

Elementtipiirustusohjelmat Tekla Structures - ohjelmistolla

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

2022

Tommi Jäntti

Tiivistelmä

Tekijä Jäntti, Tommi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2022
	Sivumäärä 35	
Työn nimi Elementtipiirustusohjelmat Tekla Structures -ohjelmistolla		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Matti Manninen, Yksikönjohtaja (RI), Insinööritoimisto Mäkeläinen Oy		
Tiivistelmä Opinnäytetyössä käsiteltiin Tekla Structures - ohjelmiston piirustusasetuksia elementtisuunnittelussa. Tavoitteena oli luoda seinäelementeille piirustusohjelmat sekä ohjeistus niiden käyttöön. Ohjeistuksen tavoitteena oli parantaa sekä elementtisuunnittelun piirustusten tekemistä että parantaa uuden kohteen elementtisuunnittelun piirustusten luonnin aloittamista. Opinnäytetyössä käsitellään tietomallipohjaisen elementtisuunnittelun vaatimukset ja toimintatavat sekä Tekla Structures-ohjelmiston piirustustyyppit ja asetusten teoria. Soveltavassa osassa pohdittiin ohjelmiston asetuksia, jotka sovellettiin yrityksen vaatimusten ja tavoitteiden mukaiseksi. Näitä soveltaen luotiin piirustusohjelmat sekä ohjeistus niiden käyttöön. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi vaativaa rakennesuunnittelua toteuttava yritys Insinööritoimisto Mäkeläinen Oy.		
Asiasanat Tekla Structures, Elementtipiirustukset, Tietomalli		

Abstract

Author Jäntti, Tommi	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2022
	Number of Pages 35	
Title of Publication Precast unit drawing templates with Tekla Structures software		
Degree and field of study Engineer (UAS), Civil and Construction Engineering		
Name, title and organisation of the client Matti Manninen, Director, Engineer Office Mäkeläinen Oy		
Abstract This thesis was discussed Tekla Structures drawings and their settings. The aim was to create drawing templates for precast wall element drawings and create user guide for it. Purpose of guidelines is to make element design more effective and the drawing production easier. In the thesis we familiarize with structural design regulations and guides, and related Tekla Structures drawing types and settings. The aim was to make drawing settings to meet company requirements. The thesis work was commissioned by the structural engineering company Engineer Office Mäkeläinen Oy.		
Keywords Tekla Structures, Cast unit drawings, Building Information Model		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Tietomallipohjainen rakennesuunnittelu	2
2.1	Rakennesuunnittelun kehitys	2
2.2	Tekla Structures.....	2
2.3	Tietomallinnus elementtisuunnittelussa.....	3
3	Suunnitteluohjeistukset ja vaatimukset	5
3.1	Yleiset tietomallivaatimukset.....	5
3.2	BEC 2012	5
4	Tekla Structuresin piirustustyytit	7
4.1	Yleisesti	7
4.2	Yleispiirustus - General arrangement drawing.....	7
4.3	Osapiirustus - Single-part drawing	8
4.4	Kokoonpanopiirustus - Assembly drawing.....	9
4.5	Koontipiirustus - Multidrawing	10
4.6	Valuysikköpiirustus - Cast unit drawing	11
5	Elementtipiirustuksen sisältö.....	14
5.1	Näkymät	14
5.2	Luettelot.....	15
6	Elementtimallinnus.....	16
6.1	Suunnittelun vaiheet	16
6.2	Tunnukset.....	18
6.3	Tuotetiedot.....	19
6.4	Varusteet	21
6.5	Raudoitteet	22
7	Elementtipiirustusasetukset	23
7.1	Pohjustus.....	23
7.2	Piirustuksen asetukset - Drawing properties	23
7.3	Näkymän asetukset - View properties.....	23
7.4	Mittaviiva-automatiikka.....	24
7.5	Piirustusasettelu ja taulukot - Layout ja Template	25
7.6	Viivapaksuus	26
7.7	Nykyiset asetukset.....	27
8	Elementtipiirustuksen luonti	29
8.1	Kloonaus - Clone	29

8.2	Uuden piirustuksen luonti tyhjästä - Create drawing.....	29
8.3	Piirustusten luonti menetelmien sopivuus toimeksiantajalle	30
8.4	Piirustusten luonti tulevaisuudessa	31
9	Yhteenveto ja pohdinta	32
	Lähteet.....	34

Käsitteet

Assign control number: Tekla Structuresin numerointijärjestelmä millä saadaan samanlaiset kokoonpanot erotettua toisistaan tuotannonsuunnittelutarkoituksiin. Tässä opinnäytetyössä käytetään myös lyhennettä ACN.

AutoCAD: Tietokoneavusteinen suunnitteluohjelmisto eli computer-aided design, josta käytetään lyhennettä CAD. Monikäyttöinen viivapiirtoon perustuva ohjelmisto, jolla voidaan luoda 2D- tai 3D- piirustuksia.

BEC 2012: Elementtisuunnittelijoille luotu mallinnusohje, josta selviää elementtimallinnuksen erivaiheissa huomioitavat asiat.

BIM: Building Information Model eli rakennuksen tuotetietomalli

Cast unit: Tarkoittaa Tekla Structures - ohjelmistossa betonielementtiä tai paikalla valettavaa betonikokoonpanoa.

Class-arvo: Tekla Structures - objekteille annettava luokitusnumero millä mahdollistetaan objektien erottelu toisistaan ja luettelointi piirustuksissa.

Drawing properties: Tekla Structures - ohjelmiston piirustusten asetusvalikko, josta säädetään piirustuksen pääasetukset kuten koko ja nimiötiedot.

DWG: AutoCAD-ohjelmassa luotujen piirustusten tiedostomuoto. Mahdollistaa tiedon siirron eri tahojen välillä.

Filter: Tässä opinnäytetyössä tarkoitetaan Tekla Structures - ohjelmistossa käytettäviä filter-asetuksia, joilla voidaan suodattaa eri objekteja, komponentteja tai kokoonpanoja mallista tai piirustuksesta pois tai näkyville.

GUID: Globally unique identifier eli uniikki tunnusnumero. Jokaisella Tekla Structures -tietomallin objektilla on GUID.

IFC: Industry Foundation Classes, erityisesti rakennusalaalla käytetty 3D-malliformaatti, jolla mahdollistetaan tiedonsiirto eri tahojen välillä.

Järjestysnumero: Numerointi millä yksilöidään kokoonpanot mallissa. Toinen käytetty nimitys on positionumero.

Klooni: Tässä opinnäytetyössä tarkoitetaan Tekla Structures - ohjelmistossa käytettävää piirustuksen luontitapaa eli clone drawingia. Piirustus luodaan toisesta piirustuksesta kloonamalla.

Kohdistuskuutio: Tietomallin origoon sijoitettu kuutiometrin kokoinen kuutio, jonka avulla voidaan kohdistaa muut tietomalliin lisättävät 2D- ja 3D-mallit.

Kokoonpano: Tässä opinnäytetyössä tarkoitetaan rakentamisen esivalmistettuja tai rakennuspaikalla koottavia asennusvalmiita kokoonpanoja kuten betonielementtiä. Kokoonpano koostuu alikokoonpanoista ja irto-osista.

Konepajapiirustus: Teräsrakenteiden valmistusta varten luotava piirustus.

Layout: Tekla Structures - piirustuksen asettelu piirustuksen koon, paperimäärän ja tietosisällön osalta.

Model Sharing: Tekla Structures - ohjelmiston lisäpalvelu. Ajantasainen tietomalli sijaitsee internet-palvelimella ja se synkronoidaan yksittäisten suunnittelijoiden tietokoneille.

Objekti: Tekla Structures - ohjelmistossa fyysistä kappaletta kuvaava tietomallin osa.

Part Mark: Tekla Structures - piirustukseen lisättävä merkintä objektille.

Piirustus pohja: Tässä opinnäytetyössä tarkoitetaan Tekla Structures - ohjelmistossa olevaa valmista pohjaa, jonka avulla uusi piirustus voidaan luoda.

Prefix: Tyypitunnus eli kirjainyhdistelmä, jolla saadaan kokoonpanot eriteltyä. Esimerkiksi betonielementeissä V- tarkoittaa väliseinää ja S- kantavaa julkisivuelementtiä eli sandwich-elementtiä.

Referenssi: Tässä opinnäytetyössä tarkoitetaan rakennesuunnittelun lähtötietoina käytettävää suunnitelmaa.

Syvyysasetukset: Tekla Structures - ohjelmistossa säädettävä asetus, jolla pystytään säätämään näkymää tarvittavan sisällön esittämiseksi.

Talotekninen suunnittelu: Lämpö-, vesi-, ilma-, sähkö-, ja rakennusautomaatiosuunnittelu. Tässä opinnäytetyössä käytetään myös lyhennettä TATE.

Template: Tekla Structures - piirustuksen pohja, johon voidaan asettaa taulukot ja nimiöt piirustukseen halutulle paikalle.

Tekla Structures: Rakennesuunnittelijoille suunnattu tietomallinnusohjelmisto. Tässä opinnäytetyössä käytetään myös sanaa Tekla.

Tietomalli: Rakennuksen kolmiulotteinen malli, joka sisältää rakennukseen liittyvää tietoa.

Tyyppielementti: Piirustus kyseiseen elementtityyppiin tulevista tarvikkeista, tuotantotiedoista ja tarvikkeista. Käytetään elementtien suunnittelun lähtötietona sekä elementin valmistuskustannusten kartoittamiseen.

User-defined attributes: Tekla Structures - ohjelmiston ominaisuus, jolla lisätään vapaa-muotoisia lisätietoja objekteille.

View Properties: Tekla Structures piirustusnäkymän asetukset.

YTV 2012: Yleiset tietomallivaatimukset, jotka on luotu tietomallinnuksen yleistettyä luomaan yleiset pelisäännöt mallinnukseen.

2D: Opinnäytetyössä tarkoitetaan kaksiulotteista suunnittelua.

3D: Opinnäytetyössä tarkoitetaan kolmiulotteista suunnittelua.

1 Johdanto

Toimeksiantajayrityksenä työlle toimii Insinööritoimisto Mäkeläinen Oy. Insinööritoimisto Mäkeläinen on 1981 perustettu vaativien talonrakennuskohteiden rakennesuunnittelija. Yritys on toimintavuosiensa aikana tehnyt yli 2400 suunnittelutoimeksiantoa Suomeen ja ulkomaille. Yrityskauppojen johdosta Mäkeläinen on siirtynyt osaksi Lehto Group Oyj:tä vuonna 2015. Samana vuonna nykyinen Mäkeläisen emoyhtiö Lehto Group Oyj osti Mäkeläisen osakekannan itselleen. Omistajan vaihdos ei vaikuttanut silloiseen henkilöstöön. Nykyisellään pääsääntöisesti Lehdon kohteiden suunnittelusta koostuvat suunnittelutoimeksiannot keskittyvät asuin- ja liikerakennuksiin. Mäkeläisellä on noin 60 työntekijää. (Insinööritoimisto Mäkeläinen 2022.)

Yritys toteuttaa kaikki rakenne- ja elementtisuunnittelutoimeksiannot tietomallilla. Yritys käyttää rakennemallien luomiseen Tekla Structures - tietomallinnusohjelmistoa, jolla luodaan myös piirustukset rakenteista ja rakenneosista. Yrityksellä on ohjelmiston käytöstä ja tietomallipohjaisesta suunnittelusta yli 10 vuoden kokemus ja useita Tekla Global BIM Awards -palkintoja. (Insinööritoimisto Mäkeläinen 2022.)

Opinnäytetyön aihe valikoitui kehitystarpeen perusteella. Nykytilanteessa yrityksellä ei ole käytössä yhteisiä vakioituja elementtipiirustuspohjia, vaan niissä on eroja projektien, toimipisteiden ja suunnittelijoiden välillä. Vakioiduilla ja oikein toimivilla elementtipiirustuspohjilla voidaan tehostaa työntekoa ja yhteistyötä sekä vähentää huonoista piirustuspohjista aiheutuvaa hidastusta. Nykyiset käytettävät piirustuspohjat ovat monen vuoden takaa, mikä aiheuttaa arvaamattomia toimivuusongelmia.

Opinnäytetyön tuloksena luodaan elementtipiirustuspohjat yrityksen käyttöön. Piirustuspohjat luodaan Tekla Structures - ohjelmiston sisäänrakennetuilla työkaluilla. Tekla Structures on Trimble Solutions Inc - yrityksen omistama tietomallipohjainen rakennesuunnittelijoille suunniteltu ohjelma. Opinnäytetyötä ohjaa elementtisuunnitteluun ja tietomallintamiseen luodut ohjeistukset ja vaatimukset.

Työssä tehdään piirustuspohja seinäelementeille. Piirustuspohja pyritään ottamaan käyttöön kaikissa soveltuvissa suunnittelukohteissa.

2 Tietomallipohjainen rakennesuunnittelu

2.1 Rakennesuunnittelun kehitys

Rakennesuunnittelua on perinteisesti tehty käsin piirtämällä. Työvälineisiin kuului laskutikku, laskulehtiö ja betonirakenteiden laskentaa varten betonitikku. Piirtämistä varten piirustuslaudalla oli piirustuskoje ja viivoittimet. Suunnittelijoiden apuna toimivat rakennuspiirtäjät, jotka piirsivät suunnitelmia. Piirustukset luotiin muoville tai kuultopaperille tussilla ja piirustusvirheet korjattiin partaterällä raaputtamalla. (Hölsä 2021.)

1970-luvulla luotiin BES-runkojärjestelmä betonielementtien suunnitteluun. Betoniteollisuus loi runkojärjestelmän avoimeksi järjestelmäksi, mikä antoi etulyöntiaseman muihin materiaaleihin nähden. Samoihin aikoihin Nokia alkoi luomaan Englantilaisella Elliot 803A-tietokoneella laskentajärjestelmiä, jotka nopeuttivat rakennelaskelmia. (Hölsä 2021.)

Suunnittelun siirtyessä tietokoneelle piirustukset luotiin kaksiulotteisena eli sama viivanpiirto siirtyi tietokoneilla luotavaksi. Nykyisin suunnittelussa on siirrytty lähes kokonaan kolmiulotteiseen mallintamiseen eli tietomallintamiseen, jolla luodaan Building Information Model.

BIM-malliin lisätään yksityiskohtaista tietoa rakenteesta, mikä auttaa toteuttajaa saamaan tietoja luodusta suunnitelmasta. Kolmiulotteinen suunnittelu on myös havainnollistavampaa verrattuna vanhaan kaksiulotteiseen suunnitteluun. Tietomallinnuksen tavoite on koko kiinteistön ja rakennusten elinkaaren ajan palvella käyttöä ja ylläpitoa. Lisäksi mallinnuksen tavoitteena on suunnittelun ja rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden sekä kestävän kehityksen mukainen tukeminen koko elinkaariprosessin ajan. (Henttinen 2012.)

Suunnitteluun on luotu yhtenäinen tiedostomuoto eli IFC, jolla mahdollistetaan 3D-mallin tiedonsiirto eri tahojen välillä. IFC on kansainvälinen yhteisesti sovittu standardimuoto tietomallin tiedon siirtämiseen. (Henttinen 2012.)

2.2 Tekla Structures

Tekla Structures on Suomessa kehitetty rakennesuunnittelijoille tarkoitettu tietomallinnusohjelmisto. Ohjelmistolla luodaan IFC-standardien mukaisia rakennetietomalleja. Ohjelmistoa käytetään noin 80 maassa ja se on nykyisen Trimble Solutions Oy:n merkittävin osa liikevaihtoa. Tekla, alkuperäiseltä nimeltään Xsteel on alkuperin teräsrakenteita varten luotu ohjelmisto, joka on aikojen saatossa muokkaantunut betonin ja muiden erilaisten rakennusmateriaalien rakennemallinnukseen. (Tamminen 2006.)

Alkuperäinen yritys perustettiin vuonna 1966 nimellä Teknillinen laskenta Oy. Yrityksen nimi muuttui muotoon Tekla Oy vuonna 1980. Vuonna 2011 Trimble Inc., yhdysvaltalainen maanmittauskojeita, GPS-järjestelmiä ja rakentamisen ohjelmistoja valmistava yritys osti Tekla Oyj:in 311 miljoonalla. Yhtiön nimeksi muuttui tällöin Trimble Finland Oy, uudesta yhtiöstä tuli emoyhtiön tytäryhtiö. (Telecomworldwire 2016.)

Ohjelmisto mahdollistaa urakoitsijan, suunnittelijan ja valmistajan tiedon hallinnan rakentamisen eri vaiheissa. Linkittäminen onnistuu IFC:n kautta. Suunnittelijat pystyvät myös tekemään samaa mallia model sharing työkalulla ilman päällekkäisyyttä. (Trimble Solution 2022.)

2.3 Tietomallinnus elementtisuunnittelussa

Tietomallipohjaisessa elementtisuunnittelussa luodaan kokoonpano, johon lisätään komponentteja. Näihin on lisätty tarvike- ja tuotetietoja, jotka saadaan tietomallista selville. Tietomalli mahdollistaa tarkemman määrän ja tarvike luetteloinnin tehtaalle ja työmaan visuaalisen havainnoinnin, eli missä varsinainen elementti sijaitsee.

Tietomallipohjaisessa suunnittelussa päätetään kohdekohtaisesti, ovatko hyödyt vaadittavaa työtä vastaavat. Tietomallipohjainen suunnittelu on sitä tehokkaampaa mitä useampi taho käyttää tietomallipohjaista suunnittelua ja toteutusta. Tällöin hyöty jakaantuu koko rakennusprosessiin eikä vain rakennesuunnitteluun. Tietomalleja voidaan hyödyntää koko rakentamisprosessissa. 3D-suunnitelmat voidaan täydentää 4D-5D-suunnitelmiksi, jolloin malliin voidaan kytkeä myös aikataulus- ja kustannusohjaus. (Betonia 2020.)

Rakenne- ja taloteknistensuunnittelijoiden yhteistyö mahdollistuu, kun rakennetietomallista luotuun IFC-malliin lisätään tekniikka. Teknisestä mallista luodaan reikävarauskappalemalli, josta rakennesuunnittelija voi tehdä varaukset omaan malliin. Mallien yhteinen tiedostomuoto mahdollistaa yhtäaikaisen tarkastelun ja näin ollen törmäystarkastelun, eli ovatko komponentit ristissä tai törmäävätkö ne toisiinsa. Tämä tarkastelu mahdollistaa työn tekemisen tarkasti, mikä vähentää työmaan ongelmakohtia. (Betonia 2020.)

Suunnittelussa on yleistymässä myös sähkösuunnittelun tietomallipohjainen suunnittelu, joka mahdollistaa sähkösuunnitelmien lisäyksen rakennesuunnittelijan omaan malliin. Tämä mahdollistaa, että mallista saadaan suoraan piirustuksiin sähkösivulle tarvittavat tiedot. Ennen kuva tulostettiin ja jaettiin sähkösuunnittelijalle, joka liitti omat sähkösuunnitelmansa piirustukseen ja kuvat jaettiin tehtaalle.

Tietomallipohjaista elementtisuunnittelua ohjaavat ohjeistukset ja vaatimukset kuten yleiset tietomallivaatimukset ja BEC2012. Näillä pyritään saamaan yhtenäisyyttä ja lisäämään vaatimustasoa suunnitteluun.

3 Suunnitteluohjeistukset ja vaatimukset

3.1 Yleiset tietomallivaatimukset

Yleiset tietomallivaatimukset eli YTV 2012 on vuonna 2012 luotu dokumentti, jossa kuvataan projektin tietomallinnusta koskevat perusasiat, vaatimukset ja käsitteet. Vaatimukset luotiin lisääntyvän tietomallipohjaisen suunnittelun yleistyttyä, jotta saataisiin tietyt pelisäännöt yhtäläiseksi suunnittelijoiden osalta. Tietomallinnukselle asetetaan projektin alkaessa tavoitteet, joita ovat esimerkiksi suunnittelun ja suunnitelmien yhteensovitus. Tavoitteet käydään projektin alussa tilaajan ja suunnittelijoiden kanssa kohde kohtaisesti läpi, jotta saadaa käsitys tarvittavasta mallinnustasosta ja vaatimuksesta. Yleiset tietomallivaatimukset on jaettu neljääntoista osaan eri vaiheiden ja suunnittelualojen mukaan. (Kautto 2012, 4–5.)

Osa 5 käsittelee rakennesuunnittelua. Dokumentissa käsitellään mallintamista ja rakennesuunnittelijan tuottamien tietomallien vaadittua tietosisältöä. Tietomallien käytöllä pyritään hallittuun päätöksentekoon ja tiedonkulun tukemiseen rakentamisen eri tahojen välillä. Osassa 5 ei käsitellä eri suunnitteluosapuolien ohjeistuksia, joten elementtisuunnittelua tukemaan on luotu BEC 2012. (Kautto 2012, 5.)

Osassa 5 käydään läpi mitä mallin tulee sisältää suunnittelun eri vaiheissa. Mallin käyttö tarkoitus muuttuu suunnittelun edetessä ja vaatimukset sitä kautta, joten näiden yhtenäistämiseksi jokaiselle suunnitteluvaiheelle on luotu vaatimustaso. Samoin rakennesuunnittelulle on myös lähtötiedoille vaatimustasot, jolla rakennemallia päästään luomaan. (Kautto 2012.)

Projekteissa lisätään nykyään suoraan tietomalliin referenssinä talotekniset eli TATE-suunnitelmat sekä sähkösuunnitelmat. Näiden tahojen ja rakennesuunnittelijan on sovittava projektin alussa vastuualueet ja toimintatavat. Mahdollisuuksia varausten ja komponenttien käyttöön on monia, joten näiden toimintatavat ovat päätettävä projektikohtaisesti. (Kautto 2012.)

3.2 BEC 2012

BEC 2012 on luotu tukemaan yleisiä tietomallivaatimuksia, jotta saadaan pelisäännöt betonielementtien tietomallinnukselle. BEC-projektissa ovat yhteistyössä betoniteollisuus, rakennesuunnittelijat ja Tekla Oyj eli nykyinen Trimble Solutions Oy. He ovat kehittäneet ohjeistuksen tukemaan 3D-suunnittelua, tietomallinnusta ja tiedonsiirtoa. Keskeinen tavoite oli saada tietomallipohjaisen suunnittelun tuotos elementtiteollisuuden käyttöön. Verrattuna paperikuvaan tietomalliin jää tärkeää informaatiota kuten elementti- ja tarvikeluettelot.

Lisäksi tiedonsiirto pystytään tekemään suoraan mallista. Kyseinen ohjeistus on luotu käsittelemään yleiset vaatimukset ja tarkennetut ohjeet perustuen Tekla Structures-ohjelmistoon. (Anttila 2016, 6.)

Ohjeistuksessa on elementtisuunnitteluun tarvittavat vaatimukset eli miten elementti täytyy mallintaa, jotta betoniteollisuus saa tarvittavat tiedot. Tietoihin lukeutuu perusgeometrian lisäksi numerointi, nimeäminen ja muut elementin perustiedot kuten suunniteltukäyttöikä sekä rasitus- ja paloluokan merkitseminen. (Anttila 2016, 16.)

Ohjeistuksen mukaisesti betoniosat mallinnetaan käyttäen oikeita lujuus- ja rasitusluokkia. Elementti tulee mallintaa sovittujen ehtojen mukaisesti, jotta sovitut määrätiedot saadaan elementistä selville. Ohjeistuksessa on luokiteltu eri elementtityypeille taulukot, jotka täytyy mallintaa, jotta tarvittavat tiedot saadaan raportoitua mallista. Kuvassa 1 on esitetty pilarin taulukko. (Anttila 2016, 21.)

Valutarvikkeet lisätään elementtiin niin, että ne pystytään listaamaan oikeilla tiedoilla ja yksiköillä, esimerkiksi nostolenkkien kappalemäärä ja tyyppi. Raportoitavista mitoista ja yksiköistä on tarkempi ohjeistus betoniteollisuuden sivuilla. Tarvikkeiden mallinnuksessa on käytettävä oikeita Class-luokkia, jotta raportointi onnistuu oikein yksiköin ja mitoin. (Anttila 2016, 31.)

Sähkösuunnittelija luo perinteisesti sähkösisivut 2D-piirustuksena, joka liitetään jälkikäteen piirustukseen tai sovitetään näkymän päälle. Osa rakennesuunnittelijoista on alkanut lisäämään sähkötarvikkeet suoraan malliin. Malliin luotavat sähkösuunnitelmat luodaan teräskomponentteina, jotka liitetään alikokoonpanona valuyksikköön. (Anttila 2016, 38–39.)

Pitkäkestoisessa projektissa elementeillä on eri valmiusasteita. Osa kohteesta voi olla jo valmiina ja käytössä kun osaa vasta suunnitellaan. Mallista on pystyttävä toteamaan mallin julkaisupäivä ja elementtien eri vaiheiden valmiusaste, sekä tarvittavat päivämäärämerkinnät. (Anttila 2016, 44.)

PITUUS
SYVYYS (SUURIN POIKKILEIKKAUS)
LEVEYS (SUURIN POIKKILEIKKAUS)
MAX.PITUUS
MAX.KORKEUS
MAX.LEVEYS
TILAVUUS
PAINO

Kuva 1. Pilarista tarvittavat tiedot taulukkona (Anttila 2016, 23)

4 Tekla Structuresin piirustustyypit

4.1 Yleisesti

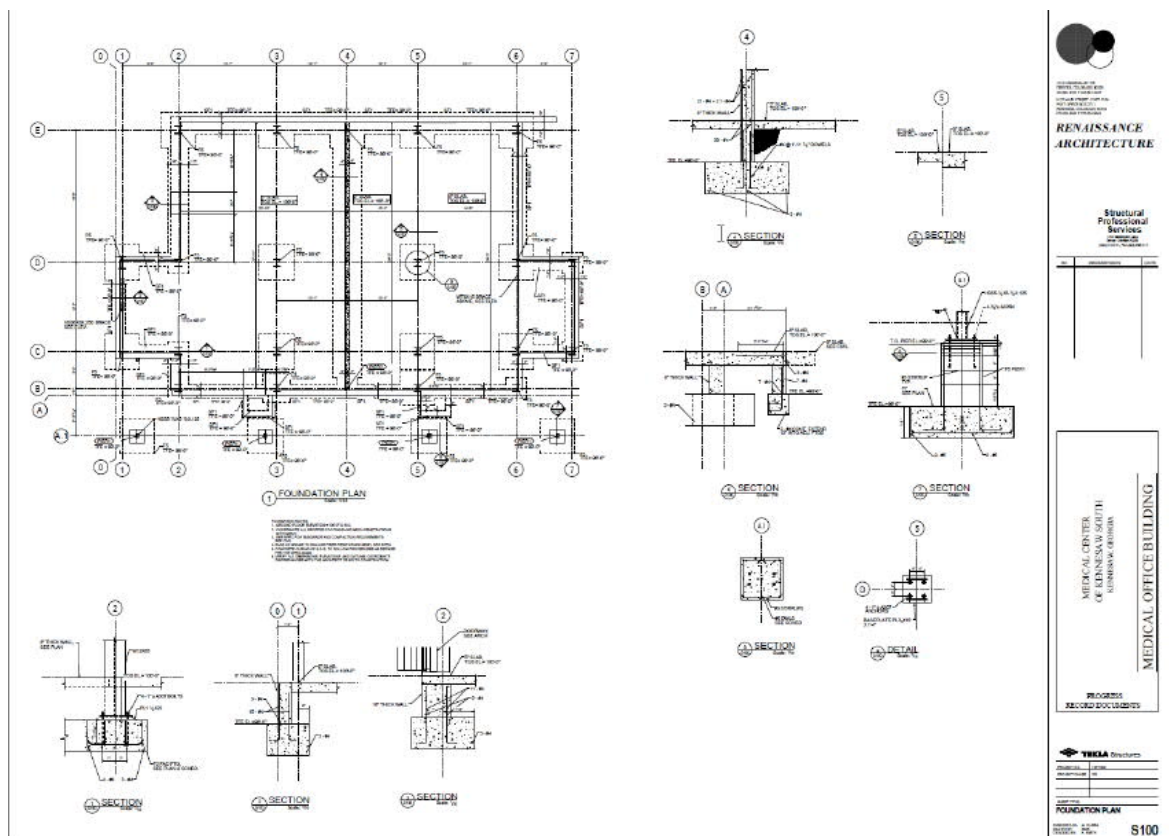
Tekla Structures -ohjelmisto mahdollistaa tarpeen mukaisesti monen erityyppisen piirustuksen luonnin. Ohjelmistolla luodaan 3D-mallinäkymistä 2D-piirustuksia. Piirustukset ovat aina ajan tasalla mallin kanssa, sillä muutokset mallissa päivittyvät automaattisesti piirustukseen. Toisaalta piirustukseen tehdyt muutokset eivät muuta mallia. Jos geometria tai komponentti on väärin, on muutokset tehtävä mallin puolella ja ne siirtyvät kuviin, joita muutos koskee. Perinteisissä CAD-pohjaisissa piirustuksissa muutos elementtiin pakottaa päivittämään kaikki piirustukset erikseen, kun taas Tekla päivittää muutoksen automaattisesti kaikkiin piirustuksiin, joita elementti koskee. (Trimble Solutions 2021, 15–16.)

Teklassa on viisi erilaista piirustustyyppiä eri tilanteisiin. Nämä tyypit keräävät tietoja näkymistä, osista ja kokoonpanoista eri tavoilla. Eri piirustustyypeillä on omat asetukset ja ominaisuudet. Alla käydään läpi eri piirustustyypit ja kerrotaan niiden ominaisuuksista.

4.2 Yleispiirustus - General arrangement drawing

General arrangement drawing eli yleispiirustus on piirustustyyppi, jolla pystyy ilmaisemaan rakenteellisten elementtien sijainnin ja suunnan projektissa. Teklassa luodulla piirustuksella mahdollistetaan mallin eri osien näyttämisen samassa piirustuksessa, eli voidaan luoda useita vapaasti valittavia näkymiä. Näkymät luodaan aina mallinäkymän pohjalta, joten tarvittava näkymä rajataan mallista. (Trimble Solutions 2021, 80.)

Piirustustyyppiä käytetään, kun tarvitaan monta näkymää yhteen piirustukseen. General arrangement drawingia käytetään pohjapiirustuksissa esimerkiksi taso-, antura-, perustus-, asennus- ja tartuntapiirustuksissa. Samaan piirustukseen voidaan lisätä detaljipiirustuksia eri kohdista, kuten kuvassa 2 näkyy, sekä leikkauksia. Teklan piirustuksiin on helppo lisätä tarkat mitta- ja korkotiedot, kunhan mallinäkymässä on tieto oikein. Piirustukseen saa myös nimettyä osat ja elementit annettujen tietojen perusteella helposti. (Trimble Solution 2021, 81.)

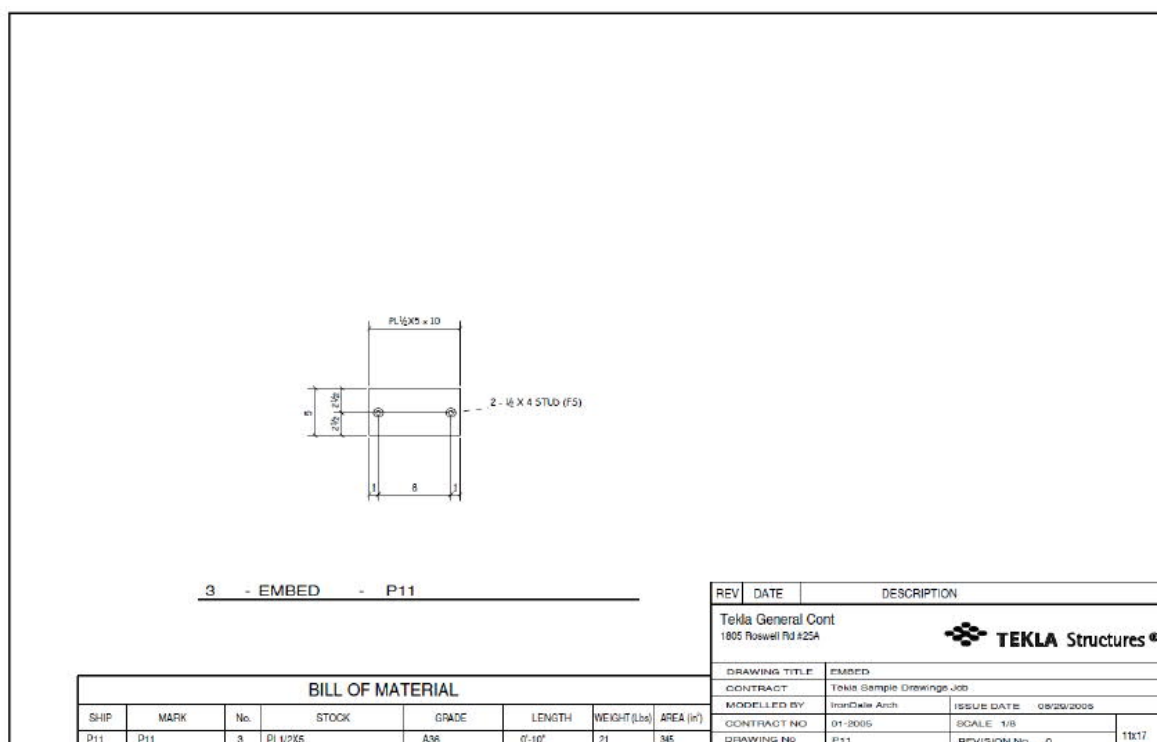


Kuva 2. Perustuspiirustus (Trimble Solution 2021, 82)

4.3 Osapiirustus - Single-part drawing

Osapiirustus eli single-part drawing on piirustus yhdestä osasta. Osapiirustusta käytetään yleisesti teräsrakenteiden osapiirustuksissa kuten kuvan 3 teräslevy. Osapiirustuksessa ilmaistaan kaikki tarvittavat tiedot konepajaa varten, jotta kappale voidaan valmistaa. (Trimble Solution 2021, 85.)

Kuva on yleensä A4-kokoinen. Kuvaan saadaan tarkat mitat, leikkaukset ja pulttien reiät sekä tarvittavia teräksen lujuus- ja laatu tietoja. (Trimble Solution 2021, 85.)

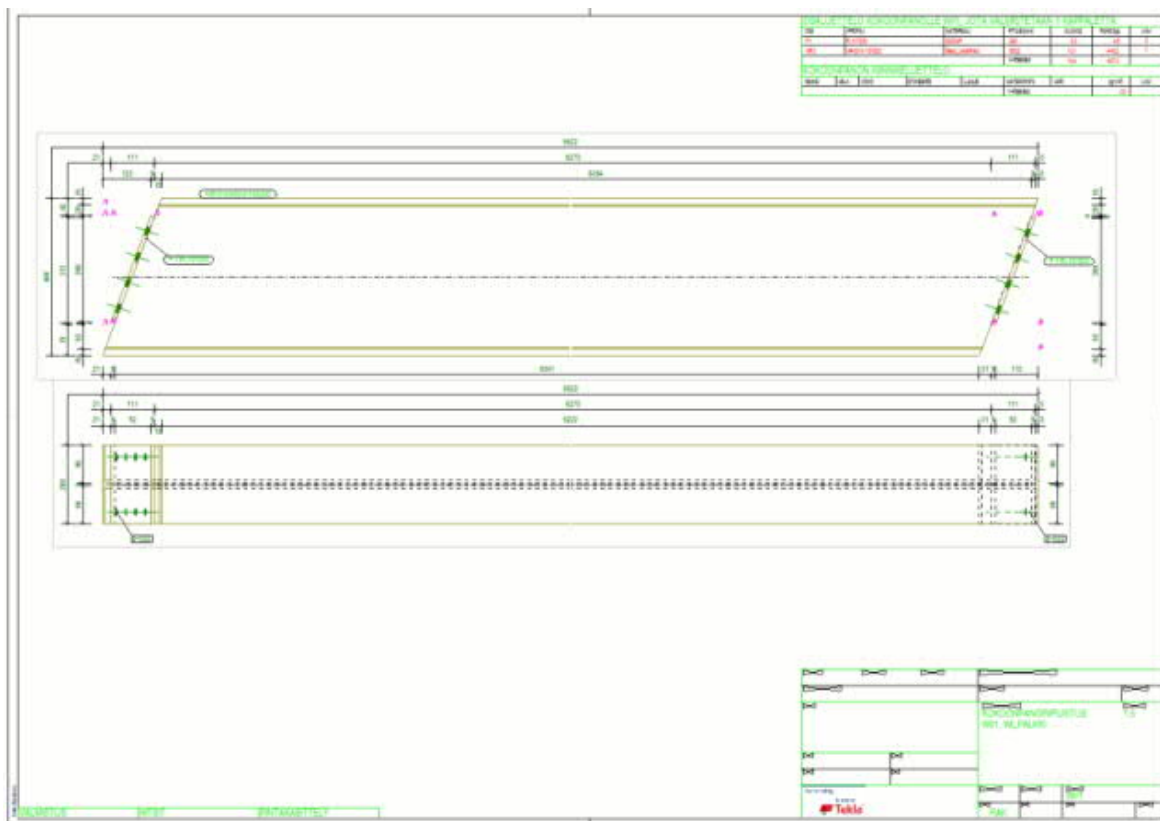


Kuva 3. Osapiirustus (Trimble Solution 2021, 86)

4.4 Kokoonpanopiirustus - Assembly drawing

Assembly drawing eli kokoonpanopiirustus on tyypillisesti konepajapiirustus, joka näyttää kokoonpanon tiedot ja tarvittavat tiedot osien tuotantoa varten. Näkymät yksittäisistä osista voidaan esittää myös kokoonpanopiirustuksessa. Identtiset kokoonpanot näkyvät automaattisesti samalla piirustuksella. (Trimble Solution 2021, 88–89.)

Yleisin paperikoko on A3. Kokoonpanopiirustuksessa esitetään osien sijainti ja osat nimitään nuolilla kuten kuvasta 4 näkyy. Piirustuksessa on esitettävä myös osien kiinnitystavat ja pintakäsittely. Piirustuksessa esitetään osa- ja kiinnikeluettelo sekä osien ja kokoonpanon paino. (Trimble Solutions 2021, 88–89.)



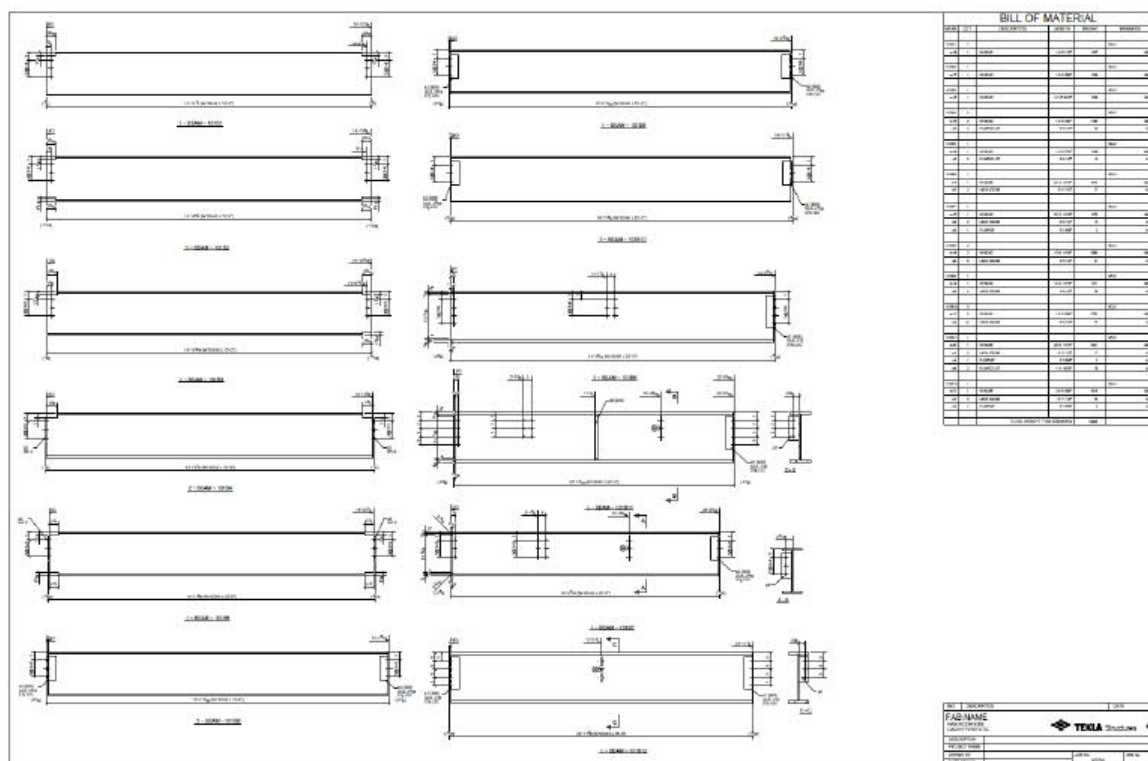
OSALUETTELO KOKOONPANOLLE WI/1, JOTA VALMISTETAAN 1 KAPPALETTA						
OSA	PROFIILI	MATERIAALI	PITUUS [mm]	ALA [m2]	PAINO [kg]	LKM
F/1	PL10*200	S235JR	290	0.3	4.6	2
WP/3	WI400-8-15X200	Steel_Undefined	6522	10.1	448.2	1
YHTEENSÄ:				10.4	452.8	
KOKOONPANON KIINNIKELUETTELO						
NIMIKE	HALK	KOKO	STANDARDI	LUJUUS	MATER./PINTA	VÄRI
						kg/YHT.
YHTEENSÄ:						0.0

Kuva 4. Esimerkki kokoonpanopiirustuksesta

4.5 Koontipiirustus - Multidrawing

Koontipiirustus eli Multidrawing mahdollistaa useiden kokoonpano- tai osapiirustusten esittämisen yhdessä piirustuksessa. Multidrawing piirustus on yleensä konepajapiirustus isolla paperikoolla esimerkiksi A1. (Trimble Solution 2021, 93.)

Piirustus luodaan, jos halutaan esittää enemmän kuin yksi kokoonpano yhdessä piirustuksessa tai, jos halutaan useita osapiirustuksia yhdelle piirustukselle. Kuvassa 5 on esimerkki useista kokoonpanopiirustuksista yhdellä piirustuksella. (Trimble Solution 2021, 93.)



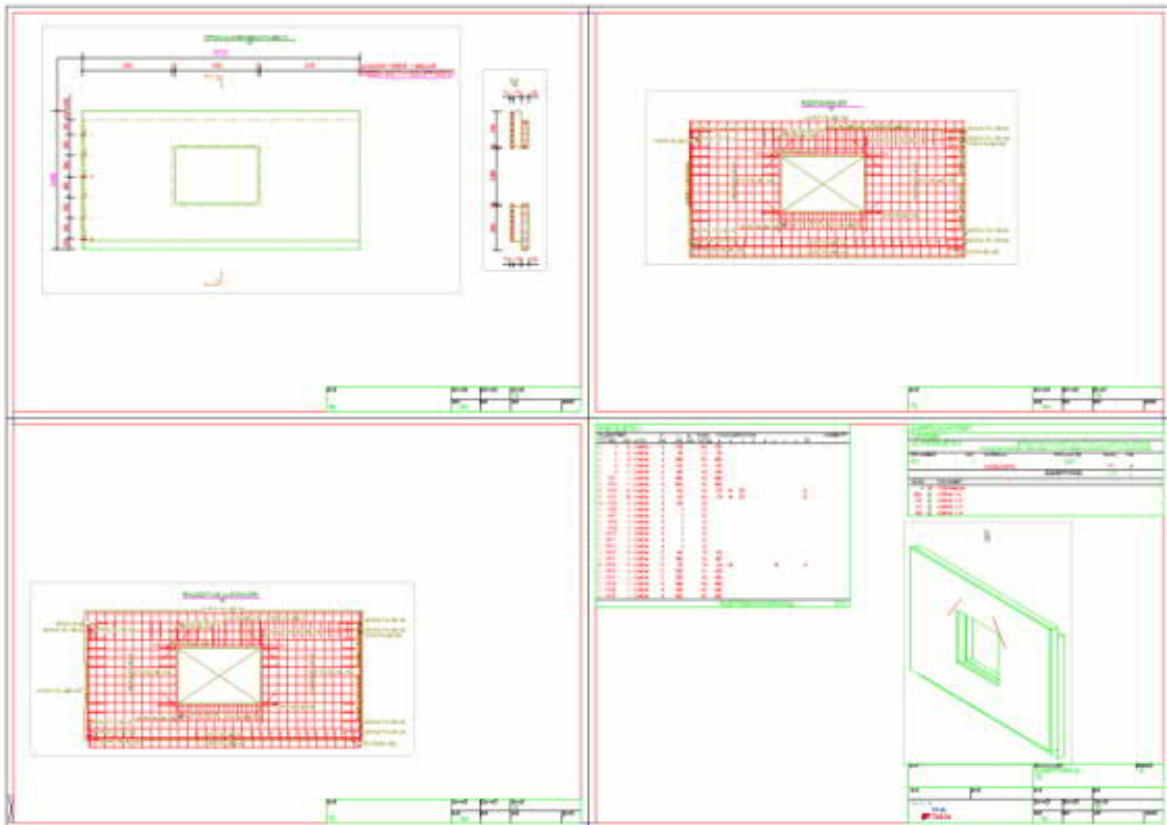
Kuva 5. Useita kokoonpanopiirustuksia multidrawing-piirustuksessa (Trimble Solutions 2021, 94)

4.6 Valuysikköpiirustus - Cast unit drawing

Valuysikköpiirustus eli Cast unit drawing on betonikokoonpanon mitta-, työ-, ja raudoituspiirustus. Piirustuksen voi luoda vain betonielementistä tai betonisesta paikallavalettavasta osasta. Piirustus sisältää kaikki samaan valuysikköön liittyvät osat ja tarvikkeet mukaan lukien kovat- ja pehmeät eristeet. Tämän piirustuksen etuna on, että paino ja tilavuus tiedot pysyvät tarkkoina, vaikka komponenttia leikattaisiin keskeltä. Identtiset valuysiköt ovat automaattisesti samalla piirustuksella. (Trimble Solution 2021, 91.)

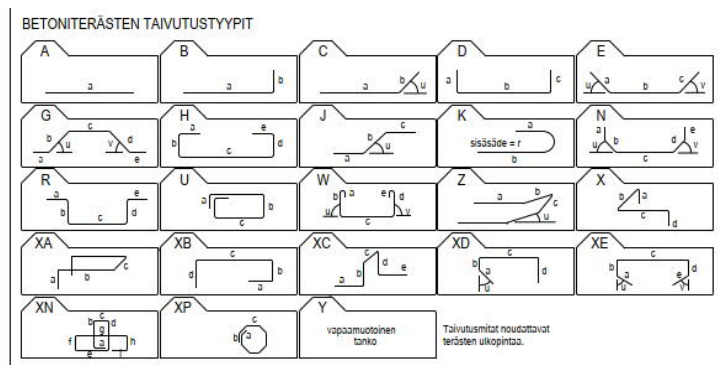
Piirustusta tehdessä on tärkeää valita komponenttietoihin oikein eli onko komponentti elementti vai paikallavalettava, koska osa tiedoista näkyy eri lailla piirustuksessa riippuen valutyypistä. Piirustuksessa pystyy esittämään myös pultit ja hitsaukset teräsosaan, kun teräsosa on liitetty valuysikköön. Piirustus luo valuysikön osat, raudoitteet ja valutarvikkeet luetteluina. Raudoitukset saadaan suoraan taulukoitua sekä valmistettua taulukon mittojen ja taivutusperiaatteiden mukaisesti. Kuvassa 7 on raudoitus luettelo tulostetusta elementti-piirustuksesta. Luettelot luodaan Rakennusinsinöörin liiton valmistamien ohjeiden mukaisesti.

Cast unit - piirustuksen etuna on, että kuvassa pystytään näyttämään perusgeometria mittapiirustuksena sekä raudoitukset, jotka mallinnetaan malliin. Kuvat ovat aina mittatarkkoja, kunhan mallinnus kurista pidetään huoli. Paikalleen valettavan valuyksikön piirustuskoko on yleensä A1 ja elementtipiirustuksessa A3. Kuvassa 6 on esitetty yksi mahdollinen esitys tapa elementin valmistuspiirustukselle. Kuvan 6 elementtipiirustus on jaettu neljään A3-kokoiseen sivuun, jolloin mitta, sisä- ja ulkokuoren raudoitus sekä tuotetietoluettelo saadaan omille sivuille. (Trimble Solutions 2021, 89.)



Kuva 6. Esimerkki Sandwich-elementtipiirustuksesta

RAUDOITELUETTELO															
RAUDOITTEET		LKM	LAATU	D [mm]	L [mm]	dL [mm]	PAINO YHT [kg]	TAIVUTUSMITAT [mm]							KOMMENTTI
TYYP NRO								a	b	c	d	e	u	v	
D	70	6	B500B	8	870		2.1	400	110	400				32	
U	89	17	B500B	8	1070		7.2	150	130	320				32	
D	95	2	B500B	10	1430		1.8	600	260	600				40	
D	106	2	B500B	10	2040		2.5	300	1680	110				60	
B	108	2	B500B	10	1180		1.5	600	600		90			40	
K	109	2	B500B	10	1230		1.5	600	600			70			
D	385	1	B500B	20	2890		7.1	750	1660	540				40	
U	1405	17	B500B	8	660		4.5	120	130	130				32	
U	3155	9	B500B	8	1300		4.6	150	110	460				32	
A	3167	2	B500B	10	770		1.0	770							
B	3169	2	B500B	10	1180		1.5	600	600		90		40		
A	3219	1	B500B	16	620		1.0	620							
B	3268	2	B500B	12	2800		5.0	240	2590		90		60		
A	3269	2	B500B	10	1710		2.1	1710							
A	3270	4	B500B	16	2600		16.5	2600							
D	3277	6	B500B	8	690		1.6	300	130	300			32		
A	3278	1	B500B	16	800		1.3	800							
C	3287	2	B500B	10	690		0.9	490	200		45	350			
A	3539	6	B500B	12	2600		13.9	2600							
RAUDOITTEIDEN YHTIENVETOLUETTELO															
HALKAISUJA Ø		LAATU		YHT [kg]											
8		B500B		20.0											
10		B500B		12.7											
12		B500B		18.9											
16		B500B		18.7											
20		B500B		7.1											
RAUDOITTEIDEN KOKONAISPAINO [kg]:														77.4	
VERKKOLUETTELO															
VERKKOJEN KOKONAISPAINO [kg]:														0.0	



Kuva 7. Elementtipiirustuksen raudoitusluettelossa on kaikki komponenttiin liitetyt raudoitteet sekä taivutustyyppit taivutuksille

5 Elementtipiirustuksen sisältö

5.1 Näkymät

Elementtipiirustuksessa pyritään erillisiin 3D-, mitta-, raudoitus- ja sähkönäkyymiin. Piirustuksen luonnissa on huomioitava piirustuksen yleisilme ja luettavuus. Piirustusten sivumäärä kasvaa johtuen luettavuudesta. Jaettaessa piirustus usealle sivulle saadaan tiedon määrää vähennettyä yhdeltä sivulta. Piirustuksen sisältö koostuu kansilehdestä, jossa on 3D-näkymä sekä kohteen ja elementin perustiedot. Piirustus sisältää omat sivut mitta-, raudoitus- ja sähkönäkyymille sekä luettelo- ja valmistustietosivulle. (Betoniteollisuus ry 2012, 2.)

Mittapiirroksen tehtävät näkymät ovat niin sanottuja naamakuvia eli näkymiä muottiin katsomissuunnasta näkymä sekä pysty- että vaakaleikkaus. Leikkauksien määrä poikkeaa elementtityypeittäin ja tarpeen mukaan, jotta tarvittavat tiedot saadaan esitettyä luettavasti. Leikkauksien lisääminen on yleistä aukotuksien kohdalla. Mittapiirroksessa esitetään mitoitukset äärimittoihin, nostolenkkeihin, painopisteeseen, vinotukiosiin ja kaikkiin kuvassa esitettäviin tarvikkeisiin, aukkoihin ja varauksiin. Leikkauksissa esitetään päädyissä sijaitsevien tarvikkeiden sijainti elementin paksuus suunnassa sekä päämitat. Pystyleikkauksessa esitetään myös painopisteen sijainti. Näkymistä on selvittävä katsomissuunta joka ilmastaan tekstiviivalla muottipintaan. Näkymäviivassa voi esittää myös pinnan pintakäsittelyn. Tällöin tekstiviiva on tehtävä muotti- ja hiertopintaa.

Raudoitusnäkyymässä esitetään sijainti jokaiselle erilaiselle raudoitukselle. Raudoituksesta esitetään määrä, taivutustyyppi, numerointi, materiaalityyppi, halkaisija ja pituus. Taivuteissa raudoitteissa on esitetty myös niin sanotulla ulosvetokuvalla minkä muotoinen raudoitus on ja mitat taivutuksille. Raudoitusverkosta on selvittävä raudoitetietojen lisäksi myös missä pinnassa verkon vaakateräs sijaitsee. Raudoitusnäkyymästä luodaan myös pystyleikkaus, josta selviää mahdollisen verkon sijainti sekä yleisesti raudoitteet esimerkiksi rengasteräs ympäri tyypisellä merkinnällä. Leikkauksessa on hyvä esittää yleisestä raudoituksesta poikkeavat teräkset. Leikkausten määrää voidaan lisätä, jos raudoitteita ei pysty esittämään tarvittavalla tarkkuudella yhdellä leikkauksella. Näkyymästä voi luoda erillisen detailinäkymän pienemällä mittakaavalla, jos leikkauksen mittakaavan tarkkuus ei riitä raudoitusten esittämiseksi luettavasti. Tämä on yleensä tarpeen esimerkiksi seinässä sijaitsevan konsolin raudoituksen esittämiseen.

Sähkönäkyymät luodaan riippuen siitä, että tehdäänkö kohde 2D-suunnittelulla vai IFC-pohjaisesti. Näkymiä 2D-suunnittelussa on normaali naamakuva ja mahdollisesti leikkaus. IFC-suunnittelussa on hyvä luoda myös 3D-näkymä havainnollistamaan sähköjen sijaintia.

Näkymissä esitetään grid-verkko ja korkosijainti. Sähkösiivuun lisätään myös DWG-pohjainen sähkötarvikelistaus, josta esitetyn sähkötarvikkeen tuotetieto selviää. Sähkötarvikeluettelo on DWG-muodossa kohdekohtaisen muokattavuuden takia ja elementtimuodon mukaan pystyyn sekä vaakaan asettamisen mahdollistamiseksi.

5.2 Luettelot

BEC-ohjeessa on etusivulle lisätty luettelot. Mäkeläisen piirustusvaatimusten takia luettelo on toiseksi viimeisellä sivulla. Tämä mahdollistaa ensimmäiselle sivulle elementin 3D-näkymän luonnin. Luettelot palvelevat parhaiten tuotantoa, kun ne ovat määrämuotoisena. Elementistä on luetteloitava suunnittelun lähtötiedot ja tuotetiedot sekä kyseisen elementin valutarvikkeet luettelona tuotantoa varten.

Elementtipiirustuksesta on selvittävä elementin nostoa koskevat ohjeistukset. Ohjeistukseen kuuluvat nostolenkin käyttökulmat ja käännettävän elementin nosto-ohjeet. Piirustuksessa on myös oltava elementin kuljetus-, asennus- ja muutistanostolujuus selvillä. Muita vaadittavia tietoja ovat pakkasenkestolujuus, paino, tilavuus ja kappalemäärä.

Raudoiteluettelossa on jokainen erilainen raudoite omalla positionumerolla. Luettelo on eritelty raudoitteisiin ja raudoiteverkkoihin. Raudoitteista on myös yhteenvetoluettelo, jossa on jokainen erilainen laatu ja niiden kilomäärä eritelty. Raudoiteluettelossa on taivutustyyppi, positionumero, lukumäärä, teräslaji, halkaisija ja mitat kokonaispituudelle ja taivutuksille. Raudoiteverkkoluettelossa verkon tunnus, teräslaji, halkaisijat, k-välit ja pituudet. Taivutuksista on oma taulukko taivutustyypeille. Taivutustaulukko on laadittu rakennesuunnittelijan asiakirjaohjeen mukaisesti.

6 Elementtimallinnus

6.1 Suunnittelun vaiheet

Rakennesuunnittelu perustuu lähtökohtaisesti aina arkkitehdin suunnitelmiin ja arkkitehdin luomaan perusgeometriaan. Arkkitehdin suunnitelmia käytetään referenssinä DWG-piirustuksena ja IFC-mallina. DWG on AutoCAD-pohjainen tiedosto, joka sisältää kaksiulotteisen mallinnuksen esimerkiksi pohjapiirustuksesta. IFC-referenssimallin etuna on kolmiulotteisuus, jonka avulla pystytään havainnollistamaan millainen rakennemallista pitää tulla. IFC- ja DWG- tiedot lisätään malliin oikeassa korko- ja koordinaatistojärjestelmässä. Referenssimallit sisältävät kohdistuskuution, jolla mallit saadaan kohdistettua samaan sijaintijärjestelmään. Suunnittelu on jaettu neljään eri tarkkuustasoon, joille on asetettu yleisissä tietomallivaatimuksissa omat vaatimustasot. Tarkkuustasot kulkevat suunnitteluvaiheittain.

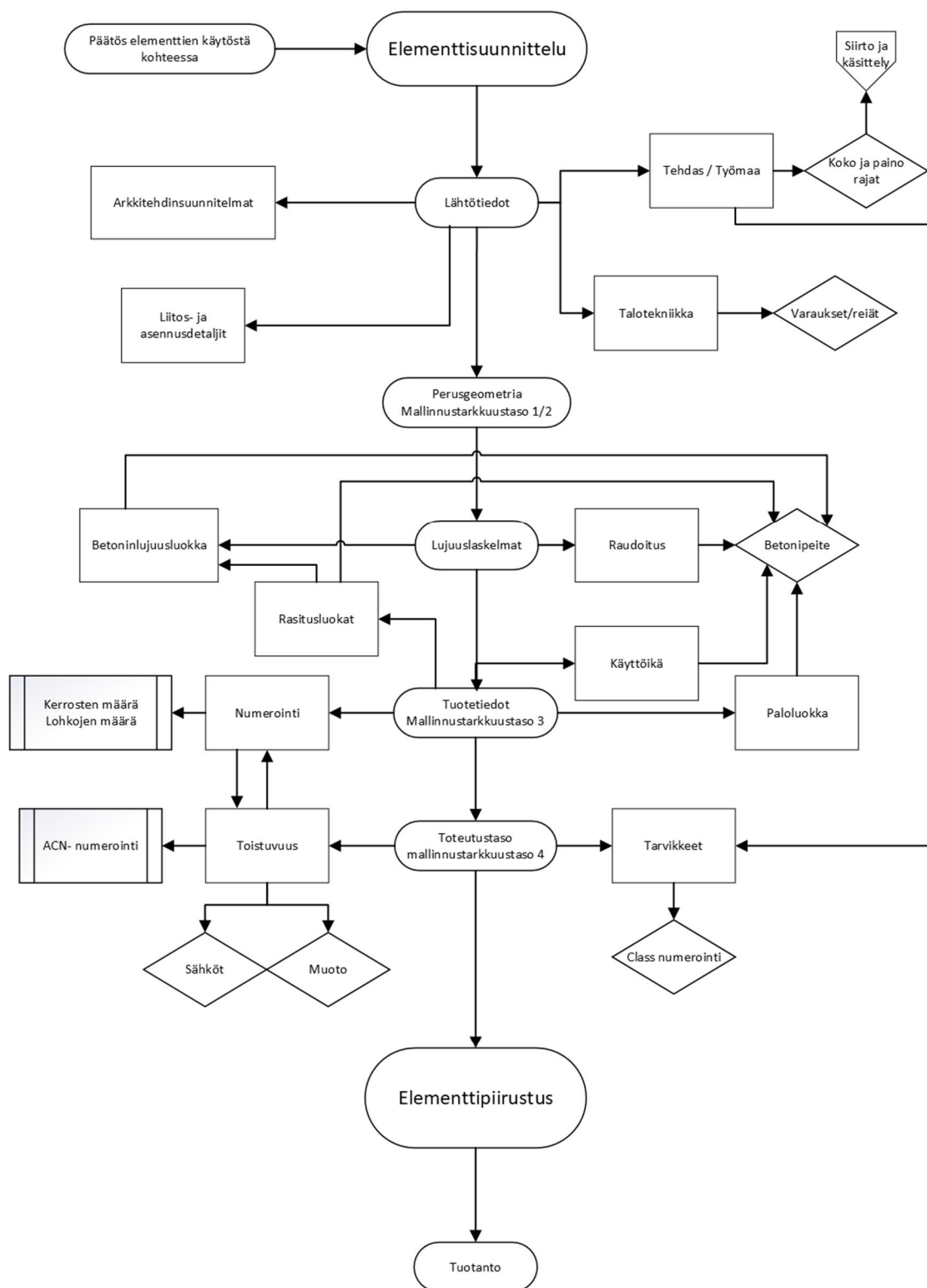
Elementtisuunnittelu aloitetaan yleissuunnitteluvaiheessa, kun on tehty päätös elementtien käytöstä kohteessa. Yleissuunnitteluvaiheessa mallinnustarkkuustaso on yksi, jolloin luodaan perusgeometria ja sijainti oikein. Yleissuunnitteluvaiheessa tehdään elementtisuunnittelussa vain perusgeometria, jolla saadaan havainnollistettua kohde sekä luotua lähtötiedot lujuus- ja kustannuslaskentaan. (Betonia 2020.)

Hankintoja palvelevassa suunnitteluvaiheessa elementit pilkotaan osiin. Mallinnustarkkuustaso on kaksi ja geometria muokataan siten, että rakenteiden määrät saadaan selville. Elementit suunnitellaan siten, että elementit valmistava tehdas saa elementin valmistettua paino ja koko huomioiden. Myös saumojen suunnittelu aloitetaan tässä vaiheessa. Saumojen suunnittelussa on huomioitava, että saumat nousevat mahdollisuuksien mukaan yhtenäisenä mahdollisimman ylös. (Betonia 2020.)

Toteutusvaiheen elementtien suunnittelu aloitetaan aina asennusdetaljien laatimisella joiden pohjalta varsinainen elementtisuunnittelu alkaa. Toteutusvaiheen suunnittelun aloituksessa luodaan elementeistä tyyppielementit. Tyyppielementti luodaan käyttäen kohteessa käytettäviä varusteita ja raudoituksia. Tyyppielementillä saadaan tehtyä arvioita hankintaan sekä kustannuslaskentaan. Mallinnustarkkuustaso on kolme tyyppielementeissä. Asennusdetaljissa on esitetty liitosten ja jatkosten tiedot ja tarvittavat asennusosat asennukseen. Detaljien pohjatietona toimivat rakennelaskelmat. Valmistusta varten luotava elementti on tarkkuustasolla neljä, jolloin elementti on lopullisessa muodossaan kaikkien varusteiden ja tietojen osalta. (Betonia 2020.)

Elementtienmallinnus toimii samoilla periaatteilla sekä laatta- että seinäelementtiä suunniteltaessa. Lähtötiedot pitää olla selvillä ennen suunnittelua sekä lujuuslaskennat tehtynä. Tarvittaviin lähtötietoihin kuuluvat taloteknisten suunnittelijoiden varaukset ja tehtaan

tarvitsemat tarvikkeiden tiedot. Kaaviossa 1 on käyty vuokaaviolla suunnittelun elementtisuunnitteluprosessi vaihevaiheelta läpi. Kaaviosta selviää eri vaiheiden tarpeet läpi ja miten ne vaikuttavat toisiinsa. (Betonia 2020.)



Kuvio 1. Elementtisuunnittelun vaiheet lähtötiedoista tuotantoon Tekla structures ohjelmistolla

6.2 Tunnukset

Jokaiselle elementille luodaan numerointi, joka päätetään ennen suunnittelun aloitusta hankekohtaisesti. Numerointitavat ovat kohde- ja yrityskohtaisia, mutta yrityksellä on oltava yhtenäinen numerointitapa. Esimerkiksi väliseinän positio- eli järjestysnumero voi olla V-140101. Numeroista ensimmäinen kertoo lohkon, jossa elementti sijaitsee ja seuraava numero kertoo elementtityypin (neljä tarkoittaa tässä tapauksessa väliseinäelementtiä), seuraavat kaksi numeroa on kerrosta varten ja viimeiset kaksi juoksevaa numerointia varten. Numeroinnissa oleva kirjain on prefix-tunniste eli tyyppitunnus, jolla saadaan eriteltyä, onko elementti esimerkiksi seinä, laatta vai palkki. Tyyppitunnuksesta selviää myös, onko elementti kantava. Esimerkiksi sandwich-elementissä S tarkoittaa kantavaa ja R ei kantavaa elementtiä. Tyyppitunnukset jokaiselle elementtityypille on esitetty RIL229-2020 kirjassa. Elementit numeroidaan yksilöllisesti, jotta valmistus ja asentaminen saadaan tehtyä oikein oikeilla elementeillä. Numerointi on aina kohdekohtaista ja numerointi on sovittava ennen kohteen aloitusta, jotta saadaan numeroiden määrässä oikea hyötysuhde. Esimerkiksi neljä numeroa on sopiva määrä pienissä kohteissa, joissa kerrosmäärät eivät kasva yli kaksinumeroisiksi ja erillistä lohkoajattelua ei tarvitse. Lohkominen on tarpeen, jos samaan kortteliin valmistetaan useita rakennuksia. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2020, 186–187.)

Kappaleelle tulee myös oma GUID-numero, kun se luodaan. Tämä numero on globaali tunniste kappaleille, joka mahdollistaa luotettavan tunnistamisen. Tunniste auttaa osan tunnistamisessa, jos kappaletta siirretään mallista toiseen. (Anttila 2016, 16.)

Elementit voivat toistua samanlaisena, joten samalla tunnuksella voidaan tuottaa useampia elementtejä yhdellä piirustuksella. Tätä varten ohjelmistosta löytyy työkalu Assign control number, jolla luodaan samalla tunnuksella oleville komponenteille oma numero, joka yksilöi ne. ACN-numerointi auttaa kuvapuolella havainnoimaan minne elementit ovat menossa, kuten kuvassa 8 esitetään. Numerointi auttaa tehdasta ja työmaata saamaan toimitukset kerrosten mukaan helpommin. (Anttila 2016, 17.)

Jokaisella objektilla Teklassa on Class-arvo. Class-numerolla saadaan yksilöityä ja eriteltyä objektit. Class-arvo luo objektille värin ja numeroarvon. Numeroarvon avulla voidaan suodattaa ja kerätä tietoa yksilöllisistä objekteista. Class-arvot pitää olla yhtenäiset yrityksen sisällä ja tätä varten on oltava ohjeistus arvojen asettamiseen. (Anttila 2016, 32.)

PIIRUSTUKSEN MUKAAN VALMISTETAAN ELEMENTIT

ELEMENTTITUNNUS	KAPPALEMÄÄRÄ	AP. KORKO
S-230317-1	1 KPL	+ 149.690
S-230317-2	1 KPL	+ 152.690
S-230317-3	1 KPL	+ 155.690
S-230317-4	1 KPL	+ 158.690
S-230317-5	1 KPL	+ 161.690
S-230317-6	1 KPL	+ 164.690
S-230317-7	1 KPL	+ 167.690
S-230317-8	1 KPL	+ 170.690

VALMISTUSMÄÄRÄ: 8 KPL

Kuva 8. ACN-numerointi elementtipiirustuksessa

6.3 Tuotetiedot

Tietomallipohjaisissa ohjelmissa, kuten Tekla Structuresissa tietojen, syöttäminen komponenttiin on tehty yksinkertaiseksi. Elementtiin ja sen komponentteihin lisätään tietoja valmistusta varten.

Materiaalitiedot, kuten lujuusluokka syötetään ohjelmistossa komponentteihin. Valuysiköön lisättävät tiedot ovat valuysikön tiedot ja parametrit sekä tarvittavia tietoja betonista, teräksestä, kuormituksista, tarvikelistasta ja piirustusasetuksista. Myös tarvittavat yleistiedot lisätään tässä vaiheessa kuten käyttöikä, rasitus- ja paloluokka sekä tuoteryhmä. Nämä tiedot lisätään Teklassa user-defined attributes - valikon kautta (kuva 9). Esimerkiksi betonin tietoja ovat pintakäsittelyt, betonipeite ja muut tarvittavat tiedot kuten kuvasta 9 nähdään. Tuotetiedot perustuvat aina kohteen aloituksessa suunniteltuun käyttöikään.

Tuotetiedot tulevat automaattisesti elementtipiirustuksessa olevaan taulukkoon. (kuva 10) josta valmistajan on helppo selvittää tarvittavat huomiot elementin valmistuksessa.

Tekla Structures Precast cast unit (1)

Save Load < ExternalDesign > Save as

Cast unit Parameters IFC export Suunnittelu Valmistus Asennus FI-Yleistiedot

FI-Teräs FI-Betoni FI-Kuormitus Tarvikelista FI-Piirustusasetukset LEHTO

Selitys

Betonilaadut (yleisp.)	☒		☒	
Betonipeite 1	☒	35 mm ± 10 mm	☒	
Betonipeite 2	☒	[35 mm ± 10 mm]	☒	
Maksimi raekoko	☒		☒	
Toleranssiluokka	☒	[BETONIELEMENTTIEN TOLERANSSI]	☒	
Mittatoleranssi	☒		☒	
Pintakäsittelyluokka	☒		☒	
Pintakäsittely 1	☒	[HIERTOPINTA: THI-A]	☒	
Pintakäsittely 2	☒	[MUOTTIPINTA: MUO-A-VAL-E]	☒	[VALKOBETONI]
Viisteet 1	☒	[P=KYNÄPYÖRISTYS]	☒	
Viisteet 2	☒		☒	
Muotistanoitoluutus	☒	[0,5 x SUUNNITTELULUJUUS]	☒	TERÄS: T=B500B, E=B600KX, VERKKO
Kuljetus- ja asennuslujuus	☒	[0,7 x SUUNNITTELULUJUUS]	☒	TERÄSTEN JATKOKSET: T12=750, T1
Vesi-sementtisuhde	☒		☒	VERKKOJEN JATKOKSET: 2 SILMÄVÄLI
Sementtipitoisuus	☒		☒	
Pakkasenkestolujuus	☒	[0,5 x SUUNNITTELULUJUUS]	☒	
Suojahuokossuhde	☒		☒	
P-luku	☒		☒	
Raudoitusarvio kg/m3	☒		☒	

Elementin paino ☒ 01 Projektilta

Tilavuuspaino [kN/m3] ☒

OK Apply Modify Get / Cancel

Kuva 9. Precast cast unit User-defined attributes - valikkoesimerkki elementin betonintiedoista

SUUNNITTELUN LÄHTÖTIEDOT		
Tuoteryhmä	KANTAVA SANDWICH-ELEMENTTI	4/5
Paloluokka	R120	
Rasitusluokka	XC1	
Rasitusluokka ulkokuori	XC3,4 - XF1	
Suunniteltu käyttöikä	100 v	
Suunn. käyttöikä ulkokuori	50 v	
TUOTETIEDOT		
Betonipeite 1	35 mm ± 10 mm	
Betonipeite 2	35 mm ± 10 mm	
Toleranssiluokka	BETONIELEMENTTIEN TOLERANSSIT: LUOKKA N	
Pintakäsittely 1	HIERTOPINTA: THI-A	
Pintakäsittely 2	MUOTTIPINTA: MUO-A-VAL-E	VALKOBETONI
Viisteet 1	P=KYNÄPYÖRISTYS	
Muotistanostolujuus	0,5 x SUUNNITTELULUJUUS	TERÄS: T=B500B, E=B600KX, VERKKO: B500K
Kuljetus- ja asennuslujuus	0,7 x SUUNNITTELULUJUUS	TERÄSTEN JATKOKSET: T12=750, T10(E9)=650, T8(E7,E6)=500
Pakkasenkestolujuus	0,5 x SUUNNITTELULUJUUS	
Vesi-sementtisuhde	VERKKOJEN JATKOKSET: 2 SIL MÄVÄLIÄ	

Kuva 10. Elementtipiirustuksen Suunnittelun lähtö- ja tuotetieto luettelo

6.4 Varusteet

Elementeissä on monenlaisia varusteita liitettyä komponenttiin kuten eristeet, nostolenkit ja aluslevyt. Varusteet liitetään kokoonpanoon ja ne näkyvät varusteluettelossa. Luettelon toiminnan takia on tarkkaa millä class-numerolla varuste on. Toiminnan kannalta on tärkeää, että yrityksen sisällä on omat nimeämishojeet class-arvoihin.

Varusteiden class-numerolla saadaan erilaisia tietoja eri varusteista. Kuvan 11 esimerkissä on esitetty eristeen nettopinta-ala, tilavuus ja paino sekä class-arvon avulla eriste on valutarvike- sekä tarvikeluettelossa. Kuvan 11 esimerkki on Sandwich-elementin tarvikeluettelosta, jossa on eritelty kaikki kokoonpanoon lisätyt objektit.

Yrityksellä on ohjeistus tiettyjen class-numeroiden käyttöön, esimerkiksi miten tietyllä class-arvolla mallinnettujen osien tiedot näkyvät luettelossa muodossa nimi+materiaali+paksuus. Yrityksen ohjeistuksessa on esimerkki mille yleisimmälle materiaalille näitä käytetään. Kuvassa on esimerkki class-arvojen toimintatavasta listattuna. Class-numerolla voidaan myös estää ei haluttujen osien listautuminen luetteloon, esimerkiksi valmisosiin kiinteästi liitetyt raudoitteet.

VALUTARVIKELUETTELO					
TUNNUS	LKM	MATERIAALI	NETTOPINTA-ALA	TILAVUUS	PAINO
S-230317	8				
ERISTE		FF-PIR	1.92 m ²	0.27 m ³	9kg
SISÄKUORI		C25/30	3.03 m ²	0.47 m ³	1165kg
ULKOKUORI		C30/37	2.28 m ²	0.18 m ³	457kg
KOKONAISPAINO:				1.63 t	
MÄÄRÄ	TARVIKKEET				
1.92 m ²	ERISTE FF-PIR 140.0mm				
8.20 m	APUKARMIPUU 145*45				
14 kpl	PPA200				
9 kpl	PVL SOLO				
2 kpl	Pintos_SCR_12				
2 kpl	VEMO1140_M16x100				

Kuva 11. Elementtipiirustuksen tarvikeluettelo

PIIRUSTUSTEN VARUSTELUETTELON TOIMINNAN KUVAUS / DESCRIPTION OF FUNCTIONS FOR ACCESSORY OBJECTS IN DRAWINGS					
OSAT	OBJECTS	CLASS	YKS.	UNIT	ESIM.
NIMI	NAME	100	KPL	PCS	SBKL, HPKM
NIMI + PROFIILI + PITUUS + MATERIAALI + UDA:PRODUCT DESCRIPTION	NAME + PROFILE + LENGTH + MATERIAL + UDA:PRODUCT DESCRIPTION	101	KPL	PCS	PUTKI
NIMI + LEVEYS + KORKEUS + PITUUS + MATERIAALI + UDA:PRODUCT DESCRIPTION	NAME + WIDTH + HEIGHT + LENGTH + MATERIAL + UDA:PRODUCT DESCRIPTION	102	KPL	PCS	NEOPREENILAPPU
NIMI + PROFIILI	NAME + PROFILE	103	M	M	NEOPREENINAUHA + SAHATAVARA
NIMI + MATERIAALI + PAKSUUS + UDA:PRODUCT DESCRIPTION	NAME + MATERIAL + THICKNESS + UDA:PRODUCT DESCRIPTION	104	M ²	M ²	ERISTE
NIMI + MATERIAALI + UDA:PRODUCT DESCRIPTION	NAME + MATERIAL + UDA:PRODUCT DESCRIPTION	105	KPL	PCS	ALUSLEVY
RAUDOITTEET (TARVIKKEET)	REINFORCEMENT (ACCESSORY)	CLASS	YKS.	UNIT	ESIM.
EI TULE RAUDOITTELUETTELOON / TAULUKOIHIN	NOT INCLUDED IN REINFORCEMENT CATALOGUE / TABLES	100			
VERKOT	MESHES	CLASS	YKS.	UNIT	ESIM.
EI TULE RAUDOITTELUETTELOON / TAULUKOIHIN	NOT INCLUDED IN REINFORCEMENT CATALOGUE / TABLES	100			

Kuva 12. Piirustusten varusteluettelon toiminnan kuvaus eri class-arvoilla

6.5 Raudoitteet

Raudoitteet mallinnetaan aina lujuuslaskelmien ja suunnitelmien pohjalta. Elementeistä luodaan tyyppielementti, joka toimii referenssinä muille suunniteltaville elementeille tarvikkeiden ja raudoitteiden osalta.

Raudoitteet kuuluvat aina valuyksikköön eli raudoite tarvitsee aina komponentin, johon se liitetään. Betoniosat voidaan raudoittaa yksittäisillä raudoilla, raudoiteryhmillä tai raudoiteverkoilla. Raudoitteet voi tehdä suoraan raudoitustyökaluilla, joilla saadaan luotua haat, verkot ja pääteräkset yhdellä työkalulla. Mahdollisuus on myös luoda raudoitteet erikseen yksittäisillä ohjelmistosta löytyvillä työkaluilla.

Raudoitteissa on tärkeää myös määrittää class-numerot oikein nimeämisohjeiden mukaisesti, jotta raudoista saadaan laskentaan määrät sekä piirustuksessa saadaan näkymään halutut raudoitteet. Raudoitteet saadaan myös eriteltyä class-arvoilla paikalla valetuista ja elementtirakenteista.

7 Elementtipiirustusasetukset

7.1 Pohjustus

Piirustusasetukset säädetään toimimaan ensin yhteen elementtityyppiin. Piirustusasetuksissa on tarkoitus luoda toimivia automatioita, joita voidaan suoraan hyödyntää. Automaattiasetuksia lähdetään luomaan aina ensin ylemmän tason asetuksista eli piirustuspohja, näkymäasetukset ja objektiasetukset. Piirustusautomaatioasetusten käyttö vaatii tarkkaa mallinnuskuria. Mikäli malli ei ole oikein, automatiikka ei toimi tai se ei ole hyödyksi manuaalisten muokkausten suuren määrän takia.

Piirustusasetukset tallennetaan asetusten alasvetovalikkoon, josta asetukset ovat valittavissa. Tallentaessa asetukset nimetään yksiselitteisesti, jotta käyttäjän on helppo valita sopiva asetus käyttötarkoitusta varten.

7.2 Piirustuksen asetukset - Drawing properties

Drawing properties - valikosta säädetään piirustuksen tietotaulukot, nimiötiedot, raamit eli piirustuksen koko sekä mitä näkymiä luodaan. Nimiöasetuksissa täytetään kohteen tiedot ja yhteystiedot.

Layout-valikosta säädetään millä layoutilla piirustus luodaan. Layout on esisäädetty asetus, jossa nimiöt, luettelot ja tarvittavat asetukset ovat aseteltu piirustukseen kohdalleen. Valikosta valitaan paperikoko ja kuinka monelle sivulle piirustus luodaan.

View creation - valikosta saadaan säädettyä valmiita näkymiä, joita luodaan piirustusta tehtäessä. Asetukset luodaan komentoina, joissa päätetään minkälainen näkymä halutaan, ja mitä näkymäasetusta näkymä käyttää. View properties - asetukset käydään läpi seuraavassa luvussa. (Trimble Solutions 2021.)

Section view - valikosta saadaan leikkausten syvyys säädettyä ja minne suuntaan leikkaukset ovat. Valikosta säädetään myös leikkausmerkinnät ja leikkauksen nimeämisasetukset. Detail view - valikosta saadaan leikkausten aloituskirjain tai -numero valittua. (Trimble Solutions 2021, 927.)

7.3 Näkymän asetukset - View properties

Teklassa piirustusnäkymien näkyvyysasetuksia muutetaan view properties - valikon kautta. Näkymäasetuksista määritetään, miten objektit esitetään. Näkymäasetuksia luodaan erilaisia eri tilanteisiin. Näkymäasetuksia voidaan tallentaa ja käyttää eri piirustuspohjissa. Nimeäminen esimerkiksi piirustuspohjan asetuksissa on tärkeässä roolissa ja tehtävä

selkeäksi, jotta eri tilanteita varten tarvittavan asetuksen saa helposti käyttöön. (Trimble Solutions 2021, 920–926.)

Valikossa muokataan näkymäasetuksia kuten syvyysasetuksia. Kun näkymä on luotu niin voidaan näkymää säätää, jotta saadaan vain halutut osat näkyville. Näkymästä voi filttereillä suodattaa tiettyjä osia pois esimerkiksi class-numeron tai osan nimellä. Filter-valikossa tehdään käskyjä mille kategorialle osa kuuluu, millä nimeämisehdolla suodatus halutaan tehdä ja näytetäänkö tämän osakategorian osat vai piilotetaanko ne. Ehtoihin voi lisätä käskyjä, kuten tehdä tietyn objektin näkyväksi tai poistaa näkyvistä sekä tehdä tietyn objektin näkyväksi silloin, kun toinen suodatetaan pois. (Trimble Solutions 2021, 920–926.)

Piirustusnäkyvässä voidaan näytettävän kohdan näkymäsyvyyttä muuttamalla saada esitettyä tarvittavat osat. Kuten tasopiirustuksissa näkymä otetaan malliin tehdystä näkymästä ja näkymäsyvyyttä muuttamalla saadaan vain tämän kyseisen kohdan asia näkymään.

Piirustusasetusvalikosta voi muokata myös, miten objektit esitetään. Viivapakisuuden täyten ja viivatyyppin pystyy määrittämään. Tällä saadaan piirustusta selkeytettyä ja tarvittavia objekteja korostettua. Objekteille pystyy myös määrittämään merkinnän millä asetuksella luodaan kappaleelle. (Trimble Solutions 2021, 920–926.)

7.4 Mittaviiva-automatiikka

Automatiikalla voidaan luoda cast unit - piirustuksessa jokaiselle näkymälle oma mitoitus-asetus. Asetusten määrittäminen on näin ollen näkymäasetuksista riippuvainen. Mitoitus pohjautuu objektien tunnistamiseen. Näkymätason mitoitus perustuu muodon tunnistamiseen. Kun muoto, reikä ja kolo tunnistetaan automaattisesti, onnistuu automaatti mitoituksen asettaminen. Mitoitus on myös mahdollista tehdä suodatinpohjaisesti, jolloin luodaan filter-asetus, jonka pohjalta mittaviivat luodaan. Suodatinasetuksessa on tarkoitus saada vain tarvittava objekti suodatettua, johon mittaviivan on tarkoitus tarttua. (Trimble Solutions 2021, 724–729.)

Automatiikan luonnissa aloitetaan ensin mittaviivatyyppin valinnalla, eli onko suodatin-, pää-, reikä vai kolomitta. Mittatyyppejä on myös useita muita vaihtoehtoja, mutta edellä mainitut ovat elementtisuunnittelussa tarvittavat. Tämän jälkeen valitaan properties-valikosta rule eli sääntö, jolla mitoitus toimii. Reikämitoissa mitta luodaan kolmeen erityyppiseen reikään. Mittaan määritetään, käytetäänkö äärimittaa vai keskeltä keskelle mittaa sekä mitan aloitus- ja lopetuskohdat. Myös mitan ulkoasu määritetään omalla dimension properties-asetuksella. Mitoitussääntöjen järjestys määrää mitan paikan. Alimpana oleva sääntö näkyy kuvassa ulkoisimpana mittaviivana ja tämä on yleensä päämitta. (Trimble Solutions 2021, 744–757.)

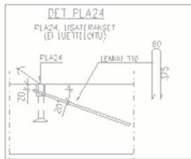
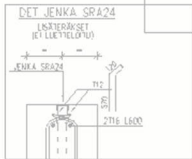
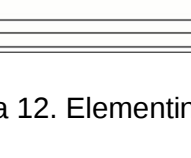
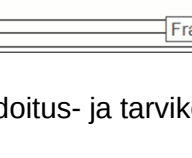
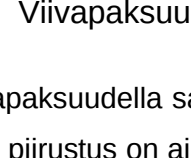
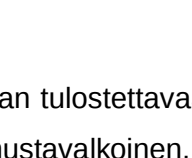
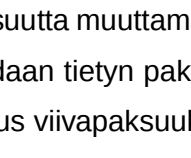
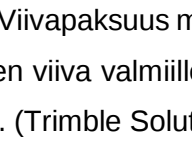
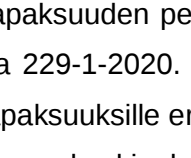
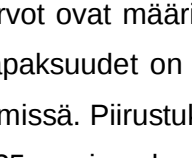
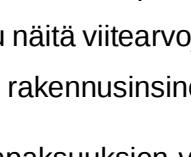
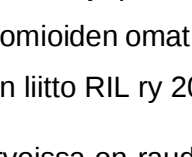
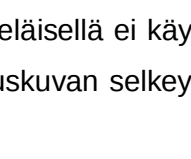
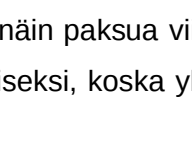
Mallinnuksessa käytettävät komponentit, joilla objektit luodaan ovat yleensä tarvikevalmistajien luomia ja objektin class-arvot ja -nimet ovat tarvikevalmistajasta riippuvaisia. Mitoitus on siis luotava jokaiselle objektille erikseen tai saatava filteriin kaikki mahdolliset vaihtoehdot esille. Pääsääntöisesti materiaalit ovat kohdekohtaisia. Tämä voi tulevaisuudessa parantua, koska yleisimmille teräskiinnitysosille on luotu yleisnimityksiä, jolloin tarvike on valmistajasta riippumatta samoilla ominaisuuksilla. Lisäksi mittausautomaattikkaan lisätään, minne mittaviiva luodaan ja tietyt objektit mitoitetaan vain tietyltä sivulta. Tämä lisää turhia mittoja ja aiheuttaa ylimääräistä työtä.

Automaatiikan käyttö vaatii tiukkaa mallinnuskuria ja mitoitusasetusten luominen yleispäteviksi on haastavaa. Kohteiden muuttuessa objektit muuttuvat, jolloin on luotava uusi sääntö ja toimivuuden takaaminen on haastavaa. Tämän takia piirustusohjelmien luodaan usein vain perusmitoitus reikiin ja äärimittoihin. Yleisimpiin objekteihin toimii automaattikka ja loppujen mittojen luonti on elementtipiirustuksen tekijän vastuulla. Yleisimmät objektit ovat esimerkiksi vaijerilenkit, tapit, pultit ja nostolenkit.

7.5 Piirustusasettelu ja taulukot - Layout ja Template

Layout-valikosta määritetään raamit eli paperikoko jolle piirustus luodaan. Valikosta muokataan mitä sisältöä piirustuksesta löytyy ja minne ne sijoitetaan. Piirustukseen lisätään ennalta luotuja taulukoita eli tableja. Taulukoita voidaan asettaa näkymään tietyllä sivulla, jos piirustus on monisivuinen. Kuvassa 12 on esimerkki elementin tarvike- ja raudoitussivusta, kun se on layout editor - tilassa. Muokkaustilassa näkee miten taulukot sijoittuvat piirustukseen. Muokkaustilassa taulukoita pystyy siirtämään, kiertämään sekä skaalaamaan. (Trimble Solutionss Corporation 2022.)

Template-valikossa muokataan raamit piirustuksen kokoon oikeaksi ja sivuille tulevat tietolaatikot. Tietolaatikoille määritetään sijainti ja tiedot mitä laatikot sisältävät. Asetukset tallennetaan ja nimetään kuvaavasti, jotta oikeat asetukset saadaan käyttöön.

RAUDOITTELUETTELO															ELEMENTIN ROSTO		SUUNNITTELUUN LAHTOTIEDOT			
RAUDOITTEET																	Toteutus: R2 Puhdistus: K23, KP1 Suunnittelu: 100 v C_Design_input_data 3 / 4			
RAUDOITTEIDEN YHTEENVETOLUETTELO																	TUOTETIEDOT Betonipinta 1: 35 mm x 10 mm Toleranssialue: BETONILÄSENTIEN TOLERANSSIT: LUOKKA N Pintalaistey 1: HIEKOTPIN Pintalaistey 2: MUOTOPIN Viireet 1: PROKALPIORITIT Muototestilajit: 0,5 x SUUNNITTELUUUVUUS Kujelajin asennusajutus: 0,7 x SUUNNITTELUUUVUUS Palkasestilajit: 0,5 x SUUNNITTELUUUVUUS			
RAUDOITTEIDEN YHTEENVETOLUETTELO																	VALUTARVIKELUETTELO TUNNUS: CL-35103 LAMMONERISTE: Thermo_TW58 PARVEKELAATTA: C35/45 KOKONAISPAINO: 3,64 t			
VERKKOLUETTELO																	UUSARA: TARVIKKEET 0,25 m² LAMMONERISTE Thermo_TW58 120 Ohm 0,60 m KESTOPUUVU 48X120 0,60 m KESTOPUUVU 48X120 1,42 m KESTOPUUVU 48X120 1,42 m KESTOPUUVU 48X120 4 kpl PL24 2 kpl SRA24A200 1 kpl Sra24A200-1770-0 1 kpl VAS 15x60 RST 2 kpl XT type K6-05A-V-RST 1 kpl XT type O-05A-V-RST			
RAUDOITTEIDEN YHTEENVETOLUETTELO																	C_Embed_list 0,25 m² LAMMONERISTE Thermo_TW58 120 Ohm 0,60 m KESTOPUUVU 48X120 0,60 m KESTOPUUVU 48X120 1,42 m KESTOPUUVU 48X120 1,42 m KESTOPUUVU 48X120 4 kpl PL24 2 kpl SRA24A200 1 kpl Sra24A200-1770-0 1 kpl VAS 15x60 RST 2 kpl XT type K6-05A-V-RST 1 kpl XT type O-05A-V-RST			
RAUDOITTEIDEN YHTEENVETOLUETTELO																	BETONITERÄSTEN TAVUTUSTYYPI A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z, AA, AB, AC, AD, AE, AF, AG, AH, AI, AJ, AK, AL, AM, AN, AO, AP, AQ, AR, AS, AT, AU, AV, AW, AX, AY, AZ, BA, BB, BC, BD, BE, BF, BG, BH, BI, BJ, BK, BL, BM, BN, BO, BP, BQ, BR, BS, BT, BU, BV, BW, BX, BY, BZ, CA, CB, CC, CD, CE, CF, CG, CH, CI, CJ, CK, CL, CM, CN, CO, CP, CQ, CR, CS, CT, CU, CV, CW, CX, CY, CZ, DA, DB, DC, DD, DE, DF, DG, DH, DI, DJ, DK, DL, DM, DN, DO, DP, DQ, DR, DS, DT, DU, DV, DW, DX, DY, DZ, EA, EB, EC, ED, EE, EF, EG, EH, EI, EJ, EK, EL, EM, EN, EO, EP, EQ, ER, ES, ET, EU, EV, EW, EX, EY, EZ, FA, FB, FC, FD, FE, FF, FG, FH, FI, FJ, FK, FL, FM, FN, FO, FP, FQ, FR, FS, FT, FU, FV, FW, FX, FY, FZ, GA, GB, GC, GD, GE, GF, GG, GH, GI, GJ, GK, GL, GM, GN, GO, GP, GQ, GR, GS, GT, GU, GV, GW, GX, GY, GZ, HA, HB, HC, HD, HE, HF, HG, HH, HI, HJ, HK, HL, HM, HN, HO, HP, HQ, HR, HS, HT, HU, HV, HW, HX, HY, HZ, IA, IB, IC, ID, IE, IF, IG, IH, II, IJ, IK, IL, IM, IN, IO, IP, IQ, IR, IS, IT, IU, IV, IW, IX, IY, IZ, JA, JB, JC, JD, JE, JF, JG, JH, JI, JJ, JK, JL, JM, JN, JO, JP, JQ, JR, JS, JT, JU, JV, JW, JX, JY, JZ, KA, KB, KC, KD, KE, KF, KG, KH, KI, KJ, KK, KL, KM, KN, KO, KP, KQ, KR, KS, KT, KU, KV, KW, KX, KY, KZ, LA, LB, LC, LD, LE, LF, LG, LH, LI, LJ, LK, LL, LM, LN, LO, LP, LQ, LR, LS, LT, LU, LV, LW, LX, LY, LZ, MA, MB, MC, MD, ME, MF, MG, MH, MI, MJ, MK, ML, MM, MN, MO, MP, MQ, MR, MS, MT, MU, MV, MW, MX, MY, MZ, NA, NB, NC, ND, NE, NF, NG, NH, NI, NJ, NK, NL, NM, NO, NP, NQ, NR, NS, NT, NU, NV, NW, NX, NY, NZ, OA, OB, OC, OD, OE, OF, OG, OH, OI, OJ, OK, OL, OM, ON, OO, OP, OQ, OR, OS, OT, OU, OV, OW, OX, OY, OZ, PA, PB, PC, PD, PE, PF, PG, PH, PI, PJ, PK, PL, PM, PN, PO, PP, PQ, PR, PS, PT, PU, PV, PW, PX, PY, PZ, QA, QB, QC, QD, QE, QF, QG, QH, QI, QJ, QK, QL, QM, QN, QO, QP, QQ, QR, QS, QT, QU, QV, QW, QX, QY, QZ, RA, RB, RC, RD, RE, RF, RG, RH, RI, RJ, RK, RL, RM, RN, RO, RP, RQ, RR, RS, RT, RU, RV, RW, RX, RY, RZ, SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH, SI, SJ, SK, SL, SM, SN, SO, SP, SQ, SR, SS, ST, SU, SV, SW, SX, SY, SZ, TA, TB, TC, TD, TE, TF, TG, TH, TI, TJ, TK, TL, TM, TN, TO, TP, TQ, TR, TS, TT, TU, TV, TW, TX, TY, TZ, UA, UB, UC, UD, UE, UF, UG, UH, UI, UJ, UK, UL, UM, UN, UO, UP, UQ, UR, US, UT, UY, UZ, VA, VB, VC, VD, VE, VF, VG, VH, VI, VJ, VK, VL, VM, VN, VO, VP, VQ, VR, VS, VT, VU, VV, VW, VX, VY, VZ, WA, WB, WC, WD, WE, WF, WG, WH, WI, WJ, WK, WL, WM, WN, WO, WP, WQ, WR, WS, WT, WU, WV, WW, WX, WY, WZ, XA, XB, XC, XD, XE, XF, XG, XH, XI, XJ, XK, XL, XM, XN, XO, XP, XQ, XR, XS, XT, XU, XV, XW, XX, XY, XZ, YA, YB, YC, YD, YE, YF, YG, YH, YI, YJ, YK, YL, YM, YN, YO, YP, YQ, YR, YS, YT, YU, YV, YW, YX, YY, YZ, ZA, ZB, ZC, ZD, ZE, ZF, ZG, ZH, ZI, ZJ, ZK, ZL, ZM, ZN, ZO, ZP, ZQ, ZR, ZS, ZT, ZU, ZV, ZW, ZX, ZY, ZZ			
 																	CL-35103 Thermo_TW58 C35/45 3,64 t			
 																	CL-35103 Thermo_TW58 C35/45 3,64 t			
 																	CL-35103 Thermo_TW58 C35/45 3,64 t			
 																	CL-35103 Thermo_TW58 C35/45 3,64 t			
 																	CL-35103 Thermo_TW58 C35/45 3,64 t			
 																	CL-35103 Thermo_TW58 C35/45 3,64 t			
 																	CL-35103 Thermo_TW58 C35/45 3,64 t			
 																	CL-35103 Thermo_TW58 C35/45 3,64 t			
 																	CL-35103 Thermo_TW58 C35/45 3,64 t			

Kuva 12. Elementin raudoitus- ja tarvikesivu layout editor - tilassa

7.6 Viivapaksuus

Viivapaksuudella saadaan tulostettavaan piirustukseen tarvittavia osia korostettua. Tulostettu piirustus on aina mustavalkoinen, joten tietyn osan korostaminen onnistuu vain viivapaksuutta muuttamalla. Viivapaksuus määritetään Teklassa väreillä. Tietyn värisellä viivalla saadaan tietyn paksuinen viiva valmiille tulostetulle piirustukselle. Kuvassa 13 on yksi ohjeistus viivapaksuuksille. (Trimble Solutions 2021, 646–647.)

Viivapaksuuden perusarvot ovat määritetty suunnittelijoille Rakennusinsinöörien liiton kirjassa 229-1-2020. Viivapaksuudet on määritetty viivaryhmiin. Taulukossa 1 on ohjeistus viivapaksuuksille eri ryhmissä. Piirustuksissa käytettävät viivapaksuudet ovat yleensä ohut 0,25 mm, keskipaksu 0,35 mm ja paksuimman viivaan paksuus on 0,5 mm. Mäkeläiselle on luotu näitä viitearvoja huomioiden omat viivapaksuudet, jotka ovat yrityksen käytössä. (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2020, 106.)

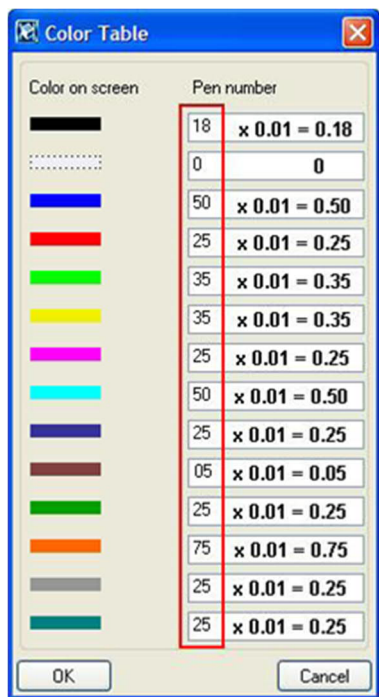
Viivapaksuuksien viitearvoissa on raudituksen näkyminen paksuimmalla 0,5 mm viivalla. Mäkeläisellä ei käytetä näin paksua viivaa. Viivapaksuuteen yrityksessä on päädytty raudotuskuvan selkeyttämiseksi, koska yleensä elementtikuvissa on monta viivaa lähekkäin

suurien raudoitusmäärien takia. Viivaa ohentamalla saadaan havainnollistettua tehtaalle kaikki raudoitukset.

Taulukko 5.3. Viivaryhmät.

I	II	III	IV
(0,13)	0,18	0,25	0,35
0,25	0,35	0,5	0,7
0,5	0,7	1,0	1,4

Taulukko 1. Viivaryhmät (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2020, 106)



Kuva 13. Color Table - valikko

7.7 Nykyiset asetukset

Yritys on luonut Teklan vakioasetusten lisäksi omia Lehto-ympäristöön ja nykyiselle ohjelmistopakettille sopivimpia asetuksia. Asetuksissa on huomioitu piirustustyyppin tarpeet. Layout on luotu omien yritysten logojen ja yrityksen elementtipiirustusten vaatimusten mukaisesti, jolloin mahdollisesti tulee jopa kahdeksan A3-kokoista sivua. Sivujen suuri määrä johtuu siitä, että mitta ja raudoitus näkymät ovat omilla sivuilla. Lisäksi elementtipiirustus sisältää oman kansilehden, tarvikesivun ja oman sivun sähkömerkinnöille. Asetus toimii siten, että sivumäärää lisäämällä tarvikesivu on aina toiseksi viimeisenä ja näkymäsivut sisältävät omat tietolaatikot sekä sivunumeron.

Näkymistä on luotu omia asetuksia esimerkiksi mitta- ja raudoitusnäkymälle. Näkymäasetuksiin on säädetty objekteille omat täytöt ja viiva-asetukset. Viiva-asetuksista säädetään väri ja viivan tyyppi näkymän näkyvälle osalle ja näkymän takana olevalle viivalle sekä

referenssiviivalle. Näiden säädössä on huomioitu tulostettavan tiedoston viivapaksuudet ja niiden ohjeistukset. Filtteriin on luotu suodattimet, jotta vain halutut objektit näkyvät, esimerkiksi mittapiirrosnäkyvässä esitetään vain tarkkaa mitoitusta tarvitsevat raudoitteet ja muita teräksiä ei kuvassa haluta näyttää.

Näkymäasetuksiin voidaan lisätä automaattisia part mark - merkintöjä, joilla voidaan viivojen ja tekstien avulla esittää, mitä kyseinen objekti tarkoittaa. Esimerkiksi raudoitusasetus tunnistaa useamman teräksen ryhmän ja tekee merkintäviivan kaikkiin ryhmän teräksiin. Asetus myös tunnistaa taivutetun ja suoran teräksen ja luo näille omantyyppiset merkinnät. Teräksien merkinnöissä esitetään kappalemäärä, taivutus, positionumero, terästyyppi, halkaisija ja pituus. Taivutetussa teräksessä on oltava kuvaus siitä, mille mitoille ja minkä muotoisen teräksestä luodaan, joten tässä automatiikan suoran ja taivutetun teräksen tunnistaminen on tärkeässä osassa. Tämä vähentää elementtisuunnittelijan manuaalista muokkauksista.

Asetusten valmiiksi luonti mahdollistaa uusien näkymien ja leikkausten luonnin nopeasti, kun on valmis asetukset, jolla näkymä saadaan toimimaan oikein.

8 Elementtipiirustuksen luonti

8.1 Kloonaus - Clone

Piirustuksen voi luoda toisesta olemassa olevasta piirustuksesta kloonamalla eli tekemällä clone. Piirustuksen ei tarvitse olla samassa tietomallissa. Ongelmia voi tosin esiintyä vanhasta ohjelmistoversiosta uudempaan kloonamisessa, jolloin kaikki asetukset eivät välttämättä toimi oikein.

Kloonauksen yhteydessä tulevat kaikki samat asetukset mitkä ovat kyseisessä kuvassa, josta kloonaa tehdään. Kloonauksen yhteydessä siirtyvät myös kaikki manuaaliset muokkaukset mitä piirustukseen on luotu, joten tämä voi sekoittaa mittaviivoja ja kohdennettuja merkintöjä. Kloonauksessa on tärkeää tarkistaa, että kaikki näkymät, merkit ja mitoituset ovat kunnossa.

Kloonaus kannattaa luoda, kun piirustus vaatii paljon manuaalista muokkaamista ja kloonattava osa on melkein samanlainen kuin itse klooni. Muuten kloonaus voi teettää enemmän työtä kuin piirustuksen luonti valmiilla asetuksilla. (Trimble Solutions 2021, 141.)

Kloonina luotuna piirustusten luonti luo omat haasteet automatiikan ja muokkaamisen kannalta. Mittaviiva automatiikka luo mittaviivat väleihin mihin mittaviiva mahtuu, mikä lisää manuaalista muokkaamista. Part mark - merkinnöissä on myös huomattu ongelmia. Esimerkiksi muokattuja merkintöjä ohjelmisto ei tunnista uudesta piirustuksesta vaan tekee ne satuman varaisesti eriin paikkaan. Tämä on ilmennyt raudoituksissa, joissa merkinnät ovat automatisoitu.

8.2 Uuden piirustuksen luonti tyhjästä - Create drawing

Piirustuksen voi luoda myös niin sanotusti tyhjästä. Piirustus luodaan create drawing -valikon kautta. Piirustuksen luontia ennen valitaan piirustukselle asetukset millä piirustuskäytännöt, piirustuskoko ja yleistiedot tulevat näkymään. (Trimble Solutions 2021, 118–120.)

Piirustuksen tyhjästä luomisella on omat haasteensa. Näkymien lisääminen automaattisesti luo näkymät minne sattuu ja nämä on raahattava manuaalisesti oikeaan paikkaan. Luontitavalla ei saada näkymiä asettumaan halutulle monisivuiselle paperimuodolle, koska elementtipiirustus Teklan alkuperäisillä asetuksilla on yksisivuinen tai mahdolliset useammat sivut ovat neliön mallissa vierekkäin. Mäkeläisen tapa luoda piirustuksia on asetella piirustusten uudet sivut päällekkäin. Tämän takia näkymät eivät ole oikein raameissa automaattisesti.

Toisena haasteena tässä luontitavassa on leikkaukset, joita luodaan mitta- ja raudoitusnäky-
kymistä. Automatiikka luo leikkaukset vain pituussuunnassa ja vain yhdestä isäntänäky-
mästä, mitä ei ole määrättävissä. Leikkauksia tarvitaan myös leveyssuunnassa ja ne on
luotava aina käsin. Kun luodaan näkymiä manuaalisesti, näkymät ja merkinnät saadaan
luotua nopeasti toimivilla näkymäasetuksilla.

Uudessa kohteessa voi olla kannattavaa luoda piirustus automaattiasetuksilla ja muokata
manuaalisesti muokattavat asia kuten näkymät ja leikkaukset kuntoon, jonka jälkeen tätä
piirustusta kloonataan jatkossa. Tämä poistaa vanhempien versioiden mukana tulevat on-
gelmat ja asetusten toimimattomuuden. Vanhoissa ohjelmistoversioissa on myös ollut
bugeja mitkä on korjattu uudempaan versioon, ja nämä myös siirtyvät kloonauksen mukana.
Create drawing - käskyllä luodussa elementtipiirustuksessa saadaan uuden pohjan hyödyt
eli vanhojen versioiden asetuksia ei kulkeudu mukana

8.3 Piirustusten luonti menetelmien sopivuus toimeksiantajalle

Yrityksen laatu- ja sisältövaatimukset elementtipiirustuksille ovat korkeat, jonka johdosta
näkymiä ja sivuja tulee useita. Tämä aiheuttaa piirustuksen luonnille ja luonnin tehokkuu-
delle omat haasteensa. Siksi piirustuspohjan asetusten toimivuus on tärkeää ja toiminta-
tapa piirustusten luonnille on oltava kunnossa. Piirustuksen luonti täysin tyhjästä jokaisen
elementin kohdalla luo useita muokattavia kohtia, joka ei korjaa alkuperäistä tehokkuuson-
gelmaa halutulla tavalla. Suurimmat tehokkuutta vievät asiat elementtisuunnittelussa on
manuaaliset muokkaukset ja edellisen piirustuksen merkintöjen toimimattomuus uudessa
piirustuksessa. Merkinnät voivat kloonauksen tuloksena olla missä vain tai vastaavasti ne
voi kloonatessa olla väärässä kohdassa. Mitta-automatiikassa on myös ollut samanlaisia
ongelmia.

Piirustusten toimivuuden takia suosittelen, että luodaan toimivat piirustuspohjat, joilla koh-
teen elementtipiirustusten luonti aloitetaan. Tähän pohjaan liitetään toimiviksi todetut ase-
tukset, mitoitus ja näkymät. Piirustuspohjaa varten luodaan Teklaan omaprojekti, josta
piirustuspohjat saadaan kohteen aloitukseen käyttöön. Piirustus kloonataan piirustuspohjan
käyttöohjeen mukaisesti halutulla piirustustyyppillä. Piirustukseen tehdään manuaalisesti tar-
vittavat korjaukset, lisäykset, näkymät ja asetusmuutokset, minkä jälkeen kyseisestä piirus-
tuksesta luodaan klooneja tuleviin kyseisen piirustustyyppin elementteihin. Tällä menetel-
mällä päästään eroon vuosia vanhojen piirustuspohjien ongelmista, ja tehostetaan päivit-
täistä elementtisuunnittelutyötä.

Pohja luodaan nykyisillä uusilla organisaation ympäristöön soveltuvilla asetuksilla. Kun pii-
rustuspohja otetaan käyttöön, asetukset ovat säädetty pohjaan heti oikein ja ovat käytössä.

Piirustus pohjaan luodaan perusnäkyvät ja leikkaukset. Pohjaan luodaan mitoitusautomaatiikkaa vain yleisimmille mitoille, joten ylimääräisiä toimimattomia asetuksia ei tarvitse turhaan muokkailla. Raudoitussivuille luodaan automaattimerkinnät eli part markit, jotka toimivat raudoituksen tunnistavasti. Merkintäautomaatiikka tunnistaa raudoitteen muodon ja luotaivutetuille raudoille ulosvetokuvan ja suorille raudoille vain tekstin. Raudoituserkinnän oikeanlainen toiminta aiheutti ongelmia. Kun klooni oli luotu merkit, eivät tulleet kaikille merkeille tai ne olivat väärissä raudoissa. Ongelma poistui, kun merkit poistettiin ja luotiin uudelleen.

Piirustus pohjan käyttöohjeistuksessa käydään yksiselitteisesti vaihe vaiheelta pohjan käyttö. Pohjan käyttö vaatii myös kohde kohtaista muokkaamista ja näkymien lisäämistä. Uusi pohja karsii suurimpia nykyisiä ongelmia, jotka ovat sekavan lähtökohdan piirustuksen aloitukselle aiempien kohteiden piirustuksilla. Aiempien kohteiden piirustukset sisältävät sellaisia manuaalisia muokkauksia, jotka uuden kuvan luodessa seuraavaan kohteeseen tulevat ilmi turhina merkintöinä tai merkinnät eivät ole halutuilla paikoilla. Piirustuksen luonnissa on kuitenkin helpoin luoda uutta merkintää kuin muokata vanhaa tai jos poistetaan vanha, niin sekin on työn tekemistä kahteen kertaan.

8.4 Piirustusten luonti tulevaisuudessa

Tulevaisuudessa on pidettävä huoli ohjelmiston päivitysten vaikutuksista piirustusten luontiin ja tehtävä sen mukaisia muutoksia pohjiin. On myös pidettävä yllä avointa keskustelua yrityksen sisällä piirustusten luonnin ongelma kohdista ja kehitys kohdista. Piirustus pohjan ongelmat ja kehityskohdat ilmenevät laajan käytön jälkeen. Nykyistä pohjaa on testattu muutamia kertoja. Mallielementti on suhteellisen yksinkertainen. Asetukset ovat säädetty siten, että monimuotoisimpiin elementteihin ei tulisi turhaan useita merkintöjä, jotka eivät ole oikein vaan ne lisäävät suunnittelijan toimesta itse. Merkinnät ja mitta-automaatiikat kehittyvät varmasti tulevaisuudessa ohjelmistoversioissa ja sen myötä myös pohjaa on kehitettävä. Myös käyttäjäkokemusten perusteella on tehtävä kyseisiin asetuksiin toivottuja muutoksia.

Piirustus pohja luo puhtaamman aloituksen kohteelle, mutta suunnittelu tapoja on yhtä monta kuin tekijöitäkin. Tämän vuoksi uskon, että pohjan käyttö ei sovellu kaikille tai kaikkiin kohteisiin. Pohjan käyttöä on harkittava kohde kohtaisesti.

9 Yhteenveto ja pohdinta

Vaikka rakennesuunnitelmia on tehty tietomallipohjaisesti jo pitkään, ei kehitys ole vielä sillä tasolla, että päästäisiin pelkällä yhdellä napin painalluksella valmiiseen lopputulokseen. Suunnittelu vaatii vielä viivapiirtoa ja suunnittelijalta ohjelmiston soveltamista käytäntöön. Tekla Structures - ohjelmisto on ollut jo käytössä pitkään, mutta senkin toiminnassa on jokoisen päivityksen mukana tullut aina jotain parannusta tai hitauden poistoa. Tietomallinnus kehittyy jatkuvasti tietotekniikan ja käyttäjien taidon kehittyessä.

Elementtisuunnittelussa toimitetaan vielä perinteinen paperi tehtaalle. Tämä kehitysaste on mallin jakaminen tehtaalle ja siitä suoraan suunnitelmien saaminen ulos. Tämä tosin on vielä alkutaipaleella. Elementtitehtaat eivät tällä hetkellä saa kuin ontelolaattoja mallista valmistettua. He siirtävät mallin omaan suunnitteluohjelmaan, josta he luovat normaalisti tuotetut kuvat, joilla valmistetaan elementti. Joten tässäkään ei sinänsä ole vielä kehitys valmis. Tulevaisuudesta on vaikea sanoa, miten suunnittelu etenee. Käytännössä mahdollisuus yhteisten tiedostomuotojen kannalta tietomallista suoraan tuotantoon on, mutta nykyisen käytännön muuttaminen siihen on vielä pitkämatka.

Työn tarkoituksena oli luoda piirustus pohja yrityksen käyttöön sekä ohjeistus pohjan oikeanlaiseen käyttöön. Tarkoitus oli kehittää kohteen elementtipiirustusten luomisen aloittamista. Haasteena toimeksiantaja yrityksellä oli vanhoista kohteista tulevat piirustukset, joiden mukana kulkeutuvat vanhojen versioiden vanhaksi käyneet asetukset. Nämä sotkivat elementtisuunnittelijan piirustuksen luontia ja loi turhaa ajankäyttöä muokkaamiseen sekä aiheuttaa mahdollisuuden piirustukseen jäävään vääränlaiseen merkintään. Tämä taas lisää turhia tarkastusyhteydenottoja tehtaiden osalta, mikä lisää työtä molemmille tahoille. Haasteena on suunnittelu tehokkuuden häviäminen tämän johdosta. Tehokkuuden häviämisen kitkemiseksi luotiin piirustus pohja.

Piirustus pohja luotiin seinäelementeille nykyisillä asetuksilla, joita on muokattu koko Lehto Group - organisaatiota ajatellen. Alkuperäinen idea oli luoda piirustus niin sanotusti tyhjästä eli jokainen piirustus olisi uusi. Tähän toimintatapaan liittyi niin monta ongelmakohtaa, että alkuperäistä ideaa ideoitiin uuteen suuntaan. Lopulta ajatus kääntyi kloonaamisen puoleen eli luodaan piirustus toisesta piirustuksesta. Piirustus pohjaa varten luotiin malli, minne luotiin esimerkki elementtejä asetusten säätämiseksi. Malli jaetaan yhteiseen ympäristöön, josta se on yrityksen käytössä uuden piirustuksen luonnin aloittamiseksi.

Piirustus pohja saatiin toimimaan halutulla tavalla ja päästiin hyviin tuloksiin. Pohja kloonaui hyvin mallielementteihin. Tiettyihin automaattiasetusten ongelmiin löydettiin ratkaisu

ja ohjeistuksessa ohjeistettiin niiden korjaaminen piirustuksessa. Ohjeistuksesta saatiin selkeä ja helposti luettava ja sen toimivuus testattiin yrityksen suunnittelijoilla halutuin tuloksin.

Haasteena voi olla, että piirustus pohja on saatava toimintaan ja tietoisuuteen yrityksessä. Tässä voi olla haasteita koska pohjan käyttöä pitää perustella riittävästi, jotta sen käyttö saa riittävästi kannatusta. Piirustus pohja myös vaatii manuaalista muokkaamista, kuten nykyinen vanhan kohteen piirustus pohjan kloonaaminen, mikä vielä entisestään korostaa huolellista perustelua sen käyttöön ja ajan tasalla pitämiseen, jotta pohja saadaan koko yrityksen käyttöön.

Piirustus pohjan toimivuuden takaamiseksi on pidettävä sisäisiä palautekyselyitä, jossa kysytään, miten pohjaa voidaan kehittää säännöllisin väliajoin. Kysely voi koostua perus kysymyksistä: Oletko käyttänyt pohjaa?, Onko pohja toiminut?, Jos ei miksi ei?, Mitä tekisit toisin/mitä voidaan parantaa?. Ohjeistukseen on myös lisätty kohta, että on heti yhteydessä, jos huomaa ongelman, jotta niihin tartutaan heti. Myös elementtejä valmistavilta tehtailta voidaan kerätä kohteen alussa esimerkiksi tyyppielementistä ja kohteen tuotantopiirustuksista lopussa kysely, missä kysytään piirustuksen laadusta ja kehityskohteista. Nämä takaavat piirustus pohjan toimivuuden jatkossakin. Myös ohjelmistopäivitysten kanssa on pysyttävä mukana ja päivitysten uusiin ominaisuuksiin on paneuduttava piirustusten ja ohjelmiston käyttäjien toimivuuden kannalta. Toimivuus ja tehokkuus saadaan pysymään halutulla tasolla. Nykyiset ongelmat johtuvat suurimmaksi osaksi kuitenkin siitä, että on pysytty vanhoissa asetuksissa ja tyydytty nykyiseen käytäntöön piirustusten luonnissa.

Suosittelen yritystä perehdyttämään suunnittelijoita uusien piirustusasetuksien käyttöön. Myös uusien ohjelmisto päivitysten mukana tulevat kehitykset piirustuksen luontiin pitää saada yrityksen suunnittelijoiden tietoon esimerkiksi pikaisella kokouksella. Tärkeimpänä kuitenkin on yhteisen kommunikaation säilyminen yrityksen eri toimipisteiden välillä, jotta uudet käyttötavat ja kehitysideat eivät jää toimipisteen sisäisiksi.

Opinnäytetyö auttaa tulevaisuuteen elementtisuunnittelijana. Perinpohjainen perehtyminen piirustusasetuksiin auttaa jatkossa piirustusten ongelmien ratkaisussa. Piirustuksen luonti on myös mallinnusta mikä pitää olla tarkalla tasolla piirustuksen laadun saavuttamiseksi. Opinnäytetyö kehitti osaamistani näillä osa-alueilla ja laajensi katsettani ohjelmiston käyttäjänä sekä elementtipiirustusten luoja.

Lähteet

- Anttila, T. 2016 Elementtisuunnittelun mallinnusohje. Betoniteollisuus Ry. Viitattu 25.02.2022 Saatavissa https://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23982/BEC2012%20Elementtisuunnittelun%20mallinnusohje_v109.pdf
- Betonia Oy. 2020 Mallintava suunnittelu. Viitattu 04.04.2022. Saatavissa <https://www.elementtisuunnittelu.fi/suunnitteluprosessi/mallintava-suunnittelu>
- Betoniteollisuus ry 2012. Ohje tietomallipohjaisille elementtipiirustuksille. Viitattu 21.04.2022. Saatavissa <https://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23865/BEC2012%20Ohje%20tietomallipohjaisille%20elementtipiirustukset.pdf>
- Henttinen, T. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012 osa 1 Yleinen osuus. Gravicon Oy. Viitattu 25.02.2022. Saatavissa https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf
- Hölsä, S. 2021 Historia: Rakennusinsinööri ei enää tiedä mitä tehdä laskutikulla ja mihin lääkärintakkia tarvittiin. Rakennuslehti. Viitattu 05.04.2022. Saatavissa <https://www.rakennuslehti.fi/2021/05/historia-rakennusinsinööri-ei-ena-tieda-mita-tehda-laskutikulla-ja-mihin-laakarintakkia-tarvittiin/>
- Insinööritoimisto Mäkeläinen Oy. 2022 Yritys ja palvelut. Viitattu 03.03.2022. Saatavissa <https://www.insmakelainen.fi/yritys-ja-palvelut/>
- Kautto, T. 2012 Yleiset tietomallivaatimukset osa 5 rakennesuunnittelu. Finnmap Consulting Oy. Viitattu 25.02.2022. Saatavissa https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_5_rak.pdf
- Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2020. RIL229-1–2020 Rakennesuunnittelun asiakirja ohje. Hansaprint Oy
- Tamminen, S. 2006 Reikäkorteista tuotemallinukseen – 40 vuotta Teklan ohjelmistoja Tekla oyj 1966-2006. Espoo: Tekla Oyj.
- Telecomworldwire 2016. M2 Communications. Viitattu 20.04.2022 <https://www-proquest-com.ezproxy.saimia.fi/docview/865192367?pq-origsite=primo&accountid=202350>
- Trimble Solutions Corporation. 2021. Tekla Structures 2021 Greate Drawings. Viitattu 02.02.2022. Saatavissa https://support.tekla.com/dist/sxf/document/ts_dra_2021_en_create_drawings.pdf

Trimble Solutions. 2022. Miksi Tekla Structures?. Viitattu 29.03.2022. Saatavissa <https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>

Trimble Solutions Corporation. 2022. Templates. Viitattu 04.04.2022. Saatavissa https://support.tekla.com/doc/tekla-structures/2022/rep_templates#GUID-B908F72F-39ED-4915-8394-281D322423AE