



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Valtteri Virkkala

TERÄSBETONIRAKENTEIDEN  
MALLINTAMISEN TEHOSTAMINEN  
REVIT-OHJELMISTOSSA

Tekniikka  
2020

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Valtteri Virkkala
Opinnäytetyön nimi	Teräsbetonirakenteiden mallintamisen tehostaminen Revit-ohjelmistossa
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	49 + 1 liite
Ohjaaja	Jari Lehtiö

---

Oy Polyplan Ab:ssä mallinnettiin ensimmäistä kertaa rakennuksen teräsbetonirunko Revit-ohjelmistolla. Mallinnuksen yhteydessä esiin nousi monia kehitystarpeita. Tässä opinnäytetyössä etsitään suunnittelutoimistolle uusia työkaluja ja toimintatapoja, joilla pystytään kehittämään sekä tehostamaan mallinnusta tulevia projekteja varten.

Opinnäytetyössä määriteltyä ongelmaa pyrittiin ratkaisemaan etsimällä vaihtoehtoisia toteutustapoja mallinnukselle. Vaihtoehtoisina mallinnustapoina toimi Revit-ohjelmistolle tarjolla olleet lisäosat. Lisäosia kokeiltiin erilaisiin käytännön mallinnustehtäviin ja vertailtiin uusien menetelmien etuja suhteessa aiemmin käytettyihin. Lisäosien kokeilun yhteydessä selvitettiin myös mitkä niiden toiminnoista on mahdollista käyttöönottaa ja mitkä ei.

Opinnäytetyön aikana onnistuttiin ratkaisemaan osittain määritellyt ongelmat, mutta osa toimintatavoista tarvitsee kuitenkin jatkokehittämistä. Lisäosien kokeilun yhteydessä huomattiin myös niiden ongelmat. Tehokkaimmaksi toimintatavaksi muodostuikin toteuttaa ainoastaan aiemmin ongelmallisena ollut raudoittaminen lisäosien sisällä ja muut vaadittavat toimenpiteet tavanomaisesti.

## ABSTRACT

Author	Valtteri Virkkala
Title	Improving the Efficiency of Modelling of Reinforced Concrete Structures in the Revit Software
Year	2020
Language	Finnish
Pages	49 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Jari Lehtiö

---

In Oy Polyplan Ab, the reinforced concrete frame of the building was modeled for the first time with the Revit software. Many development needs emerged in connection with the modeling. In this thesis, new tools and ways of working are sought for the planning office, which can be used to develop and enhance modeling for future projects.

The aim was to solve the problem defined in the thesis by looking for alternative implementation methods for modeling. Add-ons to the Revit software were used as alternative modeling methods. The add-ons were tested for different practical modeling tasks and the advantages of the new methods compared to previously used. In connection with the experimentation of the add-ons, it was also determined which of functions can be implemented and which cannot.

During the thesis, it was possible to solve partially defined problems, but some of the operating methods still need further development. In connection with the testing of the add-ons, problems were also noticed. The most efficient way of working was to implement only the previously problematic reinforcement inside the add-ons and other required measures in the usual way.

---

Keywords	Three-dimensional imaging, Autodesk Revit, structures, reinforced concrete and improving efficiency
----------	---

## **ESIPUHE**

Haluan kiittää Oy Polyplan Ab:tä, joka tarjosi mahdollisuuden tähän opinnäytetyöhön. Oy Polyplan Ab:n henkilökunnasta erityiskiitoksen saa Erik Sjöblom. Vaasan ammattikorkeakoulun puolesta tahdon kiittää opinnäytetyön ohjaajaa Jari Lehtiötä.

Vaasassa 1.5.2020

Valtteri Virkkala

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	10
1.1	Tausta.....	10
1.2	Työn tavoitteet ja tutkimusmenetelmät.....	10
1.3	Työn rajaukset.....	10
1.4	Oy Polyplan Ab.....	10
2	TIETOMALLINTAMINEN.....	12
2.1	Tietomallintaminen yleisesti.....	12
2.2	YTV 2012.....	13
2.3	BEC 2012.....	15
3	AUTODESK REVIT.....	17
3.1	Autodesk Revit yleisesti.....	17
3.2	Aloituspohja.....	18
3.3	Objektiperheet.....	19
3.4	Proplib.....	19
3.5	Revit-ohjelmiston yhteensopivuus.....	20
4	ESIMERKKIYRITYKSEN TIETOMALLINNUKSEN NYKYTILA JA KEHITYSTARVE.....	21
4.1	Nykytila.....	21
4.2	Kehitystarve.....	22
5	TYÖSKENTELYN TEHOSTAMISEN MENETELMÄT OY POLYPLAN AB:SSÄ.....	23
5.1	Algoritmiavusteinen suunnittelu ja Dynamo-lisäosa.....	23
5.2	Structural Precast Extension -lisäosa.....	28
5.2.1	Yleisesti.....	28
5.2.2	Sandwich elementtiseinän mallintaminen ja piirustusten tekeminen lisäosaa hyödyntäen.....	33
5.3	Naviate Rebar Extension -lisäosa.....	37
5.3.1	Yleisesti.....	37
5.3.2	Pilarin rauditus lisäosaa hyödyntäen.....	38

6	TYÖSKENTELYN TEHOSTAMISESSA SAAVUTETUT TULOKSET OY POLYPLAN AB:SSÄ.....	43
6.1	Dynamo-lisäosa.....	43
6.2	Structural Precast Extension -lisäosa.....	43
6.3	Naviate Rebar Extension -lisäosa .....	44
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA ARVIOINTI.....	46
7.1	Johtopäätökset.....	46
7.2	Arviointi.....	46
7.3	Jatkokehitys.....	47
	LÄHTEET.....	48
	LIITTEET	

## KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Autodesk Revit -ohjelmistolla tehty rakennuksen ja pihan tietomalli. /7/	13
<b>Kuva 2.</b> YTV 2012:n sisältämät osat. /8/	15
<b>Kuva 3.</b> Autodesk Revit -ohjelmiston päänäkymä.	18
<b>Kuva 4.</b> Peikko Finland Oy:n PVL-seinäelementtiliitostyökalu Proplib-kirjastossa.	20
<b>Kuva 5.</b> Ensimmäinen yrityksessä mallinnettu rakennuksen teräsbetonirunko. /19/	21
<b>Kuva 6.</b> Perinteisen suunnitteluprosessin vertailua algoritmiavusteiseen suunnitteluun. /20/	23
<b>Kuva 7.</b> Revit-ohjelmiston näkymä.	25
<b>Kuva 8.</b> Dynamo Player -toistimen näkymä Revit-ohjelmistossa.	26
<b>Kuva 9.</b> Dynamo-lisäosan käyttöliittymä.	27
<b>Kuva 10.</b> Yksinkertainen komentorakenne.	28
<b>Kuva 11.</b> Precast lisäosan valikkonäkymä.	29
<b>Kuva 12.</b> Seinä ennen jako toiminnon suorittamista.	29
<b>Kuva 13.</b> Seinä jako toiminnon suorittamisen jälkeen.	29
<b>Kuva 14.</b> Raudoitusten määrittely.	30
<b>Kuva 15.</b> Alueraudoitusten määrittely.	30
<b>Kuva 16.</b> Asetusvalikko.	31
<b>Kuva 17.</b> Seinäelementti toimenpiteiden jälkeen.	33
<b>Kuva 18.</b> Uuden alueraudoitustyyppin lisääminen.	34
<b>Kuva 19.</b> Alueraudoitusten asetukset.	35
<b>Kuva 20.</b> Reunaraudoitusten asetukset.	35
<b>Kuva 21.</b> Raudoitusten lisäämisen jälkeinen tilanne.	36
<b>Kuva 22.</b> Naviate REX -lisäosan valikkonäkymä.	37
<b>Kuva 23.</b> Teräsbetonipilari.	38
<b>Kuva 24.</b> Pilarin raudoitusten määrittely.	39
<b>Kuva 25.</b> Pääterästen määrittely.	40
<b>Kuva 26.</b> Hakojen määrittely.	41
<b>Kuva 27.</b> Raudoitus tarkastelu. /26/	42

<b>Kuva 28.</b> Raudoitettu teräsbetonipilari.....	42
--	----

**LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Structural Precast Extension -lisäosan valmis piirustus pohja ilman muok-  
kausta

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta

Tämä opinnäytetyö tehdään Oy Polyplan Ab:lle. Työ valikoitui minulle, kun työskentelin yhdessä muiden suunnittelijoiden kanssa myymälähankkeen parissa. Hankkeessa mallinnettiin yrityksessä ensimmäistä kertaa rakennuksen runko Autodesk Revit -ohjelmistolla ja tämän yhteydessä paljastui monia kehitystä vaativia seikkoja. Viime aikoina yrityksessä on jatkuvasti tehty töitä mallintamisen kehittämiseksi, kehityksen painopiste on kuitenkin ollut pääasiassa arkkitehtimallien toteutuksessa. Nyt myös rakenteiden mallintaminen halutaan saattaa samalle tasolle.

## 1.2 Työn tavoitteet ja tutkimusmenetelmät

Työn tavoitteena olisi löytää yritykselle uusia työkaluja ja toimintatapoja teräsbetonirakenteiden mallintamiseen ja niiden piirustusten toteuttamiseen. Tutkimus tulisi tehdä testaamalla erilaisia tarjolla olevia vaihtoehtoja toteuttaa teräsbetonirakenteiden mallinnusta. /1/

## 1.3 Työn rajaukset

Työ rajataan teräsbetonirakenteisiin ja erityisesti esivalmisteisiin elementtirakenteisiin. Työssä keskitytään edellisessä myymälähankkeessa huomattujen hitaiden ja turhaa toistoa vaatineiden työvaiheiden karsimiseen. /1/

## 1.4 Oy Polyplan Ab

Oy Polyplan Ab on vaasalainen yritys, joka on perustettu vuonna 1969. /1/ Yrityksen toimisto sijaitsee Vaasan keskustassa. Yrityksessä tehdään arkkitehti-, rakenne-, sisustussuunnittelua ja hoidetaan myös projektinjohtotehtäviä. Asiakaskunta koostuu yksityisistä, sekä julkisista toimijoista. Projekteiksi käyvät niin suuret kuin pienetkin projektit. Yritys toimii pääsuunnittelijana uuden Vaasan Liisanlehdon Prismen hankkeessa. Yrityksen toiminta-alue on pääasiassa Pohjanmaa. /2/ Yrityksen toimitusjohtaja on Roland Björkqvist. /1/

Vuodesta 2018 alkaen yritys on ollut osa Solwers-konsernia, joka koostuu tällä hetkellä 12 rakennusalan konsulttiyhtiöstä Suomessa ja 2 konsulttiyhtiöstä Ruotsissa. /2/ Solwers-konsernin tavoitteena on kuitenkin jatkuvasti laajentua. Solwers-konsernin yhtiöt voivat sujuvasti tehdä isoissa projekteissa yhteistyötä ja näin tarjota omaa erikoisosaamistaan muiden konsernin yhtiöiden käyttöön. /3/

## 2 TIETOMALLINTAMINEN

### 2.1 Tietomallintaminen yleisesti

Rakennuksen tietomallintaminen (BIM = Building Information Modeling) on vakiinnuttanut asemaansa kansainvälisesti 2010-luvulle saavuttaessa. Se on tapa suunnitella kohteita 3D-malleina, jotka sisältävät informaatiota rakennuskohteesta. /4/

Mallinnuksen tavoitteena on tukea suunnittelun laadun, rakentamisen laadun, turvallisuuden, tehokkuuden ja kestäväen kehityksen mukaista hanke- ja elinkaari-prosessia. Tietomalleja pyritään hyödyntämään koko rakennuksen käyttöiän ajan, alkaen suunnittelun alkuvaiheesta ja jatkuen vielä rakennusprojektin valmistumisenkin jälkeen. Mallin tekeminen myös mahdollistaa erityyppisten analyysien ja simulointien suorittamisen jo rakennushankkeen aikaisessa vaiheessa. Tämän avulla pystytään tekemään vaatimukset ja suunnittelunormit täyttävät, sekä hyvin toimivat ja helposti rakennettavat kohteet. /5, 6/

Etuina perinteisesti toteutettuun dokumenttipohjaiseen suunnitteluun nähden on, että kaikki hankkeen tiedot ovat yhdessä mallissa, josta ne on mahdollista tulostaa aina tarvittaessa. Tulostettavat dokumentit ovat helposti tarvittaessa esitettävissä suppeammalla tietosisällöllä, joka helpottaa niiden tulkintaa ja hyödyntämistä. Tämä on tärkeä ominaisuus esimerkiksi työvaihekohtaisissa- ja havainnekuivissa. /5/

Mallista on mahdollista tulostaa dokumentit joko puoliautomaattisesti tai automaattisesti. Mallia päivitettäessä myös kaikki dokumentit muuttuvat, jolloin voidaan varmistua siitä, että muutokset näkyvät kaikissa dokumenteissa, eikä näiden välillä esiinny ristiriitaisuuksia keskenään. Eri suunnittelualojen toteuttamat osamallit yhdistetään yhdistelmämalliksi. Tämän avulla varmistetaan, että kaikkien mallien suunnitelmat ovat yhteensopivia. Tietomalleja on mahdollista tuottaa monilla eri suunnitteluohjelmistoilla, jotta ne voidaan yhdistää, tulee niillä olla yhteinen siirtomuoto. Talonrakennuksessa tähän tarkoitukseen on luotu IFC-formaatti. Se sisältää tiedot rakennusosien muodoista, sekä niiden ominaisuuksista. Tietomallin osille on

myös mahdollista liittää tietoa mm. hankinnoista, hinnoista ja aikatauluista. Tämä helpottaa esivalmistus-, valmistus- ja rakentamisprosesseja hallitsemaan toimintonsa. /4/ Kuvassa 1 on esitetty Autodesk Revit -ohjelmistolla tehty rakennuksen ja pihan tietomalli.



**Kuva 1.** Autodesk Revit -ohjelmistolla tehty rakennuksen ja pihan tietomalli. /7/

## 2.2 YTV 2012

Senaatti-kiinteistöt julkaisivat vuonna 2007 tietomallivaatimukset. Näitä vaatimuksia päivitettiin vuosina 2011–2012 COBIM-hankkeessa. Senaatti-kiinteistöjen lisäksi hankkeella oli useita rahoittajia kuten kiinteistöjen omistajia ja rakennuttajia, rakennusliikkeitä ja ohjelmistotaloja. Hankkeen tuloksena syntyivät Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Nykyään yleisiä tietomallivaatimuksia hallinnoi Building Smart Finland. Sen tarkoitus on myös tukea yrityksiä tietomallipohjaisten prosessien käyttöönotossa, sekä levittää tietoa tietomallintamisesta. /8/

Tietomallintamisen käytön nopean kasvun takia syntyi tarve luoda yleiset standardit tietomallinnusta ohjaamaan. Yhteistyö helpottuu, kun kaikki hankkeen henkilöt toimivat samojen sääntöjen mukaan. Jokaisen tietomallihankkeessa toimivan osapuolen tulee tutustua oman osionsa lisäksi myös vähintään yleiseen osioon (osa 1), sekä laadunvarmistuksen periaatteet osioon (osa 6). Yleiset tietomallivaatimukset tarjoavat ohjeet kaikille rakennushankkeen eri osapuolille. Hankkeen tiedonhallintaa johtavan henkilön tulee hallita tietomallivaatimukset kokonaisuutena. /8/

Jotta mallinnuksen avulla voidaan saavuttaa haluttu lopputulos, tulee malleille ja mallien hyödyntämiselle asettaa projektikohtaiset tavoitteet sekä painotukset. Tavoitteiden ja yleisten vaatimusten avulla laaditaan projektikohtaiset vaatimukset. /8/

Mallinnukselle asetettuja tavoitteita on esimerkiksi:

- Tukea hankkeen päätöksentekoprosesseja
- Sitouttaa osapuolet hankkeen tavoitteisiin mallin avulla
- Havainnollistaa suunnitteluratkaisuja
- Auttaa suunnittelua ja suunnitelmien yhteensovittamista
- Nostaa ja varmistaa rakennusprosessin ja lopputuotteen laatua
- Tehostaa rakentamisaikaisia prosesseja
- Parantaa turvallisuutta rakentamisen ja rakennuksen elinkaaren aikana
- Tukea hankkeen kustannus- ja elinkaarianalyysijä
- Tukea hankkeen tietojen siirtämistä käytönaikaiseen tiedonhallintaan. /8/

YTV 2012 sisältyy seuraavat osat:

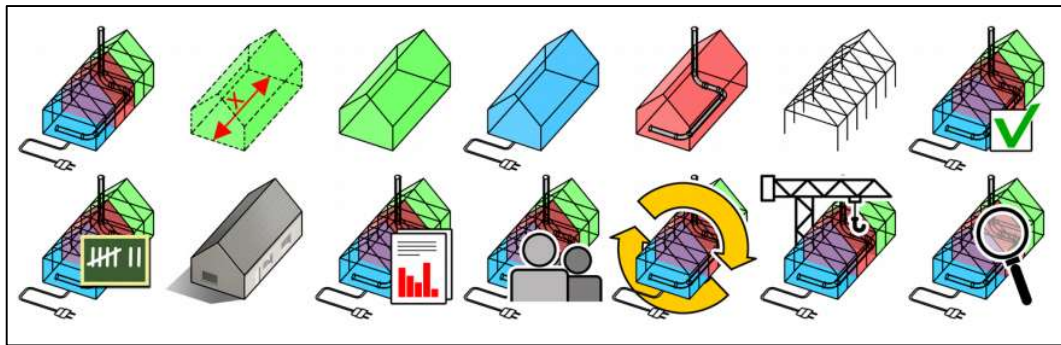
- Osa 1 Yleinen osuus
- Osa 2 Lähtötilanteen mallinnus
- Osa 3 Arkkitehtisuunnittelu
- Osa 4 Talotekninen suunnittelu
- Osa 5 Rakennesuunnittelu
- Osa 6 Laadunvarmistus
- Osa 7 Määrälaskenta
- Osa 8 Havainnollistaminen
- Osa 9 Mallien käyttö talotekniikan analyyseissä
- Osa 10 Energia-analyysit
- Osa 11 Tietomallipohjaisen projektin johtaminen
- Osa 12 Tietomallien hyödyntäminen rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana
- Osa 13 Tietomallien hyödyntäminen rakentamisessa

- Osa 14 Tietomallien hyödyntäminen rakennusvalvonnassa.

Näiden lisäksi on julkaistu hankkeen suunnitteluosapuolille mallinnus tarkkuuteen ja vaatimuksiin täydentäviä liitteitä:

- Täydentävä liite ARK Tilaajan ohje
- Täydentävä liite RAK Tilaajan ohje
- Täydentävä liite Talotekniikan määrälaskentaohje
- Täydentävä liite Talotekniikan mallinnusvaatimuksia. /8/

Kuvassa 2 on esitetty kuvamuodossa YTV 2012:n sisältämät osat.



**Kuva 2.** YTV 2012:n sisältämät osat. /8/

### 2.3 BEC 2012

Betonelementtiteollisuus, rakennesuunnittelijat ja Tekla Oyj kehittivät yhteisenä projektina vuosina 2011–2012 betonelementtien 3D-suunnittelua, tietomallintamista ja tietojensiirtoa. Tämän myötä syntyi BEC 2012 -ohjeistus. Ohjeistuksen tarkoituksena on määrittellä vaatimukset betonelementtien tietomallinnukselle, joita mallien parissa työskentelevien konsulttien tulee noudattaa. Käytettäviä työkaluja ei kuitenkaan määritellä tarkasti, vaan se mitä mallin tulisi sisältää. Ohjeistusta noudattamalla mallit ovat samankaltaisia suunnittelutoimistosta tai mallintajasta riippumatta. /9/

Mallin ollessa samansisältöinen laatijasta riippumatta, mallin koko potentiaali on hyödynnettävissä, eikä vain siitä tulostettavat 2D-piirustukset. Elementtiteollisuus tarvitsee samansisältöisiä malleja, jotta tarvike-, elementtiluettelot ja tiedonsiirto

onnistuu helposti ja luotettavasti mallista. Myös rakennustyön toteuttajat vaativat mallilta tietynlaista sisältöä, jotta sitä voidaan käyttää luotettavasti esimerkiksi työmaan ohjaukseen. /9/

Ohjeistuksissa käsitellään ensin yleisiä vaatimuksia, jonka jälkeen on tarkennettu ohje Tekla Structures -ohjelmiston toimintoihin liittyen. /9/ Ohjeita voidaan soveltaen hyödyntää myös Autodesk Revit -ohjelmistossa.

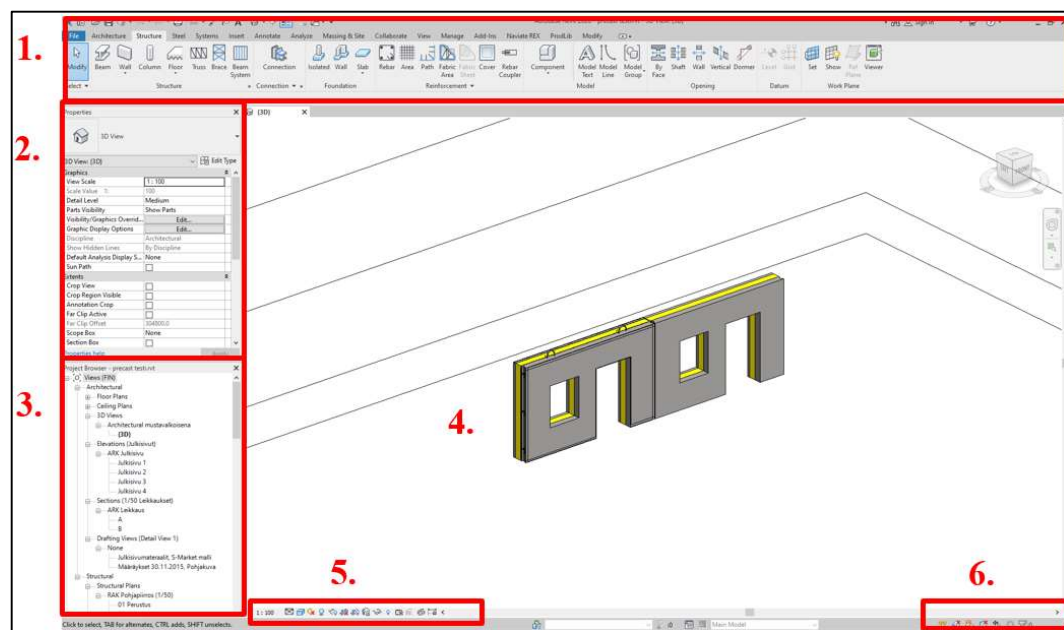
## 3 AUTODESK REVIT

### 3.1 Autodesk Revit yleisesti

Autodesk Revit -ohjelmisto on rakennuksen tietomallinnukseen (BIM) kehitetty ohjelmisto. Ensimmäinen versio Revit-ohjelmistosta ilmestyi vuonna 2000. Autodesk osti Revit-ohjelmistoa kehittäneen ohjelmistoyrityksen vuonna 2002, ja sen jälkeen se on ollut osana Autodeskin rakennussuunnittelun tuoteperhettä. /10/ Revit-ohjelmistosta löytyvät työkalut rakenne, arkkitehti- sekä talotekniikkasuunnittelun tarpeisiin. Ajatuksena on ollut, että kaikki rakennusprojektin henkilöt toimisivat samalla alustalla, jolloin työskentely olisi sujuvampaa ja virheiltä välttyttäisiin. /11/ Olen kokenut itse, että Revit-ohjelmiston käyttöliittymä, on helposti lähestyttävä erityisesti henkilöille, jotka ovat aiemmin käyttäneet Autodesk AutoCAD -ohjelmistoa.

Kuvassa 3 on esitetty Autodesk Revit -ohjelmiston päänäkymä. Kuvasta löytyvät seuraavat asiat:

- Kohdasta 1. löytyy mallinnustyökalut.
- Kohdasta 2. löytyvät valitun näkymän tai objektin ominaisuudet. Kuvassa näkyvät 3D-näkymän ominaisuudet.
- Kohdasta 3. löytyy projektiselain (Project Browser), josta löytyy kaikki projektin näkymät, luettelot, ryhmät ja muut projektin osat.
- Kohdassa 4. on esitetty tietomallin näkymä.
- Kohdasta 5. voidaan muuttaa eri näkymissä näytettäviä asioita ja kuinka ne näkyvät käyttäjälle.
- Kohdasta 6. löytyy objektin valitsemiseen liittyvät työkalut. Kohdassa on mahdollista rajata mitä objekteja valitaan, ja mitkä ovat rajattuna pois valinnasta. /12/



**Kuva 3.** Autodesk Revit -ohjelmiston päänäkymä.

Eri suunnittelualojen mallinnustyökalut on jaoteltu omille välilehdille. Kuvassa 3 on esitetty rakenteiden suunnitteluun käytettävät työkalut, josta löytyvät myös rau-doittamiseen ja liitoksiin vaadittavat työkalut. Revit-ohjelmistossa, on yhdeksän erilaista näkymää, ja työskentely tapahtuu pääosin niiden avulla. Näkymiä ovat:

- Section view eli leikkausnäkö
- Plan view eli tasonäkö
- 3D view eli 3D-näkö
- Sheets eli tulosteet
- Schedules eli taulukot
- Callout eli piirustusote
- Elevation view eli julkisivunäkö
- Legend views eli selosteet
- Drafting view eli luonnosnäkö. /13/

### 3.2 Aloituspohja

Aloituspohja eli Project Template on mahdollista muokata jokaiselle käyttäjälle omien vaatimuksien mukaan sopivaksi. Aloituspohja toimii aina uuden projektin

perustana. Eri suunnittelualojen projekteille voidaan määritellä omanlaisensa asetukset valmiiksi ja pohjasta voidaan tehdä yrityksen tarpeiden mukainen. Keskeisiä määriteltäviä asetuksia, joita aloituspohjaan on, mahdollista tehdä on rakenetyypit, nimiöt, piirustusohjat, tekstien mallityypit, viivojen tyypit, viivojen värit ja objektiperheet. /14/

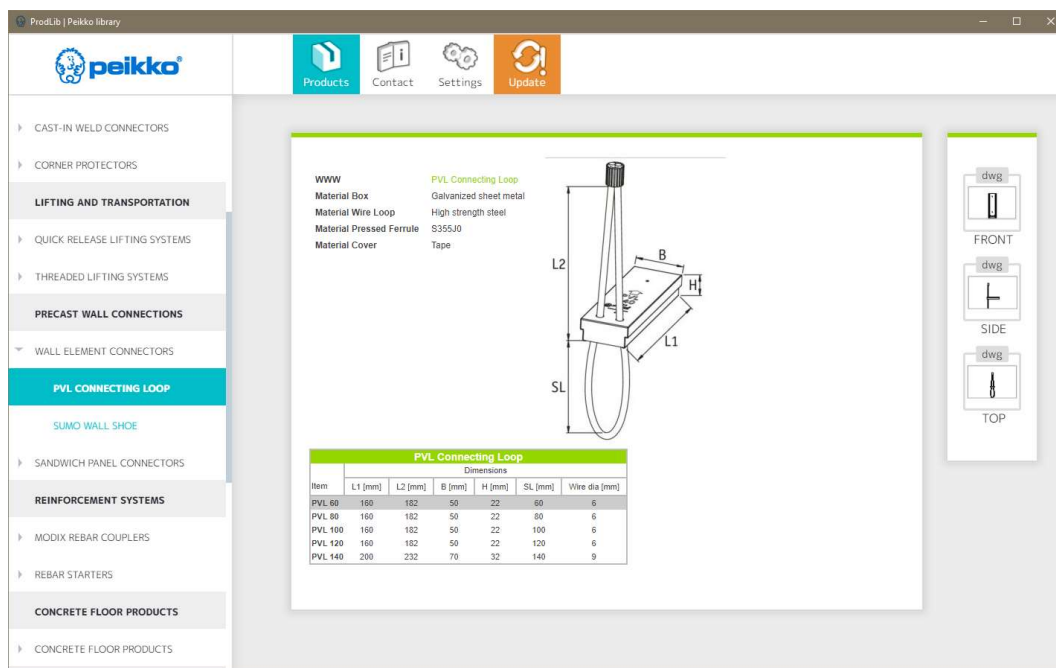
### 3.3 Objektiperheet

Objektiperheet ovat ryhmä elementtejä, joilla on tietyt asetukset ja yhtenevä graafinen esitystapa. Objekteilla, jotka kuuluvat samaan perheeseen voi olla erilaisia asetuksia, mutta objektien syötettävät asetukset ovat samat. Näitä kutsutaan perhe-tyypeiksi (Family Types). /15/

Revit-ohjelmisto sisältää ennakkoon määriteltyjä objekteja, mutta käyttäjä voi luoda myös itse omia tai ladata niitä. Omia objektiperheitä voidaan luoda joko projektin sisällä, tai sitten ne on mahdollista ladata projektiin erikseen. Objektiperheet ovat tärkeä osa tietomallinnusta, ja ne sisältävät paljon informaatiota itse objektista. /15/ Lisäksi on olemassa valmiita objektikirjastoja, joista tärkeimpänä toimijana Suomessa on Prodlib. Tästä kerrotaan enemmän seuraavassa kohdassa 3.4.

### 3.4 Prodlib

Suomalainen Prodlib tuottaa valmiita objektiperheitä Revit-ohjelmistolle, ArchiCAD-ohjelmistolle ja AutoCAD-ohjelmistolle. Tuotevalmistajien tilauksesta he tuottavat objektiperheet rakenne- ja arkkitehtisuunnittelijoiden käyttöön. Objektiperheistä löytyy muun muassa Peikko Finland Oy:n, Halfen Ab:n ja Pihla Group Oy:n tarjoamia tuotteita. Prodlib-kirjastoa voidaan käyttää joko verkkoversiona (Weblib) tai vaihtoehtoisesti ladata suunnitteluohjelmiston lisäosaksi. Prodlib-kirjaston käyttö vaatii ainoastaan rekisteröitymisen ja sen käyttäminen on suunnittelijoille ilmaista. /16/ Kuvassa 4 on esitetty Peikko Finland Oy:n PVL-seinäelementtitiitostyökalu Prodlib-kirjastossa.



**Kuva 4.** Peikko Finland Oy:n PVL-seinäelementtiliitostyökalu ProLib-kirjastossa.

### 3.5 Revit-ohjelmiston yhteensopivuus

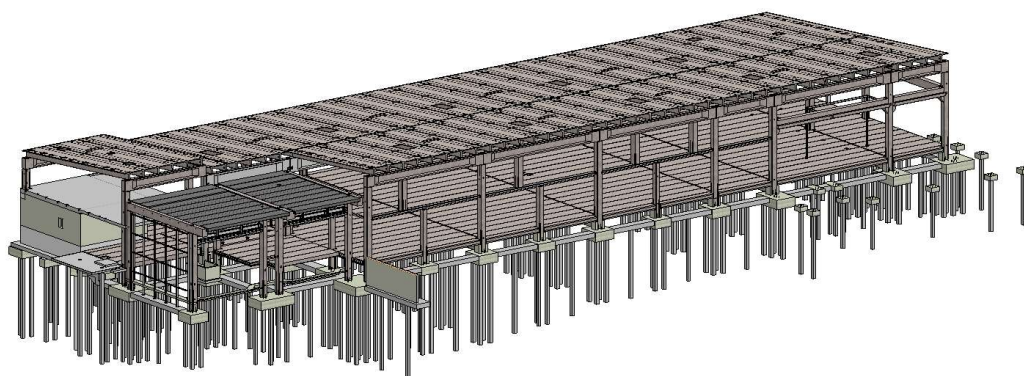
Revit-ohjelmisto on yhteensopiva IFC-mallin kanssa, eli sen avulla on mahdollista toteuttaa hyväksytyjä 2x 3 -tietomalleja. Revit-ohjelmistolla tehtyjen IFC-mallien oikeellisuus ja toimivuus on siis todennettu yhdistetyissä tietomalleissa. Eri suunnittelualojen tietomallit on mahdollista linkittää, jolloin muiden suunnittelualojen päivitykset ovat helposti huomioitavissa ja oma malli on päivitettävissä näiden muutoksien mukaiseksi. /17/

Tärkeimpiä yhteensopivuuksia rakennesuunnittelijalle on erityisesti yhteensopivuus Robot Structural Analysis -laskentaohjelmiston kanssa. Revit-ohjelmistolla toteutetut tietomallit on mahdollista siirtää suoraan Robot Structural Analysis -laskentaohjelmistoon ja hyödyntää laskennassa. Siirtäminen onnistuu myös Robot Structural Analysis -laskentaohjelmistosta Revit-ohjelmistoon. Mallista on myös mahdollista siirtää vain osia ohjelmien välillä. /18/ Revit-ohjelmistolla on mahdollista lisätä tietomalliin myös kuormat. Tätä ominaisuutta hyödynnettäessä tulee mallinnuksen tarkkuuteen kiinnittää kuitenkin huolellisuutta, jotta varmistetaan siitä, että rakennusosat ovat kiinnittyneet toisiinsa oikeista pisteistä.

## 4 ESIMERKKIYRITYKSEN TIETOMALLINNUKSEN NYKYTILA JA KEHITYSTARVE

### 4.1 Nykytila

Esimerkkiyrityksenä toimivassa Oy Polyplan Ab:ssä on aloitettu Revit-ohjelmiston käyttö ja samalla tietomallinnus vuonna 2015, kun myymälähankkeesta laadittiin arkkitehtimalli. Ennen tätä yritykselle oli tehty opinnäytetyö, jossa käsiteltiin tietomallintamisen perusteita. Aiemmin kaikki piirustukset on laadittu yrityksessä AutoCAD-ohjelmistolla. Ensimmäisestä tietomalliprojektista lähtien mallinnuksen kehitystyötä on yrityksessä tehty jatkuvasti. Vuonna 2018 alkoi myymälähanke, jossa rakennuksen teräsbetonirunko mallinnettiin yrityksessä ensimmäistä kertaa Revit-ohjelmistolla. Kuvassa 5 on esitetty edellä mainittu Revit-ohjelmistolla mallinnettu teräsbetonirunko. Projektissa suurin osa rakennepiirustuksista saatiin mallista. Itse toimin tässä projektissa mukana vuosina 2019–2020. Projektin aikana on huomattu, että moni rakenteiden mallintamiseen liittyvä asia olisi voitu tehdä tehokkaammin ja paremmin. Myöskään kaikkia rakenteita, kuten esimerkiksi seinäelementtejä, ei tässä hankkeessa mallinnettu vaan niiden piirustukset toteutettiin AutoCAD-ohjelmistolla. Osa henkilöstöstä käyttää piirustusten toteuttamiseen pelkästään AutoCAD-ohjelmistoa. /1/



**Kuva 5.** Ensimmäinen yrityksessä mallinnettu rakennuksen teräsbetonirunko. /19/

## 4.2 Kehitystarve

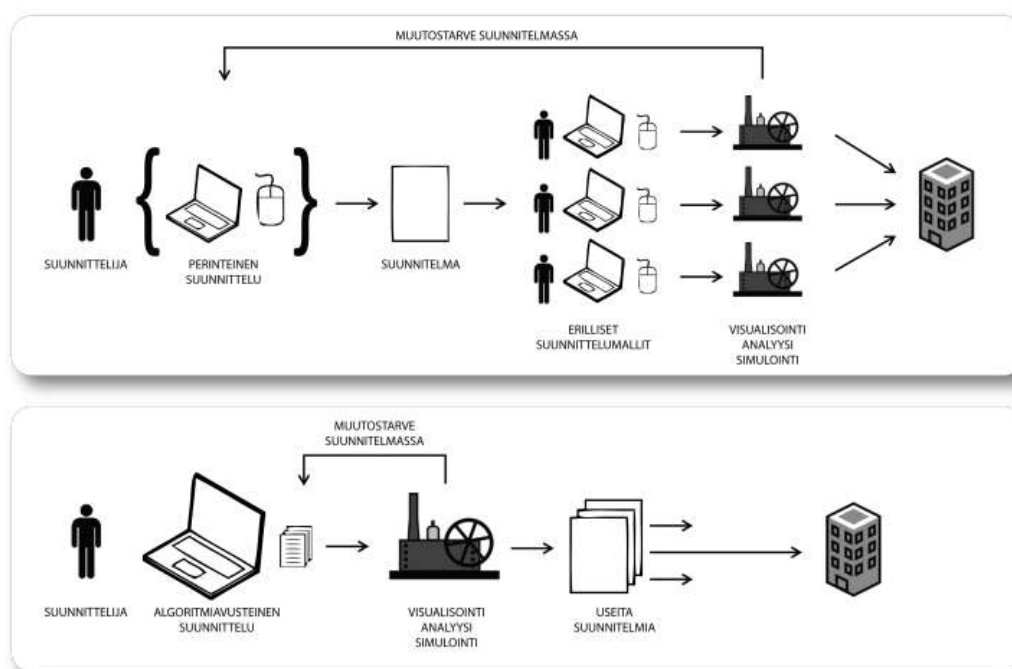
Yrityksessä mallintamisen kehitystarve kohdistuu erityisesti rakenteiden mallintamiseen. Valmiiksi on luotu jo aloituspohja, joka on jatkuvasti kehittynyt tarpeiden mukaan. Objektiperheitä on luotu uusia aina kun on niitä tarvittu. Objekteista löytyvätkin yleisimmät käytössä olevat esivalmisteiset pilari-, palkki- ja laattakoot. Ontelolaatat on toteutettu palkkityökalun avulla. Myymälähankkeessa esille tulleita ongelmakohtia, sekä mahdollisia kehityskohtia rakennemallinnuksessa:

- Raudoitteiden mallintaminen on hidasta ja vaatii paljon manuaalista työskentelyä.
- Seinäelementtejä ei ole aiemmin mallinnettu ollenkaan.
- Komponenttikirjastossa on puutteita.
- Piirustusten teko on hidasta ja manuaalista työskentelyä paljon vaativaa.
- Rakennuksen osista ei ole aiemmin luotu kokoonpanoja.
- Automaattisissa raudoitus- sekä varusteluosaluetteloissa on puutteita. /1/

## 5 TYÖSKENTELYN TEHOSTAMISEN MENETELMÄT OY POLYPLAN AB:SSÄ

### 5.1 Algoritmiavusteinen suunnittelu ja Dynamo-lisäosa

Algoritmiavusteinen suunnittelu tarkoittaa sitä, että osa suunnitteluprosessista ratkaistaan algoritmisen prosessin avulla. Algoritmi on sarja järjestyksessä toteutettavia, tarkasti määriteltyjä tehtäviä, jotka päättyvät aina samaan lopputulokseen. Algoritmi alkaa aina jostain ja päättyy johonkin. Tietokoneella on mahdollista luoda pitkiä ja kompleksisia sarjoja, jotka se pystyy ratkaisemaan hetkessä. Ilman algoritmia näiden toimintojen toteuttaminen veisi huomattavasti kauemmin sekä virherakkyys kasvaisi. Myös erilaisten suunnitelmien vertailu onnistuu välittömästi, kun eri parametrien antamat suunnittelutulokset ovat nähtävissä heti. Kuvassa 6 on esitetty perinteisen suunnitteluprosessin vertailua algoritmiavusteiseen suunnitteluprosessiin. /20/



**Kuva 6.** Perinteisen suunnitteluprosessin vertailua algoritmiavusteiseen suunnitteluun. /20/

Parametri on muuttuja, lukuarvo tai määre, joka ohjaa algoritmia tai osaa siitä. Parametri on myös mahdollista tuottaa erillisellä algoritmilla. Parametrinen mallinnus on suunniteltavan mallin erilaisten geometrioiden välille rakennettavia riippuvuus-suhteita, joita ohjataan parametrien avulla. /20/

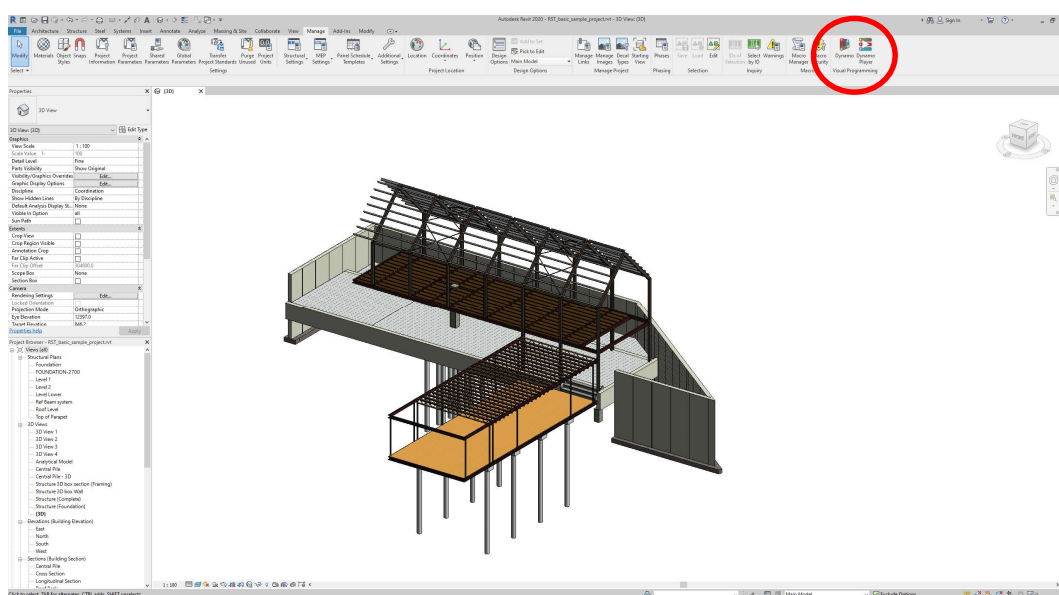
Skriptaamisella eli ohjelmoinnilla tarkoitetaan mallinnusohjelmassa suoritettavaa tekstimuodossa olevaa ohjelmointikoodia, jonka suorittamiseen vaadittava logiikka perustuu algoritmeihin. Skriptien avulla ohjelmistolle annetaan käskyjä, jotka sitten suoritetaan skriptin määrittelemässä järjestyksessä. Useimmissa suunnitteluohjelmistoissa toimivat yleisesti käytössä olevat skriptauskielet, kuten esimerkiksi Python. Skriptaamista voi myös tehdä ilman kirjoitettavaa ohjelmakoodia, tätä kutsutaan visuaaliseksi skriptaukseksi. Visuaalisella skriptauksella tarkoitetaan valmiiden visuaalisten komponenttien yhdistämistä toisiinsa. Data kulkee näitä komponentteja pitkin. Jokainen komponentti suorittaa sille määritellyn funktion ja yhteen liitettynä ne muodostavat algoritmin. Parametrinen mallintaminen pohjautuu visuaaliseen skriptaukseen. /20/

Visuaalisen ohjelmoinnin mahdollistavia ohjelmistoja, jotka ovat yleisesti käytössä rakennesuunnittelussa on Grasshopper (McNeel & Associates), joka on Rhinoceros 3D -ohjelmiston lisäosa, Generative Components (Bentley), joka on Microstation-ohjelmiston lisäosa, että käytettävissä myös itsenäisenä ohjelmistona, sekä Dynamo (Autodesk), joka on Revit-ohjelmiston lisäosa, mutta käytettävissä nykyään myös itsenäisenä ohjelmistona Dynamo Studio nimellä. /20/ Tässä opinnäytetyössä käytetään Dynamo-lisäosaa Revit-ohjelmiston kanssa.

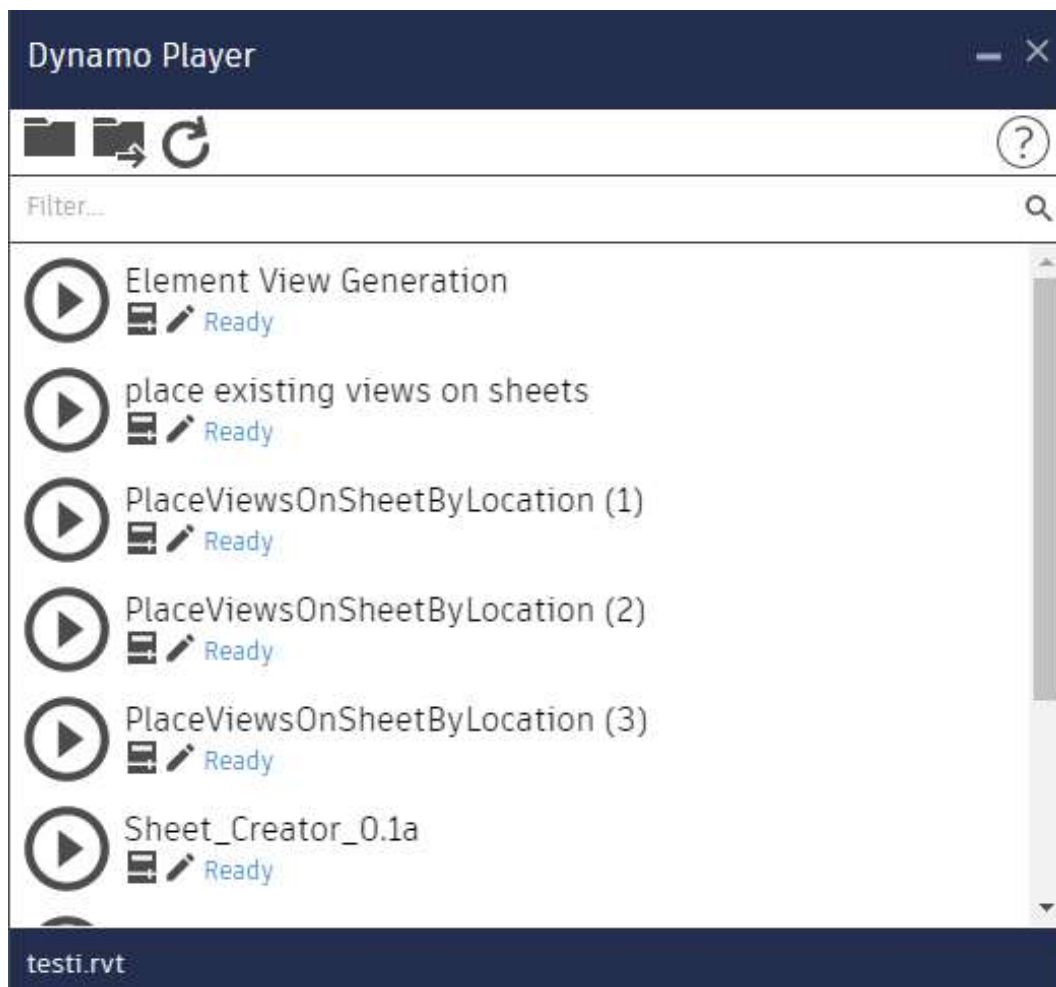
Dynamo-lisäosa on visuaalisen ohjelmoinnin työkalu, joka perustuu generatiivisen algoritmin käyttöön. Se toimii yhdessä Revit-ohjelmiston kanssa. Visuaalisella ohjelmoinnilla tarkoitetaan sitä, että kokoat valmiista ”Solmuista” suoritettavan komentorakenteen. Dynamo-lisäosasta löytyy valmiiksi kattava kirjasto eri solmuja ja lisää käyttäjien tekemiä paketteja on ladattavissa runsaasti. Solmuja on mahdollista myös ohjelmoida itse Python-ohjelmointikielellä. /21/

Dynamo-lisäosa on Revit-ohjelmiston skriptauksen mahdollistava lisäosa. Dynamo-lisäosa aukeaa Revit-ohjelmiston rinnalle uuteen ikkunaan ja sillä on oma

käyttöliittymä. Kuvassa 7 on esitetty Revit-ohjelmiston näkymä, jossa on ympyröity Dynamo-lisäosan ja Dynamo Player -toistimen käynnistysvalikko. Visuaalista skriptausta suoritettaessa Revit-ohjelmistosta näkee lopputuloksen heti kun skripti on suoritettu. Revit-ohjelmistosta löytyy myös Dynamo Player -toistin, jonka avulla voidaan suorittaa aikaisemmin Dynamo-lisäosalla tehtyjä skriptejä ilman, että itse Dynamo-lisäosaa avataan. Dynamo Player -toistimen näkymä on esitetty kuvassa 8. Dynamo-lisäosassa voidaan myös määrittellä, mitä parametrejä tulee syöttää Dynamo Player -toistimessa, ennen kuin se voi suorittaa tehtävänsä. /22/



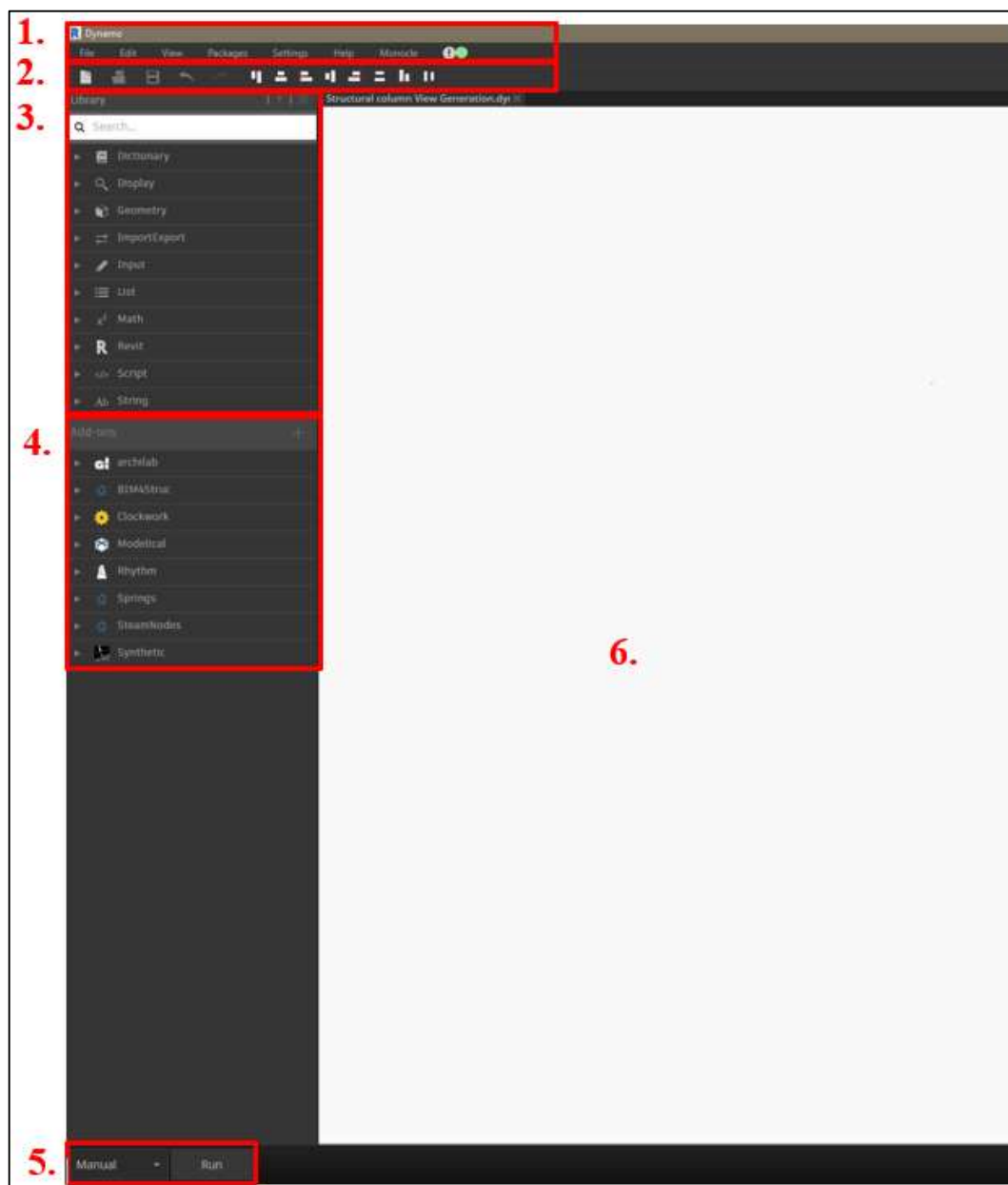
**Kuva 7.** Revit-ohjelmiston näkymä.



**Kuva 8.** Dynamo Player -toistimen näkymä Revit-ohjelmistossa.

Kuvassa 9 on Dynamo-lisäosan perusnäkymä ja sen toiminnot. Yläriviltä löytyy dokumentin hallinta, komponenttien esitystavan hallinta, sekä pakkauksien hallinta. Kuvassa esitetystä Dynamo-lisäosan näkymästä löytyvät seuraavat asiat:

1. Valikot
2. Työkalut
3. Kirjasto
4. Täydennyskirjasto eli käyttäjien itsetekemät, ladattavat paketit
5. Suorituspalkki
6. Työtila.

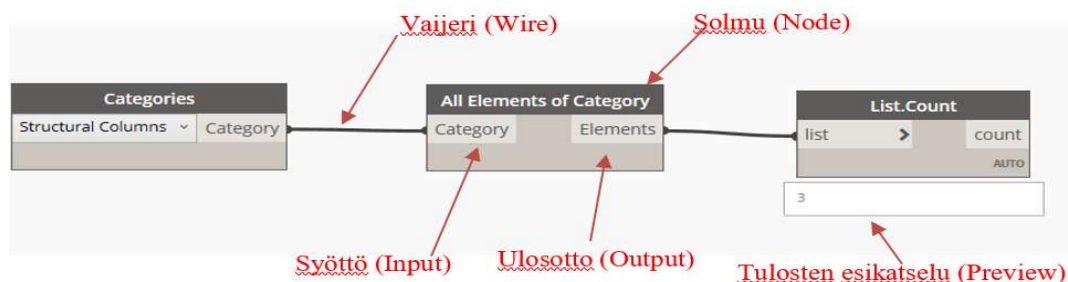


**Kuva 9.** Dynamo-lisäosan käyttöliittymä.

Dynamo-lisäosassa työskentely tapahtuu ensin etsimällä ja valitsemalla tarvittavat solmut. Tämän jälkeen valitut solmut ketjutetaan yhteen oikeaan järjestykseen. Kuvassa 10 on esitetty yksinkertainen Dynamo-lisäosalla luotu komentorakenne. Komentorakenteessa ensimmäisessä solmussa valitaan ensin alasvetovalikosta haluttu kategoria. Tässä tapauksessa on valittu rakenteelliset pilarit. Toinen solmu valitsee kaikki kyseiseen kategoriaan kuuluvat osat.

Ensimmäinen solmu yhdistetään toisen solmun syöttöön ja toisesta solmusta lähtee ulosotto viimeiseen solmuun.

Viimeisessä solmussa suoritetaan itse osien laskenta. Saatu tulos on myös esikatseltavissa. Komentorakenteet voivat olla kuitenkin huomattavasti monimutkaisempia ja yleensä eri solmut sisältävätkin useita syöttöjä ja ulosottoja.



**Kuva 10.** Yksinkertainen komentorakenne.

## 5.2 Structural Precast Extension -lisäosa

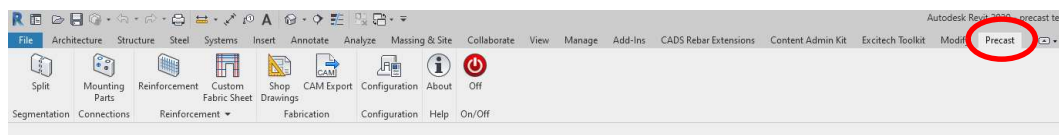
### 5.2.1 Yleisesti

Structural Precast Extension -lisäosa on Autodesk-ohjelmistoyrityksen tekemä laajennos Revit-ohjelmistoon, joka helpottaa ja nopeuttaa seinäelementtien ja laattojen mallintamista. Lisäosan saa tällä hetkellä kolmella eri kielellä eli englanniksi, ranskaksi ja saksaksi. /23/ Lisäosa on ilmainen käyttäjille, joilla on Revit-ohjelmiston lisenssi.

Structural Precast Extension -lisäosa avautuu asennuksen jälkeen uutena välilehtenä Revit-ohjelmiston sisällä. Kuvassa 11 on kuvattuna lisäosan valikkonäkymä.

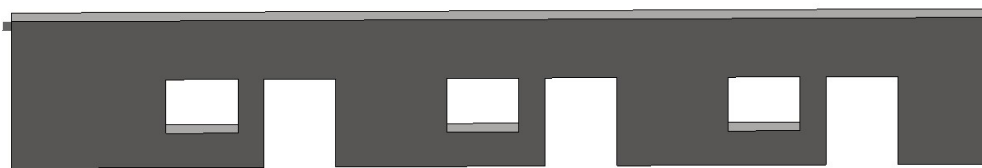
Valikosta löytyvät seuraavat toiminnot:

- Jako-toiminto (Split)
- Varusteluosat-toiminto (Mounting Parts)
- Raudoitus-toiminto (Reinforcement)
- Piirustusten teko -toiminto (Shop Drawings)
- Asetukset (Configuration)
- On/Off-toiminto.

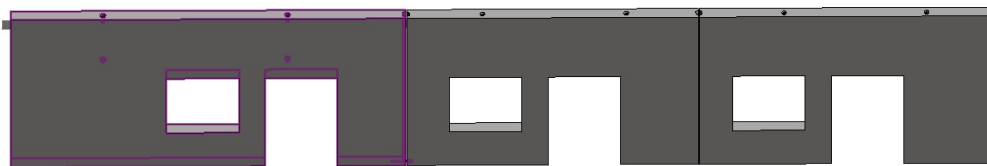


**Kuva 11.** Precast lisäosan valikkonäkymä.

Jako-toiminto (Split) jakaa elementin käyttäjän määrittelemien raja-arvojen mukaisesti. Jakotoiminnon noudattamat säännöt määritellään ennakkoon asetuksissa. Kuvissa 12 ja 13 on esitetty, mitä tapahtuu jakotoiminnon suorituksella.



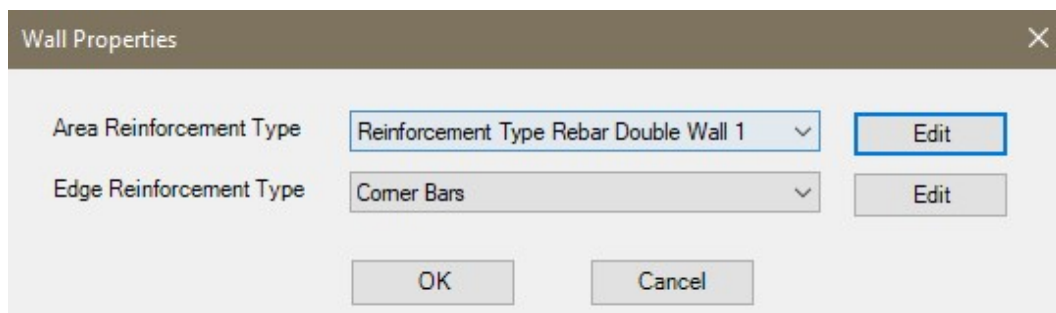
**Kuva 12.** Seinä ennen jako toiminnon suorittamista.



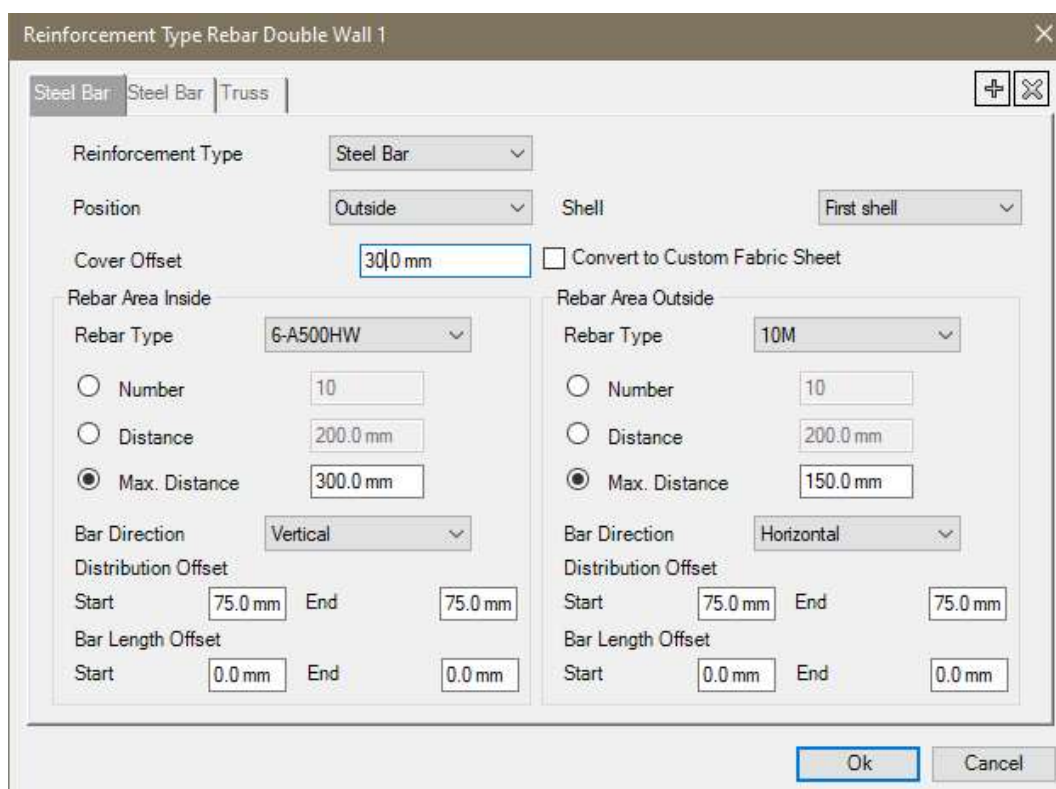
**Kuva 13.** Seinä jako toiminnon suorittamisen jälkeen.

Varusteluosat-toiminnolla (Mounting Parts) saadaan lisättyä jälkeempään lisätyt varusteluosat samaan kokoonpanoon (Assembly).

Raudoitus-toiminto (Reinforcement) raudoittaa valitun seinän käyttäjän määritelmien mukaisesti. Raudoitus-toiminnon aktivointi avaa kuvan 14 valikon, jossa on mahdollista valita ennakkoon määritellyt alue- sekä reunaraudoitustyyppit. Kuvassa 15 on esitetty alueraudoituksen määrittely. Muokattava verkko (Custom Fabric Sheet) -toiminnolla voidaan valita aiemmin tehtyjä raudoituksia ja muokata niistä yksi kokoonpano.



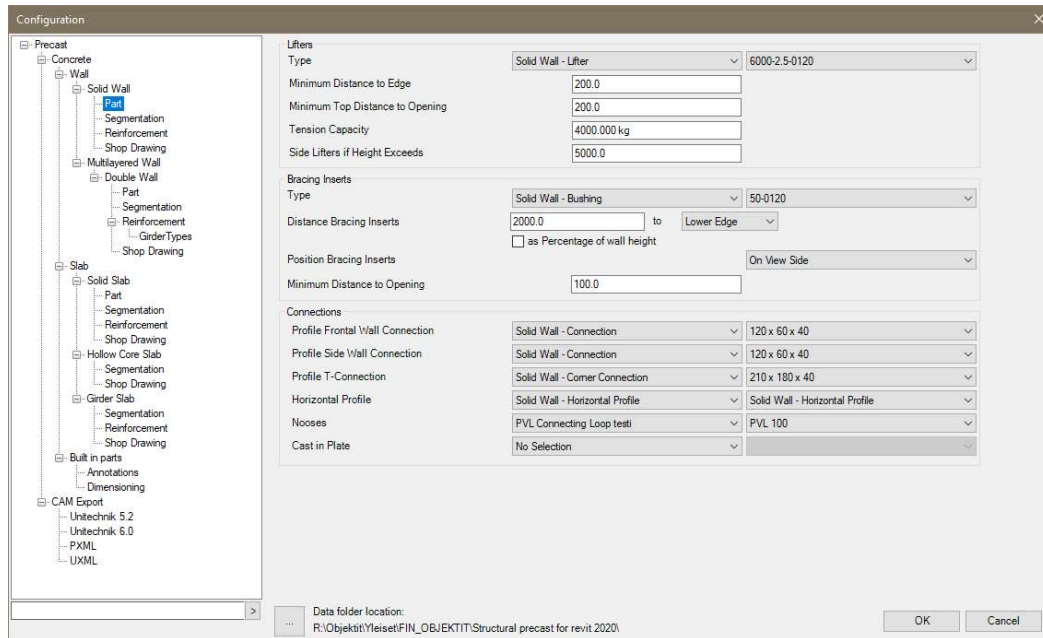
**Kuva 14.** Raudoitusten määrittely.



**Kuva 15.** Alueraudoitusten määrittely.

Piirustusten teko -toiminto (Shop Drawings) mahdollistaa seinäelementti piirustusten toteuttamisen etukäteen määriteltyjen asetusten mukaisesti. CAM vienti -toiminnolla (Cam Export) saat vietyä valmiin seinäelementtimallin elementtitehtaalle sopivaan muotoon. Elementtitehdasyriykset, joiden kanssa Oy Polyplan Ab yritys on yhteistyössä toiminut, eivät ole vielä kuitenkaan CAM-muodossa elementtejä vaatineet.

Asetuksissa (Configuration) voidaan muokata elementteihin ja niiden tekoon liittyviä asetuksia. Nämä tulee määrittellä aina ensimmäisenä ja kyseisiin elementteihin sopiviksi. Kuvassa 16 on esitetty asetusvalikko.



**Kuva 16.** Asetusvalikko.

Seuraavat asetukset ovat määriteltävissä:

Seinäelementit:

- Varusteluosat
  - Nosto-osat
  - Elementtitukien kiinnitysosat
  - Liitokset
- Jakautuminen
- Raudoitukset
- Elementtipiirustus.

Sandwich elementit:

- Varusteluosat
  - Nosto-osat
  - Ansaat
  - Raudoitukset
- Jakautuminen

- Raudoitukset
  - Palkkiraudoitus
- Elementtipiirustus.

Laatat:

- Varusteluosat
- Jakautuminen
- Raudoitukset
- Elementtipiirustukset.

Ontelolaatat:

- Jakautuminen
- Elementtipiirustukset.

Jännitetyt laatat:

- Jakautuminen
- Raudoitukset
- Elementtipiirustukset.

Sisäänrakennetut toiminnot:

- Merkinnät
- Mitoitukset.

CAM-vienti:

- Unitechnik 5.2
- Unitechnik 6.0
- PXML
- UXML.

Elementteihin lisättävät objektit tulee olla samassa muodossa kuin lisäosassa valmiina olevat objektiperheet, muussa tapauksessa niiden lisääminen ei onnistu. Joitain objektivaihtoehtoja on Structural Precast Extension -lisäosassa tarjolla, mutta ne eivät vastaa Suomessa saatavilla olevia tuotteita. Jos halutaan käyttää, esimerkiksi Peikko Finland Oy:n valmistamaa PVL-vaijerilenkkiä seinäelementtien liitoksissa, niin tulee sen jako ja sijainti määritellä valmiiksi samaan tyyliin kuin lisäosan valmiit objektit ovat määritelty.

Prodlib-kirjastosta haettua objektia ei voida suoraan ladata lisäosaan. Sandwich-elementteihin ei ole vielä mahdollista määrittellä liitososia ollenkaan. Näiden kohdalla liitokset tulee määrittellä manuaalisesti ja yhdistää ne kokoonpanoon varusteluosat-toiminnon avulla. Myös muiden asetuksista puuttuvien varusteluosien kanssa tulee toimia samoin.

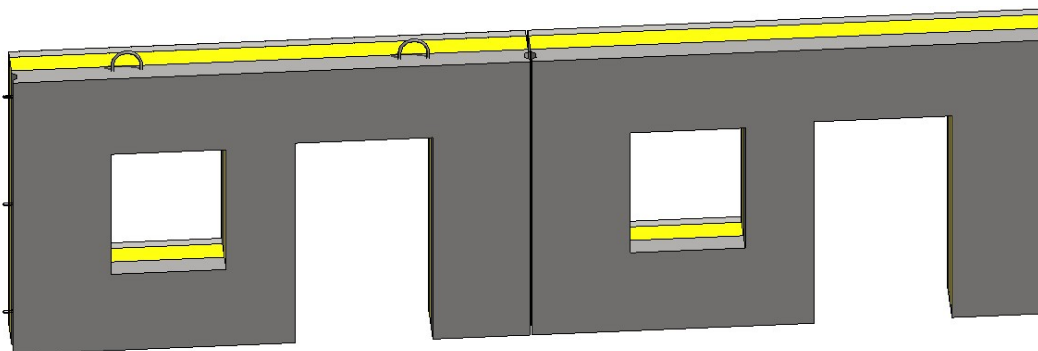
Raudoituksille on mahdollista määrittellä esimerkiksi seinissä kenttäraudoitukset, reunateräkset niiden taivutustyytit ja betonipeite. Erilaisia valmiita raudoitustyyppjä voi tehdä ja tallentaa, jolloin ne käyttöönottavissa, kun seinän raudoitustyyppi muuttuu.

On/Off-toiminnolla saadaan lisäosa pois käytöstä tai käyttöön. Se keventää mallia ja on erityisesti suurissa hankkeissa hyödyllinen.

### 5.2.2 Sandwich elementtiseinän mallintaminen ja piirustusten tekeminen lisäosaa hyödyntäen

Seinätyökälulla mallinnetaan ensin 9 000 mm pitkä ja 2 800 mm korkea elementti. Elementissä on kantava 200 mm leveä sisäkuori, 220 mm eristeleveys ja ulkokuori on 90 mm leveä. Seuraavaksi seinään lisättiin vielä ikkuna- sekä oviaukotukset.

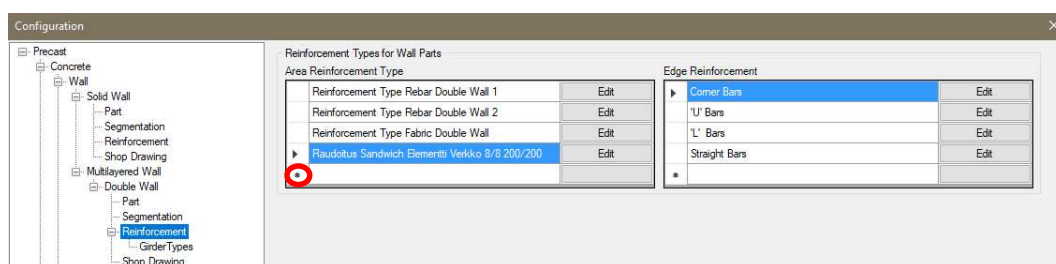
Seinäelementti jaetaan Jako-toiminnolla kahteen erilliseen osaan. Tämän jälkeen seinäelementtiin lisätään seinäliitoslenkit sekä niiden vaatimat kolot ja nostolenkit. Lisätyt varusteluosat yhdistetään lopuksi kokoonpanoon Varusteluosat-toiminnon avulla. Kuvassa 17 on esitetty seinäelementti toimenpiteiden jälkeen.



**Kuva 17.** Seinäelementti toimenpiteiden jälkeen.

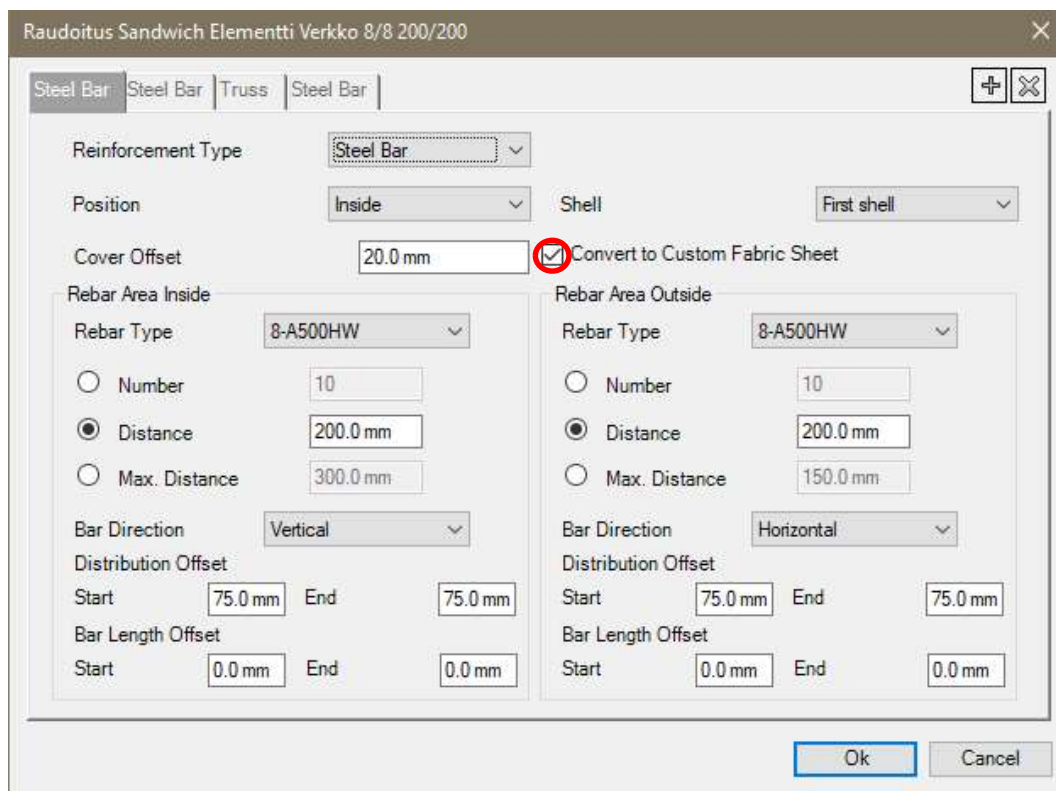
Tämän jälkeen seinäelementti raudoitetaan. Sisäkuori ja ulkokuori raudoitetaan 12 mm reunaraidoilla ja 8/8-, 200/200-verkoilla. Sisäkuoreen tulee kaksi verkkoa ja ulkokuoreen yksi. Betonin suojaetäisyyksinä käytetään ulkokuoreessa 35 mm ja sisäkuoreessa 20 mm.

Asetuksissa luodaan ensin uusi alueraudoitustyyppi. Tämä tapahtuu painamalla kuvassa 18 esitettyä ympyröityä painiketta. Tyypille voidaan itse määrittellä nimi. Muokkaa (Edit) painikkeella päästään muuttamaan alueraudoituksen asetuksia. Jokainen raudoitustaso ja ansaat (Truss) määritellään omilla välilehdillään.



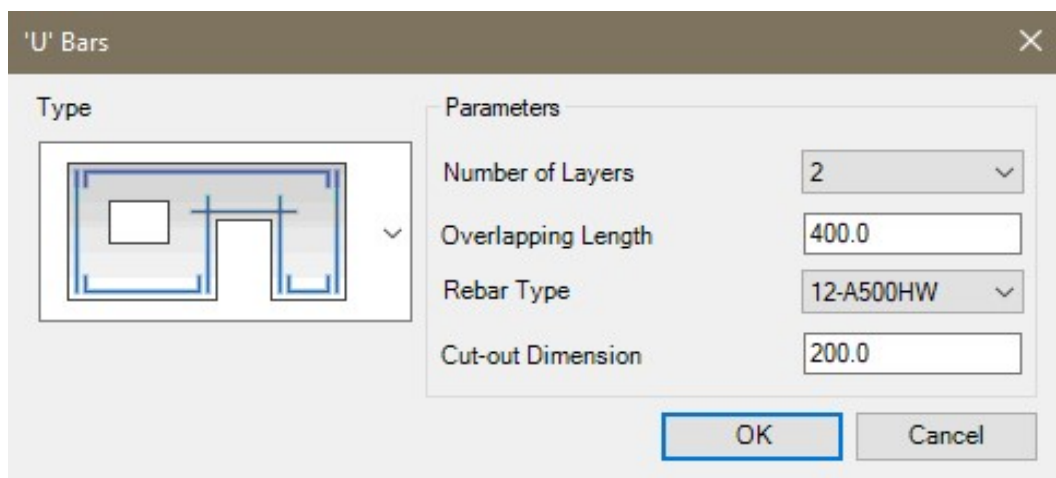
**Kuva 18.** Uuden alueraudoitustyyppin lisääminen.

Kuvassa 19 on esitetty esimerkkinä sisäkuoren sisemmän verkon määrittely. Kuvassa 19 ympyröity (Convert to Custom Fabric Sheet) toiminto tulee olla valittuna, jotta raudoituksista tulee yhtenäinen verkko, eikä erillisiä raudoitustankoja. Raudoituksesta voidaan määrittellä erikseen raudoituksen koko, sen sijainti rakenteessa, jako pystysuuntaan ja jako vaakasuuntaan.



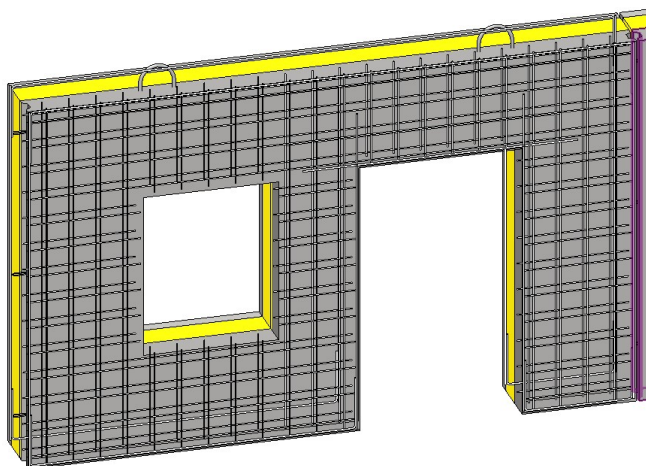
**Kuva 19.** Alueraudoitusten asetukset.

Seuraavana määritellään reunaraudoituksen koko ja taivutusten tyyppi. Määrittely on esitetty kuvassa 20. Reunaraudoitustyyppi luodaan kuten alueraudoitustyyppi. Tähän elementtiin valittiin reunaraudoituksen toteutus U-taivutustyyppillä. Reunaraudoitukset eivät tule automaattisesti ikkuna-aukkoihin, vaan ne tulee toteuttaa manuaalisesti myöhemmin.



**Kuva 20.** Reunaraudoitusten asetukset.

Kun raudoitusten asetukset ovat määritelty, ne saadaan lisättyä elementtiin lisäosan päävalikon raudoitustoiminnolla. Toiminnon aktivointi avaa valikon, jossa voidaan valita ennakkoon asetuksissa määriteltyjä raudoituksia. Raudoitusten lisäämisen jälkeinen tilanne on esitetty kuvassa 21.



**Kuva 21.** Raudoitusten lisäämisen jälkeinen tilanne.

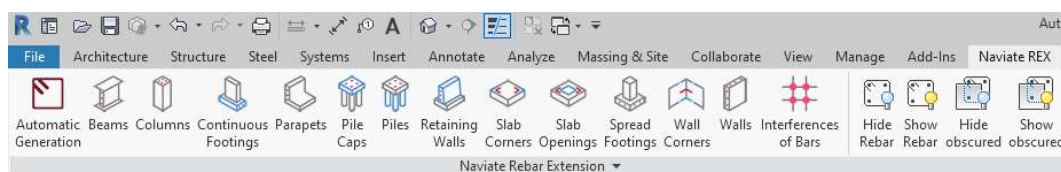
Kun raudoitukset ovat elementtiin lisätty, voidaan siirtyä piirustusten tekemiseen ja muokkaukseen. Piirustuksien tekeminen lisäosassa tapahtuu piirustusten teko -toiminnon avulla, joka löytyy päävalikosta. Lisäosassa on valmiina määritelty erilaisia piirustusarkkiperheitä, joihin on määritelty valmiiksi näkymiä ja luetteloita. Arkkiperheet tarvitsevat kuitenkin muokkausta, jotta niitä voidaan hyödyntää. Liitteessä 1 on esitetty lisäosan valmis piirustus pohja ilman muokkausta, jolle elementti on viety. Käytettävä piirustus pohja määritellään asetuksissa.

Oy Polyplan Ab:lle luotiin tässä opinnäytetyössä uusi piirustus pohja lisäosaan, sekä siihen tarvittavat näkymämallit (View Template). Piirustus pohjaan lisättiin valmiiksi näkymiksi edestä kuvattu päänäkymä, 3D-näkymä, sekä pysty- ja vaakaleikkaus. Pohjaan lisättiin myös varusteluosaluettelo sekä raudoitusluettelo. Nämä valitut näkymät tulevat piirustusten teko -toiminnolla automaattisesti piirustukseen. Näkymämalleja ei ole kuitenkaan mahdollista määritellä ennakkoon. Vaan ne tulee valita jokaiseen näkymäikkunaan erikseen. Tarvittaessa elementistä voi ottaa lisää näkymiä ja lisätä niitä piirustukseen manuaalisesti.

## 5.3 Naviate Rebar Extension -lisäosa

### 5.3.1 Yleisesti

Naviate Rebar Extension eli Naviate REX on alun perin Autodesk-ohjelmistoyrityksen kehittämä lisäosa, jonka hallinta ja kehitys on siirtynyt Ruotsalaiselle Symetri Addnode Group -yritykselle. Aiemmin kun lisäosa oli vielä Autodesk-ohjelmistoyrityksen hallinnassa, niin se tunnettiin nimellä Revit Extension. Sen tehtävänä on helpottaa ja nopeuttaa teräsbetonirakenteiden mallintamista. Lisäosien kehittämisen lisäksi Symetri Addnode Group -yritys tarjoaa muun muassa mallinnusohjelmisto kursseja. Naviate REX -lisäosa on vielä kehitysvaiheessa. Lisäosaan on mahdollista saada lisenssi ottamalla yhteyttä sähköpostitse Symetri Addnode Group -yritykseen. Naviate REX -lisäosa on ilmainen. /24, 25/ Naviate REX -lisäosan valikkonäkymä on esitetty kuvassa 22.



**Kuva 22.** Naviate REX -lisäosan valikkonäkymä.

CADS Rebar Extension -lisäosa on hyvin samankaltainen kuin Naviate REX -lisäosa, joten sitä ei erikseen käsitellä tässä opinnäytetyössä. CADS Rebar Extension on maksullinen lisäosa.

Naviate REX -lisäosasta löytyy seuraavat toiminnot:

- Automaattinen raudoittaminen
- Palkin raudoittaminen
- Perustuksen raudoittaminen
- Sokkelin raudoittaminen
- Paaluperustuksen raudoittaminen
- Paalujen raudoittaminen
- Tukimuurin raudoittaminen
- Laatan reunaraudoittaminen
- Laatan aukkojen raudoittaminen
- Pilariperustuksen raudoittaminen

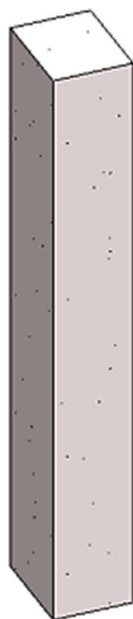
- Seinien nurkkien raudoittaminen
- Seinien raudoittaminen
- Raudoitusten yhteentörmäyksien tutkiminen
- Raudoitusten piilotus ja esiin tuominen
- Raudoitusten piilotus rakenteen sisään ja esiin tuominen rakenteen päälle.

Erityyppisten rakenteiden raudoittaminen toteutetaan valitsemalla ensin haluttu rakenne mallista, jonka jälkeen valitaan Naviate REX -lisäosan valikosta vastaavalle rakenteelle soveltuva toiminto. Tämä avaa uuden ikkunan, jossa määritellään rakenteeseen tulevat raudoitteet ja muut asetukset.

### 5.3.2 Pilarin raudoitus lisäosaa hyödyntäen

Lähtökohtana on raudoittamaton 380 x 480 mm betonipilari. Pilarin korkeus on 2,8 m. Pilarissa ei saa olla reunaviisteitä ennen Naviate REX -lisäosan raudoitustoiminnon suorittamista, koska silloin raudoitteet eivät sijoitu pilariin oikein. Reunaviisteet voidaan lisätä raudoittamisen jälkeen.

Pilari valitaan ja käynnistetään pilarin raudoitustoiminto, jonka jälkeen avautuu uusi ikkuna. Kuvassa 23 on esitetty esimerkin lähtökohtana toimiva teräsbetonipilari.

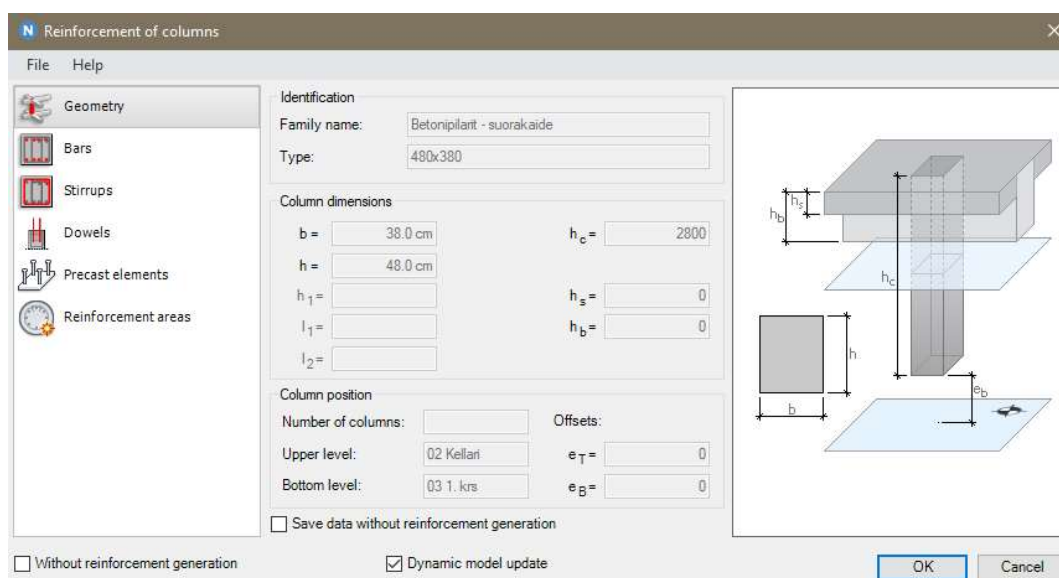


**Kuva 23.** Teräsbetonipilari.

Pilari valitaan ja käynnistetään pilarin raudoitustoiminto, jonka jälkeen avautuu uusi ikkuna. Ikkunasta löytyvät seuraavat määriteltävät pilarin asetukset:

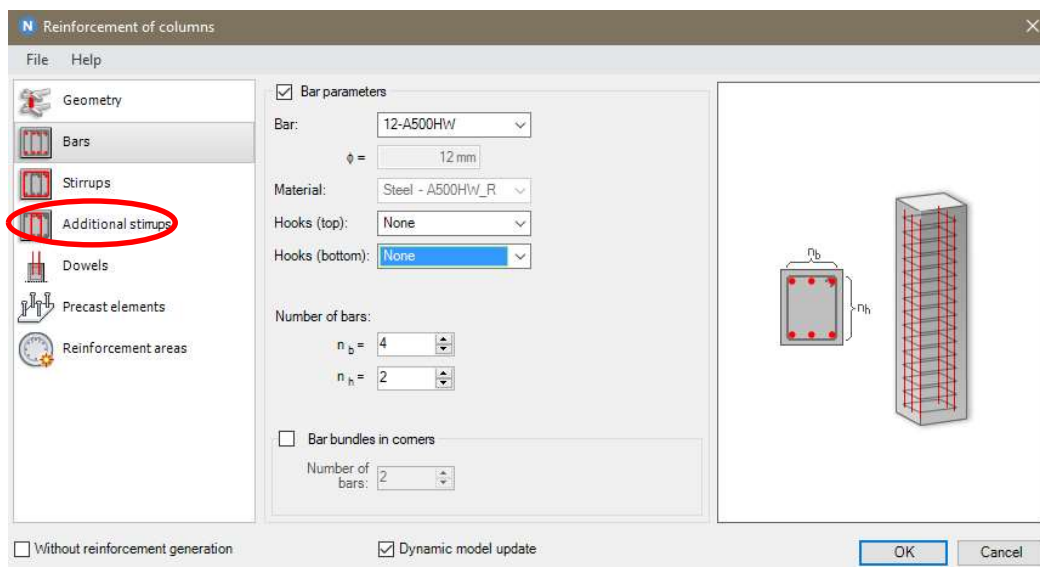
- Geometria
- Pääraudoitukset
- Haat
- Tartunnat
- Varusteluosat
- Raudoitusten poikkipinta-ala.

Tehtyjä raudoituspohjia on myös mahdollista tallentaa ja ladata, joka nopeuttaa työskentelyä. Ikkunasta löytyy oikealta selkeä graafinen esitys siitä, mitä attribuuttien muutokset tekevät. Kuvat eivät kuitenkaan päivitty reaaliaikaisesti muutosten mukaan. Pilarin raudoitusten määrittelyvalikko esitetään kuvassa 24.



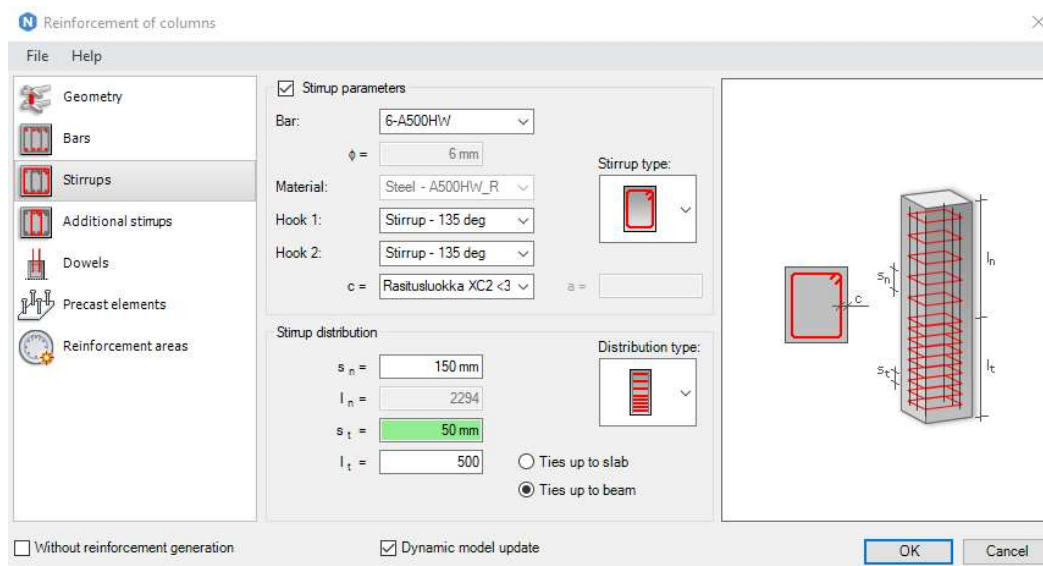
**Kuva 24.** Pilarin raudoitusten määrittely.

Pilarin terästen määrittely alkaa pääteräsvalikosta, jossa voidaan valita niiden koko, mahdolliset koukut sekä lukumäärä. Mahdollista on myös lisätä tuplateräkset nurkkiin tarpeen vaatiessa. Tässä tapauksessa käytettiin 12 mm A500HW-harjaterästä 4 x 2 -tyyppisesti. Kun valitaan 4 x 2 -tyyppiset raudoitukset aukeaa samalla lisähakojen määrittely valikko. Lisähakojen määrittelyvalikko on kuvassa 25 ympyröity.



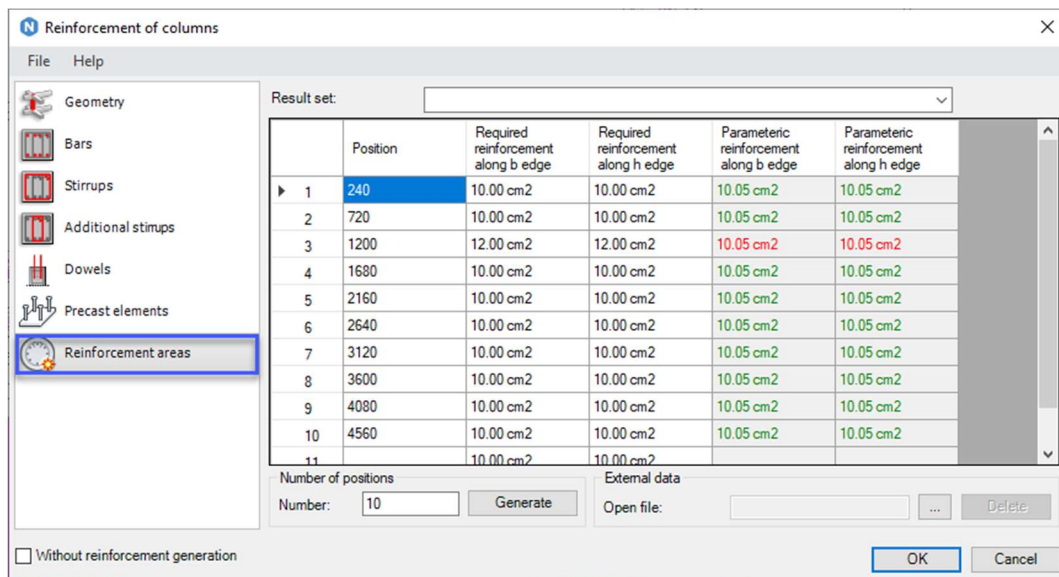
**Kuva 25.** Pääterästen määrittely.

Seuraavaksi pilariin määritellään haat sekä lisähaat. Hakojen osalta on määriteltävissä koko, koukut, taivutustyyppi, suojabetonipeitteen paksuus sekä terästen jako. Terästen jakautuminen on myös mahdollista määrittellä, jos halutaan ylä- tai alapään tai vaihtoehtoisesti molempiin tiheimmät raudoitukset. Lisähakoja on valittavana muutama valmis taivutustyyppi, mutta jos nämä eivät riitä, niin lisää on mahdollista tuoda joko omasta taivutustyyppikirjastosta, tai sitten luoda uusia. Pilariin määriteltiin 6 mm haat, suojabetonipeitteen paksuudeksi valittiin 30 mm ja hakaväliksi 150 mm, paitsi pilarin alaosassa, jossa on 500 mm korkeudella asti tihennetty 50 mm hakaväli. Kuvissa 25 ja 26 on esitetty pääterästen ja hakojen määrittely.



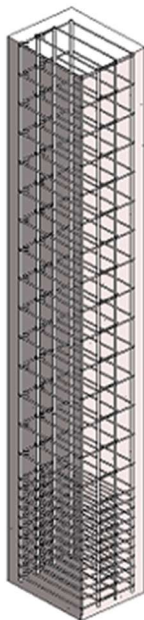
**Kuva 26.** Hakojen määrittely.

Pilariin on myös mahdollista lisätä tartunnat. Pilariin on myös mahdollista määrittellä varusteluosia, mutta näiden lisäämistä ei ole aiemmin koettu ongelmaksi, vaan niiden sijoittelu ja kopioiminen on ollut helppoa mallissa manuaalisesti. Tämän vuoksi tässä opinnäytetyössä tähän toimintoon ei perehdytä sen syvällisemmin. Raudoitusten poikkipinta-alavälilehdellä on mahdollista linkittää Autodesk Robot Structural Analysis Professional -tiedosto, jonka jälkeen voidaan tarkastella, onko poikkileikkaus oikein raudoitettu. Kuvassa 27 on esitetty tämä toiminto.



**Kuva 27.** Raudoitus tarkastelu. /26/

Lopputulokseksi saadaan valmiiksi raudoitettu teräsbetonipilari, johon voidaan seuraavaksi lisätä viisteet ja varusteluosat. Raudoitettu teräsbetonipilari on esitetty kuvassa 28.



**Kuva 28.** Raudoitettu teräsbetonipilari.

## **6 TYÖSKENTELYN TEHOSTAMISESSA SAAVUTETUT TULOKSET OY POLYPLAN AB:SSÄ**

### **6.1 Dynamo-lisäosa**

Dynamo-lisäosalla on mahdollista tehdä hyvinkin monimutkaisia komentorakenteita, jotka suorittavat haluttuja toimintoja. Ainoa rajoittava tekijä onkin käyttäjän osaaminen, sekä mielikuvitus. Valmiiksi tehtyjä komentorakenteita on myös tarjolla runsaasti Dynamo-lisäosan keskustelufoorumeilla. Komentorakenteiden käyttöönotto vaatii kuitenkin perehtyneisyyttä Dynamo-lisäosan, sekä visuaalisen ohjelmoinnin toimintaan. Opinnäytetyön aikana kokeilin mm. pilarien näkymien tekemiseen tarkoitettua ohjelmaa, sekä näkymien automaattiseen sijoittamiseen tulosteelle tarkoitettua ohjelmaa. Ohjelmat toimivat, mutta jotta niitä olisi ollut mahdollista käyttöönottaa yrityksessä ne olisivat vaatineet paljon muokkaamista. Luultavasti olisikin ollut helpompi tehdä komentorakenteet kokonaan uusiksi, jotta niillä olisi pystytty tuottamaan vaatimuksien mukaisia näkymiä sekä piirustuksia. Helpommiksi vaihtoehdoiksi tässä vaiheessa koettiin seuraavissa osioissa esiteltyjen toimintatapojen käyttöönotto.

### **6.2 Structural Precast Extension -lisäosa**

Structural Precast Extension -lisäosassa havaittiin käyttöönoton yhteydessä puutteita ja moni tarpeellinen teräsbetonirakenteiden mallintamiseen vaadittava toiminto onkin vielä mahdotonta tai hidasta tehdä lisäosalla. Tästä huolimatta lisäosasta löytyi monia toimintoja, jotka tehostavat ja helpottavat teräsbetonirakenteiden mallintamista. Lisäosa on ollut tarjolla vasta kahden vuoden ajan, joten siihen on odotettavissa todennäköisesti parannusta Autodesk Revit 2021 -ohjelmiston yhteydessä. Lisäosa on kehittynyt, joka vuosi julkaisunsa jälkeen.

Yksinkertaisissa seinärakenteissa seinien jakotoiminto toimii hyvin ja tällöisten rakenteiden toteutuksissa se koettiin hyödylliseksi. Muokkaamalla valmista vaijerilenkkiliitosta olisi myös mahdollista määrittellä ohjelman malliosien tilalle esimerkiksi Peikko Finland Oy:n tarjoamat PVL-vaijerilenkit.

Myös muita varusteluosia, kuten nosto-osia ja ansaita on mahdollista määritellä automaattisesti seinäelementtiin jakotoiminnon suorituksella. Tämä vaatisi kuitenkin jokaisen erilaisen varusteluosa perheen muokkaamisen lisäosalle sopivaan muotoon. Tätä ei koettu tarpeelliseksi, koska varusteluosien lisäämistä manuaalisesti rakennemalleihin ei ole aiemmin koettu ongelmalliseksi.

Seinäelementtien raudoittamisessa lisäosa osoittautui hyödylliseksi. Raudoitusten luominen oli selkeää ja valmiita raudoitusprofiileja oli mahdollista luoda eri tarkoituksiin käytettäväksi. Reunaraudoitukset oli helppoa määritellä ja valittavana oli neljä erilaista taivutustyyppiä, joilla raudoitukset oli mahdollista toteuttaa. Elementtien rakenteen sisällä olevia aukkoja, kuten ikkunoita ei ollut tällä automaattisella toiminnolla kuitenkaan mahdollista raudoittaa vaan ne tulee edelleen toteuttaa manuaalisesti. Alueraudoitusten toteutus onnistui muuten hyvin, mutta tehtäessä raudoituksesta verkkoa (Custom Fabric Sheet), niin sitä ei enää onnistunut saamaan raudoitusluetteloon mukaan. Muista raudoituksista luettelon luominen onnistui ongelmitta. Verrattuna raudoitusten toteuttamiseen täysin manuaalisesti oli raudoitusten toteuttaminen osittain lisäosan avulla nopeampaa. Sujuvimmaksi tavaksi osoittautuikin mallintaa ensin perusraudoitukset lisäosan avulla ja täydentää niitä sitten manuaalisesti.

Piirustusten luominen lisäosalla oli helppoa, kun näkymät siirtyivät automaattisesti piirustusarkille omille paikoilleen. Kuitenkin, jotta tätä toimintoa voitaisiin hyödyntää, niin vaatii se paljon taustatyötä. Jokainen yrityksen oma piirustus pohja tulisi luoda uudelleen lisäosan tukemaan muotoon ja kuitenkin olisi mahdotonta luoda jokaiseen tilanteeseen sopivia piirustus pohjia. Jos lisäosaa halutaan hyödyntää piirustusten luonnissa, niin sujuvimmaksi toimintatavaksi osoittautui tehdä piirustus pohja, jossa olisi perusnäkymät ja sitä täydennetään uusilla näkymillä.

### **6.3 Naviate Rebar Extension -lisäosa**

Naviate Rebar Extension -lisäosa on vielä kehitysvaiheessa ja se on huomattavissa. Kuitenkin moni sen toiminto on hyödynnettävissä osittain mallinnuksessa ja niillä saadaan luotua hyvä pohja, johon pystytään täydentämään tarvittavat varusteluosat sekä monimutkaisemmat raudoitukset. Naviate Rebar Extension -lisäosan kanssa

toimintatapa onkin hyvin saman kaltainen, kuin Structural Precast Extension -lisäosan kanssa.

Hyödyllisimmäksi osoittautui pilarien raudoittamiseen käytettävä työkalu. Aiemmin manuaalisesti raudoituksia mallinnettaessa se on ollut työlästä ja raudoitukset on ollut hankalaa saada symmetrisesti rakenteeseen. Myös betonin suojaetäisyyksien toteuttaminen ei ole aina onnistunut tarkasti mallinnettaessa. Lisäosa tarjoaakin tähän tehokkaan työkalun, kun raudoitukset saadaan määriteltyä täsmällisesti oikeille kohdilleen ja myös betonin suojaetäisyyksiä noudattaen. Valmiita raudoitusprofiileja on myös mahdollista tallentaa, jolloin ne ovat helposti ladattavissa myös muihin projekteihin. Tehokkaimmaksi toimintatavaksi osoittautui tehdä perusraudoituksen pohja lisäosan avulla. Lisäosassa tehtyjä oikean tyyppisiä raudoituksia on helppoa myös muokata ja kopioida tarvittaessa. Varusteluosia on myös mahdollista määritellä lisäosan avulla, mutta niiden asettaminen manuaalisesti ei ole ollut aiemmin ongelmallista.

Lisäosaa käytettäessä havaittiin siinä puutteita, sekä keskeneräisyydestä johtuvia ohjelmistovirheitä. Lisäosaa käytettäessä havaittiin seuraavia ongelmia. Pilarien raudoituksia ei voi asettaa, jos pilarissa on valmiiksi viistetyt reunat. Palkin raudoitukset siirtyvät palkin ulkopuolelle, kun lisäosan raudoitustoiminto on suoritettu. Verkkoraudoituksia ei ole mahdollista käyttää ollenkaan.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA ARVIOINTI

### 7.1 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää uusia tapoja mallintaa teräsbetonirakenteita tehokkaammin. Ongelmaa lähestyttiin kokeilemalla Revit-ohjelmistoon tarjolla olevia lisäosia ja vertaamalla niillä saavutettuja tuloksia aiemmin manuaalisesti mallinnettuihin. Kriteereinä oli pääasiassa mallinnusprosessin nopeuttaminen, sekä mallinnuksen laadun parantaminen. Opinnäytetyön haasteellisuutta lisäsi kokeiltujen lisäosien puutteet. Niistä tuli löytää ratkaisut, jotka on mahdollista hyödyntää mallinnuksen tehostamisessa ja jättää pois toiminnot, jotka eivät ole vielä käyttöönotettavissa. Haasteelliseksi osoittautui myös Dynamo-lisäosan ja sen myötä algoritmiavusteisen suunnittelun sisäistäminen. Algoritmiavusteinen suunnittelu on täysin erilainen tapa toteuttaa mallinnusta mihin aiemmin olin tottunut.

Omiin kokemuksiin perustuen Dynamo-ohjelmiston ja algoritmiavusteisen suunnittelun hyödyntämisestä rakenteiden mallintamisessa on saatavissa vähän tietoa tällä hetkellä. Erityisesti suomenkielisiä julkaisuja aiheesta on vähän. Koen itse, että algoritmiavusteisen suunnittelun hyödyntäminen ja sen kehittäminen yrityksessä tulee olemaan kilpailuvaltti suhteessa muihin yrityksiin.

### 7.2 Arviointi

Opinnäytetyön aikana onnistuttiin ratkaisemaan osittain määritellyt ongelmat, mutta osa toimintatavoista tarvitsee kuitenkin jatkokehittämistä. Joidenkin ongelmien ratkaisua helpottaa luultavasti uuden Revit 2021 -ohjelmiston julkaisu ja sen myötä myös Structural Precast Extension 2021 -lisäosan julkaisu. Ennako-odotuksena, kun opinnäytetyötä aloitettiin, oli että määritellyt ongelmat pystyttäisiin ratkaista täysin lisäosien sisällä. Tämä toimintapa jouduttiin kuitenkin hylkäämään, koska lisäosien varusteluosien- ja piirustustentekotyökalut olivat tähän liian puutteellisia ja jotta nämä toiminnot olisi ollut mahdollista saada toimimaan olisi tarvittu runsaasti taustatyötä. Tämä vaadittu taustatyö koettiin turhaksi suhteessa siinä saavutettuihin etuihin.

Tehokkaimmaksi toimintatavaksi muodostui toteuttaa aiemmin ongelmallisena ollut raudoittaminen lisäosien sisällä ja muut vaadittavat toimenpiteet tavanomaisesti. Komponenttikirjaston, varusteluosa- ja raudoitusluettelon puutteita ei tässä opinnäytetyössä ratkaistu vaan niiden kehittäminen jatkuu tämän opinnäytetyön jälkeen.

Algoritmiavusteiseen suunnitteluun ja Dynamo-lisäosan tarjoamiin mahdollisuuksiin tässä opinnäytetyössä paneuduttiin lopulta valitettavan vähän. Aiheena algoritmiavusteinen suunnittelu on niin laaja, että siitä olisi voinut tehdä erillisen opinnäytetyön. Tämän vuoksi tässä opinnäytetyössä sen sisältö rajattiin hyvin suppeaksi.

### **7.3 Jatkokehitys**

Teräsbetonirakenteiden mallintamisen kehitystyötä jatketaan yrityksessä ja tässä opinnäytetyössä esitetyjä toimintatapoja tullaan kokeilemaan käytännössä tulevissa projekteissa. Komponenttikirjaston, varusteluosa- ja raudoitusluettelon kehitystyö jatkuu myös tämän opinnäytetyön jälkeen. Uuden Revit-ohjelmistoversion ja päivitettyjen lisäosien ilmestyessä pohditaan myös mahdollisuuksia siirtää teräsbetonirakenteiden mallintaminen kokonaan lisäosien alaisuuteen. Tämän opinnäytetyön myötä tutustuttuani Dynamo-lisäosan tarjoamiin mahdollisuuksiin aion jatkaa tutkimuksia löytääkseni mahdolliset toimintamallit sen hyödyntämiseksi mallinnuksessa.

## LÄHTEET

- /1/ Opinnäytetyö aloituskokous 6.1.2020.
- /2/ Polyplan. Yritys. Viitattu 3.3.2020. <https://www.polyplan.fi/yritys>
- /3/ Solwers. Viitattu 21.4.2020. <https://solwers.fi/>
- /4/ Latvala, J. 2012. Tietomallinnuksen hyödyntäminen työmaatoiminnassa. Viitattu 17.4.2020. [http://aaltopro2.aalto.fi/lomakkeet/tilaukset/Rakentaminen/r34/LatvalaJyrki\\_Tietomallinnuksen\\_hyodyntaminen\\_tyomaatoiminnassa.pdf](http://aaltopro2.aalto.fi/lomakkeet/tilaukset/Rakentaminen/r34/LatvalaJyrki_Tietomallinnuksen_hyodyntaminen_tyomaatoiminnassa.pdf)
- /5/ COBIM. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset YTV2012: Osa 1. Yleinen osuus. Viitattu 10.2.2020. [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_1\\_yleinen\\_osuus.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf)
- /6/ RIL. Alan kehittäminen: Tietomallinnus. Viitattu 4.3.2020. <http://ril.easypage.fi/fi/alan-kehittaminen/tietomallinnus.html>
- /7/ Oy Polyplan Ab. S-market Isokyrö rakennuksen tietomalli. Arkkitehtimalli.
- /8/ Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Esittely. RT 10-11080, s.1-2.
- /9/ Betoniteollisuus Ry. 2012. BEC2012 Elementtisuunnittelun mallinnusohje. Viitattu 4.3.2020. [http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23852/BEC2012%20Elementtisuunnittelun%20mallinnusohje%20\(1\).pdf](http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23852/BEC2012%20Elementtisuunnittelun%20mallinnusohje%20(1).pdf)
- /10/ The History of Revit – The Future of Design. Viitattu 20.4.2020. [http://bim-boom.blogspot.com/2007/02/revit-history\\_11.html](http://bim-boom.blogspot.com/2007/02/revit-history_11.html)
- /11/ Autodesk Revit ominaisuudet. Viitattu 3.4.2020. <https://www.autodesk.fi/products/revit/features>
- /12/ Autodesk Revit 2020. Parts Of the User Interface. Viitattu 20.4.2020. <https://help.autodesk.com/view/RVT/2020/ENU/?guid=GUID-7793667D-5657-4382-9BEC-F7CB6AC8F53E>
- /13/ Autodesk Revit 2020. Project Views. Viitattu 20.4.2020. <https://help.autodesk.com/view/RVT/2020/ENU/?guid=GUID-8B1294DC-617E-48F9-AC18-A998F43384C9>
- /14/ Autodesk Knowledge Network. Revit Products. Project Templates. Viitattu 20.4.2020. <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/ENU/Revit-Customize/files/GUID-4C16B54A-7ADA-4DEB-A278-C199B1BC4207-htm.html?st=project%20template>

/15/ Autodesk Knowledge Network. Revit Products. About Families. Viitattu 20.4.2020. <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/ENU/Revit-Model/files/GUID-6DDC1D52-E847-4835-8F9A-466531E5FD29-htm.html>

/16/ Prodlib. Viitattu 6.3.2020. <https://www.prodlib.com/?lang=en>

/17/ Autodesk Knowledge Network. Revit Products. About Revit and IFC. Viitattu 20.4.2020. <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-DocumentPresent/files/GUID-6708CFD6-0AD7-461F-ADE8-6527423EC895-htm.html>

/18/ Autodesk Knowledge Network. Revit Products. Revit – Robot Integration. Viitattu 20.4.2020. <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-B850E0C3-2314-4FEC-B5D1-A7C0CBDF290F-htm.html>

/19/ Oy Polyplan Ab. S-market Isokyrö rakennuksen tietomalli. Rakennemalli.

/20/ Tanska, T. Österlund, T. 2014. Algoritmit puurakenteissa. Viitattu 2.3.2020. <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526204567.pdf>

/21/ Dynamo. What is Dynamo? Viitattu 27.4.2020. [https://primer.dynamo-bim.org/01\\_Introduction/1-2\\_what\\_is\\_dynamo.html](https://primer.dynamo-bim.org/01_Introduction/1-2_what_is_dynamo.html)

/22/ Autodesk Knowledge Network. Revit Products. Dynamo Player. <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-AddIns/files/GUID-BFCE20D2-86D4-4591-8CF3-5405D26DB825-htm.html>

/23/ Autodesk Knowledge Network. Revit Products. Structural Precast for Revit. <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-AddIns/files/GUID-3AA696FA-8CE6-43CC-AB60-D0BC305351EC-htm.html>

/24/ Autodesk. Revit blog. Updates to Revit Extensions for timber and rebar. Viitattu 27.4.2020. <https://blogs.autodesk.com/revit/2018/09/19/updates-to-revit-extensions-for-timber-and-rebar/>

/25/ Naviate. Naviate Rebar Extension. <https://www.naviate.com/naviate-for-revit/product/naviate-rebar-extension/p-660>

/26/ Symetri Addnode Group. Naviate Rebar Extension. Columns. Viitattu 24.2.2020. <https://help.symetri.com/display/HELPNAVREX/Columns>

