

Nostinpalkin ja sen tukirakenteiden rakennesuunnittelu

Anna-Sophie Taylor

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2023

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Talonrakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Talonrakennustekniikka

TAYLOR, ANNA-SOPHIE:

Nostinpalkin ja sen tukirakenteiden rakennesuunnittelu

Opinnäytetyö 61 sivua, joista liitteitä 12 sivua
Toukokuu 2023

Tämän opinnäytetyössä suunniteltiin nostinpalkit ja niiden tukirakenteet 2300 kg painavalle murskaimelle olemassa olevaan tehtaaseen helpottamaan murskaimen vuosittaisissa huoltotöissä. Opinnäytetyön tilaajana toimii Etteplan Finland Oy:n rakennesuunnitteluosasto, jonka asiakkaalle projekti tehtiin.

Opinnäytetyössä esiteltiin projektin merkittävimmät työvaiheet, jotka on jaettu projektin vaiheiden mukaisesti otsikoihin. Työvaiheita esitellään aina projektin lähtötietoihin tutustumisesta toteutussuunnitelmien laatimiseen asti. Opinnäytetyössä käsitellään useita projektin työvaiheita, mutta työn keskeisimpiä aiheita olivat uusien rakenteiden liittäminen olemassa oleviin rakenteisiin sekä lisärakentamisessa ilmeneviin muutoksiin varautuminen.

Opinnäytetyö suoritettiin projektiluontoisesti työn tilaajalle yrityksen rakennesuunnitteluosaston avustama. Työssä hyödynnettiin eurokoodeja, eli kantavien rakenteiden suunnittelua käsitteleviä eurooppalaisia standardeja, sekä laajasti muuta rakennesuunnittelijalle hyödyllistä kirjallisuutta. Tietomallintaminen suoritettiin Etteplanin sisäisten vaatimusten mukaan Tekla Structures -ohjelmistolla. Rakennelaskelmia suoritettiin useilla eri laskentaan tarkoitetuilla ohjelmistoilla, teräksisten nostinpalkkien ja niiden tukirakenteiden mitoitus suoritettiin RFEM-ohjelmistolla.

Työn tuloksena luotiin projektille rakennesuunnitelmat asiakkaan tarpeiden mukaisesti ja kaikkiin tarvittaviin vaatimuksiin nähden. Suunnitteluprosessissa huomioitiin onnistuneesti olemassa olevan tehdasympäristön tuomat erityispiirteet ja vaatimukset. Sujuvan lisärakentamishankkeen tehostamiseksi tietomallintamisessa tulee hyödyntää ohjelmiston tarjoamia komponentteja, jotka mukautuvat mallissa suunnitelmien muuttuessa. Tietomallintamiseen tulee panostaa heti projektin alusta, sillä sen avulla sieltä saadaan toteutussuunnitelmat projektin lopussa tuotettua.

Asiasanat: rakennesuunnittelu, nostinpalkki, lisärakentaminen

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme of Construction Engineering
Building Construction

TAYLOR, ANNA-SOPHIE:
Structural design of a lifting beam and its support structures

Bachelor's thesis 61 pages, appendices 12 pages
May 2023

The aim of this thesis was to design lifting beams and support structures for an existing factory to facilitate the annual maintenance work for a 2,300 kg crusher. The project was commissioned by Etteplan Finland Oy's structural design department for their client.

The thesis covers different stages of the project, from reviewing the initial data to developing implementation plans. The central topics were integrating new structures into existing structures and preparing for changes that arise during additional construction. The project utilized Eurocodes and other relevant literature for structural design. Building information modeling was done using Tekla Structures software. Structural calculations were performed using several software programs, but the steel structures were designed using RFEM software.

The outcome of the project was the creation of structural plans that met the client's needs and all necessary requirements. The design process considered the special characteristics and requirements of the existing factory environment. Utilizing components offered by Tekla Structures software can streamline future construction projects, and investing in modeling from the beginning of the project enables the production of implementation plans at the end of the project.

Key words: structural design, lifting beam, additional development

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	PROJEKTIN LÄHTÖTIEDOT.....	6
2.1	Nostinpalkki.....	7
2.2	Nostin.....	7
3	TIETOMALLI NOSTINPALKEILLE JA TUKIRAKENTEILLE	9
3.1	Tekla Structures -ohjelmisto.....	9
3.2	Tietomallin luominen	10
3.3	Laserskannauksen hyödyntäminen rakennesuunnittelussa	12
4	LASKENTAMALLI NOSTINPALKEILLE JA TUKIRAKENTEILLE	15
4.1	RFEM-ohjelmisto.....	15
4.2	Laskentamallin luominen.....	16
5	YHTEISTYÖ ASIAKKAAN KANSSA.....	20
6	TUKIRAKENTEIDEN VÄLISET LIITOKSET	22
7	LIITTYMINEN OLEMASSA OLEVIIN RAKENTEISIIN	26
7.1	Liittyminen betonilattiaan.....	27
7.2	Liittyminen betonisokkeliin	33
8	MITOITUS.....	35
8.1	Teräsbetoni laatan lävistysmitoitus	35
8.2	Huomioita laskennasta.....	38
9	VALMISTUS, HITSIT JA PINTAKÄSITTELY	39
10	TOTEUTUSSUUNNITELMIEN LAATIMINEN.....	41
10.1	Teräsrakenteiden konepajasuunnittelu	41
10.1.1	Kokoonpanopiirustukset.....	42
10.1.2	Osapiirustukset	42
10.2	Asennuspiirustukset.....	43
11	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	45
	LÄHTEET	47
	LIITTEET	50
	Liite 1. Kokoonpanopiirustus.....	51
	Liite 2. Osapiirustukset.....	52
	Liite 3. Asennuspiirustukset	60

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on käydä läpi nostinpalkkien ja niiden tukirakenteiden rakennesuunnittelun prosessia samalla pohtien vaihtoehtoisia ratkaisuja rakennesuunnitelmiin.

Projektina asiakkaalle suunnitellaan 2300 kg painavalle murskaimelle kaksi nostinpalkkia ja niille tukirakenteet ja luoda niille vaadittavat suunnitelmat rakennesuunnittelun osalta. Rakenne suunnitellaan olemassa olevaan tehtaaseen, joka on rakennettu vuonna 2010. Tehdasympäristössä on paljon linjastoja eri tassa, minkä takia lisärakentamisen suunnittelu vaatii erityistä tarkkuutta.

Tarve nostinpalkeille on noussut vuosittaisten huoltotöiden seurauksena. Aikaisemmin huoltotöitä varten rakennetut väliaikaiset rakenteet tulevat kalliiksi ja niiden asentaminen vie aikaa. Tästä johtuen uusien pysyvien nostinpalkkien ja niiden tukirakenteiden tilaaminen ja rakennuttaminen on kannattava investointi.

Työssä on tavoitteena avata rakennesuunnittelun prosessia eri eurokoodien ja standardien avulla. Eurokoodit ovat eurooppalaisia standardeja, jotka koskevat kantavien rakenteiden rakennesuunnittelua. Työssä on tavoitteena valaista korjausrakentamisessa paljon näkyvää suunnitelmien muuttuvuutta. Vertaa, uudiskohteessa rakennus voidaan suunnitella valmiiksi, jonka jälkeen se rakennetaan huomattavasti pienemmällä muutosriskillä.

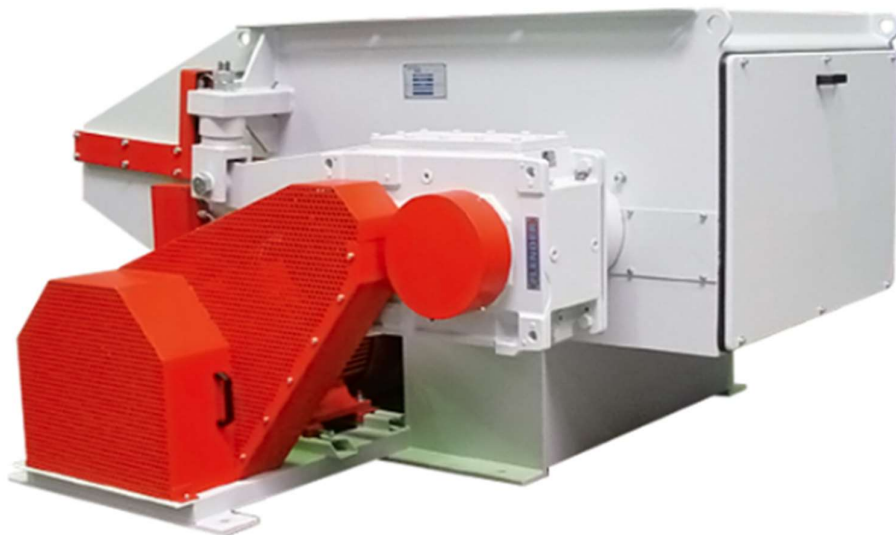
Opinnäytetyössä käsitellään projektin eri vaiheen teorioita sekä tutkimuksia projektin etenemisen järjestyksessä rakennesuunnittelun näkökulmasta. Työssä ei projektin aikataulullisista syistä oteta kantaa rakennesuunnittelijan rooliin tarjousvaiheessa eikä toteutussuunnittelussa.

Opinnäytetyön tilaajana toimii Etteplan Finland Oy:n rakennesuunnittelun osasto ja työ tehdään kyseisen yrityksen asiakkaalle. Rakennesuunnittelun yksikkö on erikoistunut teollisuusrakentamiseen ja suunnittelee uudiskohteita, laajennuksia sekä muutos- ja korjaushankkeita.

2 PROJEKTIN LÄHTÖTIEDOT

Projekti alkoi aloituspalaverilla, johon osallistui asiakkaan edustajat sekä Etteplan Finland Oy:n puolelta vastaava rakennesuunnittelija ja rakennesuunnittelija. Aloituspalaverissa käytiin läpi projektin tavoitteet, aikataulu sekä projektille yksityiskohtaisempia kysymyksiä, kuten tässä tapauksessa nostintyyppien vertailuja. Aloituspalaveri on myös sopiva paikka käydä läpi asiakkaalta saadut lähtötiedot, jotta voidaan heti, jos on tarpeen, pyytää tarkentavia suunnitelmia asiakkaalta.

Näiden lisäksi sovittiin kohdekäynti, jossa rakennesuunnittelija pystyisi tarkentamaan nostinpalkin sidontaa tehdasympäristöön ja jossa käytäisiin läpi alustavat rakennesuunnitelmat. Kohdekäynti oli erityisen tarpeellinen tässä projektissa, sillä olemassa olevan tehtaan pohjapiirustus on puutteellinen tehtaan nykyisten kuljettimien osalta. Kohdekäynnillä rakennesuunnittelijalle tarkentuu myös min-käläinen murskain on kyseessä, kuvassa 1 on esimerkki teollisen kohteen murskaimesta.



KUVA 1. Esimerkki teollisen kohteen murskaimesta (Innomac n.d.).

2.1 Nostinpalkki

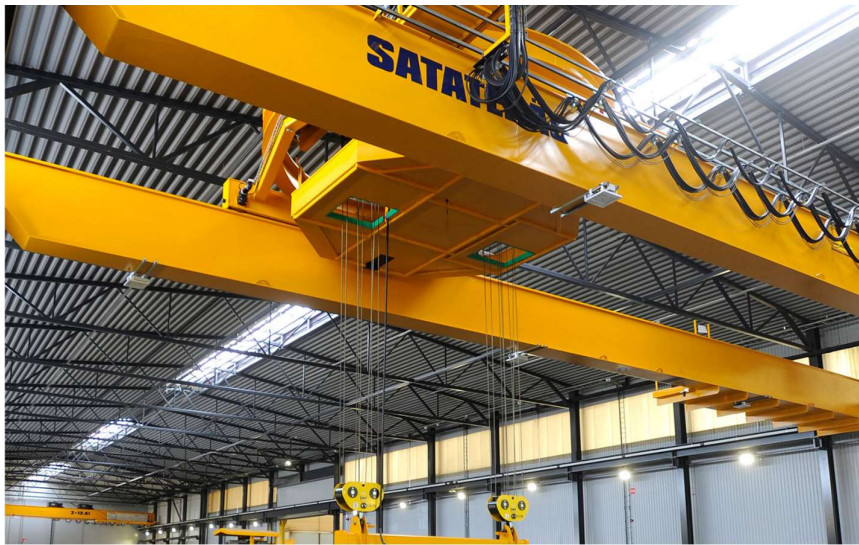
Suunniteltava nostinpalkki on rakenne, joka toimii tässä kohteessa käsikäyttöisen nostimen alustana. Se suunnitellaan tarjoamaan vakaa ja turvallinen alusta nostettavalle kuormalle. Samalla nostinpalkki jakaa kuorman painon tasaisesti profiililta tukirakenteille ja sitä kautta lattiaan. Nostinpalkkeja käytetään yleisesti rakentamisessa, teollisuudessa ja muilla aloilla, joilla raskaita kuormia on nostettava ja siirrettävä.

Painon tasaisen jakautumisen lisäksi nostinpalkit auttavat myös suojaamaan kuormaa vaurioilta noston ja kuljetuksen aikana. Niitä käytetään usein, kuten tässä projektissa, yhdessä muiden nostolaitteiden kanssa turvallisen ja tehokkaan nostoratkaisun saamiseksi.

Nostinpalkkia käytettäessä on noudatettava asianmukaisia nostomenetelmiä ja turvallisuusohjeita onnettomuuksien ja loukkaantumisten välttämiseksi. Tämä sisältää suunnitteluvaiheessa varmistamisen siitä, että nostinpalkki on mitoitettu oikean kuorman mukaan. Käyttövaiheessa se sisältää nostinpalkin tarkastamisen vaurioiden tai kulumisen varalta ennen käyttöä sekä asianmukaisten nostolaitteiden ja tekniikoiden käyttämistä. Nostosuunnitelma tulee aina hyväksyttävä vastaavalla rakennesuunnittelijalla, jonka tehtävänä on varmistaa, ettei nostettava kuorma ole liian suuri eikä nostohetkellä kukaan kulje nostimen alta.

2.2 Nostin

Nostin on komponentti, jota käytetään teollisissa kohteissa tavaran nostamiseen ja siirtämiseen. Yleisimpiä nostimia ovat siltanosturi ja riippunostin. Siltanostureita käytetään suuremmissa kohteissa ja kohteissa, joissa siirrettävät kuormat ovat reilusti suurempia. Siltanostureissa nähdään tyypillisesti moottoroituja nostimia. (Vehanen 2014, 20.) Kuvassa 2 näkyy esimerkki suuremman luokan siltanosturista.



KUVA 2. Siltanosturi nostinkomponentti (Satateräs n.d.).

Asiakkaan pyynnöstä kohteen nostinpalkit suunnitellaan käytettäväksi käsikäyttöisillä ketjutaljoilla sähkökäyttöisten nostimien sijaan. Kuvassa 3 on esimerkki käsikäyttöisestä ketjutaljasta. Käsikäyttöinen nostin on taloudellinen ratkaisu tähän kohteeseen, sillä tarve nostimen käytölle on vain noin kerran vuodessa murskaimen huoltojen yhteydessä. Lisäksi nostettava kuorma on kevyt, jolloin käsikäyttöinen nostin riittää.



KUVA 3. Käsikäyttöinen ketjutalja (IKH n.d.).

3 TIETOMALLI NOSTINPALKEILLE JA TUKIRAKENTEILLE

Tietomalli on digitaalisessa muodossa olevan rakennelman kolmiulotteinen esitys ominaisuustietoineen. Tietomallinnuksen päätavoite on suunnittelun ja rakentamisen laadun ja tehokkuuden varmistaminen. Näiden lisäksi tietomallintamisella kehitetään turvallisuuden ja kestäväen kehityksen mukaista hanke- ja elinkaari-prosessia. Tietomallia voidaan hyödyntää rakennuksen koko elinkaaren ajan, aina suunnittelusta ylläpitoon. (YTV2012, 4.)

Suomessa rakennesuunnittelussa yleisin BIM-ohjelmisto (Building Information Model) on Tekla Structures jota tässäkin projektissa hyödynnettiin. Markkinoilta löytyy useita rakennesuunnitteluun tarkoitettuja tietomallintamisen ohjelmistoja, kuten Autodesk Revit Structure, Nemetschek Allplan Engineering ja Bentley ProStructures. (Laasonen 2022, 3). Muitakin BIM-ohjelmistoja löytyy, mutta ne ovat suunniteltu pääosin arkkitehteille, esimerkiksi Graphisoft ArchiCAD, Vertex BD ja CADMATIC Building.

3.1 Tekla Structures -ohjelmisto

Tekla Structures on suomalaisen yrityksen, Tekla Corporation, kehittämä rakennustietomallinnuksen ohjelmistopaketti (Laasonen 2022, 2). Vuonna 2011 Trimble Navigation laajeni ostamalla Tekla Structuresin ja Tekla toimii nykyään täysin Trimblen alaisuudessa (Financial Release n.d.). Tekla Structures ohjelmiston merkittävimpiä ominaisuuksia ovat sen mallinnustyökalut sekä sen analyysi- ja suunnittelutyökalut. (Why Tekla Structures n.d.).

Ohjelmisto antaa käyttäjilleen mahdollisuuden luoda 3D-malleja rakenteista, sekä analysoida ja hallita suunnittelun ja rakentamisen eri vaiheita. Tekla Structuresin oma pilvipalvelu, Model Sharing, on merkittävä työkalu kun työskennellään suurissa projekteissa. Pilvipalvelun avulla useampi suunnittelija voi työstiä samaa mallia samaan aikaan. Tämän avulla voidaan myös seurata malliin tehtyjä muutoksia sekä tarkastuksia. (Why Tekla Model Sharing n.d.)

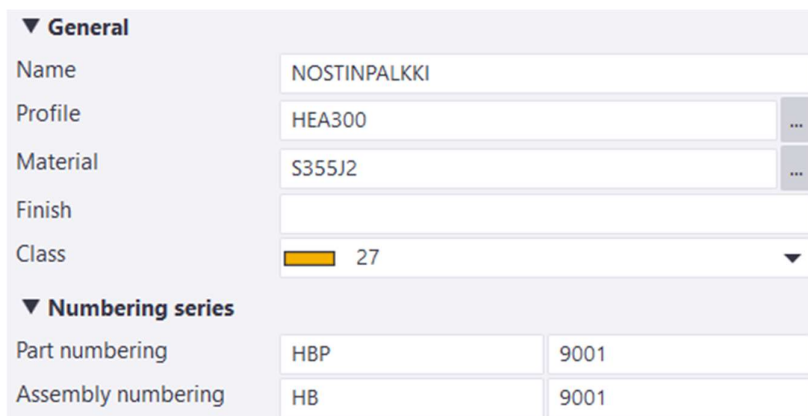
3.2 Tietomallin luominen

Mallia luodessa on tärkeä asettaa korkomaailma oikein, sillä se nopeuttaa myöhemmin piirustusten valmistamista. Maaston muodot, kaltevuudet ja korkeuserot voivat vaikuttaa rakenteiden ja infrastruktuurin sijoitteluun, perustuksiin ja muotoiluun. Korkomaailman tarkka määrittäminen mallintamisolosuorituksessa mahdollistaa myös paremman tiedon välittämisen suunnittelijoiden, urakoitsijan ja tilaajan välillä, mikä vähentää virheiden ja epäselvyyksien riskiä rakennusprojektissa.

Tässä projektissa Etteplanin rakennesuunnitteluosasto oli suunnitellut nykyiseen tehtaaseen laajennuksia aikaisemmin, jonka takia Tekla-malli kohteesta oli jo luotu ja näin myös korkomaailma oli asetettu oikein. Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmänä tässä projektissa käytetään Suomessa laajalti käytettävää N2000/ETRS-GK25, joka on sidottu eurooppalaisen EVRS-järjestelmän lähtöpisteeseen (Maanmittauslaitos n.d.). Korkomaailman lisäksi tulee huomioida rakenteen sijoittaminen ympäristöön. Uudisrakentamisessa on kiinnitettävä rakenteen sijoitukseen huomiota, mutta siinä on enemmän liikkumavaraa virheille verrattuna korjaus- ja laajennushankkeisiin, joissa rakennusvaiheessa on hyvin vähän joustovaraa.

Tekla Structuresissa on vaiheenhallinta-työkalu, jonka avulla projektia voidaan järjestellä ja jakaa pienempiin osiin. Se on erityisen hyödyllinen suurissa ja monimutkaisissa projekteissa, joissa rakentaminen saattaa tapahtua eri vaiheissa. Mallintamisolosuorituksessa osat ja kokoonpanot voidaan kiinnittää tiettyyn vaiheeseen. Sitä kautta voidaan luoda vaihekohtaisia raportteja ja piirustuksia. (Phase Manager n.d.) Tässä mallissa oli luotu eri laajennuksia varten useita vaiheita ja nyt nostinpalkkeja ja niiden tukirakenteita varten luotiin uusi vaihe 9000 tunnuk-sella, jolloin rakennepiirustuksessa rakennepalkit ovat numeroitu tämän tunnuk-sen avulla. Tällä tunnuk-sella pystytään myös rajaamaan mallin puolella näytet-täviä osia ja kokoonpanoja, jotta työskentely tämän nostinpalkkihankkeen pa-rissa on selkeämpää.

Projektin luominen alkaa rakenteiden hahmottelemisella, eli mallinnetaan nostinpalkit ja niiden tukirakenteet suunnitellulle paikalle painottamatta vielä yksityiskohtiin, niiden tarkentuessa vasta rakennelaskennan jälkeen. Etteplanille on sisäisesti luotu numerointisuositukset, joita seuraamalla voidaan luoda yhtenäisiä rakennesuunnitelmia ja tietomallissa toimiminen on järjestelmällisempää, kun kaikki noudattavat samaa ohjetta. Numerointisuosituksista selviää mallinnetun osan luokitus eli class, osan sekä kokoonpanon etuliitteet eli prefixit ja rakenneosan nimi. Kuvassa 4 nähdään esimerkki nostinpalkin rakenneosan ominaisuuksista Tekla Structures -ohjelmistosta. Rakenneosan ominaisuuksiin kuuluu edellä mainittujen lisäksi profiili, materiaali ja numerointitunnus.



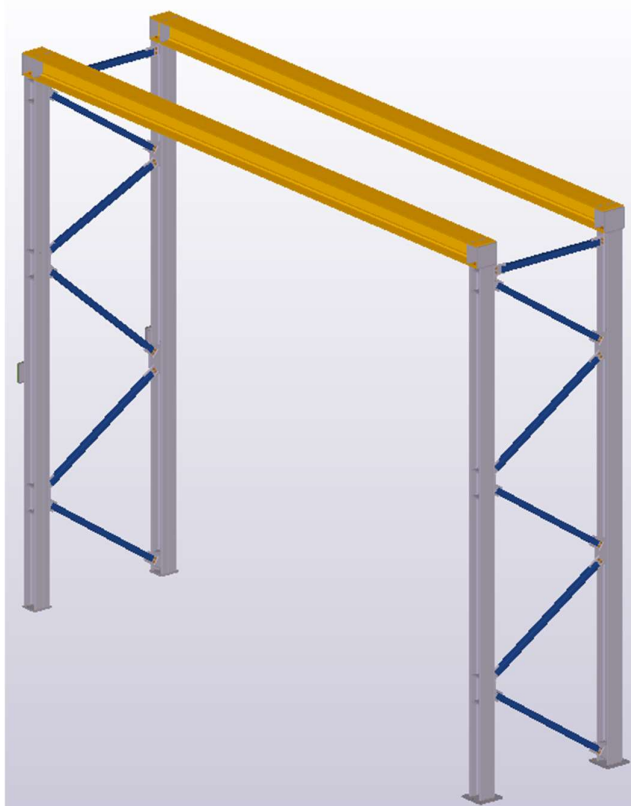
▼ General	
Name	NOSTINPALKKI
Profile	HEA300
Material	S355J2
Finish	
Class	27
▼ Numbering series	
Part numbering	HBP 9001
Assembly numbering	HB 9001

KUVA 4. Nostinpalkin ominaisuudet Tekla Structures -ohjelmistosta (Anna-Sophie Taylor 2023).

Nostinpalkkien ja tukirakenteiden mallintaminen alkoi vastaavan rakennesuunnittelijan luonnostelemien geometrian pohjalta. Teklassa on helppoa kopioida rakenneosia, joten tässä kohteessa mallinnettiin ensin yhden puolen pilarit sekä niihin vinositeet, jonka jälkeen lisättiin nostinpalkit ja kopioitiin tukirakenteet myös nostinpalkkien toiseen päähän.

Teklassa komponenteilla tehdyt liitokset ovat hyvin mukautuvia malliin tehtäviin muutoksiin kuten profiilien vaihtoihin, tämän takia liitostaminenkin tietomallin puolella pystyttiin tekemään ilman liiallisia lisätoimia matkanvarrella tulleista muutoksista. Tämän takia liitokset pyritään mallintamaan komponentteja hyödyntäen. Välillä tulee kuitenkin vastaan niin erikoisia liitoksia, ettei niitä kyetä liitos-

tamaan oikeaoppisesti komponentteja hyödyntäen, tällöin joudutaan räjäyttämään Teklan komponentti ja liitoksen jokaisesta osasta tulee yksittäisiä erikseen muokattavia rakenneosia. Lopullinen Tekla-malli, joka on esitetty kuvassa 5, valmistui vasta kohdekäynnin jälkeen kun nostinpalkkien korkeus varmistui sekä saatiin rakenne sidottua nykyiseen tehdasympäristöön.



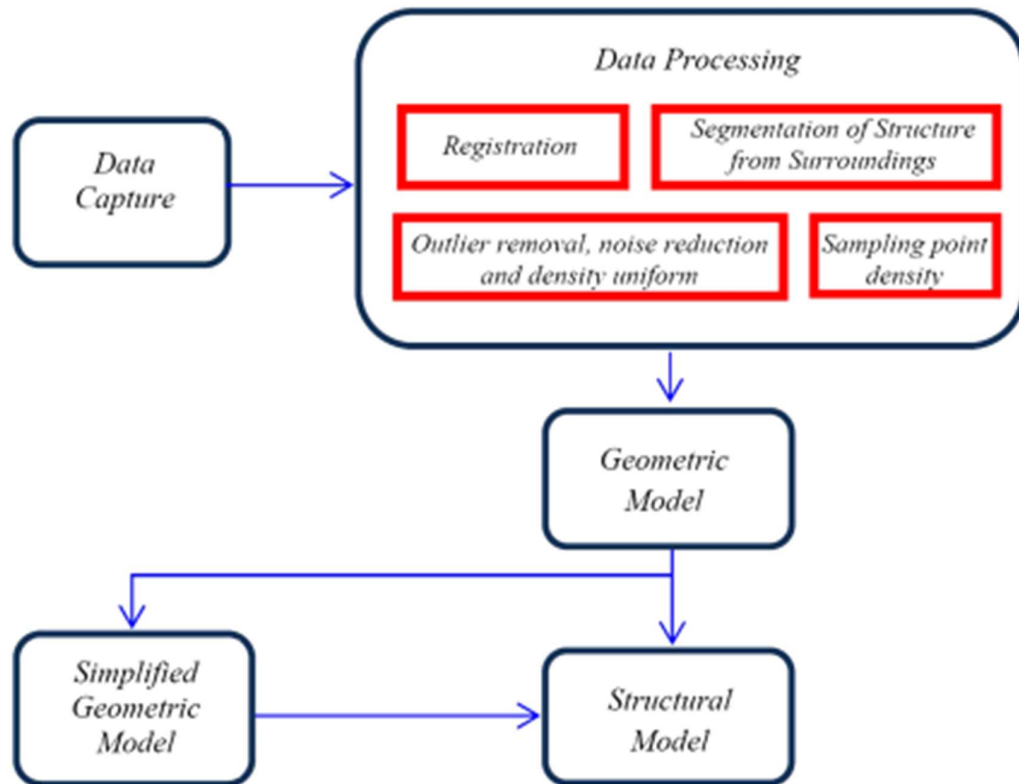
KUVA 5. Nostinpalkit ja tukirakenteet Tekla Structures- ohjelmistosta (Anna-Sophie Taylor 2023).

3.3 Laserskannauksen hyödyntäminen rakennesuunnittelussa

Laserskannaus on menetelmä, jossa käytetään lasersäteitä mitatakseen etäisyyksiä kohteesta. Skanneri lähettää lasersäteen kohteeseen, ja mittaamalla kuinka kauan kestää saada heijastuva säde takaisin skanneriin, voidaan laskea etäisyys kohteesta. Tämä prosessi toistetaan useita kertoja, minkä jälkeen kerätyjä mittauspisteitä yhdistetään luodakseen 3D-pistepilvi tai mesh-malli.

Laserskannausten, kuvien ja videoiden avulla saatava 3D-pistepilvidata pystyy tarjoamaan tarkkoja ja nopeita tietoja rakennuskohteiden 3D-geometriasta. Siksi rakennusala on hyödyntänyt pistepilvidataa eri tarkoituksiin, kuten 3D-mallien luomiseen, geometrian laaduntarkastukseen ja rakennusprosessin seuraamiseen. Vaikka pistepilvidatan hyödyntämiseen rakennusalalla on tehty paljon tutkimuksia viime vuosikymmenien aikana, ei ole vielä ollut kattavaa katsausta, joka kokoaisi yhteen näitä sovelluksia ja osoittaisi mahdollisia tutkimusaukkoja. (Kim & Wang 2019, 307.)

Laserskannaus on siis järkevää kun halutaan dokumentoida objekteja tai rakenteita mahdollisimman tarkasti. Kuvassa 6 voidaan tarkastella laserskannauksen etenemisen eri vaiheita. Ensimmäinen vaihe on datan kerääminen, jota käsiteltiin edellisessä kappaleessa. Toinen vaihe on datan käsittely, se sisältää eri prosesseja, kuten usean eri mittauspisteiden tai skannausten koordinaattijärjestelmien yhdistämisen yhdeksi, halutun rakenteen tai objektin erottamisen ympäristöstä, poikkeavien tai virheellisten pisteiden poistamisen sekä pistepilven tasoisuuden parantamisen. Näiden jälkeen pistepilvidata saadaan siirrettyä geometriseksi malliksi esimerkiksi CAD-tiedostoon ja sitä kautta saadaan sitä hyödynnettyä rakennesuunnitteluprosessissa. Tästä rakenne tai objekti saadaan vielä siirrettyä numeraaliseksi malliksi FEM-ohjelmaan (Finite Element Method).



KUVA 6. Kuvattu menetelmä, joka alkaa laserskannaustietojen keräämisestä ja päättyy rakenteiden laskennalliseen mallintamiseen elementtimenetelmällä (Arias & Caamaño & Conde-Carnero & Riveiro 2015, 3).

Tässä projektissa ei projekti koon ja budjetin takia hyödynnetty laserskannaamista. Laserskannaamisella oltaisiin saatu laajat sijaintitiedot suunniteltavan nostinpalkin ympärillä olevista kuljettimista ja laitteista sekä nostettavan murskaimen korkeudesta. Sen sijaan nostinpalkit ja tukirakenteet suunniteltiin vanhojen suunnitelmien sekä kohdekäynnin mittausten avulla.

4 LASKENTAMALLI NOSTINPALKEILLE JA TUKIRAKENTEILLE

Lujuusopin yllivoimaisesti suosituimmaksi numeeriseksi menetelmäksi on noussut elementtimenetelmä, eli FEM (Finite Element Method) (Lähtenmäki, 2012, 3.) Tällä menetelmällä monimutkainen rakenne jaetaan rajallisiin elementteihin, jotka toimivat yhdessä toistensa kanssa. FEM on likiarvomenetelmä ja sen takia siihen sisältyy menetelmään kuuluva virhe. (Syrjä, n.d. 6.) Elementtimenetelmä käy työkaluksi kaikkiin lujuuslaskennan ongelmiin sekä sillä voidaan ratkaista muitakin kuin lujuusopin tehtäviä, esimerkiksi lämmönsiirtoa ja virtausta (Lähtenmäki 2012,3).

Yleiskäyttöisiä kaupallisia FEM-ohjelmistoja, jotka keskittyvät enemmän koneenrakennukseen, ilmailuun tai autoteollisuuteen ovat esimerkiksi, Ansys, Abaqus, Nastran ja MARC. Rakennustekniikan kaupallisia FEM-ohjelmistoja ovat muun muassa RFEM, Robot, Staad Pro, StruSoft ja SAP2000. Nämä ohjelmistot ovat yksinkertaisempia kuin yleiskäyttöiset FEM-ohjelmistot, mutta sisältävät normien mitoitusehtojen tarkastuksen. (Lähtenmäki, 2012, 4.) Tässä työssä on käytetty RFEM 5 ohjelmistoversiota.

4.1 RFEM-ohjelmisto

RFEM ohjelmisto on suunniteltu analysoimaan ja suunnittelemaan monimutkaisia rakenteita, mukaan lukien rakennuksia, siltoja ja torneja. Siinä ratkaistaan ja analysoidaan rakenteita elementtimenetelmää hyödyntämällä ottaen samalla huomioon materiaalin ominaisuudet, geometriset rajoitteet ja rakenteen kuormitusolosuhteet.

RFEM tarjoaa Tekla Structures -lisäosan, jonka avulla Tekla Structuresista 3D-mallin tuonti RFEM laskentamalliin sekä toisinpäin RFEMistä rakenteiden geometrian siirto Teklaan onnistuu nopeasti. Lisäosa helpottaa rakennesuunnittelijan työtä, sillä se säästää aikaa ja vähentää mahdollisia virheitä joita voi syntyä, kun tietoja siirretään manuaalisesti ohjelmistojen välillä. Tekla Structuresissa

luotua mallia voidaan tuonnin jälkeen tarkastella ja laskea täysin samalla tavalla, kuin RFEMissä luotua rakennetta. Tässä projektissa ei kuitenkaan hyödynnetty tätä RFEMin lisäosaa, sillä rakenne oli yksinkertainen eikä koostunut useista eri rakenneosista. Tämän vuoksi RFEMiin oli nopeampi mallintaa rakenteet alusta asti, kuin lähteä käyttämään kyseistä lisäosaa.

Uutta RFEM-mallia luodessa projektin tietojen lisäksi voidaan valita mallin tyyppi, tässä käytetään 3D-mallia. Mallia luodessa valitaan myös käytettävät standardi ja kansallinen liite, joista saadaan projektille laskentaa varten tarvittavat kuormitusyhdistelmät automaattisesti. Mallin yleisdata on muokattavissa vielä projektin myöhemmässäkin vaiheessa.

4.2 Laskentamallin luominen

RFEM laskentamallin luominen alkaa rakenteiden geometrian luomisella. Geometriaa voidaan luoda joko viivoilla tai profiileilla. Viivat on kuitenkin määritettävä profiileiksi ennen laskennan aloittamista. Kun geometria on luotu, käyttäjä voi lisätä materiaalit, poikkileikkaukset ja kuormitukset.

Nostinpalkin rakenteet tehdään olemassa olevan tehtaan sisätiloihin, joten mitoituksessa ei oteta huomioon lumi- tai tuulikuormaa. Nostinpalkkia ei myöskään mitoiteta palotilanteessa, sillä voidaan olettaa, että palotilanteessa nostinpalkit eivät ole käytössä, eivätkä siten ole myöskään kuormitettuina.

Kuorma, joka aiheutuu nosturista, luokitellaan yleensä muuttuvaksi kuormaksi ja onnettomuuskuormaksi. Nosturin muuttuvakuorma jaetaan edelleen nosturin oman painon aiheuttamiin pystysuuntaisiin kuormiin sekä muuttuviin vaakasuuntaisiin nosturikuormiin. Muuttuvat vaakakuormat aiheutuvat yleensä kiihdytyksestä, vinosta ajosta tai muista dynaamisista vaikutuksista. On tärkeää ottaa huomioon kaikki nämä tekijät rakenteen kestävyys- ja turvallisuuden varmistamiseksi. (SFS-EN 1991-3 + AC, 22.)

Asiakkaalta saatujen lähtötietojen mukaan nostettavan murskaimen paino on 2300 kg. Koska tarkempaa nostinmallia ei oltu asiakkaan puolelta vielä päätetty,

niin laskennassa lisättiin pistekuorman nostimelle 500 kg varaus. Vaikka ihan-teellisessa tilanteessa nostinpalkkeja käytettäessä kuorma jakaantuisi tasan kahdelle nostinpalkille, pitää nostinpalkit mitoittaa niin, että kumpikin nostinpalkki kestää suurimman sallitun kuorman yksinään. Mitoituksessa kuorman ei siis huomioida jakaantuvan toiselle nostinpalkille lainkaan.

Johtuen nostinpalkin liikkuvasta kuormitustavasta, suurin sallittu pistekuorma tulee mitoittaa jokaisessa palkin kohdassa, jotta selvitetään mitoittavin poikkileikkauksen kohta. Tässä projektissa mitoittavin kuormitustilanne on nostinpalkkien keskellä, joten mitoitus tulokset ovat kyseisestä kuormitustilanteesta.

Nostinpalkkiin kohdistuu nostimen takia pysty-, vaaka- ja pitkittäiskuormia. Näiden kuormien dynaamisen luonteen vuoksi ne aiheuttavat suurempia rasituksia kannatteleville rakenteille kuin staattisesti laskettuna. (Peltola 2018, 4.) Eurokoodissa 1991-3 kerrotaan, että kun nostinkomponentti asennetaan kiinteään ratapalkkiin riippuvaksi, käytetään pituussuuntaisten vaakakuormien arvona tarkemman arvon puuttuessa 5 % pystysuuntaisen kuorman arvosta. Tässä projektissa kuitenkin käytetään vaakakuormana 15 % pystysuuntaisen kuorman maksimi arvosta, koska komponenttien vaakavoimista ei ole tarkkaa tietoa. Pie-nissä nostimissa vaakakuormat ovat maltillisia, mutta huomionarvoisia asioita suunnittelijan kannalta. (Vehanen 2014, 34.)

Rakenne tulee mitoittaa kestävässä käyttörajatilassa (SLS, Service ability limit state) sekä murtorajatilassa (ULS, Ultimate Limit State). Rakenteen kestävyys tarkoittaa sen kykyä vastustaa kuormitusta ilman liiallisia muodonmuutoksia tai murtumista. Kestävyys ja kuormitus vaihtelevat paikan ja ajan mukaan, joten niille ei ole mitään absoluuttista arvoa, vaan arvot määritellään todennäköisyyden perusteella. Rakenteen mitoituksessa huomioidaan kestävyys ja kuormituksen vaihtelut käyttämällä osavarmuuslukuja, jotka on määriteltä muun muassa Ruukin Hitsatut Profiilit käsikirjan kappaleessa 2.1.

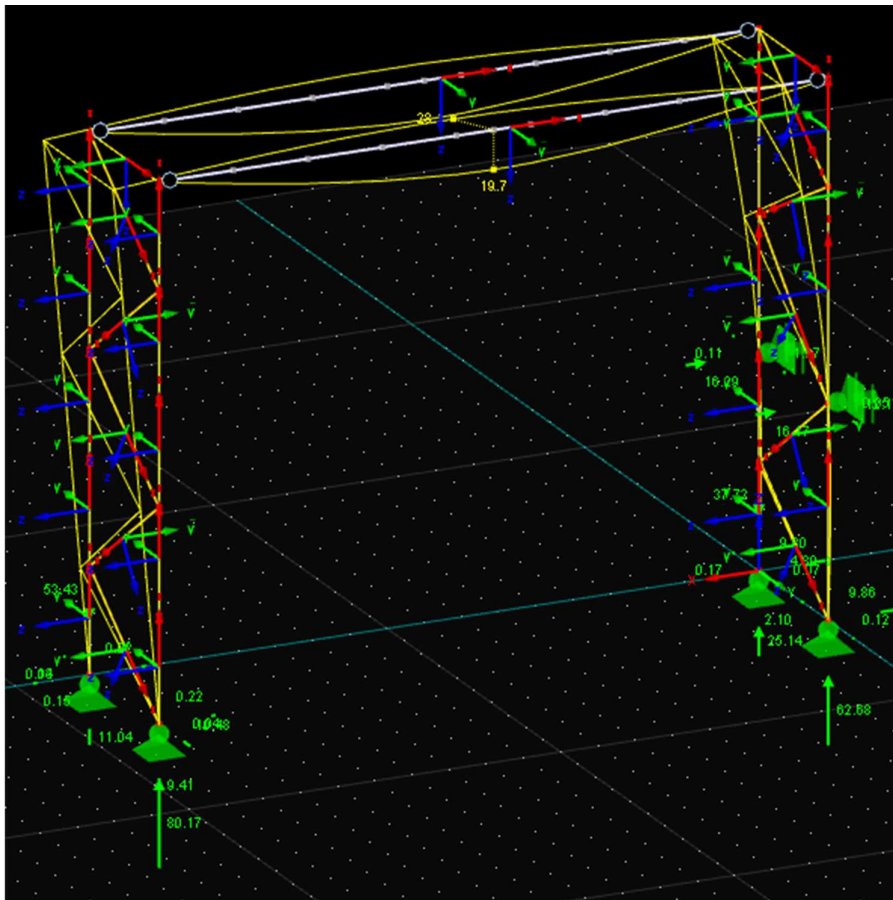
Kuormien lisäämisen jälkeen täytyy RFEMille määrittää kuormitusyhdistelmät. RFEMiin on määritetty mallia luodessa suomessa käytetyt normit sekä kansalliset liitteet, jonka takia tässä vaiheessa voidaan valita valmiista vaihtoehdoista

halutut kuormitusyhdistelmät. Tässä vaiheessa tarkistetaan, että eri kuormitustilanteet nostimelle ollaan asetettu RFEMistä laskettavaksi vaihtoehtoisina kuormina eikä ikinä samaan aikaan tapahtuvina. Jokaisen eri hyötykuorman lisäksi nostinpalkkeihin ja niiden tukirakenteisiin kohdistuu vain rakenneosien oma-paino. Näistä saadaan murtorajatilaaan mitoitettavaksi kuvassa 7 näkyvät kuormitusyhdistelmät. Kuormien osavarmuusluvusta on kerrottu enemmän Ruukin Hitsatut Profiilit käsikirjassa luvussa 2.1 Rajatilamitoitus ja osavarmuusluvut.

Loading in Result Combination RC1				
Factor	No.	Description	Criterion	Group
1.00	STR CO1	1.35*LC1	Permanent	1
1.00	STR CO2	1.15*LC1 + 1.5*LC2	Permanent	1
1.00	STR CO3	1.15*LC1 + 1.5*LC3	Permanent	1
1.00	STR CO4	1.15*LC1 + 1.5*LC4	Permanent	1
1.00	STR CO5	1.15*LC1 + 1.5*LC5	Permanent	1
1.00	STR CO6	1.15*LC1 + 1.5*LC6	Permanent	1
1.00	STR CO7	1.15*LC1 + 1.5*LC7	Permanent	1
1.00	STR CO8	1.15*LC1 + 1.5*LC8	Permanent	1
1.00	STR CO9	1.15*LC1 + 1.5*LC9	Permanent	1
1.00	STR CO10	1.15*LC1 + 1.5*LC10	Permanent	1
1.00	STR CO11	1.15*LC1 + 1.5*LC11	Permanent	1
1.00	STR CO12	1.15*LC1 + 1.5*LC12	Permanent	1

KUVA 7. Murtorajatilamitoituksen kuormitusyhdistelmät RFEM mitoitusohjelmasta (Anna-Sophie Taylor 2023).

Kun kuormitusyhdistelmät on määritelty, RFEM-ohjelmisto voidaan laittaa laskemaan rakenteiden kestävyyttä. Viimeistään tässä vaiheessa RFEM ilmoittaa, jos rakenteiden mallinnuksessa on tapahtunut virheitä kuten, profiileja ei ole määritelty, liitokset eivät toimi tai rakenne on muusta syystä epätasapainossa. Kuvassa 8 näkyy ohjelmistosta 3D-laskentamallissa murtorajatilamitoituksen tulokset lopullisen suunnitelman profiileilla. Nostinpalkkeille mitoitettavaksi ilmiöksi tuli palkkien taipuma ja pilareille nostinpalkkien aiheuttama siirtymä.



KUVA 8. Murtorajatilamitoituksen tulokset RFEM 3D-laskentamallissa (Anna-Sophie Taylor 2023).

Kantavien rakenteiden käyttöasteet olivat hyvinkin maltillisia ja niiden puolesta rakenteen profiileja oltaisiin voitu pienentää. Myös tukirakenteiden vaakasuuntaiset jäykisteet olisivat kestäneet huomattavasti pienemmilläkin profiileilla, mutta rakennesuunnittelijan päätöksestä, jotta rakenne on sopusuhtainen, valittiin vaakasuuntaisiksi jäykisteiksi kylmämuovattut neliönmuotoiset rakenneputket profiililla 80x80x4. Nostinpalkkien profiileiksi valittiin HEA300 profiili ja tukirakenteiden pilareiden profiileiksi valittiin HEA220 profiili.

5 YHTEISTYÖ ASIAKKAAN KANSSA

Projektin oikeanmukaisen etenemisen kannalta on tärkeää tehdä tiivistä yhteistyötä asiakkaan ja asiakkaan urakoitsijoiden kanssa. Asiakas tarvitsee rakennesuunnittelijaa toteuttaakseen turvallisen ja toimivan rakenteen, joka vastaa heidän tarpeitaan ja vaatimuksiaan. Rakennesuunnittelijan on ymmärrettävä asiakkaan tavoitteet ja tarpeet, jotta hän voi suunnitella rakenteen, joka voi täyttää nämä vaatimukset.

Selkeä viestintä rakennesuunnittelijan ja asiakkaan välillä voi auttaa välttämään viivästyksiä ja siten kustannusten kasvua projektin aikana. Se myös edesauttaa varmistamaan, että suunnitelmat ja vaatimukset ovat ymmärrettäviä kaikille osapuolille, mikä puolestaan johtaa projektin sujuvampaan etenemiseen ja parempaan lopputulokseen.

Aloituspalaverissa sovittiin tehdasvierailu, jossa käytäisiin läpi alustavat rakennesuunnitelmat sekä tutustuttaisiin liityttävään tehdasympäristöön. Kohdevierailua varten tuli olla alustavat laskelmat rakenteista tehty, jotta voitiin arvioida asiakkaalle projektin materiaalikustannuksia.

Suunniteltavan nostinpalkin ja sen tukirakenteiden ympäristössä on paljon kuljettimia ja niiden tukirakenteita, joiden sijainneista ei ollut kaikkia tarvittavia lähtötietoja uuden rakenteen suunnitteluun. Tämän takia tehdaskäynnin yhteydessä otettiin lasermitalla kaikki tarvittavat mittatiedot. Näitä mittoja olivat esimerkiksi murskaimen korkeus, murskaimen päällä olevan huuvan, eli teollisuudessa käytettävän imurin, korkeus sekä tukirakenteiden sijoittuminen sokkeliin.

Tällä tehdaskäynnillä tarvittavien mittojen lisäksi selvisi, että toiselle puolelle suunnitellut jäykistävät vinositeet estävät viereisen laitteen mahdolliset huolto-työt. Koska nostinpalkin tukirakenteiden jäykistävät vinositeet eivät ole tarpeen kun nostinpalkit eivät ole käytössä eli kuormitettuna, suunnitellaan vinositeiden liitokset niin, että vinositeet voidaan tarvittaessa poistaa. Tässä erityisen tärkeä huomio on, että nostinpalkit eivät saa olla kuormitettuna kun vinositeet poistetaan.

Toinen muutos mikä selvisi tehdasvierailulla oli murskaimen vieressä oleva, seinästä läpi menevä kuljetin. Kuljetin on linjalla, johon tukirakenteen vinositeet seinän puolella oltiin alustavasti suunniteltu. Asiakkaan kanssa sovittiin, että vinositeiden ja pilarin liitoksien kulmia muutetaan niin, että kuitenkin molemman puolen vinositeet pysyisivät mahdollisimman samanlaisina.

Murskaimen päällä oleva huuva nousee sen yläpuolelle niin, ettei nostinpalkkeja voida suunnitella huuvan yli meneväksi johtuen tehtaan kattoristikoista. Kattoristikot ovat lattianpinnasta 7,5 metrin korkeudessa, mistä johtuen ne estävät nostinpalkkien sijoittamisen huuvan yläpuolelle. Tämän lisäksi liian korkealle sijoitetut nostinpalkit estävät käsikäyttöisen nostimen helpon käytön murskaimen ympäröivältä tasolta. Asiakkaan kanssa yhteisesti päätettiin siis leventää nostinpalkkien väliä ja siten myös tukirakenteiden pilareita, näin voidaan kiertää murskaimen päällä oleva huuva ja pitää nostinpalkit käden ulottuvuudella, jotta ne säilyvät helppokäyttöisinä.

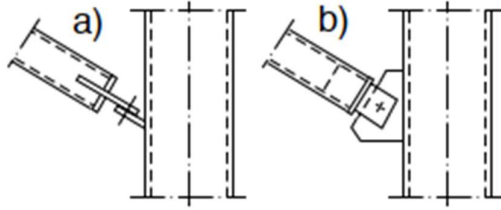
6 TUKIRAKENTEIDEN VÄLISET LIITOKSET

Nostinpalkkien, pilareiden ja vinositeiden väliset liitokset tulee suunnitella standardien EN 1993-1-8 ja EN 1993-1-1 perusvaatimusten mukaisesti (SFS-EN 1993-1-8, 19). Huolellinen suunnittelu ja kaikkien tarpeellisten muuttujien huomioon ottaminen suunnittelussa on tärkeää, jotta teräsrakenteiden väliset liitokset ovat turvallisia ja toimivat oikein välittäen kuormat eteenpäin.

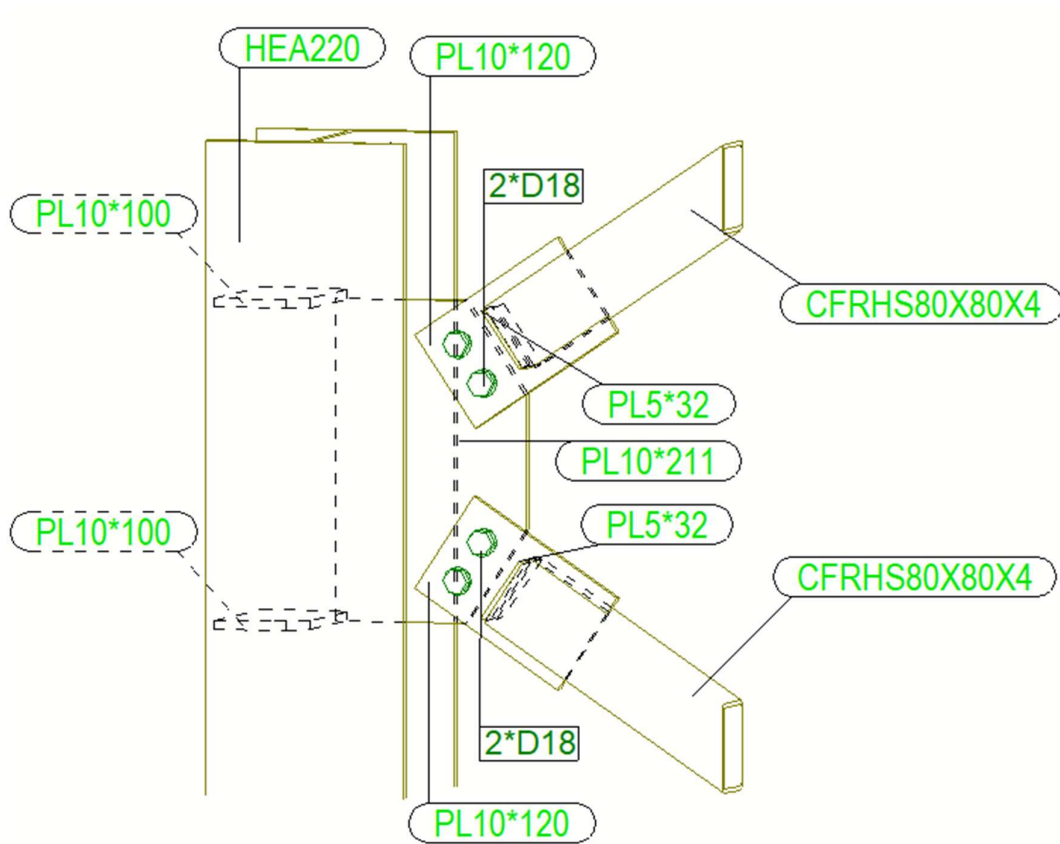
Yleisesti ottaen rakenteet kootaan osiin konepajalla ja liitetään työmaalla ruuvi-liitoksin kustannustehokkuussyistä. Ruuviliitokset ovat nopeampi ja helpompi asentaa työmaalla kuin hitsatut liitokset. Liitoksen toimivuuden kannalta merkittäviä asioita ovat kuorman siirtäminen mahdollisimman keskitetysti poikkileikkauksen suhteen sekä liitoksen komponenttien tasainen jäykkyys. (SSAB Domex Tube Rakenneputket 2016, 212-213.)

Haurasmurtuma on erittäin vaarallinen ilmiö, joka voi johtaa liitoksen äkilliseen pettämiseen ilman ennakkovaroitusta. Liitoksen haurastuminen voi tapahtua, kun teräksessä oleva hiili reagoi vetyyn ja muodostaa heikkoja sidoksia, jotka voivat johtaa murtumien syntymiseen. Haurasmurtuma ei vaadi juurikaan energiaa, se voi alkaa pienestä säröstä ja levitä nopeasti erittäin pitkälle. Jotkut teräkset ovat herkkiä myötövanhenemiselle, eli ne haurastuvat ajan mittaan ilman ulkoisia ärsykeitä. (TKK Arkkitehtiosasto 2007, 29.) Tämän vuoksi on tärkeää estää haurastuminen liitoksissa ja käyttää oikeita materiaaleja sekä suunnitella liitos huolellisesti ottaen huomioon kohteen kuormitukset ja olosuhteet.

Nostinpalkkien tukirakenteisiin suunnitellaan vakaasuuntaisia voimia vastaan vinositeitä kahden pilarin välille. Kuvassa 9 näkyy esimerkit vinositeen liitoksesta pilariin SSAB Domex Tube Rakenneputket käsikirjasta ja kuvassa 10 näkyy 3D detalji projektin lopullisesta vinositeen ja pilarin välisestä liitoksesta. Tässä liitoksessa 10 millimetrin paksuinen levy hitsataan konepajalla HEA-profiiliin, johon sitten työmaalla vinoside liitetään M16 kokoisilla pulteilla.



KUVA 9. Kuvissa a ja b on esitetty esimerkit vinositeen liitoksesta pilariin (SSAB Domex Tube Rakenneputket 2016, 235).



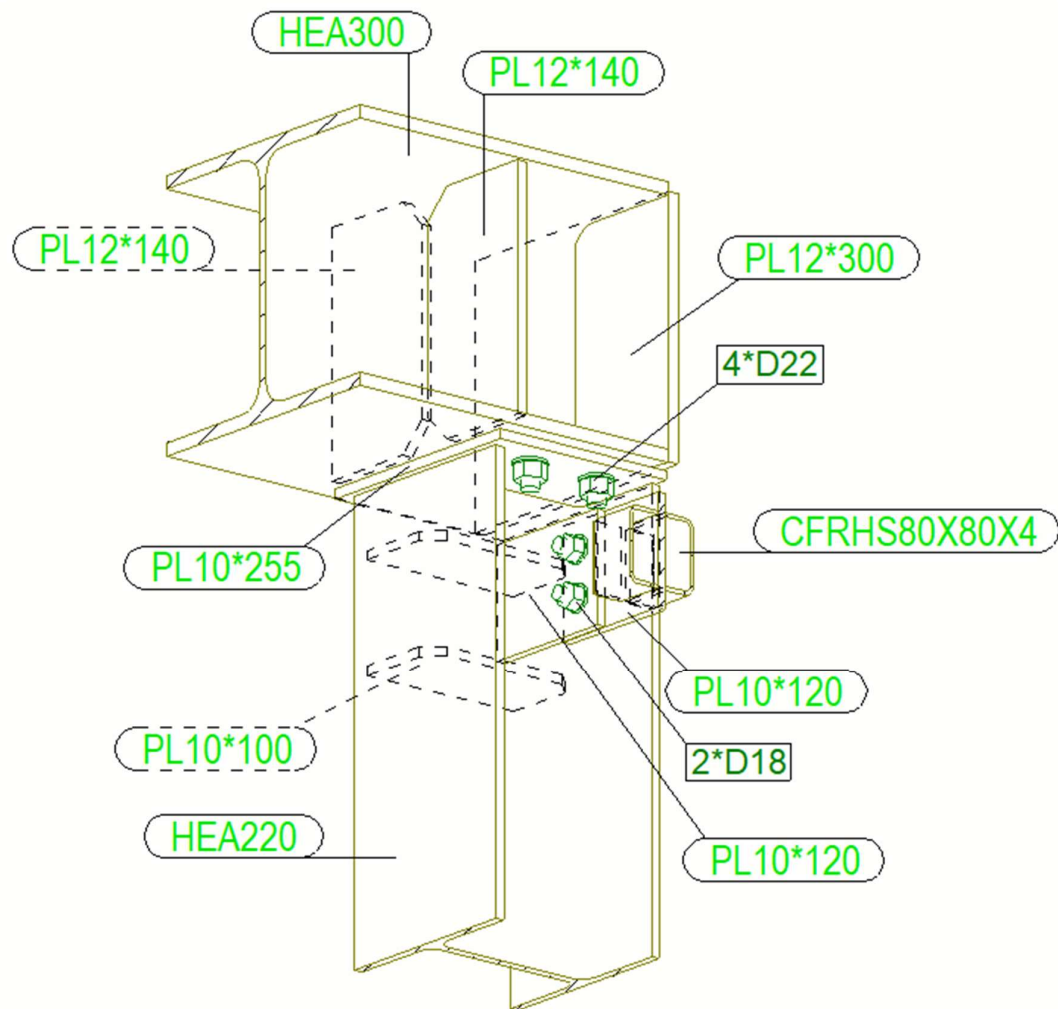
KUVA 10. Kahden vinositeen liitos pilariin (Anna-Sophie Taylor 2023).

Vinositeet pyritään liittämään pilariin 45 asteen kulmassa, jotta kuormat välittyvät liitokselta eteenpäin pilarille optimaalisimmin. Poikkeus tähän tehtiin kun suunniteltiin vinositeet kiertämään seinästä läpi menevää kuljetinta. Vinositeistä, tätä poikkeusta lukuun ottamatta, tehtiin samanlaisia jotta niiden irrottaminen ja uudelleen asentaminen viereisen laitteen huollon aikana on yksinkertaisempaa.

Liitos haluttiin suunnitella niin, ettei liitokseen pääse kertymään suuria määriä tehtaassa syntyvää pölyä. Liitoskohtaan pilarin toiselle puolelle suunniteltiin jäykisteet, jotka näkyvät katkoviivalla kuvassa 10. HEA-profiilin pilareissa käytetään usein jäykistävää levyä uumassa, sillä se parantaa pilarin kantokykyä ja vääntöjäykkyyttä. Ilman jäykistävää levyä kuormitustilanteessa uuma voisi taipua ja vääntyä liitoksen yhteydessä. Tämän takia jäykisteet suunniteltiin jokaiseen vinositeen ja pilarin liitokseen. Koska asiakkaan toiveesta vinositeitä on pystyttävä poistamaan jälkikäteen, kirjoitetaan asennuskuvien reunateksteihin huomio, ettei vinositeiden liitosten pulttien kierteitä saa rikkoa asennettaessa.

Ruukki Hitsatut Profiilit -käsikirjassa taulukossa 3.5 on määritetty ruuvien myötö- ja murtolujuuden nimellisarvot eri lujuusluokille. Taulukossa 3.9 on ruuvien pienin ja suurin keskiöväli sekä pääty- ja reunaetäisyydet staattisesti kuormitetuille rakenteille. Käsikirjan avulla voidaan tarkastella voimien jakautumista ruuveille ja sen avulla suunnitella turvalliset liitokset. (Ruukki Hitsatut Profiilit 2010, 313-320.)

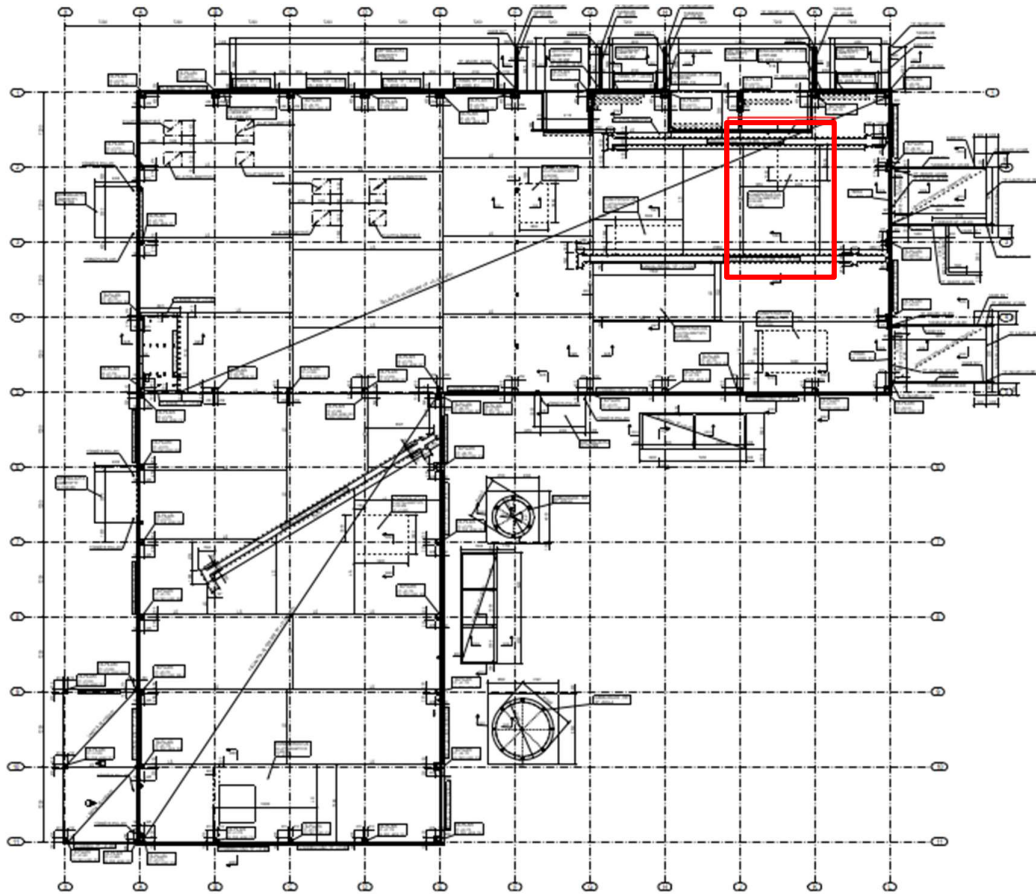
Toinen liitos, joka kohteeseen suunniteltiin oli nostinpalkin ja pilarin välinen liitos josta on kuvassa 11 3D detalji. Nostinpalkkien päihin suunniteltiin päätylevyt jotka yhdessä nostinpalkin uumaan suunniteltujen jäykisteiden kanssa lisäävät nostinpalkin jäykkyyttä liitoksessa. Sekä nostinpalkin jäykisteiden, että päätylevyn paksuudeksi valittiin 12 millimetriä. Pilarin päätylevyksi suunniteltiin 10 millimetriä paksu levy, johon nostinpalkki pultataan kiinni neljällä M20 kokoisella pultilla. Asennettavuus täytyi huomioida liitoksen suunnittelussa, sillä aivan tämän liitoksen alla on ylimmän vinositeen liitos pilariin.



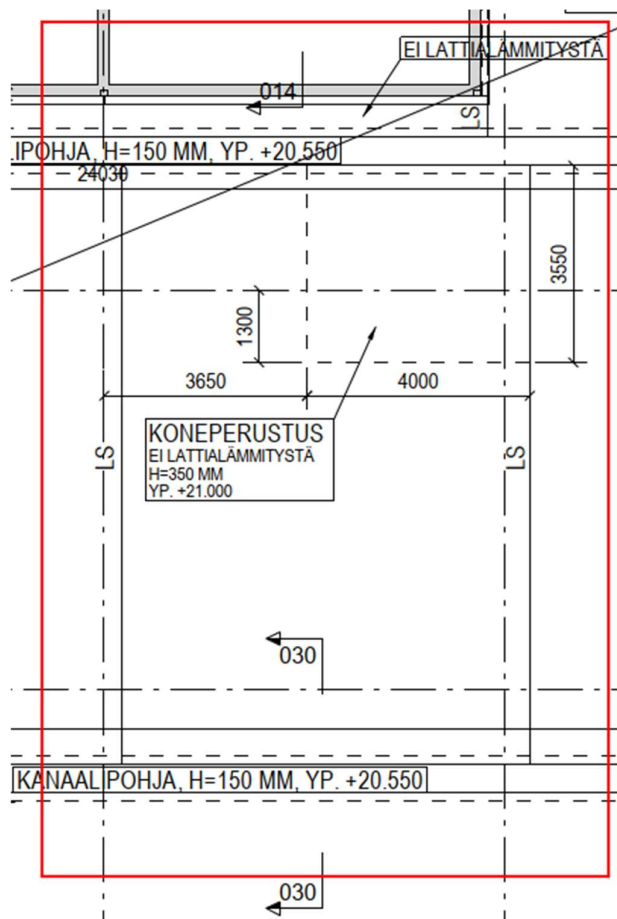
KUVA 11. Nostinpalkin ja pilarin liitos (Anna-Sophie Taylor 2023).

7 LIITTYMINEN OLEMASSA OLEVIIN RAKENTEISIIN

Tärkeä osa korjaus- ja laajennusprojekteja on lähtötietoihin perusteellisesti tutustuminen. Lähtötietoina tässä projektissa on kattavat rakennesuunnitelmat vuodelta 2010, joista selviää olemassa olevat rakenteet. Varsinaista korjausta tämä projekti ei sisällä, mutta liityttäessä olemassa oleviin rakenteisiin täytyy ymmärtää myös korjausrakentamista. Kuvassa 12 on tehtaan rakennesuunnitelmista alapohjakuva, jossa punaisella on korostettu nostinpalkin sijoitus tehdas-ympäristöön. Sen jälkeen löytyy tarkempi kuva 13 liityttävän alueen alapohjakuva.



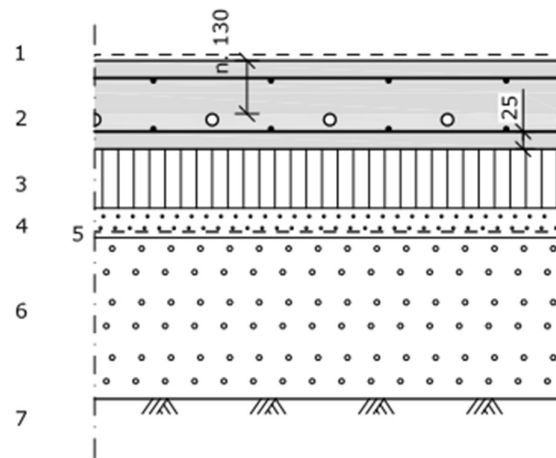
KUVA 12. Nykyisen tehtaan alapohjakuva (Etteplan 2023).



KUVA 13. Nykyisen tehtaan alapohjakuva, tarkennettu kohde (Etteplan 2023).

7.1 Liittyminen betonilattiaan

Kun liitytään olemassa olevaan alapohjaan, on tärkeä selvittää betonin laatu, rauditus sekä paksuus. Tehtaan alkuperäisten rakennesuunnitelmien rakennetyypeistä (kuva 14) saadaan selville nykyinen alapohjarakenne. Kohteessa on 200 millimetriä paksu teräsbetonilaatta, jonka betoniluokka on C30/37. Liityttävän alapohjan kunto tulee tarkistaa suuremmilta halkeiluilta, jotta se kestää uuden rakenteen ja siltä tulevat kuormat.



	1 Mastertop 100, 6 kg/m ²
200 mm	2 Teräsbetonilaatta, BY45 luokka C-2-40, Lattialämmitysputkisto asennetaan raudoitusvälikkeiden varaan ja paineistetaan betonin kovettumisen ajaksi.
100/150 mm	3 100 mm suulakepuristettu polystyreeni, puristuslujuus \geq 300 kN/m ² . Reuna-alueilla 1 m:n leveydellä 150 mm.
50 mm	4 Tasaushiekka
	5 Suodatinkangas, kl N2
>300 mm	6 Tiivistetty salaojituskerroksen luokan 1 vaatimukset täyttävä sora tai pesty sepeli #6...32, tiiviys >90 % (parannetulla Proctor-kokeella).
	7 Perusmaa, kallistus salaojiin 1:50

KUVA 14. Nykyisen alapohjarakenteen rakennetyyppi (Etteplan 2023).

Alapohjan rakennetyypistä saadaan tietoa myös tehtaan lattialämmityksestä, joka on asennettu teräsbetonilaatan alapinnan raudoituksen kanssa. Lattialämmityksen yläpinta on suunniteltu 130 millimetriä laatan yläpinnasta. Alapohjan toteutus- ja suunnitteluohjeista löytyy alapohjaan asennettavien ankkuroiden suurin sallittu poraussyvyys, joka on 110 millimetriä. Rajoittavaksi tekijäksi alapohjaan liittymisessä syntyy siis betoniankkureiden poraussyvyys.

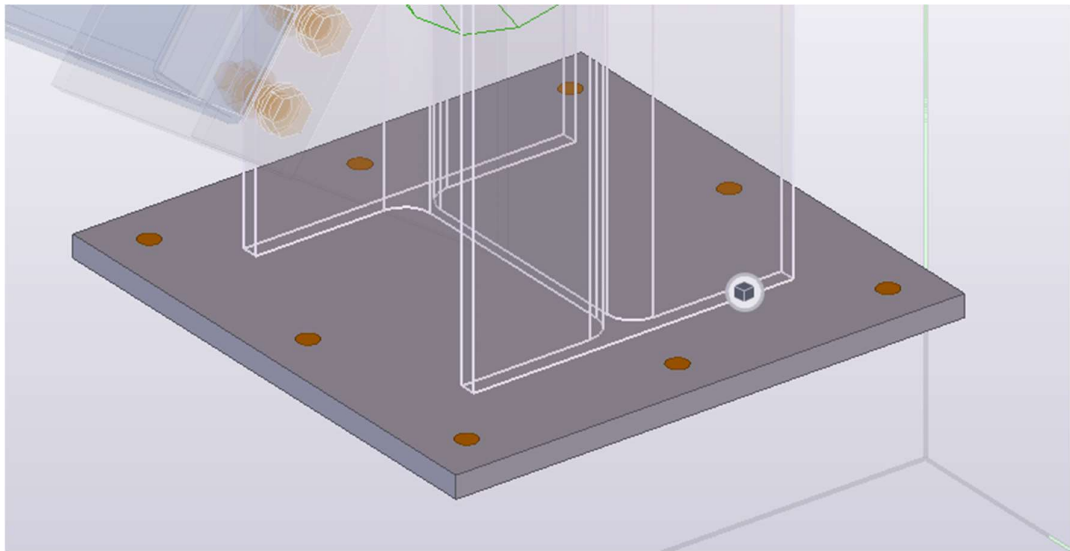
Kiinnitys perustuksiin, eli tässä kohteessa alapohjarakenteeseen, päädyttiin tekemään jälki-injektoitavilla kierretankoankkureilla. Kemiallinen ankkuri on kokonaisuus, joka koostuu teräksen ankkuriosasta ja kemiallisesta ankkurimassasta. Kemiallisen ankkurin toiminta perustuu ankkurointimassan kykyyn siirtää teräkseen ankkuriosaan kohdistuvat kuormat eteenpäin ympäröivälle materiaalille.

(Eligehausen, Cook & Appl 2006, 822.) Suomessa esimerkiksi Hilti valmistaa tällaisia kemiallisia ankkureita, joita tässä kohteessa päädyttiin käyttämään. Rakennesuunnittelija ei kuitenkaan voi määrätä käyttämään tiettyä valmistajaa, vaan suunnitelmiin kirjataan esimerkkituote ja mainitaan, että myös muiden valmistajien, lujuusluokiltaan vastaavaa, tuotetta voidaan käyttää. Hiltin nettisivulta löytyvästä teknisestä käyttöohjeesta voidaan tarkastella taulukkoa (kuva 15), josta selviää ankkureiden ohjeellinen upotussyvyys ja pohjamateriaalin tarvittava paksuus.

Anchor size			M8	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
HAS-U										
Embedment depth	h_{ef}	[mm]	80	90	110	125	170	210	240	270
Base material thickness	h	[mm]	110	120	140	160	220	270	300	340

KUVA 15. Tekninen käyttöohje (Hilti n.d., 2).

Jotta alapohjaan kiinnityttäessä ei vaurioiteta alapohjassa ennalta olevaa lattia-lämmitystä, valitaan M12 kokoiset betoniankkurit. Niiden ohjeellinen upotussyvyys on 110 millimetriä ja pohjamateriaalin vähimmäispaksuus on 140 millimetriä. Pienempien betoniankkureiden valinta näkyy tarvittavien betoniankkureiden määrässä. Muutamalla suuremmalla betoniankkurilla voidaan ottaa vastaan sama voima kuin useammalla pienemmällä. Betoniankkureiden lisääminen vaikuttaa myös pohjalevyn suuruuteen. Kuvassa 16 on Tekla-mallista otettu kuvankaappaus M12 betoniankkureilla varustellusta pohjalevystä.



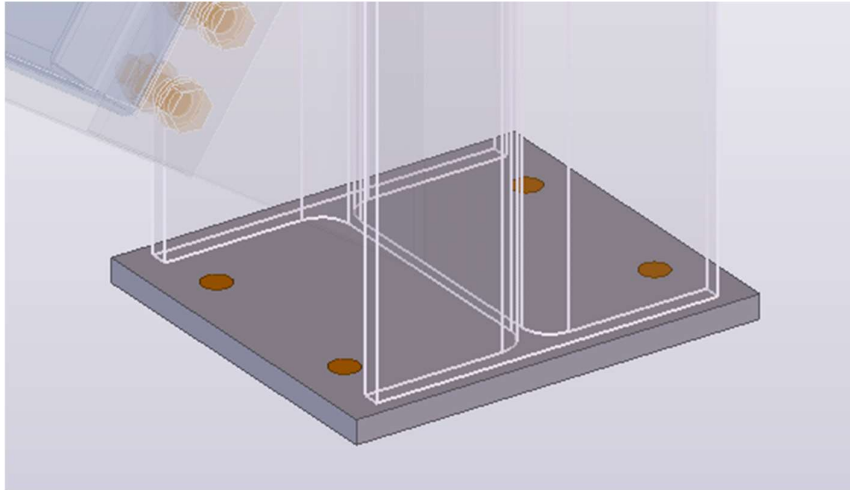
KUVA 16. M12 betoniankkureilla varusteltu pohjalevy (Anna-Sophie Taylor 2023).

Asiakkaan kanssa käytiin keskustelua suurimmasta sallitusta pohjalevyn koosta, jotta se ei tulisi nykyisen tehdaspohjan käytävän tielle. Lopulliseen suunnitelmaan päätyi kooltaan 350 mm x 350 mm x 15 mm pohjalevy ja siihen kahdeksan kappaletta M12 kokoisia betoniankkureita. Vaihtoehtoisesti oltaisiin lämpökameroilla voitu etukäteen paikantaa lattialämpöputket ja niiden avulla suunnitella neljän, lattiaan syvemmälle ankkuroitavan, M16 betoniankkurin kiinnitys.

Vaikka ankkureiksi valittiin pienemmät, ei niin syväälle porattavat ankkurit, tuli suunnitelmiin kuitenkin kirjata maininta siitä, että suurin sallittu porausvyvyys betonissa on ehdoton 110 millimetriä. Lisäksi asiakasta huomautettiin erikseen tästä yksityiskohdasta, jotta lattialämmitysputkien syvyydelle ei porattaisi. Tämä siksi, että työmaalla ei välttämättä osata huomioida kyseisiä putkia ja taas toisaalta 20 millimetriä on melko pieni mitta poratessa betonia.

Alkuperäisistä rakennesuunnitelmista (kuva 14) selviää, että kanaalin ja sokkelin väliseen alapohjaan ei oltu asennettu lattialämmitystä. Tämän takia sokkelin puoleiset liittymiset alapohjaan voidaan suunnitella suuremmilla betoniankkureilla ja siten myös pienemmillä pohjalevyillä. Samasta Hiltin teknisestä käyttöohjeesta (kuva 15) voidaan siis valita näihin liitoksiin M16 betoniankkurit, joiden

ohjeellinen upotussyvyys on 125 millimetriä ja pohjamateriaalin vähimmäispaksuus 160 millimetriä. M20 betoniankkureissa tulee vastaan pohjamateriaalin vähimmäispaksuus sen ollessa 220 millimetriä. Kuvassa 17 on Tekla-mallista otettu kuvankaappaus M16 betoniankkureilla varustellusta pohjalevystä.



KUVA 17. M16 betoniankkureilla varusteltu pohjalevy (Anna-Sophie Taylor 2023).

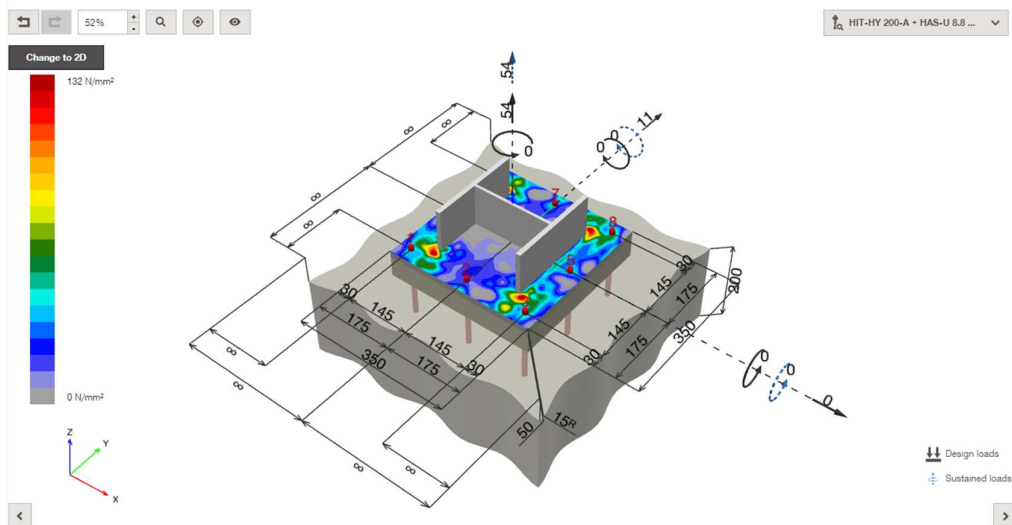
Betoniankkureiden ja pohjalevyn mitoitukseen teknisen käyttöohjeen taulukoiden lisäksi käytettiin tässä projektissa Hiltin PROFIS Engineering ohjelmaa. Tällä pilvipohjaisella alustalla voi suunnitella, mitoittaa ja analysoida eri liitostyyppejä, mukaan lukien teräs – betoni, teräs – muurattu rakenne ja pohjalevyliitoksia (Eurokoodin mukainen suunnittelu PROFIS Engineering -ohjelmistolla n.d.).

Hilti PROFIS Engineering -ohjelmisto on pitkälle kehittynyt mitoitusohjelma, joka tarjoaa suunnittelijalle mahdollisuuden muokata monia eri parametreja ja asetuksia. Joitakin muokattavissa olevista asioista ovat:

- Liitoksen tyyppi: PROFIS Engineering -ohjelmistolla voi suunnitella monenlaisia alapohjaliitoksia, kuten ankkuripultti-, kehäpultti-, ja levyrakenteisia liitoksia. Ohjelmistolla voi myös suunnitella epäkeskeisesti kuormitettuja liitoksia.
- Materiaalit: Ohjelmistolla voi valita eri materiaaleja liitoksen osiin, kuten betoniin, teräkseen, puuhun ja epoksiliimaan.

- Mitat ja kuormat: Käyttäjä voi syöttää ohjelmistoon liitoksen mitat ja kuormat, kuten veto-, puristus- ja leikkausvoimat. Ohjelmisto laskee sen perusteella tarvittavan liitostyypin ja liitoskoon.
- Reunaehdot: Käyttäjä voi valita erilaisia reunaehtoja, kuten vapaasti tuettu, kiinnitetty tai siirtymisrajoitettu liitos.
- Suunnittelustandardit. Ohjelmistossa on valmiita standardeja, joita voi käyttää liitosten suunnittelussa, mutta käyttäjä voi myös määrittää omat suunnittelustandardit.

Kun ohjelmistoon saadaan täytettyä nykyisen alapohjan mukaan betonin tiedot sekä suunnitellun alapohjalevyn tiedot, lisätään RFEM-mitoitusohjelmasta saadut voimasuureet. Tämän jälkeen ohjelmistosta saadaan ulos rasi- tukset mitä yksittäiselle ankkurille tässä liitostyypissä tulee. Hiltin tekni- sestä käyttöohjeesta löytyy erikokoisten ankkureiden mitoituskestävyydet, joita voidaan verrata ohjelmistosta saatuihin. Hilti PROFIS Engineering an- taa myös liitokselle käyttöasteet, joita on hyvä seurata liitosta suunnitelta- essa. Kuvassa 18 voidaan nähdä punaisella mitkä osat levystä ottavat eni- ten rasi- tusta vastaan.



KUVA 18. Hilti PROFIS Engineering 3D-malli M12 kiinnitteisestä liitoksesta (Anna-Sophie Taylor 2023).

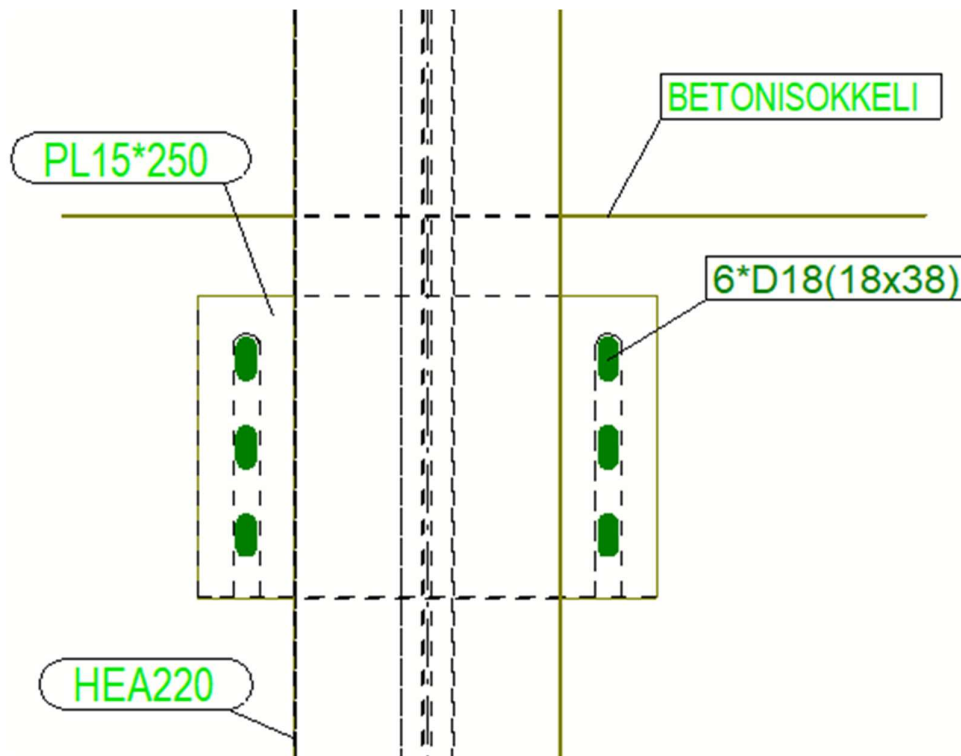
7.2 Liittyminen betonisokkeliin

Samalla tavalla kuin lattiaan liittyessä, on ensin tutustuttava betonisokkelista saataviin lähtötietoihin. Sokkelissa liitytään 200 millimetriä paksuun teräsbetonilaattaan, jonka molemmissa pinnoissa on halkaisijaltaan 10 millimetrin ja jaolta 150 millimetrin raudoitusverkko. Näiden lisäksi laatan yläreunassa on halkaisijaltaan 10 millimetrin haat 300 millimetrin jaolla. Raudoitusten tarkkaa sijainti betonissa on vaikea arvioida ilman rakenneavausta tai esimerkiksi raudoituskannausta, jonka takia rakennesuunnittelijan tulee jo suunnitteluvaiheessa ennakoida mahdollisia asentamisvaikeuksia.

Kuten perustuksiin liityttäessä, liitos suunniteltiin kiinnitettäväksi jälki-injektoitavilla betoniankkureilla, tässä tapauksessa Hilti HIT-HY 200 A, joita käsiteltiin kappaleessa 6.1 Liittyminen betonilattiaan. Liitokselle syntyvät kuormat saadaan RFEM-ohjelmasta ja niitä voidaan pohjalevyliitoksen lailla verrata Hiltin teknisessä käyttöohjeessa oleviin ankkureiden kestämiin maksimikuormiin. Hiltin PROFIS Engineering -ohjelmistolla pystyy yhtä hyvin mitoittamaan liittymisen seinään, kunhan voimasuureet täytetään oikein.

Ensimmäisessä suunnitelmassa pilari oli tarkoitus kiinnittää betonisokkeliin laipan molemmilta puoliilta kahdella M16 kokoisella betoniankkurilla. Tässä suunnitelmassa betoniankkurit oltaisiin asennettu paikoilleen sokkeliin ennen pilarin asennusta. Ongelmana tässä hieman haastavan asennusjärjestyksen lisäksi muodostuu raudoitusten sijainnit. Koska raudoitusten sijainneista ei ole tarkkaa tietoa, saatettaisiin työmaalla joutua poraamaan enemmän kuin neljä ankkureille suunniteltua reikää. Tällöin työmaalla jouduttaisiin konepajan tekemien reikien lisäksi poraamaan lisää reikiä pilarin laippoihin.

Jotta välttyttäisiin edellisessä kappaleessa käsitellyiltä ongelmilta, suunniteltiin liitokseen pilarin ja sokkelin väliin pilarin kokoonpanoon konepajalla liitettävä levy. Levyssä on valmiiksi konepajalla tehty kuusi halkaisijaltaan 18 millimetriä olevaa reikää M16 peruspultteja varten. Reikiä on suunniteltiin kuusi, jolloin peruspultteja saadaan suuremmalla todennäköisyydellä asennettua neljä molempiin pilareihin ilman raudoituksesta aiheutuvia ongelmia. Kuvassa 19 näkyy pilarin liitos betonisokkeliin.



KUVA 19. Liitos betonisokkeliin (Anna-Sophie Taylor 2023).

Liitokseen suunniteltiin lisäksi irrallisia asennuslevyjä kahdessa eri koossa, 2 millimetrin sekä 5 millimetrin paksuisina. Kuvassa 19 näkyy katkoviivalla levyn takana oleva asennuslevy. Tämän mallista asennuslevyä saatetaan kutsua myös kampalevyksi. Olemassa olevaan rakenteeseen liityttäessä ei voida olla varmoja rakenteen pinnan tasaisuudesta, joten asennuslevyt tuovat hieman joustoa asentamiseen. Asennuslevyjen avulla liitos saadaan tarpeeksi tiukasti sokkeliin kiinni, että se voi ottaa vastaan osan pilareilta tulevasta voimasta.

8 MITOITUS

8.1 Teräsbetoni­laatan lävistysmitoitus

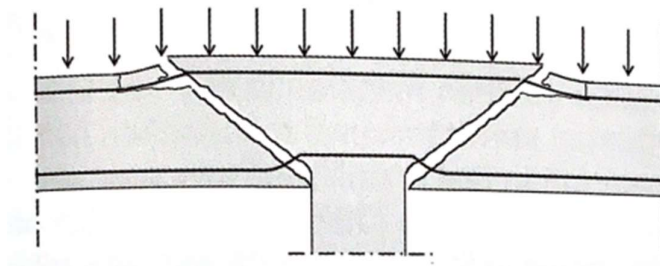
Teräsbetoni­laatan lävistysmurto tarkoittaa laattarakenteissa pistemäisen kuorman ympäristössä tapahtuvaa paikallista murtumista. Tällöin laatta leikkautuu kartiomaisesti ja menettää siten kantavuutensa. Lävistysmurtomekanismiin voidaan vaikuttaa monella tavalla kuten betonin lujuusluokalla, laatan paksuuden ja jännemitan suhteella (laatan hoikkuus), pistekuorman vaikutusalan ja laatan paksuuden suhteella, laatan taivutusraudoituksen määrällä ja leikkausraudoituksella. (Suomen Betoniyhdistys ry 2015, 64-65.)

Tavallisesti laatat pyritään suunnittelemaan ilman leikkausraudoitusta, mutta tarvittaessa sen avulla voidaan kasvattaa laatan kestävyyttä. Laatan raudoitus vaikuttaa lävistysmurtomekanismiin seuraavilla tavoilla:

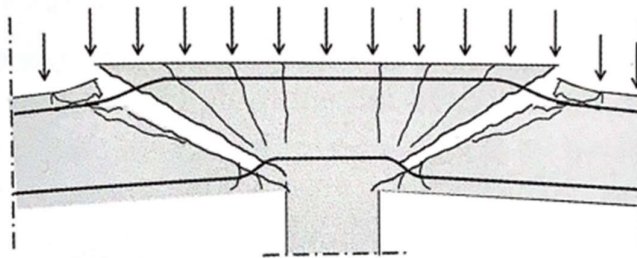
- yläpinnan raudoitus rajoittaa halkeaman avautumista ja nostaa leikkauskestävyyttä,
- yläpinnan raudoituksen vaikutus ei ole kovin suuri, koska betonipeite lohkeaa ja raudoitus pääsee repeytymään irti laatasta,
- alapinnan raudoitus estää laatan romahtamisen, jos se on ankkuroitu riittävästi tai menee jatkuvana pilarin pään ohi,
- leikkausraudoituksen vaikutuksesta murtokohta siirtyy kauemmas pilari­ista, jossa murtokartion piiri on pidempi ja pinta-ala ja lävistyskestävyys suurempi kuin lähempänä pilaria. (Suomen Betoniyhdistys ry 2015, 64-65.)

Lävistysmurtumisia on erilaisia, yksi niistä on lävistysmurtuminen ilman murtumista edeltävää taivutushalkeilua (kuva 20), joka tapahtuu useimmiten paksuilla ja jäykillä laatoilla. Tämä murtumismekanismi on harvinainen massiivilaatoilla, mutta se saattaa olla määräävänä esimerkiksi pilarianturoissa pistekuormien vaikutuksesta. Toinen lävistysmurtomekanismi on murtuminen taivutushalkeilun jälkeen (kuva 21), jossa taivutusraudoitus niin sanotusti repii laatan yläpintaan

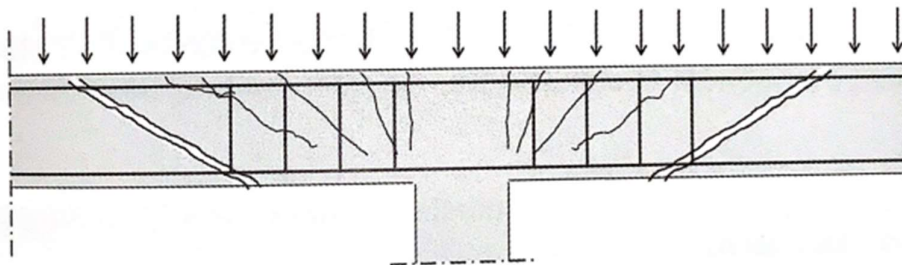
halkeamia, jotka sitten yhtyvät laatussa lävistyskartioksi. Lopullinen murtuma tapahtuu puristusvyöhykkeen murtumisena pilarin ja laatan liitoskohdassa. Viimeisenä on tapaus, jossa lävistysraudoitus siirtää murtokartiota kauemmas pilarista (kuva 22). Leikkausraudoitus parantaa lävistyskestävyyttä, sillä se rajoittaa lävistysshalkeaman avautumista ohjaamalla osan kuormista halkeaman yli pilarille.



KUVA 20. Suomen Betoniyhdistyksen laatima kuva havainnollistamaan eri murtomekanismeja (Suomen Betoniyhdistys ry 2015, 64-65).



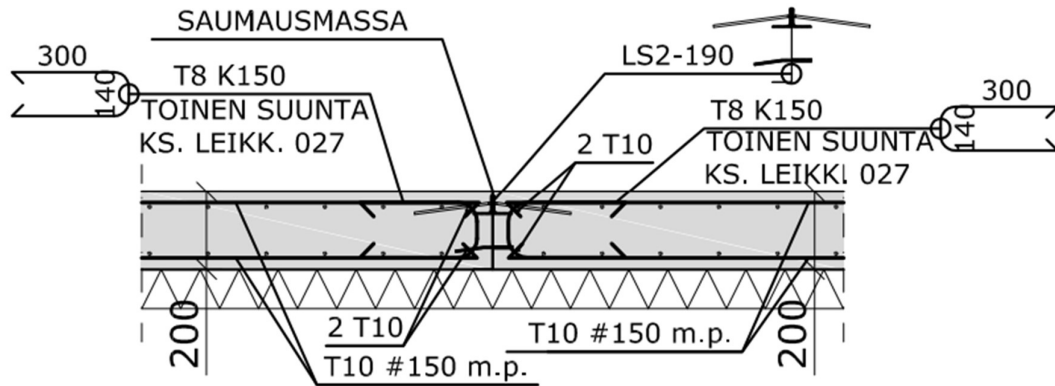
KUVA 21. Suomen Betoniyhdistyksen laatima kuva havainnollistamaan eri murtomekanismeja (Suomen Betoniyhdistys ry 2015, 64-65).



KUVA 22. Suomen Betoniyhdistyksen laatima kuva havainnollistamaan eri murtomekanismeja (Suomen Betoniyhdistys ry 2015, 64-65).

Lävistysmitoituksen laskemiseksi tarvittiin tehtaan alapohjan raudoituskuva (kuva 23), josta selviää laattaan asennetut raudoitukset. Tässä kohteessa 200

millimetriä paksussa alapohjassa on ylä- ja alapinnassa teräsverkko, jossa on halkaisijaltaan 10 millimetrin terästä ja niiden jakovälinä 150 millimetriä.



KUVA 23. Raudoituskuva alkuperäisistä rakennesuunnitelmista (Etteplan 2023).

Kaavalla 1 mitoitettiin laatan kestävyys ilman erillistä leikkausraudoitusta. Projektissa leikkausraudoittaman laatan lävistyskestävyydeksi saatiin 95 kN. Tämän jälkeen laskettiin alapohjalaatan käyttöaste ilman leikkausraudoitusta maksimuormaa eli 76 kN vastaan. Tulokseksi saatiin 0.80 eli laatan käyttöaste on 80 prosenttia. Laatta kestää siis ilman leikkausraudoitusta.

Laatan kestävyden mitoitus ilman erillistä leikkausraudoitusta määritellään kaavalla (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC, 2015, 103)

$$V_{Rd,c} = \frac{u_1 \times d}{\beta} \times C_{Rd,c} \times k \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

Missä

- u_1 on perustarkistuspiirin pituus
- d on laatan keskimääräinen tehollinen korkeus
- β on kuorman epäkeskisyyden huomioiva kerroin
- $C_{Rd,c}$ on betonin puristuslujuuden suunnitteluarvo

k	on laatan tehollisen korkeuden huomioiva kerroin
ρ_l	on keskimääräinen raudoitussuhde
f_{ck}	on betonin puristuslujuuden ominaisarvo

8.2 Huomioita laskennasta

Teollisissa kohteissa tulee usein huomioida esimerkiksi erilaisten ajoneuvojen, kuten trukkien törmäyskuormia, Asiakkaan kanssa on syytä ottaa puheeksi kohdekohtaisesti, onko tämä tarpeen. Toisinaan kohteissa asiakkaalla voi olla törmäyssuojia, tarkkoja ohjeistuksia tai muita järjestelmiä ajoneuvoliikenteelle, joiden johdosta törmäyskuormia ei tarvitse ottaa huomioon. Tässä tehtaassa on käytössä muun muassa trukkeja, mutta murskain eli siten myös nostinpalkit ja tukirakenteet, sijoittuvat tehtaassa osioon, jossa törmäysriskiä ei ole. Projektin rakennelaskelmissa ei siten ole huomioitu törmäyskuormia.

Tässä projektissa liittyvän betonilattian lävistysmitoitus oli mitoittava ja kuten sekin projektin muita mitoituksia tehtiin hyödyntäen Etteplan Finland Oy:n sisäisiä Excel-mitoituspohjia. Laskennassa tulee huomioida muun muassa laatan paikallinen puristus, jälkivalun puristuskestävyys, eristeen paikallinen puristus sekä maaperän kantavuus.

9 VALMISTUS, HITSIT JA PINTAKÄSITTELY

Kokoonpanopiirustukset käydään läpi kappaleessa 10.1 Teräsrakenteiden konepajasuunnittelu, mutta tässä osiossa esitellään kokoonpanopiirustuksissa ilmoitettavat tiedot valmistuksesta, hitseistä ja pintakäsittelystä.

Kokoonpanojen valmistus tulee suorittaa standardin SFS-EN 1090 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus, osan 2 Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset mukaan. Standardissa määritellään vaatimukset teräsrakenteiden toteutukselle, joiden avulla pyritään varmistamaan riittävä mekaaninen kestävyys ja stabiilius, ominaisuuksien säilyvyys sekä kestävyys. Standardin vaatimukset on tarkoitettu erityisesti EN 1993 -standardisarjan mukaisesti suunniteltujen teräsrakenteiden toteutukseen. (SFS EN 1090-2, 2018, 8.) Tämän projektin rakenteet mitoitettiin EN 1993 -standardisarjan mukaan, jonka takia valmistus standardi otetaan tässä myös käyttöön.

Lisäksi valmistukseen liittyen tulee kertoa kokoonpanon valmistustoleranssi, polttoleikkausluokka ja sen toteutusluokka. Valmistustoleranssi tarkoittaa luokkaa jonka mukaan määritetään kokoonpanon valmistuksen seurauksena tapahtuvaa kokoonpanon sallittua mitan vaihtelua. Polttoleikkausluokka määrittää leikkauslaadun ja tarkkuuden, luokat ovat määritelty standardissa SFS-EN ISO 9013. Teräsrakenteille on neljä eri toteutusluokkaa, jotka merkitään EXC1-EXC4. Toteutusluokka määräytyy projektikohtaisesti vaatimustason mukaan. (SFS EN 1090-2, 2018, 23.) Standardissa 1993-1-1 liitteessä C on lisätietoa toteutusluokan valinnasta. Valmistustoleranssi tämän projektin kokoonpanoille on 2, polttoleikkausluokka on 442 ja toteutusluokka on EXC2.

Tässä projektissa ei ole rakennesuunnitelmiin määritelty työmaahitsejä, vaan kaikki hitsaukset tehdään konepajalla kokoonpanoja valmistettaessa. Hitsaus on kahden aineen kiinnittämistä toiseen sulattamalla terästä valokaarella yhteen. Hitsaaminen vaatii väliaineen eli yleensä jonkinlaisen kaasun, jottei teräs ala palamaan lämmön vaikutuksesta. Hitsityön laatu tulee tarkistaa, varsinkin vaativissa kohteissa vähintään silmämääräinen tarkastus ja ultra-ääni.

Hitsiluokkana käytetään yleensä, kuten tässä projektissa, hitsiluokkaa C ellei toisin mainita (SFS-EN 1993-1-8, 2005, 41). Hitsit eivät saa olla hauraita eivätkä ne saa murtua ennen viereisen perusaineen myötäämistä, eli hitseissä tulee olla vähintään perusaineen lujuus. Tässä projektissa yleishitsiksi on määritelty pienahitsi 4 millimetrin pienalla, ellei toisin määritelty. Nostinpalkkien päihin konepajalla hitsattavat päätylevyt määriteltiin hitsattavaksi pienahitsin sijaan 4 millimetrin puoli-V-hitsilajilla.

Suojaamaton teräs on alttiina korroosiolle, eli metallin syöpymiselle ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta, mikä voi johtaa sen vaurioitumiseen. Korroosiovaurioiden ehkäisemiseksi teräsrakenteet suojataan tavallisesti siten, että ne kestävät korroosiorasituksia rakenteiden koko suunnitellun käyttöajan. (SFS-EN ISO 12944-5, 2019, 5.)

Jos rakennuksen sisätilan suhteellinen kosteus on enintään 80 % korroosionestokäsittelyä ei tarvita sisätiloissa olevissa rakenteissa (SFS-EN 1993-1-1, 2005, 29). Teollisuuskohteissa on kuitenkin kohdekohtaisesti asiakkaan kanssa pohdittava, onko sisätilan olosuhteet sellaiset, että siellä saattaisi esiintyä ajoittain korkeaa suhteellista kosteutta tai muuta korroosiota aiheuttavaa ilmiötä tai prosessia. Tässä projektissa uusien teräsrakennneosien pintakäsittelyt suunniteltiin yhdenmukaiseksi tehtaan muiden teräsrakenteiden kanssa. Liitteessä 1 olevan kokoonpanokuvan alareunasta voidaan tarkastella tarkemmin tämän projektin valmistus, hitsit ja pintakäsittely tietoja.

10 TOTEUTUSSUUNNITELMIEN LAATIMINEN

Rakenteiden mitoituksen jälkeen on hyvä viimeistellä alkuperäiseen hahmotelmaan tulleet muutokset Tekla-Structures 3D-malliin ennen osien ja kokoonpanojen numerointia. Kaikki toteutuskuvat saadaan tehtyä Teklassa, kunhan mallinnus on tehty huolellisesti numerointisuosituksia seuraten. Teklan hyödyntäminen toteutussuunnitelmien laadintaan nopeuttaa prosessia huomattavasti, jos vaihtoehtoisesti jouduttaisiin toteutuspiirustukset tekemään esimerkiksi Autocadilla.

Teklan numerointijärjestelmä mahdollistaa eri osien ja kokoonpanojen yksilöimisen ja tunnistamisen. Järjestelmä käyttää automaattista numerointia ja käyttäjän määrittelemiä sääntöjä, jotka perustuvat projektiin liittyviin vaatimuksiin (What is numbering and how to plan it n.d.). Numerointijärjestelmä auttaa myös hallitsemaan rakenneosien määrää ja niiden sijaintia projektin aikana. Lisäksi se auttaa varmistamaan, että jokainen osa on suunniteltu oikein ja että se vastaa projektin vaatimuksia.

10.1 Teräsrakenteiden konepajasuunnittelu

Ennen konepajasuunnittelua on hyvä käydä asiakkaan kanssa läpi rakenne-suunnittelun tulokset, tässä vaiheessa projektia on selvillä teräksen kokonaisuusmäärä, joka taas on suoraan verrannollinen projektin hintaan. Mahdolliset muutokset rakenteisiin tai liitoksiin on hyvä tehdä ennen konepajasuunnitelmia. Näin vältetään jälleen ylimääräiseltä työltä sekä huolimattomuusvirheiltä, joita voi syntyä jos piirustuksia joudutaan muuttamaan vielä jälkikäteen.

Konepajapiirustuksia luodessa on hyvä muistaa, että jokaisella konepajalla on hieman omat tottumukset konepajapiirustusten suhteen ja tarvittaessa tulee olla yhteydessä konepajaan ennen piirustusten valmistamista. Konepajasuosituksia asiakkaalle voi antaa, mutta lopullisen päätöksen tekee asiakas.

10.1.1 Kokoonpanopiirustukset

Kokoonpanopiirustuksissa esitetään yksittäisten rakenneosien koonti yhteen kokoonpanoon. Yhdessä kokoonpanossa on aina pääosa, johon muut rakenneosat liitetään hitsaamalla ja jonka mukaan piirustus esitetään. Kokoonpanopiirustuksissa on tärkeä näyttää kokoonpanon päämitat, sekä liitettävien rakenteiden liittymäpintojen ja reikien mitat suhteessa pääosaan. Kokoonpanopiirustuksessa tulisi lisäksi näkyä kokoonpanon pääosan tunnus sekä jokaisen liittyvän osan tunnus. Tunnus on jokaiselle erilaiselle osalle yksilöllinen ja se tulee numeroinnin yhteydessä.

Kokoonpanon päämittojen avulla konepajalla saadaan nopeasti tieto kokoonpanon koosta, joka vaikuttaa taas kokoonpanon kuljetukseen. Levyn liittyessä pääosaan muussa kuin 90 asteen kulmassa, tulee tämä kulma ilmoittaa erikseen. Isommissa kokoonpanoon liitettävissä levyissä on hyvä näyttää mitta kahteen kohtaan, jolloin vinoonkin leikattu levy saadaan suoristettua kokoonpanoon nähden.

Kokoonpanopiirustuksiin tulee vähintään kaksi näkymää, edestä ja sivulta, sekä tarvittava määrä leikkauksia ja detaljeja, jotta jokainen kokoonpanon rakenneosa saadaan asennettua konepajalla paikalleen. Erilaisten näkymien lisäksi kokoonpanopiirustuksissa kerrotaan luvussa 9 käsitellyt teräsrakenteen viimeistelyaste, hitsausluokka, poikkileikkausluokka, rakenteen pintakäsittely sekä pinnan halutut värisävyt. Liitteessä 1 on yhden kokoonpanon piirustus esimerkkinä. Tässä projektissa kokoonpanopiirustukset valmistettiin ennen osakuvia, sillä kokoonpanopiirustuksia valmistettaessa viimeistään huomaa, jos mallin puolella on virheitä. Näin mahdolliset virheet voidaan korjata, eikä osapiirustuksia jouduta tekemään useampaan kertaan, eli säästetään aikaa.

10.1.2 Osapiirustukset

Osapiirustuksissa näytetään yksittäisen osan mitat. Rakenneosasta tulee näyttää vähintäänkin kaksi eri näkymää, edestä ja sivulta, sekä lisätään tarvittaessa

näkymiä niin että osa on valmistettavissa. Levyosille esitetään mitat levyn äärimitoille, paksuudelle sekä reikiin. Rakenneosissa oleviin reikiin lisätään osatunnukset joista selviää reikien määrät ja halkaisijat. Vinoissa osissa tulee aina esittää leikkauksen kulma. Osapiirustuksessa tulee ilmoittaa kokoonpanot, joissa kyseinen rakenneosa esiintyy. Liitteessä 2 on liitteessä 1 olevan kokoonpanon osakuvat.

10.2 Asennuspiirustukset

Asentamista täytyy ajatella läpi suunnitteluprosessin, sillä on rakennesuunnittelijan vastuulla, että rakenne on turvallisen käytön lisäksi turvallisesti asennettavissa. Asentamisen lisäksi on hyvä huomioida kokoonpanojen kuljettaminen asennuspaikalle eli tässä projektissa tehtaan sisällä murskaimen luo. Lopullinen päätös on asiakkaan ja konepajan, mutta rakennesuunnittelijan on hyvä huomioida se kokoonpanoja suunniteltaessa. Tässä projektissa on päätetty tehdä väliaikainen haalausaukko tehtaan seinään.

Asennuspiirustuksissa rakennesuunnittelija sitoo kokoonpanot niiden lopullisiin sijainteihin rakennuksessa. Piirustuksissa ilmoitetaan kokoonpanon tunnus sekä halutessaan kokoonpanon pääosan profiili. Asennuspiirustuksia käytetään työmaalla, kun nostinpalkkeja ja tukirakenteita asennetaan tehdasympäristöön. Tämän takia asennuspiirustuksissa on tärkeä esittää liittymiset nykyisiin rakenteisiin sekä kokoonpanojen väliset kiinnitykset, kuten tässä projektissa pultit ja etenkin betoniankkurit.

Asennuspiirustuksessa voidaan käyttää apuna 3D kuvaa, jonka avulla on helpompi hahmottaa rakennuksen kokonaisuus. Tässä projektissa tärkeimpiä mittoja tukirakenteiden sijoittamisen tehdasympäristöön lisäksi on pulttien keskiöväli eri kokoonpanojen välillä. Sen tärkeys korostuu, kun liitytään olemassa oleviin rakenteisiin, sillä asennusvaiheessa joustovaraa on vain hyvin vähän.

Tasokuvan sekä 3D kuvan lisäksi asennuskuvissa on hyvä näyttää leikkaus jokaisen palkin kohdalta molempaan suuntaan. Leikkauskuvissa on hyvä sitoa rakenne myös korkomaailmassa. Asennuskuvissa reunatekstien tärkeys korostuu,

sillä niissä voidaan tarkentaa kuvissa näytettyjä asennusohjeita. Liitteessä 3 on projektin asennuskuvat.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda rakennesuunnitelmat nostinpalkeille ja niiden tukirakenteille samalla tutustuen rakennesuunnittelu prosessiin lisärakentamisprojektissa. Projektissa oli useita vaiheita, mutta opinnäytetyössä keskeisin aihe on lisärakentamisessa näkyviin muutoksiin varautuminen sekä uusien suunniteltavien rakenteiden liittäminen tehtaan olemassa oleviin rakenteisiin.

Rakennesuunnittelija rooli projektin eri vaiheissa on tärkeä, sillä suunnittelijan vastuulla on suunnitella turvallinen ja toimiva rakenne, joka täyttää kaikki vaaditut tekniset ja turvallisuusmääräykset. Opinnäytetyön tuloksena saatiin suunniteltua kaksi nostinpalkkia ja niiden tukirakenteet olemassa olevalle murskaimelle. Suunnitelmat laadittiin asiakkaan tarpeiden mukaisesti ja kaikkiin tarvittaviin vaatimuksiin nähden.

Työn keskeisin aihe oli uusien rakenteiden liittäminen olemassa oleviin rakenteisiin ja niiden suunnittelussa vaikuttaneet asiat. Esimerkiksi liittyvässä alapohjassa olevan lattialämmön vaikutus betoniankkureiden valintaan ja samaan aikaan kommunikointi asiakkaan kanssa pohjalevyn koon muutoksen vaikutuksesta nykyiseen tehdasympäristöön.

Puhtaasti rakennesuunnittelijan näkökulmasta korjaus-, muutos- ja lisärakentamishankkeissa laserskannaamisen tai vastaavan työkalun hyödyntäminen ratkaisisi hankkeissa ilmeneviä haasteita. Projektin alusta asti rakennesuunnittelijalla olisi tarkat tiedot ympäröivistä rakenteista ja ne saataisiin mallinnettua sitä kautta Tekla-Structuresiin. Vaikka laserskannausta hyödynnettäisiin kohdekäynti on edelleen rakennesuunnittelijalle korvaamaton projektin vaihe, sillä Tekla-mallia katsomalla ei voida saavuttaa samanlaista ymmärtämistä kohteesta. Tässä projektissa laserskannauksen teettäminen olisi helpottanut suunnittelun tekemistä. Suunnittelu onnistui kuitenkin hyvin asennustoleranssit huomioiden ja rakenne saatiin onnistuneesti paikalleen. Projektin kokonaistalous huomioiden laserkeilaamisen teettäminen näin pienessä suunnitteluhankkeessa olisi nostanut hankkeen kokonaiskustannuksia siten, että skannaaminen kannatti jättää tekemättä.

Tekla Structures- ohjelmiston komponenttien hyödyntäminen sujuvoittaa rakennesuunnittelijan työtä, sillä komponentit ovat suunniteltu mukailemaan tietomallissa tapahtuvia muutoksia. Tietomallintamisen panostamiseen tulee käyttää aikaa, sillä komponenttien lisäksi hyvin mallinnetuista rakenteista saadaan tuotettua Teklasta lähes automaattisesti toteutuskuvia.

Projektin aikana opiskelija pääsi toimimaan rakennushankkeessa vastaavan rakennesuunnittelijan avustamana sekä tiiviissä yhteistyössä asiakkaan kanssa. Opiskelija sai työelämän kokemusta teräsrakenteiden mitoittamisesta laskentaohjelmalla ja vahvisti omaa osaamistaan tietomallintamisessa. Projektin aikana opiskelijan ymmärrys rakennusprojektista ja sen etenemisestä syveni. Opinnäytetyössä suureksi osaksi muodostui myös eurokoodien lukeminen, sillä niistä saatiin tietoa aina kuormien määrittämisestä teräsrakenteiden pintakäsittelyihin. Opinnäytetyö antoi opiskelijalle paljon oppia toimia vastaavanlaisissa ja suuremmissa rakennushankkeissa rakennesuunnittelijana.

LÄHTEET

Arias, P., Caamaño, J. C., Conde-Carnero, B., Riveiro, B. 2015. Exploitation of Geometric Data provided by Laser Scanning to Create FEM Structural Models of Bridges. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CF.1943-5509.0000807>

Eligehausen, R., Cook, R. & Appl, J. 2006. Behavior and Adhesive Bonded Anchors. ACI Structural Journal. Verkkosivu. Viitattu 16.4.2023. https://www.researchgate.net/profile/Rolf-Eligehausen-2/publication/280039038_Behavior_and_design_of_adhesive_bonded_anchors/links/56a0aed808ae21a5642bbda2/Behavior-and-design-of-adhesive-bonded-anchors.pdf

Etteplan Finland Oy. 2023. Haettu 12.1.2023 Etteplanin sisäisestä projektikansista.

Eurokoodin mukainen suunnittelu Profis Engineering -ohjelmistolla. n.d. Hilti. Verkkosivu. Viitattu 30.3.2023. <https://ask.hilti.fi/article/eurokoodin-mukainen-suunnittelu-profis-engineering-ohjelmistolla/acbzji>

Financial Release n.d. Trimble. Verkkosivu. Viitattu 8.3.2023. <https://investor.trimble.com/news-releases/news-release-details/trimble-navigation-offers-acquire-all-shares-building>

Hilti. n.d. Tekninen käyttöohje. Pdf-dokumentti. Viitattu 30.3.2023. https://www.hilti.fi/medias/sys_master/documents/h61/hb7/9861789024286/Technical-data-sheet-for-Hilti-HIT-HY-200-injectable-mortar-in-concrete-Technical-information-ASSET-DOC-8258686.pdf

IKH. n.d. Ketjutaljat 2T 6M. Verkkosivu. Viitattu 11.4.2023. <https://www.ikh.fi/fi/ketjutalja-2t-6m-xk2001>

Innomac. n.d. Vecoplan VAZ 1100 yksiakselinen murskain. Verkkosivu. Viitattu 11.4.2023. <https://www.innomac.fi/tuotteet/vecoplan/yksiroottoriset-murskaimet/vecoplan-vaz-1100-yksiakselinen-murskain>

Kim, M.-K, & Wang Q. 2019. Application of 3D point cloud data in the construction industry: A fifteen-year review from 2004 to 2018. Advanced Engineering Informatics. Viitattu 5.4.2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1474034618304683>

Laasonen, M. 2022. Rakenteiden mallinnus. Luento 2: Ohjelmaympäristö. Viitattu 21.03.2023. <https://moodle.tuni.fi/>

Lähteenmäki, M. 2012. Elementtimenetelmän perusteet. Pdf-dokumentti. Viitattu 16.3.2023. https://mlahteen.fi/arkistot/elpe_ark.htm

Maanmittauslaitos n.d. Tutkimus. Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät. Verkkosivu. Viitattu 15.4.2023. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/tutkimustointinta/tutkimusryhmat/paattyneet-tutkimusryhmat/koordinaattijarjestelmat-ja-0>

Peltola, J. 2018. Nosturiratapalkin mitoitus ja kriittisen kiepahdusmomentin laskeenta. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Phase Manager. n.d. Trimble. Verkkosivu. Viitattu 5.4.2023. https://support.tekla.com/doc/tekla-structures/2023/mod_dividing_the_model_into_phases

Rakennustieto. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 5. Rakennesuunnittelu. Viitattu 21.03.2023. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2010-11070>

Ruukki Hitsatut Profiilit. 2010. Pdf-dokumentti. Viitattu 4.4.2023. <https://dokumen.tips/documents/ruukki-hitsatut-profiilit-ksikirja-andguidesruukki-hitsatut-profiilit-hitsatut.html?page=1>

Satateräs. n.d. Tuotteet, siltanosturit. Verkkosivu. Viitattu 11.4.2023. <https://www.satateras.fi/fi/tuotteet-siltanosturit/>

SFS-EN 1090-2 (2018) Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset. Luettu 16.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN 1991-3 + AC (2007) Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 3: Nostureista ja muista koneista aiheutuvat kuormat. Luettu 24.3.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN 1993-1-8 (2005) Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus. Luettu 10.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN ISO 12944-5 (2019) Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmällä. Osa 5: Suojamaaliyhdistelmät. Luettu 19.4.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN ISO 12944-5 Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmällä. Osa 5: Suojamaaliyhdistelmät. 2019. <https://online.sfs.fi/>

SSAB Domex Tube Rakenneputket, 2016. EN 1993 -käsikirja. Pdf-dokumentti. Viitattu 10.4.2023. <https://www.ssab.com/fi-fi/brandit-ja-tuotteet/terasluokat/rakenneputket/kasikirjat>

Suomen Betoniyhdistys ry. 2015. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja 2014. Osa 2. 2.painos. Helsinki: BY -Koulutus Oy.

Syrjä, R. Elementtimenetelmään perustuvan ohjelman käytön perusteet. Pdf-dokumentti. Viitattu 10.3.2023. https://mycourses.aalto.fi/plu-ginfile.php/952739/course/section/143156/L_FEM_FI_20190905.pdf

TKK Arkkitehtiosasto. 2007. Teräs. Pdf-dokumentti. Viitattu 12.4.2023. https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/40/66e53a5/Teras_web.pdf

Vehanen, J. 2014. Kattilalaitoksen rakennesuunnittelu ja projektinjohto. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

What is numbering and how to plan it. n.d. Trimble. Verkkosivu. Viitattu 5.4.2023. https://support.tekla.com/doc/tekla-structures/2023/mod_what_is_numbering

Why Tekla Model Sharing. n.d. Trimble. Verkkosivu. Viitattu 8.3.2023. <https://www.tekla.com/products/tekla-model-sharing>

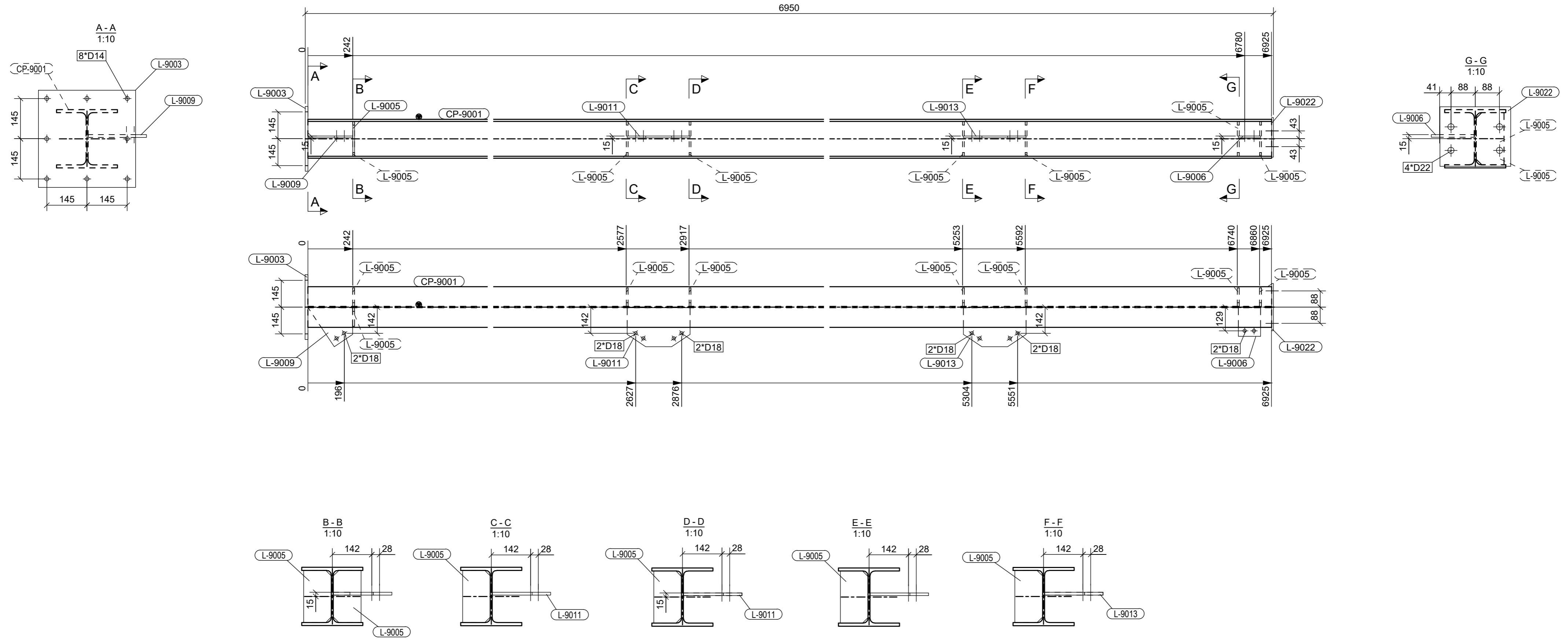
Why Tekla Structures. n.d. Trimble. Verkkosivu. Viitattu 8.3.2023. <https://www.tekla.com/products/tekla-structures>

YTV. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Osa 5: Rakennesuunnittelu. Verkkosivu. Viitattu 21.3.2023. <https://drive.builingSMART.fi/s/HS3iyQg8WBZmMbM>

LIITTEET

Liite 1. Kokoonpanopiirustus. Nimiö poistettu asiakkaan salassapidon vuoksi.

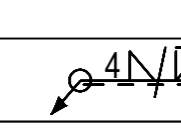
OSALUETTELO KOKOONPANOLLE C-9001, JOTA VALMISTETAAN 1 KAPPALETTA						
OSA	PROFIILI	MATERIAALI	PITUUS [mm]	ALA [m ²]	PAINO [kg]	LKM
CP-9001	HEA220	S355J2	6925	8.7	351.2	1
L-9003	PL15*350	S355J2	350	0.3	14.4	1
L-9005	PL10*100	S355J2	188	0.3	1.4	8
L-9006	PL10*120	S355J2	155	0.0	1.5	1
L-9009	PL10*200	S355J2	254	0.1	2.6	1
L-9011	PL10*211	S355J2	340	0.1	5.1	1
L-9013	PL10*211	S355J2	339	0.1	5.1	1
L-9022	PL10*255	S355J2	215	0.1	4.3	1
YHTEENSÄ:				9.8	395.7	



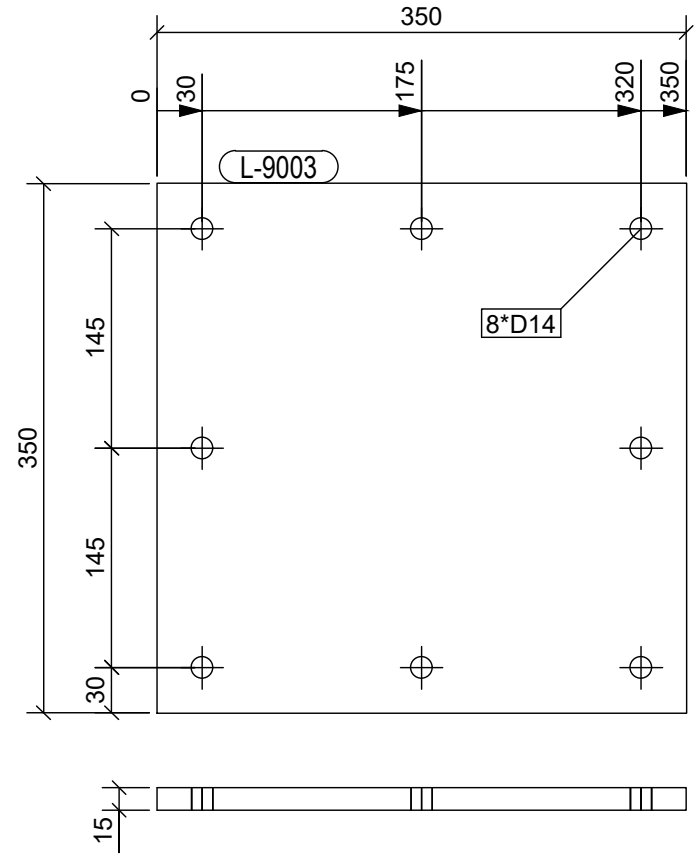
VALMISTUS
 VALMISTUS, STANDARDI
 SFS-EN 1090-2
 VALMISTUSTOLERANSSIT
 2 (SFS-EN 1090-2, LIITE B)
 POLTTOLEIKKAUSLUOKKA
 442 (SFS-EN ISO 9013)
 TOTEUTUSLUOKKA
 EXC2

HITSIT
 HITSIAUSLUOKKA
 C (SFS-EN ISO 5817)
 HITSIT, YLEISMAININTA
 Ellei toisin mainittu

PINTAKÄSITTELY
 PINTAKÄSITTELY, STANDARDI
 SFS-EN ISO 12944-5/C2.05-EP (EP160/2-FeSa 2¼)
 ESIKÄSITTELYASTE
 P2 (SFS-EN ISO 8501-3)
 VÄRISÄVY 1
 RAL 6028

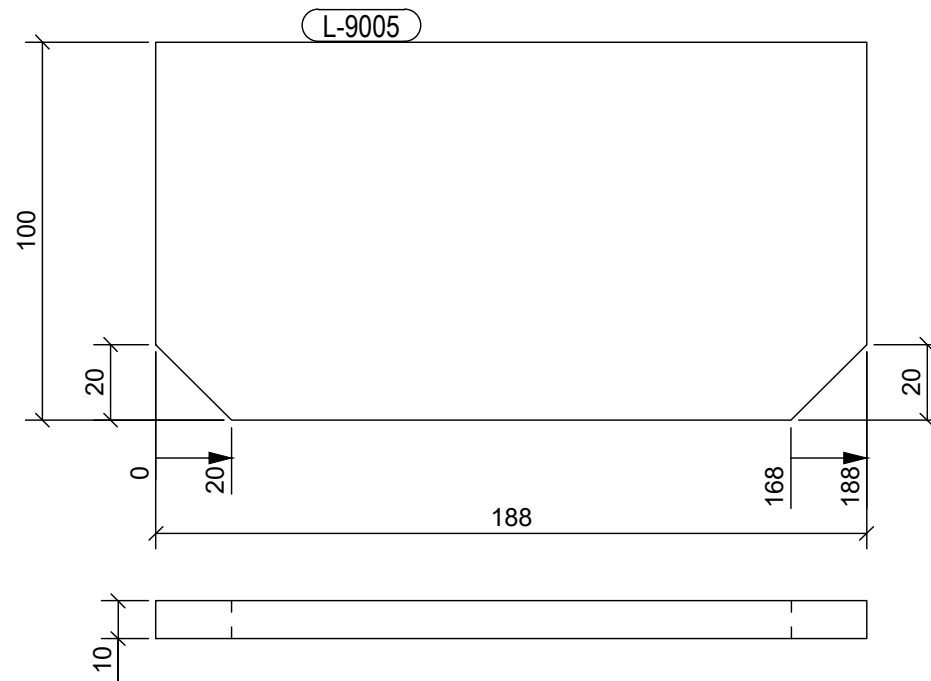


OSA	PROFIILI	MATERIAALI	LKM	PITUUS	PAINO
L-9003	PL15*350	S355J2	2	350	14.4
YHTEENSA:					28.8



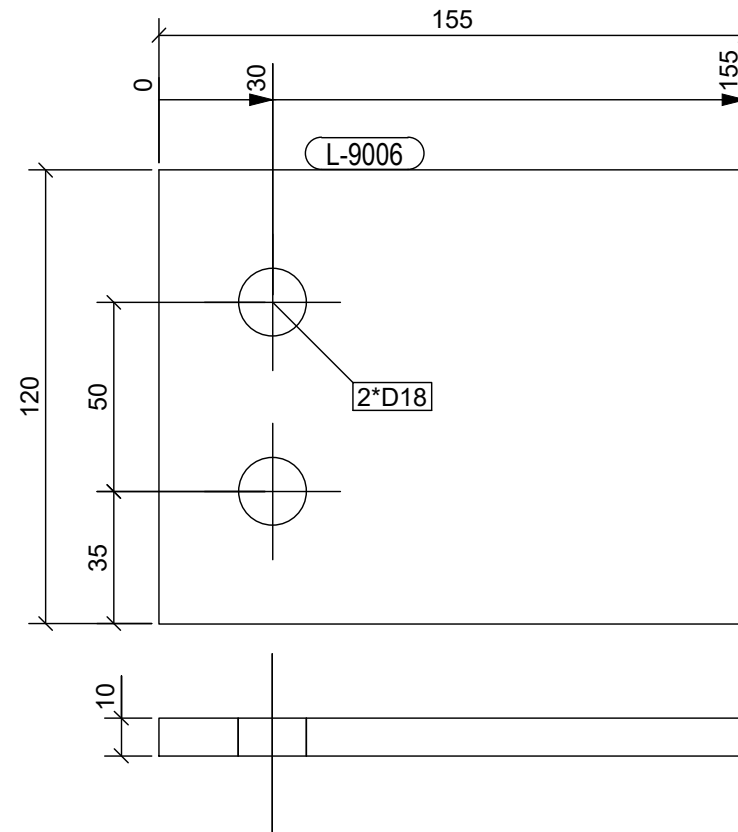
KOKOONPANOSSA	LKM
C-9001	1
C-9002	1

OSA	PROFIILI	MATERIAALI	LKM	PITUUS	PAINO
L-9005	PL10*100	S355J2	28	188	1.4
YHTEENSA:					40.4



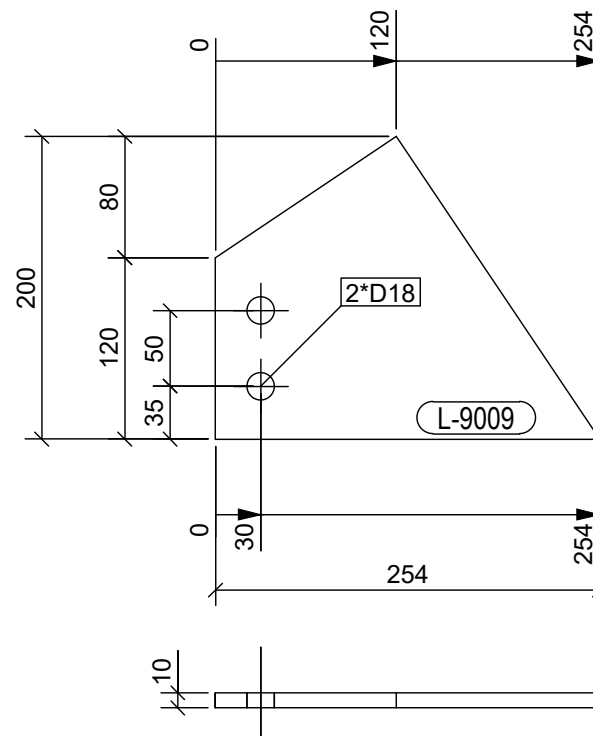
KOKOONPANOSSA	LKM
C-9001	8
C-9002	6
C-9003	8
C-9004	6

OSA	PROFIILI	MATERIAALI	LKM	PITUUS	PAINO
L-9006	PL10*120	S355J2	2	155	1.5
YHTEENSA:					2.9



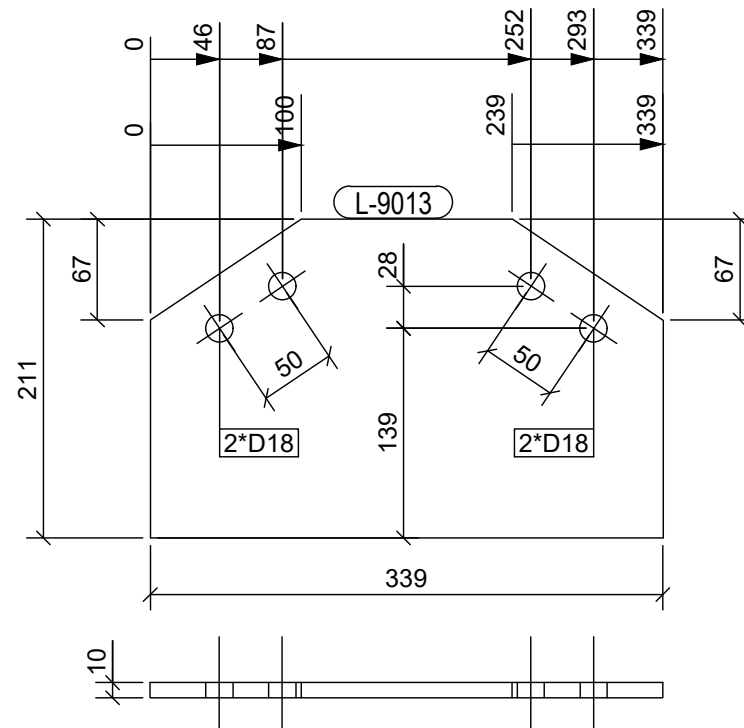
KOKOONPANOSSA	LKM
C-9001	1
C-9003	1

OSA	PROFIILI	MATERIAALI	LKM	PITUUS	PAINO
L-9009	PL10*200	S355J2	2	254	2.6
YHTEENSA:					5.1



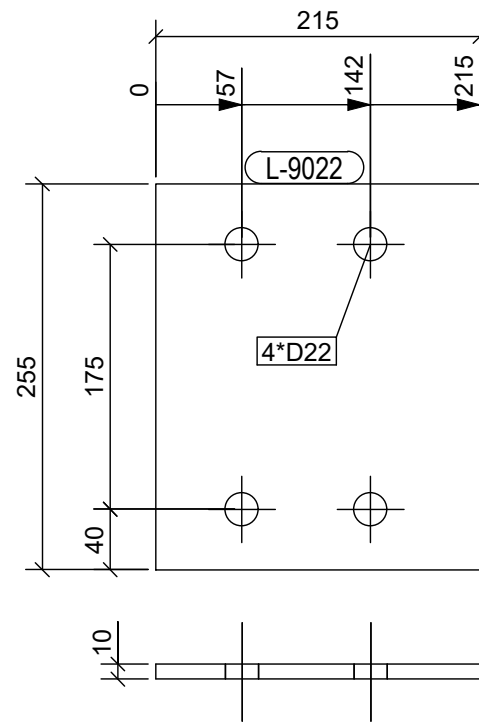
KOKOONPANOSSA	LKM
C-9001	1
C-9003	1

OSA	PROFIILI	MATERIAALI	LKM	PITUUS	PAINO
L-9013	PL10*211	S355J2	1	339	5.1
YHTEENSA:					5.1



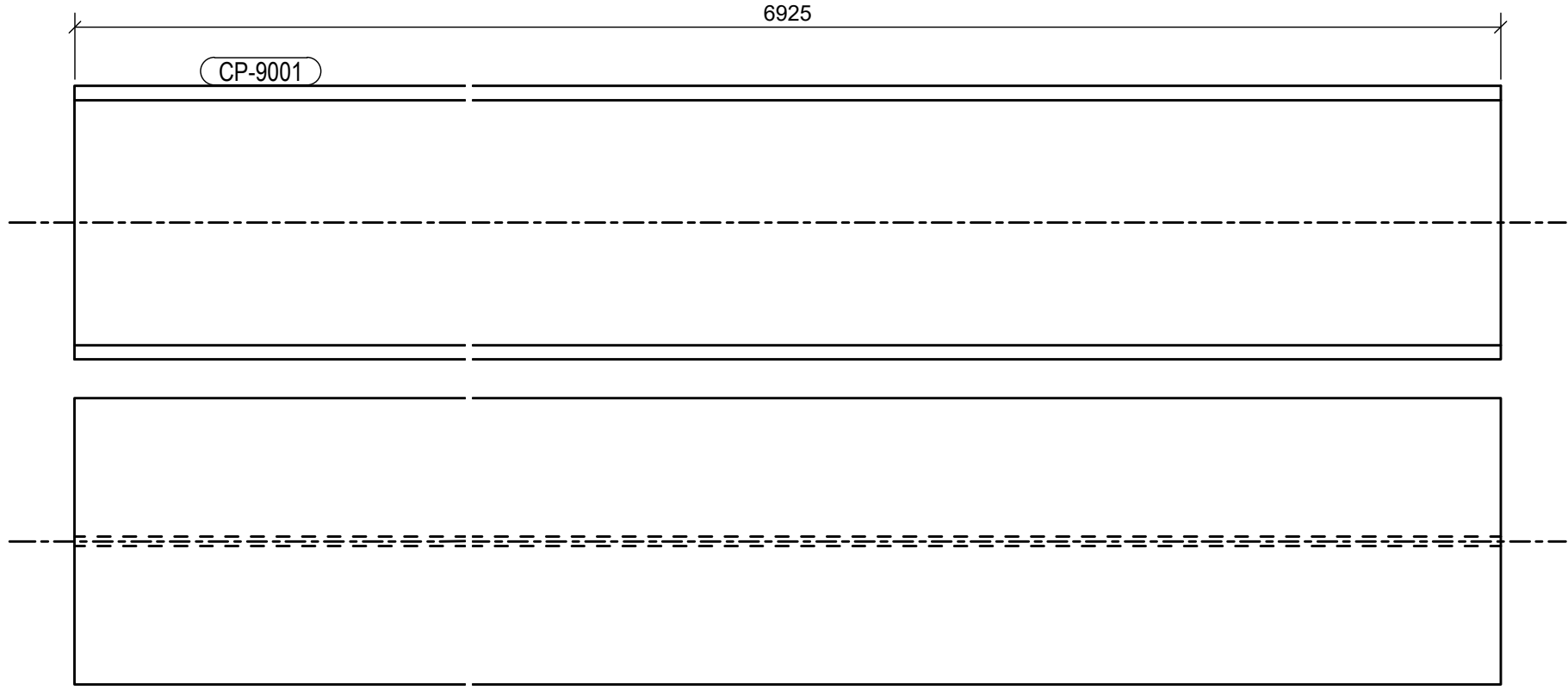
KOKOONPANOSSA	LKM
C-9001	1

OSA	PROFIILI	MATERIAALI	LKM	PITUUS	PAINO
L-9022	PL10*255	S355J2	4	215	4.3
YHTEENSA:					17.2

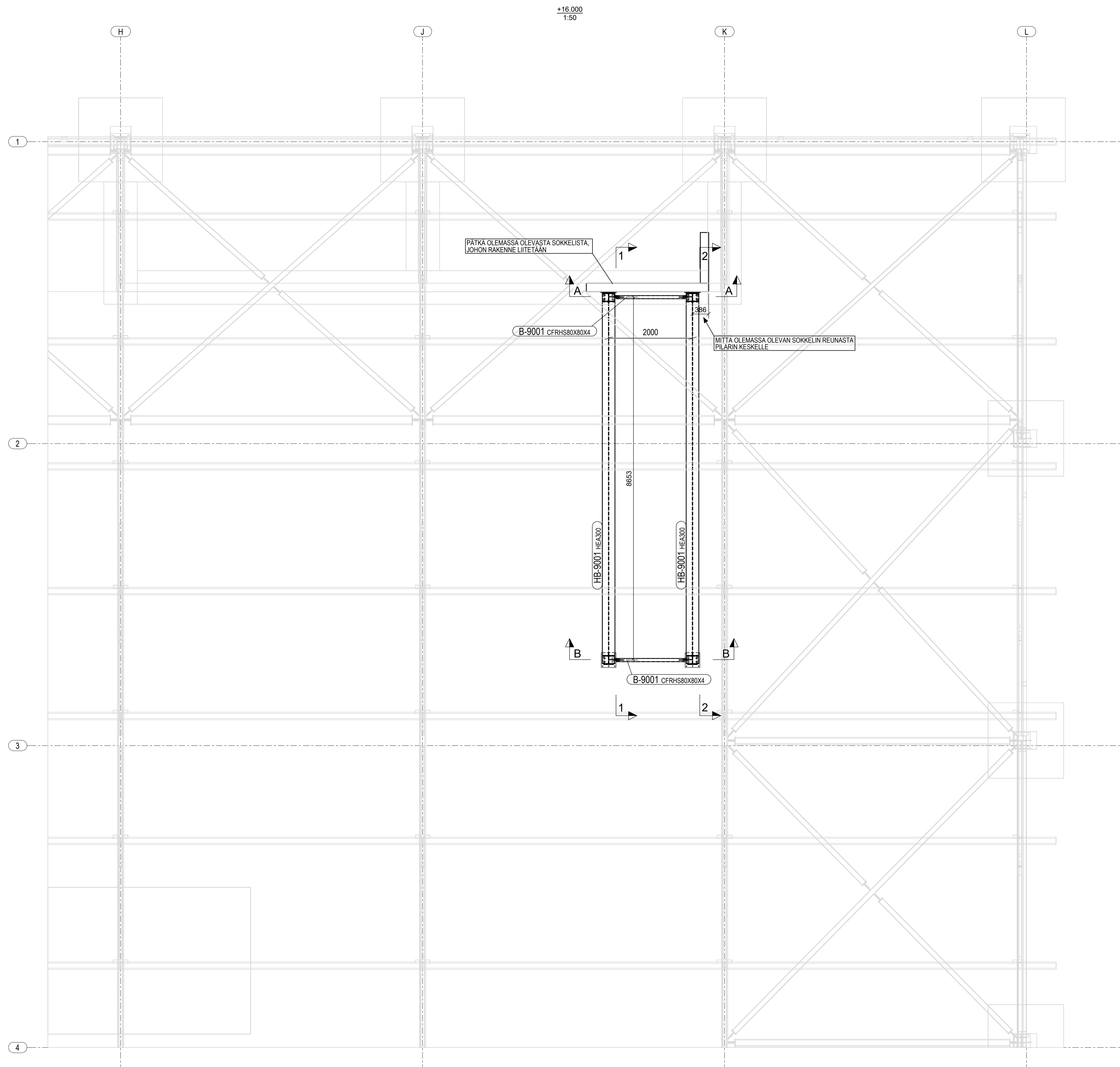


KOKOONPANOSSA	LKM
C-9001	1
C-9002	1
C-9003	1
C-9004	1

OSA	PROFIILI	MATERIAALI	LKM	PITUUS	PAINO
CP-9001	HEA220	S355J2	4	6925	351.2
YHTEENSA:					1404.7



KOKOONPANOSSA	LKM
C-9001	1
C-9002	1
C-9003	1
C-9004	1



TERÄSRAKENTEET:

HEA-PROFIILIT JA LEVYIT S355J2
PUTKI-PROFIILIT S355J2H

TOTEUTUSLUOKKA EXC2 (SFS-EN 1090-2)
ESIKÄSITTELYASTE P2 (SFS-EN ISO 8501-3)
HITSAUSLUOKKA C (SFS-EN ISO 5817)
POLTTOLEIKKAUSLUOKKA 442 (SFS-EN ISO 9013)
TOLEERANSILUOKKA 2 (SFS-EN 1090-2, liite B)

PINTAKÄSITTELY (SFS-EN ISO 12944-2)

YMPÄRISTÖLUOKKA C2
MAALAUUS EP160/2-FeSa 2½ (VANHAN RAKENTEEN MUKAAN)
VÄRI RAL 6028

MAHDOLLISET TYÖMAAHIKSIT PAIKKAMAALATAAN YLLÄ OLEVIA MAALAUUSJÄRJESTELMIEN MUKAISESTI.

YLEISHITSIT a=4 PIENA / V

KIINNIKKEET TERÄSRAKENTEIDEN LIITOKSISSA KUUMASINKITYJÄ
(Aluslevy sekä ruuvien kannan että mutterin alla)

RULUVI M24...M30 8.8 (EN ISO 4014)
RULUVI M12...M20 8.8 (EN ISO 4017)
MUTTERIT M12...M30 8 (EN ISO 4032)
ALUSLEVY M24...M30 200HV (DIN 7989)
ALUSLEVY M12...M20 200HV (ISO 7089)

KIRISTYSMOMENTIT M12=80 Nm, M16=200 Nm, M20=380 Nm, M24=665 Nm

RAKENNE ASENNETAAN SOKEELIIN KIINNI, TASOKUVASSA MITTA ON OLEMASSA OLEVAN SOKKELIN NURKASTA PILARIN KESKELLE.

HUOMI! B - B LEIKKAUKSESSA NÄKYVÄT VINOSITEET ON VOITAVA POISTAA JÄLKIKÄTEEN. ASENNETTAESSA EI SAA RIKKOA PULTTIEN KIERTEITÄ.

LIITYTTÄESSÄ SOKKELIIN KÄYTETÄÄN TARVITTAESSA ASENNUSLEVYJÄ EPL-9001 TAI EPL-9002. LEVYISSÄ KUUSI REIKÄÄ SOKKELIN RAUDOITUKSEN TAKIA VARALTA.

KAIKKI MITAT TARKISTETTAVA TYÖMAALLA ENNEN KOKOONPANOJEN VALMISTUSTA!

TERÄSRAKENTEET:

HEA-PROFIILIT JA LEVYT	S355J2
PUTKI-PROFIILIT	S355J2H
TOTEUTUSLUOKKA	EXC2 (SFS-EN 1090-2)
ESIKÄSITTELYASTE	P2 (SFS-EN ISO 8501-3)
HITSAUSLUOKKA	C (SFS-EN ISO 5817)
POLTTOLEIKKAUSLUOKKA	442 (SFS-EN ISO 9013)
TOLERANSSILUOKKA	2 (SFS-EN 1090-2, liite B)

PINTAKÄSITTELY (SFS-EN ISO 12944-2)

YMPÄRISTÖLUOKKA	C2
MAALAUUS	EP160/2-FeSa 2½ (VANHAN RAKENTEEN MUKAAN)
VÄRI	RAL 6028

MAHDOLLISET TYÖMAAHITSIT PAIKKAMAALATAAN YLLÄ OLEVIEN MAALAUUSJÄRJESTELMIEN MUKAISESTI.

YLEISHITSIT a=4 PIENA / V

KIINNIKKEET TERÄSRAKENTEIDEN LIITOKSISSA KUUMASINKITTYYJÄ (Aluslevy sekä ruuvin kannan että mutterin alla)

RUIUVI M24...M30 8.8 (EN ISO 4014)
 RUIUVI M12...M20 8.8 (EN ISO 4017)
 MUTTERIT M12...M30 8 (EN ISO 4032)
 ALUSLEVYT M24...M30 200HV (DIN 7989)
 ALUSLEVYT M12...M20 200HV (ISO 7089)

KIRISTYSMOMENTIT M12=80 Nm, M16=200 Nm, M20=380 Nm, M24=665 Nm

RAKENNE ASENNETAAN SOKEELIIN KIINNI, TASOKUVASSA MITTA ON OLEMASSA OLEVAAN SOKKELIN NURKASTA PILARIN KESKELLE.

HUOMI B - B LEIKKAUKSESSA NÄKYVÄT VINOSITEET ON VOITAVA POISTAA JÄLKIKÄTEEN ASENNETTAESSA EI SAA RIKKOA PULTTIEN KIERTEITÄ.

LIITYTTÄESSÄ SOKKELIIN KÄYTETÄÄN TARVITTAESSA ASENNUSLEVYJÄ EPL-9001 TAI EPL-9002. LEVYISSÄ KUUSI REIKÄÄ SOKKELIN RAUDOITUKSEN TAKIA VARALTA.

KAIKKI MITAT TARKISTETTAVA TYÖMAALLA ENNEN KOKOONPANOJEN VALMISTUSTA!

TERÄSRAKENTEET 3D

