vaihtoehtoisena toimitustapana on 3D-solidimuoto (Crosslam CLT, i.a.-b, s. 19).

Tekla Structures -ohjelmistolla pystyy laatimaan PDF-, DWG- ja IFC-tiedostot (Trimble Solutions Corporation, i.a.-d). 3D-solid tiedostomuoto vaatii 3D-dwg-tiedoston muokkaamisen 3D-solid muotoon uusimmalla AutoCAD versiolla (Trimble Solutions Corporation, i.a.-e). Tekla Structures ohjelmistoon erikseen ladattavalla Multi converter -lisäosalla saadaan tuotettua myös IFC-, STEP-, IGES-, OBJ-, STL-, DGN-, SKP-, DWG- ja DXF-tiedostomuodot (Trimble Solutions, i.a.-f).

CLT-elementtien piirustuksissa esitettäviä asioita ovat päägeometria aukotuksineen, urat, viisteet, LVISA-varaukset, kuvaussuunta, elementtitunnus, pintalamellien suunta ja molempien pintojen laatu (Crosslam CLT, i.a.-b, s. 19). Edellä mainittujen tietojen lisäksi on

olennaista kertoa levyn rakenne, jossa on eritelty kerroksien määrä, lamellien suunta ja paksuudet (mts. 3). CLT-elementtien piirustuksissa esitettävät asiat on havainnollistettu kuviossa 12.



Kuvio 12. Elementtipiirustuksen esitystapaesimerkki (Crosslam CLT, i.a.-b, s. 19).

3 KOTIMAISTEN CLT-ELEMENTTITEHTAIDEN TUTKIMINEN

Tutkimuksessa on tarkoitus selvittää, mikä betoni- ja terästeollisuudesta tuttu tietomallintamisen ja piirustusten laadinnan toimintatapa olisi kotimaisten CLT-elementtitehtaiden mukaan toimivin ja tehokkain suuremmissa rakennushankkeissa. Tutkimuksessa huomioidaan piirustuksien laatijan merkitys, onko suunnitelmien laatijana elementtitoimittaja itse vai insinööritoimisto tai vastaava toimija. Lisäksi kartoitetaan CLT-rakenteiden nykyisiä toimintatapoja, haasteita ja tulevaisuuden mahdollisuuksia. Pyritään myös selvittämään missä laajuudessa ja miten Tekla Structures -ohjelmistoa voidaan käyttää tuotantokuvien tai tuotannon vaatimien tiedostojen tuottamisessa CAM-ohjelmointia varten.

Tutkimuksen tutkimuskysymykset ovat, mikä betoni- ja terästeollisuudesta tuttu tietomallintamisen ja piirustusten laadinnan toimintatapa soveltuisi parhaiten puurakentamiseen CLT-rakenteiden osalta sekä miten Tekla Structures -ohjelmistolla saadaan tehtyä työstökoneen ohjelmointia tehostava CAM-yhteensopiva tiedostomuoto.

3.1 Tutkimusmenetelmä

Vilkan (2021, s. 58) mukaan työelämän tutkimuksilla tavoitellaan käytännön hyötyjä suoraan kehittämiseen. Kyseessä on usein soveltava tutkimus, jossa otetaan huomioon yhteiset tarpeet yhdessä kaikkien toimijoiden kanssa. Työelämän tutkimustoiminta on usein sidottu toimeksiantajan lähtökohtiin, kuten heidän arvoihinsa tai yleiseen strategiaan (Vilkka, 2021, s. 59). Tutkimus on pyritty toteuttamaan siten, että puurakentaminen olisi tutkittavilta osin tulevaisuudessa selkeämpää, tehokkaampaa ja turvallisempaa.

Vilkan (2021, s. 68) mukaan tutkimusmenetelmä valitaan muun muassa tutkimusongelman ja tutkimuskysymysten avulla. Näin on toimittu myös tässä tutkimuksessa. Kyseessä on laadullinen tutkimus. Hirsjärven ym. (2008, s. 156) mukaan laadullisessa tutkimuksessa kysymykset ja tulkinnot ovat ihmisten sen hetken näkökulman ja tulkinnan mukaisia. Saman asian kuvaukseen voidaankin saada useita eri vastauksia, riippuen siitä, mitkä ovat ihmisen kiinnostuksen kohteet ja tarpeet. Vilkan (2021, s. 150) mukaan laadullisessa tutkimuksessa on selvitettävä, millaisella tutkimusaineistolla saadaan riittävästi tietoa tutkimusongelmasta.

Yleensä kysely on tehokas tapa kerätä laajasti tutkimusaineistoa (Hirsjärvi ym., 2008, s. 190).

Työn tutkittava joukko oli tarkoin rajattu, joten tutkimusmenetelmäksi valittiin pienestä vastaajamäärästä huolimatta kysely. Vastaajat valikoitiin tarkasti ja heihin oltiin etukäteen yhteydessä. Kysymyksissä oli paljon teknistä osaamista vaativaa sisältöä, joiden ulkoa muistaminen voi olla haasteellista, joten kyselyllä pyrittiin siihen, että kukin vastaaja voi varata aikaa vastaamiseen ja tarvittaessa tarkistaa tiedon omista järjestelmistään. Vilkan (2021, s. 150) mukaan laadullisessa tutkimuksessa aineiston määrää olennaisempaa on sen laatu, jotta tutkittavaa asiaa voidaan ymmärtää.

Vilkan (2021, s. 106) mukaan kysymyksiä voidaan käyttää avoimia- tai monivalintakysymyksiä, joissain tapauksissa myös sekamuotoisia kysymyksiä. Monivalintakysymyksiä on helpompi vertailla, koska tulokset ovat vakioituja, kun taas avoimilla kysymyksillä haetaan pienemmällä rajauksella vastaajan mielipiteitä asiasta. Sekamuotoisiakysymyksiä käytetään, kun vastauksia ei tarkasti tunneta. Tutkimuksen kysymyksissä pyrittiin käyttämään parasta tapaa kysymyksen sisällön mukaan. Kyselytutkimuksen kysymykset on esitetty liitteessä 1.

3.2 Tutkimuksen toteutus ja luotettavuus

Tutkimus toteutettiin Webropol-kyselynä ja kysely lähetettiin vastaajille sähköpostin välityksellä. Kysely lähetettiin kahdelle kotimaiselle CLT-valmistajalle, CLT Finland Oy:lle (Hoisko CLT) ja Oy Crosslam Kuhmo Ltd:lle. Vastaajiksi valikoituivat molempien yritysten toimitusjohtajien määrittelemät henkilöt, ja vastaukset saatiin molemmilta.

Kyselyn pohjalta tutkimusta jatkettiin kummankin yrityksen kanssa pidetyillä etätapaamisilla, joissa testattiin tarkemmin laaditun mallisuunnitelman sisältöä ja toivottua toimintatapaa tulevaisuudessa. Tämä on tarkemmin kuvattu luvussa 4.

Hirsjärven ym. (2008, s. 226) mukaan tutkimuksen virheiden välttämiseksi pyritään tehdyn tutkimuksen luotettavuutta arvioimaan. Tutkimuksen reliabelius eli mittaustulosten toistettavuus voidaan todentaa usealla tavalla. Yksi esimerkki luotettavuudesta on se, että vastaajat päätyvät samaan lopputulokseen. Tutkimusta arvioidaan myös pätevyyden eli validiuden osalta. Validiuden osalta arvioidaan, ovatko käytetyt mittarit ja menetelmät sellaisia, että ne mittaavat tarkoituksenmukaisia asioita. Esimerkiksi kyselylomakkeiden osalta kiinnitetään huomiota siihen, saadanko vastaukset siihen, mitä tutkija on ajatellut kysymyksen taustalla olevan. Vilkan (2021, s.196–197) mukaan tutkijan pitää arvioida tutkimuksen luotettavuutta koko tutkimuksen ajan, ja arviointia tulee tehdä tutkimuksen kaikissa vaiheissa ja lisäksi

tutkijan tulee perustella valintansa ja ratkaisunsa tarkoituksenmukaisuuden ja tavoitteiden kannalta. Näin on toimittu tutkimuksen kaikissa vaiheissa.

3.3 Tutkimustulokset

Hirsjärven ym. (2008, s. 219) mukaan aineistoa voidaan analysoida monin tavoin, yleensä tavat ovat selittämiseen ja ymmärtämiseen pyrkiviä. Valinta tulisi tehdä siten, että se tuo vastauksen ongelmaan. Tutkimuksessa käytiin saadut vastaukset kysymyksittäin ja aihealueittain läpi ja vertailtiin vastaajien kesken. Monivalintakysymysten kohdalla vastaukset taulukoitiin.

3.3.1 CLT-rakenteiden valmistuksen ja suunnittelun toimintatavat

Tutkimuksessa selvisi, että elementtitehtaan laatiessa CLT-elementtisuunnitelmat, yleisin asiakkailta tuleva formaatti on IFC-tiedosto tai joissain tapauksissa myös DWG-tiedosto. Formaatista riippumatta voidaan joutua käsittelemään kuvia vielä tuotantokelpoisemmaksi eri ohjelmistojen avulla. Tuotannon vaatimat työstötiedostot, joissa määritellään muun muassa työstöradat, tehdään konetoimittajien softilla tai Alphacam-ohjelmalla saatua referenssiopiirustusta hyödyntämällä. Myös BTL-tiedoston käyttämistä on tutkittu alustavasti. Sähkökierron osalta voidaan toimia sähkösuunnitelmien pohjalta asettelemalla varaukset vakiookorkoon, mikäli muuta ei ole mainittu. Sähkösuunnitelmien käyttöä suositeltavampi tapa olisi kuitenkin se, että tieto olisi IFC-mallissa siinä vaiheessa, kun elementtisuunnittelu käynnistetään. Elementtitehtaan suunnitellessa elementit rakennesuunnittelija määrittää elementtien tuennan ja elementin nostoon tarvittavat nostoelimet tai vaihtoehtoisesti asennusurakoitsija määrittää ja hyväksyy suunnitelmat rakennesuunnittelijalla. Elementtitehtailla on omat nostoratkaisut, joita suositellaan asiakkaille.

Ulkopuolisen insinööritoimiston laatiessa CLT-elementtisuunnitelmat nousi esiin suunnittelijoiden osaamistasosta aiheutuvat erot suunnittelijoiden välillä. Suositellaankin olemaan aikaisessa vaiheessa yhteydessä elementtitehtaaseen, sille se mielellään ohjeistaa hyväksi havaittuihin detaljeihin ja muutenkin toimiviin ratkaisuihin. 3D-mallinnus kaikkine työstöineen olisi suositeltavin tapa toteutukselle, mutta tällöin tehdas ei kuitenkaan tarkista työstöjä, vaan toteuttaa elementit suunnitelmien mukaan. Sähkökierron toteutuksen osalta odotetaan, että

kaikki reunaporaukset ja rasioiden paikat on merkitty suunnitelmiin oikeille paikoilleen. Elementtien tuennan tai nostoelimien määrittäminen ei eroa elementtitehtaan tekemistä suunnitelmista.

Tutkimuksen mukaan elementtikuvan katsomissuunnalla ei ole merkitystä. Helpointa olisi kuitenkin, jos katsotaan näkyvää pintaa, niin silloin työstöt yleensä tulevat automaattisesti yläpuolelle CNC-työstöä varten. Lähtökohtaisesti pelkkä IFC-mallikin on riittävä katsomissuunnasta riippumatta. Työmaa-aikaiselle tuennalle ei ole ollut tapana tehdä esiporausta. Pintalamellien saumojen kohdistuksella eri elementtien välillä ei välttämättä ole merkitystä, kun kyseessä on reunaliimattu levy. Visuaaliset ongelmat liittyvät yleensä reunaliimaamattomiin levyihin. Mikäli lamellikohdistus on kuitenkin tarpeen, pitää tieto mainita elementtikuvissa ja samalla mainita, minkä elementin kanssa kohdistus halutaan täsmäävän.

Elementtitehtailla ei ole käytössä vakio- tai varasto-osia, mikäli nostoelimiä ei huomioida. Nostotapojen vakiointia pidettäisiin kuitenkin hyvänä edistysaskeleena. Hankkeen koko ei vaikuta suuremmin toteutukseen, mutta se voi aiheuttaa asennuksissa jaksotusta, jonka määrittäminen on suunnitteluvaiheessa tärkeää, jotta elementit valmistetaan oikeassa järjestyksessä.

3.3.2 CLT-rakenteiden valmistuksen ja suunnittelun haasteet

Tutkimuksessa kävi ilmi, että molempien tehtaiden mielestä CLT-rakenteiden tietomallinnuksessa ja ulkopuolelta tulevien elementtisuunnitelmien osalta on jonkin verran haasteita. Tietomallintamisen osalta haasteita aiheuttavat esimerkiksi puutteelliset tai virheelliset tiedot tai tiedonsiirron ongelmat. Ulkopuolelta tulevien elementtisuunnitelmien kohdalla haasteet olivat tuotantoon sopimattomat työstöt tai suuren työstöajan vaativat detaljit.

Muiden haasteiden kohdalla esiin nousivat monimutkaiset liitosdetaljit ja elementtien pilkkominen pieniin osiin. Elementtien rakennesuunnittelussa tulisi huomioida, että elementtien pilkkomisella pieniin paloihin voidaan saada säästettyä materiaalia, mutta tällöin elementtien asennus ja CNC-työstöaika kasvaa. Alle 5 m² aukkoja ei kannattaisi pilkkoa useampiin elementteihin.

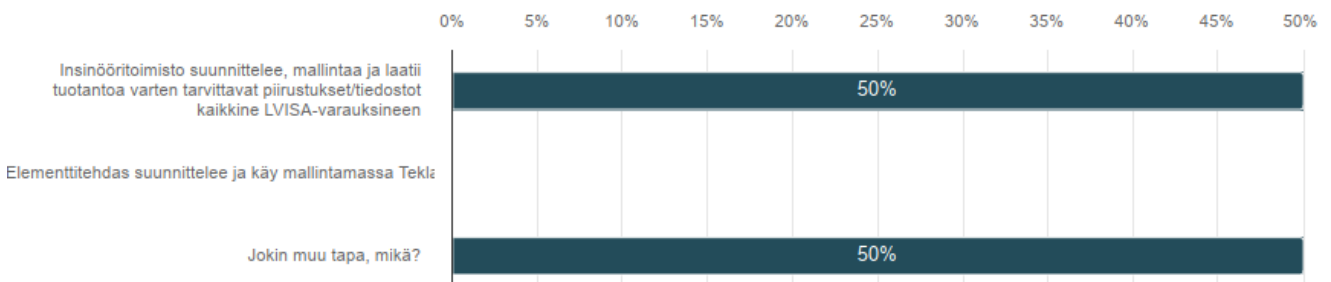
Kustannus- ja tuotantotehokkuuden ongelmat liittyvät myös CLT-tuotannossa syntyvään hukkaan. Rakennusprojektissa voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä, kun rakennetyyppejä ei

lisäillä turhaan, vaan mahdollisuuksien mukaan tulisi käyttää vain muutamia rakennetyyppejä.

3.3.3 CLT-rakenteiden valmistus ja suunnittelu tulevaisuudessa

Elementtitehtaiden mukaan CNC-koneen ohjelmoinnin apuna voidaan käyttää IFC-tiedostoformaatin lisäksi esimerkiksi SAT-, STP-, DWG- ja DXF-tiedostoja. Parhaimpina formaatteina pidettiin IFC- ja SAT-tiedostoja.

Kyselystä selvisi, että Model Sharingin käyttöön ei ollut kiinnostusta. Elementtitehdas haluaa tehdä joko itse elementtisuunnittelun, jolloin voidaan huomioida tuotannon vaatimukset paremmin tai vaihtoehtoisesti insinööritoimisto laatii valmiit elementtisuunnitelmat kokonaisuudessaan. Kuviossa 13 on esitetty elementtitehtaiden näkemys tehokkaista ja toimivista toimintatavoista suuremmissa hankkeissa tulevaisuudessa.



Kuvio 13. Mikä seuraavista toimintatavoista olisi tulevaisuudessa tehokkain ja toimivin suuremmissa hankkeissa?

4 CLT-RAKENTEIDEN TIETOMALLINNUS TEKLA STRUCTURES -OHJELMISTOLLA CNC-KONEISTUSTA VARTEN

Teoriatiedon ja kyselyn perusteella laadittiin mallisuunnitelmasarja, jota testattiin elementtitehtaiden omissa järjestelmissä Tekla Structures -ohjelmistolla tuotettujen eri tiedostojen kanssa. Tiedostojen testauksen yhteydessä käytiin läpi suunnitelmat ja selvitettiin CLT-elementtitehtaiden suunnitelmatarve elementtien valmistusta varten.

Testaus ja suunnitelmien läpikäynti toteutettiin Teams-palavereina, joissa molemmilta tehtailta oli kaksi edustajaa paikalla. Molempien tehtaiden tarpeet ja kommentit käsiteltiin erikseen. Työstä rajattiin pois elementtitiuennan mitoitus ja nostoelimien määrittäminen.

4.1 Mallisuunnitelma

Tutkimuksen pohjalta laadittiin mallisuunnitelmasarja, joka sisältää seuraavat tiedostot:

- elementtiluettelo
- elementtipiirustus (liite 2.)
- tasopiirustus
- 3D-tiedostot CAM-ohjelmointiin.

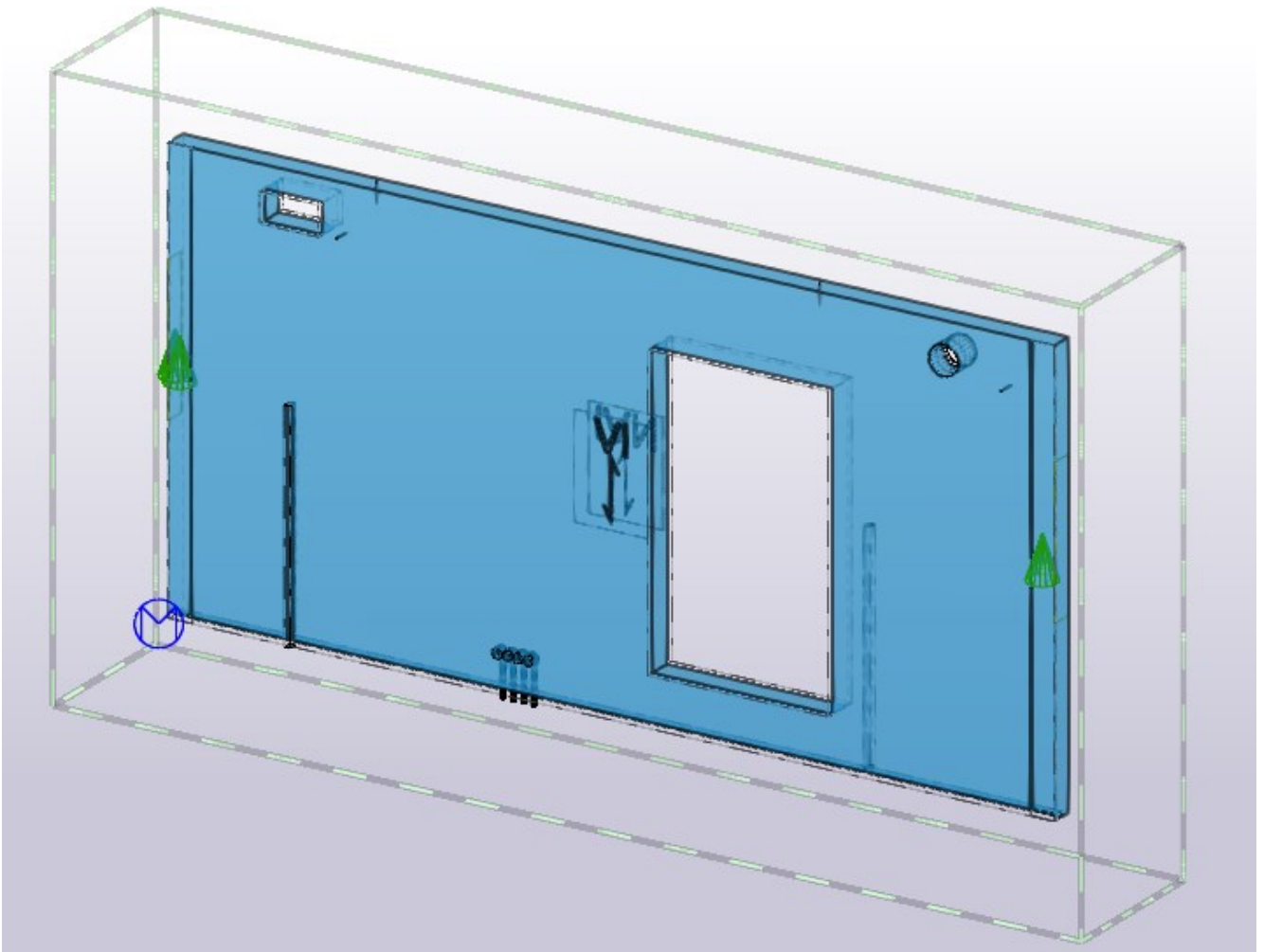
Elementtiluettelon osalta käytettiin pohjana aiemmin laadittuja suunnitelmia. Elementtiluettelossa on esitetty seuraavat asiat:

- kohdetiedot
- elementtitunnus
- kappalemäärä
- levytyyppi
- leveys
- pituus
- paino
- bruttoala
- nettoala
- tilavuus
- kerros

- AP. korko
- pintalaatu.

Yksittäisten elementtien lisäksi on myös koottu taulukkoon samanlaisten levytyyppien tilavuus, paino, brutto- ja nettoala.

Kuviossa 14 on esitetty mallielementti, josta laadittiin mallielementtipiirustus.



Kuvio 14. Tekla Structures -ohjelmistolla laadittu mallielementti.

Mallielementtipiirustuksessa esitetään seuraavat asiat:

- elementtitunnus (hankkeessa sovitulla tavalla, esim. HR-, HV-, HLM- jne.)
- päämitat
- pintalamellien suuntanuoli
- pintojen laatu (VI / NVI / IVI)

- aukkomitat (tappijyrsimen nurkkapyöritys huomioitava aukkojen mitoituksessa / maininta terävästä nurkasta / maininta tappijyrsimen nurkan ylityksestä)
- reiät (halkaisija / koko $b \cdot h$)
- uritukset, syvennykset ja pontit
- lamellien kohdistus ja tarvittaessa maininta liittyvästä elementistä
- LVISA-varaukset, niiden poraukset ja uritukset (rasiareikien vakio koko $\varnothing 70/90$ mm, syvyys 55 mm, tapauskohtaisesti)
- syvennykset (esim. kiinnityksen vaatimat kulmalevyt)
- tehtaalla tehtävä varustelu, esim. nosto (mitoitus painopisteen suhteen, tarvittaessa esiporaus / työstö)
- asennusaikainen tuenta (esiporaus tarvittaessa, mahdollisuuksien mukaan piiloon)
- painopiste

CLT-elementtien mittapiirustuksien laadinta onnistuu vähäisten merkintöjen takia nopeasti Tekla Structures -ohjelmistolla tehtävillä automaattimitoituksilla. Liitteen 2. piirustus on kerta-luontoisuuden vuoksi laadittu ilman automaattimitoitusta.

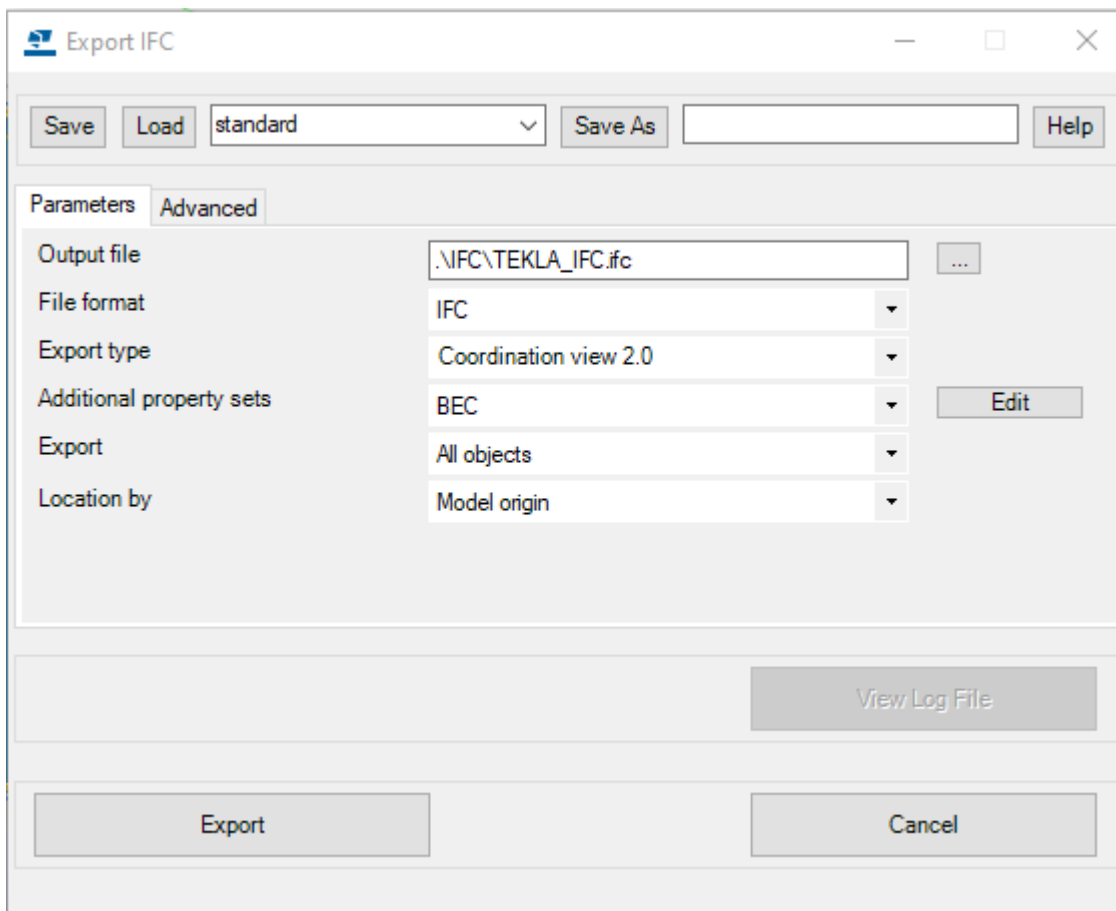
Tasopiirustuksen osalta ei poiketa yleisistä toimintatavoista, vaan elementtitunnukset asetellaan elementtipiirustuksen mittakuvan katsomissuunnan mukaisesti. Puuelementissä tulee koneistettava pinta ylös kuten betoniteollisuudessa hiertopinta. Mikäli mahdollista, niin elementtiä ei turhaan käännetä tehtaalla. Tasopiirustuksen osalta käytettiin pohjana aiemmin laadittuja suunnitelmia. Tasopiirustukseen lisättiin CLT-elementtiluettelo, jossa mainitaan seuraavat asiat:

- alapinnan korko
- elementtitunnus
- kappalemäärä
- nimi (ulkoseinä, väliseinä jne.)
- paino [t]
- pintalaatu selitteineen, miten luetaan (esim. elementtitunnuksen lukusuunta on ensimmäinen laatu, laatoissa yläpuoli on ensimmäinen laatu).

3D-tiedostojen testaukseen valittiin tutkimuksen kyselyyn pohjautuen seuraavat tiedostot:

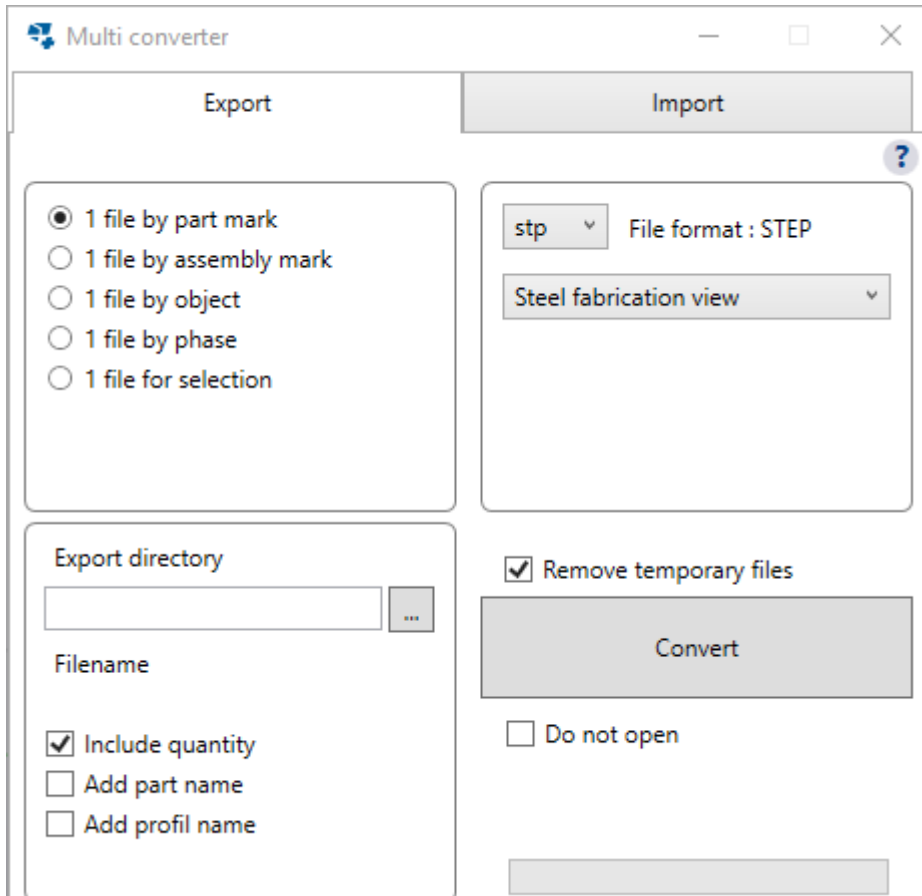
- IFC
- STP
- BTL.

IFC-tiedosto tulostettiin useilla eri asetuksilla, jotta nähtäisiin, mikä tulostusasetus toimii parhaiten elementtitehtailla. Kuviossa 15 on esitetty -Tekla Structures ohjelmiston IFC:n tulostusnäkyvä.



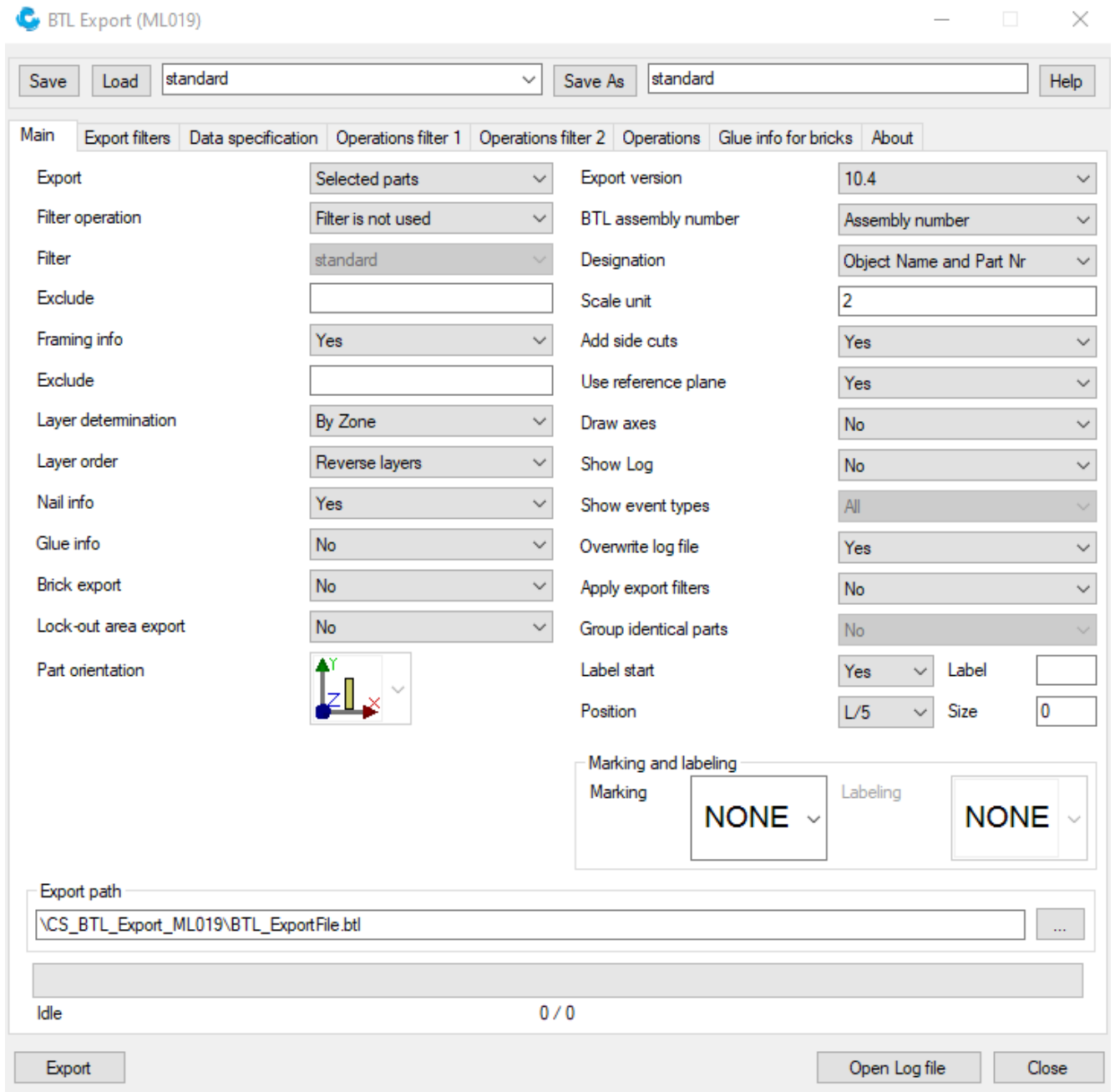
Kuvio 15. Tekla Structures -ohjelmiston IFC:n tulostusikkunan näkyvä.

STP-tiedostojen tuottamista varten ladattiin Tekla Warehousesta Multi Converter -lisäosa, jonka avulla STP-tiedostojen tuottaminen onnistui. Kuviossa 16 on esitetty Multi Converterin tulostusikkunan näkyvä.



Kuvio 16. Multi Converter -lisäosan tulostusikkunan näkymä.

BTL-tiedoston tekeminen osoittautui työläimmäksi, kun Tekla Warehousesta saatavan BTL Export (ML019) -lisäosan käyttöön vaadittiin Construsoftin lisenssi. Construsoft antoi tutkimusta varten täydet käyttöoikeudet sovelluksen testaamiseen, ja tiedosto saatiin tulostettua lisäosalla. Tiedostojen avaamista varten jouduttiin asentamaan BTL-viewer ohjelmisto. Kuviossa 17 on esitetty BLT Exportin tulostusnäky.



Kuvio 17. Tekla Structures, BTL Export (ML019), tulostusasetuksien määrittäminen (Construsoft).

4.2 Mallisuunnitelmasisällön läpikäynti tehtaiden kanssa

Elementtiluettelon osalta suunnitelmia läpikäydessä selvisi, että mallisuunnitelmiin olisi hyvä lisätä myös asennusjärjestys juoksevana lukuna. Lisäksi huomautettiin, että elementti-tehtaiden saamat elementtiluettelot eivät aina pidä paikkaansa tilavuuksien ja mittojen osalta. Luetteloita laadittaessa tulisikin tarkastaa käsin laskemalla, että varmasti on oikea asetus valittuna.

Mallielementtipiirustuksen osalta selvisi, että sen laatiminen ei ole välttämätöntä kaikissa tapauksissa. 3D-malli riittää ensisijaisesti, kunhan kaikki varaukset ovat mallissa. Mikäli elementtiin liittyen on tarve esittää tarkempia detalleja, esimerkiksi nostoelimiä kiinnityksistä tai erityisistä työstöistä, on elementtipiirustus hyvä laatia CAM-ohjelmoinnin ja varsinaisen valmistuksen tueksi.

Tasopiirustukseen lisätyn elementtiluettelon osalta elementin yksilöivän tunnuksen käytössä oltiin halukkaita käyttämään Puutuoteteollisuus ry:n Puuelementin nimikkeistö- ja luettelo-ohjeen liitteitä 1. ja 2. Levytyypin osalta pidettiin riittävänä, kun levytyyppi mainittiin valmistajakohtaisesti. Toivottiin, että luettelosta selviävä pintalaatu ja sen merkitsemistapa elementtitunnuksen suhteen olisi avattu luettelon alareunassa siten, että tulkinnat olisivat yksiselitteisiä.

Tasopiirustuksen normaalin mitoituksen lisäksi toivottiin juoksevaa mitoitusta nurkasta, mistä asennus aloitetaan. Näiden lisäksi olisi mainittava asennusjärjestys, joka olisi hyvä esittää ainakin elementtiluettelossa juoksevana numerointina.

Elementtien valmistuskuvien jäädessä useissa tapauksissa tarpeettomiksi, ilmeni kuitenkin, että elementtien painopiste sekä tuenta olisi hyvä esittää suunnitelmissa. Hyväksiksi esitystavaksi todettiin molempien tehtaiden kanssa seinäprojektiot (ns. naamakuvat), johon mitoitettiin tuentapisteet ja elementin painopiste, mikäli käytetään elementtitehtaan nostoelimiä. Pienissä kohteissa leikkaukset voisivat olla samalla piirustusarkilla tasopiirustuksen kanssa, ja laajemmissa hankkeissa olisi syytä ottaa oma piirustusarkki seinäprojektiota varten. Elementtien tuentaan liittyvät detaljit olisi hyvä esittää myös taso- tai leikkauspiirustuksissa, jotta tieto menee asennusporukalle. Sen lisäksi, että asennusturvallisuus paranee, voidaan elementtien seinäprojektiota hyödyntää myös varauksien tarkistukseen.

Tasopiirustuksen hyödyntäminen yhdessä koko rakennuksen CLT-rakenteiden IFC-mallin kanssa koettiin hyväksi, kun tehdään tarjoustähteistä. Mikäli varauksia ei ole ehditty teke- mään tarjouspyyntövaiheeseen, tulisi se mainita suunnitelmissa, jolloin puuttuvat työstöt voidaan hinnoitella erikseen tarjouksessa.

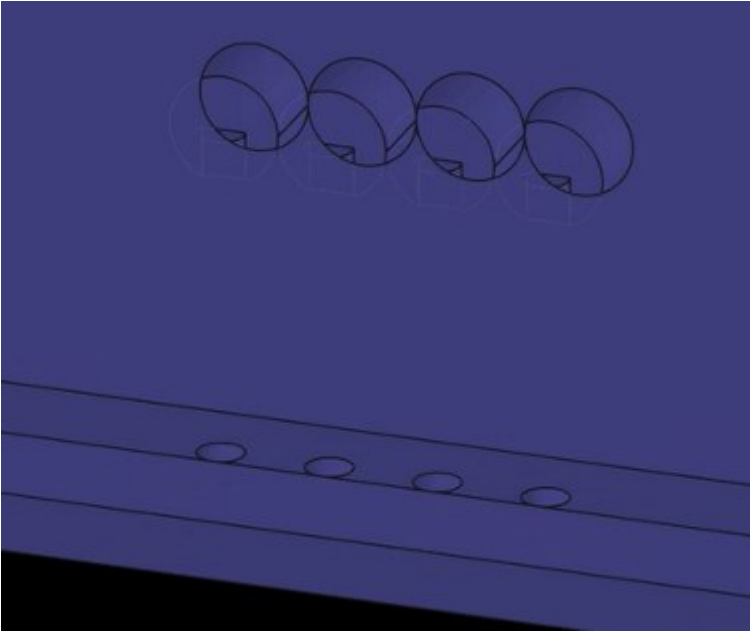
4.3 Eri asetuksilla tulostettujen tiedostomuotojen testaus

Mallisuunnitelmapaketin sisältöä läpi käydessä selvisi, että lähes aina tiedostoja joudutaan muokkaamaan tiedostomuodosta toiseen siten, että työstökoneen ohjelmointi saadaan onnistumaan. Työstökoneet käyttävät tehtaasta ja työstökoneesta riippuen eri tiedostomuotoja, joista yleisimmät olivat BTL- ja SAT-tiedostot. Tiedostot konvertoitiin yleensä IFC-tiedostosta tai pienemmissä hankkeissa kasattiin 2D-kuvien pohjalta. Suositeltava tapa oli molemmilla tehtailla kuitenkin IFC-tiedostoformaatti.

IFC-tiedostojen toimintaa testattiin useilla eri tulostusasetuksilla, joita olivat seuraavat:

- steel fabrication view
- coordination view 2.0
- surface geometry
- IFC4.

Tiedostojen avautumisessa oli tehdaskohtaisesti vaihtelua. Toisella tehtaalla hyvin toimiva steel fabrication view -asetuksilla tulostettu tiedosto ei toiminut toisen tehtaan ohjelmistoissa vaan piirustus pirstaloitui tiedoston konvertoinnissa. Syyksi epäiltiin rasiavarauksien leikkauspintojen kohtaamista ja joissain tapauksissa tämä on saatu korjaantumaan, kun varaukset on mallinnettu 1 mm:n sisäkkäin tai vaihtoehtoisesti sen verran erilleen. Kuviossa 18 on esitetty Cadwork 3D:llä avatusta rasiatyöstöstä näkymä.

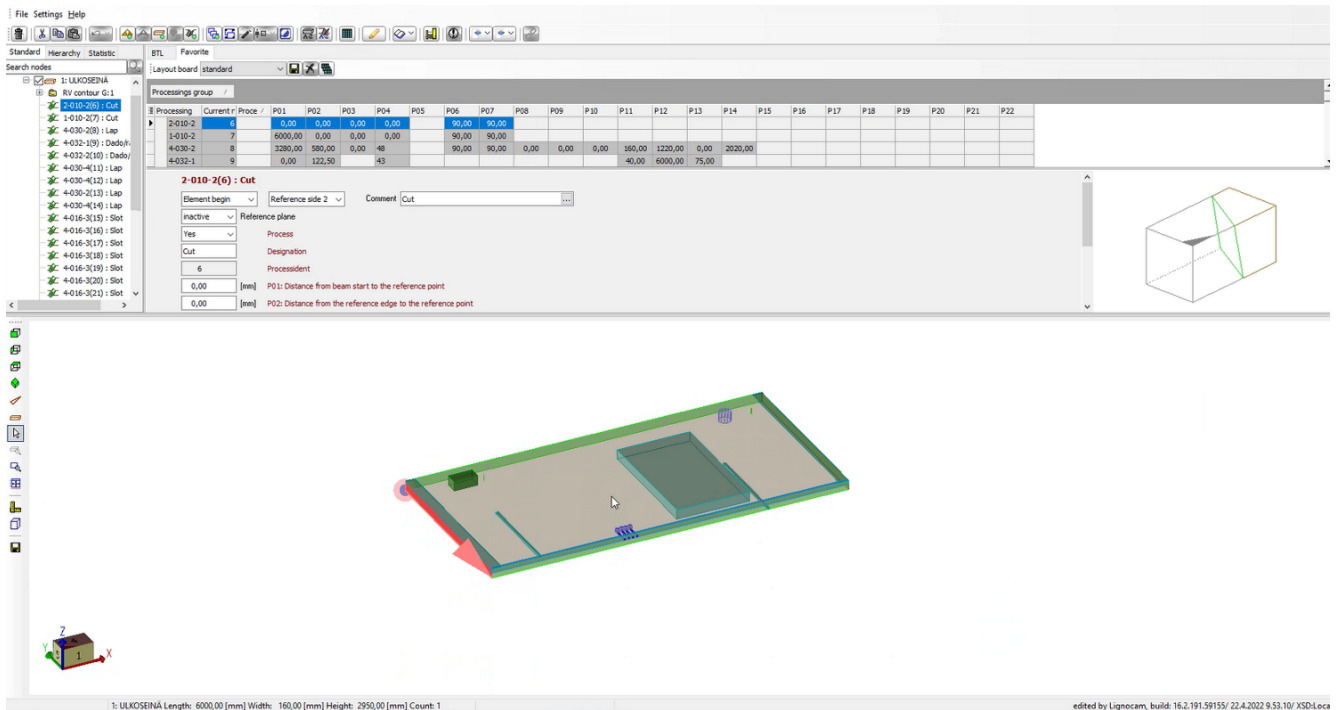


Kuvio 18. Rasiatyöstöjen näkymä Steel Fabrication -asetuksilla tulostetusta IFC:stä, pinnat pyöreitä.

Coordination view 2.0 asetuksilla tehty IFC kadotti toisessa tehtaassa kaiken muun kuin nos-toelimet ja pintamerkinnot, ja toisessa tehtaassa se rikkoi itsensä 3D-viivapiirustukseksi.

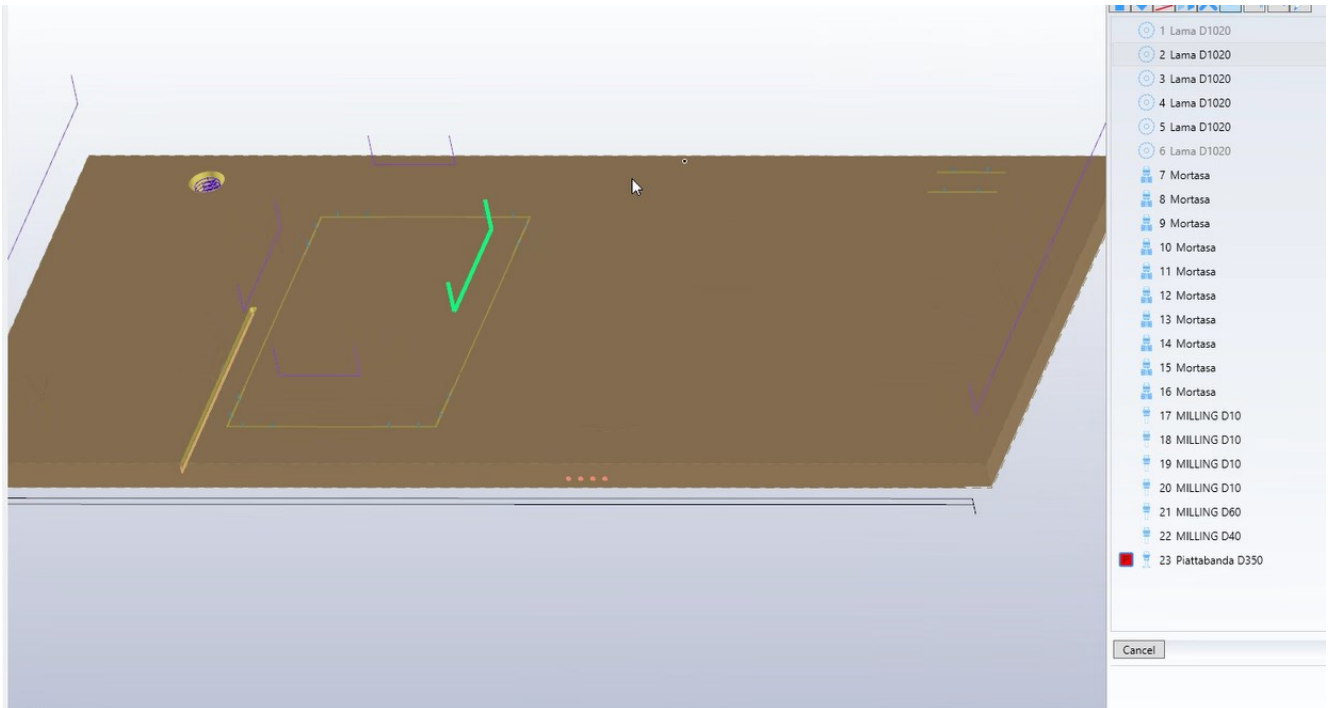
Surface geometry asetuksilla tulostettu tiedosto toimi molemmilla tehtailla, vaikka siinäkin geometriaa jouduttiin muokkaamaan.

IFC4 tiedosto oli tehty vain yksillä asetuksilla testiin, ja se toimi molemmissa tehtaissa. Toi- sessa tehtaassa siitä konvertoitiin testiksi BTL-tiedosto ja se avattiin BTL-viewer -ohjelmis- tolla. Kuviossa 19 on esitetty ohjelman näkymä.



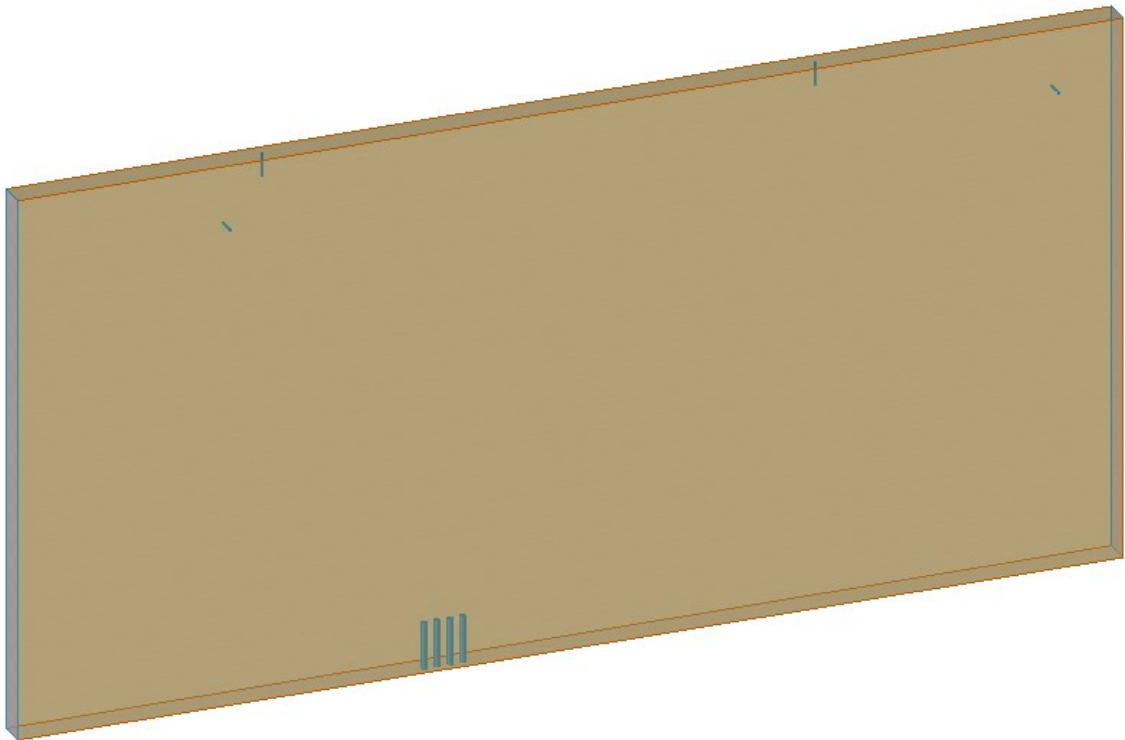
Kuvio 19. BTL-viewer -ohjelmiston näkymä IFC4-tiedostosta konvertoidulla BTL-tiedostolla.

BTL-tiedosto avattiin myös Maestro CNC-ohjelmistossa, jossa pystyi muokkaamaan ohjelman automaattisesti tekemiä työstöjä. Toisessa tehtaassa BTL-tiedoston käyttöä ei ollut koettu työstöjen ohjelmointia nopeuttavaksi, vaikka ohjelmisto määrittääkin automaattisesti työstöt, jolloin ne vaan muokataan halutunlaiseksi. Kuviossa 20 on esitetty aukotuksen alue, minne on määritetty työstöt siten, että isot alueet työstetään sirkkelillä ja nurkat ketjusahalla. Nurkkien sahaus tulisi kuitenkin muuttaa todellisessa tilanteessa tappijyrtsinnäksi, jotta työstöjälki olisi siisti.



Kuvio 20. Ohjelmoitu työstö sirkkelillä.

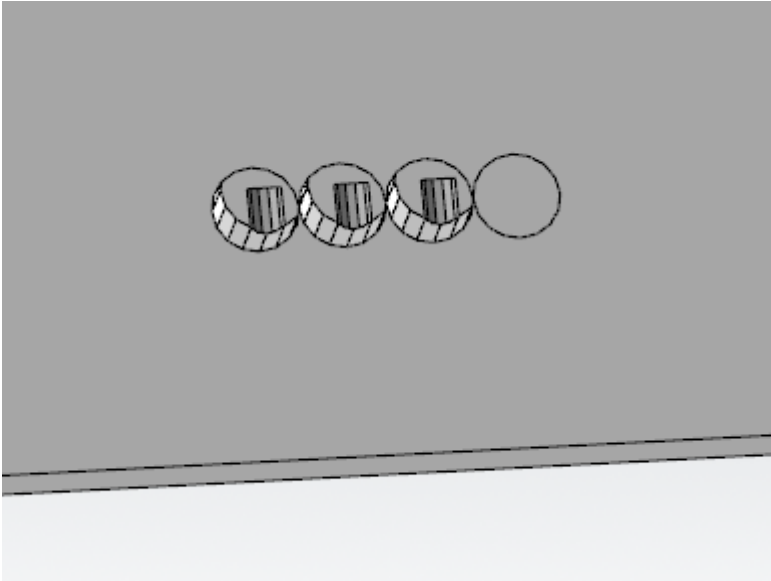
BTL-tiedoston tuottaminen onnistui Tekla Structures -ohjelmistoon saatavalla lisäosalla. Kuviossa 21 on esitetty BTL-viewer ohjelmistolla avattu näkymä tiedostosta. Tiedosto kuitenkin kadotti kaikki aukot, syvennykset ja varaukset. Koska tämä ei ollut toivotuin tiedostomuoto, tulostusasetuksia ei tutkittu tarkemmin, Construsoftin edustaja kuitenkin selvitti natiivimallin perusteella syyn aukkojen katoamiseen, ja malli saatiin korjattua. Jos CLT-tehtaiden toive on tulevaisuudessa BTL-tiedosto, on hyvä tietää, että sen tulostaminen Tekla Structures -ohjelmistolla on mahdollista Construsoftin tekemän lisäosan avulla.



Kuvio 21. Tekla Structures -ohjelmiston lisäosalla BTL Export (ML019) -tuotettu BTL-tiedosto, avattuna BTL-Viewer ohjelmistolla.

IFC-tiedostojen testauksen osalta voidaankin todeta, että tulostusasetuksia täytyy vielä testata, jotta lopulliseen ohjeistukseen saadaan selville varmuudella toimivat asetukset. Asetuksista riippumatta tulostetut tiedostot on syytä avata ja tarkistaa, jotta kaikki tietomallissa olevat varaukset ovat varmasti tulostuneet siihen.

STP-tiedostojen osalta haasteita tuli enemmän kuin IFC-tiedostoilla. Tiedostot tulostettiin useilla eri asetuksilla, kuten IFC-tiedostotkin. Steel fabrication view asetuksilla tulostettu tiedosto kadotti aukot kokonaan, Coordination view 2.0 ja Surface geometry -asetukset kadottivat mallista sähkörasioiden varauksia. Kuviossa 22 on työstön ohjelmointiin käytettävän Mastecam-ohjelmiston näkymä STP-tiedostosta.



Kuvio 22. Kadonnut varaus STP-tiedostossa Mastercam-ohjelmistolla avattuna.

STP-tiedostonkin kohdalla on mahdollista, että mallinnustavoilla ja tulostusasetuksilla 3D-tiedosto saataisiin tuotettua siten, että kaikki varaukset tulisivat näkyviin. STP-tiedoston käyttöä ei tutkita kuitenkaan enempää, koska IFC-tiedosto on standardisoitu tiedostomuoto ja sen käyttö on perusteltua, kun sen tuottaminen onnistuu kaikista tietomallinnus ohjelmistoista.

4.4 Lopullinen suunnitelmatarve

Lopullinen suunnitelmatarve saatiin koottua teorian tiedon sekä kyselyn perusteella laaditun mallisuunnitelmapaketin läpikäynnin jälkeen. Liitteessä 3. on esitetty suunnitelmien sisältö kootusti.

Tutkimusta tullaan tulevaisuudessa jatkamaan niin, että IFC-tiedoston tulostukseen liittyvät asetukset ja mallinnustavat tullaan varmistamaan Tekla Supportin kanssa, jotta näihin saataisiin ohjeistettua luotettavammin toimiva tulostustapa. Varmistuksen jälkeen tehdään vielä testi CLT-elementtitehtaiden kanssa.

5 YHTEENVETO JA POHDINTA

Työssä haluttiin selvittää, mitkä olisivat tulevaisuuden toimintatavat CLT-rakenteiden tietomallinnukseen Tekla Structures -ohjelmistolla ja miten ohjelmistoa saataisiin hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti. Tutkimuskysymykset olivat, mikä betoni- ja terästeollisuudesta tuttu tietomallintamisen ja piirustusten laadinnan toimintatapa soveltuisi parhaiten puurakentamiseen CLT-rakenteiden osalta ja saadaanko Tekla Structures -ohjelmistolla CAM-ohjelmointia helpottavia tiedostomuotoja, jotka nopeuttaisivat varsinaista työstöratojen ohjelmointia.

Teoriaosassa selvitettiin yleisellä tasolla nykyisiä toimintatapoja tietomallintamisen ja koneistuksen osalta. Betoni- ja puurakentamisen osalta käytiin läpi nykyisiä käytäntöjä tietomallintamisen osalta.

Kyselytutkimus tehtiin kotimaisille CLT-valmistajille. Molemmat valmistajat vastasivat kyselyyn ja vastauksien avulla saatiin tutkimuskysymyksiin vastaukset. Kyselyn tuloksena voidaan todeta, että elementtivalmistajat haluavat laajemmissa hankkeissa toimia elementtien valmistajana, jolloin insinööritoimisto laatii yhteistyössä heidän kanssaan tuotannon vaatimat tiedostot ja dokumentit. CAM-ohjelmoinnin osalta parhaaksi tiedostomuodoksi sekä suunnitelmapaketin osaksi valikoitui IFC-tiedosto, joten tiedoston tulostusasetuksia tullaan jatkossa vielä selvittämään tarkemmin.

Tehdyn tutkimuksen perusteella voidaan ohjata insinööritoimistojen yrityskohtaisia toimintatapoja ja tietomallintamishojeita yhtenäisempään suuntaan laajempien hankkeiden osalta, kun kyseessä on kotimainen elementtitoimittaja. Tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että elementtitoimittajat ovat todella yhteistyöhaluisia ja neuvovat mielellään CLT-elementtien suunnittelijaa CNC-työstön rajoitusten osalta. Yksittäisen suunnittelijan ei tarvitse osata CAM-ohjelmointia, mutta työstötavat on syytä tuntea suunnitelmia laadittaessa. Työstötapa huomioiden päästään pienempään hukkaan ja sitä kautta edullisempaan lopputulokseen.

Pohdinta

CLT-rakenteiden koneistukseen, tietomallinnukseen ja CAM-ohjelmointiin perehtyminen kasvatti ammatillista osaamista sekä oli erittäin antoisaa ja mielenkiintoista. Työtä tehdessä hankittua tietoa voidaankin hyödyntää tulevaisuudessa laaja-alaisesti. Yleisten toimintatapojen yhtenäistämisen lisäksi kerättyjen tietojen perusteella voidaan laatia yrityskohtaiset CLT-

rakenteiden tietomallinnusohjeet sekä piirustusohjat Tekla Structures -ohjelmistoon. Ohjeiden ja piirustusohjien avulla tehostetaan ja yhtenäistetään CLT-rakenteiden suunnittelua.

Tulevaisuudessa puurakentamisen lisääntyessä yleiset tietomallivaatimukset tulevat tarkentumaan ja toimintatavat yhtenäistymään. Työssä saatiin tutkimuskysymyksiin vastaukset ja sen perusteella voidaankin todeta, että piirustusohjia kannattaa jatkokehittää ja viedä eteenpäin.

Jatkotutkimuksen aiheeksi työtä tehdessä nousi CLT-elementtien nostojen tarkempi ohjeistus ja mitoitus. Aiheesta on tehty opinnäytetöitä, mutta virallista Betoniteollisuus ry:n *Betonielementtien nostolenkit- ja ankkurit* vastaavaa teosta ei ole vielä tehty. Nostoelimiä löytyy kattavasti monelta valmistajalta ja niiden mitoitus- ja sijoitusohjeet olisi hyvä koota yhteen. Toinen jatkotutkimusaihe on, pystyvätkö ulkomaiset elementtitoimittajat valmistamaan elementit samoilla suunnitelmilla.

Opinnäytetyö ei ole virallinen ohjeistus, mutta siitä selviää suunnitelmien laatimiseen tarvittava sisältö ja yksi mahdollinen toteutustapa. Ala kehittyy nopeasti ja siksi elementtitoimittajaan kannattaakin olla yhteydessä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta parhaimmat toimintatavat tulevat ajoissa käyttöön.

LÄHTEET

- Betoniteollisuus. (i.a.). *Elementtisuunnittelu*. Betoni. <https://betoni.com/suunnittelu/rakenne-ja-elementtisuunnittelu/elementtisuunnittelu/>
- Betoniteollisuus. (2016). *BEC2012 Elementtisuunnittelun mallinnusohje*. https://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23982/BEC2012%20Elementtisuunnittelun%20mallinnusohje_v110.pdf
- Betoniteollisuus. (2022). *Tietoa sivustosta: hyödyllistä tietoa betonielementtirakenteiden suunnitteluun, rakentamiseen ja käyttöön*. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/tietoa-sivustosta>
- BuildingSMART Finland. (2012a). *Yleiset tietomallivaatimukset 2012: osa 1. yleinen osuus*. <https://drive.buildingsmart.fi/s/7FPE7tGocYZw8BY>
- BuildingSMART Finland. (2012b). *Yleiset tietomallivaatimukset 2012: osa 5. rakennesuunnittelu*. <https://drive.buildingsmart.fi/s/HS3iyQg8WBZmMbM>
- CLT Finland. (i.a.-a). *Hoisko CLT-levyn perustiedot*. https://hoisko.fi/wp-content/uploads/2020/07/Hoisko-CLT-levyn-perustiedot-6_18.pdf
- CLT Finland. (i.a.-b). *Ohje LVISA-työstöihin HOISKO CLT -massiivipuu-elementeissä*. <https://hoisko.fi/wp-content/uploads/2021/08/Sahkosuunnittelu-HOISKO-CLT-elementeissa.pdf>
- CLT Finland. (i.a.-c). *Rakentaminen: suunnittelijat*. <https://hoisko.fi/rakentaminen/suunnittelijat/>
- CLT Finland. (2022). *Plaanaus parantaa maalin tarttuvuutta – HOISKO CLT kehitti erikoishöyläyksen ulkopintoja varten*. <https://hoisko.fi/2022/06/21/plaanaus-parantaa-maalin-tarttuvuutta-hoisko-clt-kehitti-erikoishoylayksen-ulkopintoja-varten/>
- Crosslam CLT. (i.a.-a). *CLT materiaalin ominaisuudet, tekniset tiedot ja rakentaminen*. <https://crosslam.fi/crosslam-clt/>
- Crosslam CLT. (i.a.-b). *CLT-suunnittelun ohje*. <https://crosslam.fi/wp-content/uploads/2022/10/clt-suunnittelun-ohje.pdf>
- De Araujo, V., & Christoforo, A. (2023). The global cross-laminated timber (CLT) industry: A systematic review and a sectoral survey of its main developers. *Sustainability*, (15)10, artikkeli 7827, 1–27. <https://doi.org/10.3390/su15107827>

- Grandmont, J.-F., Yeh, B., & Dagenais, C. (2019). Cross-laminated timber manufacturing. Teoksessa E. Karacabeyli, & S. Gagnon (toim.), *Canadian CLT handbook, 2019 edition* (luku 2, s. 1–45). FPInnovations. <https://web.fpinnovations.ca/download/clt-handbook-2019-full-edition/>
- Heinonen, M., & Kalliolahti, J. (2020). *Koneistustekniikka*. Sanoma Pro.
- Hirsjärvi, S., Remes, P., & Sajavaara, P. (2008). *Tutki ja kirjoita* (14. uud. p.) Tammi.
- Ilmastolaki 609/2015. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150609>
- Mikkola, M. (2023). *Puuteollisuuden tavoitteet hallituskaudelle 2023–2027. Puutuoteteollisuus*. <https://puutuoteteollisuus.fi/ajankohtaista/asiantuntija-artikkelit/puutuoteteollisuuden-tavoitteet-hallituskaudelle-20232027>
- Parma. (2020). *Parman ontelolaatatot: mallinnusohje*. https://parma.fi/wp-content/uploads/2020/12/parma_laatastomallinnus_11_2020.pdf
- Puuinfo. (i.a.-a). *Teollisen puurakentamisen opetusmateriaali -aineistot: CLT-levyjen valmistus*. <https://puuinfo.fi/koulutus/oppimateriaalit/teollisen-puurakentamisen-oppimateriaali-tpuur-aineistot/>
- Puuinfo. (i.a.-b). *Puurakenteiden suunnittelu: määräykset, suunnittelu- ja mitoitusohjeet sekä suunnittelutyökalut rakennusalan ammattilaisille*. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/>
- Puuinfo. (2020a). *Massiivipuulevyrakenteet: seinän ominaisuudet* <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/seinan-ominaisuudet/>
- Puuinfo. (2020b). *Massiivipuulevyrakenteet: materiaalivaihtoehdot* <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/materiaalivaihtoehdot/>
- Puuinfo. (2023). *Puutieto, insinööripuutuotteet: monikerroslevy (CLT)*. <https://puuinfo.fi/puutieto/insinööripuutuotteet/monikerroslevy-clt/>
- Puutuoteteollisuus. (2023). *Puuelementin nimikkeistö- ja luettelo-ohje. Puutuoteteollisuus ry*. <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2023/11/PuuBIM-FINAL.pdf>
- Rakennustieto. (2024). *Rakennesuunnittelun lähtötiedot betonielementtisuunnitteluun sekä keskinäiseen tiedonvaihtoon liittyviä muita velvoitteita*. (RT-103683).
- Rakentamislaki 751/2023. <https://tukes.edilex.fi/sv/lainsaadanto/20230751/fi>
- Smid, P. (2008). *CNC Programming handbook: A Comprehensive guide to practical CNC programming*. (3. p.). Industrial Press.

- Stora Enso. (i.a.). *Building the future with cross-laminated timber: Surface qualities*. <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-products/clt>
- Swedish wood. (2019). *The CLT handbook: CLT structures, facts and planning*. <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=canadian+clt+handbook+2019>
- Trimble Solutions. (i.a.-a). *Tekla user assistance: Wall layout tools*. https://support.tekla.com/doc/tekla-structures/2024/wall_layout_tools_help
- Trimble Solutions. (i.a.-b). *Tekla user assistance: Custom components*. https://support.tekla.com/doc/tekla-structures/2019/det_what_is_custom_component
- Trimble Solutions. (i.a.-c). *Tekla user assistance: Tekla model sharing*. https://support.tekla.com/doc/tekla-structures/2024/ms_what_is_model_sharing
- Trimble Solutions. (i.a.-d). *Tekla user assistance: Import to and export from Tekla Structures*. https://support.tekla.com/doc/tekla-structures/2024/int_importing_to_and_exporting_from_ts
- Trimble Solutions. (i.a.-e) *Tekla user assistance: How can i export Tekla's 3D objects as 3D Solid while exporting to AutoCAD 3D DWG format?* <https://support.tekla.com/fi/node/161151>
- Trimble Solutions. (i.a.-f) *Tekla Structures: Multi converter*. <https://support.tekla.com/help/tekla-structures/not-version-specific/multi-converter>
- Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). (2022). *Hiilineutraali Suomi 2035: kansallinen ilmasto- ja energiastrategia* (Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 2022:53, Energia). <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-811-0>
- Vilka, H. (2021). *Tutki ja kehitä* (5. päiv. p.). PS-kustannus.
- Wallner-Novak M., Koppelhuber J., & Pock K. (2014). *Cross-Laminated Timber Structural Design: Basic design and engineering principles according to Eurocode*. proHolz Austrian. <https://www.proholz.at/publikationen/cross-laminated-timber-structural-design>
- Ympäristöministeriö (YM). (i.a.). *Rakentamislaki ohjaa kestävästä rakentamisesta*. <https://ym.fi/rakentamislaki>
- Ympäristöministeriön asetus rakennuksen paloturvallisuudesta 848/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848>
- Ympäristöministeriö (YM). (2019). *Rakennuksen vähähiilisyysarviointimenetelmä* (Ympäristöministeriön julkaisu 2019:22). <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3>

LIITTEET

Liite 1. CLT-rakenteet tietomallinnuksesta koneistukseen, kysely valmistajille

Liite 2. IFC:tä tarkentava elementtipiirustus pdf-muodossa

Liite 3. CLT-suunnitelmien sisältö

Liite 1. CLT-Rakenteet tietomallinnuksesta koneistukseen: kysely valmistajille

1. Edustamasi yritys?
2. Vastaajan toimenkuva ja työkokemus kyseisessä tehtävässä?
3. Mikä on yleisin toimintapa, kun elementtitehdas laatii CLT-elementtisuunnitelmat? (esim. ohjelmisto, piirustuksen tiedostomuoto ym.)
4. Mikä on yleisin toimintapa, kun ulkopuolinen insinööritoimisto laatii CLT-elementtisuunnitelmat?
5. Missä formaatissa piirustukset yleensä toimitetaan?
6. Kuinka sähkökierto toteutetaan, kun elementtitehdas laatii CLT-elementtisuunnitelmat?
7. Kuinka sähkökierto toteutetaan, kun ulkopuolinen insinööritoimisto laatii CLT-elementtisuunnitelmat?
8. Kuka suunnittelee elementin tuennan työmaalla ja määrittelee nostoelimet, kun elementtitehdas laatii CLT-elementtisuunnitelmat?
9. Kuka suunnittelee elementin tuennan työmaalla ja määrittelee nostoelimet, kun ulkopuolinen insinööritoimisto laatii CLT-elementtisuunnitelmat?
10. Tehdäänkö elementteihin työmaa-aikaista tuentaa varten esiporausta (esimerkiksi kansiruuville) ennalta määriteltyihin paikkoihin?
11. Mikä on elementin toivottu katsomissuunta piirustuksessa?
12. Onko betonteollisuudesta tuttu "muottiin päin" katsominen hyvä perusoletus elementtejä suunniteltaessa? Eli käytännössä hiottava pinta (usein myös sisäpinta) jäisi ylös. Miksi?

13. Mikäli pintalamellin sivuttaissuunnalla on merkitystä arkkitehtuurisesti, missä ja miten tämä tulisi esittää? (Jos halutaan esimerkiksi, että päällekkäin olevien elementtien pystypuut ovat samalla kohdalla)
14. Onko käytössä jotain vakio-/varasto-osia, joita olisi hyvä käyttää suunnitelmissa? (Nosto tms.)
15. Onko CLT-rakentamisessa suunnittelun/tietomallintamisen osalta ongelmia/haasteita? Valitse ne, joissa ongelmia/haasteita ilmenee:
- Tuotannon kannalta CLT-rakennesuunnittelun osalta, mitä:
 - CLT-rakenteiden tietomallinnuksessa, mitä:
 - Ulkopuolelta tulevien elementtisuunnitelmien osalta, mitä:
 - Muita ongelmia/haasteita, mitä?
16. Onko suunnittelussa kustannus- ja tuotantotehokkuuden suhteen ongelmia? Jos on, mitkä ovat merkittävimmät?
17. Tuleeko hankkeen koon mukaan lisää huomioitavia asioita (vrt. omakotitalo–päivä-koti)?
18. Mitä kaikkia tiedostomuotoja CNC-koneen ohjelmointiin voidaan käyttää? (Tiedostot tulostettu Teklasta ja testattu MasterCAM-ohjelmistolla, tiedostot aukeavat ja vaikuttaisi olevan geometrialtaan oikein)
- STP (STEP)
 - IGS (IGES)
 - OBJ (OBJ, 3D Object)
 - STL(STL)

- e. DWG
- f. DXF
- g. Jokin muu, mikä?

19. Mitä kaikkia tiedostomuotoja CNC-koneen ohjelmointiin voidaan käyttää? (Tiedostot tulostettu Teklasta ja testattu MasterCAM-ohjelmistolla, tiedostot ei aukea ohjelmalla mutta pystyy tuottamaan)

- a. IFC
- b. DGN
- c. Jokin muu, mikä?

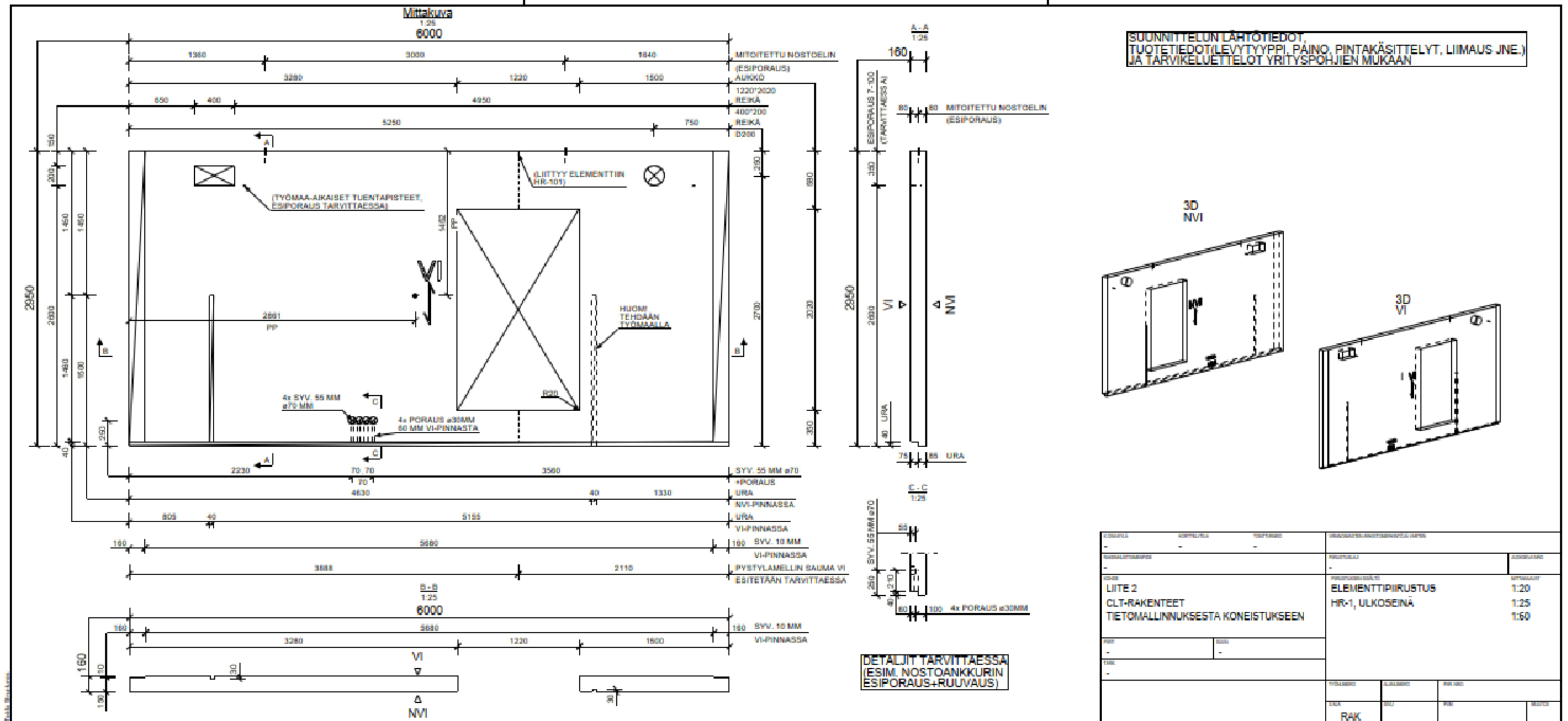
20. Mitkä tiedostomuodot on todettu parhaaksi CAM-ohjelman käytön yhteydessä?

21. Mikä seuraavista toimintatavoista olisi tulevaisuudessa tehokkain ja toimivin suuremmissa hankkeissa?

- a. Insinööritoimisto suunnittelee, mallintaa ja laatii tuotantoa varten tarvittavat piirustukset/tiedostot kaikkine LVISA-varauksineen
- b. Elementtitehdas suunnittelee ja käy mallintamassa Tekla Model Sharingin (verkon kautta jaettu tietomalli) avulla rakenne-/elementtisuunnittelun tietomalliin ckt-rakenteet (vrt. Peikko delta-palkit / Consolis Parma ontelo-/ja kuorilaatat. Käyvät tietomallintamassa osassa hankkeissa Tekla Model Sharingin avulla omat tuoteosansa RAK/ELE-tietomalliin.)
- c. Jokin muu tapa, mikä?

22. Mikäli jokin olennainen jäi kysymättä, tähän alle voi kirjoittaa vapaasti.

Liite 2. IFC:tä tarkentava elementtipiirustus pdf-muodossa (ei mittakaavassa).



Liite 3. CLT-suunnitelmien sisältö

Elementtiluettelo:

- kohdetiedot
- elementtitunnus
- kappalemäärä
- asennusjärjestys juoksevana lukuna
- levytyyppi (valmistajakohtainen lyhyt muoto, esim. CLT100 L5s)
- leveys
- pituus
- paino
- bruttoala
- nettoala
- tilavuus
- kerros
- alapinnan korko
- pintalaatu.

Elementtipiirustus:

- elementtitunnus (hankkeessa sovitulla tavalla, esim. HR-, HV-, HLM- jne.)
- päämitat
- tuotetiedot
- pintalamellien suuntanuoli (Myös IFC-tiedostoon)
- pintojen laatu (VI / NVI / IVI)
- aukkomitat (tappijyrsimen nurkkapyöröstys huomioitava aukkojen mitoituksessa / maininta terävästä nurkasta / maininta tappijyrsimen nurkan ylityksestä)
- reiät (halkaisija / koko b*h)
- uritukset, syvennykset ja pontit
- lamellien kohdistus ja tarvittaessa maininta liiyyttävästä elementistä
- LVISA-varaukset, niiden poraukset ja uritukset (rasiareikien vakio koko Ø70/90 mm, syvyys 55 mm, tapauskohtaisesti)
- syvennykset (esim. kiinnityksen vaatimat kulmalevyt)

- tehtaalla tehtävä varustelu, esim. nosto (mitoitus painopisteen suhteen, tarvittaessa esiporaus / työstö)
- asennusaikainen tuenta (esiporaus tarvittaessa, mahdollisuuksien mukaan piiloon)
- painopiste
- detaljit liittyen valmistukseen tai työstöön.

Tasopiirustus:

- elementtitunnukset katsomissuunnan mukaan (PuuBIM)
- elementtien mitoitus
- asennuksen aloituspiste
 - juokseva mitoitus asennusjärjestys huomioiden (tarvittaessa, elementtimitoituksen lisäksi)
- suunnitteluvaihe / -aste

Tasopiirustuksen elementtiluetteloon:

- alapinnan korko
- elementtitunnus (PuuBIM)
- kappalemäärä
- nimi (ulkoseinä, väliseinä jne.)
- levytyyppi (valmistajakohtainen lyhyt muoto, esim. CLT100 L5s)
- paino [t]
- pintalaatu selitteineen, miten luetaan (esim. elementtitunnuksen lukusuunta on ensimmäinen laatu, laatoissa yläpuoli on ensimmäinen laatu).

Seinän projektionäkymät (ns. naamakuva), pienissä kohteissa tasopiirustuksen kanssa samalle paperiarkille:

- tuentapisteet
- elementtien painopiste
 - nostokohdat mitoitettuna elementtitehtaan nostoelimiä käytettäessä (tarvittaessa)
- tuennan detaljit
- muut asennukseen vaikuttavat erityishuomiot.