



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Leo Hirvonen

Konepajapiirustusten piirustusasetusten ja ohjeistuksen päivittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

20.8.2019

Tekijä Otsikko	Leo Hirvonen Konepajapiirustusten piirustusasetusten ja ohjeistuksen päivittäminen
Sivumäärä Aika	41 sivua + 3 liitettä 20.8.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Lehtori Riikka Jääskeläinen, Metropolia AMK Osastopäällikkö Pekka Toivanen BIM-asiantuntija Pasi Kivimäki Yksikönjohtaja Juha-Matti Savolainen
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Sweco Rakennetekniikka Oy:n teollisen teräsrakentamisen yksikölle. Työn tarkoituksena oli luoda konepajapiirustuksille uusia piirustuspohjia ja päivittää piirustuspohjiin liittyvä ohjeistus. Tilaaajayrityksen toiveena oli, että työn tulosten avulla voitaisiin minimoida piirustusten editointiin kuluva aika suunnitteluprosessissa.</p> <p>Työtä varten kartoitettiin aluksi konepajapiirustuksia ja niiden sisältöä koskevat määräykset ja ohjeet. Tätä varten tuli perehtyä muun muassa aiheita koskeviin SFS-standardeihin ja Ruukki Constructionin tuottamaan Konepajapiirustusten laadintaohje -julkaisuun.</p> <p>Varsinainen piirustusasetusten työstäminen toteutettiin Tekla Structures -ohjelmalla, joka on Sweco Rakennetekniikka Oy:n pääasiallinen tietomallinnusohjelma. Uusien piirustusasetusten laatimisen pohjana käytettiin myös edellisten suunnittelukohteiden jo valmiiksi editoituja piirustuksia määrittämään tilaajayrityksen tarpeen mukainen rakennekohtaisesti vaadittava piirustuksissa esitettävä informaatio.</p> <p>Työn tuloksena luotiin käyttökelpoiset piirustuspohjat palkeille, pilareille, kotelopilareille, si-teille, nostopalkeille ja kaiteille. Kyseisten rakenteiden osalta laadittiin myös piirustuspohjien käyttöä koskeva ohje suunnittelijoiden käyttöön.</p> <p>Opinnäytetyö toimii pohjana pitkäaikaisemmalle Sweco Rakennetekniikka Oy:n projektille, jonka tarkoituksena on päivittää piirustuspohjat ja ohjeistus kaikkien teollisen teräsrakentamisen yksikön käyttämien rakenteiden osalta. Kyseinen projekti jatkuu yrityksen sisäisesti tämän opinnäytetyön päättymisen jälkeen.</p>	
Avainsanat	konepajapiirustus, piirustusasetus, piirustuspohja, Tekla Structures, teräsrakentaminen, tietomallinnus

Author Title	Leo Hirvonen Updating of the drawing templates and instructions of workshop drawings
Number of Pages Date	41 pages + 3 appendices 20 August 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Structural Engineering
Instructors	Riikka Jääskeläinen, Senior Lecturer Pekka Toivanen, Team Manager Pasi Kivimäki, BIM Expert Juha-Matti Savolainen, Department Manager
<p>This thesis was done as an assignment for the industrial steel construction department of Sweco Rakennetekniikka Oy. The purpose of the project was to create new drawing templates for workshop drawings and to update the user instructions regarding the drawing templates. The object for the client was to minimize the time needed for manual editing of the drawing templates during the designing process.</p> <p>The project began by researching all the specific requirements and instructions regarding workshop drawings and their contents. In order to do this, it was important to thoroughly study the relevant SFS standards and the workshop drawing guide produced by Ruukki Construction.</p> <p>The drawing templates were created using the Tekla Structures modeling software, which is the main BIM software used by Sweco Rakennetekniikka Oy. Manually edited finished workshop drawings from older projects were also used as a baseline to determine the structure-specific information required to be presented on the drawings according to the needs of the client.</p> <p>As a result of this thesis, ready-to-be-implemented drawing templates were created for beams, columns, box columns, braces, hoist beams and railings. User instructions for the drawing templates were also created for the structures in question. The client will continue the project internally after the completion of this thesis.</p>	
Keywords	workshop drawing, drawing setting, drawing template, Tekla Structures, steel construction, BIM

Sisällys

Termit ja lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Sweco yrityksenä	1
1.2	Insinööriyön taustaa	2
1.3	Insinööriyön tavoite	2
1.4	Insinööriyön toteutusmenetelmät ja rajaukset	3
2	Teräsrakentaminen	5
2.1	Teräs rakennusmateriaalina	5
2.2	Teräsrakenteiden käyttökohteet	6
2.3	Teollinen teräsrakentaminen ennen ja nyt	8
2.4	Konepajapiirustukset käsitteenä	8
3	Tietomallinnus	10
3.1	Tietomallinnus käsitteenä	10
3.2	Tekla Structures -suunnitteluohjelma	11
3.2.1	Mallintamisen toimintalogiikka Teklassa	14
3.2.2	Piirustusten luonti ja hallinta Teklassa	16
3.3	Tekla osana suunnitteluprosessia	18
4	Uusien piirustus pohjien ja ohjeistuksen luominen	22
4.1	Piirustuksille asetetut vaatimukset	22
4.2	Piirustusasetusten luominen Teklassa	25
4.2.1	Piirustusarkin ja näkymien määrittäminen	26
4.2.2	Merkintöjen määrittäminen näkymiin	28
4.2.3	Piirustus pohjien koekäyttö ja ilmenneet ongelmat	31
4.3	Piirustus pohjien ohjeistuksen luominen	34
5	Projektin tulokset	35
6	Yhteenveto ja johtopäätökset	36
	Lähteet	38

Liitteet

Liite 1. Esimerkki osapiirustuksesta.

Liite 2. Esimerkki kokoonpanopiirustuksesta.

Liite 3. Piirustusohjeistus. (vain työn tilaajan käyttöön)

Termit ja lyhenteet

BIM	Tietomallilla tarkoitetaan rakennuksen virtuaalimallia, johon tallennetaan kaikki rakennukseen liittyvät tarvittavat tiedot koko sen elinkaaren ajalta. Tietomallin avulla rakennuksen osia tai kokonaisuutta voidaan tarkastella digitaalisesti asianmukaisilla ohjelmilla. Tietomallintamisesta käytetään yleisesti lyhennettä BIM, joka muodostuu englannin kielen sanoista Building Information Model.
IFC	Tiedostomuoto, joka mahdollistaa mallinnustiedon välittämisen eri mallinnusohjelmien välillä. IFC -tiedosto sisältää rakennemallin ja rakenneosien ominaisuudet. Lyhenne IFC tulee sanoista Industry Foundation Classes.
Leader line	Viiva, joka yhdistää konepajapiirustuksessa rakenneosan ja siihen liittyvän merkinnän, kuten osatunnuksen.
Kokoonpanopiirustus	Rakennepiirustus, joka kuvaa yhtä teräsrakennekokoonpanoa, jossa useampia rakenneosia on liitetty toisiinsa hitsaamalla.
Konepaja	Metallituotteiden valmistukseen erikoistunut yritys. Nimensä mukaan konepajoilla on useita erilaisia metallin työstökoneita asiakkaan tilaamien rakenteiden valmistusta varten.
Konepajapiirustus	Rakennepiirustus, joka on laadittu konepajalle teräsrakenteiden valmistamisen ohjeeksi. Konepajapiirustus sisältää muun muassa rakenneosan materiaali- ja mittatiedot.

Model Sharing	Tekla Structures -ohjelman toiminnallisuus, jonka avulla useampi suunnittelija voi työskennellä yhtäikaa saman mallin parissa. Erotuksena Multiuser-malliin Model Sharing toimii pilvipalvelun välityksellä ja mahdollistaa muun muassa mallissa työskentelyn ilman jatkuvaa internetyhteyttä.
Multiuser	Tekla Structures -ohjelman toiminnallisuus, jonka avulla useampi suunnittelija voi työskennellä yhtäikaa saman mallin parissa. Helppokäyttöisempi Model Sharing -toiminnallisuus on käytännössä korvannut Multiuser-mallien käytön.
Part mark	Yksilöllinen osatunnus, jonka Tekla Structures -ohjelma luo piirustuksiin suunnitteluprosessin hallintaa varten. Keskenään identtiset osat saavat saman tunnuksen.
Piirustuslayout	Piirustuksen yleistä asettelua kuvaava käsite. Piirustusarkin koon lisäksi piirustuslayout kattaa muun muassa esitettävät taulukot ja niiden sijainnit, sekä esitettävien näkymien sijainnit ja mittakaavat.
Piirustus pohja	Tietylle rakenneosalle käytettävä, valmiit piirustusasetukset sisältävä paketti, jonka avulla voidaan kerralla ladata käyttöön mahdollisimman hyvin esitettävälle rakenteelle sopivat asetukset muun muassa mittojen ja muiden merkintöjen selkeää ja tehokasta esittämistä varten.

Tekla Structures

Suomalainen tietomallinnukseen tarkoitettu rakennesuunnitteluohjelmisto, jolla voidaan mallintaa kaikenlaisia rakenteita eri materiaaleista. Tekla Structures mahdollistaa myös piirustusten luomisen suoraan mallin pohjalta.

Tietomallinnus

kts. BIM

1 Johdanto

1.1 Sweco yrityksenä

Sweco AB on ruotsalaislähtöinen, rakennetun ympäristön ja teollisuuden asiantuntija-konserni, jonka juuret ulottuvat aina vuoteen 1889. Sweco tarjoaa suunnittelu- ja konsultointipalveluita kaiken kokoisiin rakennushankkeisiin. [1.]

Swecoa edeltäneen, vuonna 1958 perustetut ruotsalaisen FFNS-insinööritoimiston perustaja Gunnar Nordström näki perinteisten insinööritoimistojen toiminnassa olevan tehostettavaa, ja hänen visionaan olikin luoda nykyaikaisempi järjestelmällinen ja ammatillinen yritys, joka tarjoaa palveluita koko rakennushankkeen keston ajan. Nimenä Sweco on ollut käytössä vuodesta 1997 lähtien. [2; 3.]

Kansainvälisessä Sweco-konsernissa työskentelee noin 16 000 asiantuntijaa 15 eri maassa. Suomessa Swecolla on 32 toimipistettä 26 paikkakunnalla, ja niissä työskentelee yhteensä noin 2000 henkilöä. Sweco Rakennetekniikka on Sweco Finlandin suurin toimiala, jolla työskentelee noin 800 asiantuntijaa sekä uudis- että korjausrakentamisen parissa. [1; 4.]

Sweco Rakennetekniikka Oy:n palveluiden osa-alueet ovat listattu alla. [5.]

- teollisuusrakentaminen
- sillat ja infrarakentaminen
- betonirakenteet
- teräsrakenteet
- julkisivurakenteet
- vaativa tekninen laskenta
- hankekehitys ja kilpailutyöt
- korjausrakentamisen palvelut
- rakennetekniikan erityispalvelut.

1.2 Insinööriyön taustaa

Insinööriyön asiakasyritys on Sweco Rakennetekniikka Oy, ja työ tehdään teollisen teräsrakentamisen yksikölle. Sweco Rakennetekniikka Oy:n toimitilat ovat Sweco Finlandin pääkonttorissa, joka sijaitsee Helsingissä osoitteessa Ilmalanportti 2.

Yrityksessä oli huomattu, että teräsrakenteiden konepajakuvien editointiin kuluu nykyisin liikaa suunnittelijoiden arvokasta aikaa. Lisäksi käytössä oleva kuviin liittyvä ohjeistus oli jo vanhentunutta. Vuonna 2015 useita suunnittelutoimistoja, kuten esimerkiksi IS-Plan Oy ja Aaro Korhonen Oy, liittyi Swecolle saman brändin alle, mikä osaltaan johti myös hajontaan piirustusohjelmien asetusten osalta. [6.]

Käytössä olevat teräsrakenteiden piirustusohjelmat vaativat käytännössä aina suunnittelijoilta vähintään mittaviivojen ja osien merkintöjen muokkaamista erikseen käsin jokaisen piirustuksen osalta, jotta piirustusten luettavuus saadaan tasolle, joka on konepajaa varten riittävä. Käytössä oleva ohjeistus sisältää puolestaan vanhaa informaatiota muun muassa yritystietojen osalta.

1.3 Insinööriyön tavoite

Insinööriyön tavoitteena oli luoda eri teräsrakenteille valmiit piirustusasetukset, joiden avulla konepajalle sopivien piirustusten luominen olisi mahdollisimman automatisoitua ja nopeaa. Tavoitteena oli yhtenäistää ja yksinkertaistaa nykyistä piirustusasetusten valikoimaa, jotta suunnitteluprosessista tulisi kokonaisuutena tehokkaampi. Parhaassa tapauksessa uudet piirustusohjelmat olisivat niin automatisoituja, ettei rakennesuunnittelijoiden tarvitsisi tehdä niihin enää käsin muutoksia piirustusten luomisen jälkeen.

Projektin tavoitteena oli myös luoda eri rakenteiden ja piirustusohjelmien käyttöön liittyvä ohjeistus. Insinööriyön tuloksia tullaan jatkojalostamaan myös tulevaisuudessa aina tarpeen mukaan, ja työ toimii ikään kuin pohjana tulevaa kehitystä varten.

1.4 Insinööriyön toteutusmenetelmät ja rajaukset

Toteutustapana oli työskentely paikan päällä yrityksessä ja mahdollisuuksien mukaan etäyhteyden välityksellä. Työn sisältöön rajattiin kuuluvaksi nykytilanteeseen ja vaatimuksiin perehtyminen, sekä tiedonkeruu mm. eri suunnittelunormeista ja Swecon työntekijöiltä. Projektin aikana pyrkimyksenä oli laatia käyttökelpoiset uusitut piirustuspohjat ja niihin vaadittavat asetukset ainakin muutamille kriittisimmille teräsrakenteille.

Työ rajattiin Tekla Structures -ohjelman mallinnusympäristöön ja käytettävä ohjelmaversio oli Tekla Structures 2017i. Työn näkökulma painottui uusien piirustuspohjien, sekä niitä koskevan ohjeistuksen luomiseen. Työn aineistona käytettiin Sweco Rakennetekniikka Oy:n omaa materiaalia, sekä internetissä olevaa aineistoa, kuten SFS-standardeja. Tarvittaessa tietoa oli mahdollista saada myös suoraan Teklan edustajilta, mikäli vaadittiin erityisen syvällistä Tekla Structures -ohjelmaan liittyvää informaatiota.

Insinööriyön suorittaminen jaettiin karkeasti kolmeen eri vaiheeseen. Projekti aloitettiin keräämällä tarvittavat pohjatiedot piirustusasetusten ja ohjeistuksen nykytilanteesta Swecolla, sekä myös konepajapiirustuksia koskevista vaatimuksista. Pohjatietojen kerääminen toteutettiin perehtymällä internetissä oleviin rakennesuunnittelua ja dokumentointia koskeviin standardeihin ja ohjeisiin. Piirustuksille asetetuista vaatimuksista kerrotaan tarkemmin luvussa 4.1. Lisäksi selvitettiin yksityiskohtaisemmin, minkälaiset piirustusasetukset Swecon käyttämässä Tekla Structures -versiossa oli lähtökohtana käytössä.

Pohjatietojen keräämisen jälkeen vuorossa oli varsinainen uusien piirustusasetusten luominen ja testaaminen. Tämä työvaihe toteutettiin käytännössä kokeilemalla ohjelmassa eri asetusvaihtoehtoja, ja valitsemalla niistä toimivimmat. Eri asetusten sisäistämisessä apuna käytettiin pääosin Tekla User Assistance -sivustoa, joka tarjoaa kattavasti ohjeita ja tietoa liittyen useisiin Tekla Structures -ohjelman toimintoihin. Piirustusasetusten luomisen prosessi esitellään tarkemmin luvussa 4.2.

Osittain piirustusasetusten luomisen kanssa rinnakkaisena työvaiheena oli myös piirustuspohjien käyttöön liittyvän ohjeistuksen luominen. Ohjeistus koostuu pääosin luotuihin piirustuspohjiin merkityistä kommentteista ja huomautuksista liittyen esimerkiksi tiettyihin

merkintöihin, jotka suunnittelijan on manuaalisesti lisättävä piirustukseen. Luku 4.3 käsittelee tarkemmin ohjeistuksen luomista.

Insinööritö toteutettiin kokonaisuudessaan rakennesuunnittelun näkökulmasta ja työtä varten kerättävä tieto rajattiin niin, että insinööritöön lopputulos palvelee rakennesuunnittelijaa suunnitteluprosessin mallinnus- ja piirustustenluomisvaiheen aikana.

Työssä käsiteltäväksi alustavasti rajatut rakenteet:

- pilarit
- kotelopilarit
- palkit
- nostopalkit
- siteet
- kaiteet
- portaat
- WQ-palkit
- liittopilarit
- ratapalkit.

Asetusten luomisen osalta lähtökohtaiseksi periaatteeksi määriteltiin, että työn tuloksena saataisiin mieluummin muutamia valmiita ja suoraan käyttökelpoisia piirustusasetuksia, kuin useampia keskeneräisiä. Tämän takia työssä keskityttiinkin aina vain yhteen rakennetyyppiin kerrallaan. Konepajapiirustusten uusien piirustusasetusten laatiminen rajattiin tarkemmin kokoonpanopiirustuksiin yllä mainituille rakenteille. Luku 2.4 esittelee konepajapiirustusten eri piirustustyyppejä.

2 Teräsrakentaminen

2.1 Teräs rakennusmateriaalina

Teräs on tärkein rakennusteollisuudessa käytettävä metalli. Valmistusmenetelmän mukaan on saatavilla useita eri teräslaatuja, joiden ominaisuudet poikkeavat toisistaan merkittävästi. Rakentamisen kannalta hyödyllisinä ominaisuuksina ovat muun muassa liitosten helppo toteutettavuus hitsaamalla, korkeat lujuusarvot ja pienet ajasta riippuvat rakenteelliset muodonmuutokset verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin. [7, s. 180 ja 182; 8.]

Käyttöä rajoittavina tekijöinä puolestaan ovat esimerkiksi rakenteiden taipumus värähtelylle, sekä alttius korroosiolle, eli ympäristön kanssa tapahtuvien sähkökemiallisten reaktioiden aiheuttamalle aineen syöpymiselle. [7, s. 182.]

Teräkset jaetaan niiden käytön perusteella ryhmiin, joista suurin on rakenneterästen ryhmä. Yleiset rakenneteräkset ovat seostamattomia rakenneteräksiä, eli ne eivät sisällä lisäaineita. Yleiset rakenneteräkset ovat kuumavalssattuja levyjä ja tankoja, joista valmistetaan jatkojalosteina mm. hitsattuja palkkeja ja kylmämuovattuja profiileja. [7, s. 190.]

Valssauksella tarkoitetaan prosessia, jossa terästuote muokataan muotoonsa. Kuuma- valssauksessa teräs kuumennetaan ensin noin 1250 °C:n lämpötilaan, jolloin materiaalin käsiteltävyys helpottuu. Kylmämuovauksessa terästä ei lämmitetä ennakkoon, joten materiaalille ei voida tehdä yhtä merkittäviä muodonmuutoksia kuin kuumavalssauksessa. Kylmämuovauksen etuina ovat kuitenkin parempi mittatarkkuus ja pinnanlaatu verrattuna kuumavalssaukseen. [9, s. 51.]

Seostettuja teräksiä käytetään, kun rakenteelta vaaditaan esimerkiksi parempia lujuus- tai kovuusominaisuuksia. Seosaineiden määrää vaihtelemalla on mahdollista saada useita ominaisuuksiltaan eroavia teräslaatuja. Yleisimpiä teräksen seosaineita ovat pii, mangaani, kromi ja nikkeli. [7, s. 190.]

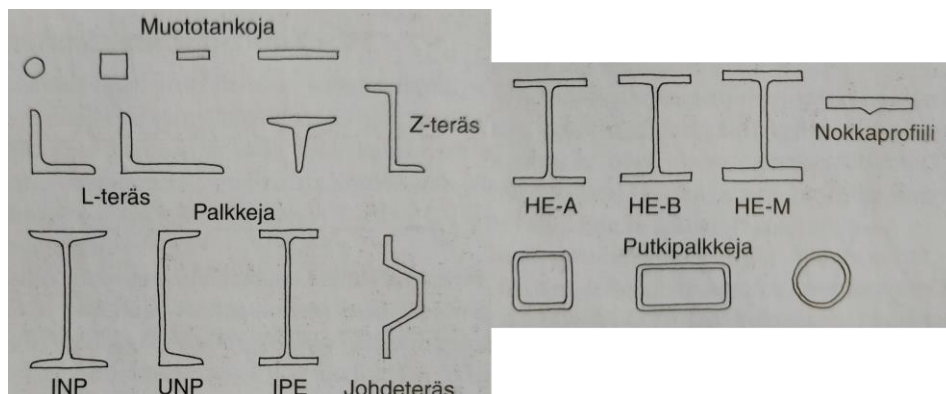
Yleisten rakenneterästen lisäksi rakennusalalla käytetään tarpeen mukaan myös erikoislujuja rakenneteräksiä, säänkestäviä teräksiä ja ruostumattomia teräksiä. Kyseisten teräslaatujen käyttöön voi syynä olla esimerkiksi ulkonäköseikat tai tavallista ankarammat asennusolosuhteet. [7, s. 190-191.]

Teräs on hyvin kierrätettävä rakennusmateriaali. Teräsjäte voidaan kierrättää metalliro-muna teräksen valmistuksen raaka-aineeksi, ja teknisesti kunnossa oleva purettu materiaali voidaan puolestaan hyödyntää suoraan uusien rakenneosien valmistuksessa. [7, s. 196.]

2.2 Teräsrakenteiden käyttökohteet

Teräs soveltuu rakennusmateriaaliksi useisiin eri tyyppisiin rakennushankkeisiin pienrakentamisesta aina vaativiin suurhankkeisiin. Teräsrunko mahdollistaa rakennuksiin avarat ja joustavasti muunneltavat tilaratkaisut. Tästä johtuen esimerkiksi urheilu- ja varastohallit, sekä kauppakeskukset ja muut vastaavaa tilaa vaativat suuret julkiset rakennukset toteutetaan usein teräsrunkoisina. [10.]

Kuumavalssattujen levyjen voidaan ajatella olevan teräsrakentamisen perustuotteita, joita käytetään kokonaisina suurissa kohteissa, kuten sillanrakennuksessa tai vastavissa raskaissa rakenteissa. Kuumavalssattuja profiileja käytetään yleisesti rakenteissa muun muassa kantavina palkkeina tai pilareina. Kuumavalssattujen profiilien erilaisia normaalipoikkileikkauksia on esitelty kuvassa 1. [7, s. 191.]

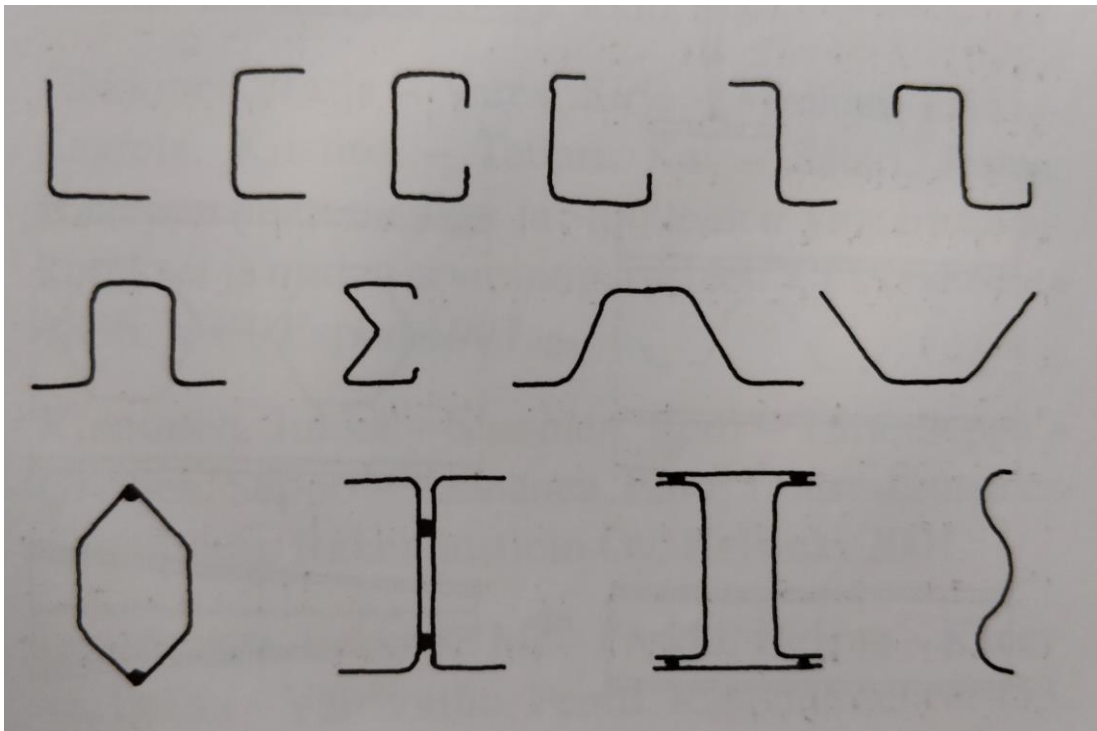


Kuva 1. Kuumavalssattujen profiilien poikkileikkausten valikoimaa. [7, s.193.]

Kylmävalssattuja ohutlevyjä käytetään pääosin katoissa ja julkisivuissa. Teräksiset julkisivuratkaisut toteutetaan usein sandwich-paneeleilla, joissa on villoitus kahden teräsohutlevyn välissä. Ohutlevyistä voidaan valmistaa muun muassa myös väliseinärakenteita ja sadevesijärjestelmän osia. [7, s. 193-194; 10.]

Teräsputkilla on yleisesti ottaen erittäin laaja käyttöalue. Rakenneputkissa jako tehdään ohutseinäputkiin ja putkipalkkeihin perustuen putken mittoihin ja toleransseihin. Ohutseinäputkia käytetään pääosin pienen mittakaavan rakentamiseen, kuten esimerkiksi kalusteisiin, kun taas putkipalkkeja käytetään rakennusten rakenteellisena osana. Putkipalkit voivat olla poikkileikkaukseltaan pyöreitä, tai neliön ja suorakaiteen muotoisia, ja niitä voidaan käyttää monissa eri teräsrakenteissa, kuten esimerkiksi ristikoissa ja kehärakenteissa, sekä myös pilareina ja palkkeina. [7, s. 194.]

Teräsnauhasta valmistettuja kylmämuovattuja profiileja voidaan käyttää monipuolisesti useissa eri rakenteissa. Kylmämuovattuja vakioprofiileja ovat L-, U-, C-, Z- ja hattuprofiilit, joita on havainnollistettu kuvassa 2. Valmistustavan ansiosta kylmämuovattujen profiilien valikoima on lähes rajaton, mikä onkin niiden hyödyllisin ominaisuus. [7, s. 195.]



Kuva 2. Kylmämuovattujen profiilien poikkileikkausvalikoimaa. [7, s. 195.]

Etenkin suurissa rakennuskohteissa on eduksi suunnitella kuhunkin tarkoitukseen optimaalisin, mahdollisimman vähän materiaalia kuluttava rakenne. Tähän tarkoitukseen sopii hyvin hitsatut palkit ja pilarit, joiden poikkileikkauksien mitat ja osien paksuudet voidaan määrätä vapaasti rakenteelta vaadittujen kestävyyksien mukaan. [7, s. 196.]

2.3 Teollinen teräsrakentaminen ennen ja nyt

Teollisen teräsrakentamisen katsotaan saaneen alkunsa 1800-luvulla teollistumisen ja kaupungistumisen seurauksena, kun rakennusteknisten menetelmien kehittämiseksi oli kova tarve. Jo 1700-luvun lopulla alettiin kuitenkin rakentamaan teräksestä siltoja. Läpi 1800-luvun teräsrakennukset perustuivat pääosin yksinkertaiseen palkkirunkoon, joka sisälsi paljon toistuvia rakenteita. Rakenneosat olivat suhteellisen yksinkertaisia palkkeja ja pilareja, joiden tuotanto onnistui ilman kehittyneempiä valmistusmenetelmiä, ja rakenneosat pystyttiin liittämään toisiinsa niittaamalla hitsaamisen sijaan. [7, s. 174-176; 11, s. 15-16.]

Ensimmäiset teräsrakennuskohteet Suomessa olivat 1850-luvulla rakennetut Saimaan kanavan ylittäneet sillat, ja jo 1800-luvun loppupuolella terästä käytettiin Suomessa myös joidenkin rakennusten runkomateriaalina. Esimerkkinä tästä on muun muassa Helsingissä sijaitseva Esplanadin kappeli vuodelta 1867. [7, s. 176.]

Suomalainen teollinen teräsrakentaminen lähti yleisesti suureen nousuun kuitenkin vasta 1960- ja 1970-luvuilla, kun useilla kotimaisilla yrityksillä oli tarvetta suuremmille tuotanto- ja toimitiloille ulkomaan viennin kysynnän kasvaessa merkittävästi. 1970- ja 1990-lukujen välillä Suomeen rakennettiin muun muassa uusia paperitehtaita, meijeriteollisuuden tehtaita ja voimalaitoksia, sekä myös toimistorakennuksia ja hotelleja. Teollisen rakentamisen ulkopuolella 1990-luvulta lähtien myös teräsrakenteisten asuinkerrostalojen rakentaminen on yleistynyt huomattavasti. [7, s. 176; 12.]

2.4 Konepajapiirustukset käsitteenä

Konepajapiirustuksilla tarkoitetaan piirustuksia, joiden avulla konepajalle välitetään vaadittavat tiedot eri osien ja kokonaisuuksien valmistusta varten. Konepaja on

metallituotteiden valmistukseen erikoistunut yritys, joka käyttää useita erilaisia metallin työstökoneita asiakkaan tilaamien rakenteiden valmistusta varten. Konepajapiirustukset voidaan jaotella eri kategorioihin sen mukaan, kuinka suuria kokonaisuuksia ne kuvaavat. Nämä kategoriat ovat osa-, kokoonpano- ja asennuspiirustukset.

Osapiirustus kuvaa nimensä mukaan yksittäistä rakennuksen osaa. Osapiirustuksesta ilmenee muun muassa osan tarkat geometria- ja materiaalitiedot sekä kokoonpanot, joissa osaa käytetään. Osapiirustus voi kuvata esimerkiksi yksittäistä palkkiin liitettävää päätylevyä. Ruukin konepajapiirustusten laadintaohjeen esimerkki osapiirustuksesta on raportin liitteessä 1.

Kokoonpanopiirustuksissa kuvataan osista koostuvia kokonaisuuksia, jotka kasataan tehtaalla ja kuljetetaan työmaalle, sekä asennetaan paikalleen ikään kuin yhtenä suurena osana. Rakennenäköymien lisäksi kokoonpanopiirustuksissa esitetään lista kokoonpanossa käytettävistä osista ja niiden ominaisuuksista, sekä tiedot, miten kyseiset osat liitetään toisiinsa. Kokoonpanopiirustuksista tulee ilmetä myös tarvittavat tekniset vaatimukset kokoonpanon valmistuksen ja kuljetuksen osalta. Teknisinä vaatimuksina voidaan mainita esimerkiksi kokoonpanon toteutusluokka ja mahdolliset pintakäsittelyt. Ruukin konepajapiirustusten laadintaohjeen esimerkki kokoonpanopiirustuksesta on liitteessä 2.

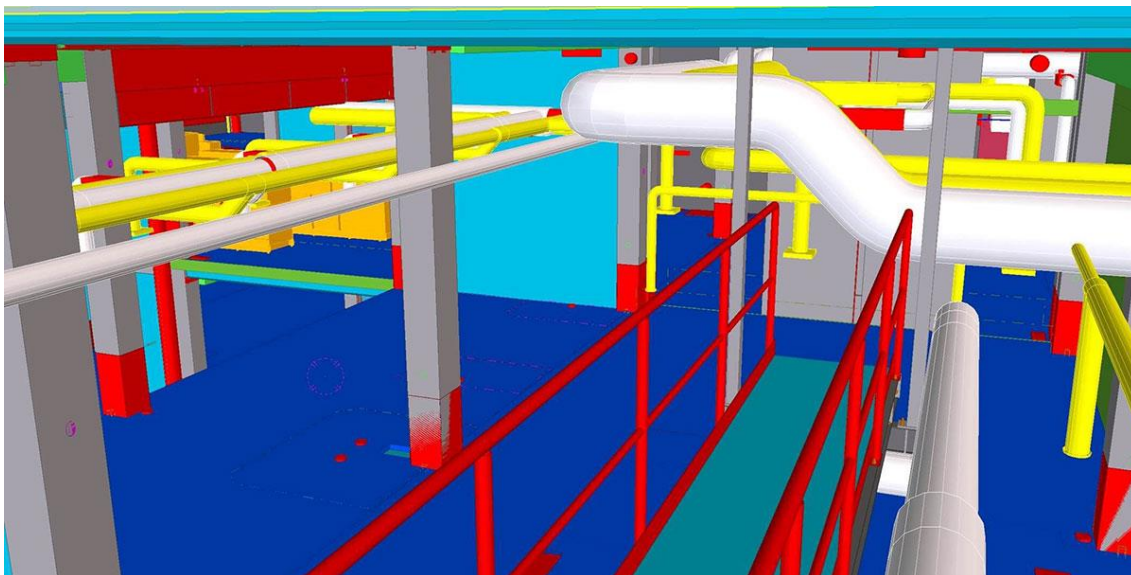
Asennuspiirustukset voidaan lukea myös konepajapiirustusten joukkoon, vaikka niiden pääasiallinen käyttö tapahtuu työmaalla konepajan sijaan. Asennuspiirustukset koostuvat usein leikkaus- tai tasopiirustuksista, jotka toimivat asennustyön apuvälineenä havainnollistaen kokoonpanojen sijainnit rakennuksen osana. Kokoonpanojen välisten liitosten yksityiskohdat voidaan esittää erillisissä asennusdetaljeissa, jotka lisätään asennuspiirustuksen osaksi. [13, s. 6-7.]

3 Tietomallinnus

3.1 Tietomallinnus käsitteenä

Tietomallilla tarkoitetaan rakennuksen virtuaalimallia, johon tallennetaan kaikki rakennukseen liittyvät tarvittavat tiedot koko sen elinkaaren ajalta. Tietomallin avulla rakennuksen osia tai kokonaisuutta voidaan tarkastella digitaalisesti asianmukaisilla ohjelmilla. Tietomallintamisesta käytetään yleisesti lyhennettä BIM, joka muodostuu englannin kielen sanoista Building Information Model. [14; 15.]

Kolmiulotteiseen tietomalliin kootaan kaikki tarvittava informaatio helposti hyödynnettävään muotoon. Tietomallin avulla voidaan edesauttaa toimivien ja normit täyttävien kohteiden suunnittelua suorittamalla erilaisia analyysejä ja simuloitteja myös hankkeen varhaisessa vaiheessa. Tietomalli sisältää rakennuksen täsmällisen geometrian lisäksi myös tietoja, joita tarvitaan rakennusvaiheessa muun muassa rakentamisen ja osien valmistuksen tukena. Tietomallissa rakenneosat on usein värikoodattu havainnollistamisen helpottamiseksi. Kuvassa 3 on esitetty pieni osa Kainuun Sairaalan tietomallia 3d-näkömönä. Kyseinen hanke voitti Tekla Global BIM Awards 2018 -kilpailun.



Kuva 3. Osa Tekla Global BIM Awards 2018 -kilpailun voittaneen Kainuun Sairaalan tietomallia. [16.]

Tietomallinnuksen suurena etuna perinteisiin piirustuksiin verrattuna on hankkeen tietojen keskittyminen vain yhteen ajan tasalla olevaan malliin. Piirustukset ja muut tarvittavat dokumentit saadaan tulostettua suoraan mallista niin, että niissä on aina uusin tieto saatavilla. Tarvittaessa käyttäjä voi myös valita vain tietyt tiedot tulostumaan dokumentteihin, jotta halutut tiedot tulevat selkeämmin ilmi. [14.]

Kun kaikki hankkeen aikaiset dokumentit luodaan saman mallin pohjalta, saadaan ehkäistä mahdollisia ristiriitaisuuksia esimerkiksi eri piirustusten välillä ja muu olennainen hankkeeseen liittyvä dokumentointi, kuten määrälisäykset pysyvät myös ajan tasalla. [14.]

Osapuolten välisen sujuvan yhteistyön takaamiseksi hankkeen eri vaiheissa on tietomallinnusohjelmistoille käytännössä vaatimuksena myös yhteensopivuus toisten ohjelmien kanssa. Yhteensopivuutta varten on kehitetty tiedostomuotoja, joiden avulla eri suunnittelualojen mallinnustieto saadaan niin sanotusti samaan pakettiin. Esimerkkinä näistä on talonrakennuksessa käytetty IFC -tiedosto. IFC on eri ohjelmien väliseen tiedonsiirtoon kehitetty tiedostomuoto, joka sisältää rakennemallin ja rakenneosien ominaisuudet. Lyhenne IFC tulee sanoista Industry Foundation Classes. [15; 17.]

Rakennusalan suuryrityksiltä saadun tiedon mukaan tietomallinnus on tuonut hyötyjä muun muassa aikataulutuksen parantumisesta ja paremmasta rakennuksen elinkaaren aikaisesta hallinnasta. Lisäksi tietomallintamisen avulla voidaan riskittä kokeilla vaihtoehtoisia rakenneratkaisuja niiden toimivuuden tarkastamiseksi jo ennen varsinaista rakentamisvaihetta. Näin ollen on mahdollista kokeilla myös prototyyppirakenteita, joita olisi kustannusten kannalta riskialtista kokeilla paikan päällä. [15.]

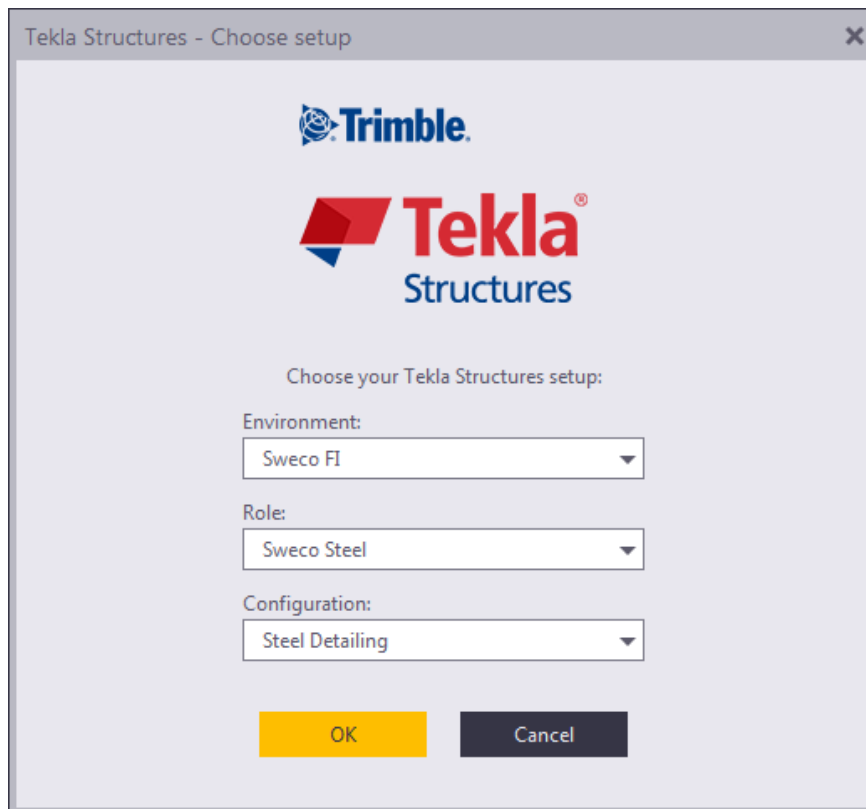
3.2 Tekla Structures -suunnitteluohjelma

Tekla Oyj on vuonna 1966 perustettu suomalainen BIM-ohjelmistoja tarjoava yritys, jolla on yli 5000 asiakasta rakennusalaan maailmanlaajuisesti. Tekla siirtyi yhdysvaltalaisen Trimble-konsernin omistukseen vuonna 2011. Tekla Oyj:n ohjelmistotarjontaan kuuluu muun muassa ilmainen rakennusprojektin aikaisen tietomallipohjaisen yhteistyön työkalu Tekla BIMsight ja infrarakentamiseen tarkoitettu ohjelmistoratkaisu Tekla Civil. [18; 19.]

Merkittävin yhtiön tuotteista on IFC-standardin mukaiseen tietomallinnukseen tarkoitettu Tekla Structures rakennesuunnitteluohjelmisto, jolla on käyttäjiä jo noin 80 maassa. Tekla Structuresilla on mahdollista mallintaa kaikenlaisia rakenteita mistä tahansa materiaalista, tai sisällyttää useita materiaaleja yhteen malliin. Tekla Structures on myös yhdistettävissä useisiin laskentaohjelmistoihin, jotta suunnitteluprosessista saadaan entistä saumattomampi. Tekla Structures -ohjelmasta tulee yleensä vuosittain uusi ohjelmistoversio sisältäen isompia päivityksiä ohjelman toiminnallisuuteen. Tällä hetkellä uusin ohjelmistoversio on 2019. [20.]

Tekla Structures tarjoaa käyttäjälle mahdollisuuden valita eri käyttöympäristöjä, joiden mukaan ohjelmassa määräytyy muun muassa mittayksiköt, sekä yleiset materiaalitiedot ja vakiookoot. Käyttöympäristöt voivat olla esimerkiksi maakohtaisia tai yksittäisten yritysten tiettyihin tarpeisiin luotuja. Joissain käyttöympäristöissä on mahdollisuus valita vielä lisäksi käyttäjärooli, joka muokkaa ohjelman käyttöjärjestelmää kyseiseen tarpeeseen soveltuvammaksi.

Käyttäjä pystyy myös rajaamaan ohjelman mallinnusympäristön materiaalikohtaisesti tarpeen mukaan. Materiaalikohtaiset mallinnusympäristöt ovat riippuvaisia käyttäjän ostamasta lisenssistä. Kaikissa tilanteissa ei ole tarpeen mallintaa useampaa materiaalia kerralla, joten rajaamalla käyttöympäristö esim. teräsrakenteisiin, voi ohjelman käyttäjä säästää kustannuksissa verrattuna kaikki materiaalit kattavaan käyttölisenssiin. Edellä mainitut asetukset tarjoava ohjelman alkuvalikko on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Tekla Structures -mallinnusohjelman aloitusvalikko, jossa valitaan haluttu mallinnusympäristö ja käyttäjärooli. Kuva: Leo Hirvonen.

Tekla Structures -ohjelmasta on tarjolla myös rakennusalan opiskelijoille tarkoitettu Tekla Structures Learning -versio, johon opiskelijoilla on mahdollisuus saada ilmainen lisenssi neljäksi kuukaudeksi kerrallaan. Tämä ohjelmaversio toiminnallisuudeltaan hieman rajattu, eivätkä tietomallit toimi täysin keskenään opiskelija- ja täysversioiden välillä.

Tekla Structures tuottaa piirustukset ja raportit suoraan mallista, joten muutokset on helppo toteuttaa. Hankkeen dokumentointiin kuluva aika jää minimiin ja suunnittelijoiden aikaa jää enemmän parempien suunnitteluratkaisujen kehittämiseen. Mikäli Tekla-mallin pitää kunnossa, myös piirustukset pysyvät ajan tasalla.

Eri suunnitelmavaihtoehtojen ja mahdollisten muutosten tarkastelu ja visualisointi onnistuu Tekla Structuresin avulla. Mallien luominen helpottuu, kun projektin kokoluokasta riippumatta kaikki tarvittavat tiedot ovat yhdessä tietokannassa. Malli on mahdollista yhdistää myös muiden alojen ohjelmistoihin, kuten talotekniikan suunnittelumalleihin tai projektinhallinnan sovelluksiin. [20.]

Tekla Structuresilla luotu malli on mahdollista siirtää myös Autodesk Revit -suunnitteluhjelmaan Teklan tarjoamilla työkaluilla. Tämä mahdollistaa sujuvan rakentamisprosessin ja projektiosapuolien välisen yhteistyön koko suunnitteluprosessin aikana myös tapauksissa, joissa osapuolet käyttävät keskenään eri ohjelmistoja. [21.]

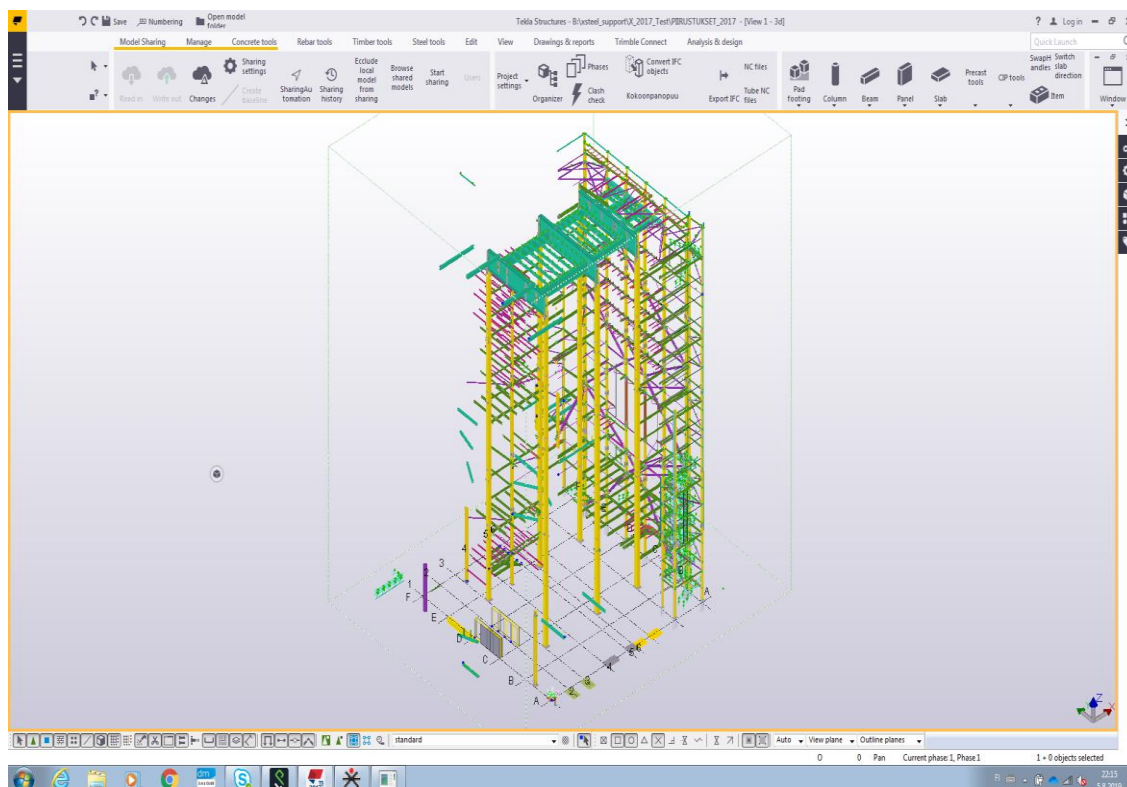
Alla on esitetty Tekla Structuresin keskeisimpiä hyötyjä. [20; 22.]

- inhimillisten virheiden väheneminen ja suunnittelun helpompi koordinointi
- suunnitelmamuutosten automaattinen päivittyminen
- ongelmien ja ristiriitojen kartoitus automaattisen törmäystarkastelun avulla
- rakennemalleissa kaikki rakenneosat hitseistä pultteihin
- piirustusten ja muiden dokumenttien luominen suoraan mallin tiedoista
- rakenneosien automaattinen merkintä piirustuksiin
- suunnitteluprosessin tehokkuuden ja tuottavuuden parantuminen
- toiminnallisuus muiden suunnitteluprosessin vaatimien ohjelmien kanssa.

3.2.1 Mallintamisen toimintalogiikka Teklassa

Raportin selkeyttämistä varten on tarpeen avata ainakin hieman enemmän tärkeimpiä mallinnukseen ja piirustuksiin liittyviä seikkoja Teklassa. Ohjelma on englanninkielinen, eikä kaikille aiheeseen liittyville termeille ole kunnollisia käännöksiä Suomen kielelle. Tästä syystä näiden käsitteiden osalta on selkeämpää viitata tekstissä niihin ohjelmassa esiintyvillä englanninkielisillä nimillä.

Tekla Structuresin käyttöliittymä voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan, jotka ovat mallinnusnäky ja piirustuseditori. Mallintaessa valitaan osalle rakennetyyppi, kuten esimerkiksi palkki (beam) tai pilari (column), jonka perusteella Tekla määrittää automaattisesti kyseisiin rakennetyyppeihin liittyvät perusasetukset ja tarjoaa käyttäjälle rakennetyyppiin liittyviä tarkempia asetuksia osaan liittyvien muiden tietojen määrittämistä varten. Kuvassa 5 on esitetty ohjelman käyttöliittymä mallinnusnäkyssä.



Kuva 5. Tekla Structures -ohjelman käyttöliittymä mallinnusnäkymässä. Yläpalkissa on välilehdittäin jaettu mallintamiseen ja mallin hallintaan käytettävät työkalut. Mallinnettavan kohteen näkymän alapuolella puolestaan on pääosin mallin eri osien valitsemista varten tarvittavia asetuksia. Kuva: Leo Hirvonen.

Tekla Structures antaa kaikille rakenneosille oman yksilöllisen tunnuksensa riippuen osan ominaisuuksista. Ohjelman numerointilogiikkaan vaikuttaa lukuisia osien eri ominaisuuksia, eikä niiden tarkempi esittely ole tämän raportin laajuudessa mahdollista. Tekla vertaa valitun numerointisarjan sisältämiä osia ja kokoonpanoja keskenään ja ohjelman logiikan mukaan osat, jotka ovat täysin identtiset saavat saman numeron. Numerointisarjalla tarkoitetaan kerralla numeroitavaa osakokonaisuutta, joka voi olla esimerkiksi tietyn kerroksen kaikki kotelopilarit.

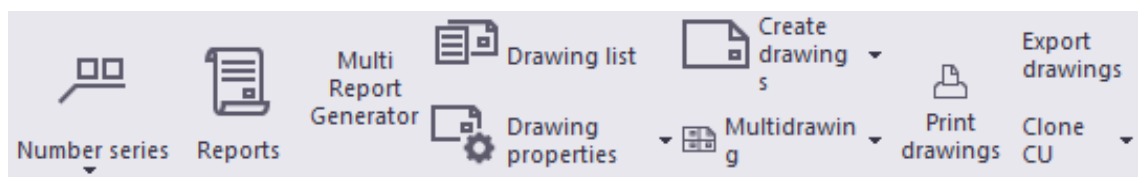
On ensiarvoisen tärkeää, että eri suunnittelijat eivät numeroi ristiin samoja osia, sillä oletusarvoisesti uusi numerointi korvaa vanhat osatunnukset. Kesken projektia muuttuvat osien tunnukset voivat puolestaan johtaa muun muassa ristiriitoihin piirustuksissa ja muissa projektin dokumenteissa.

Tekla määrittelee automaattisesti kaikki hitsaamalla yhteen kiinnitetyt osat kokoonpanoiksi. Jokaisella kokoonpanolla on aina pääosa (main part) ja pääosaan liittyviä muita osia (secondary part). Kokoonpanot saavat myös omat tunnuksensa, jotka perustuvat kokoonpanon pääosan osatunnuksiin. Myös kokoonpanojen rakennetyyppien mukainen jaottelu määräytyy pääosan mukaan vastaavalla tavalla, kuin yksittäisten rakenneosien kohdalla.

3.2.2 Piirustusten luonti ja hallinta Teklassa

Tekla Structures tarjoaa käyttäjälle useita vaihtoehtoja erilaisten piirustusten luomista varten. Piirustuksia luodessa täytyy siihen tulevien osien yleensä olla numeroituna mallissa, jotta ohjelma yhdistää objektit automaattisesti oikeisiin piirustuksiin. Poikkeuksena tähän ovat asennuspiirustukset, joiden luominen onnistuu, vaikka kaikki osat eivät olisi-kaan numeroituina. Tällöin asennuspiirustuksessa mahdollisesti näkyvä osatunnuksen loppuosassa oleva numerointisarjan juokseva numero esitetään kysymysmerkinä. [23.]

Osa- ja kokoonpanopiirustusten osalta piirustusten luomisen logiikka on hyvinkin yksinkertainen. Käyttäjä valitsee mallista halutun osan tai kokoonpanon ja lataa sille ennalta määritetyt piirustusasetukset. Piirustusten hallintaan ja muun muassa osien numerointiin tarkoitettu Drawing & Reports -välilehti Teklan käyttöliittymän yläpalkissa on esitetty tarkemmin kuvassa 6. Piirustusasetuksiin voidaan valmiiksi määritellä kaikki tarpeellinen tieto, kuten esimerkiksi viivojen ja tekstien tyylit, nimiön ja yleismerkintätaulukon rakennekohtaiset tiedot, osien ja hitsien merkinnät, sekä mittojen esitystavat. Piirustusasetukset määrittelevät myös, mitkä näkymät rakenteesta piirustukselle tulevat. [24.]

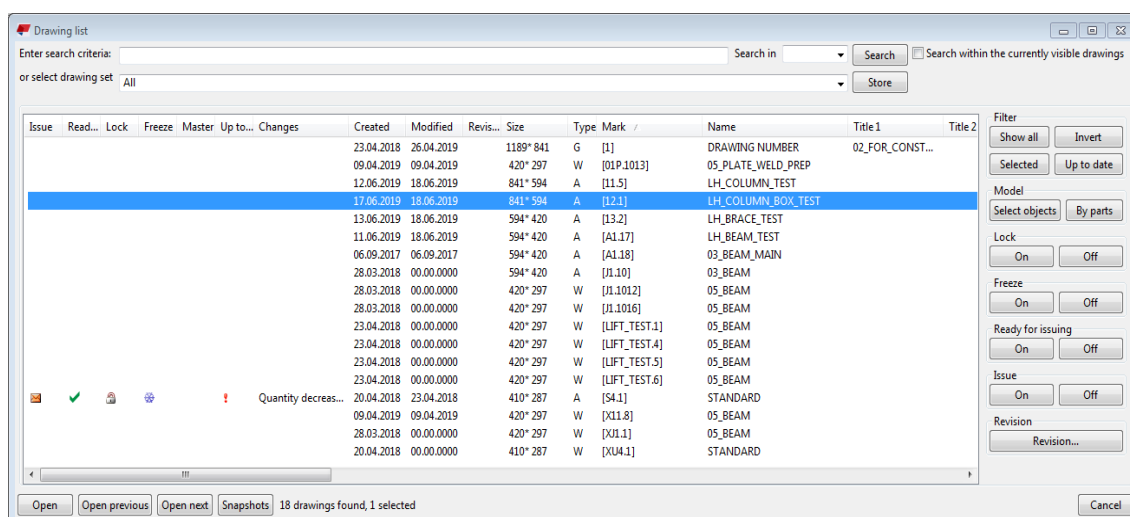


Kuva 6. Drawing & Reports välilehden tarjoamat työkalut Tekla Structures -ohjelman mallinnusnäkömän käyttöliittymässä. Kuva: Leo Hirvonen.

Asennuspiirustuksiin tulevat näkymät perustuvat puolestaan suoraan luotuihin mallinnusnäkömiin. Ennen asennuspiirustusten luomista tulee siis luoda malliin näkymät, joihin

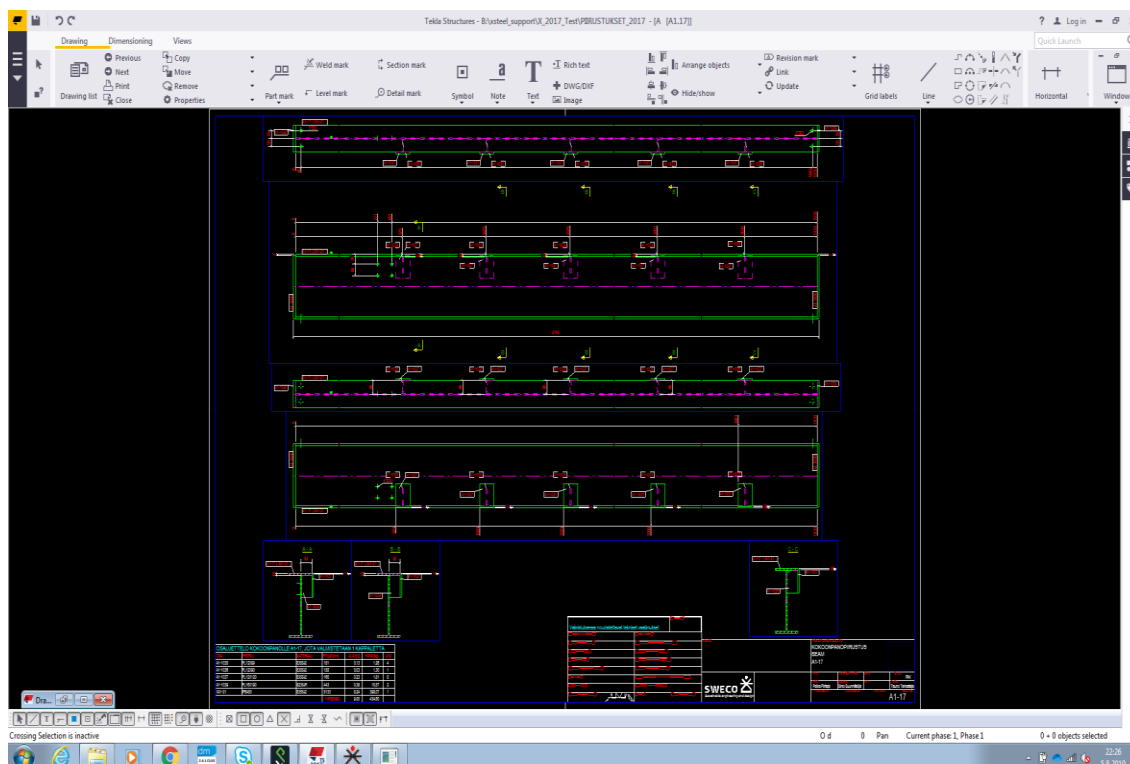
on rajattu täsmälleen se alue, jota piirustuksella halutaan kuvata. Piirustusnäkömään sisältö ja kuvaussuunta säilyvät täysin samoina valittuun mallinnusnäkömään nähden. Usein asennuspiirustuksissa esitettävät näkymät ovat kaksiulotteisia leikkaus- tai tasonäkymiä. [25.]

Tekla Structures sisältää useita työkaluja luotujen piirustusten hallintaan. Ohjelmaversiosta riippuen kaikki luodut piirustukset näkyvät Drawing list- tai Document manager -valikossa. Ohjelmaversiosta 2018i alkaen käytössä on toiminnallisuudeltaan laajempi Document manager. Kaikista piirustuksista ovat näkyvillä muun muassa nimi- ja tyyppi-tiedot, sekä luomis- ja muokauspäivät. Haluttuja piirustuksia voidaan etsiä listasta eri parametrien perusteella. Näitä parametreja ovat muun muassa piirustustyyppi, piirustuksen luomis- tai muokauspäivämäärä, sekä piirustuksen laatija. Kuvassa 7 on esitetty Drawing list -valikko tässä työssä käytetyssä ohjelmaversiossa 2017i.



Kuva 7. Ohjelmistoversion 2017i Drawing list -valikko, jonka avulla hallitaan mallista luotuja piirustuksia. Kuva: Leo Hirvonen.

Luotuja piirustuksia on mahdollista muokata jälkeenkäin hyvinkin vapaasti. Kaikkia piirustuksen näkymiä ja merkintöjä voidaan tarvittaessa muuttaa manuaalisesti piirustus-editorissa halutulla tavalla. Jälkikäteen muokatessa on käytössä käytännössä kaikki samat asetukset kuin ennalta määritettyjä piirustusasetuksia luodessa. Tästä syystä onkin mittava hyöty, mikäli valmiit piirustusasetukset olisivat jo lähtökohtaisesti kokonaisuutena riittävän hyvät, eikä jälkeenkäin editoimista tarvittaisi lähes lainkaan. Tekla Structuresin piirustuseditorin näkymä on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Tekla Structures -ohjelman piirustuseditorin käyttöliittymässä yläpalkin välilehtien työkalut liittyvät piirustusten editointiin ja hallintaan. Kolmiulotteisen mallinnusnäkymän korvaa kaksiulotteinen näkymä piirustusarkista. Kuva: Leo Hirvonen.

Valmiita piirustuksia on myös mahdollista lukita tai jäädättää halutessa. Piirustuksen lukitseminen estää sen muokkaamisen suoraan piirustuseditorin kautta, mutta piirustuksen sisältö päivittyy silti, jos piirustuksen kuvaamaa mallin osaa muutetaan mallinnusnäkymän puolella. Jäädytys puolestaan estää kaikkien piirustuksen automaattisten tietojen, kuten osamerkintöjen, näkymien ja osien geometrian päivittymisen mallin muuttuessa. Ainoastaan osien tiedot muuttuvat. Kun piirustuksen jäädytys poistetaan, päivittyy piirustus jälleen vastaamaan mallia. [26; 27.]

3.3 Tekla osana suunnitteluprosessia

Tekla Structures -ohjelmalla luotu kolmiulotteinen tietomalli toimii välttämättömänä pohjana kaikille Sweco Rakennetekniikka Oy:n projekteille. Näin projektin aikana usein tapahtuvat suunnitelmamuutokset saadaan aina päivitettyä kerralla kaikille projektin suunnittelijoille mallin välityksellä. Saman tietomallin parissa työskentelee projekteissa useita

suunnittelijoita ja monesti onkin tarpeen jakaa eri suunnittelijoille omat vastuualueensa mallissa. Vastuualueet voidaan jakaa vaikka esimerkiksi kerroksittain tai tiettyjen rakennetyyppien mukaan.

Kätevin tapa hyödyntää Tekla Structuresia isommissa projekteissa on Tekla Model Sharing toiminnallisuus. Model Sharing -työkalun avulla useampi käyttäjä voi työskennellä yhtäikaa saman mallin parissa. Tekla Model Sharing toimii suoraan osana Tekla Structures -ohjelmistoa, eikä näin vaadi ylimääräisiä ohjelmisto- tai laiteasennuksia. [28.]

Model Sharing -toiminnallisuudessa yksi käyttäjä luo ensin niin sanotun päämallin ja hänestä tulee kyseisen mallin omistaja. Mallin omistaja voi kutsua muita käyttäjiä liittymään malliin. Malliin liittyville käyttäjille on mahdollista antaa kolme erilaista roolia, jotka määrittävät, mitä oikeuksia malliin kullakin käyttäjällä on. Nämä vaihtoehdot ovat omistusoikeus, muokkausoikeus ja katseluoikeus. Jokaisella Model Sharing -mallilla on aina oltava omistaja, ja yhdelle mallille on mahdollista määrätä tarpeen mukaan myös useampia omistajia. Taulukko 1 esittää tarkemmin eri käyttäjäroolien oikeuksia Model Sharing -mallissa. [29.]

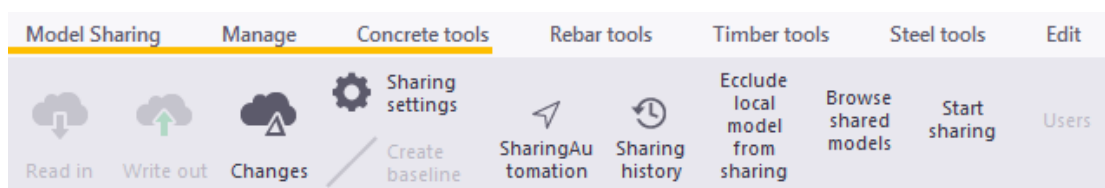
Taulukko 1. Käyttäjäroolien mukaan määräytyvät oikeudet Model Sharing -mallissa. [29.]

Käyttäjärooli	Omistusoikeus	Muokkausoikeus	Katselusoikeus
Read In	x	x	x
Write Out	x	x	
Käyttäjälistan näkeminen	x	x	
Uusien käyttäjien lisääminen	x		
Muiden käyttäjien roolien muuttaminen	x		
Käyttäjien poistaminen	x		
Model Sharing -toiminnallisuuden poistaminen mallista	x		

Jokainen mallin käyttäjä tallentaa Model Sharing -mallista paikallisen version itselleen. Model Sharing -työkalun suurena etuna on mahdollisuus työskennellä myös ilman jatkuvaa internetyhteyttä, sillä sitä tarvitaan vain muutosten jakamisen hetkellä. Tekla jakaa päämalliin vain jokaisen suunnittelijan tekemät muutokset koko mallin tallentamisen sijaan, mikä nopeuttaa osaltaan suunnitteluprosessia pienentämällä huomattavasti tallentamiseen kuluvaa aikaa. [30.]

Mallitietojen päivitys ja jakaminen toimii Microsot Azure -pilvipalvelun avulla. Yksittäinen suunnittelija voi ladata muiden käyttäjien päämalliin tekemät muutokset omaan malliinsa Read In -toiminnolla ja tallentaa omat tekemänsä muutokset muille käyttäjille jaettavaksi Write Out -toiminnolla. Model Sharing -työkalulle on ohjelman käyttöliittymän yläpalkissa

oma välilehtensä, josta siihen liittyviä toimintoja hallitaan. Kyseinen välilehti on esitetty kuvassa 9. [30.]



Kuva 9. Model Sharing -välilehti Tekla Structures -ohjelman mallinnusnäytteen käyttöliittymässä. Osa kuvakkeista näkyy harmaana, sillä käytetyssä testimallissa Model Sharing -toiminnallisuus ei ole käytössä. Kuva: Leo Hirvonen.

Multiuser -toiminnallisuus on toinen mahdollinen tapa toteuttaa useamman käyttäjän projekteja Tekla Structures -ohjelmassa. Multiuser on ollut käytössä paljon Model Sharing -työkalua kauemmin, mutta Model Sharing on käytännössä jo täysin syrjäyttänyt Multiuser -mallien käytön Swecolla.

Multiuser-mallissa on yksi päämalli, jonka parissa työskentelee suoraan useampi käyttäjä. Jokaisella Multiuser-käyttäjällä on oma työskentelynäkymä malliin, mutta malli itsessään on sama kaikkien käyttäjien kohdalla. Käyttäjän työskentelynäkymään tehdyt muutokset näkyvät muille käyttäjille vasta, kun ne on tallennettu päämalliin. Tämän johdosta on ensiarvoisen tärkeää jakaa suunnittelijoille omat vastualueet, jotta välttyttäisiin mahdollisilta päällekkäisiltä muutoksilta. [31.]

Muutoksia tallentaessa tallentuu aina koko malli. Tämä on erityisen hidasta vähänkään suurempien mallien kohdalla. Tallennuksen aikana malli myös lukitaan niin, ettei muut käyttäjät voi sen aikana tehdä muutoksia malliin. Tallentamisen lisäksi malli lukitaan myös avaamisen ja osien numeroinnin ajaksi. Tietokoneen, jolle päämalli on tallennettu, tulee olla päällä aina, kun jotkut käyttäjät työskentelevät mallin parissa. Muulloin muutosten tallentaminen päämalliin ei ole mahdollista. [31; 32.]

Mainituista rajoitteista aiheutuvat hidasteet kertautuvat suunnittelun aikana ja aiheuttavat hyvinkin paljon hukkaan mennyttä suunnittelijoiden aikaa johtaen suunnitteluprosessin heikentyneeseen tehokkuuteen. Multiuser-mallien kanssa työskentely on siis kokonaisuutena selkeästi hitaampaa ja virheherkempää Model Sharing -malleihin verrattuna.

4 Uusien piirustusohjien ja ohjeistuksen luominen

Lähtökohtana tiedossa oli rakenteet, joiden piirustusasetukset vaativat uusimista. Insinööriyölle osoitetun tuntimäärän rajoissa tarkoituksena oli saada valmiita käyttökelpoisia asetuksia mahdollisimman monille rakenteille. Loput listatuista rakenteista jäivät käsiteltäväksi yrityksen sisäisesti insinööriyön jälkeen. Rakenteet on listattu alla siinä järjestyksessä, jossa asetuksia alettiin työstämään.

Piirustusasetusten uusimista vaativat rakenteet:

- pilarit
- kotelopilarit
- palkit
- nostopalkit
- siteet
- kaiteet
- portaat
- WQ-palkit
- liittopilarit
- ratapalkit.

4.1 Piirustuksille asetetut vaatimukset

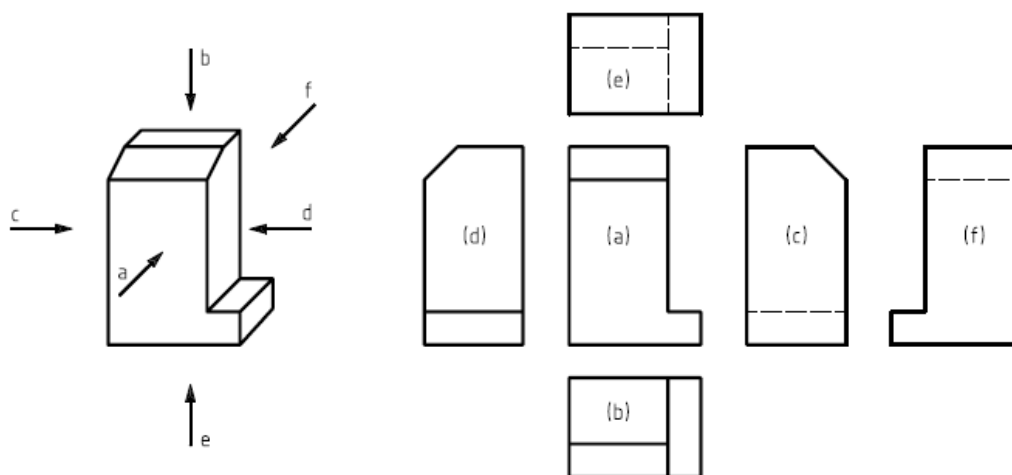
Ennen piirustusasetusten muokkaamisen aloittamista oli tarpeen selvittää piirustusten esitystapaa koskevat ohjeet ja mahdolliset rajoitukset. Tässä vaiheessa tuli perehtyä Ruukin Konepajapiirustusten laadintaohje -julkaisuun, sekä teknisiä piirustuksia ja yleistä dokumentaatiota koskeviin SFS-standardeihin.

Suomen standardisoimisliitto SFS ry ylläpitää SFS-online-verkkokirjastoa, joka kattaa laajasti kansainvälisiä ja kansallisia määräyksiä ja vaatimuksia liittyen muun muassa rakennusalaan ja myös muihin tekniikan aloihin. Useat teknistä dokumentaatiota ja rakennusasiakirjoja koskevat SFS-ISO -standardit pätevät sellaisenaan suoraan myös konepajapiirustuksille.

Oleellisimmat konepajapiirustuksiin vaikuttavat säännöt ja määräykset on esitetty standardisarjassa ISO 128, sekä muutamassa erillisessä standardissa. Standardisarja ISO 128 määrittelee sallitut kappaleiden esitystavat teknisissä piirustuksissa. Kyseinen standardisarja koostuu yhdeksästä eri standardista, joista tässä yhteydessä mainitaan muutama tärkein.

Standardit ISO 128-22 ja ISO 128-23 käsittelevät piirustuksissa esitettävälle viivoille määrättyjä viivatyypppejä. Standardi ISO 128-22 koskee viite- ja merkintäviivoja koskevia sääntöjä, sekä myös ohjeiden sijoittelua viiteviivoille. Viite- ja merkintäviivoilla tarkoitetaan viivoja, jotka yhdistävät piirustuksessa piirustusobjektin, kuten tietyn rakenneosan ja siihen liittyvät ohjeet, kuten osanumeron. Standardi ISO 128-23 puolestaan määrää rakennepiirustuksissa käytettävät viivatyyppit piirustuksissa esitettävälle rakenteille ja niiden eri osille. [33; 34.]

Standardit ISO 128-30 ja ISO 128-40 määrittelevät, miten eri näkymät kohteesta tulee esittää piirustuksissa. Standardi ISO 128-30 käsittelee kuvantoja, eli kohteesta eri suunnista otettuja näkymiä koskevia käytäntöjä. Kyseisessä standardissa on esitelty myös niin sanottu yhden käännön projektiomenetelmä, joka on yleisimmin käytössä oleva tapa asetella piirustusarkille eri näkymät kohteesta. Menetelmä on esitetty myös kuvassa 10. [35, s. 14; 36.]



Kuva 10. Havainnekuva niin sanotusta yhden käännön projektiomenetelmästä, jonka mukaan eri näkymät asetellaan piirustukselle. Konepajapiirustusten osalta on huomioitava, että kuvassa esitetty näkymä (f) asetetaan usein myös näkymän (b) alle. [35, s. 14.]

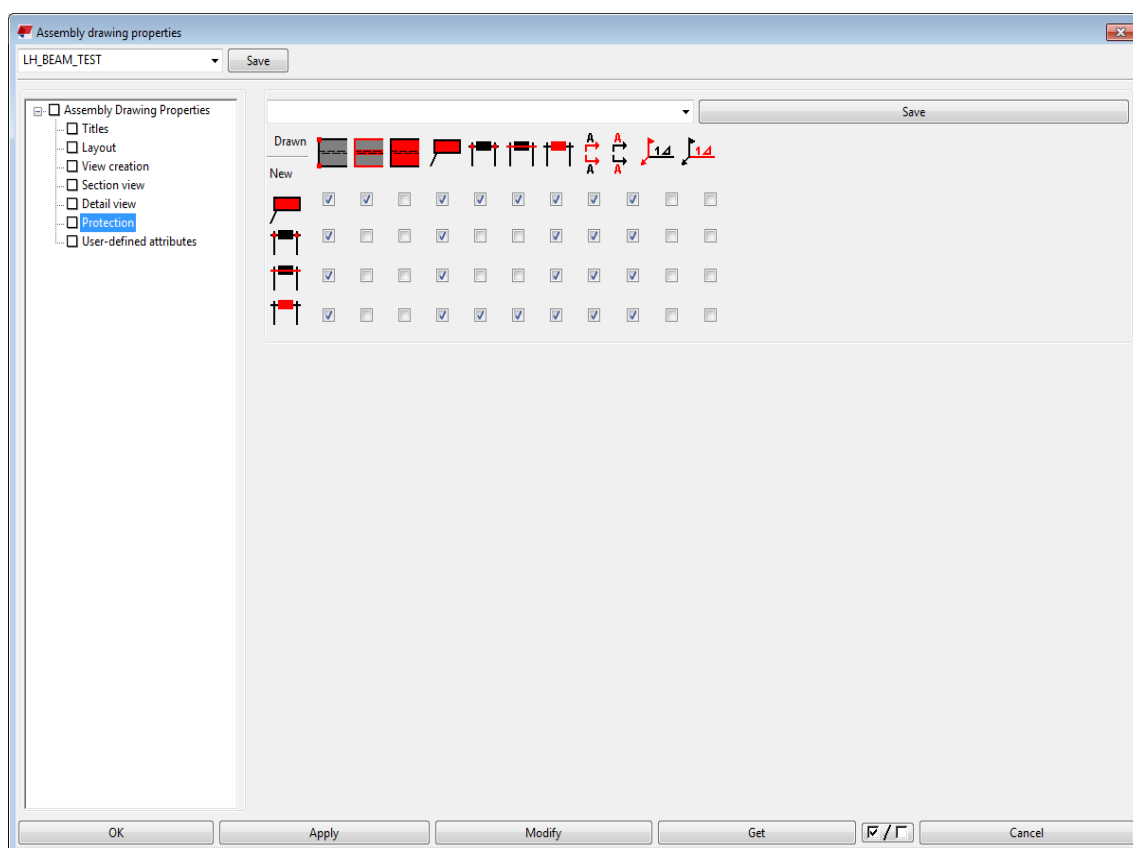
Standardi ISO 128-40 määrittelee puolestaan erityissäännöt kohteesta esitettävälle leikkausnäkyville. Leikkausnäkyvien osalta sovelletaan kuitenkin myös ISO 128-30 standardin yleisiä sääntöjä kuvaintojen sijoitteluun. Leikkausnäkymissä on huomioitava myös mahdollisesti tarvittava leikkausviivoitus, joka tulee esittää standardin ISO 128-50 mukaisesti. [35; 36; 37.]

Piirustuksissa esitettävä kappaleen mitoitus ja siihen liittyvät toleranssit toteutetaan standardissa ISO 129-1 esitettyjen määräysten mukaan. Piirustuksissa esitettäviä tekstejä koskevat vaatimukset ovat puolestaan määritelty standardissa ISO 3098-1. Lisäksi hitsaukseen liittyvien piirustusmerkintöjen esitystapaa käsittelee erillinen standardi ISO 2553. [38; 39; 40.]

Käyttämällä Teklassa Swecon oman teräsrakentamiselle tarkoitetun käyttäjäympäristön tarjoamia vakiomerkintöjä voidaan varmistua siitä, että kaikki dokumenttien merkinnät ovat valmiiksi SFS-ISO -standardien mukaisia. Tästä huolimatta piirustus pohjia laatiessa on kuitenkin hyvä vielä erikseen tarkastaa piirustusten standardien mukaisuus ainakin tärkeimpien kohtien osalta.

Ruukin julkaisema konepajapiirustusten laadintaohje on tarkoitettu konepajavalmistusta koskevien suunnitelmien yhdenmukaistamista varten. Laadintaohje ei ota suoraan kantaa aiheita koskeviin standardeihin, vaan se keskittyy ohjeistamaan suunnittelijoita kohti mahdollisimman konepajaystävällistä piirustusten laatimista. Laadintaohjeessa esitettyjä käytäntöjä on mahdollista soveltaa tietyiltä osin, kunhan piirustuksen yleinen luettavuus pysyy hyvällä tasolla. [41, s. 4.]

Tässä yhteydessä luettavuudella tarkoitetaan piirustuksen kokonaisvaltaista selkeyttä. Luettavuuden varmistamiseksi pyrkimyksenä on karsia piirustuksesta kaikki turhat merkinnät. Piirustus on kaikista selkein silloin, kun siinä on esitettynä vain konepajavalmistuksen kannalta välttämättömät mitat ja osatiedot. On myös huomioitavaa, että piirustuksissa mahdollisesti päällekkäin osuvat mitta- tai osamerkinnät voivat heikentää piirustuksen luettavuutta merkittävästi. Merkintöjen päällekkäisyyden estämiseksi Teklassa on olemassa piirustusnäkyville omat protection-asetukset, joiden avulla voidaan estää luotavien piirustusmerkintöjen sijoittamisen tiettyjen olemassa olevien piirustusobjektien päälle. Protection-asetusten valikko on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Protection-asetukset, joiden avulla määritellään, saako luotavat merkinnät mahdollisesti mennä olemassa olevien piirustusobjektien kanssa päällekkäin. Kuva: Leo Hirvonen.

4.2 Piirustusasetusten luominen Teklassa

Konepajapiirustuksilta vaaditun rakennekohtaisen informaation havainnollistamisen avuksi tulostettiin mallipiirustuksiksi valmiiksi editoituja konepajapiirustuksia Swecon edellisistä projekteista. Esimerkkejä valmiista konepajapiirustuksista kerättiin myös muun muassa erilaisista opetusmateriaaleista. Tässä raportissa näkökulma keskittyy oleellisimpien asetusten ja niiden vaikutusten esittelyyn. Yksittäisille asetuksille määritetyt arvot jäävät vain tilaajayrityksen tietoon. Kaikkien prosessiin liittyvien asetusten esittely ei myöskään ole tämän raportin puitteissa mahdollista.

Piirustusasetuksia lähdettiin työstämään testimallin avulla. Tässä työssä käytetty Swecon testimalli on erään vanhan suunnittelukohteen 3d-mallin pohjalta muokattu tyyppinen teollisuuden teräsrakennus, joka sisältää mahdollisimman monia useasti

käytettäviä rakenteita. Testimalli mahdollistaa muun muassa kaikenlaisten uusien asetusten kokeilemisen useita oikeita projekteja vastaavassa ympäristössä ilman vaaraa siitä, että varsinaisten käynnissä olevien projektien asetukset menevät sekaisin.

Piirustusasetusten työstämisen tukena käytettiin pääosin Tekla User Assistance -verkkopalvelua, joka tarjoaa kattavasti tietoa lähes kaikkien ohjelman eri toimintojen sisäistämistä varten. Palvelusta löytyy hyödyllisiä ohjeita Teklan useille eri ohjelmaversioille, ja ohjeistus sisältää tarkkoja selityksiä jopa yksittäisten asetusten ja niiden eri vaihtoehtojen vaikutuksista ohjelman toimintaan. Oleellisten piirustusasetusten vaikutuksia piirustuksen luomiseen on muun muassa havainnollistettu selkein kuvin, joista ilmenee nopeasti, mitä vaikutuksia kyseistä asetusta muuttamalla saadaan aikaan.

4.2.1 Piirustusarkin ja näkymien määrittäminen

Piirustusasetusten luomisen prosessi on loogista aloittaa määrittelemällä piirustusarkin ominaisuudet, kuten paperikoko ja arkille tulevien näkymien mittakaavat. Nämä asetukset riippuvat pääosin esitettävän osan tai kokoonpanon monimutkaisuudesta ja koosta. Arkille on mahdollista esitettävän rakenteen lisäksi myös tarpeelliset taulukot ja nimiö. Piirustuksen mittakaavaa määritettäessä on huomioitava, että rakenteen kaikki oleelliset yksityiskohdat näkyvät riittävän selkeässä koossa. Ruukin ohjeessa on esitetty konepajapiirustuksissa käytettäviä yleisimpiä piirustuskokoja, joita käyttämällä voidaan myös varmistua, että piirustuskoot ovat standardin ISO 5457 mukaisia. Yleisimpiä konepajapiirustuksissa käytettäviä piirustuskokoja ovat A1, A2 ja A3. [42.]

Taulukoiden, kuten nimiön ja osaluettelon, sekä muun muassa näkymien yleisen asettelun osalta puhutaan piirustuksen layout -asetuksista. Taulukoiden layout, eli asettelu, on käytännössä sama kaikille kokoonpanokuville. Nimiö sisältää itse piirustukseen liittyvät tiedot, kuten muun muassa rakennuskohteen yleistiedot, piirustuksen tekniset tunnukset ja piirustuksen vastuuhenkilön tiedot. Nimiö sijoitetaan aina piirustusarkin oikeaan alanurkkaan.

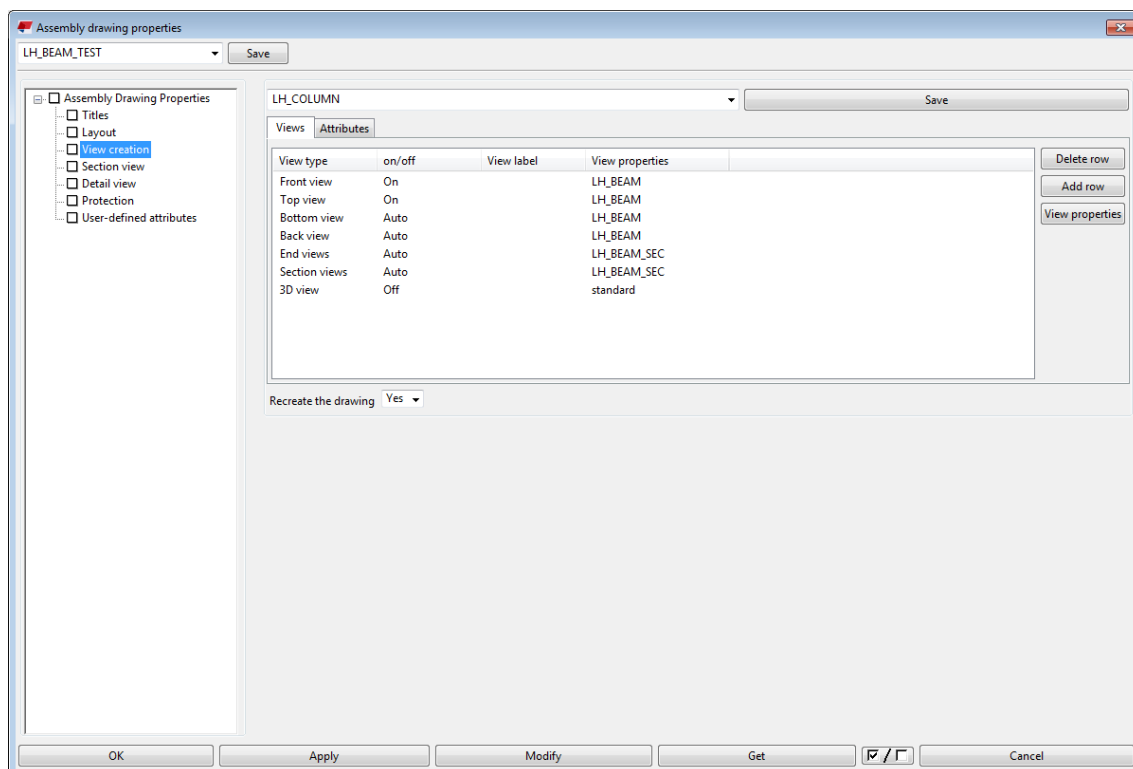
Kokoonpanopiirustuksen osaluettelo listaa nimensä mukaan esitettävässä kokoonpanossa käytettävät osat, sekä niihin liittyvät tiedot, kuten osanumerot ja osien geometriset tiedot. Konepajapiirustukset sisältävät yleisesti myös taulukon, jossa määritellään

rakenneosan valmistuksessa noudatettavat tekniset vaatimukset. Näitä ovat muun muassa materiaalin pintakäsittelyyn liittyvät tiedot, rakenteen toteutusluokka ja hitseihin, sekä toleransseihin liittyvät vaatimukset.

Piirustuslayoutin osaksi on myös mahdollista lisätä tarpeen mukaan erilaisia vakiodetaljeja. Vakiodetaljilla tarkoitetaan yksityiskohtaista havainnollistavaa kuvaa jostain useammin toistuvasta rakenteen kohdasta ja sen toteutuksesta. Vakiodetaljeja käyttämällä on mahdollista edistää piirustuksen luettavuutta etenkin tapauksissa, joissa esitettävissä rakenteissa on esimerkiksi paljon keskenään vastaavia liitoksia tai toistuvaa geometriaa. Tässä työssä tarvittavat vakiodetaljit lisättiin osaksi luotuja piirustus pohjia, missä se oli mahdollista. Vakiodetaljien avulla esitettiin esimerkiksi kotelopilarin kokoonpanoon liittyviä hitsien yksityiskohtia.

Ruukin ohjeistus tarjoaa hyvinkin tarkat suositukset konepajapiirustusten taulukoiden sijainneille ja ko'oilte. Kuitenkin Swecon ja monien muidenkin suunnittelutoimistojen käytäntönä on sijoittaa kaikki taulukot siististi piirustuksen alareunaan. Tällä tavalla piirustuksen selkeys pysyy ja arkin tilankäyttö on tehokkaampaa verrattuna Ruukin ohjeistukseen, jossa osa taulukoista sijoitettaisiin arkin yläreunaan. Kun taulukot ja muut merkinnot keskitetään piirustuksen alareunaan, jää piirustusnäkyville selkeämpi ja helpommin käytettävissä oleva karkeasti noin suorakulmion muotoinen alue.

Piirustuksen luettavuuden optimoimiseksi pyrkimyksenä on näyttää vain välttämättömät näkymät esitettävästä rakenteesta. Piirustusasetuksissa on mahdollista lisätä manuaalisesti yksitellen jokainen piirustukselle haluttu näkymä, tai vaihtoehtoisesti käyttäjä voi valita ohjelman määrittämään automaattisesti tarvittavat näkymät valittujen mitoitusasetusten mukaisten kaikkien mittojen esittämistä varten. Näkymien esittämisen määrittelevät View creation -valikon asetukset näkyvät kuvassa 12. Kyseisessä valikossa määritellään myös mahdollisesti tarvittavien leikkausnäkyvien luominen.



Kuva 12. View creation -valikon asetukset, joiden avulla ladataan näkymille halutut piirustusasetukset. Nämä piirustusasetukset määritellään valikon oikeassa laidassa olevan View properties -alavalikon kautta. Kuva: Leo Hirvonen.

Layout -asetuksissa voidaan valita, että Tekla asettelee luodut näkymät piirustusarkille automaattisesti kappaleessa 4.1 esitellyn yhden kierron periaatteen mukaisesti. Halutessa kaikille eri näkymille on mahdollista määrittää omat yksilölliset piirustusasetukset View properties -valikon kautta. View properties -valikon avaava painike näkyy kuvan 12 oikeassa reunassa.

4.2.2 Merkintöjen määrittäminen näkymiin

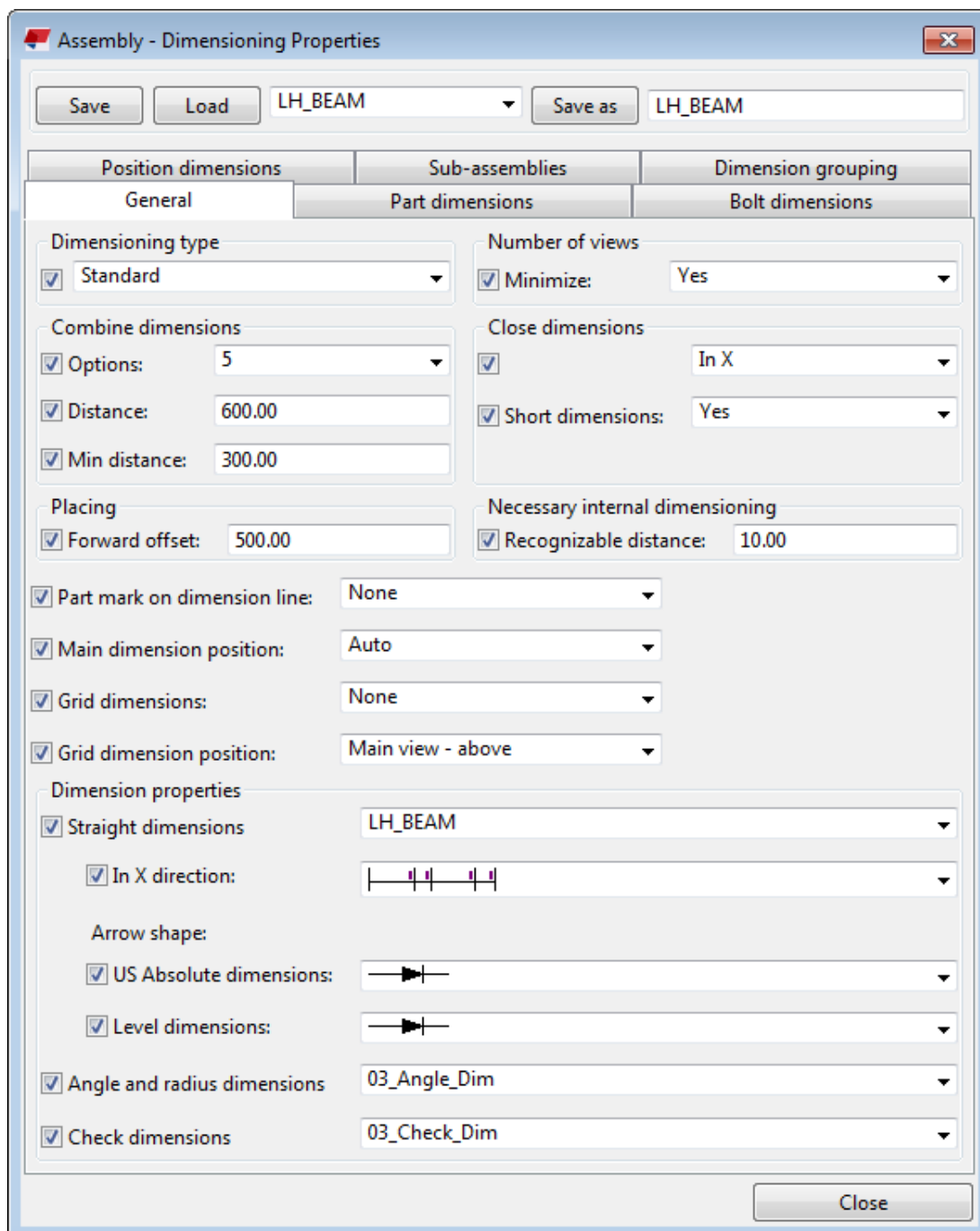
View properties -valikossa määritetään, mitä merkintöjä Tekla automaattisesti luo piirustusnäkyymiin, ja millä tavalla kyseiset merkinnät esitetään. Tämän työn osalta tärkeimpinä kyseisen valikon asetuksista ovat näkymissä esitettävien osien mitoitustapaan vaikuttavat Dimensioning -asetukset. Ohjelma tarjoaa valittavaksi muutamia eri mitoitustapoja, joita käyttäjä voi muokata omiin tarpeisiinsa sopivaksi. Samassa piirustusnäkyymässä on mahdollista käyttää myös useampia mitoitustapoja yhtäikaa täydentämään toisiaan.

Tässä työssä tehtyjen kokeilujen perusteella päädyttiin ensisijaisesti luomaan piirustusasetukset niille testimallin sisältämille rakenteille, joiden mitoitus oli mahdollista toteuttaa käyttäen pelkästään Integrated dimensions -mitoitustapaa. Eri mitoitusyhteyksien yhteiskäyttö aiheutti piirustuksiin ongelmia, joista kerrotaan tarkemmin luvussa 4.2.3. Ongelmista huolimatta piirustusasetukset saatiin kuitenkin toimimaan kohtuullisen hyvin myös kaidekokoonpanoille eri mitoitusyhteyksien yhteiskäytöllä.

Integrated dimensions on erityisesti teräsrakenteille tarkoitettu mitoitusyhteyksien, jonka avulla ohjelma pyrkii luomaan automaattisesti oleelliset konepajavalmistusta varten tarvittavat mitat kokoonpanolle rakenteen geometriaan perustuen. Integrated dimensions toimii hyvin kokoonpanoille, joissa pääosaan liittyy pienempiä, geometrialtaan suhteellisen yksinkertaisia osia. Tämänkaltaisia rakenteita ovat esimerkiksi erityyppiset pilari- ja palkkikokoonpanot.

Integrated dimensions -mitoitustavan Dimensioning properties -valikko tarjoaa lukuisia eri asetuksia, joiden avulla käyttäjä voi vaikuttaa tarkemmin, mitä mittoja Tekla pyrkii luomaan kokoonpanolle, sekä kuinka ohjelma pyrkii sijoittamaan nämä mittaviivat piirustukselle. Kyseinen Dimensioning properties -valikko on esitetty kuvassa 13. Tämän valikon kautta voidaan määrätä esimerkiksi luotavien mittojen minimietäisyydet toisiinsa ja mitoitettavaan rakenneosaan.

Dimensioning properties -valikon asetusten mittavasta määrästä johtuen Integrated dimensions -mitoitustapaa on mahdollista muokata hyvinkin vapaasti käyttäjän vaatimusten mukaan, eikä valikon tarjoamia asetuksia ole mitenkään mahdollista esitellä tarkemmin tässä yhteydessä. Asetusten luomisen yhteydessä huomattiin, että useissa tapauksissa Integrated dimensions luo piirustuksiin oikeastaan jopa liikaakin eri mittoja, joten pääpaino asetusten muokkaamisessa olikin tarpeettomien mittojen karsimisessa mahdollisuuksien mukaan.



Kuva 13. Dimensioning properties -valikko Integrated dimensions -mitoitustyyppille. Valikko sisältää kuusi välilehteä ja useita alavalikoita eri mitoitusasetusten muuttamista varten. Näiden lukuisten asetusten johdosta Integrated dimensions -mitoitustyyppi on mahdollista mukauttaa sopivaksi monille erityyppisille rakenteille. Kuva: Leo Hirvonen.

View properties -päävalikosta voidaan määritellä myös, miten Tekla esittää muun muassa osatunnukset, pultit ja hitsimerkinnot. Näiden kohdalla asetuksia ei kuitenkaan varsinaisesti ole tarpeen muuttaa eri rakenteiden välillä, joten niiden yksityiskohtaisempi

esittely ei ole tässä työssä tarpeen. Joka tapauksessa on huomioitavaa, että tavallisesta poikkeavat hitsit tai muut vastaavat tapauskohtaisemmat merkinnät on yleensä lisättävä manuaalisesti piirustukseen haluttuun kohtaan.

Kaiteiden mitoitus päädyttiin lopulta toteuttamaan määrittämällä eri näkymille omat mitoitukset ja luomalla mitoitussäännöt yksi mitta kerrallaan käyttäen Overall dimensions- ja Secondary parts dimensions -mitoitustyypppejä. Overall dimensions -mitoitus luo esitettävän rakenteen äärimitat, kun taas Secondary parts dimensions -mitoitus luo nimensä mukaan mittaviivat secondary part -osien välille. Tällä tavalla luodut mitoitukset olivat mahdollista toteuttaa, sillä kaiteiden rakenne pyritään pitämään hyvinkin samanlaisena eri projektien välillä. Työssä käsiteltiin suoria kaidekokoonpanoja, mutta luotujen asetusten pitäisi toimia kohtuullisesti myös vinoille kaiteille.

Tässä tapauksessa toimivien mitoitussääntöjen luominen erikseen jokaiselle halutulle mitalle oli mahdollista, koska kaidekokoonpanojen eri osien suunnat ja sijainnit vastaavat hyvin toisiaan eri kokoonpanojen välillä. Teräspuistikista koostuvan kaiteen sallitut aukkojen mitat ovat tarkkaan määritelty teräsrakenteiden suunnittelua koskevissa standardeissa turvallisuuden takaamiseksi, mikä osaltaan myös rajoittaa kaidekokoonpanojen keskinäisissä eroja.

Kaiteiden pystyosien välimittaa ei saatu automaattisilla asetuksilla kuitenkaan toimimaan täysin halutulla tavalla ja ainakin toistaiseksi kyseisen mitan lisääminen on jätettävä suunnittelijan tehtäväksi. Kaiteen kulman pyöristyksen määrittävä sädemitta on myös lisättävä piirustukseen jälkikäteen. Pyöristysmerkinnän ja pystyosien välimitan lisäämisestä on merkitty huomautus piirustus pohjan ohjeistukseen. Kokonaisuutena myös kaiteiden osalta tarvittavaa editoinnin määrää saatiin kuitenkin pienennettyä lähtötilanteeseen verrattuna.

4.2.3 Piirustus pohjien koekäyttö ja ilmenneet ongelmat

Uusien piirustusasetusten toimivuutta kokeiltiin testimallin avulla. Asetukset säädettiin ensin toimimaan riittävän hyvin yhdelle tietylle kokoonpanolle. Tämän jälkeen kokeiltiin toimivatko samat asetukset myös toiselle vastaavalle, mutta hieman eroavalle kokoonpanolle, vai tarvitaanko lisää muokkaamista.

Asetusten koekäyttö onnistui yleisesti ottaen hyvin ja piirustukset olivat pääosin hyvin luettavia. Pieniä muutoksia vaadittiin esimerkiksi mittaviivojen etäisyyksiin mitoitettavasta osasta ja toisistaan. Asetusten luomisessa ilmeni kuitenkin myös haasteita ja erinäisiä ongelmia etenkin tilanteissa, joissa kokeiltiin eri mitoitustyyppien käyttöä yhdessä.

Hieman monimutkaisempien kokoonpanojen, kuten kaiteiden ja portaiden osalta on käytännössä välttämätöntä käyttää useampaa eri mitoitustapaa samassa näkymässä. Integrated dimensions -mitoitustavalla saadaan mitoitettua kohtuullisen hyvin näiden kokoonpanojen pääosana (main part) oleva palkki, johon kaiteiden alaosa kiinnittyy, mutta itse kaiteen mitoitus muodostuu ongelmaksi. Kaiteen muodostavat osat ovat kyseisissä kokoonpanoissa niin sanottuja toissijaisia osia (secondary part), eikä Integrated dimensions tarjoa tähän tilanteeseen sopivia asetuksia näille osille. Konepajoilla on tarkat vaatimukset kaide- ja porraskokoonpanojen mitoituskäytännöille, joten secondary part -osien mitoitus on toteutettava muiden mitoitustyyppien avulla.

Tässä työssä ehdittiin kokeilla kaiteiden mitoitusta muun muassa Filter dimensions -mitoitustyyppillä. Tässä mitoitustyyppissä luodaan ensin filter, eli sääntö, joka määrittelee, minkä ominaisuuksien perusteella rakenteesta valitaan mitoitettavat kohdat. Filter on hyvinkin vapaasti käyttäjän määriteltävissä, ja sen avulla voidaan suodattaa mitoitettavaksi esimerkiksi vain tietyn nimen tai profiilin omaavat osat.

Asetuksia luodessa yrityksenä oli rajata Filter dimensions -asetuksilla ohjelma mitoittamaan kokoonpanosta kaikki osat, joiden rakennetyypiksi oli määritetty rail, eli kaide. Tässä vaiheessa vastaan tuli kuitenkin yllättäviä ongelmia, kun mittaviivojen lisäämisen sijaan kaiteen Filter dimensions -mitoitus kadotti tiettyjä kaiteen osia kokonaan näkyvistä piirustukselta. Tästä johtuen kaiteiden mitoitus toteutettiin käyttäen muita mitoitustyppejä, kuten luvussa 4.2.2 on mainittu.

Satunnaisissa tapauksissa osatunnusten leader line -viivat menivät näkymissä ristiin, vaikka piirustuksella olisi riittävästi tilaa ja merkintöjen suojausasetukset säädettiin niin, ettei tämän pitäisi tapahtua. Myös jotkut muut merkinnät, kuten mittaviivat ja osatunnukset jäivät päällekkäin joissain yksittäistapauksissa riippumatta protection-valikossa käytetyistä asetuksista.

Yksilölliset näkymäkohtaiset asetukset aiheuttivat myös omituista käyttäytymistä Tekla Structuresin piirustuseditorissa. Automaattiset asetukset toimivat parhaiten ja loogisimmin, kun mahdollisia leikkauskuvia lukuun ottamatta kaikilla yhden piirustuksen näkymillä on keskenään samat View properties -valintaikkunan asetukset. Integrated dimensions -mitoitustapaan liittyvät asetukset toimivatkin selkeästi luotettavimmin näissä tilanteissa, joissa piirustuksen kaikille näkymille oli määritetty samat View properties -valikon asetukset. Muutamaa otteeseen osa tarvittavista näkymistä katosi piirustukselta jopa kokonaan kokeiltaessa yksilöllisiä näkymäkohtaisia piirustusasetuksia, vaikka valittuna oli asetus, jonka pitäisi luoda kaikki tarvittavat näkymät esitettävästä rakenteesta.

Leikkausnäkyvien automaattinen sijoittelu ei myöskään toiminut järkevästi aivan kaikissa tilanteissa. Joissain tapauksissa leikkausnäkyvät asettuivat automaattisesti halutulla tavalla arkin tyhjälle osalle, kun taas joskus leikkausnäkyvät asettuivat muiden näkymien alapuolelle ja osittain jopa piirustusarkin ulkopuolelle.

Kokeilujen perusteella on todettava, että insinööriyön työmäärän rajoissa kaiken kattavat ja varmasti toimivat täysin automaattiset asetukset kaikille rakenteille eivät ole mahdollisia toteuttaa. Kokoonpanot ovat kuitenkin sen verran yksilöllisiä ja keskenään erilaisia, että todennäköisimmin vähintään joku osa tai kohta kokoonpanosta mitoituu erikokoisesti.

Muun muassa kotelopilarin osalta huomattiin, että määritetyt piirustusasetukset toimivat pääosin erittäin hyvin, mutta kokoonpanosta riippuen leikkausnäkyvistä voi tulla hyvin sekavia etenkin mittaviivojen osalta. Kotelopilarin tapauksessa leikkausnäkyvään vaikuttavien automaattiasetusten korjaaminen puolestaan sotki piirustuksessa muun mitoituksen. Tekla Structuresin automaattimitoitus määräytyy niin usean pienen tekijän yhteisvaikutuksena, että vastaavissa tapauksissa oli valittava vaihtoehto, joka jättää suunnittelijalle piirustukseen mahdollisimman vähän korjaamista tai täydentämistä vaativia kohtia. Täydellisten optimaalisten asetusten tavoittelu näissä tapauksissa vaatisi huomattavasti lisää aikaa ja todennäköisimmin eri mitoitustyyppien yhdistelyä.

Monien asetusten muuttaminen ja tallentaminen kokeilua varten oli myös useamman valikon ja välivaiheen takana, mikä osaltaan hidasti melko paljon asetusten luomisprosessia. Monissa tilanteissa oli esimerkiksi tarpeen kokeilla useammille asetuksille jopa yli

kymmentä eri arvoa parhaan ratkaisun löytämiseksi, ja asetusten kokeiluun kuluva aika kertaantui merkittävästi.

Alustavan koekäytön perusteella tässä työssä luodut piirustus pohjat toimivat pääosin tilaajan toiveiden mukaisesti. Hienosäätöä ja täydennystä tullaan vielä todennäköisimmin tekemään jatkossa sekä luoduille piirustus pohjille että ohjeistukselle insinööri työn päätymisenkin jälkeen.

4.3 Piirustus pohjien ohjeistuksen luominen

Swecolla käytössä ollut piirustus pohjiin liittyvä ohjeistus oli jo suurilta osin vanhentunut. Käytössä ollut ohjeistus pohjautuu IS-Plan Oy:llä käytössä olleeseen materiaaliin ja näin ollen muun muassa ohjeistuksessa esitetyt nimiön yritystiedot olivat väärä.

Tässä työssä toteutettu ohjeistus koostuu kokoonpanopiirustuksista, joihin on lisätty oleellisia huomautuksia kyseisten rakenteiden esittämistä varten. Huomautukset koskevat muun muassa merkintöjä, jotka suunnittelijan on lisättävä piirustukseen manuaalisesti tilanteen niin vaatiessa. Ohjeistus esittelee suunnittelijalle rakennekohtaisesti, mitä merkintöjä piirustuksessa on oltava ja mitä merkintöjä siitä puolestaan voidaan poistaa. Ohjeistuksen päivittämisessä hyödynnettiin suurelta osin pohjana vanhaa ohjeistusta, josta selkeästi vanhentuneet tiedot muokattiin ajan tasalle. Nostopalkin, siteiden ja kaikeen osalta oli mahdollista luoda täysin uusittu ohjeistus jo tässä vaiheessa.

Raportin liitteessä 3 esitetty päivitetty ohjeistus on toistaiseksi melko alustava ja yleisluontoinen, ja sitä voidaan tarpeen mukaan jatkossa muokata ja täydentää muulla materiaalilla. Piirustus pohjien luomisen prosessia ja työn muita vaiheita hidastaneet seikat osaltaan vaikuttivat siihen, ettei tämän työn aikarajassa ollut mahdollisuutta luoda täysin uutta, tässä työssä luotuihin piirustus pohjiin pohjautuvaa ohjeistusta. Tulevaisuudessa, kun luoduksi saadaan enemmän valmiita piirustus pohjia, voidaan ohjeistus muokata kokonaan käsittelemään yksityiskohtaisemmin nimenomaan uusiin piirustus pohjiin liittyviä tarkempia seikkoja.

5 Projektin tulokset

Työn tuloksena saatiin käyttökelpoiset piirustusohjeet seuraaville rakenteille:

- palkki
- pilari
- kotelopilari
- nostopalkki
- side
- kaide.

Luodut piirustusohjeet ovat alustavan koekäytön perusteella toimivia, mutta niitä voidaan halutessa kehittää vielä paremmin toimiviksi kokeilemalla Integrated dimensions -mitoitustyyppin rinnalla myös muita mitoitustyyppieitä.

Mainittujen rakenteiden uudet piirustusasetukset ovat luotuina tällä hetkellä tässä työssä käytetyssä Swecon testimallissa, josta ne voidaan ottaa yleiseen käyttöön, kun piirustusohjeiden toimivuus on todettu riittäväksi myös yrityksen osalta. Uusien piirustusasetusten nimet päivitetään virallisiksi, kun piirustusohjeet otetaan käyttöön. Uudet nimet tulee päivittää tällöin myös ohjeistuksessa piirustusten ylätunnisteisiin. Loput alustavasti listattujen rakenteiden piirustusohjeista jäävät kokonaan kehitettäväksi Swecolle, sillä asetusten luomista ei ehditty tämän työn aikana aloittaa.

Olemassa oleva piirustuksia koskeva ohjeistus saatiin päivitettyä myös niiden tässä työssä käsiteltyjen rakenteiden osalta, joiden piirustusasetukset saatiin luotua kokonaan. Piirustusohjeita koskeva ohjeistus on omana pdf -tiedostonaan ja myös raportin liitteessä 3. Työn tuloksena laadittua raporttia voidaan hyödyntää myös yleisesti havainnollistamaan piirustusasetusten luomisen prosessia ja esittelemään tärkeimpiä piirustusohjeisiin liittyviä asetuksia ja mahdollisia ongelmakohtia. Lisäksi projektin aikana kartoitettiin oleellimmat konepajapiirustusten esitystapaa koskevat suositukset ja määräykset helpottamaan osaltaan piirustusasetusten jatkokehitystä. Työn aikana luodut piirustusohjeet ja ohjeistus ovat Sweco Rakennetekniikka Oy:n materiaalia, eikä niitä ole mahdollista esittää osana tämän raportin yleisesti jaettavaa versiota.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä työssä kartoitettiin konepajapiirustusten esittämistä koskevat määräykset ja suositukset, sekä luotiin Tekla Structures -mallinnusohjelmaan uudet piirustusohjat muutamille yleisesti käytetyille teräsrakenteille. Lisäksi piirustusohjia koskeva ohjeistus päivitettiin niiden rakenteiden osalta, joiden piirustusohjat saatiin valmiiksi. Raporttiin selvennettiin yleisellä tasolla piirustusohjien luomisen prosessia ja oleellisimpia piirustusasetuksia. Raporttiin kirjattiin myös piirustusohjien luomisen aikana ilmenneet ongelmia ja haasteita aiheuttaneet asetukset ja tilanteet, jotta jatkokehityksen osalta niihin osataan varautua ennalta.

Alun perin toiveissa oli saada aikaiseksi hieman varsinaista lopputulosta enemmän sisältöä, mutta useammat ennalta-arvaamattomat työhön liittyvät, sekä sen ulkopuoliset seikat aiheuttivat haasteita. Työn aikataulun osalta näihin haasteisiin ei kuitenkaan ollut mahdollista varautua, eikä aikataulutusta olisi kannattanut tai oikeastaan edes voinut tehdä toisin. Insinööriyöhön varattu tuntimäärä on kuitenkin aina rajallinen ja työn edistymistä hankaloittaa kaikki pienetkin hetket, jolloin ajatus ja keskittyminen eivät aivan täysin ole työssä mukana. Parhaassa mahdollisessa tilanteessa oma ajankäyttö työhön liittyen olisi ehkä toki voinut olla jonkun verran tehokkaampaa, mutta työn aikana saavutettuihin tuloksiin tällä tuskin olisi ollut kovinkaan merkittävää vaikutusta.

Tekla Structures -ohjelmassa niin lukuisat asetukset liittyvät ja vaikuttavat toisiinsa sen verran oleellisesti, että suurena haasteena oli myös saada raportin selitykset rajattua riittävän ymmärrettävään muotoon ilman, että täytyisi kirjoittaa useita kymmeniä sivuja pelkästään ohjelman toiminnasta. Tekla on kokonaisuutena sen verran kattava ja kokeuttomalle käyttäjälle jopa monimutkainen ohjelma, että tämän työn laajuudessa oli pakko pitää ohjelman toimintaan liittyvät selitykset melko pintapuolisina.

Insinööriyön suunnitelmaa tehdessä mahdollisiksi ongelmakohtiksi listatut ohjelmistongelmat eivät vaikuttaneet merkittävästi projektin etenemiseen ja lopputuloksiin. Ongelmia toki ilmeni, kuten luvussa 4.2.3 on kerrottu, mutta pääosin ne aiheuttivat vain kohdittuun pieniä hidasteita. Suurin osa mainituista ongelmista saatiin kierrettyä riittävän hyvin käyttäen toisia asetuksia.

Nykyisinkin editoinnin osalta eniten suunnittelijan aikaa vievät tapaukset, kuten portaat ja kaiteet ovat syystäkin ongelmallisia. Kyseiset rakenteet vaativat pakosti eri mitoitus-tyyppien yhteiskäyttöä, jotta automaattisilla asetuksilla saataisiin luotua edes lähestulkoon haluttava lopputulos. Eri mitoitus-tyyppien yhteiskäytössä ilmenneiden ongelmien takia muun muassa portaiden osalta ei ollut mahdollista luoda toimivia piirustus-pohjia tälle työlle varatun ajan puitteissa.

Täysin automaattisten ja joka tilanteessa oikein toimivien piirustusasetusten luominen on tämän työn tulosten perusteella mittava haaste, ellei jopa täysi mahdottomuus. Lähestulkoon kaikki piirustusasetukset ovat jollain tavalla yhteydessä toisiinsa, mistä johtuen yhden ongelman korjaaminen luo usein piirustuksiin uuden ongelman toisaalle. Työn aikana selvisi, että asetusten kehittäminen kohti täydellisyyttä vaatii vähintäänkin vielä reilusti lisää aikaa kaikkien eri vaihtoehtojen kokeilemista varten.

Insinööri-työn aikana saavutettiin ainakin osittain tavoitellut tulokset, vaikkakin valmiiden piirustusasetusten määrästä ja niihin liittyvän ohjeistuksen tarkkuudesta jouduttiin alkuperäisiin tavoitteisiin verrattuna tässä aikarajassa ehkä jonkun verran karsimaan. Suunnitteluvaiheessa projektin osalta oli kieltämättä todella kovat tavoitteet asetusten ja ohjeistuksen luomisen suhteen, joten työn lopputulosta voidaan kuitenkin pitää pääosin onnistuneena.

Työn aikana saavutetut tulokset eivät välttämättä ole välittömästi hyödynnettävissä niin suurelta osin, kuin alun perin oli tavoitteena. Luodun materiaalin jatkokehitystä varten kuitenkin auttaa tieto, mitä asetuksia on kokeiltu, mitkä näistä ovat toimineet, ja mitkä ovat aiheuttaneet ongelmia. Uusien piirustus-pohjien luominen helpottuu, kun tämän työn aikana kerättyä tietoa voidaan käyttää konkreettisena pohjana prosessille tulevaisuudessa. Sweco Rakennetekniikka Oy tulee jatkamaan piirustus-pohjien kehitystyötä yrityksen sisäisesti tämän insinööri-työn päättymisen jälkeen. Tämän raportin pohjalta on myös mahdollista kehittää esimerkiksi tarkempi ohjeistus piirustus-pohjien luomista ja muokkaamista varten, mikäli tälle koetaan olevan tarvetta.

Lähteet

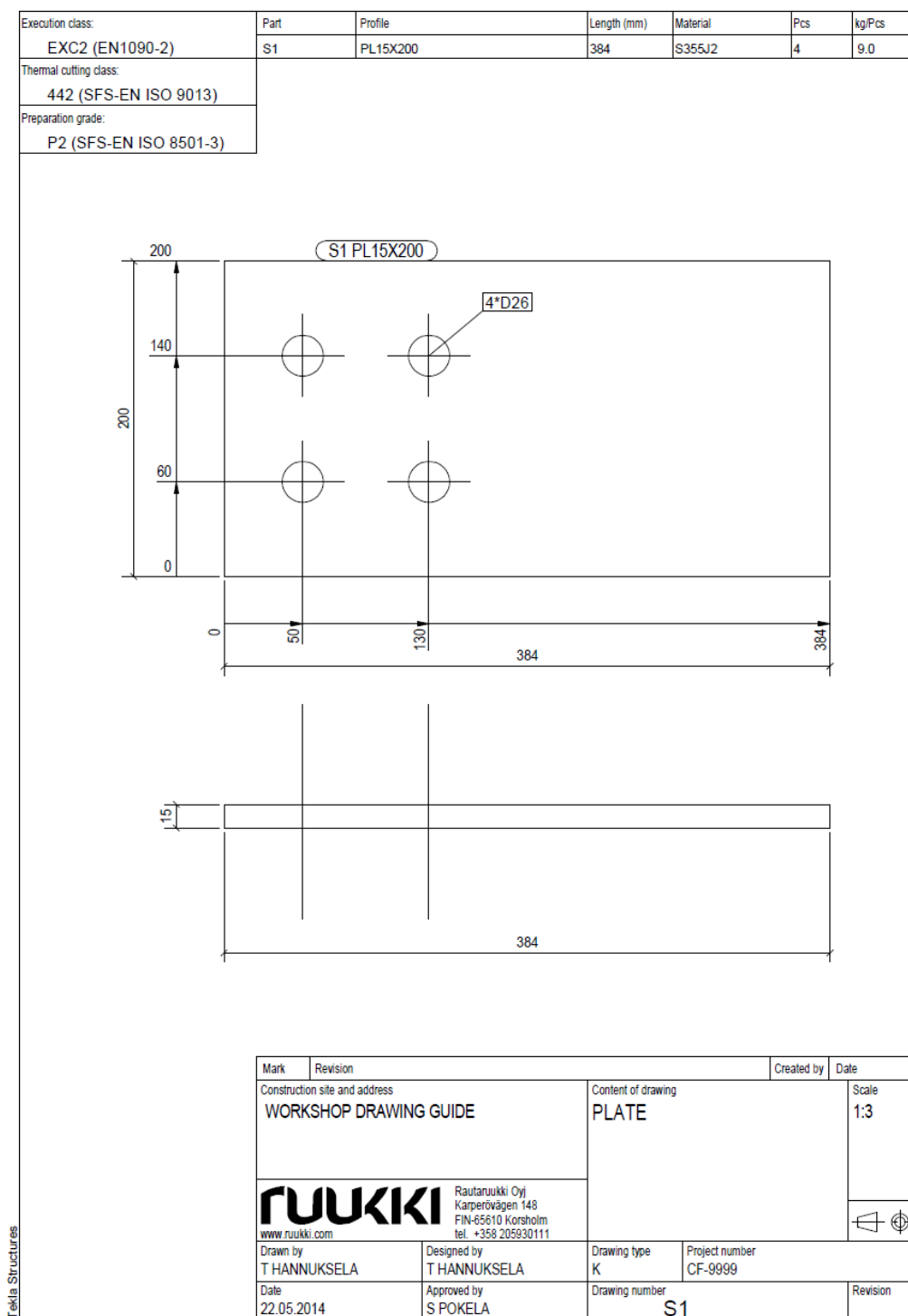
- 1 Tietoa Swecosta. Verkkoaineisto. Sweco AB.
<<https://www.sweco.fi/tietoa-swecosta/>>. Luettu 16.1.2019.
- 2 Det här är Sweco. Verkkoaineisto. Sweco AB. <https://www.aktiespararna.se/system/files/sites/default/files/sweco_pdf.pdf>. Luettu 20.1.2019.
- 3 Tietoa Swecosta: Historiaa. Verkkoaineisto. Sweco AB.
<<https://www.sweco.fi/tietoa-swecosta/historia/>>. Luettu 23.1.2019.
- 4 Tietoa Swecosta: Organisaatio. Verkkoaineisto. Sweco AB.
<<https://www.sweco.fi/tietoa-swecosta/organisaatio/>>. Luettu 23.1.2019.
- 5 Tietoa Swecosta: Rakennetekniikka. Verkkoaineisto. Sweco AB.
<<https://www.sweco.fi/palvelumme/rakennetekniikka/>>. Luettu 23.1.2019.
- 6 Sweco Rakennetekniikka on entistä vahvempi. Verkkoaineisto. Sweco.
<<http://www.mynewsdesk.com/fi/sweco/news/sweco-rakennetekniikka-on-entista-vahvempi-103570>>. Luettu 2.8.2019.
- 7 Siikanen, Unto. 2009. Rakennusaineoppi. 7. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 8 Teräs materiaalina. Verkkoaineisto. Teräsrakenneyhdistys. <<http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/terasrakenneteollisuus/teras-materiaalina/>>. Luettu 3.2.2019.
- 9 Teräskirja. 9. painos. Verkkoaineisto. Metallinjalostajat ry. <https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/teraskirja_flip/mobile/index.html>. Luettu 3.6.2019.
- 10 Rakentaminen teräksestä. Verkkoaineisto. Teräsrakenneyhdistys.
<<http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/terasrakenneteollisuus/rakentaminen-teraksesta/>>. Luettu 7.2.2019.
- 11 Teräsrakentaminen. Verkkoaineisto. Hämeen ammattikorkeakoulu.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90437/HAMK_Teras.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 4.6.2019.
- 12 Rakentajain kalenteri 2016: Teräsrakenteet ovat osa rakentamisen high tech'ia. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK160404.pdf>>. Luettu 4.6.2019.

- 13 Rakentajain kalenteri 2003: Teräsrakenneprojektin malliaineisto. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK030205.pdf>>. Luettu 4.6.2019.
- 14 Tietomallinnus. Verkkoaineisto. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. <<http://ril.easypage.fi/fi/alan-kehittaminen/tietomallinnus.html>>. Luettu 16.3.2019.
- 15 Mitä on BIM? Verkkoaineisto. Tekla. <<https://www.tekla.com/fi/tietoa-meist%C3%A4/mit%C3%A4-bim>>. Luettu 16.3.2019.
- 16 Kainuun uusi sairaala. Verkkoaineisto. Tekla. <<https://www.tekla.com/fi/bim-awards/kainuun-uusi-sairaala>>. Luettu 4.8.2019.
- 17 IFC-tiedonsiirto. Verkkoaineisto. Micro Aided Design. <https://www.mad.fi/tiedostot/pdf/kasikirja16/YS.IFC_web.pdf>. Luettu 17.3.2019.
- 18 Tuotteet. Verkkoaineisto. Tekla. <<https://www.tekla.com/fi/tuotteet>>. Luettu 10.2.2019.
- 19 Tietoa meistä: Historia. Verkkoaineisto. Tekla. <https://www.tekla.com/fi/tietoa-meista/lyhyesti?qt-view__referenced_tabs__block=0#qt-view__referenced_tabs__block>. Luettu 10.2.2019.
- 20 Tekla Structures. Verkkoaineisto. Tekla. <<https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>>. Luettu 10.2.2019.
- 21 Suunnitelmasta todeksi Teklan ja Autodesk Revitin avulla. Verkkoaineisto. Tekla. <<https://www.tekla.com/fi/suunnitelmasta-todeksi-teklan-ja-autodesk-revitin-avulla>>. Luettu 11.2.2019.
- 22 Rakennesuunnittelu keskiössä. Verkkoaineisto. Tekla. <<https://www.tekla.com/fi/ratkaisut/rakennesuunnittelijat>>. Luettu 10.2.2019.
- 23 What to do before creating drawings. Verkkoaineisto. Tekla User Assistance. <https://teklastructures.support.tekla.com/2019/en/dra_before_creating_drawings>. Luettu 10.6.2019.
- 24 Create single-part, assembly, or cast unit drawings. Verkkoaineisto. Tekla User Assistance. <https://teklastructures.support.tekla.com/2019/en/dra_creating_single_part_assembly_cu_and_ga_drawings>. Luettu 10.6.2019.

- 25 Create general arrangement drawings. Verkkoaineisto. Tekla User Assistance. <https://teklastructures.support.tekla.com/2019/en/dra_creating_ga_drawings_using_menu_toolbar_or_popup>. Luettu 10.6.2019.
- 26 Lock drawings. Verkkoaineisto. Tekla User Assistance. <https://teklastructures.support.tekla.com/2019/en/dra_locking_drawings>. Luettu 11.6.2019.
- 27 Freeze drawings. Verkkoaineisto. Tekla User Assistance. <https://teklastructures.support.tekla.com/2019/en/dra_freezing>. Luettu 11.6.2019.
- 28 Tekla Model Sharing. Verkkoaineisto. Tekla. <<https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-model-sharing>>. Luettu 10.3.2019.
- 29 User roles in Tekla Model Sharing. Verkkoaineisto. Tekla User Assistance. <https://teklastructures.support.tekla.com/2016/en/ms_permission_levels>. Luettu 10.3.2019.
- 30 What is Tekla Model Sharing. Verkkoaineisto. Tekla User Assistance. <https://teklastructures.support.tekla.com/2016/en/ms_what_is_model_sharing>. Luettu 10.3.2019.
- 31 How multi-user works. Verkkoaineisto. Tekla User Assistance. <https://teklastructures.support.tekla.com/2019/en/sys_multiuser_how_multiuser_works>. Luettu 13.3.2019.
- 32 Shutting down the model in multi-user mode. Verkkoaineisto. Tekla User Assistance. <https://teklastructures.support.tekla.com/210/en/sys_multiuser_shutting_down_models?da=_>. Luettu 13.3.2019.
- 33 SFS-ISO 128-22. Tekniset piirustukset. Yleiset esittämisperiaatteet. Osa 22: Viiteviivojen ja merkintäviivojen perussäännöt ja soveltaminen. 2009. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 34 SFS-ISO 128-23. Tekniset piirustukset. Yleiset esittämisperiaatteet. Osa 23: Rakennuspiirustusten viivatyytit. 2010. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 35 SFS-ISO 128-30. Tekniset piirustukset. Yleiset esittämisperiaatteet. Osa 30: Perussäännöt kuvannoille. 2009. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 36 SFS-ISO 128-40. Tekniset piirustukset. Yleiset esittämisperiaatteet. Osa 40: Perussäännöt leikkauksille. 2009. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

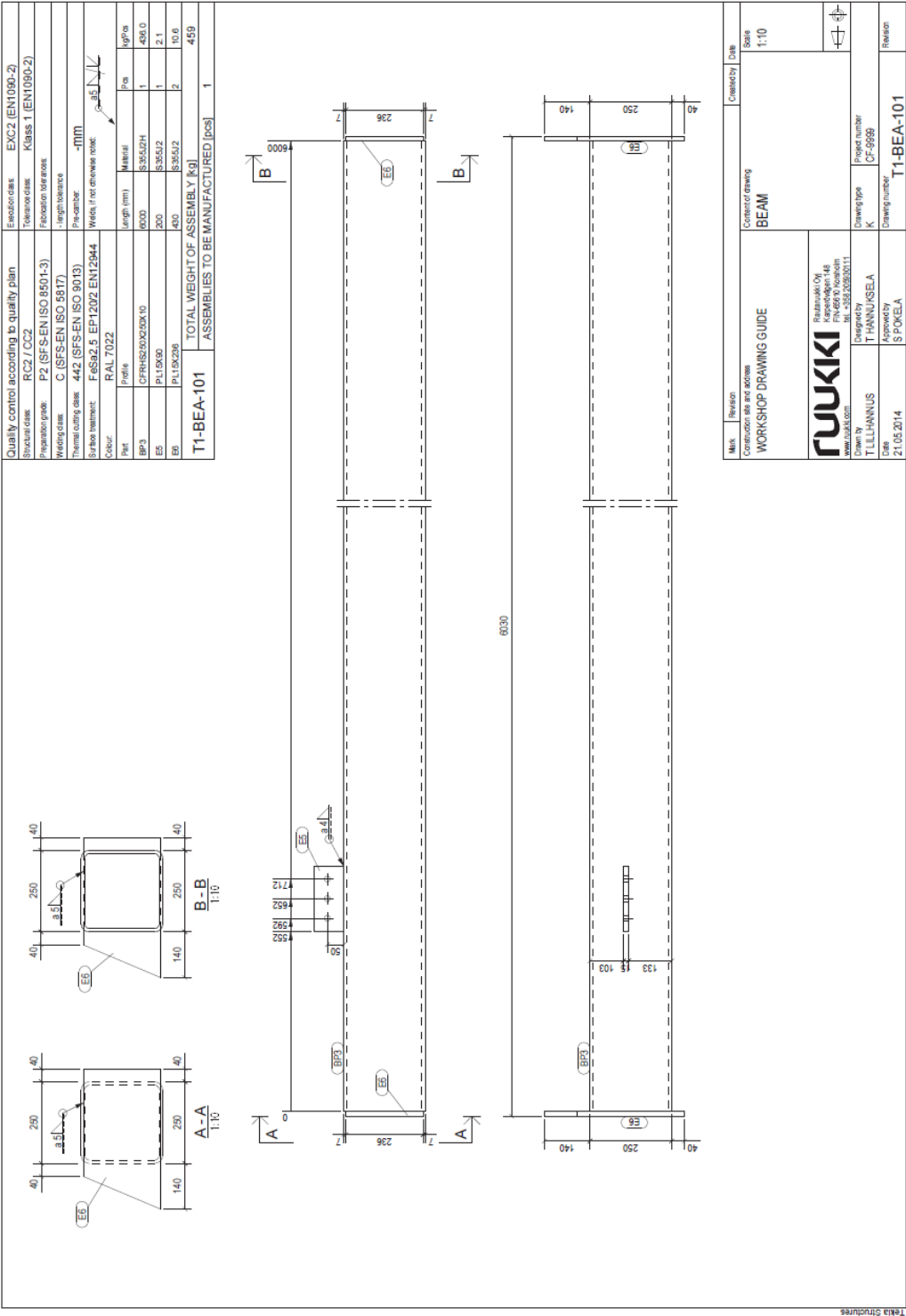
- 37 SFS-ISO 128-50. Tekniset piirustukset. Yleiset esittämisperiaatteet. Osa 50: Perussäännöt leikkauspintojen esittämiseen. 2009. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 38 SFS-ISO 129-1. Tekninen tuotedokumentointi. Mittojen ja toleranssien esittäminen. Osa 1: Yleiset periaatteet. 2018. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 39 SFS-EN ISO 3098-1. Tekninen tuotedokumentointi. Tekstit. Osa 1: Yleiset vaatimukset. 2015. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 40 SFS-EN ISO 2553. Hitsaus ja sen lähiprosessit. Piirustusmerkinnät. Hitsausliitokset. 2019. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 41 Konepajapiirustusten laadintaohje. Versio 1.4. 2016. Ruukki Construction.
- 42 SFS-ISO 5457. Tekninen tuotedokumentointi. Piirustusohjien koot ja rakenne. 1999. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Liite 1. Esimerkki osapiirustuksesta.



Kuva 1. Levyosan mallipiirustus Ruukin ohjeistuksessa. [41, s. 54.]

Liite 2. Esimerkki kokoonpanopiirustuksesta.



Kuva 1. Palkkikokoonpanon mallipiirustus Ruukin ohjeistuksessa. [41, s. 46.]

Liite 3. Piirustuspohjien ohjeistus. (vain työn tilaajan käyttöön)