

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

RAPORTIN TYYPI - TUTKINNON TASO
VALITSE KOULUTUSALA

RAUDOITUSPIIRUSTUKSIEN JA RAUDOITUSLUETTELOIDEN TEKE- MINEN TEKLA STRUCTURES OH- JELMALLA

TEKIJÄ Juho Savolainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Juho Savolainen			
Työn nimi Raudoituspiirustuksien ja raudoitusluetteloiden tekeminen Tekla Structures ohjelmalla			
Päiväys	15.5.2023	Sivumäärä	42
Toimeksiantaja Insinööritoimisto SRT Oy			
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia seinäelementtien raudoituspiirustuksien ja raudoitusluetteloiden tuottamisen vaatimia aikaresursseja Tekla Structures mallinnusohjelmalla. Opinnäytetyössä tutkittiin Tekla Structuresin raudoitus työkalujen toimintoja sekä seinäelementtien raudoituksien mallintamista. Opinnäytetyön tarkoituksena oli korvata Autodesk AutoCADilla tuotetut raudoitusdetaljit Tekla -mallista tuotetuilla raudoitusdetaljeilla. Tekla Structuresin etuna on, että sillä voidaan tuottaa automaattisesti raudoituspiirustuksia, toisin kuin Autodesk AutoCADilla. Tekla Structuresilla raudoituspiirustuksien tuottaminen on kuitenkin hitaampaa AutoCADiin nähden. Opinnäytetyön päätarkoituksena on arvioida Tekla tuotettujen raudoituspiirustuksien hyötyjä suhteessa lisäkustannuksiin.</p> <p>Raudoituksien mallintamista ja raudoituspiirustuksien tekemistä Tekla Structuresilla testattiin tekemällä raudoituspiirustuksia erään koulurakennuksen seinäelementeistä. Raudoitus työkalujen toimintoja tutkittiin mallintamalla erityyppisten seinäelementtien raudoituksia. Lisäksi opinnäytetyössä tutkittiin elementtipiirustuksien tekoprosessia sekä vertailtiin raudoituspiirustuksien tekoprosessia Autodesk AutoCADin ja Tekla Structuresin välillä.</p> <p>Opinnäytetyön lopputuotoksena saatiin elementtipiirustuksien tekoprosessin työvaiheisiin käytettyjä aikatilastoja. Tilastojen perusteella voidaan arvioida raudoituspiirustuksien ja raudoitusluetteloiden tuottamisen lisäkustannuksia Tekla Structures -ohjelmalla.</p>			
Avainsanat Tekla Structures, mallintaminen, raudoituspiirustus			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Civil Engineering	
Author Juho Savolainen	
Title of Thesis Producing Reinforcement Drawings and Reinforcement Lists with Tekla Structures	
Date 15 May 2023	Pages 42
Client Organisation Insinööritoimisto SRT Oy	
Abstract <p>The main goal of this thesis was to compare the improvements of producing reinforcement drawings with Tekla Structures to the increased production times. The purpose was to replace the reinforcement drawings made in Autodesk AutoCAD with drawings created with Tekla Structures. The advantage of Tekla Structures is that it is able to automatically create reinforcement lists unlike Autodesk AutoCAD. The disadvantage is that producing reinforcement drawings with Tekla takes much more time compared to AutoCAD.</p> <p>Practical tests were used as the main research method. Wall elements were modelled in different ways to study different production methods. Reinforcement modelling was tested and analyzed by producing reinforcement drawings and reinforcement lists in Tekla Structures. The capabilities of reinforcement tools were tested by reinforcing wall elements in Tekla Structures. Wall elements and reinforcement drawings were produced in different ways to find more effective ways to produce reinforcement drawings. Faster ways to model reinforcement drawings were found by analyzing Tekla's reinforcement tools.</p> <p>As a result, different stages in producing wall element drawings were documented to create time statistic charts, which were used to evaluate the total project time. The time charts can be used to evaluate the costs of producing reinforcement drawings in Tekla Structures.</p>	
Keywords reinforcement modeling, Tekla Structures, reinforcement drawings	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet	6
1.2	Insinööritoimisto SRT Oy	6
2	SEINÄELEMENTTIPIIRUSTUKSIEN TEKEMINEN	7
2.1	Opinnäytetyön perusta	7
2.2	Elementtipiirustukset.....	7
2.3	Raudituspiirustukset	7
2.4	Rauditusluettelot.....	10
2.5	Raudituspiirustuksien tekeminen	11
2.6	Aiemmat työskentelyprosessit.....	11
3	RAUDOITUSTEN MALLINNUS TEKLALLA.....	13
3.1	Elementtien tiedot.....	13
3.2	Raudoituksien piilottaminen Tekla mallissa	13
3.3	Wall Panel Reinforcement.....	14
3.4	Stirrup Reinforcement	16
3.5	Rebar group	17
4	TUTKIMUSTYÖ.....	18
4.1	Mallinnusprosessi	18
4.2	Teklan elementtipiirustukset	21
4.2.1	Filterit.....	22
4.3	Rakennuskohteen seinäelementit	22
4.3.1	Aukottomat elementit	23
4.3.2	Elementit, joissa ikkuna	24
4.3.3	Elementit, joissa suuri ikkuna-aukko	25
4.3.4	Elementit, joissa kaksi ikkuna	26
4.3.5	Elementit, joissa ovi ja ikkuna	27
4.3.6	Oviaukko.....	28
4.3.7	Konsolit.....	29
4.3.8	Lisäraudoitus.....	30
4.4	Tarkastaminen ja laadunvalvonta.....	31
4.5	Muutokset ja korjaaminen	31

5	VERTAILU	32
5.1	Piirustuksien tekotilastot	32
5.2	Raudituspiirustukset	33
6	POHDINTA.....	35
6.1	Mallintaminen	35
6.2	Mallin koko	36
6.3	Kloonaus ja kopiointi	36
6.4	Rakennuskohteen vaikutus	37
6.5	Rauditusluetteloiden vaikutus.....	37
6.6	Työskentelytehokkuus	38
6.7	Loppusanat.....	39
7	RAPORTIN LIITTEET	40
	LÄHTEET	42

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Insinööritoimisto SRT Oy suunnittelemat seinäelementit mallinnetaan Tekla Structures -ohjelmalla. Seinäelementit mallinnetaan Teklaan, josta tuotetaan seinäelementtien elementtipiirustukset, jotka lähetetään elementtitehtaille elementin valmistusta varten. Aiemmin seinäelementtien raudoituspiirustukset on tuotettu Autodesk AutoCAD -ohjelmalla ja lisätty referensseinä Teklalla tuotettuihin elementtipiirustuksiin. Tuottamalla raudoituspiirustukset AutoCADilla, on säästetty resursseja, sillä tällöin seinäelementin raudoituksia ei ole tarvinnut mallintaa Tekla -malliin. AutoCADin puute on, ettei sillä pysty tuottamaan raudoitusluetteloita, jolloin raudoitusluettelot jouduttaisiin tuottamaan käsin.

Vaihtoehtoisesti AutoCADilla tuotetuilla raudoituspiirustuksille, raudoitteet voidaan myös mallintaa Tekla -malliin, jolloin niistä voidaan tuottaa raudoituspiirustukset sekä myös raudoitusluettelot. Olettavaa on, että raudoituspiirustuksien teko Teklalla lisää elementtipiirustuksien tekokustannuksia.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia raudoituspiirustuksien ja raudoitusluetteloiden luomista Tekla Structures -ohjelmalla. Tutkimuksen tuloksia voidaan verrata SRT:n aiempaan tekoprosessiin, jolloin raudoituspiirustukset tuotettiin AutoCADilla. Tuloksien pohjalta voidaan arvioida raudoituspiirustuksien tekokustannuksia sekä raudoitusluetteloiden tuomia lisäkustannuksia. Pyrkimyksenä on saada numeraalisia aika-arvioita, joiden perusteella voidaan arvioida raudoitteiden mallintamisen vaatimia resursseja. Opinnäytetyön perustana on aiemmat SRT:lle tehdyt opinnäytetyöt.

1.2 Insinööritoimisto SRT Oy

Insinööritoimisto SRT Oy on Kuopiossa toimiva noin 20 työntekijän rakennesuunnittelutoimisto. Insinööritoimisto SRT Oyn päätoimiala on rakennesuunnittelu sekä lisäksi kehitys- ja tutkimustoiminta. Insinööritoimisto SRT Oy on toiminut alalla lähes 40 vuotta. SRT:llä on runsaasti kokemusta sekä Autodesk AutoCADin sekä Tekla Structuresin hyödyntämisestä rakennesuunnittelussa. Kuitenkaan seinäelementtien raudoituspiirustuksien tekemistä Teklalla ei ole juurikaan tutkittu.

2 SEINÄELEMENTTIPIIRUSTUKSIEN TEKEMINEN

2.1 Opinnäytetyön perusta

Opinnäytetyön lähtökohtaisena oletuksena on, että raudoituspiirustuksien teko Tekla Structures -ohjelmalla lisää seinäelementtien elementtipiirustuksien tekoprosessin työkuormaa ja aiheuttaa siten lisäkustannuksia verrattuna aiempiin toimintapoihin. Käytännön työssä on todettu raudoituspiirustuksien teko AutoCADilla huomattavasti kannattavammaksi verrattuna Teklaan. Kuitenkin mikäli elementtitehtaat vaativat elementtipiirustuksiin raudoitusluetteloita, on tällöin oletettavasti kannattavinta tehdä raudoituspiirustukset Teklalla, koska raudoitusluetteloiden teon Teklalla arvioidaan olevan huomattavasti tehokkaampaa verrattuna käsin tekemiseen. Opinnäytetyön keskeisin tavoite on selvittää raudoitusluetteloiden aiheuttamat lisäkustannukset, kun raudoitukset mallinnetaan Teklalla.

2.2 Elementtipiirustukset

Teklan seinäelementtien piirustukset tehdään pääosin kloonaamalla Cast unit drawing -piirustuksina. Kloonaaminen tarkoittaa piirustuksen asetusten kopiointia elementistä toiseen. SRTn kloonausprosessia ja elementtipiirustuksia on käsitelty Olli Toikkasen opinnäytetyössä Yrityskohtaiset piirustusohjat Sandwich- ja väliseinäelementeille, 2019. Kloonaamisen ansiosta piirustuksen tekoprosessia ei tarvitse aloittaa kokonaan alusta vaan piirustusominaisuudet voidaan kopioida elementistä toiseen. Yleensä piirustuksien kloonaaminen ei kuitenkaan onnistu täydellisesti johtuen kopioinnin lähteenä ja kohteena olevien elementtien eroavaisuuksista. Kloonaamisen jättämät puutteet on korjattava manuaalisesti.

Teklaan on mahdollista luoda omia piirustusohjia eli layouteja. Insinööritoimisto SRT Oylla on käytössään omat elementtipiirustusohjat, joiden tekoprosessi käydään läpi Toikkasen opinnäytetyössä. Tämän opinnäytetyön tutkimusvaiheessa käytetään SRTn omia piirustusohjia, jotta elementtipiirustukset olisivat SRTn vaatimusten ja tyylin mukaisia. Seinäelementtien piirustusohjaan on lisätty template -ominaisuuksina valutarvikeluettelo, raudoitusluettelo, suunnittelun lähtötiedot, tuotetiedot ja nimiöt.

2.3 Raudoituspiirustukset

Aiemmin SRTn periaatteena on ollut tuottaa raudoituspiirustukset periaatekuvina AutoCADilla. Raudoituspiirustukset on pyrittävä tuottamaan niin, että ne noudattavat mahdollisimman hyvin SRTn standardeja. Elementtipiirustuksia tehtäessä on pyrittävä noudattamaan Toikkasen opinnäytetyössä määriteltyjä periaatteita.

SRTn periaatteiden mukaisesti raudoitussivulla olevat raudoitteet on pyrittävä esittämään ryhmissä mahdollisimman yksinkertaisesti, jotta piirustuksia olisi helpompi tulkita. Yleensä kaikissa yksinkertaisissa elementeissä, elementtien raudoitukset on jätetty mallintamatta kokonaan, kun raudoituspii-

rustukset on tehty AutoCADilla. Usein myös vain pääteräkset mallinnetaan ja loput raudoitukset esitetään AutoCADin periaatepiirustuksilla. Raudoitusten mallintaminen voi tehdä mallista raskaamman, jolloin mallin toiminta saattaa hidastua. (Toikkanen, 2019)

Raudoituspiirustusten laadussa AutoCADin ja Teklan välillä ei ole havaittu suuria eroavaisuuksia, tosin ne ovat ulkonäöllisesti hieman erilaisia. AutoCADilla tehtyjä periaatepiirustuksia voidaan yleensä hyödyntää useassa ellei kaikissa seinäelementissä. Tällöin säästetään aikaresursseja, kun raudoitusperiaatepiirustukset täytyy piirtää vain kerran. Arvioiden mukaan raudoituspiirustusten tekeminen Teklalla on huomattavasti työläämpää verrattuna AutoCADiin, sillä raudoitukset täytyy mallintaa ensin Tekla malliin.

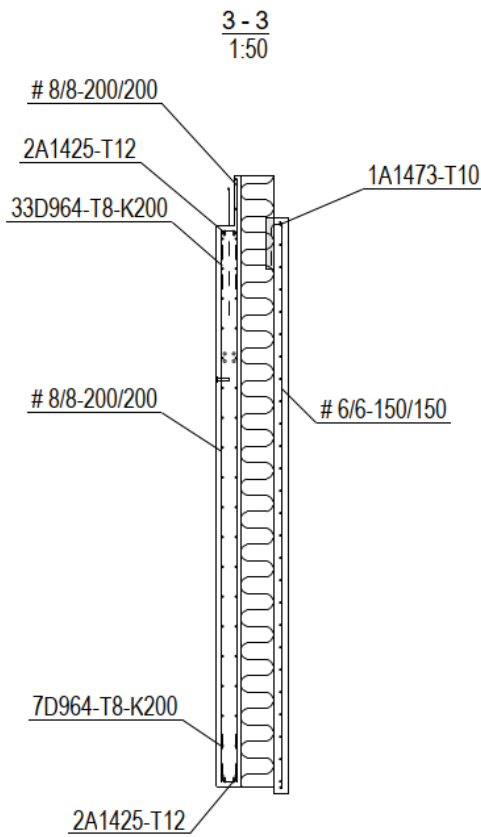
Lisäksi on huomioitava, että voidakseen tuottaa tarkkoja piirustuksia Teklasta, on mahdollista, että seinäelementit täytyy mallintaa tarkemmin, koska tuottaessa periaatepiirustukset AutoCADilla kaikkia yksityiskohtia ei tarvitse mallintaa tarkasti. Esimerkiksi Teklalla tehtävissä raudoituspiirustusten detaljeissa näkyvät osat, kuten viisteet ja karmipuut on mallinnettava tarkasti sellaisina, kun ne todellisuudessa ovat tai ne on esitettävä jollain muulla tavalla elementtipiirustuksissa. Yksi tapa on esittää yksityiskohdat, kuten viisteet AutoCADilla tehdyillä periaatepiirustuksilla, mutta tällöin on huomioitava, että esimerkiksi raudoitusdetaljeissa viiste puuttuu. Tästä johtuen elementtipiirustuksissa on tarkasti ilmaistava, minkä detaljin mukaan toimitaan.

Tarvittavien raudoitusdetaljien määrä riippuu elementin tyypistä. Vähintäänkin elementistä on tuotettava yksi pysty- sekä vaakadetalji. Ennen kaikkea on tärkeää, että detaljeissa esitetään ikkuna- ja oviaukkojen raudoitukset. Lisäksi detaljit on esitettävä kaikista tärkeistä yksityiskohdista. Raudoitusdetaljeissa tulee esittää kaikkien seinän raudoitusten sijainnit.

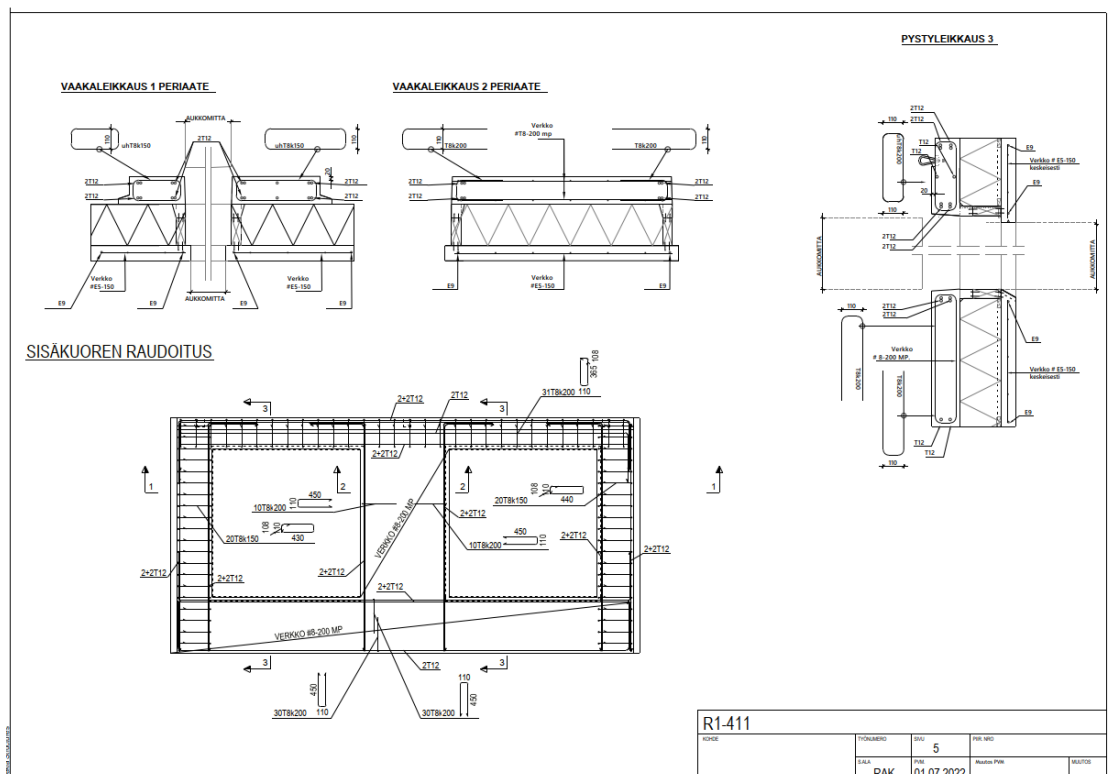
Minulla meni yhden raudoitusperiaatepiirustuksen (KUVA 1) tekoon aikaa noin 45 minuuttia. Teklalla itse detaljin tekoon menee aikaa vain muutama minuutti, kuitenkin ennen detaljien ottamista on mallinnettava itse raudoitukset. Mikäli seinäelementeissä ei ole suuria rakenteellisia eroja samoja periaatepiirustuksia voi käyttää useissa elementeissä. Lisäksi usein vanhoja piirustuksia on helppo soveltaa, mikäli tarvitsee piirtää uusia raudoitusperiaatepiirustuksia.

Raudoituspiirustusten tulisi sisältää ainakin:

- Raudoitusluettelot
- Verkot
- Teräksien tyypit ja mitat
- Jatkospituudet
- Täsmentävät tekstit
- Tarvittavat detaljit
- Mahdolliset tilaajan toiveet



KUVA 1. Teklalla tehty raudoituspääty. (Savolainen 2023)



KUVA 2. Raudoituspääty esimerkki, detaljit tehty AutoCADilla (Savolainen 2023)

2.4 Raudoitusluettelot

Raudoitusluettelosta löytyy keskitetysti tieto elementin valmistukseen tarvittavista raudoitteista. Raudoitusluetteloiden ansiosta elementtitehtaat voivat tilata halutunlaisia raudoitteita halutun määrän. Raudoitusluettelot myös nopeuttavat elementin valmistusprosessia, sillä elementin valmistajien on helpompi kerätä tarvittavat raudoitteet.

Raudoitusluetteloa varten raudoitukset täytyy mallintaa tarkasti seinäelementtiin todellisilla mitoilla. Yleensä kun raudoitusluetteloita ei ole elementtipiirustuksessa, esimerkiksi pieliteräksien pituuksia ei ole ilmoitettu tarkasti.

Raudoitusluettelon sisältö ja tyyli määräytyy elementtipiirustuksen layoutissa olevan Templaten perusteella. Raudoitusluettelon templatea on mahdollista muokata tai layoutiin voidaan tarvittaessa luoda ja lisätä kokonaan uudenlainen raudoitusluettelo. Raudoitusluettelo etsii formuloiden eli kaavojen perusteella raudoituksien tiedot Tekla -mallista. SRTn toimintamallin mukaisesti tässä opinnäytetyössä käytettiin SRTn piirustusohjelman mukaista raudoitusluettelo -templatea.

Raudoitusluettelon tulisi sisältää ainakin:

- Raudoituksien lukumäärät
- Teräslaadut
- Raudoituksien halkaisijat
- Raudoituksien painot
- Raudoituksien taivutusmitat

RAUDOITELUETTELO														KOMMENTTI
RAUDOITTEET				D [mm]	L [mm]	dL [mm]	PAINO YHT [kg]	TAIVUTUSMITAT [mm]						
TYYPPI	NRO	LKM	LAATU					a	b	c	d	e	u	v
XB	30	46	B500B	8	860		15.6	200	160	210	350			36
D	36	18	B500B	8	920		6.5	400	160	400				36
D	37	78	B500B	8	900		27.7	400	140	400				36
U	103	21	B500B	8	2100		17.5	108	850	146				36
A	104	4	B500B	12	2670		9.5	2670						
A	112	3	B500B	12	6970		18.6	6975						
A	146	4	B500B	12	6950		24.7	6955						
A	147	2	B500B	12	4030		7.2	4030						
D	148	2	B500B	16	7800		24.7	758	6917	199				60
B	149	2	B500B	12	1340		2.4	156	1221			90		60
U	170	17	B500B	8	1300		8.8	108	435	160				36
U	171	17	B500B	8	990		6.7	108	280	160				36
A	176	2	B500B	16	3400		10.8	3407						
B	177	2	B500B	16	2380		7.5	1209	1209			90		60
A	178	6	B500B	12	3400		18.2	3407						
B	179	2	B500B	12	2380		4.2	1207	1207			90		60
B	180	4	B500B	16	2380		15.0	1209	1209			90		72

RAUDOITTEIDEN KOKONAISPAINO [kg]: 225.6

KUVA 3. Esimerkki Teklan raudoitusluettelosta. (Savolainen 2023)

TYYPPI tarkoittaa raudoituksen tyyppiä. Tyyppi A tarkoittaa pieliteräksiä ja tyyppi B nurkkaurdoituksia. Tyyppi D tarkoittaa hakoja ja U Rebar Groupilla mallinnettuja umpihakoja. XB on taas konsolin haka-urdoitus.

NRO on Tekla -mallista tuleva raudoituksen juoksevanumero, jonka perusteella jokainen raudoite voidaan tunnistaa. LKM tarkoittaa raudoitusten lukumäärää. Laatu tarkoittaa materiaalia eli mitä rautaa raudoitukset ovat. D tarkoittaa raudoituksen halkaisijaa ja L pituutta. Taivutusmitat määräytyvät Teklan Suomi -ympäristön Rebar schedule config.inp -tiedoston perusteella. A, b, c, d ja e ovat raudoituksen taivutusmittoja aakkosjärjestyksessä. (Tekla 2023)

Lisäksi myös tarvittaessa myös verkoista voidaan luoda verkkoluettelo. Kuitenkin verkot voidaan myös esittää esimerkiksi valutarvikeluettelossa.

VERKKOLUETTELO						
NRO	LKM	LAATU	KOKO	NIMI	kg/KPL	kg/YHT
245	1	B500A	8-200 4020x4860	MESH	62.7	62.7
246	1	B500A	8-200 4020x4860	MESH	66.2	66.2
VERKKOJEN KOKONAISPAINO [kg]:						128.9

KUVA 4. Verkkoluettelo (Savolainen 2023)

2.5 Raudoituspiirustusten tekeminen

Elementtipiirustuksen tekoprosessiin kuuluu elementin mallinnus ja elementtipiirustuksen teko. Raudoituspiirustusten tekoprosessiin Teklalla kuuluu raudoitusten mallinnus sekä detaljien teko.

Seinäelementit mallinetaan Teklaan, jonka jälkeen niihin lisättiin varustelut kuten ansaat, nostolenkit, kiinnitykset, vemot sekä muut tarvittavat osat.

Kun raudoitusdetaljit on tehty AutoCADilla perusperiaate on ollut, että elementin merkittävimmät raudoitukset mallinetaan malliin ja loput raudoitukset esitetään AutoCADin periaatepiirustuksina. Yleensä elementin raudoituspiirustuksen edestäpäin otettu naamakuva tuotetaan Teklalla ja detaljit lisätään piirustukseen referenssinä. Elementtipiirustukset tehdään Cast Unit drawingina klonamalla, jonka jälkeen elementtien mittapisteen ja tiedot muokataan kohdilleen.

2.6 Aiemmat työskentelyprosessit

Työskentelin kesällä 2022 4 kuukauden ajan Insinööri-toimisto SRT Oyllä työharjoittelijana. Tuolloin tein seinäelementtien elementtipiirustuksia, joiden raudoituspiirustukset oli tehty Autodesk AutoCAD -ohjelmalla. Tuolloin kirjasin ylös Alisa -projektinhallintaohjelmaan eri projektivaiheisiin käyttämäni työtunnit.

Aiempaa työprosessia ja siihen liittyviä tilastoja voidaan epäsuorasti verrata uuteen työprosessiin, jossa raudoituspiirustukset tuotetaan Teklalla. Tämän vuoksi opinnäytetyön tutkimusvaiheessa sama tekoprosessi on pyrittävä toistamaan mahdollisimman samanlaisena opinnäytetyön tutkimusvaiheessa. Erona aiemmasta prosessista poiketen, kaikki raudoitukset mallinetaan Teklaan, jolloin AutoCADin raudoitusperiaatekuvat korvattiin Teklasta otetuilla leikkauskuvilla. Lisäksi rakennuskohteen ja seinäelementtien välillä on eroavaisuuksia, jonka vuoksi tilastoja ei voida pitää suoraan verrannollisina. Kuitenkin tilastojen pohjalta voidaan arvioida aiemman AutoCADin raudoitusperiaatepiirustuksiin perustavaa tekoprosessia verrattuna Teklan raudoituspiirustuksiin perustavaa tekoprosessiin.

Silloisen rakennuskohteen seinäelementtipiirustuksien tekoon käytettiin niin sanottua hybridimallia, jossa Tekla -malliin mallinnettiin vaan merkittävimmät raudoitukset. Teklalla tuotetuissa raudoituspiirustuksissa esitettiin vain nämä mallinnetut raudoitukset. Loput raudoitukset esitettiin AutoCADilla tuotetuilla raudoitusperiaatepiirustuksilla.

3 RAUDOITUSTEN MALLINNUKSEKSI

Ennen raudoitusten mallintamista on mallinnettava kohteen seinäelementit ja niihin liittyvät elementit kohtaiset varustelun osat kuten nostolenkit, kiinnityslevyt ja vemot. Raudoitusten mallintamisessa voidaan hyödyntää useita Tekla Structuresin mallinnustyökaluja. Mallinnettaessa raudoituksia, on pyrittävä käyttämään tarkoitukseen mahdollisimman sopivaa ja tehokasta työkalua. Raudoitustyökaluja voidaan myös kehittää eteenpäin mallintamistehokkuuden lisäämiseksi.

Mallinnustehokkuus on riippuvainen useasta tekijästä, kuten rakennuskohteesta. Oletettavaa on, että kohde, jossa on paljon samankaltaisia seinäelementtejä on huomattavasti nopeampaa raudoittaa verrattuna kohteeseen, jossa on paljon erilaisia seinäelementtejä. Mallinnustehokkuuden kannalta on kannattavaa pyrkiä välttämään erilaisia muuttujia, esimerkiksi raudoitusperiaatteiden muutokset lisäävät työkustannuksia.

3.1 Elementtien tiedot

Mallin ja elementtipiirustuksien toiminnan kannalta rakennusosille on annettava erilaisia tietoja. Raudoituksille on annettava ainakin class ja name -arvot. Lisäksi raudoituksille on lisättävä vähintään halkaisija sekä teräsluokka. Tekla Structuresin class ominaisuus tarkoittaa luokkaa, johon rakenneosa kuuluu, name on puolestaan rakenneosan nimi. Lisäksi seinäelementille on annettava elementtintunnus eli prefix. Näitä rakenneosien arvoja voidaan hyödyntää muun muassa mallin ja piirustuksien asetuksissa ja suodattamisessa.

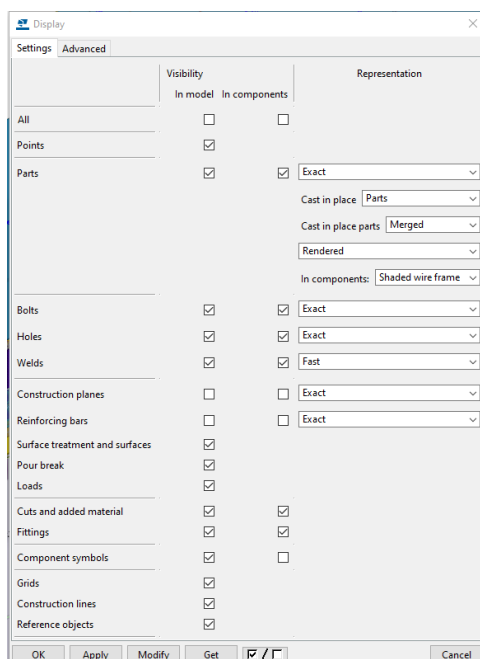
SRTn ohjeistukset rakenneosien nimeämisestä on annettu SRTn ONT – Nimeämisohje SRT Oy (2018) -teoksessa, joka puolestaan perustuu Tekla Structuresin Suomi -ympäristön numerointisuositukseen. SRTn nimeämisohjeen mukaan raudoitusten class -numeroksi on annettava: 500 pääteräksille, 501 hakoille, 502 ripustusteräksille, 503 nostolenkeille, 504 tartunnoille ja 505 jännepunoksille.

3.2 Raudoitusten piilottaminen Tekla mallissa

Tekla -mallin toiminta saattaa hidastua raudoitusten mallintamisesta johtuen. Raudoituksista johtuen mallin koko kasvaa raskaammaksi, jolloin ohjelman jumittumisen ja kaatumisen riski kasvaa. Mikäli raudoitukset ovat näkyvissä, myös erilaisten näkymien lataaminen hidastuu. Mitä suurempi rakennuskohde on kyseessä ja mitä enemmän raudoituksia mallinnetaan, sitä suurempi vaikutus, sillä on mallin toimintaan.

Raudoitusten piilottaminen voi tulla tarpeen, jotta mallin toiminta nopeutuu ja helpottuu. Raudoitusten piilottamisen etuna on ladattavan sisällön pieneminen. Raudoituksia voidaan piilottaa monella eri tavalla View Propertiesin kautta. Yksinkertaisin tapa on piilottaa Display -asetuksien kautta kaikki mallin raudoitukset, mutta tämä tapa piilottaa myös kaikki raudoituksia sisältävät osat kuten

nostolenkit. Raudoitukset voidaan myös piilottaa esimerkiksi name tai class -arvojen perusteella. Mikäli raudoituksille on annettu ONT – Nimeämishoje Insinööritoimisto SRT Oy mukaiset class -numerot on kaikista yksinkertaisin tapa piilottaa halutut raudoitustyytit classin perusteella.



KUVA 5. Raudoitukset ovat pois päältä kun Reinforcing barsin kohdalla ei ole rukseja. (Savolainen 2023)

-	(Category	Property	Condition	Value)	And/...
<input checked="" type="checkbox"/>	-	Reinforcing bar	Class	Equals	503	-	And

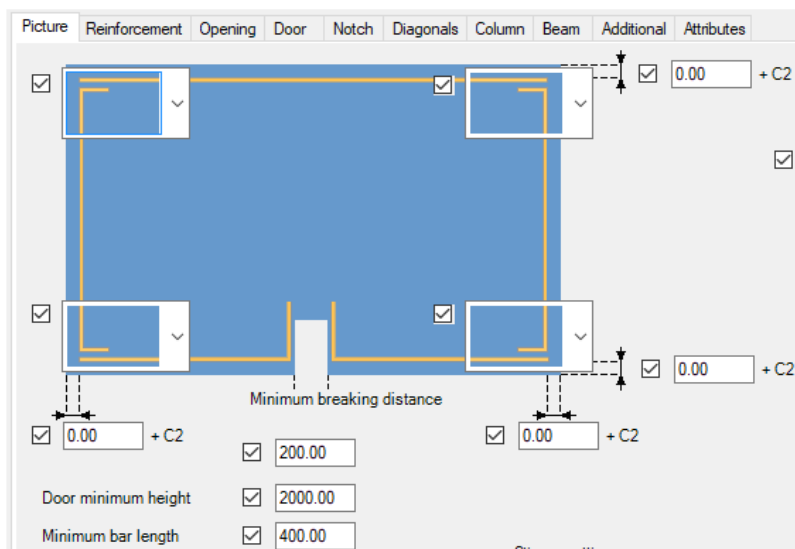
KUVA 6. View Filter näyttää ainoastaan raudoitukset, joiden class on 503 eli nostolenkit. (Savolainen 2023)

3.3 Wall Panel Reinforcement

Wall Panel Reinforcement on seinien raudoituksien mallintamiseen tarkoitettu työkalu. Wall Panel Reinforcement -työkaluun voidaan asettaa raudoituseriaatteet, joiden perusteella seinä raudoitetaan automaattisesti. Samoja periaatteita voidaan hyödyntää useissa seinissä ilman, että työkalun asetuksia tarvitsisi suuresti muuttaa. Wall Panel Reinforcement soveltuu erinomaisesti suurimpaan osaan seinäelementeistä, mutta kuitenkin kovin monimutkaisia raudoituksia työkalulla ei pysty mallintamaan. Esimerkiksi yksittäisten rautojen siirtäminen tai muokkaaminen on melko helppoa, mutta vaatii yleensä manuaalista säätämistä. Wall Panel Reinforcement on yleensä tehokkain työkalu seinäelementtien mallinnukseen, lisäksi sen puutteita voi täydentää muilla työkaluilla kuten Stirrup Reinforcementilla tai Rebar Groupilla.

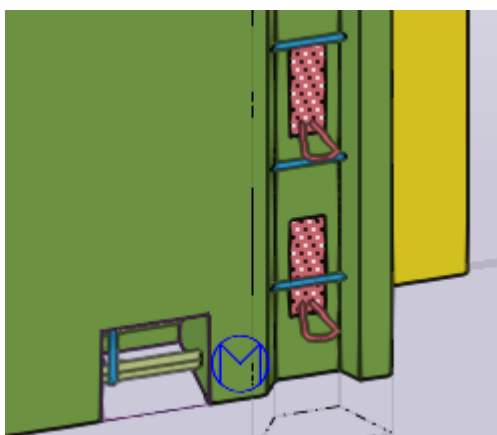
Wall Panel Reinforcementin Opening -välilehdellä olevilla asetuksilla pystyy huomioimaan seinän aukkojen vaikutuksia raudoituksiin. Aukkojen jokaiselle sivulle voidaan säätää erikseen haat sekä pysty- tai vaakauraudoitukset. Kaikkien raudoituksien ominaisuuksia kuten halkaisija, pituus, ankkurointi leveys, taivutuskulma, jakoväliä voi muokata erikseen. Door -välilehdeltä pystyy säätämään ovien raudoituksia, samoilla periaatteilla kuin muissa aukoissa. Column ja Beam -välilehdiltä pystyy

säätämään seinän reuna-alueille aukkojen ympärille tulevia raudoituksia. Työkalulla pystyy valitsemaan umpihakojen tyyppin neljästä eri vaihtoehdosta.



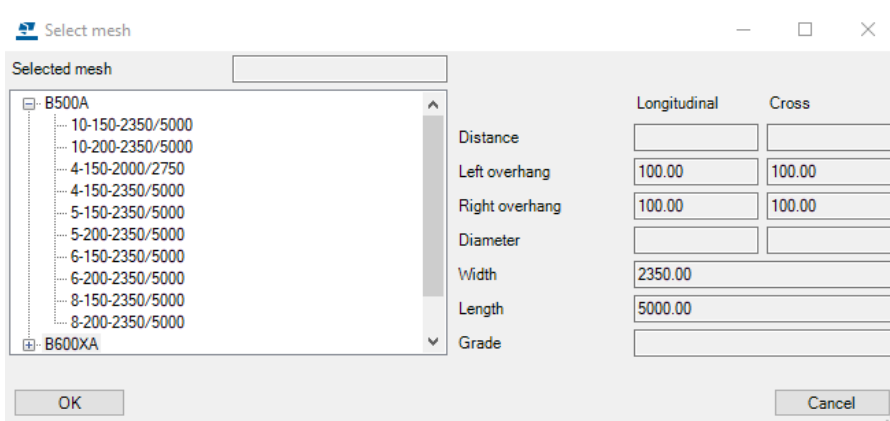
KUVA 7. Wall Panel Reinforcement -työkalu (Savolainen 2023)

Wall Panel Reinforcementin toiminta riippuu suuresti elementistä ja siitä miten se on mallinnettu. Etenkin aukot ja seinien leikkaaminen voi aiheuttaa ongelmia työkalulle. Esimerkiksi, jos elementin paksuus vaihtelee, raudoitukset saattavat olla kooltaan liian suuria ja tulla ulos seinäelementistä. Yksittäisten raudoitusten muokkaaminen on kuitenkin helppoa Select objects in components -valinnalla.

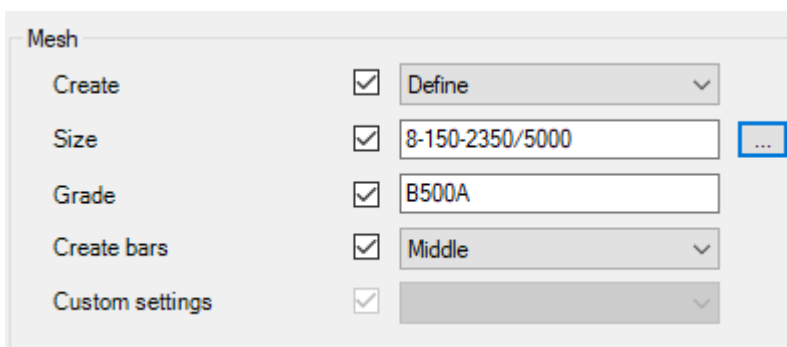


KUVA 8. Seinän päädyn haat tulevat läpi seinästä vaarnauran kohdalla (Savolainen 2023)

Työkalulla pystyy myös automaattisesti luomaan verkot Mesh -kohdasta. Verkkojen laadun ja tyylin pystyy valitsemaan Size -kohdasta. Työkalu ottaa automaattisesti huomioon seinän aukot, joihin verkkoja ei tule.



KUVA 9. Wall Panel Reinforcementin verkkovaihtoehdot (Savolainen 2023)

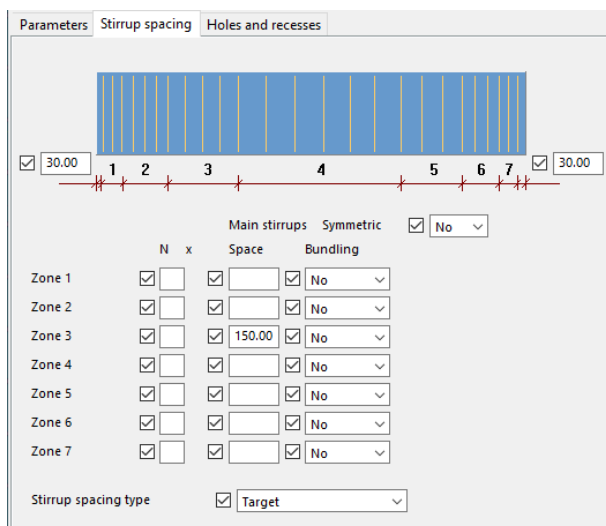


KUVA 10. Verkon (Mesh) luominen (Savolainen 2023)

3.4 Stirrup Reinforcement

Stirrup Reinforcement -työkalu on tarkoitettu palkkien hakaraidoituksien mallinnukseen. Seinäelementeissä Stirrup Reinforcementia voidaan hyödyntää muun muassa umpihakojen mallinnukseen. Mikäli seinäelementissä on elementin kokoon nähden suuria aukkoja, on kannattavinta rautoittaa seinäelementti palkkina, jolloin on kannattavaa käyttää Stirrup Reinforcement -työkalua.

Stirrup -työkalulla umpihaat pystytään mallintamaan tarkemmin ja yksityiskohtaisemmin verrattuna Wall Panel Reinforcementin vastaaviin vaihtoehtoihin. Hakojen jakoväliä on tarvittaessa helppo muokata yksityiskohtaisesti. Haat on myös helppo kopioida elementistä toiseen.



KUVA X11. Stirrup -työkalu (Savolainen 2023)

3.5 Rebar group

Rebar Group on Teklan yksinkertainen raudoitustyökalu. Rebar Group -työkalua hyödynnetään seinäelementeissä tartuntojen tekoon. Erilaisilla työkaluilla mallinnettuja raudoituksia voidaan räjäyttää Rebar Group muotoon, mikä mahdollistaa monipuolisemman muokattavuuden. Rebar Group -työkalulla pystytään vapaasti määrittämään raudoituksen muoto ja sijainti. Teklaan voidaan kehittää uusia työkaluja, jotka hyödyntävät jo olemassa olevia työkaluja kuten Rebar Groupia.

Raudoituksen laatua, halkaisijaa sekä taivutuskulmaa on yksinkertaista muokata. Tarvittaessa rebar groupia voidaan käyttää muiden yksittäisten rautojen mallinnukseen. Rebar group -työkalulla tehtyjä raudoituksia kuten tartuntoja on yksinkertaista kopioida elementistä toiseen. Raudoituksia on myös helppo muokata mallinnuksen jälkeen.



KUVA 12. Rebar groupilla tehdyt lenkit (Savolainen 2023)

4 TUTKIMUSTYÖ

Opinnäytetyön tutkimusvaiheessa tutkittiin seinäelementtien raudoitusten mallinnusta sekä elementtipiirustuksien tekoa ja etenkin raudoituspiirustuksien ja raudoitusluetteloiden tekoa. Tutkimustyö tehtiin suunnittelemalla ja mallintamalla seinäelementtejä Tekla -malliin, josta tuotettiin elementtipiirustukset. Elementtipiirustuksien tekoprosessin eri vaiheet kirjattiin tarkasti ylös ja niiden vaatimat resurssit.

Mahdollisimman tarkkojen tutkimustulosten saamiseksi jaoteltiin seinäelementtien tekoprosessi seuraaviin luokkiin:

- Varustelu ja muut alustavat työt
- Raudoitusten mallinnus
- Piirustuksien tekeminen
- Detaljien tekeminen
- Raudoitusluetteloiden tekeminen

4.1 Mallinnusprosessi

Rakennuskohde, jonne tutkittavat seinäelementit mallinnettiin, on jo olemassa olevan peruskoulun laajennusosa. Kyseessä oleva laajennusosa on pituudeltaan noin 25 metriä ja leveydeltään 15 metriä. Kaksikerroksinen laajennusosa liittyy yhdestä nurkasta jo olemassa olevaan rakenteeseen. Tutkimusvaiheessa mallinnettavia seinäelementtejä oli yhteensä 28 kappaletta noin 150 metrin pituudelta.

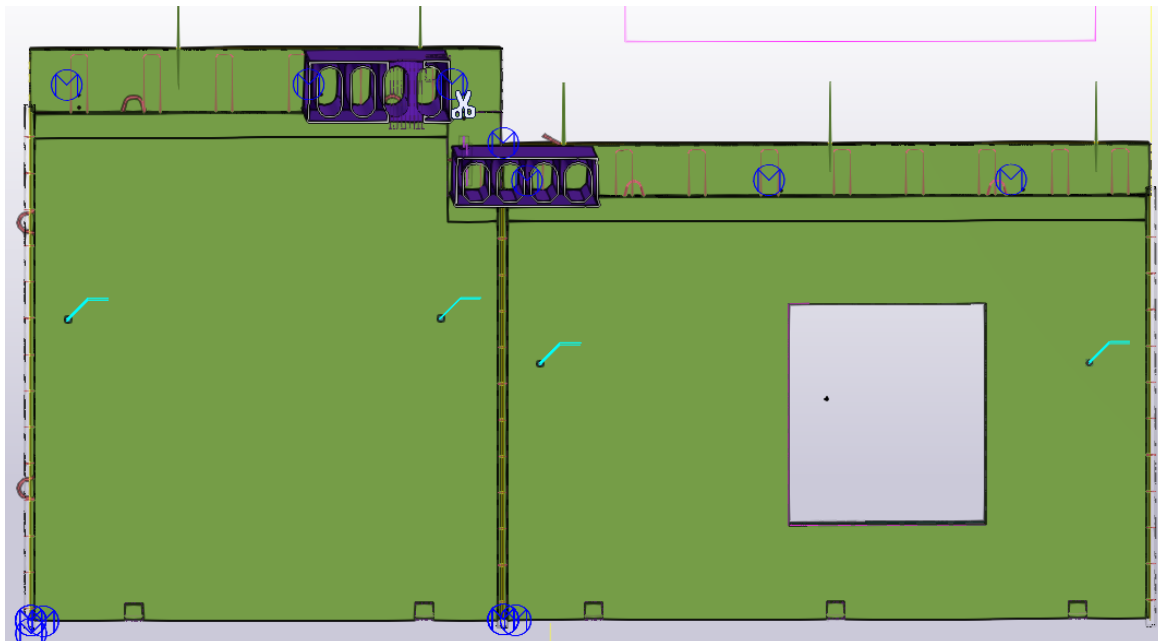
Rakennuskohde on kooltaan suhteellisen pieni, jolloin Tekla -mallin tiedostokoko pysyy maltillisena. Mallinnusprosessin aikana voitiin todeta, että raudoitteiden mallintaminen Teklaan ei merkittävästi vaikuttanut mallin toimivuuteen.

Seinäelementeissä sisäkuorena on 200 millimetriä betonia ja eristeenä 150 millimetriä polyuretaani -eriste. Seinäelementtien päälle rakennetaan ontelolaatosto O40 sekä päätyosaan O50. Lattiapinta ja ontelolaatosto on osittain kahdessa eri tasossa, mistä johtuen seinäelementtien korkeudet vaihtelevat.

Valtaosa seinäelementtien yläpinnoista täytyi loveta, jotta ontelolaatastolle saavutettiin riittävä tukipinta. Lisäksi lähes kaikkiin seinäelementeihin täytyi lisätä konsoli elementin yläpähän, jotta saavutettiin vaadittu tukipinta ontelolaatastolle.

Alemman kerroksen seinäelementit ovet sokkeleiden päällä, ne liitettiin toisiinsa tapeilla. Ylemmän kerroksen seinäelementit tulivat puolestaan alemman kerroksen seinien ja ontelolaataston päälle. Alemman ja ylemmän kerroksen elementit liitettiin toisiinsa spiraloilla. Seinät liitetään toisiinsa vaijerilenkeillä. Seinäelementeissä on vemot, rakennusaikaista tuetaan varten. Seiniin lisättiin myös kaput rakennusaikaisia telineitä varten. Raudoittaessa seinäelementtejä on otettava huomioon seinien va-

rustelut. Raudoitukset on suunniteltava ja mallinnettava siten, että kaikki varustelun osat ja raudoitukset mahtuvat elementteihin. Seinäelementtien raudoitukset suunniteltiin hyväksi käyttäen SRTn raudoitustyökaluja.



KUVA 13. Ontelolaatasto on kahdessa eri tasossa (Savolainen 2023)

Rakennuskohteen mallinnukseen käytettiin Tekla Structures 2022 -ohjelmaa, jossa oli tekoheikkellä uusiin service pack eli service pack 6. Työskentely tapahtui Teklan Finland -ympäristössä. Lisäksi mallissa oli useita SRTn omia lisäosia. Mallinnusprojektissa käytettiin hyväksi SRTn omia työkaluja ja piirustusohjelmia.

Ennen tutkimusvaiheen alkamista seinäelementit oli jo mallinnettu Teklaan Wall Layout -työkalulla. Ikkunat ja ovet oli mallinnettu oikealle paikalleen malliin. Seinäelementtien varustelu oli pääpiirteissään tehty. Seinäelementeille annettiin mallin toiminnan kannalta tarvittavat tiedot, kuten Prefix Number. Prefix Number vaikuttaa elementtien numerointiin. Seinäelementit nimettiin yrityksen nimeämisohjelman mukaisesti.

Rakennuskohteen elementeistä tuotettiin mallielementit, joiden perusteella elementtitehtaat osaavat arvioida elementtien tekoon tarvittavia resursseja. Mallielementeissä määriteltiin pääpiirteissään seinäelementtien rauditusperiaatteet. Mallielementeissä käytettiin AutoCADilla tuotettuja rauditusperiaatepiirustuksia.

Tutkimusvaiheessa seiniin täytyi lisätä raudoitukset, sekä tehdä muokkauksia ja lisäyksiä seinien varusteluun. Seiniin lisättiin verkot, haat, pieliteräkset ja konsolien raudoitukset.

Ensimmäinen seinäelementeistä tuotettu elementtipiirustus kloonattiin mallielementistä. Loput seinäelementtien elementtipiirustukset kloonattiin valmiista piirustuksista. Kloonamisen lähteenä pyrittiin käyttämään mahdollisimman samankaltaisesta seinäelementtiä, jotta kloonaminen onnistuisi mahdollisimman hyvin.

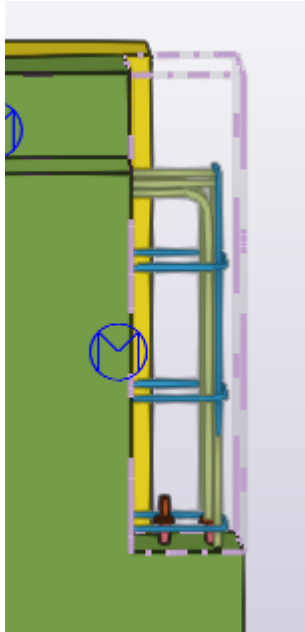
Kun seinäelementtien rauditusdetaljit esitetään AutoCADilla tuotetuilla periaatekuvilla, ei Teklan seinäelementtiä tarvitse mallintaa yksityiskohtaisen tarkasti. Kun raudituspiirustukset tehdään Teklasta leikkauskuvina, on seinäelementti mallinnettava yksityiskohtaisesti tai yksityiskohdat on esitettävä jollain muulla tavalla. Esimerkiksi raudoitteiden sijainteja kolojen kohdalla ei kannata muuttaa, jos ne voidaan esittää elementtipiirustuksissa muilla tavoin, sillä se ei ole resurssien kannalta järkevää.

Käytännön työkokemuksen perusteella on havaittu, että seinäelementtien yksityiskohdat on kannattavaa jättää mallintamatta Teklaan ja esittää ne AutoCADilla tuotetuilla periaatepiirustuksina, jos se on mahdollista. Tutkimusvaiheessa tarpeettomien yksityiskohtien mallintamista Teklaan pyrittiin välttämään, työskentelytehokkuuden nostamiseksi. Mikäli Tekla mallista halutaan tuottaa mahdollisimman tarkkoja piirustuksia seinän yksityiskohdista kuten karmipuista ja viisteitä, on seinäelementit mallinnettava tarkemmin verrattuna tilanteeseen, jolloin karmipuut ja viisteet esitetään muilla tavoin.

Rakennuskohteen seinäelementtien ikkuna- ja oviaukoissa on 10 millimetrin viisteet. Viisteiden esittäminen havaittiin olevan tehokkaampaa AutoCADilla tuotetuilla periaatepiirustuksilla. Yksittäisen periaatepiirustuksen tekoon käytetty aika vastasi pääpiirteissään Teklalla viisteiden mallintamiseen sekä detaljien tuottamiseen käytettävää aikaa. Periaatepiirustuksien tekemissä käytettiin hyväksi aiemmissa rakennuskohteissa tuotettuja periaatepiirustuksia. AutoCADin periaatepiirustuksien etuna on se, että ne kloonautuvat piirustusohjelman mukana elementistä toiseen.

Teklallakin tuotetut detaljit ja leikkauskuvat kopioituvat kloonatessa, mutta usein niiden sijainnit ja mittapisteet saattavat muuttua. Teklalla tuotettujen leikkauskuvien sijainnit ja mittapisteet on tarkistettava aina sekä korjattava käsin. Rakennuskohteessa oli huomioitava, että AutoCADilla tuotettujen viiste -detaljien ja Tekla mallista tuotettujen raudituspiirustuksien leikkauspiirustuksien välillä oli ristiriita, koska viisteitä ei mallinnettu Teklaan. Kun mallista tuotetut leikkauspiirustukset ovat osin puutteellisia tai ristiriitaisia, on elementtipiirustuksiin esitettävä selkeästi, minkä leikkauspiirustuksen perusteella elementti täytyy rakentaa. Kyseisessä rakennuskohteessa naamakuvassa esitettiin selkeästi, että viisteet tehdään AutoCADilla tuotetun periaatepiirustuksen perusteella.

Raudoitukset mallinnetaan Teklaan, jotta niistä saadaan tuotettua rauditusluetteloita. Raudoitteiden sijainteja ei ole kuitenkaan kannattavaa mallintaa yksityiskohtaisen tarkasti malliin, jos se on mahdollista.



KUVA 14. Seinäelementtiä on leikattu Polygon cut -työkalulla. Wall Panel Reinforcement -työkalulla mallinnetut raudoitukset tulevat elementistä läpi. (Savolainen 2023)

4.2 Teklan elementtipiirustukset

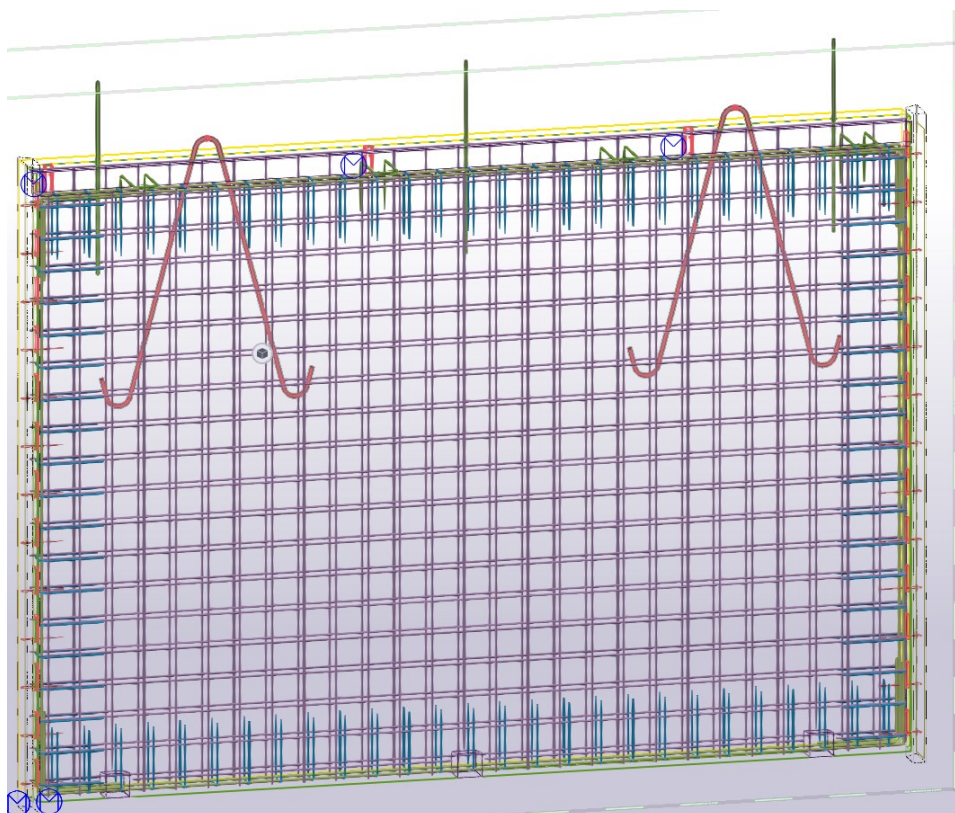
Jokaisesta seinäelementistä tuotettiin neljän A3 kokoiset elementtipiirustukset. Ensimmäisellä sivulla on rauditusluettelo, suunnittelun lähtötiedot ja valutarvikeluettelo. Toisella sivulla on esitetty elementin päämitat. Kolmannella sivulla on esitetty seinäelementin raudituspiirustukset ja viimeinen sivu on varattu mahdollisia sähkömerkintöjä varten.

Elementtipiirustuksien teossa pyrittiin noudattamaan mahdollisimman hyvin SRTn piirustusperiaatteita. Piirustukset pyrittiin tekemään mahdollisimman yhtenäisiksi ja samaa tyyliä noudattavaksi, piirustuksien tarkastamisen helpottamiseksi. Elementtipiirustuksista tuotettiin musta valkoiset tulosteet, joiden viivapaksuudet vaihtelivat SRTn ohjeistuksen mukaisesti värin mukaan.

- 6 kpl elementtejä, joissa on kaksi ikkunaa
- 6 kpl elementtejä, joissa on suuri ikkuna-aukko
- 2 kpl elementtejä, joissa on ovi

4.3.1 Aukottomat elementit

Elementin ympärillä on 2 T12 pääteräkset. Pieliteräksien ympärillä on T8 haat 200 millimetrin jaolla. Aukottomat elementit on helppo raudoittaa Wall Panel Reinforcement -työkalulla. Pääosin Wall Panel Reinforcement työkalu toimi näissä elementeissä todella hyvin eikä raudoituksia tarvinnut juurikaan muokata manuaalisesti. Wall Panel Reinforcement työkalulla tuotettiin kaikki raudoitukset konsoleita ja lenkkejä lukuun ottamatta. Työkaluun asetettiin peruseräaatteet, joilla seinän raudoitukset mallinnettiin. Mikäli seinä on mallinnettu hyvin ja se on riittävän yksinkertainen, työkalu toimii moitteettomasti. Toisaalta, työprosessin aikana havaittiin, että vaarnaurat ja kolot voivat aiheuttaa ongelmia Wall Panel Reinforcementille. Tämän takia raudoituksen mallinnuksen kannalta haasteellisimpia kohtia olivat konsolit, erilaiset kolot ja loveukset. Työkalu mitoittaa automaattisesti elementin päädyissä olevien hakojen koot elementin paksuuden ja työkaluun asetetun minimi betonipeitteen perusteella. Vaarnaurien kohdalla kuitenkin havaittiin, että työkalu ei ota huomioon seinän paksuuden muutosta, jolloin haat olivat kooltaan liian suuria tai pieniä. Tällöin vaarnaurien kohdalla hakojen kokoja ja pieliteräksien sijainteja oli muokattava manuaalisesti.



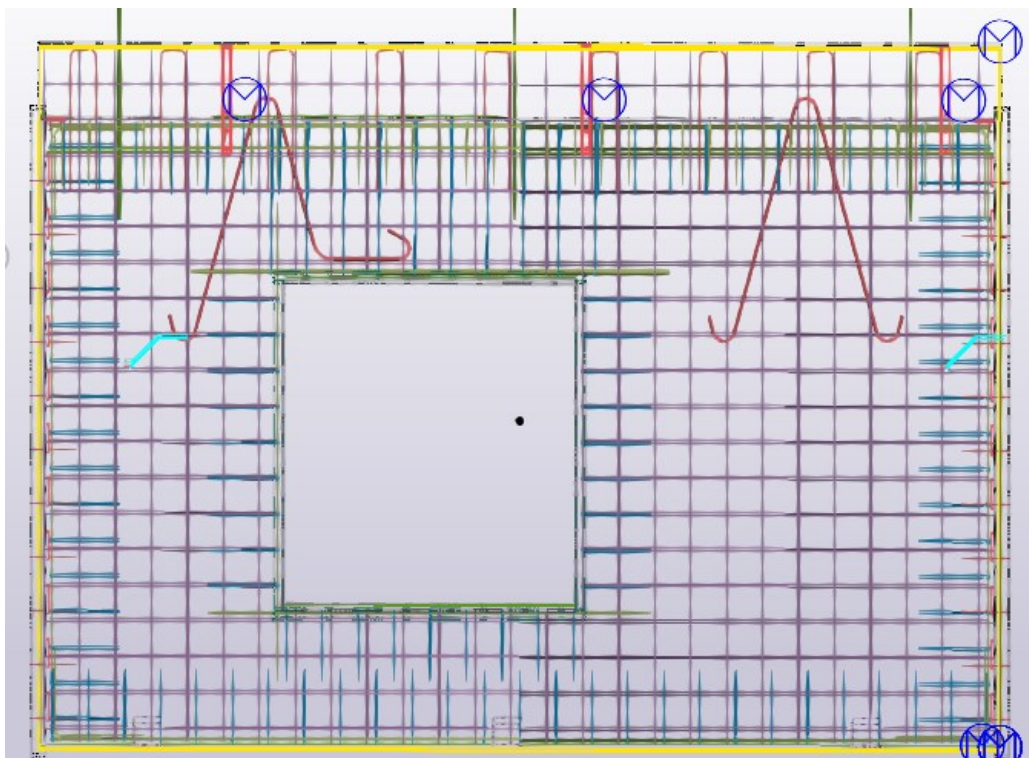
KUVA 16. Aukoton seinäelementti (Savolainen 2023)

4.3.2 Elementit, joissa ikkuna

Elementin nurkkiin laitettiin 2 T12 pääteräkset ja niiden ympärille laitettiin T8 haat 200 millimetrin jaolla. Ikkuna-aukkojen kohdille lisätään umpihaat T8 200 millimetrin jaolla. Ikkunoiden alapintaan ja sivuille lisättiin 2 T12 pieliteräkset. Ikkunan yläpuoliset pieliteräkset olivat elementtikohtaisia, jolloin ne oli muokattava erikseen elementtikohtaisesti, mikä hieman hidasti raudoitusten mallintamista. Eniten aikaa, verrattuna aukottomien elementteihin, raudoitusten mallintamisessa meni ikkunoiden yläpuolisten pieliteräksien muokkaukseen sekä umpihakojen mallinnukseen.

Raudoitukset pyrittiin mallintamaan Wall Panel Reinforcement -työkalulla, aina kun se oli mahdollista. Wall Panel Reinforcement työkalulla mallinnetut ikkunoiden yläpuolella olevat umpihaat aiheuttivat ongelmia raudoituspiirustuksissa ja raudoitusluetteloissa. Tekla ei tunnistanut Wall Panel Reinforcement -työkaluilla luotujen umpihakojen tyyppiä ja taivutusmittoja, jonka vuoksi umpihaat päädyttiin mallintamaan Stirrup reinforcement -työkalulla. Ongelma johtuu umpihakojen kaarevista koukuista, joiden vuoksi raudoitusluettelo ei tunnista raudoitusten tyyppiä. Ongelma voitaisiin myös ratkaista muokkaamalla koukut manuaalisesti Rebar Groupilla. Tämä kuitenkin myös hankaloittaisi Wall Panel Reinforcement -työkalun käyttöä. Huolimattomasti työkalulla tehdyt lisämuutokset voisivat aiheuttaa sen, että umpihakojen muutokset eivät säily. Wall Panel Reinforcementin -työkalulla tehdyt raudoitukset voitaisiin myös räjäyttää, joka kuitenkin rajoittaisi raudoitusten myöhempää muokkaamista. Mikäli umpihaat haluttaisiin tuottaa Wall Panel Reinforcement -työkalulla, voidaan myös raudoitustyyppien nimeämistä muokata Teklan Suomi -ympäristön tiedostoista. Raudoitusluettelon ja elementtipiirustuksen voisi myös korjata manuaalisesti, mutta se ei ole laajassa mittakavassa kannattavaa.

Raudoitusten muokkaamisen parantamiseksi Stirrupilla tuotetut umpihaat räjäytettiin Rebar Group -muotoon. Ikkunoiden yläpuoliset umpihaat kopioitiin elementistä toiseen, mikä oli nopeampaa kuin raudoitusten mallintaminen uudestaan. Rakennuskohteen ikkunoiden korkotasot seinäelementeissä olivat pääosin toistuvia, mikä helpotti raudoitusten kopiointia. Raudoitettavan korkeuden pysyessä samana täytyi ainoastaan muokata kopioitujen umpihakojen määrää. Mallinnettaessa raudoituksia havaittiin, että eniten ajallisia resursseja vaativat elementit, joissa raudoitusten tyypit vaihtelivat suuresti johtuen siitä, että tällaisiin elementteihin jouduttiin muuttamaan raudoitusperiaatteet käsin. Lisäksi muutokset umpihakojen koossa vaativat aikaresursseja.

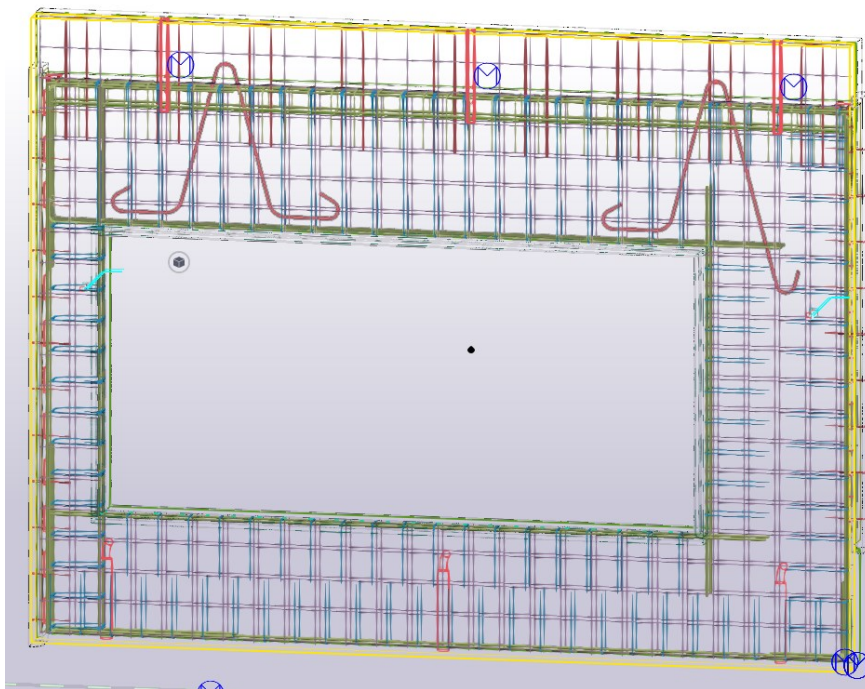


KUVA 17. Yksiaukkoinen seinäelementti (Savolainen 2023)

4.3.3 Elementit, joissa suuri ikkuna-aukko

Osassa seinäelementeistä ikkuna-aukko on elementin kokoon nähden merkittävän suuri, että ne tarvitsevat muihin ikkunallisiin elementteihin nähden vahvemmat raudoitukset. Ikkuna-aukkojen suuren koon vuoksi, raudoittaessa näitä elementtejä oli käytettävä palkkien rauditusperiaatteita. Sienien rauditusperiaatteiden mukaisesti reunoille mallinnettiin pääteräkset ja umpihaat sekä ikkunoille pieliteräkset ja haat. Lisäksi useimmat elementit vaativat suurien aukkojen vuoksi kuljetustukia, joita ei kuitenkaan mallinnettu Teklaan vaan ne lisättiin erikseen raudituspiirustuksiin. Ikkunoiden ympärille mallinnettiin haat sekä pieliteräkset hyödyntäen Rebar Groupia, Wall Panel Reinforcementia sekä kopioimista aiemmista elementeistä.

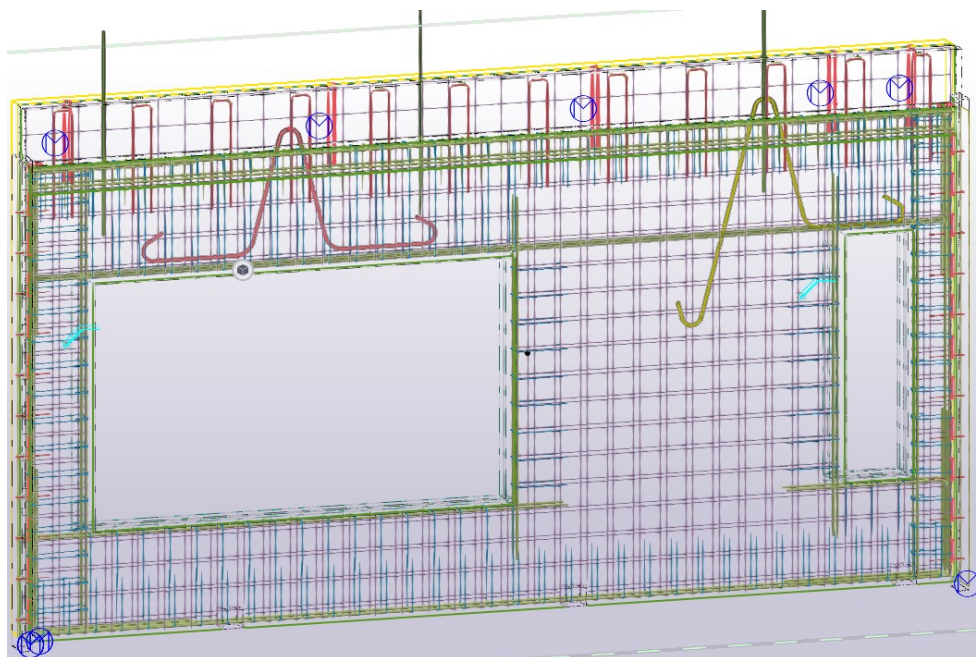
Umpihakojen muokkaaminen ja raudoituksien määrän ja paksuuden vaihtelut olivat merkittävimmät haasteet näiden elementtien raudoittamisessa. Raudoituksien määrää ei pysty suoraan muuttamaan Wall Panel Reinforcementin asetuksiin vaan ne oli muokattava manuaalisesti, esimerkiksi pieliteräksien määrän ja koon muutokset vaativat paljon aikaresursseja. Lisäksi elementin sivunurkissa olevat umpihaat vaativat aikaresursseja, sillä niille oli asetettava omat rauditusperiaatteet, joita ei ollut vielä tullut vastaan aiemmissä elementeissä.



KUVA 18. Suuri ikkunaukko. Ikkunan yläpuolella umpihaat (Savolainen 2023)

4.3.4 Elementit, joissa kaksi ikkuna

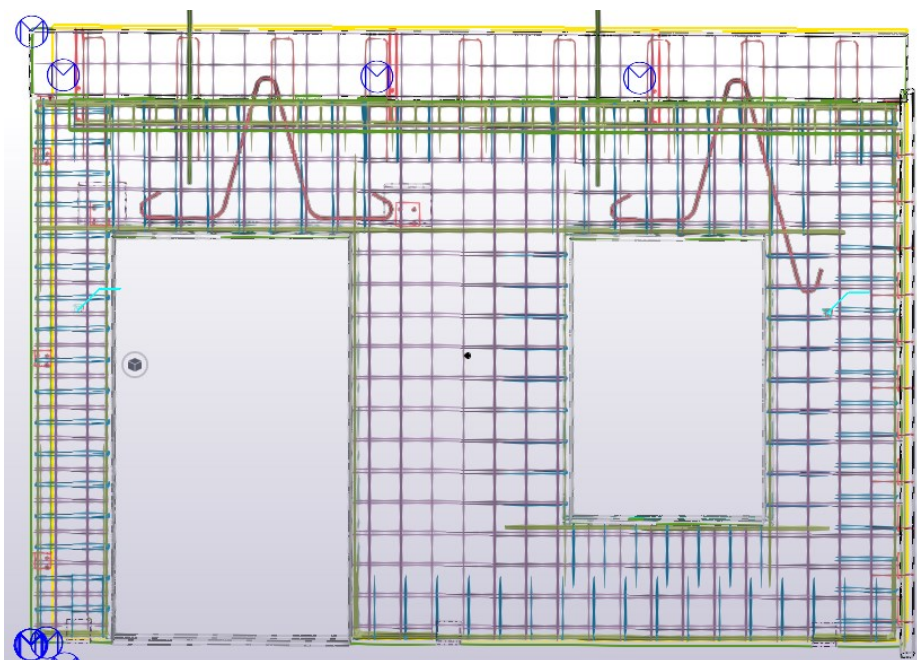
Kaksiaukkoisten elementtien mallintamiseen käytettiin samanlaisia periaatteita kuin yksiaukkoisiin elementteihin eli aukkojen ympärille sekä nurkkiin mallinnettiin haat ja pieliteräkset. Wall Panel Reinforcement -työkalun rauditusperiaatteet soveltuivat hyvin kyseisiin elementteihin. Kuitenkin verrattuna yksiaukkoisiin elementteihin, kaksiaukkoiset elementit olivat hieman haasteellisempia raudittaa. Raudoitteet vaativat kuitenkin enemmän manuaalista muokkaamista verrattuna aiemmin tehtyihin elementteihin, joissa on vain yksi aukko. Umpihaat mallinnettiin Rebar Group -työkalulla. Yksiaukkoisiin elementteihin verrattuna, enemmän aikaa vaadittiin umpihakojen määrien sekä sijaintien muokkaamiseen aukkojen yläpuolella sekä elementin nurkissa. Lisäksi raudoituksien pituuksia jouduttiin usein muokkaamaan manuaalisesti.



KUVA 19. Iso- ja pieni-ikkuna (Savolainen 2023)

4.3.5 Elementit, joissa ovi ja ikkuna

Elementtien raudoituksessa käytettiin samankaltaisia periaatteita kuin kaksiaukoissa elementeissä. Kuitenkin Wall Panel Reinforcement työkaluun oli lisättävä oviaukon rauditusperiaatteet, mikä hidasti mallinnusprosessia. Raudoitukset oli helppo mallintaa, mutta manuaalisesti muokattavia yksityiskohtia oli melko paljon. Hakojen mallintamiset veivät eniten aikaa. Lisäksi rakennusprosessin aikana oviaukkojen kokoihin ja sijainteihin tuli useita muutoksia. Siitä johtuen oviaukkojen raudoituksia oli muokattava useasti, jolloin rauditusperiaatteet saattoivat muuttua. Raudituspiirustukset olivat rakennuskohteen työläimmät suuresta sisällöstä johtuen. Rakennuspiirustuksien siistiminen vaati hieman enemmän aikaa verrattuna muihin elementteihin.



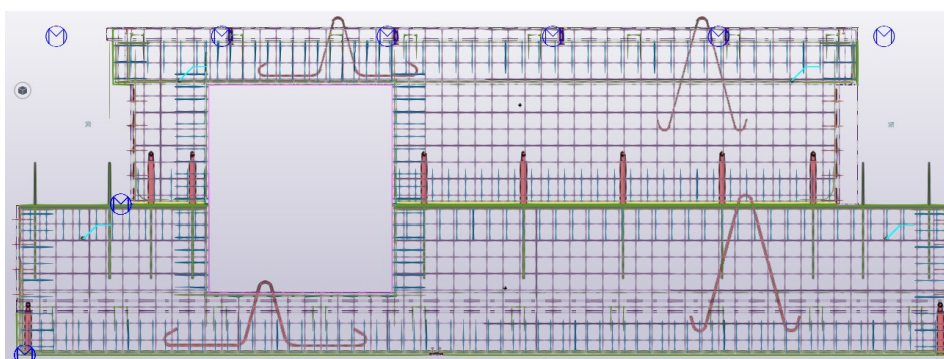
KUVA 20. Oviaukko ja ikkuna (Savolainen 2023)

4.3.6 Oviaukko

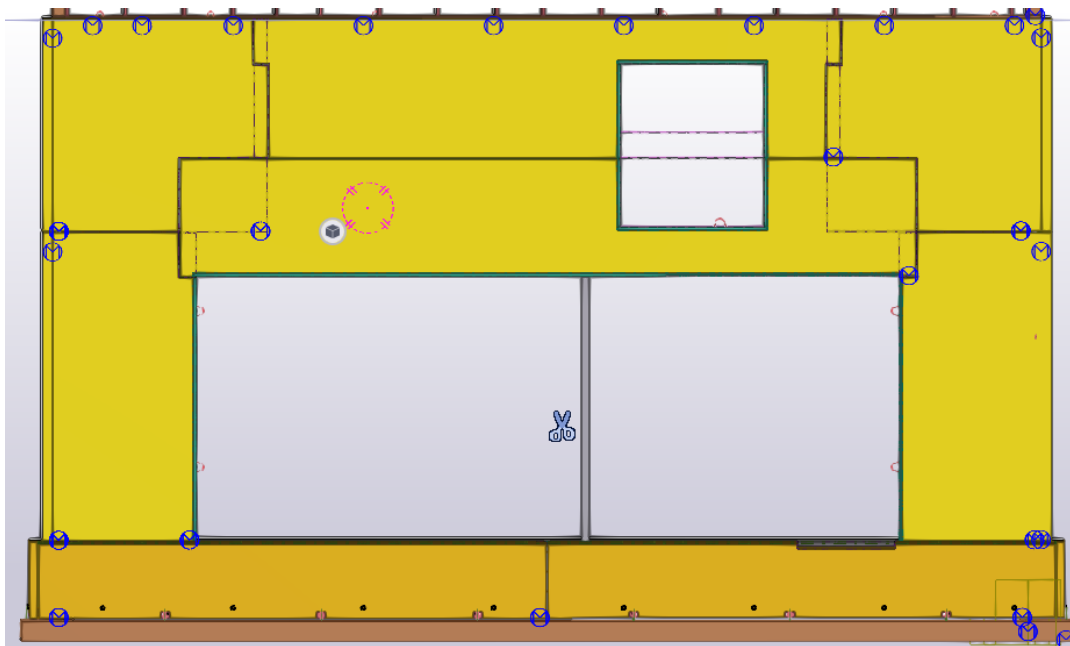
Alkuperäisissä suunnitelmissa rakennuskohteen päädyssä on haalausovi, joka jakautuu kahteen päällekkäiseen seinäelementtiin. Myöhemmin haalausoven sijaintia kuitenkin muutettiin.

Ennen muutoksia näihin elementteihin lisättiin 50 millimetrin paksunnokset, jotta elementtien raudoitus saatiin kestävämmän. Alemmassa elementissä paksunnos sijaitsi elementin alareunassa ollen 750 millimetrin korkea ja ylemmässä elementissä elementin yläreunassa 685 millimetrin korkeudella. Elementtien alapuolella on suuri ikkuna-aukko, jolloin molemmat seinäelementit tukeutuvat viereisiin seinäelementteihin (KUVA 22). Tämän vuoksi alempaan seinäelementin alareunaan täytyi laittaa 4 T20 raudoitukset ja umpihaat T8 150 millimetrin jaolla. Ylemmän elementin aukon yläreunaan laitettiin 3 T20 raudoitukset sekä umpihaat T8 150 millimetrin jaolla. Raudoituksen peruserätyksen mukaisesti seinäelementteihin laitettiin T8 k200 verkot.

Nämä seinäelementit olivat rakennuskohteen haasteellisimmat seinäelementit raudoittaa. Tämä johtuu siitä, että nämä elementit olivat erilaisia verrattuna muihin elementteihin. Wall Panel Reinforcement -työkalu ei ottanut huomioon elementtien päädyissä olevia vaarnauria, minkä vuoksi raudoitukset olivat liian suuria, mikä täytyi korjata käsin. Lisäksi aukkojen pieliraudoitukset olivat erilaisia muihin elementteihin nähden, joten raudoituksen periaatteet täytyi muokata. Lisäksi kannakset täytyi raudoittaa käsin muokkaamalla Wall Panel Reinforcement työkalulla mallinnetut raudoitukset myös kannaksen alueelle.



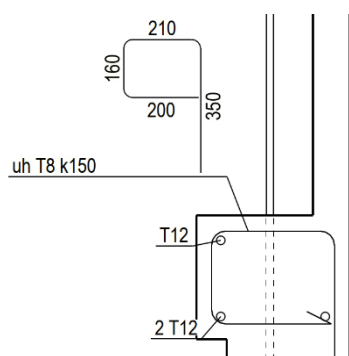
KUVA 21. Alkuperäisen elementtien raudoitukset (Savolainen 2023)



KUVA 22. Rakennuskohteen pääty (Savolainen 2023)

4.3.7 Konsolit

Lähes kaikissa seinäelementeissä tarvittiin konsoleita ontelolaataston tukemista varten. Konsolien raudoitukset mallinettiin Rebar Group -työkalulla. Pääosin konsolien raudoitukset tehtiin kopioimalla raudoitukset elementistä toiseen ja muokkaamalla raudoitukset halutun pituisiksi. Konsolien raudoittaminen vei suhteessa huomattavasti enemmän aikaa verrattuna muiden raudoitusten mallintamiseen. Tämä johtuu siitä, että elementtien konsolien pituudet eivät olleet samoja, mistä johtuen raudoitusten pituudet jouduttiin jokaisen elementin kohdalla muokkaamaan käsin. Konsolien raudoittaminen vei keskimäärin noin 10 minuuttia.

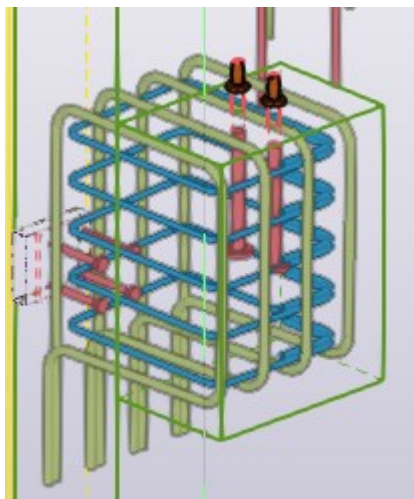


KUVA 23. Konsolin raudoitus (Savolainen 2023)

Yhteen seinäelementtiin mallinnettiin lisäkonsoli kohdassa, jossa uusi rakenne liittyy olemassa olevan rakenteeseen. Lisäkonsoli tarvittiin rakennusosien liitoskohdan aukon ylityspalkin tukeutumista

varten. Elementti raudoitettiin vaakasuuntaisilla 5 T8 umpihaalla sekä pystysuuntaisilla 4 T12 raudoituksilla. Lisäkonsolin raudoitukset mallinnettiin Rebar Group työkalulla. Mallinnus vei aikaa noin 15 minuuttia, sillä kaikki raudoituksien mitat täytyi mallintaa käsin.

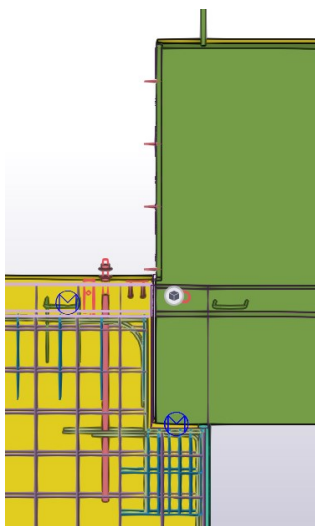
Konsolit myös lisäsivät raudoituspiirustuksien muokkaamiseen vaadittua aikaa. Konsoleista johtuen, piirustukset ovat hieman sekavampia raudoituspiirustuksien sisällön kasvaessa. Naamapiirustuksissa ja leikkauspiirustuksissa täytyi siitä johtuen käyttää enemmän aikaa raudoituspiirustuksien muokkaamiseen siistiksi ja helposti luettavaksi.



KUVA 24. Lisäkonsolin raudoitus (Savolainen 2023)

4.3.8 Lisäraudoitus

Toisen kerroksen seinäelementit tukeutuvat pääosin ontelolaatastoon muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Viiteen seinäelementtiin oli lisättävä raudoituksia, koska osa toisen kerroksen seinäelementeistä tukeutuu niihin (KUVA 25). Elementtien nurkissa oleviin tukeutumakohtiin on lisättävä raudoituksia, jotta seinäelementti kestäisi ylemmän seinäelementin aiheuttamat kuormat. Lisäraudoitukset eivät vaatineet merkittäviä lisäresursseja, keskimäärin ne vaativat kaikkine työvaiheineen noin 5 minuuttia per elementti.



KUVA 25. Seinäelementti tukeutuu alemman kerroksen seinäelementtiin (Savolainen 2023)

4.4 Tarkastaminen ja laadunvalvonta

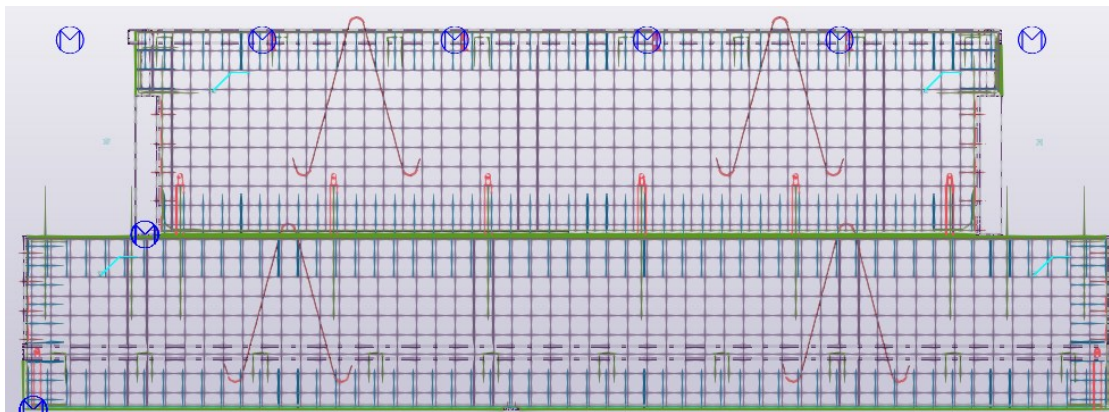
Raudoituspiirustuksia tuotettaessa on varmistettava, että kaikki tarvittavat raudoitteet ovat näkyvissä raudoitusluettelossa sekä raudoituspiirustuksissa. Lisäksi on varmistettava, että raudoitteiden tiedot kuten, lukumäärä, pituus ja taivutusmitat ovat oikein. Raudoituspiirustukset on käytävä systemaattisesti läpi ennen elementtitehtaalle lähettämistä, jotta suunnittelu- ja rakentamisvirheitä vältytäisiin. On todennäköisempää, että Teklalla tuotetussa raudoituspiirustuksessa on enemmän virheitä tai puutteita verrattuna AutoCADilla tuotettuihin raudoituspiirustuksiin. AutoCADilla tuotetuissa raudoituspiirustuksissa käytetään yleensä pohjina aiempiin kohteisiin tuotettuja raudoituspiirustuksia, tällöin riskinä on, että raudoituspiirustuksia ei päivitetä oikein. Yksittäisten raudoitusten tarkastaminen Teklan raudoituspiirustuksista on kuitenkin huomattavasti työläämpää verrattuna AutoCADin raudoitusperiaatepiirustuksien tarkastamiseen. Teklassa on huomattavasti enemmän erilaisia tekijöitä, joilla on keskinäisiä riippuvaisuussuhteita. Esimerkiksi muutokset aukkoihin vaikuttavat heti suoraan raudoitustyökaluihin ja raudoituspiirustuksiin.

Elementtipiirustusten on myös läpäistävä SRTn oma laadunvalvonta, jonka tarkoituksena on varmistaa suunnitelmien oikeellisuus. Laadunvalvonnan suorittaa eri henkilö kuin piirustuksientekijä, yleensä projektipäällikkö. Laadunvalvonnan kannalta on suotavaa, että elementtipiirustukset noudattavat keskenään mahdollisimman samanlaisia periaatteita. Laadunvalvonta on nopeampaa, jos elementtien tiedot ovat samassa järjestyksessä. Tällöin laadunvalvojan on helpompi tarkistaa, että kaikki tarvittavat osat ovat piirustuksissa. Jotta laadunvalvontaan käytettäviä aikaresursseja voitaisiin vähentää, on pyrittävä välttämään suunnitteluvirheitä panostamalla huolelliseen tekoprosessiin.

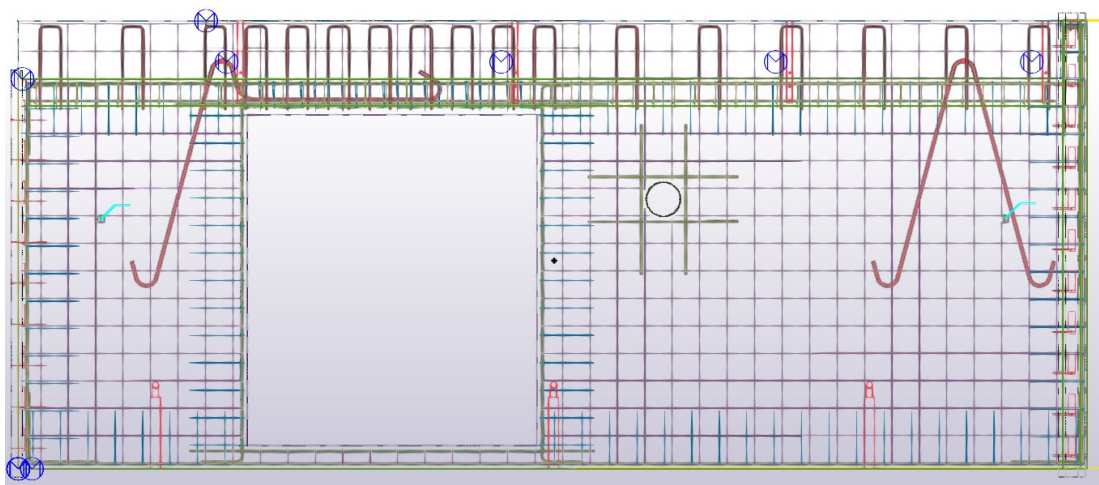
4.5 Muutokset ja korjaaminen

Mallinnusprosessin aikana neljään seinäelementtiin tuli merkittäviä muutoksia, mikä vaikutti myös raudoitukseen. Lisäksi useimpiin elementteihin tuli joitain pieniä merkityksettömiä muutoksia. Muutoksien vaikutus oli vähäinen verrattuna muihin työvaiheisiin. Erään seinäelementin ikkuna-aukkoa täytyi pienentää, jolloin ikkunan pieliteräksiä ja hakoja oli muokattava ja niiden sijaintia korjattava. Aukkojen muutoksista johtuen, Wall Panel Reinforcement raudoitti automaattisesti uudestaan aukkojen ympäristön. Tästä johtuen, Wall Panel Reinforcementin yksittäiset muokkaukset jouduttiin tekemään uudestaan. Näiden muutosten tekeminen vei yhteensä noin 10 tuntia.

Lisäksi haalausoven sijaintia muutettiin projektin myöhemmässä vaiheessa. Muutoksesta johtuen, kolmeen seinäelementtiin oli tehtävä merkittäviä muutoksia. Oviaukon siirtäminen uuteen elementtiin aiheutti ongelmia raudoituksille, sillä aukon yläpuolella olevalle raudoitukselle jäi todella vähän tilaa. Elementille oli lisättävä betonikannas, jotta elementti saatiin kestämään kuormat. Haalausoven siirtämisestä johtuen aiemmasta sijainnista voitiin vähentää raudoituksia. Raudoituspiirustuksiin tuli näin ollen merkittäviä muutoksia.



KUVA 26. Oviaukko siirretty pois (Savolainen 2023)



KUVA 27. Oviaukon uusi sijainti (Savolainen 2023)

5 VERTAILU

Tässä opinnäytetyön osiossa käsitellään aiemmin AutoCADilla sekä tutkimusvaiheessa Teklalla tuotettujen raudituspiirustuksien tekoprosessin eroja.

5.1 Piirustuksien tekotilastot

Yhteensä elementtipiirustuksien tekoprosessiin ennen korjaamista ja muutoksia käytettiin 75 tuntia. Varustelun puutteiden korjaukseen ja muokkaamiseen tuosta ajasta meni 3,5 tuntia. Seinäelementtien raudituksien mallinnukseen käytettiin 13,4 tuntia. Elementtipiirustuksien tekoon käytettiin 46,9 tuntia. Raudituspiirustuksien eli rauditusdetaljien ja rauditusleikkausten tekoon käytettiin 6,7 tuntia. Rauditusluetteloiden tekoon meni 4,5 tuntia. Varustelun osuus oli siis kokonaisajasta 4,7%, raudituksien mallinnuksen 17,9%, elementtipiirustuksien teon osuus 62,5%, detaljien ja leikkauskuvien osuus 8,9%, sekä rauditusluetteloiden osuus 6,0%. Elementtipiirustuksien tekoon, johon laskettiin kaikki elementtipiirustuksien muokkaamiseen liittyvät työt lukuun ottamatta raudituspiirustuksia ja -luetteloita, meni siis aikaa noin 3,5 kertaa enemmän verrattuna raudituksien mallin-

nukseen. Yhteensä rauditusluetteloiden sekä raudituspiirustuksien tekoon ja raudituksien mallinnukseen meni siis aikaa 17,9 tuntia. Tästä ajasta rauditusluetteloiden osuus oli 18,3% ja raudituspiirustuksien osuus 27,2%.

Ennen korjausta työvaiheisiin käytetty aika/kpl

Elementtityyppi	KPL	Varustelu	Rauditukset	Piirustukset	Rauditusdetaljit	Rauditusluettelot
Aukoton	11	0:07:00	0:25:00	1:26:00	0:12:00	0:08:00
Keskikokoinen ikkuna	4	0:08:00	0:31:00	1:48:00	0:16:00	0:09:00
2 ikkunaa	3	0:08:00	0:31:00	1:48:00	0:15:00	0:10:00
Suuri ikkuna	6	0:08:00	0:31:00	1:50:00	0:16:00	0:11:00
Ovi	2	0:08:00	0:32:00	1:52:00	0:16:00	0:12:00
Ovi ja ikkuna	2	0:08:00	0:33:00	1:53:00	0:16:00	0:13:00
Keskiarvo	28	0:07:36	0:27:04	1:32:56	0:13:45	0:09:17

Taulukko 1 (Savolainen 2023)

5.2 Raudituspiirustukset

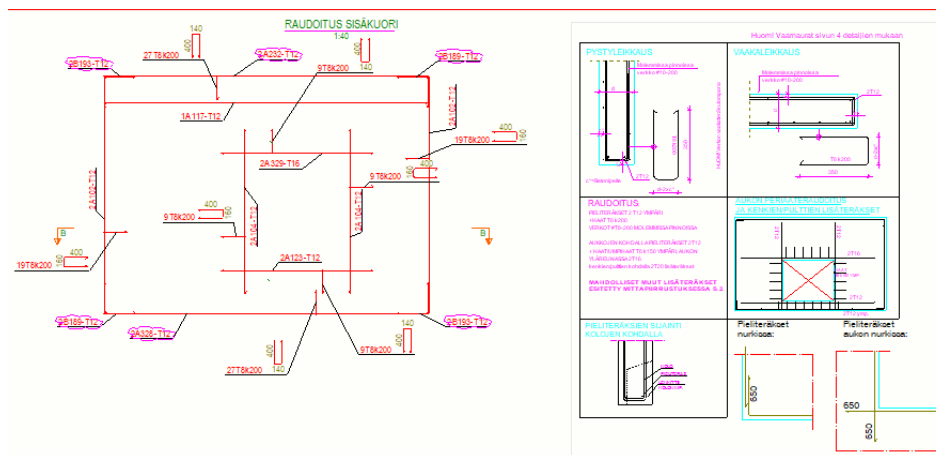
Rauditukset voidaan esittää raudituspiirustuksissa useilla eri tavoilla. Kuitenkin raudituspiirustusten teossa on pyrittävä yhtenäisyyteen SRTn periaatteiden mukaisesti, jotta piirustuksien tarkastaminen ja laadunvalvonta olisi sujuvaa. Raudituspiirustuksien tyyli voi vaihdella rakennuskohdekohtaisesti. Raudituspiirustuksien tyyliin voi vaikuttaa esimerkiksi Tekla Structuresin versio ja suunnittelijan omat preferenssit.

Teklalla tuotettujen raudituspiirustuksien esitystapa on hieman erilainen verrattuna AutoCADia hyväksi käyttäen tuotettuihin raudituspiirustuksiin. Tässä rakennuskohteessa Teklalla tuotetuissa raudituspiirustuksissa naamakuvassa esitettiin kaikki seinäelementtiin tulevat rauditukset, joiden sijainteja tarkennettiin leikkauskuvilla ja detaljeilla. Haat voitaisiin myös piilottaa, niin, että vain yksi hakoista näkyy raudituspiirustuksissa, jolloin piirustukset ovat selkeämmin luettavissa. Tämä vie kuitenkin hieman enemmän aikaa, verrattuna kaikkien raudituksien esittämiseen sellaisenaan. Kun detaljit esitetään AutoCADilla tuotetuilla referensseinä, yleensä naamakuvissa on ainoastaan elementin pääteräkset. Muut rauditukset esitetään AutoCADin detaljeissa.

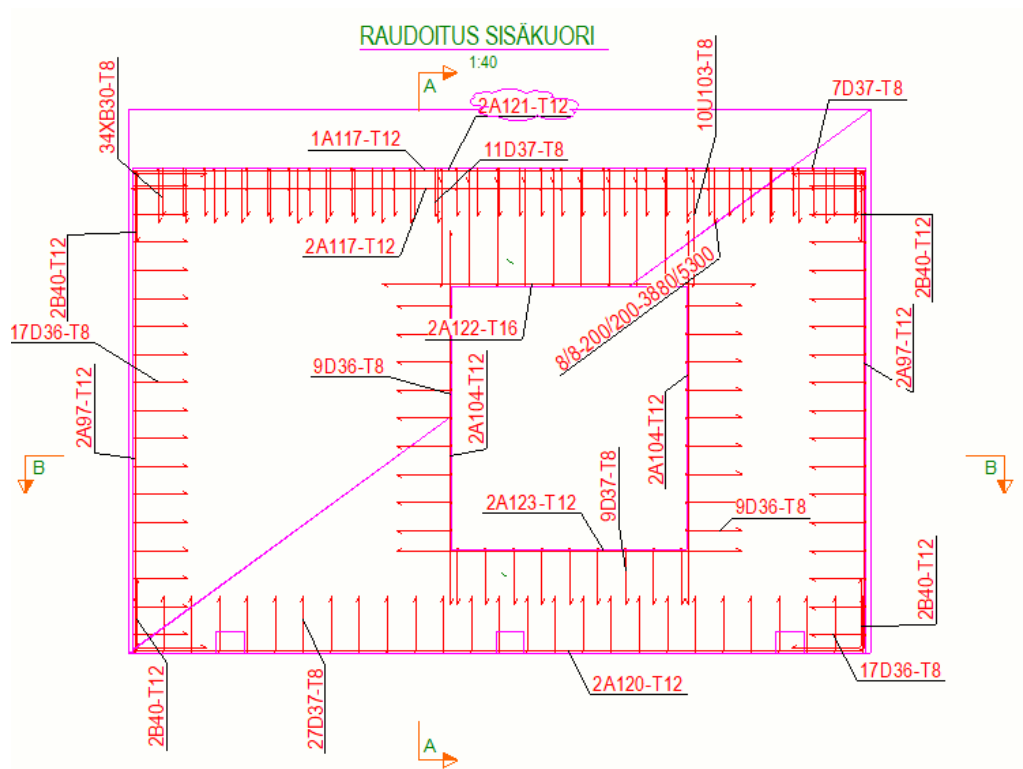
Rauditusluetteloiden etuna on, että raudituksien mittoja ei ole välttämätöntä ilmoittaa raudituspiirustuksissa, mikä selkeyttää raudituspiirustuksia. Raudituksien taivutusmitat selviävät rauditusluetteloista raudituksen tunnuksen perusteella. Kun rauditusluetteloita ei tuoteta, täytyy raudituksien mitat ilmoittaa AutoCADin detaljeissa tai Pullout picturena (KUVA 87) mallista.

Jotta raudituspiirustuksien tekoprosessin vaativaa aikaa voitaisiin vertailla Teklan ja AutoCADin välillä, piirrettiin myös osa rauditusperiaatedetaljeista myös AutoCADilla. Tällöin elementtien raudituksista mallinnettiin ainoastaan aukkojen pieliteräkset sekä haat ja pieliteräkset elementin nurkkiin. Mikäli kohteen kaikkien elementtien rauditukset esitettäisiin AutoCADilla tuotetuilla raudituspiirus-

tuksilla, täytyisi ainakin yksi- ja kaksiaukkoisista elementeistä piirtää erikseen raudoitusdetaljit. Yhteensä rakennuskohteesta täytyisi piirtää vähintäänkin kaksi pysty- ja vaakadetaljia. Yhden detaljin piirtämiseen meni keskimäärin noin puoli tuntia. Raudoituspiirustuksien muokkaamiseen menee noin 5-10 minuuttia per elementti. Tällöin raudoituspiirustuksien tekoon meni noin 6-7 tuntia. Näin ollen, raudoituksen mallinnuksen, raudoituspiirustuksien teon Teklalla sekä raudoitusluetteloiden tekoprosessi on noin 3 kertaa työläämpi verrattuna AutoCADiin. Raudoituksen mallintamisen tuoma lisätyömäärä on noin 15% koko elementtipiirustuksien tekoprosessiin käytetystä ajasta. Arvion mukaan Teklalla raudoituspiirustuksien tuottaminen on noin 1,15 kertaa kalliimpaa verrattuna vanhaan tekoprosessiin, jossa detaljit tuotetaan AutoCADilla.



KUVA 28. Vanhalla periaatteella tehty raudoituspiirustus (Savolainen 2023)



KUVA 29. Teklalla tuotettu raudoituspiirustus (Savolainen 2023)

6 POHDINTA

Yleisellä tasolla tässä opinnäytetyössä saatuja tuloksia voidaan pitää melko luetettavina. Opinnäytetyön tuloksia ei voida kuitenkaan pitää suoraan verrannollisina muihin tekijöihin verrattuna. Erilaisen rakennuskohteiden raudoitusten mallintamista ei voida suoraan laskea tilastojen perusteella, mutta tilastoja voidaan käyttää vertailupohjana. Aikaresursseja arvioidessa, ei ole suotavaa keskittyä aikamääreisiin vaan erilaisten työvaiheiden aikasuhteisiin, joita voidaan pitää luotettavina. Elementti-
piirustuksen tekoon käytettyyn aikaan vaikuttaa useat tekijät kuten rakennuskohde, suunnittelija sekä mallinnettavat elementit. Lukuisista muuttuvista tekijöistä johtuen, aikatilastoja ei voida pitää suoraan luotettavina tai vertailukelpoisina erilaisissa tilanteissa. Kuitenkin näitä muuttuvia tekijöitä voidaan ajatella vakioina, joiden perusteella voidaan arvioida keskimääräisiä aikaresursseja.

Erilaisten projektivaiheiden ja työtehtävien vaatimia aikaresursseja on kirjattu ylös vuosien ajan työntekijäkohtaisesti. Esimerkiksi työntekijän tehokkuuden tai rakennuskohteen vaikutusta voidaan arvioida vertaamalla vanhoja tilastoja tämän opinnäytetyön tuloksiin. Esimerkiksi, jos rakennuskohteen arvioidaan olevan tyypillisesti noin kaksi kertaa haastavampi kuin tämän opinnäytetyön rakennuskohteen, voidaan arvioida kustannuksien olevan noin kaksinkertaiset verrattuna tähän opinnäytetyöhön.

6.1 Mallintaminen

Raudoitusten mallinnuksen tehokkuus riippuu mallinnustavasta ja mallinnustyökaluista. Teklassa on paljon erilaisia raudoitustyökaluja, joita voidaan hyödyntää tässä opinnäytetyössä käsiteltyjen työkalujen lisäksi. Raudoitustyökaluja on mahdollista kehittää vielä eteenpäin ja nopeuttaa siten mallinnusprosessia. Tulevaisuudessa on pyrittävä automatisoimaan entistä enemmän mallintamisen erilaisia tekoprosesseja. Esimerkiksi Wall Panel Reinforcementille voisi valmiiksi kehittää erilaisia raudoituspohjia, jotka voitaisiin vaan valita pudotusvalikosta raudoitusten mallintamisen nopeuttamiseksi. Tulevaisuudessa myös voitaisiin kehittää eteenpäin parametristä mallintamista. Teklaan voidaan skripata erilaisia koodeja eli antaa komentosarjoja, joiden avulla myös raudoitusten mallintamista voidaan automatisoida eteenpäin. Tällöin elementit ja niiden raudoitukset voitaisiin mallintaa automaattisesti algoritmien avulla antamalla ainoastaan lähtötiedot, mikä vähentäisi suunnittelijan työkuormaa. Komentosarjojen antamisessa voidaan hyödyntää esimerkiksi tekoälyä.

Myös raudoitettavien elementtien mallinnustapa vaikuttaa raudoitusten mallinnuksen tehokkuuteen, sillä usein raudoitustyökalujen toiminta riippuu seinäelementin ominaisuuksista. Muutokset seinäelementeissä saattavat johtaa myös raudoitusten muutoksiin. Mitä monimutkaisempi seinäelementti on kyseessä, sitä enemmän seinän mallinnustyyli vaikuttaa. Seinäelementeille annetut tiedot vaikuttavat muun muassa piirustuksen tekovaiheessa. (Tekla 2023)

6.2 Mallin koko

Tämän opinnäytetyön rakennuskohteessa Tekla mallin koko ei merkittävästi vaikuttanut mallin toimintaan. Suurikokoiset Tekla -mallit hidastavat mallinnusprosessia, johtuen siitä, että mallin latausajat pitenevät ja riski ohjelman kaatumiseen kasvaa. Lisäksi mikäli suuren rakennuskohteen kaikki seinäelementit raudoitetaan, mallin toiminta hidastuu merkittävästi. Mallin koko ja raudoitettavien elementtien määrä on siis otettava huomioon arvioitaessa seinäelementtien elementtipiirustuksien tekoon vaadittavien resurssien määrää.

6.3 Kloonaus ja kopiointi

Elementtipiirustuksien tekoon käytetty aika riippuu myös suuresti elementtipiirustuksien kloonauksen soveltamisen onnistumisesta. Elementtipiirustuksien tekoprosessin aikaresursseista suurin osa käytetään Teklan elementtipiirustuksien tekemiseen, mikä pitää muun muassa sisällään erilaisten mittaviivojen lisäämistä ja muokkaamista. Rakennuskohteessa raudoituspiirustuksien kloonaminen onnistui todella hyvin, jolloin raudoitukset saatiin näkyviin automaattisesti ilman, että niiden näkyvyyttä ja tietoja olisi tarvinnut muokata merkittävästi. Raudoitusten tiedot oli kuitenkin asetettava piirustuksiin siten, että ne olivat mahdollisimman selkeästi luettavissa. Raudoituspiirustuksien asetteluun meni yleensä aikaa 5-15 minuuttia riippuen elementistä. Aukottomat elementit, joissa ei ole konsoleita, ovat yleensä jo valmiiksi helposti luettavissa. Konsolien raudoitus lisäsi piirustuksien muokkaukseen tarvittavaa aikaresursseja keskimäärin kolmella minuutilla. Mitä enemmän raudoituksia elementissä oli, sitä enemmän aikaa tarvittiin piirustuksen muokkaamiseen. Työläimpiä olivat ovi-aukolliset elementit, joihin käytettiin noin 15 minuuttia kuhunkin.

Raudoituspiirustuksien tekoon käytetty aika oli huomattavasti pienempi verrattuna muihin elementtipiirustuksien tekoon liittyviin prosesseihin. Itse piirustuksen tekoprosessiin kuluva ajasta eniten aikaa käytettiin muihin kuin raudoituspiirustuksien muokkaamiseen, aikaa meni muun muassa elementtien mitoittamiseen. Tutkimustyön tilastojen perusteella noin 10% ajasta käytettiin raudoituspiirustuksien muokkaamiseen. On siis huomion arvoista, että raudoituspiirustuksien muokkaamiseen Teklassa käytetty aika on kokonaisuudeltaan suhteessa muihin tekijöihin nähden todella pieni. Tämän perusteella voidaan arvioida, että raudoituspiirustuksien teosta Teklalla aiheutuvat lisäkustannukset koostuvat pääosin raudoitusten mallintamiseen käytettävistä aikaresursseista.

Elementtipiirustuksen tekoprosessiin käytettävä aika riippuu suuresti piirustus pohjan kloonauksen onnistumisesta elementistä toiseen. Kloonauksen onnistuessa hyvin saadaan osa tarvittavista mittaviivoista jo automaattisesti oikein. Kloonauksen tuotoksien oikeellisuus on kuitenkin myös tarkastettava. Aikaresursseja arvioitaessa on syytä muistaa, että tämän opinnäytetyön tutkimuskohde oli kaksikerroksinen koulurakennus, jossa kloonauksen onnistumien ei ollut kovinkaan hyvää verrattuna moniin muihin rakennuskohteisiin. Vastaavasti, joissakin rakennuskohteissa elementtipiirustuksien kloonaminen onnistuu todella hyvin, jos rakennuskohteen elementit toistuvat samankaltaisina kerroksittain.

Suurin osa elementtipiirustuksien tekoajasta käytetään kloonamalla tuotetun elementtipiirustuksen muokkaamiseen. Kloonamalla saatiin tuotettua halutut näkymät ja detaljit raudoituspiirustuksiin ja

muihin elementtipiirustuksiin. Elementtien eroavaisuuksista johtuen mittaviivojen kloonaminen ei onnistunut kovinkaan hyvin. Mittaviivojen mittapisteet eivät usein kloonautuneet oikealle paikalle tai leikkauskuvien sijainnit olivat väärissä kohdissa. Raudoituksien tiedot saatiin tuotettua piirustuksiin kloonamalla lähes poikkeuksetta, mikä säästi huomattavasti aikaa. Raudoituksien tiedot oli aseteltava kloonamisen jäljiltä, siten, että raudoituspiirustukset olivat selkeästi luettavissa.

6.4 Rakennuskohteen vaikutus

Mallinnukseen ja elementtipiirustuksien tekoon käytetty aika riippuu myös suuresti rakennuskohteesta. Mikäli rakennuskohteessa on paljon samankaltaisia seinäelementtejä on mallintaminen huomattavasti nopeampaa verrattuna kohteeseen, jossa seinäelementit ovat todella erilaisia. Mikäli samat raudoitusperiaatteet toistuvat, ei raudoitustyökalujen kuten Wall Panel Reinforcementin asetuksia tarvitse suuresti muuttaa. Kaikki elementit, joissa on erilaisia aukkoja ja loveuksia, kuten ikkunoita ja ovia ovat huomattavasti työläämpiä mallintaa sekä raudoittaa verrattuna aukottomiin elementteihin. Raudoituspiirustuksien ja muiden elementtipiirustuksien tekoon menee huomattavasti enemmän aikaa. Aukkojen ympärille on lisättävä pieliteräkset ja haat, mikä kasvattaa raudoituspiirustuksien ja raudoitusluetteloiden sisältöä. Tällöin elementin tarkistaminen on myös työläämpää.

Seinäelementtien samankaltaisuudesta on etenkin hyötyä yksittäisten raudoituksien mallintamisessa, joita ei voida tai haluta tuottaa edistyneemmillä työkaluilla kuten Wall Panel Reinforcement -työkalulla. Esimerkiksi konsolit raudoitettiin Rebar groupilla, jolloin raudoituksien pituuksia jouduttiin jatkuvasti muokkaaman käsin.

Opinnäytetyön tuloksia arvioitaessa on muistettava, että rakennuskohteen seinäelementit olivat melko yksinkertaisia ja tyypillisiä seinäelementtejä. Opinnäytetyön tuloksia ei voi suoraan soveltaa rakennuskohteisiin, jotka ovat haasteellisia mallintavia. Tutkimustyön tuloksia voidaan kuitenkin käyttää vertauspohjana arvioitaessa haastavien seinäelementtien mallintamiseen tarvittavia resursseja.

6.5 Raudoitusluetteloiden vaikutus

Raudoitusluetteloiden toimivuudessa ei havaittu suuria heikkouksia tai ongelmia. Kaikki raudoitusluetteloiden tiedot näkyivät oikein, lukuun ottamatta Wall Panel Reinforcement työkalulla mallinnettuja umpihakoja. Umpihakojen mallintaminen muilla työkaluilla kulutti ylimääräisiä resursseja. Itse raudoitusluettelon tekoon Teklalla ei mennyt tämän opinnäytetyön tutkimusvaiheessa kokonaisuuden huomioon ottaen juuri yhtään aikaa. Raudoitusluetteloiden asetukset on jo säädetty valmiiksi SRTn Tekla layout -pohjissa, joka kloonatessa kopioitui elementtipiirustuksesta toiseen. Tutkimusvaiheessa täytyi raudoitusluettelot laittaa näkyväksi elementtipiirustuksien User-Defined Attributesin kautta. Tämä toimenpide vie maksimissaan yhden minuutin, joten itse raudoitusluetteloiden tekoon käytettävä aika on mitätön. Toisaalta elementtipiirustuksien tekoprosessin aikana on aina muistettava tarkistaa raudoitusluettelot, vaikka niiden sisällön pitäisikin tulla automaattisesti oikein mallin

perusteella. Raudoitusluetteloiden tarkistukseen menee 5-10 minuuttia, riippuen elementin raudoituksien määrästä. Raudoitusluetteloiden teko vastasi noin 5% koko tekoprosessiin käytetystä ajasta.

6.6 Työskentelytehokkuus

Tutkimustuloksia arvioitaessa on otettava huomioon työskentelytehokkuuteen vaikuttavat tekijät. Näitä ovat muun muassa häiriötekijät, työkokemus, mallinnustaidot, tiimityöskentely ja ongelmien ratkaisukyvyt. On huomioitava, että tutkimustyön tekeminen ja opinnäytetyön kirjoittaminen saattaa tuoda pientä epätarkkuutta tutkimustuloksiin. Varsinaista tutkimustyön tekemistä ja opinnäytetyön kirjoittamista ei ole laskettu tämän opinnäytetyön erilaisten työvaiheiden tilastoihin. On kuitenkin syytä olettaa, että opinnäytetyön tekeminen ja muut häiriötekijät vaikuttavat työskentelyyn tehokkuuteen negatiivisesti, koska elementtipiirustuksien tekoprosessin aikana jouduttiin keskittymään useampaan eri tekijään verrattuna normaaliin työelämän olosuhteisiin. Tosin tämän tekijän vaikutuksen arvioidaan olevan vähäinen.

On myös huomioitava, että työkokemus ja työskentelyrutiini vaikuttaa suuresti elementtipiirustuksien tekoprosessiin vaadittuun aikaan. Opinnäytetyön tutkimus tehtiin noin 1 vuoden kokemuksella Teklan käytöstä. Tutkimustyön tuloksia ei voida pitää suoraan verrannollisina erittäin kokeneeseen Teklan käyttäjään verrattuna. Kuitenkin erilaisten työvaiheiden vaatimia resursseja voidaan pitää suhteessa toisiinsa joissain määrin luetettavina. Vertaamalla eri työntekijöiden aiemmista kohteista saatuja tilastoja, voidaan saada luotettava arvio kunkin työntekijän työhön suorittamiseen käyttämästä ajasta.

Myös piirustuksien teon onnistuminen vaikuttaa työhön käytettyyn aikaan. Mikäli elementtipiirustukset tehdään todella nopeasti, virheiden todennäköisyys kasvaa. Mikäli elementtipiirustukset tehdään suurella kiireellä, tällöin tarkastamiseen ja laadunvalvontaan käytetty aika kasvaa ja korjaaminen vie aikaa. Tällöin myös korjaamisvaihe on aikaa vievää. Työskentelytehokkuuden kannalta on pyrittävä siihen, että elementtipiirustukset ovat mahdollisimman valmiit ja oikein ennen piirustuksien tarkastamista, jotta tarkastaminen ja korjaaminen ei olisi aikaa vievää.

Huomion arvoista on myös, että kaikki tutkimusvaiheessa käytetty työaika ei ole tehokkaasti mallinnukseen ja elementtipiirustuksien tekoon käytettyä aikaa. Rakennuskohteen suunnittelu on ryhmätyöskentelyä, mikä myös kuluttaa aikaresursseja. Aikaa kuluu erilaisiin tiimipalaverihin ja viestintään muiden projektin osapuolien kanssa. Myös kaikenlaiset mallintamista edeltävät suunnittelutehtävät vievät resursseja itse elementtipiirustuksien tekoprosessilta. Lisäksi erilaiset riippuvuussuhteet, kuten lähtötiedot, vaikuttavat elementtipiirustuksien tekoprosessiin. Yleensä elementtejä mallintamassa aivan kaikkia lähtötietoja ei vielä tiedetä tai lähtötietoihin voi tulla muutoksia muista tekijöistä johtuen. Seinäelementtien mallintaminen on myös riippuvainen muiden liittyvien rakennusosien mallintamisesta.

Opinnäytetyön mallinnusprosessin aikana havaittiin todella vähän ongelmia. Yleisellä tasolla voidaan sanoa, että raudoitusvälikalut toimivat todella hyvin. Wall Panel Reinforcementilla mallinnetut umpihaat aiheuttivat hieman ongelmia, mutta ongelma oli helposti korjattavissa manuaalisesti muuta-

massa minuutissa, kun ongelman lähde oli selvitetty. Vaarnaurat ja muut seinän kooltaan pienemmät leikkaukset aiheuttivat ongelmia, sillä tällöin Wall Panel Reinforcementilla mallinnetut raudoitukset saattoivat olla kooltaan liian leveitä tai liian pitkiä. Tämäkin ongelma oli helposti korjattavissa manuaalisesti muutamassa minuutissa.

Yhteensä raudoituksiin liittyviin ongelmien ratkaisuihin meni noin 3 tuntia mallinnusprosessin aikana. Kokonaisuudessaan voidaan arvioida, että työkalujen ongelmien vaikutus mallinnusprosessiin käytetystä ajasta oli todella vähäinen. Kuitenkin joissakin rakennuskohteissa, joissa on paljon tällaisia ongelmia aiheuttavia elementtejä, saattaa manuaalisen korjauksen vaatimat resurssit olla merkittäviä.

Lisäksi muut ei mallinnustyökaluihin liittyvät ongelmat vaikuttivat epäsuorasti mallinnusprosessiin, mutta kokonaisuutena todella vähän. Esimerkiksi piirustusnumeroista johtuvan ongelman vuoksi, osa yhden elementin elementtipiirustuksesta jouduttiin tekemään uudestaan. Myös elementtien muokkaaminen jälkikäteen saattaa vaikuttaa raudoitustyökalun toimintaan.

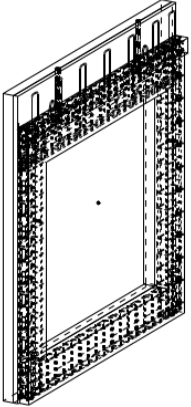
6.7 Loppusanat

Tällä hetkellä raudoituspiirustusten tuottaminen Autodesk AutoCADilla on taloudellisesti kannattavampaa verrattuna Tekla Structuresiin. Kuitenkin on oletettavaa, että Tekla Structures tulee syrjäyttämään Autodesk AutoCADin seinäelementtien raudoituspiirustusten teossa tulevaisuudessa. Mallintamisen muut vaiheet tehdään jo nyt Tekla Structuresilla, jolloin tekoprosessin keskittämisestä Teklaan on merkittäviä hyötyjä. Aikaresurssien vähentämiseksi, on suunnitteluprosessissa pyrittävä lisäämään automatiikkaa, jolloin suunnittelijan tarvitsisi ainoastaan hallinnoida mallinnusprosessia. Tekla Structuresin potentiaali automatiikan suhteen on huomattavasti parempi verrattuna AutoCADiin.

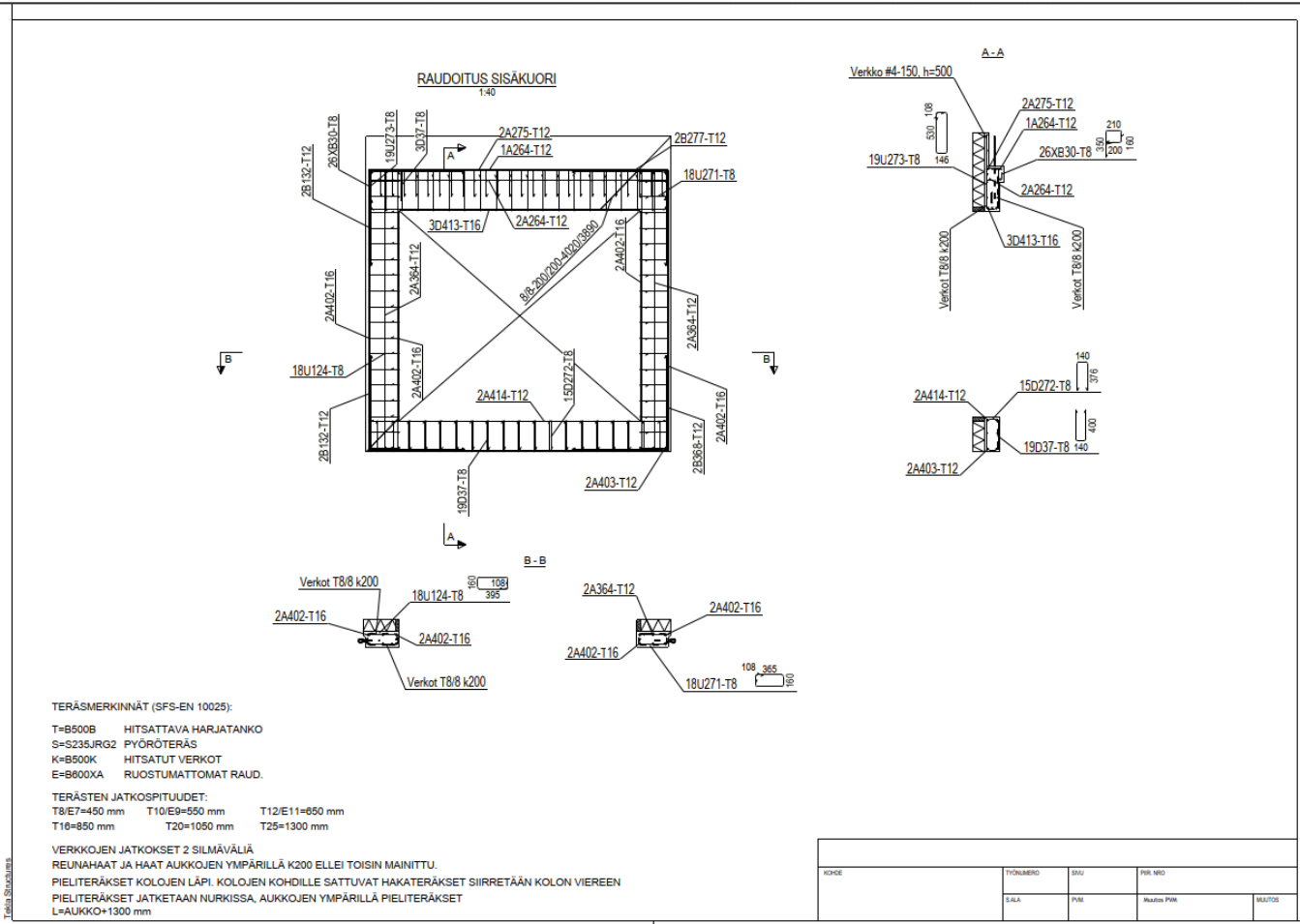
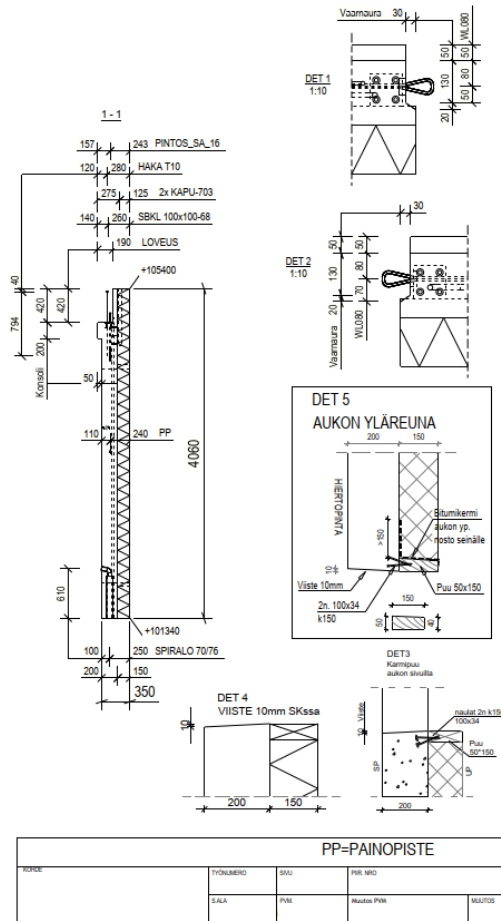
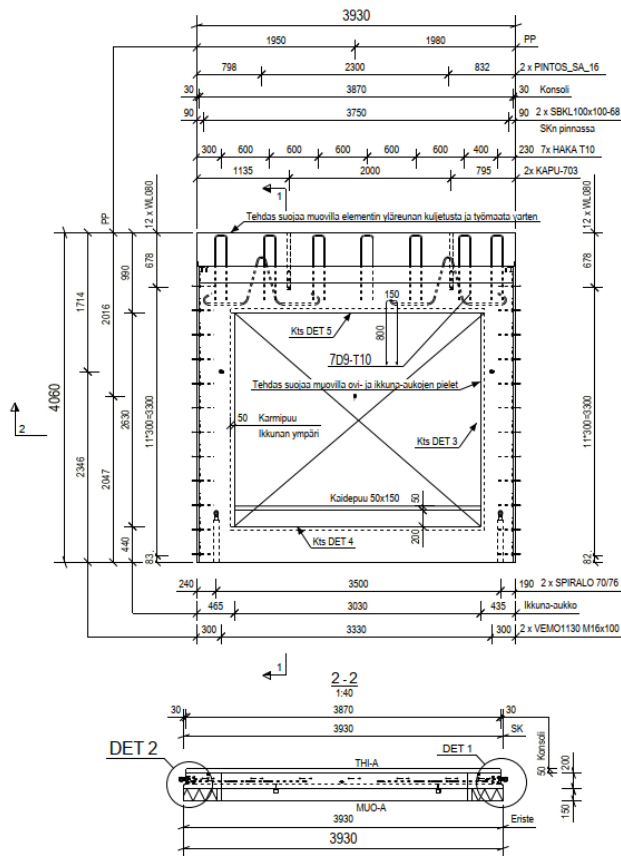
Tässä opinnäytetyössä käytettiin raudoitustyökaluja, jotka eivät ole kovinkaan pitkälle kehittyneitä Teklan potentiaaliin nähden. Tässä opinnäytetyössä saadut AutoCADia puoltavat tulokset johtuvat enemmän Teklan kehityksen puutteista, kuin AutoCADin paremmuudesta. Monet yritykset ovat kehittäneet työkaluja ja toimintatapojaan pidemmälle ja tuottavat raudoituspiirustukset Teklalla. Teklaan voidaan kehittää makroja, joita säätelällä raudoitukset voidaan tuottaa automaattisesti. Makro tarkoittaa mallinnusohjelmaan kerralla suoritettavaksi ohjelmoituja komentosarjoja. Luonnollisesti tällaisten työkalujen kehittäminen vaatisi myös huomattavia panostuksia ja resursseja.

7 RAPORTIN LIITTEET

LIITE 1: Yksiaukkoisen seinäelementin elementtipiirustus

RAUDOITTELUETTELO										SUUNNITTELUN LÄHTÖTIEDOT								
RAUDOITTEET	TYV NRO	LKM	LAATU	D [mm]	L [mm]	d _L [mm]	PAINO YHT [kg]	TAVUTUSMITAT [mm]										KOMMENTTI
								a	b	c	d	e	u	v	x	TD		
A	264	3	B500B	12	3820		10.2	3825										
A	275	2	B500B	12	3810		6.8	3810										
A	364	4	B500B	12	3550		12.6	3552										
A	402	8	B500B	16	3550		44.9	3552										
A	403	2	B500B	12	3810		6.8	3810										
A	414	2	B500B	12	3780		6.7	3782										
B	132	4	B500B	12	2380		8.5	1207	1207			90				60		
B	277	2	B500B	12	2380		4.2	1207	1207			90				60		
S	368	2	B500B	12	2380		4.2	1207	1207			90				60		
D	37	22	B500B	8	900		7.8	400	140	400						36		
D	272	15	B500B	8	850		5.0	376	140	376						36		
D	413	3	B500B	16	4020		19.1	168	3787	138						60		
U	124	18	B500B	8	1220		8.7	108	395	160						36		
U	271	18	B500B	8	1160		8.3	108	365	160						36		
U	273	19	B500B	8	1460		11.0	108	530	146						36		
XB	30	26	B500B	8	860		8.8	200	160	210	350					36		
RAUDOITTEIDEN KOKONAISPAINO [kg]:										173.7								
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	N	O	P	R	U	V	W	Z	
																		
VALUTARVIKELUETTELO										SUUNNITTELUN LÄHTÖTIEDOT								
PIIR. NUMERO	LKM	MATERIAALI	PINTA-ALA [m ²]	MÄÄRÄ	YKS													
1209	1	C30/37	7.99	1.37	m ³	ELEMENTTI PAINO: 3.57 t												
MÄÄRÄ TARVIKKEET																		
7.41 m ²	ERISTE	Rectisol Poenvoll Pro 150mm																
6.26 m	PUU	50*150																
5.26 m	PUU	150*50																
2 kpl	KAPU	703																
2 kpl	MUOVIPUTKI	ø50 S235JR																
2 kpl	PINTOS_SA	16 S235JR																
2 kpl	SBKL	100x100-88																
2 kpl	SPIRALO	70/76																
2 kpl	VEMO1130	M16x100 S235JR																
24 kpl	WL080																	
7 kpl	HAKA	B500B																
50.2 kg	MESH	Ø200 B500A																
49.7 kg	B500B	ø 8																
60.0 kg	B500B	ø 12																
64.0 kg	B500B	ø 16																
Taso- ja korkeusjärjestelmä ETRS-GK25 ja N2000																		
Kaupungin osa / Kylä Kortteli Tontti / Rint.																		
Viranomaisten arkistointimerkintä Rakennuslupa n:o																		
Rakennustoimenpide Työmaan n:o Pirstutuslaji RAKENNE Virallinen juokseva n:o																		
Uudisrakennus Pirstutuksen sisältö ja mittakaava																		
Rakennuskohteen nimi ja osoite																		
Insinööritoimisto SRT OY Suunnittelija Suunnittelijan työnumero --- pirstutusnumero muutos päiväys RAK																		
PL2000, (Vehstikatu 3) 70601 KUOPIO www.srtoy.net etunimi.sukunimi@srtoy.net																		
Tässä toimituksessa noudatetaan kaikkia oim. Konstruktioimien yleisiä sopimusehtoja KSE 1995																		

ELEMENTTI KUVATTU HIERTOPINNAN PUOLELTA



LÄHTEET

Toikkanen Olli 2019. *YRITYSKOHTAISET PIIRUSTUSPOHJAT: Sandwich- ja väliseinäelementeille*.
<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019052411744>

Insinööritoimisto SRT Oy. 2018. *ONT – Nimeämishje Insinööritoimisto SRT Oy*

Trimble 2023. Tekla Structures kotisivu. <https://support.tekla.com>

Craig Johnson. <https://www.tekla.com/uk/resources/blog/ai-the-future-of-iterative-design>