



Rakennemallin tekeminen 2D-ohjelmalla

Joonas Kakko

OPINNÄYTETYÖ
toukokuu 2022

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma
Talorakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma
Talonrakennustekniikka

JOONAS, KAKKO:
Rakennemallin tekeminen 2D-ohjelmalla

Opinnäytetyö 55 sivua
Toukokuu 2022

Tässä opinnäytetyössä mallinnettiin kohde ja tehtiin kehityssuunnitelma, jonka avulla toimeksiantajalle tuli valmius mallintavaan suunnitteluun. Toimeksiantajana oli Insinööritoimisto Kai Kakko Oy.

Työssä kartoitettiin yleisesti tietomallintamista ja perehdytään muutaman palkitun kohteen mallintamisen prosessiin. Kohteiden yhteydessä katsotaan mallintamisen haasteita ja kehityksiä. Samalla käsitellään suunnitteluohjelmia, joita käytetään tietomallien tekemisessä.

Rakennuksien mallintamiselle on laadittu yleiset tietomallintamisen vaatimukset, joita käytettiin työn rakennemallin tekemisessä. Nämä vaatimukset luovat vaiheet rakennuksen suunnitteluprosessiin. Suunnittelun eri vaiheet selitettiin ennen varsinaisen mallintamisen aloitusta.

Rakennuksesta luotiin rakennemalli Cadmaticin Building -ohjelmalla. Mallintaminen aloitettiin rakennuksen perustiedoista, joista edettiin betonielementtien mallinnukseen. Elementit mallinnettiin omilla työkaluillaan (seinät, laatat, pilarit, palkit...) suunnitteluohjelma Cadmatic Buildingin avulla. Ohjelmalla työskentely tapahtui 2D-kuvassa, tästä kuvasta tuotettiin rakennemalli. Rakennemallia tutkittiin IFC:lle tarkoitettulla katseluohjelmalla.

Rakennemallin valmistuttua alettiin tehdä kehityssuunnitelmaa. Suunnitelman alussa katsottiin toimeksiantajan nykyistä toimintamallia. Tavoitteena oli siirtyä vanhasta suunnittelutavasta uuteen mallintamisen sisältävään suunnitteluun. Kehityssuunnitelmassa havainnollistettiin myös siirrosta mahdollisesti syntyviä vaatimuksia ja haasteita. Kehitysehdotuksia syntyi toimeksiantajalle resurssien lisäämiseksi sekä mallintamiseen kouluttautumista.

Asiasanat: tietomalli, kehityssuunnitelma, elementti

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction and Civil Engineering
Building Construction

JOONAS KAKKO:
Construction Modelling with 2D Software

Bachelor's thesis 55 pages
May 2022

The purpose of this thesis was to model a construction work and to make a plan of improvement which would give the client the expertise to do model designing. The thesis was commissioned by the engineering firm Kai Kakko Oy

Firstly the thesis studies data modeling in general. A design model of the building was created using the Cadmatic's building software. The modeling started from the groundwork of the building and from there it, proceeded to different concrete elements each of which was made using a special modeling tool. All of the work done with the Cadmatic's building software was carried out in 2D and with these 2D models a design type was constructed which was then examined using a program meant for IFCs.

When the design for the whole building was finished a development plan also completed. The development plan was made to help the client to move from an old way of designing to a new and better one involving modeling. The plan also contained information about the costs and challenges of the operation. During the assignment, many remarks about design and modeling process were made and these were then piled into an operating model.

Key words: model, a development plan, element

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	Rakennuksen tietomalli.....	9
2.1	Tietomallin määritelmä	9
2.2	Tietomallinnuksen esimerkit ja hyödyt.....	10
2.2.1	HUS Silta sairaala	10
2.2.2	Helsingin Kaupunki ympäristö talo.....	10
2.3	Tietomallinnuksen haasteet	11
2.4	Tietomallinnuksen kehityskohteet	12
2.5	Tietomallinnuksen työvälineet	12
2.5.1	Autodesk Revit	13
2.5.2	Trimble Tekla Structures	13
2.5.3	Cadmatic Building.....	13
2.6	Tietomallin katseluohjelmat.....	14
3	Tietomallinnuksen vaatimukset rakennesuunnittelussa	15
3.1	Tietomallintavan rakennesuunnittelun tavoitteet	15
3.2	Yleiset rakennemallin periaatteet	15
3.3	Tietomallintavan rakennesuunnittelun vaiheet	16
3.3.1	Ehdotussuunnittelu	16
3.3.2	Yleissuunnittelu	18
3.3.3	Hankintoja palveleva suunnittelu	19
3.3.4	Toteutus suunnittelu	22
3.4	Tilaaajan rakennemallin vaatimukset	23
4	TIETOMALLINTAVA SUUNNITTELU KÄYTTÖKOHTEESSA.....	24
4.1	Toimeksiantajayrityksen kuvaus.....	24
4.2	Käyttökohteen kuvaus.....	24
4.3	Rakennemallin rajaaminen.....	25
4.4	Rakennemallin lähtötiedot.....	26
4.5	Mallintamisen aloitustoimet.....	26
4.6	Yleistä mallin rakentamisesta.....	29
4.7	Elementtien suunnittelu	31
4.7.1	Seinäelementit.....	32
4.7.2	Laattaelementit.....	36
4.7.3	Tasokuviin tehtävät rakenteet.....	38
4.7.4	Pilarit ja palkit	39
4.8	Mallin IFC- Tulostus	40
4.9	Mallin IFC-tarkastelu	43

4.10	Palaute mallista	46
5	KEHITTÄMISSUUNNITELMA.....	47
5.1	Nykytilan kuvaus	47
5.2	Tavoitetilan kuvaus	48
5.3	Kehittämistoimenpiteet.....	49
5.3.1	Suunnitteluun liittyvien toimintamallien muutokset.....	49
5.3.2	Uusien työvälineiden vaatima koulutus.....	50
5.3.3	Rakennemallin päivittämiseen liittyvä lisätyö.....	51
6	Yhteenveto ja pohdinta	52
7	Lähdeluettelo	54

ERITYISSANASTO

TAMK Tampereen ammattikorkeakoulu
op opintopiste

CAD (Computer Aided Design). Tietokoneavusteinen suunnittelu.

.DWG/.DRW. CAD-tiedoston 2D- tai 3D-piirustus tietokanta

BIM (Building Information Model). Tietomalli.

IFC (Industry Foundation Classes). Tiedonsiirtomuoto osapuolten välillä tietomallipohjaisessa suunnittelussa.

BEC-tiedot. Tietomallista luettavat attribuuttitiedot.

Bruttoala (brm²). Kuvaa koko rakennuksen laajuutta.

Kivi. Betonielementti.

1 JOHDANTO

Insinööritoimisto-toimeksiantajan tarve laajentua tietomallintavan rakennesuunnitteluun piiriin, synnytti tarpeen tälle opinnäytetyölle. Tietomallintava suunnittelu on yleistynyt merkittävästi viime vuosina ja sitä vaaditaan jo nyt useissa rakennushankkeissa. Vaikka perinteiselle rakennesuunnittelulle on edelleenkin kysyntää, näkee toimeksiantaja tärkeänä kehittää tietomallinnuksen valmiuksia vastaamaan markkinoilta tulevaan kysyntään.

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda kehittämissuunnitelma, jonka avulla toimeksiantaja tunnistaa nykyiseen suunnittelumalliinsa liittyvät kehitysvaiheet kohti tietomallintavaa suunnittelua.

Kehittämissuunnitelman aikaansaamiseksi on aluksi kartoitettu ja luotu valmiuksia ymmärtää syvällisemmin tietomallinnusta. Tietomallinnusta on kartoitettu kirjallisuustutkimuksen avulla luvussa kaksi tutustumalla tietomallinnuksen määrittelyyn, tietomallinnusta käytettäviin rakennushankkeisiin, tietomallilla tavoiteltaviin hyötyihin, haasteisiin, kehitysnäkymiin sekä tietomallinnusta tukeviin tietojärjestelmiin. Tässä on hyvä todeta, että yleiskatsaus on tehty kokonaiskuvan muodostamiseksi ja eri osa-alueita tarkastellaan yleiskuvan saamiseksi, ilman tarkempaa läpikäyntiä.

Yleisen tietomallinnuksen tarkastelun jälkeen käsittelyä tarkennetaan perehtymällä yleiseen tietomallivaatimukseen YTV2012:een ja siinä erityisesti rakennesuunnittelua koskevaan osioon luvussa kolme. Tämän luvun kirjallisuustutkimusta hyödyntävässä sisällössä muodostetaan näkemys niistä vaatimuksista, joita YTV2012:n mukaista tietomallia hyödyntävissä rakennushankkeissa edellytetään.

Näiden vaatimusten tunnistaminen on tärkeää, jotta pystytään tekemään käytännön kokeilua tietomallintavasta suunnittelusta luvussa neljä. Toimeksiantajan osoittamassa kohteessa muodostetaan tietomallin mukainen rakennemalli muutamien kerroksen osalta. Samaan kohteeseen toimeksiantaja on tuottanut myös rakennesuunnitelman.

Tietomallipohjaisen aineiston tuottamista arvioidaan suhteessa nykyiseen toimintatapaan. Tämän arvion pohjalta luodaan kehittämissuunnitelma, josta käy ilmi mitä muutoksia vaaditaan työtapoihin ja työvälineisiin matkalla kohti tietomallipohjaista suunnittelua. Kehittämissuunnitelma on kuvattu luvussa viisi.

Yhteenveto ja pohdinta on kuvattu viimeisessä luvussa, luvussa kuusi.

2 RAKENNUKSEN TIETOMALLI

Luvun alussa tarkastellaan tietomallin määritelmää. Lisäksi tietomallin käsitettä selkeytetään muutamalla esimerkillä. Lisäksi luvussa tarkastellaan tietomallin haasteita, kehityskohteita sekä työvälineitä.

2.1 Tietomallin määritelmä

Väyläviraston mukaan tietomallilla viitataan rakennelman kolmiulotteiseen digitaaliseen malliin, johon on kytketty ominaisuustietoja [1].

Senaattikiinteistöjen tutkimusraportissa [2, s. 6] rakennuksen tietomallilla viitataan rakennuksen ja rakennusprosessin koko elinkaaren aikaisten tietojen digitaaliseen esitysmuotoon.

Pelkästään rakennuksen tai sen osan esittäminen kolmiulotteisena kuvana ei tee siitä tietomallia. Tietomalli muodostuu, kun kolmiulotteiset graafiset elementit lakkaavat olemasta vain viivoja suunnitteluohjelmiston näytöllä ja näihin elementteihin saadaan yhdessä määriteltyjä ominaisuustietoja.

Kolmiulotteisen mallin edistymistä ajan suhteen voidaan myös seurata kun tietomalliin lisätään neljäs dimensio: aika. Rahoitus ja kustannukset muodostavat tarvittaessa viidennen dimension. [2, s. 10]

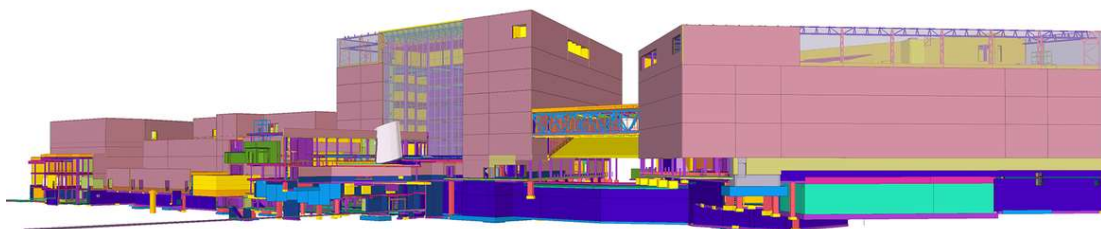
Tietomallien hyödyt tulevat esille kun eri suunnittelualojen mallit kootaan yhteiseen tietomalliin, jolloin voidaan tarkastella koko rakennusta kokonaisuutena, yhtenä tietomallina. Yhteisestä tietomallista eri suunnittelualat myös hakevat tietoa muiden suunnittelualojen tuottamasta suunnittelutiedosta. [2, s. 9]

Tietomallinnus hahmottuu paremmin esimerkkien kautta. Esimerkeistä nähdään tietomallinnuksen käytön laajuutta sekä sen tuomia mahdollisuuksia.

2.2 Tietomallinnuksen esimerkit ja hyödyt

2.2.1 HUS Siltasairaala

Tietomallintaminen on yleistä suurissa rakennushankkeissa. HUS:n Siltasairaalan rakentaminen on tästä hyvänä esimerkkinä. A-insinöörien toteuttamassa hankkeessa [2] oli mukana 16 eri suunnittelualaa ja 194 osamallia.



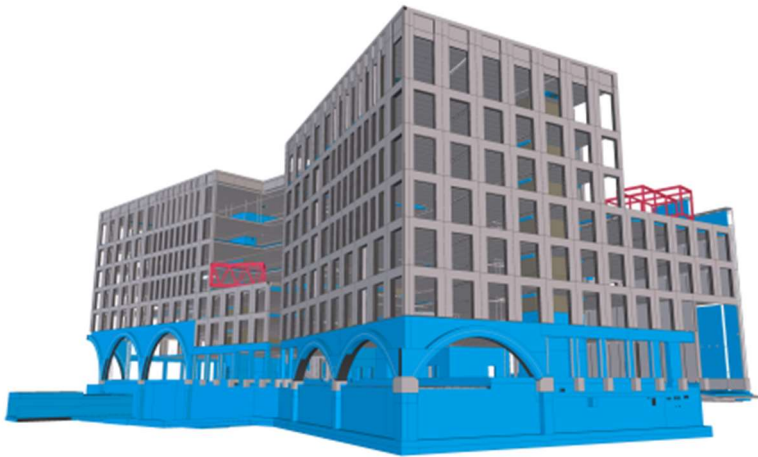
Kuva 1. HUS Siltasairaalaan tulostettu IFC-kuva [2].

Koko hanke suunniteltiin virtuaalisesti mallintamalla, jokaisen suunnittelualan toimesta. Hanke oli kokonaisuudessaan hyvin monimutkainen kokonaisuus. Mallintamisen hyödyt näkyivät projektin hallinnan sekä erityisesti hankalien liityntä kohtien suorittamisessa.

Rakennus tuettiin myös osaksi vanhojen rakenteiden pohjalle, jolloin malliin tehtiin kyseiset liittymäkohdat valmiiksi [3]. Näin pystyttiin liittymät toteuttamaan hyvällä tarkkuudella. Kohdetta myös aikataulutettiin tietomalliin sidotuilla työkaluilla [3].

2.2.2 Helsingin Kaupunkiympäristötalo

Suomen ja Baltian alueen Tekla BIM Awards-voittaja, Helsingin Kaupunkiympäristötalo, on toinen esimerkki mallintamisen huippukohteesta. Tässä kohteessa [4] hyödynnettiin tietomallipohjaista suunnittelua koko projektin osalta. Tietomallintaminen oli mukana mm. suunnittelussa, rakentamisessa, sidosryhmäyhteistyössä, tarveselvityksissä, havainnollistamisessa, aikataulutuksessa, energiatehokkuuden ja päästöjen hallinnassa sekä työturvallisuuden varmistamisessa.



Kuva 2. Helsingin kaupunkiympäristö projektin IFC-kuva, vaativat rakenteet korostettuna [4].

Suunnittelua tuettiin virtuaaliaineistojen pohjalta, jotka oli tuotettu kohteen tietomallista. Näin käyttäjät pystyivät tutustumaan kohteeseen monipuolisella tavalla ennen sen rakentamisesta.

Suunnittelijoiden keskeinen kommunikointi hoitui pelkästään IFC- pohjaisten mallien avulla. Tietojen liikkeitä ohjasi tietomallikoordinaattori, jonka vastuulla oli suunnittelualueiden välinen mallien tiedonvaihto.

Kyseisestä kohteesta teki erityisen sen rakenne: kaaripilaripalkkien varaan oli suunniteltu huomattava kuorma, mikä vaati paljon suunnittelua ja tietomallin hyödyntämistä. Rakenteet tehtiin paikallavaluna, jossa hyödynnettiin mm. mallista haettavia raudoituskuvia.

2.3 Tietomallinnuksen haasteet

Tietomallinnuksen suunnittelu vaatii paljon uutta osaamista, niin suunnittelijoilta kuin toimistojen työtapojenkin osalta. Erilaisia tietomallinnuksen osa-alueita on paljon ja osaaminen on yleensä hajaantunut yrityksenkin sisällä. Osa suunnittelijoista on saattanut erikoistua pelkästään tietomallintavaan suunnitteluun. Isoimmilla suunnittelutoimistoilla on kokonaisia tietomallinnusta toteuttavia osastoja.

Myös rakennuttajan puolelta tietomallien koordinointi ja hallinta on haastavaa. Tietomallikoordinaattorin tehtäviin kuuluu kuuluu johtaa hankkeen

mallintamisen digitaalista osuutta [5]. Tehtävänä on myös eri suunnittelualojen välinen yhteydenpito.

Vaikka tietomallintamista ohjaa YTV2012-tietomallivaatimus, jää vaatimuksen ulkopuolelle tietomallinnuksen kannalta keskeisiä kokonaisuuksia. Näistä eräs on mm. tietomallinnuksessa käytettävä nimikkeistö, jota ei ole tällä hetkellä yhdenmukaistettu. Yhdenmukaistetulla nimikkeistöllä helpotetaan mallien koneluettavuutta ja parannetaan digitaalisia materiaaliketjuja [5].

Vaikka tietomallipohjaisessa suunnittelussa on suuri potentiaali, on kuitenkin arvioitu, ettei siitä hyödynnetä edes vielä suurinta osaa. Työtavat vaihtelevat paljon kohteista ja tekijöistä riippuen, mutta mallintamisen vieminen suunnittelun jälkeen työmaalle ja sen jälkeen vielä kiinteistön ylläpitoon, ei toteudu kovinkaan usein. Esimerkiksi työmaalla ei osata välttämättä hyödyntää tietomallia, vaan tulostetaan tietomallista ulos vain tutut PDF-tiedostot. [6]

2.4 Tietomallinnuksen kehityskohteet

Rakennesuunnittelussa tietomallinnusta ohjaavat nykyinen YTV2012-tietomallivaatimus sekä BEC2012-elementtisuunnittelun mallinnusohje. Vuosikymmenen vanhat vaatimukset ovat päivityksen tarpeessa. Tietomallintamisen yhteinen nimikkeistö ja koneluennan kehittäminen ovat erityisesti etusijalla.

Ympäristöministeriö uudistaa YTV2012-tietomallivaatimuksia, parantaakseen juuri tietojärjestelmien yhteensopivuutta mm. käsitteiden yhdenmukaistamisen kautta [7]. Uudistukset toteutetaan YTV2020-hankkeen alla [8]. YTV2020-hankkeen rinnalla edistetään RAVA2- kehityshanketta, jonka puitteissa luodaan tietomallinnuksen ja määritelmien vaatimukset rakennusvalvonnan osalta.

2.5 Tietomallinnuksen työvälineet

Tietomallintavat työvälineet voidaan karkeasti jakaa kahteen osaan: suunnittelu-työvälineisiin ja katseluohjelmiin. Suunnittelutyökaluja tietomallinnukselle löytyy useita erilaisia. Aluksi esitellään kolme yleistä Suomessa käytettävää suunnittelutyövälinettä, minkä jälkeen tutustutaan muutamaa katselusovellukseen.

2.5.1 Autodesk Revit

Autodeskin Revit-ohjelmisto on tarkoitettu rakenne-, arkkitehti- ja LVI- 3D- suunnitteluun. Ohjelmalla mallinnettaessa suunnittelu tehdään täysin 3D- mallissa. Ohjelmalla pystytään esimerkiksi päivittämään pohjat, korkeudet ja osiot automaattisesti. Työkaluista löytyvät kaikki mm. seinille, laatoille ja palkeille tietomallintamiseen tarvittavat toiminnot. Ohjelmistolla pystytään tekemään kaikki tarvittava tietomallinnuksen vaatimat tasot. [9]

2.5.2 Trimble Tekla Structures

Tekla Structures on Trimblen erityisesti rakennesuunnitteluun tarkoitettu tietomallinnus-ohjelma. Trimble osti suomalaisen Tekla Oyj:n 2011 [10].

Ohjelmistolla suunnittelu tapahtuu täysin 3D- pohjaisessa maailmassa. Teklasta löytyy Revitin tavoin kaikki rakennesuunnitteluun tarvittavat työkalut, näin ohjelmalla pystytään toteuttamaan tarkkoja tietomalleja.

Ohjelmistolla pystytään myös tuottamaan malliin tietoja rasituksista ja rakenteellisista kestävyyksistä. Nämä lisäävät koneavusteisen suunnittelu mahdollisuuksia. [11]

2.5.3 Cadmatic Building

Cadmatic Building, entinen Kyndata Oy:n CADS- ohjelmisto, on CAD-pohjainen tietomallintava työkalu. Cadmatic Building -ohjelmalla pystytään tekemään tietomallintavaa suunnittelua.

Työskentely Cadmatic Buildingillä eroaa Revitin ja Tekla Structures:n käytöstä siinä, että Cadmatic Buildingillä tietomallin rakentaminen tapahtuu kokonaan 2D- pohjassa. Ohjelmiston kolmiulotteiset muokkausominaisuudet ovat vielä hieman keskeneräisiä. Ohjelmalla tehtävistä pohja- ja leikkauskuvista, voidaan tulostaa kattava tietomalli. [12]

2.6 Tietomallin katseluohjelmat

Tietomallien jakaminen tapahtuu IFC- tiedostoilla, joita voi tarkastella erilaisilla katseluohjelmistoilla. Tässä esitellään muutama ohjelmisto IFC-mallien tarkasteluun. Ohjelmistoista löytyy paljon työkaluja, joiden avulla tietomallista voidaan esimerkiksi leikata, avata ja lukea BEC- tietoja. IFC- mallista luettavat BEC- tiedot sisältävät kyseisen rakenteen tai rakennekokonaisuuden arvoja ja tietoja.

Solibri Anywhere ladataan tietokoneelle ja sen toiminta periaate perustuu tietokoneen paikallismuistin hyödyntämiseen. Ohjelmisto tukee kaikkia nykyisiä IFC-standardeja. Se myös sisältää useita erilaisia työkaluja mallin tarkasteluun. Sillä voi esimerkiksi tehdä törmäystarkasteluja sekä tutkia leikkauksia ja kerroksia. Tässä ohjelmistossa ei ole pilvipohjaista rakennetta, kuten kahdessa seuraavaksi esiteltävässä ohjelmistossa. [14, s. 12-15]

Trimble Connect on Trimblen kehittämä IFC-mallien tarkasteluun tarkoitettu pilvipohjainen ohjelmisto, joka tukee myös paikallista tallennusta. Connect tukee uusimpia IFC-standardien muotoja ja on tarkoitettu enemmänkin rakennushankkeen työalustaksi. Ohjelmistosta löytyy samoja työkaluja kuin edellisistä. Nimensä mukaisesti ohjelmistoa on pyritty kehittämään enemmän projektissa yhdistävänä työkaluna. [14, s. 16-22]

Daluxin ilmainen BIM Viewer-katseluohjelma pitää sisällään paljon samoja toimintoja edellisten kanssa. Daluxista on olemassa myös maksullinen versio, jolla ohjelman muoto muuttuu enemmän pilvipohjaiseksi projektin tietomallinnuksen hallintatyökaluksi. [14, s. 23-26]

3 TIETOMALLINNUKSEN VAATIMUKSET RAKENNESUUNNITTELUSSA

Luvun alussa käydään läpi tietomallintavalle rakennesuunnittelulle asetettuja tavoitteita ja yleisiä periaatteita. Näiden jälkeen kuvataan tietomallintavan suunnittelun vaiheet. Luvun lopussa kuvataan lyhyesti tilaajan rakennemallille asettamia erillisvaatimuksia.

3.1 Tietomallintavan rakennesuunnittelun tavoitteet

Tietomallintavalla suunnittelulla tavoitellaan mm. parempaa laatua suunnittelussa ja rakentamisessa. Yleisesti tietomallia ei luoda vain suunnittelu- ja rakennusvaiheita palvelemaan, vaan sitä pyritään hyödyntämään koko rakennuksen elinkaaren ajan. [15, s. 4]

Tietomallin avulla pystytään havainnoimaan paremmin suunnitelmia ja näin ollen vertailemaan helpommin erilaisia ratkaisuja. Näin saadaan laadukkaampaa tukea mm. päätöksentekoon. Lisäksi tietomallilla tavoitellaan mm. eri suunnittelualojen suunnitelmien parempaa yhteensovittamista. [15, s. 4]

3.2 Yleiset rakennemallin periaatteet

Rakennemallissa mallinnetaan kantavat ja ei-kantavat betonirakenteet sekä muihin suunnittelijoihin vaikuttavat rakennustuotteet. Mallinnettavien rakenteiden attribuuttitietojen tulee liikkua myös rakennusosien mukana [15, s. 6]. Tällä estetään mallin hajoaminen, jotta oikea tieto löytyy sille tarkoitettuun paikkaan.

Rakennesuunnittelussa suunnittelija määrittelee kohteesta rakennetyypit, jotka eivät välttämättä esiinny sellaisinaan rakennemallissa. Rakennetyypit tulostetaan 2D-piirrustuksina. Arkkitehti lukee rakennetyypeistä tiedot ja käyttää näitä rakennusosamallissaan. [16, s. 6]

Malliin tehdään tarkat kerros- ja lohkokohtaiset jaot. Jokaiseen kerrokseen ja lohkokoon suunnitellaan rakenteet rakentamisjärjestyksen mukaisesti. Jaottelua hyödynnetään mm. määräluetteloissa sekä tarkastuksissa. [16, s. 6]

Mallinnettavat osat numeroidaan yksilöllisesti GUID-numerolla sekä hankkeessa sovitulla loogisella numeroinnilla [16, s. 7].

Rakennusosan suunnittelun valmiusaste esitetään mallissa tai tietomalliselostuksessa. Lisäksi on huolehdittava siitä, että muiden suunnittelijoiden referenssimalleja ei sisällytetä omaan rakennemalliin. [16, s. 7]

Lisäksi suunnittelijan on noudatettava YTV2012:ssa määriteltyjä, malliin liittyviä laadunvarmistuksen toimia. Yhtenä laadunvarmistuksen keinona toimitetaan tietomalliselostuksen mukana allekirjoitettu tarkastuslomake. [16, s. 7]

3.3 Tietomallintavan rakennesuunnittelun vaiheet

Tietomallintavassa suunnittelussa lähtötiedot esitetään **vaatimusmallissa**. Tietomallin esitystapa on hyvin vapaa ja voi myös olla kohdekohtainen. Vaatimusmalli voidaan esittää taulukkomuodossa, piirustuksena, tietomallina tai vaikkana näiden yhdistelmänä. Vaatimusmallille on laadittu ohjeistus, mitä sen tulee sisältää. Sisällöltään ohjeistus on määräyksiä, ohjeita sekä tilaajan laatimia vaatimuksia. [16, s. 9]

Itse suunnitteluvaiheita on YTV2012:n rakennesuunnitteluohjeessa neljä: ehdotussuunnittelu, yleissuunnittelu, hankintoja tukeva suunnittelu ja toteutussuunnittelu. [16, s. 9]

Seuraavaksi käydään läpi nämä neljä suunnitteluvaihetta. Kaikkien vaiheiden mallien pohjana käytetään YTV2012:n varustelutasoa, vaikkakin sitä voidaan aina erikseen muokata kohdekohtaisesti

3.3.1 Ehdotussuunnittelu

Rakennesuunnittelijan tärkein tehtävä on ehdotussuunnitteluvaiheessa käydä läpi arkkitehdin piirustuksia ja arvioida kohteen toteutettavuutta. Rakennukselle luodaan pohja, jota jalostetaan tulevissa suunnittelun vaiheissa.

Tässä vaiheessa rakennesuunnittelijan mallintamiseen liittyvät tehtävät ovat hyvin minimaaliset, koska suunnittelijalla ei ole varsinaisia mallinnusvaatimuksia.

Tästäkin yleensä sovitaan projektin alussa, että tekeekö rakennesuunnittelija joi-
tain vaihtoehtoisia rakennemalleja. [16, s. 9]

3.3.2 Yleissuunnittelu

Tässä suunnitteluvaiheessa aikaisemmin tehtyä ehdotussuunnitelmaa kehitetään toteutuskelpoiseksi. Rakennesuunnittelija tekee yleissuunnitteluvaiheessa kohteesta hyvin yksinkertaisen mallin. Malli sisältää kohteen rakenteiden perusmuodot. [16, s. 9]

Suunnitelmia vertaillaan myös talotekniikan suunnittelijoiden kanssa. Käydään läpi talotekniikan linjojen pääpiirteet, jolloin saadaan rakenteet ja tekniikat sopimaan keskenään. [16, s. 9]

Yleissuunnittelu tietosisältövaatimus	Selite
Perustukset	Perustuksista mallinnetaan perusgeometriat ja sijainnit.
Alapohjat	Alapohjan rakenne mallinnetaan ilman varusteluosia.
Runko	Runko mallinnetaan perusgeometrian osalta.
Julkisivut	Voidaan mallintaa seinäobjektina.
Ulkotasot	Mallinnetaan perusgeometrian osalta.
Vesikatot	Ei mallinneta tässä vaiheessa.
Tilan jatko-osat	Mallinnetaan vain, jos vaaditaan projekti-kohtaisesti.
Muut tilaosast	Mallinnetaan vain, jos vaaditaan projekti-kohtaisesti.

TAULUKKO 1. Yleissuunnittelun tietosisältövaatimukset [15, s. Liite 1, mukailtu]

Rakennesuunnittelijan tietomalli-vaatimukset	Selite
Tietomallinnus	ks. taulukko 1.
Laadunvarmistus	Suunnittelijan omaa läpikäyntiä.
Mallin julkaisu	Kohteesta riippuen.
Tietomalliselostus	Yleissuunnittelun mukainen.
Mallista tulostettavat piirustukset	Perustus- ja alapohjamittapiirustukset Taso- ja yleisleikkauspiirustukset

TAULUKKO 2. Yleissuunnittelun tietomallinnusvaatimukset rakennesuunnittelijalle [15, s. 10, mukailtu]

3.3.3 Hankintoja palveleva suunnittelu

Tässä vaiheessa suunnittelu laajennetaan hankintoja palvelevalle tasolle, jolloin pystytään laatimaan tarjouspyyntöasiakirjoja hankintoja varten. Yleissuunnitteluun verrattuna malliin lisätään kantavien- sekä ei-kantavien rakenteiden koko, laajuus sekä määrä. Rakenteiden sisältö (raudoitukset ja tarvikkeet) jäävät vielä tässä vaiheessa suuremmilta osin seuraavaan vaiheeseen. [15, s. 11]

Hankintoja palvelevan suunnittelun tietosisältövaatimus	Selite
Perustukset	Perustuksiin mallinnetaan perusgeometrian lisäksi määrätiedot sekä anturoihin valu- ja raudoitetarvikkeet. Elementeistä mallinnetaan aina yksi tyyppielementti sisältämään raudat, valutarvikkeet sekä materiaalitiedot.
Alapohjat	Alapohjasta mallinnetaan perusgeometriat ja rakenteelle tehdään perustörmäystarkastelu.
Runko	Mallista tulee selvittää rakenteiden määrät. Runkoon lisätään myös mallielementit ja niiden tarkkuus samaa luokkaa kuin perustuksissa.
Julkisivut	Seinistä mallinnetaan määrätiedot, sekä mallielementtien osalta sama kuin perustuksissa.
Ulkotasot	Ulkotasoista kuten parvekkeista ja katoksista mallinnetaan mallielementit tarvikeosineen ja rautoineen. Muuten yleisesti niin, että mallista selviää kantavat rakenteet.
Vesikatot	Rakenteet mallinnetaan niin, että TATE:lle selviää käytettävissä olevat tilat.
Tilan jatko-osat	Pääasiassa mallinnetaan ei-kantavat betoniset seinät, joista selviää geometriatiedot.

Muut tilaosast	Mallinnetaan TATE:lle rakenteiden muodot, joiden perustella pystytään katsomaan käytettävissä oleva tila.
----------------	---

TAULUKKO 3. Hankintoja palvelevan suunnittelun tietosisältövaatimukset [15, s. Liite 1, mukailtu].

Rakennesuunnittelijan tietomallivaatimukset	Selite
Tietomallinnus	ks. taulukko 3.
Laadunvarmistus	Suunnittelukokoukset ja suunnittelijan oma
Mallin julkaisu	Kohteesta riippuen
Tietomalliselostus	Hankintoja palvelevan suunnittelun mukaiset.
Mallista tulostettavat piirustukset	Paaluluettelo Paalupiirustus Perustuksien, alapohjan ja tasojen mittapiirustukset VSS- mittapiirustukset Anturoiden ja muiden perustuksien tyyppiirustukset Yleisleikkaukset Elementtikaaviot Mallielementti- ja mallikokoonpanopiirustukset. Teräsrakenteiden massat ja määrät.

TAULUKKO 4. Hankintoja palvelevan suunnittelun tietomallinnusvaatimukset rakennesuunnittelijalle [15, s. 13, mukailtu]

3.3.4 Toteutussuunnittelu

Viimeisin suunnitteluvaihe on toteutussuunnittelu. Mallin ja kuvien tarkkuus tulee olla, nimenkin mukaisesti, toteutettavalla tasolla. Rakennuksesta tuotettava malli pitää jo sisällään elementtien osat ja useita sitovia rakenteita. Pää tavoitteena on, että rakentaminen on mahdollista aloittaa mallista johdettujen kuvien perusteella. [15, s. 17]

Toteutussuunnittelun tietosisältö-vaatimus	Selite
Perustukset	Perustukset mallinnetaan liittymiskohtineen ja tarvikkeineen. Elementit mallinnetaan projektin sopimuksen mukaisesti. Eristeet mallinnetaan myös. Paalutarkkeet tuodaan malliin.
Alapohjat	Mallinnetaan tarvikeosineen sekä liittymineen. Elementit edellisen kohdan mukaan projektikohtaisesti.
Runko	Paikallavalut mallinnetaan tarvikeosineen sekä liittymineen. Elementit mallinnetaan sopimuksen mukaan.
Julkisivut	Paikallavalu-rakenteet mallinnetaan osineen. Elementit mallinnetaan projektikohtaisesti.
Ulkotasot	Paikallavalu-rakenteet mallinnetaan osineen. Elementit mallinnetaan projektikohtaisesti.
Vesikatot	Vesikaton mallinnuksen tarkentumisesta sovitaan projektikohtaisesti.
Tilan jatko-osat	Elementit mallinnetaan projektikohtaisesti.
Muut tilaosat	Mallinnetaan tarkkuustasoon, että TATE:lle selviää runkojen muodot.

TAULUKKO 5. Toteutussuunnittelun tietosisältövaatimus [13, s. Liite 1, mukailtu].

Rakennesuunnittelijan tietomalli-vaatimukset	Selite
Tietomallinnus	ks. taulukko 5.
Laadunvarmistus	Tilaaajan, suunnittelukokoukset ja suunnittelijan oma.
Mallin julkaisu	Mallin julkaisu toteutuksen mukaisesti
Tietomalliselostus	Toteutussuunnittelun mukaiset
Mallista tulostettavat piirustukset	Paalutuksen toteumapiirustukset Perustuksen, VSS ja paikallavalurakenteiden mittapiirustukset Perustuksen, VSS ja paikallavalurakenteiden raudituspiirustukset Rauditusluettelot paikallavalurakenteisiin

TAULUKKO 6. Toteutussuunnittelun tietomallinnusvaatimukset rakennesuunnittelijalle [13, s. 18, mukailtu].

3.4 Tilaaajan rakennemallin vaatimukset

Useissa tarjouspyynnöissä on esitetty tilaaajan itse esittämiä vaatimuksia toteutettavasta rakennemallista. Nämä vaatimukset voivat poiketa merkittävästi YTV2012:n vaatimuksista. Käytännössä rakennemallin toteutus ei siis aina mene niin kuin on kuvattu YTV2012-vaatimuksissa.

4 TIETOMALLINTAVA SUUNNITTELU KÄYTTÖKOHTEESSA

Käyttökohteen suunnittelussa kuvataan suunnittelun toimeksiantaja, käyttökohde sekä kohteesta tehtävän rakennemallin eteneminen. Kohteessa tehtiin perinteisillä työvälineillä rakenne- ja elementtisuunnittelua sekä tämän opinnäytetyön puitteissa myös tietomallinnuksen mukainen rakennemalli. Tietomallinnuksessa keskitytään Cadmatic Building -ohjelmalla tehtävän mallin perustoimenpiteisiin. Kohteesta muodostettava malli toteutetaan suunnittelemalla kerros ja elementti kerrallaan. Lopuksi kohteesta muodostetaan IFC-malli sekä analysoidaan sitä.

4.1 Toimeksiantajayrityksen kuvaus

Toimeksiantaja-yrityksenä toimii kolme henkeä työllistävä perheyritys, Insinööri-toimisto Kai Kakko Oy. Yhtiö on perustettu vuonna 2003 ja siltä löytyy suunnittelukokemusta lähes 30 vuoden ajalta. Yritys tarjoaa erilaisia rakennusalan asiantuntijapalveluita sekä rakenne- ja elementtisuunnittelua. Pääasiassa pääkaupunkiseudulta löytyvät referenssikohteet ovat suurimmaksi osaksi kerros- ja rivitaloja.

4.2 Käyttökohteen kuvaus

Suunnittelukohteena on Espoon Olarin uudella Vanbronniityn asuinalueella sijaitseva Olarin Onni. Kohde on 7-kerroksinen asuinkerrostalo, jonka tilaaja on Arkta Reponen Oy.



KUVA 3. Rakennuksesta Olarin Onni muodostettu Luonnoskuva [14].

Kyseinen kerrostalo on pistekerrostalo. Pistekerrostalolla tarkoitetaan rakennusta, jossa on vähintään kaksi kerrosta ja se rakentuu yhden rappukäytävän ympärille. Piirtämisessä keskitytään pelkästään pistekerrostalon tietomallinnukseen. Rakennuksen kellarista tulee myös kulku parkkihalliin. Parkkihallin ja rakennuksen liittymäkohta mallinnetaan vain pääpiirteittäin.

4.3 Rakennemallin rajaus

Rakennuksesta mallinnetaan kaksi alinta kerrosta, maanalaiset rakenteet mukaan lukien. Rakennemalli tehdään Cadmatic Building -ohjelmalla YTV2012:n toteutussuunnittelun mukaisesti.

4.4 Rakennemallin lähtötiedot

Rakennuksen suunnittelu alkaa lähtötietojen läpikäynnillä sekä kohteen yleisen tason tarkastelulla. Lähtötiedoista voidaan jo muodostaa yleispiirteisiä suunnitelmia.

Arkkitehtimalli tulee myös osaksi mallintavan suunnittelun etenemistä. Rakenteiden mallintaja pystyy käyttämään arkkitehdin mallia oman mallin luonnissaan. Rakenteiden mallintamisen alkuvaiheessa, arkkitehtimalli ei välttämättä ole vielä lopullinen, joten muutokset ovat mahdollisia.



KUVA 4. Olarin Onnin arkkitehtimalli [14]

4.5 Mallintamisen aloitustoimet

Kohteelle rakennetaan oma tiedostorakenne, josta löytyvät kaikki suunnitteluun tarvittavat tiedostot. Itse rakennuksen mallinnus tapahtuu yhden tiedoston sisällä, käyttäen joko dwg- tai Cadmaticin omaa drw-tiedostomuotoa. Cadmatic Building -ohjelmaan syötetään kohteesta löytyvät perustiedot.

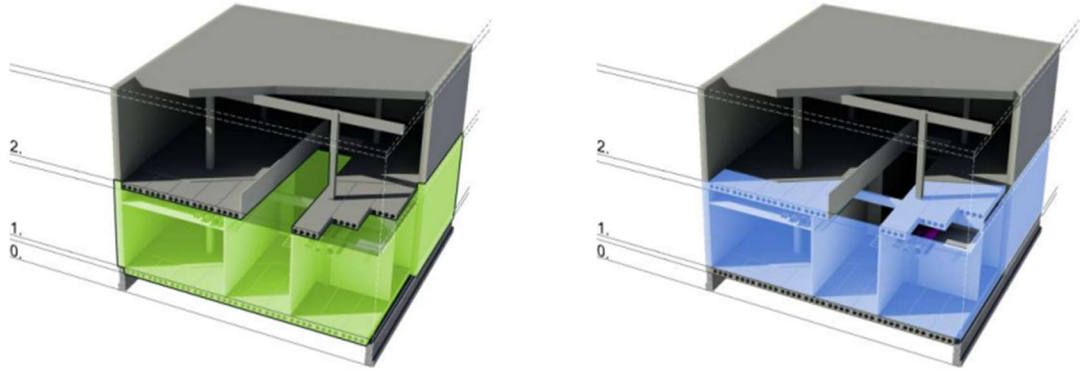
Koordinaatisto on asetettava yhtenäiseksi muiden suunnittelijoiden kanssa. Tietomallikoordinaattori päättää rakennukselle origon, jota eri alojen suunnittelijat noudattavat. Kun korkotasot ja koordinaatit saadaan arkkitehtien ja Geosuunnittelijoiden kanssa sovittua, voidaan kuvaan tehdä kehukset. Kehysten tulee olla alusta alkaen oikeassa korossaan sekä sijainnissaan koordinaatistossa. Myöhemmin tulevassa IFC- tulostamisessa tarvitaan kuvaan tietyt rajaukset, joita varten kerrokset kehystetään.

Kuvassa neljä näkyy kellarikerroksen kerrosrajauskehys. Viitekuva on myös käytetty taustana, suunnittelun apuvälineenä.



KUVA 5. Onnin kellarin pohjakuva, jossa viitekuvat taustalla

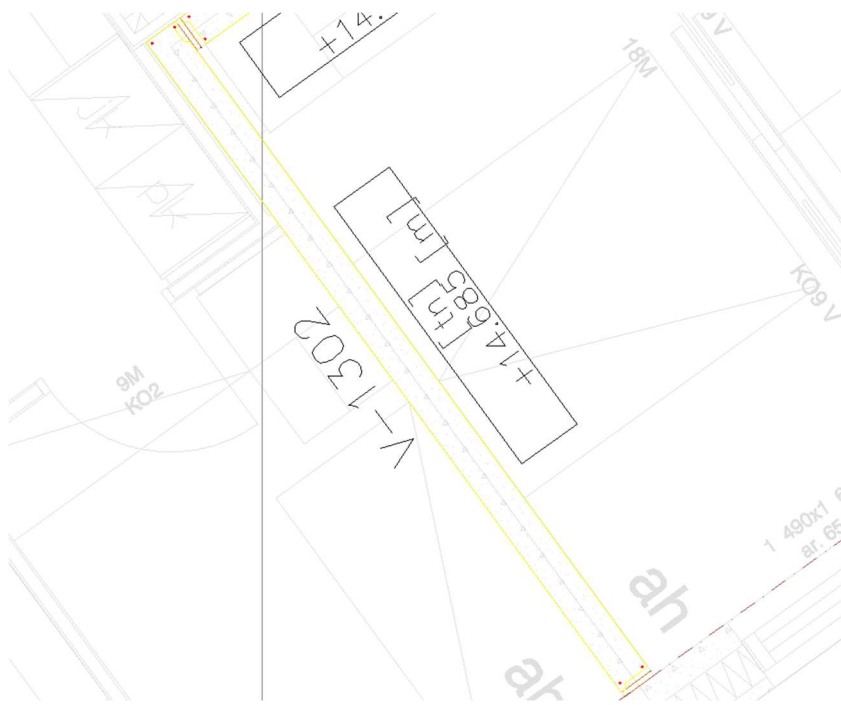
Kerrosrajaukset ovat erilaisia rakenne- ja arkkitehtimallissa.



KUVA 6. Vasemmalla näkyvän arkkitehtimallin kerrosrajaus poikkeaa oikealla näkyvän rakennemallin kerrosrajauksesta [13, p. 18].

Kuva viisi havainnollistaa hyvin, miten arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan kerrosrajaukset poikkeavat toisistaan. Arkkitehtimallin ensimmäinen kerros sisältää kerroksen seinät sekä lattian. Rakennemallin ensimmäinen kerros sisältää kerroksen kantavat seinärakenteet sekä toisen kerroksen lattian rakenteet.

Pohjatietoina käytettävät mallit tai muut piirustukset (dwg/pdf) lisätään kuvaan viitetiedostoina. Viitekuvat voidaan lisätä Cadmaticin viitekuva-toiminnolla. Kuvat tulee lisätä tarkasti oikein koordinaatiston sekä korkojen osalta. Mallintamisen edetessä ja kuvien päivittyessä, mitä yleensä rakentamisessa tapahtuu, voidaan viitekuvatkin päivittää helposti.



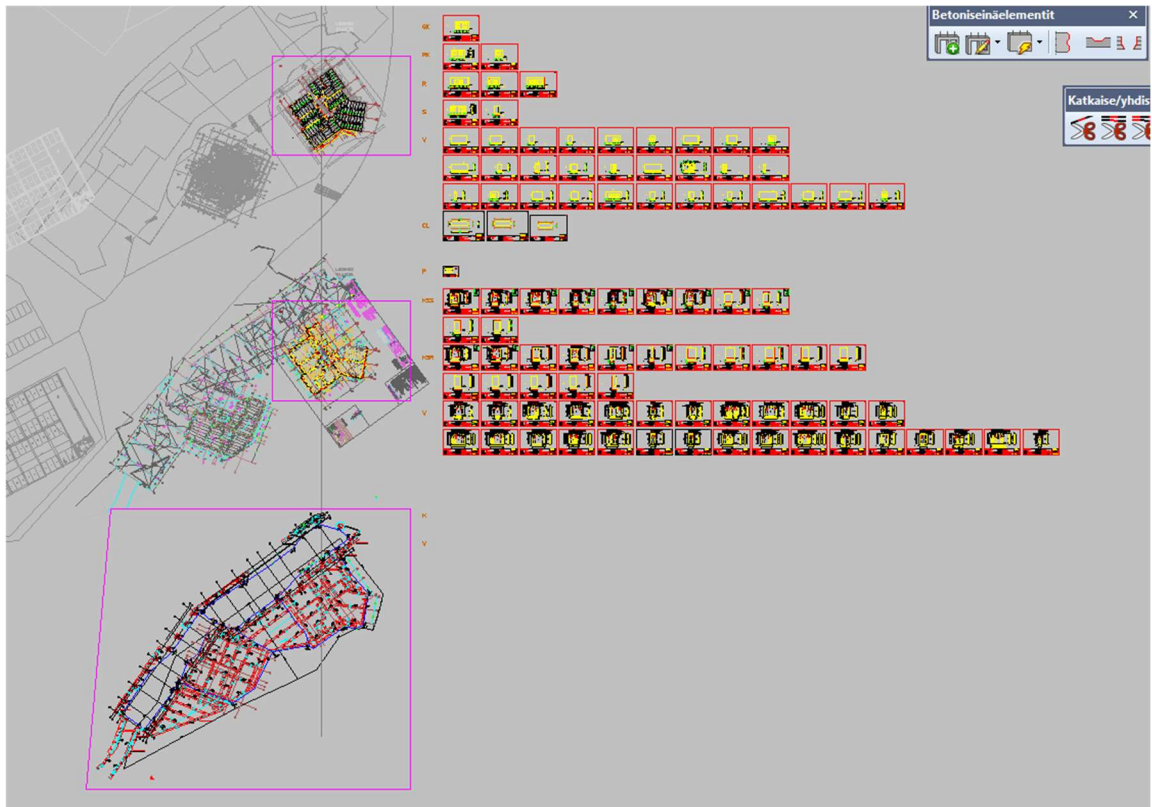
KUVA 7. Seinäelementin geometrian suunnittelu, arkkitehtikuva viitteenä.

4.6 Yleistä mallin rakentamisesta

Rakennemallia rakennetaan elementti kerrallaan. Cadmatic Building -ohjelmalla mallintaminen tapahtuu elementtikuvassa. Kun elementti saadaan valmiiksi, voidaan se viedä pohjakuvaan. Lopuksi IFC- kuvaan tulostuu tiedot kerrosten tasokuvista.

Mallintamisessa käytetään pohjana rakennetasokuvaa. Kaikista kerroksista tehdään 2D-tyyliset pohjakuvat, jotka sisältävät oikeat rakennetyypit. Rakennepohjaa pidetään taustalla viitekuvana, samalla tavalla kuten arkkitehtikuvaa sekä LVI-kuvaa.

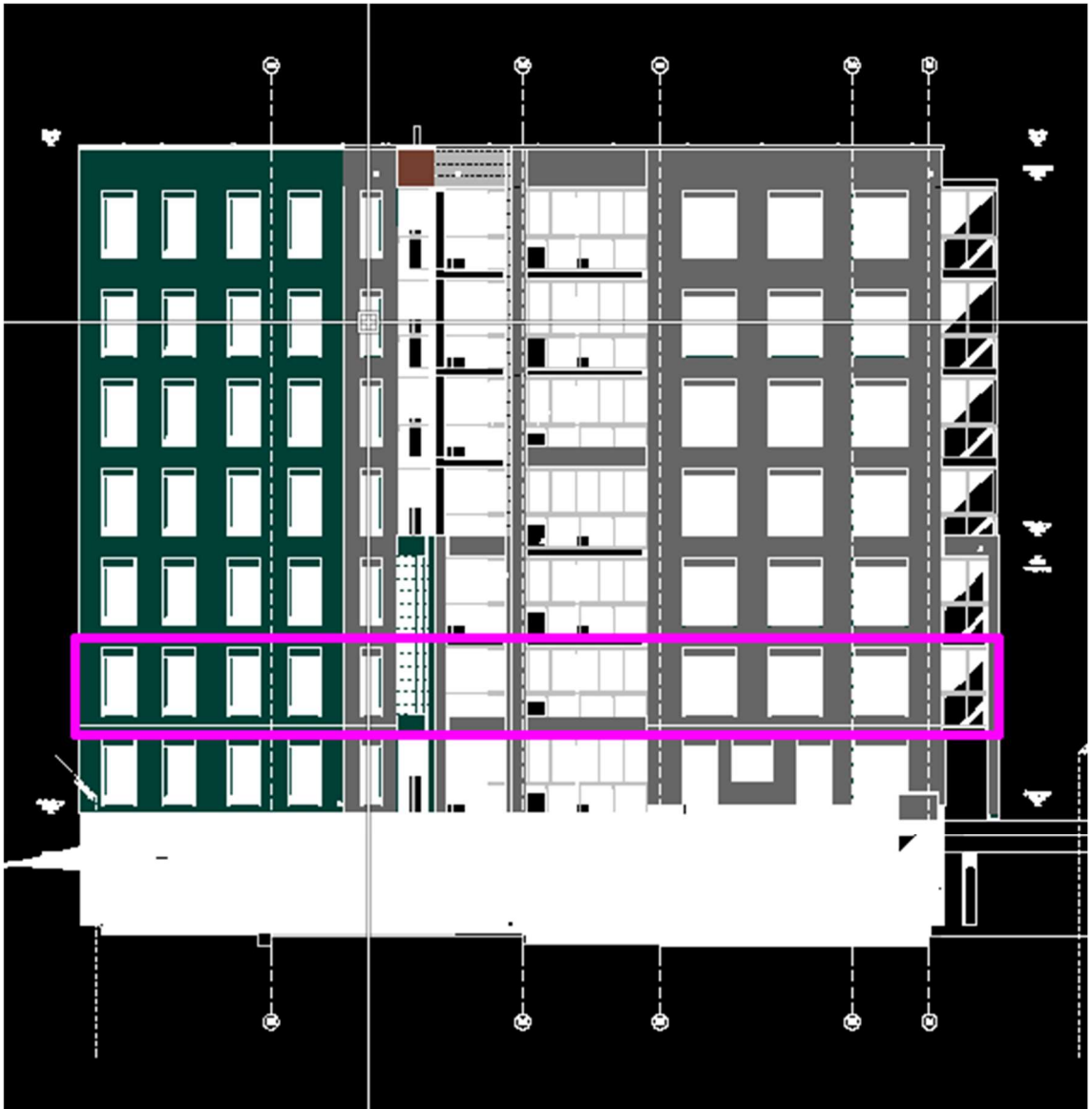
Rakennuksen moduulilinjaukset sovitaan muiden suunnittelijoiden kanssa ja sovitaan kaikkien kuviin. Moduleiden tarkoituksena on kuvien lukemisen helpottaminen sekä yhteisten päälinjojen sovittaminen. Kokonaisuudessaan yksittäiset elementit kasataan tyypeittäin pohjakuvan viereen. Elementtien on hyvä noudattaa tiettyä järjestystä, jotta yksittäinen elementti löydetään helposti. Kuvassa 7 näkyvät 1-, kellari-, ja perustuskerros.



KUVA 8. Kokonaisuus rakennuksesta tuotettavasta tietomallista

Mallintaminen aloitetaan rakennuksen niin sanotusta ”peruskerroksesta”. Peruskerroksella tarkoitetaan ensimmäistä, siitä ylöspäin toistuvaa kerrosta. Aloituksen tarkoitus on tehdä rakennuksesta ensin yksinkertaisin kerros ja lähteä siitä eteneeseen alaspäin. Tässä kohteessa mallintaminen aloitettiin 2. kerroksesta.

Kuvassa pinkillä suorakaiteella on merkitty Olarin onnin ensimmäinen peruskerros. Tämän yläpuoliset kerrokset jatkuvat peruskerroksen tyyliin.

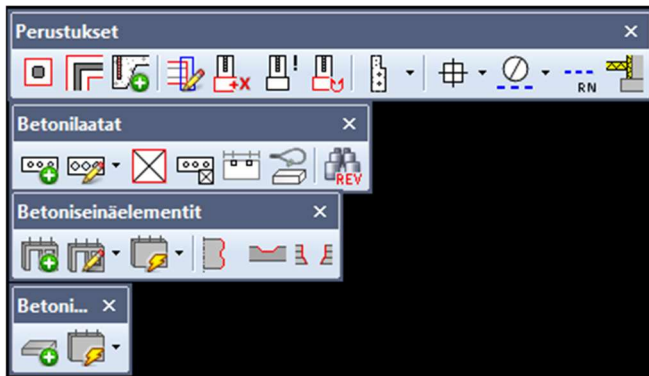


KUVA 9. Arkkitehdin julkisivukuva, josta rajattu 2. kerros.

4.7 Elementtien suunnittelu

Pohjasta katsotaan luotavan elementin tyyppi. Elementtien luomisjärjestys on melko vapaa, mutta seinät ovat usein helpoin mallintaa ensin. Mallin rakentuminen tapahtuu kerros kerrallaan perusrungon osalta.

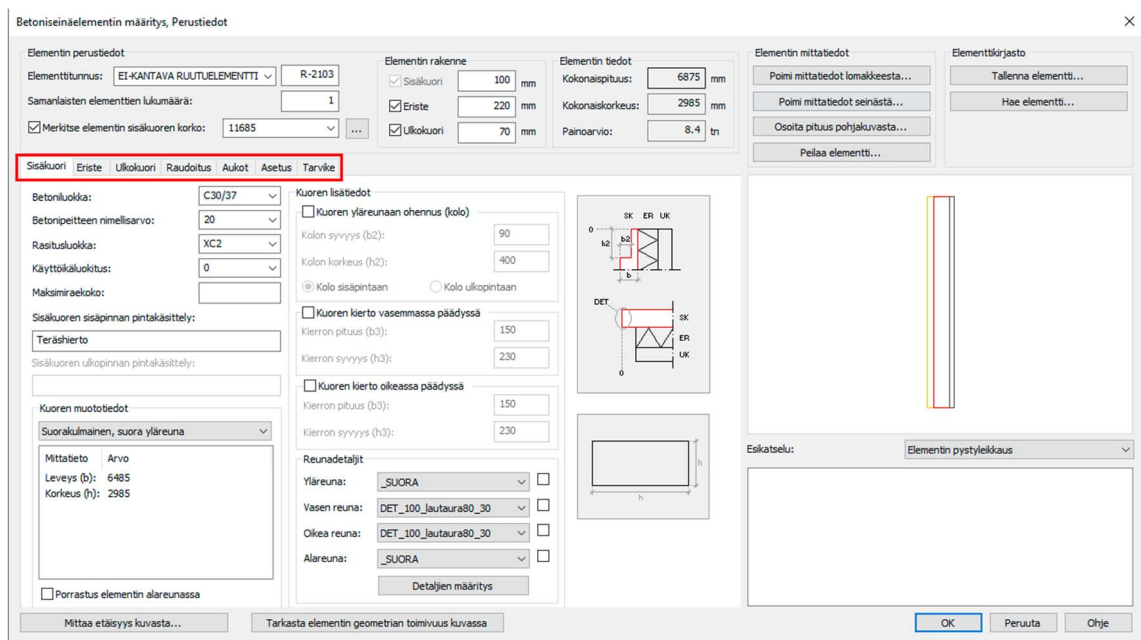
Cadmatic Buildingistä löytyy kaikille elementtityypeille oma toiminto. Elementti-toiminnot ovat tärkeä osa mallintavaa suunnittelua, sillä ne tuovat rakenteelle tarvittavat tiedot, jotta malli saa kolmiulotteisen muodon.



KUVA 10. Cadmatic Building ohjelman eri osa-alueiden työkaluja

4.7.1 Seinäelementit

Seinät mallinnetaan seinäelementti-toiminnolla.



KUVA 11. Betoniseinäelementin määrittely

Seinän suunnittelussa tietoa haetaan monista eri kuvista. Seinän määrittämisessä on oltava tiedossa seinän geometrian mitat. Geometria katsotaan leikkauksista ja rakennepohjakuvasta. Kaikki tiedot on oltava auki suunnittelun aikana, jotta pystytään aina varmistamaan oikeat mitat.

Määrittämisessä pitää myös olla tiedossa työmaan ja kuljetuksen kapasiteetti elementeille, jotta paino, korkeus sekä pituus saadaan sovitettua oikein. Elementtien painoja rajoittaa pääasiassa työmaan nostokapasiteetti. Pituus sekä korkeus

sovitaan työmaan, mutta myös tehtaan kuljetuksen kannalta sopivaksi. Kuljetuksissa käytetään normaalisti elementtien maksimikorkeutena 4000mm, jolloin selvittää ilman erikoiskuljetusta. Tämä ei ole aina kuitenkaan mahdollista. Suuremmat kivet voidaan suunnitella kääntökivinä tai erikoiskuljetuksina. Kääntökiveen tehdään kahdelle sivulle nostolenkit.

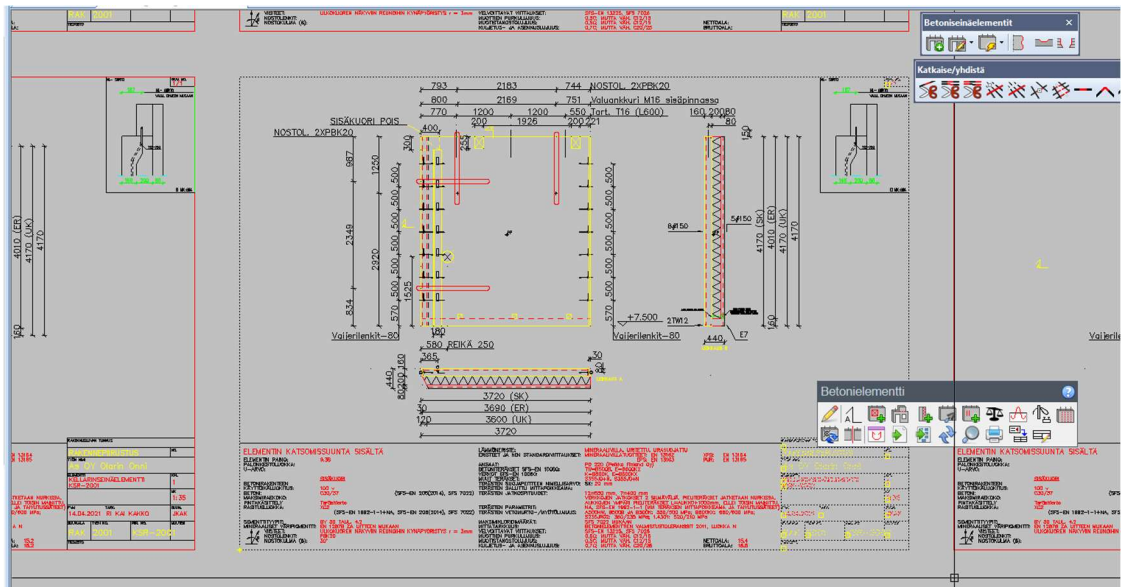
Elementille määritettävä korko on tärkeä, jotta kivi asettuu mallissa oikealle paikalleen. Määritykseen haetaan korko arkkitehtikuvista.

Itse elementin rakenteen suunnittelun hoitaa yleensä elementtisuunnittelija. Mallintavassa suunnittelussa mallintaja suunnittelee myös elementtien rakenteen. Rakenteeseen kuuluvat raudoitukset, rasitukset ja tieto elementin rakenteellisesta kestävydestä. Ontelolaattojen rakenteellisen kestävyden suunnittelee yleensä tehtaan oma suunnittelija.

Raudoitus määritetään elementtilomakkeen teon yhteydessä. Elementtien raudoituksen suunnittelussa huomioidaan useita tekijöitä, joita ovat esimerkiksi elementille tulevat pystykuormat, maanpaineakuormat sekä erilaiset kemialliset rasitukset. Raudoitus määritetään lomakkeen raudoitus-välilehdellä, jossa jokainen kuori käsitellään erikseen. Raudoituksen lisäksi määritetään tarvittavien betonien tiedot. Elementtityypistä riippuen, onko sisä- tai ulkokuorta, määritetään jokaiselle kuorelle omat betonilaadut.

Cadmatic Buildingissä on valmiina elementin detaljeja, joita voi myös määrittää itse lisää. Aina määritetään elementin päätydetaljit, jotka valitaan pohjakuvan perustella. Elementteihin tehtävät detaljim muodot voivat vaihdella tehdas- tai kohdekohtaisesti. Omien muotojen tekeminen ohjelmaan vie aikaa, mutta se on välttämätöntä ja helpottaa lopulta suunnittelua.

Elementin määrittelyn jälkeen tuotettua kuvaa jalostetaan lisää. Ensimmäiseksi elementistä luodaan leikkaukset. Normaalisti elementeistä riittävät A- ja B-leikkaukset. Riippuen mallin vaatimuksista, voidaan elementit tehdä alkuvaiheessa ilman varusteluosia.



KUVA 13. Betoniseinäelementin elementtilomake varusteluosien kanssa.

Valmis elementtikuva viedään pohjakuvaan Cadmatic Buildingin vienti-toiminnolla. Valitun elementin leikkaus tulee näkyviin pohjakuvaan, alla olevan kuvan tiedoilla. Pohjakuvaan vietävät tiedot ovat tyypillisesti suppeita, jotta kuva pysyy siistinä. Vaikka pohjakuvaan ei näy kaikkia elementin tietoja, tulostuvat ne silti malliin.

Vaakaleikkauksen vienti pohjaan

Valinta

- Vie elementin oletusleikkaus pohjaan
- Vie valitun elementin alueelta graafiset elementit (viivat jne.) pohjakuvaan
- Vie valitun elementin alueelta symbolit (esim. tarvikkeet) pohjakuvaan
- Vie valitun elementin leikkauksaudoitteet pohjakuvaan

Lisää pohjakuvaan elementin lisätietotarra

Tarramalli: CH_BELISATIETO_LYHYT

Tekstirivi 1: \$PAINO\$ [tn]

Tekstirivi 2: \$KORKO\$ [m]

Elementin tiedot

Elementtitunnus: R-2103

Piirustusnumero:

Paino:

Bruttoala:

Nettoala:

Pituus: 6875

Korkeus: 2985

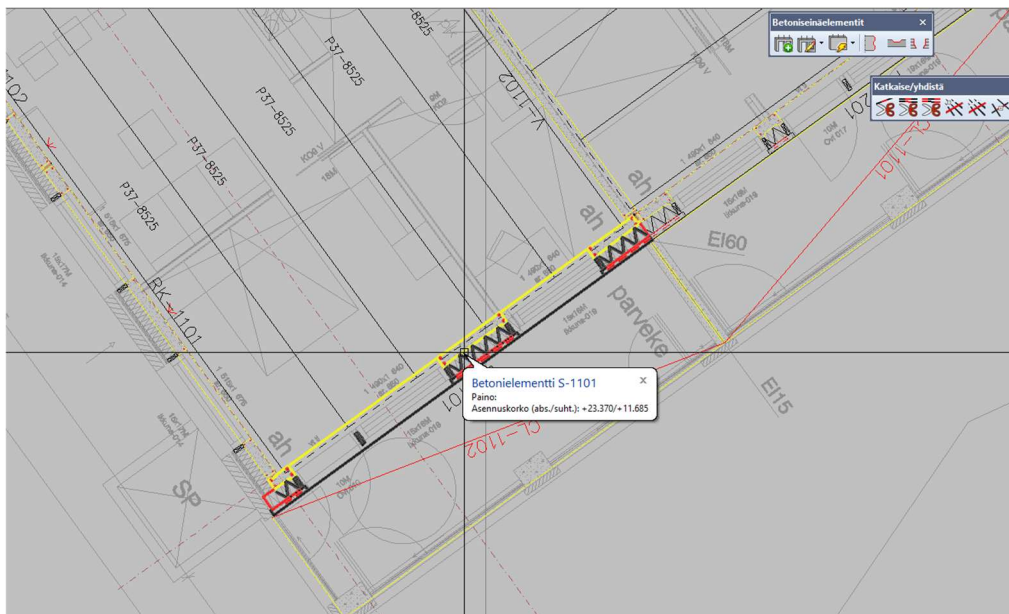
Leveys:

Asennuskorko: +11.685

OK Peruuta Ohje

KUVA 14. Elementin vaakaleikkauksen vienti pohjakuvaan

Elementti tulee itse sijoittaa pohjakuvaan. Pohjakuvasta näkyvästä elementistä voidaan tarkistaa sen perustietoja.



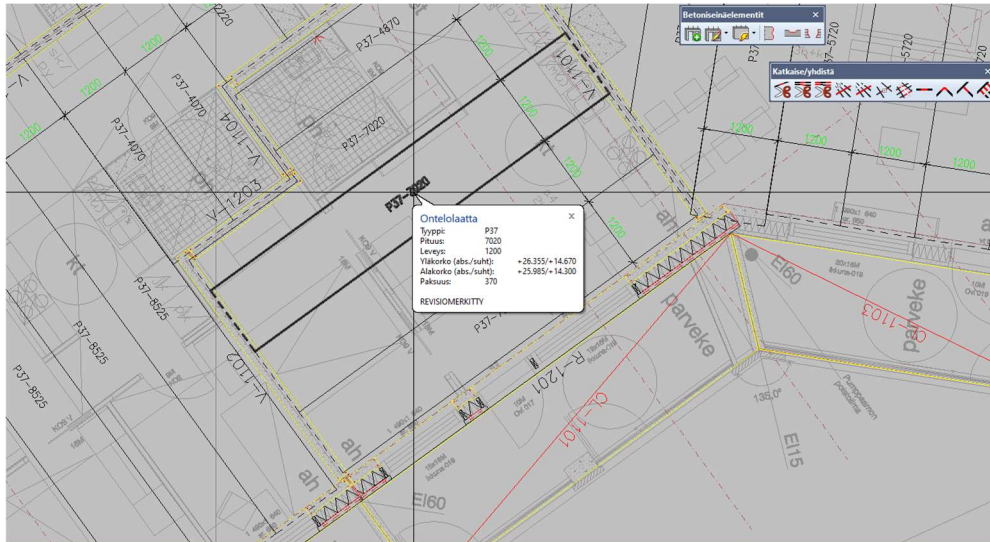
KUVA 15. Ulkoseinäelementin tiedot pohjakuvassa.

Valmis elementtikuva pohjassa voidaan aina päivittää, jolloin lomakkeella tehtävät muutokset tulevat myös pohjaan. Pohjan elementeistä voidaan katsoa sijainnit ja geometriat vielä kerran läpi. Tämä on helppoa vertailemalla elementtejä viitekuvaan ja mahdollisesti myös leikkaukseen.

4.7.2 Laattaelementit

Laattaelementtien työkalut poikkeavat jonkin verran seinäelementtien työkaluista. Laattojen suunnittelu tehdään joko pohjakuvassa tai elementtilomakkeella. Laattojen suunnittelussa otetaan huomioon arkkitehti- ja rakennekuvien erot kerrosrajausten osalta.

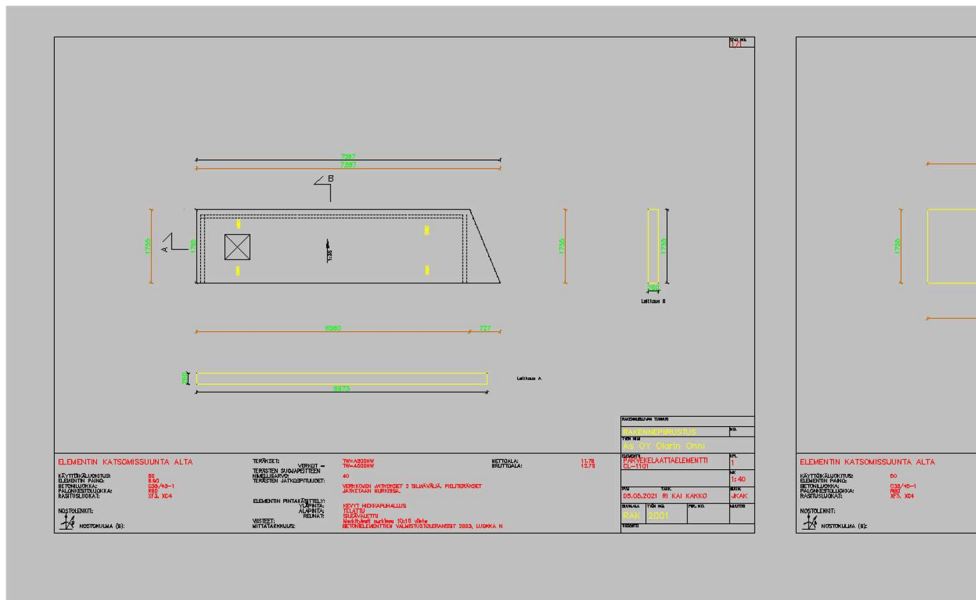
Ontelolaatat suunnitellaan pohjaan suoraan niiden omalla toiminnollaan. Laattojen geometriat ja sijainnit suunnitellaan pohjakuvassa. Ontelolaatasta pystytään lukemaan pohjakuvasta attribuuttitietoja samalla tavalla kuten seinistä. Onteloiden varustelu ja muokkaus tehdään pohjassa painamalla laattaa, jota halutaan muokata. Kaikki pohjaan lisättävät varusteluosat tulevat näkyviin myöhemmin tuostettavaan IFC- kuvaan.



KUVA 16. Ontelolaatta sijoitettuna pohjakuvaan.

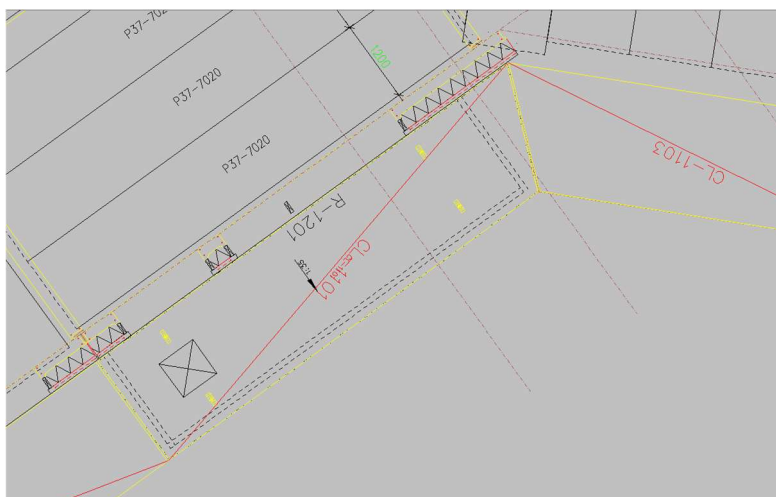
Loput laatat suunnitellaan seinäelementtien tavoin omalla lomakkeellaan ja vietään sen jälkeen pohjaan. Laatat suunnitellaan pääosin samalla tavalla kuin seinät. Lomakkeelle syötetään laatan geometriat, joko pohjasta tai mitoilla. Laatan kaikki muutkin tiedot täytetään aluksi ja sitten muodostetaan lomake.

Laattojen lomakkeet sijoitellaan kuvakokonaisuudessa omille paikoilleen, jolloin järjestys säilyy. Laattojen jalostamisessa voidaan käyttää kopiointia, kuten normaaleissa 2D-rakennekuvissa. Elementtilomakkeita voidaan myös kopioida massoitain kerrosten ollessa samanlaisia. Ohjelmasta löytyy myös uudelleenumerointi-toiminto kerrostunnusten muutoksille.



KUVA 17. Parvekelaatan suunnittelulomake, sisältää varusteluosat.

Pohjakuvan ja elementtilomakkeen elementit ovat toistensa peilikuvia. Tämä johtuu siitä, että tehdas tarvitsee elementin tekemiseen elementtilomakkeen tiedot ja elementin valmistus tehtaalla tapahtuu ylösalaisin verrattuna pohjakuvaan. Pohjakuvassa parvekkeesta voidaan lukea tietoja samalla tavalla kuten muistakin elementeistä.

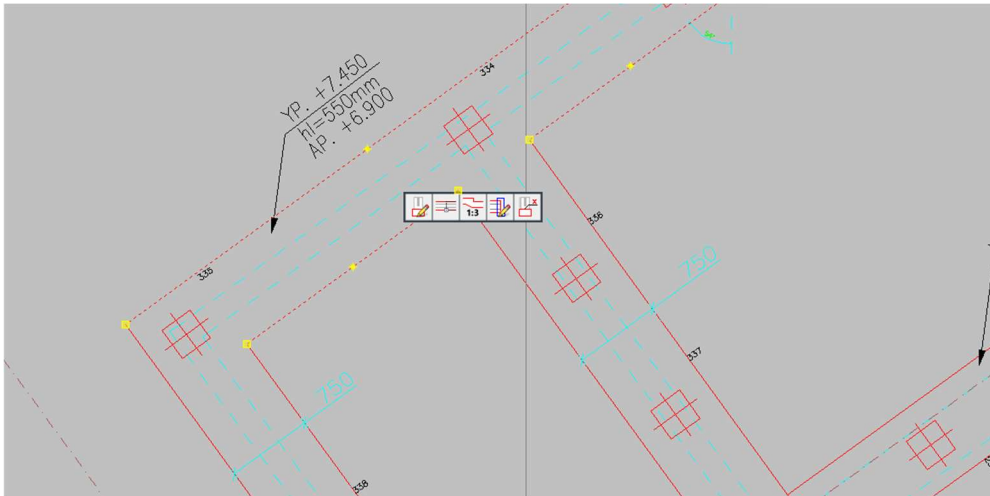


KUVA 18. Parvekelaattaelementti vietynä pohjakuvaan.

4.7.3 Tasokuvaan tehtävät rakenteet

Kaikkea ei kuitenkaan tehdä elementtien ja lomakkeiden avulla. Rakennuksen alin ja ylin kerros mallinnetaan suurimmaksi osaksi tasokuvaan. Tähän käytetään

esimerkiksi perustusten ja ristikoiden omia työkaluja. Tasokuvaan piirrettävälle rakenteelle määritetään tiedot, minkä avulla IFC-kuvaan tulostuu oikea muoto ja sisältö.



KUVA 19. Pohjakuvaan piirretty perustuslinja.

Rakennemallin pohjautuessa tasokuvasta tulostettaviin tietoihin, tulee kaikki viimeisimmät päivitykset aina tuoda kuvaan ennen tulostusta.

4.7.4 Pilarit ja palkit

Pilarien ja palkkien suunnittelu tehdään myös ensin lomakkeella ja sitten viedään pohjakuvaan, paitsi kun kyseessä on paikallavalettava rakenne. Ne tehdään suoraan pohjakuvaan. Elementtipalkeja ja -pilareita ei tässä työssä mallinnettu.

4.8 Mallin IFC- Tulostus

Mallin tulostaminen tapahtuu ohjelman IFC-vienti-toiminnolla, jossa määritellään mallista vietävät tiedot sekä niiden sisältö. Tulostusrajoituksessa päätetään tuloskohde: elementti, kerros tai koko rakennus. Lisäksi tulostusmäärityksessä päätetään siitä, tulostuuko kohde suhteellisessa vai absoluuttisessa korossa.

Rakennuksesta tulostuu pohjakuvassa kerrosrajoituksilla olevat tiedot. Alussa rakennusta tai jotain sen osaa tulostaessa on hyvä tehdä koeversioita. Näin oikeiden työkuvienv yhdistämisessä tulee huomattavasti vähemmän ongelmia.

Perustiedot IFC-asetukset Värit Tontti Rakennus Rakennusosat Seinät, ikkunat ja ovet Katot ja julkisivuväri

Perusasetukset

Vie kerrosmäärittysten rakennukset ja kerrokset sekä kaikki niissä olevat osat samaan IFC-tiedostoon

Rakennus: <Kaikki>

Kerros: <Kaikki>

Suunnittelualue: <Kaikki>

Vie valittujen kuvatiedostojen kerrosmäärittysten rakennukset ja kerrokset sekä kaikki kuvissa olevat osat samaan IFC-tiedostoon

Valitse tiedostot...

Vie kaikki kuvassa kerrosrajoituksen määritetyt kerrokset samaan IFC-tiedostoon, ylimmän kerroksen kerroskorkeus:

3000

Vie kaikki aktiivisen kuvan osat samaan IFC-tiedostoon

Vie valitut aktiivisen kuvan osat samaan IFC-tiedostoon

Kerros: K2

Kerroskorkeus: 3000 Lattiakorkeus: 0

Projektin tiedot

Rakennuspaikka (IfcSite)

Nimi: Tontti1 X: 0 Y: 0 Z: 0

Rakennus (IfcBuilding)

Nimi: As OY Olarin Onni X: 0 Y: 0 Z: 0

Projektin nimi: - Projektin kuvaus: -

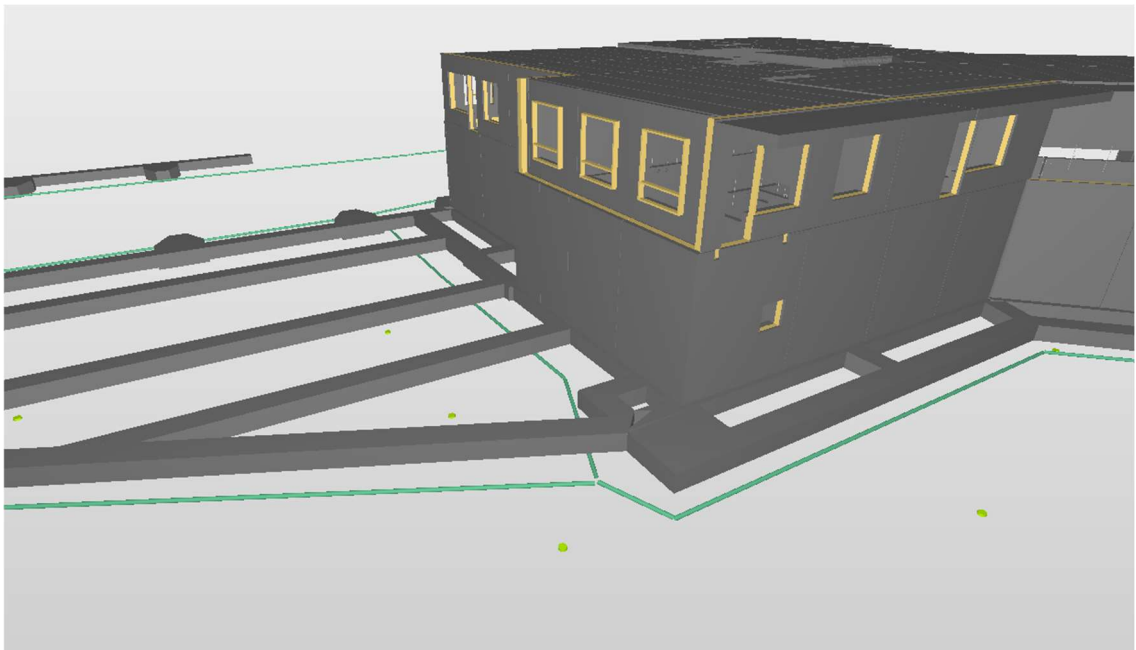
OK

KUVA 20. Tietomallin tulostaminen CAD-kuvasta.

Projektin tulostukseen liittyvät tontti- ja koordinaatistotiedot tulevat kohteen tietomallikoordinaattorilta. Tulostettavan kuvan värimaailma tulee olla rakennemallintajalle määrättyjen värien mukainen. Yhdistelmämallissa tulee kaikkien osamallien olla oikealla värillään, jotta malleja osataan tulkita oikein.

Kohteessa rakennusta ei suunniteltu mallintamalla kaikkien suunnittelualojen toimesta, joten tässä työssä tarkastellaan vain rakennemallia. Mallintavassa suunnitteluprojektissa kaikki osamallit yhdistettäisiin ja tarkasteltaisiin kokonaisuutena.

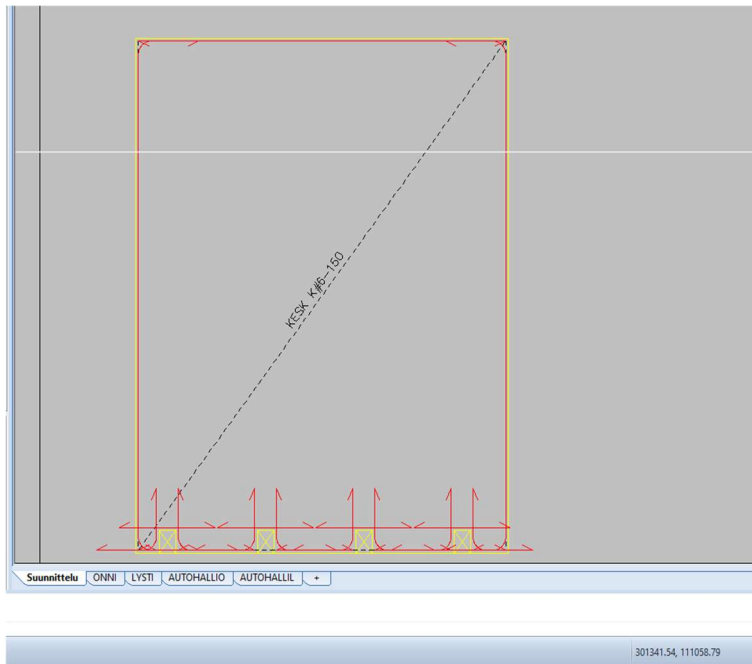
Mallia tarkastellaan IFC:lle sopivalla katseluohjelmalla. Tässä työssä käytettiin Solibrin Anywhere-katseluohjelmaa. Kuvassa 20 näkyy Onnin kahden alimman kerroksen rakennemalli. Betoniosat näkyvät harmaalla ja puuosat vaaleammalla värillä. Rakennepuolelle kuuluu myös rakennuksen kuivana pito, joten myös salaojat on mallinnettu. Kohteessa käytettiin myös betonipaaluja, mutta suunnitteluvaiheessa niiden lopullista syvyyttä ei ollut tiedossa. Näin mallissa näkyy pelkästään paalujen yläpään katkaisukorko.



KUVA 21. IFC-malli avattuna Solibrin katseluohjelmalla

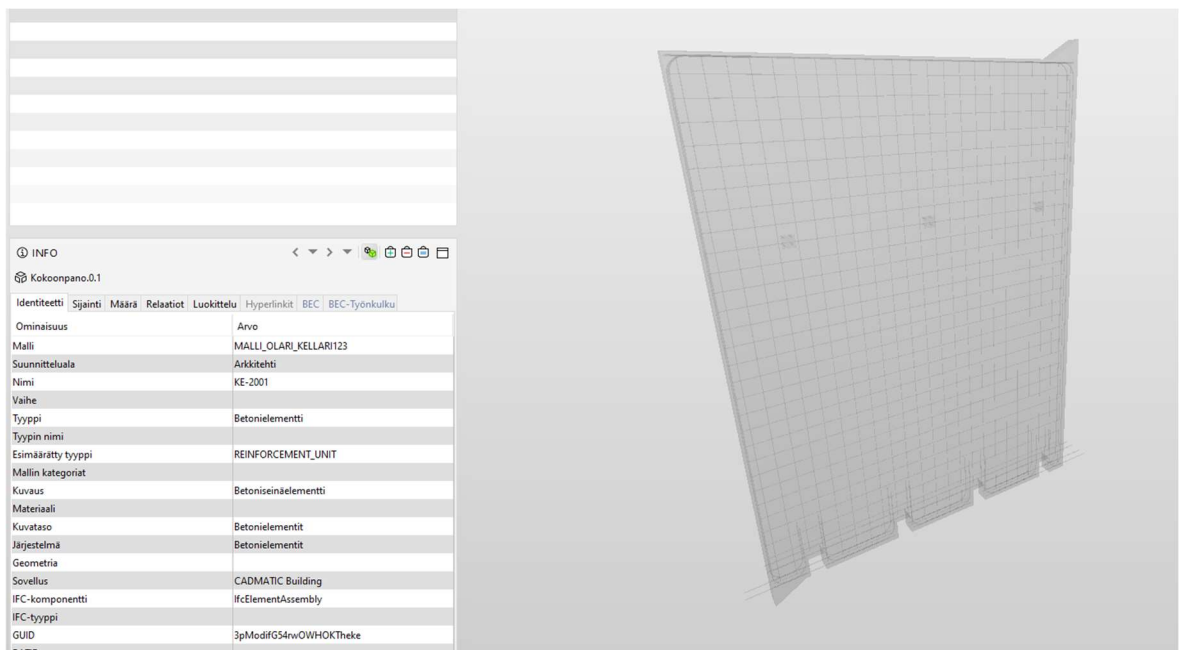
Cadmatic Buildingistä tehty IFC-tulostus vaikuttaa luonnollisesti siihen, mitä tietoja Solibri Anywhere pystyy näyttämään. Cadmaticin elementti voidaan tulostaa raudoitukset näkyvissä tai ilman. Raudoitusten tulostus kuitenkin vaatii elementistä tehtävän raudoituslomakkeen. Cadmatic tekee raudoituslomakkeen automaattisesti, mutta sitä eivät elementtitehtaat aina tarvitse.

Raudoituslomake mitoittaa elementtiin aiemmin määrittäksessä valitut raudat.



KUVA 22. Elementistä tehty raudituslomake Cadmatic Buildingissä.

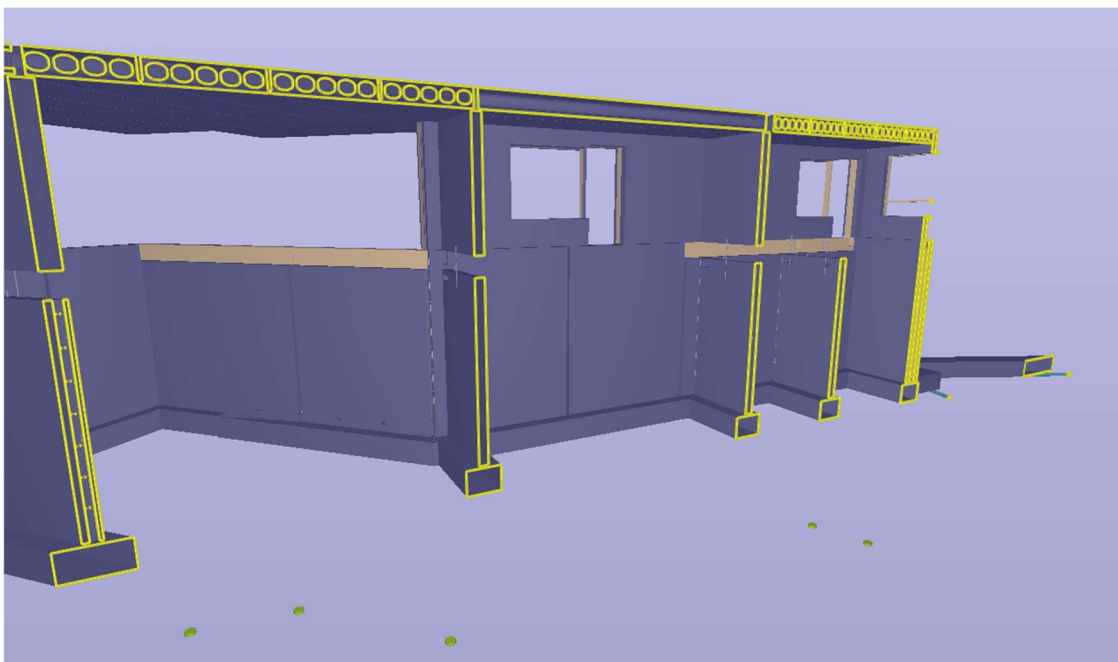
Solibri Anywheren IFC-kuvassa elementin raudat saadaan näkyviin, kun tehdään elementistä läpinäkyvä. Kuvasta pystytään myös todentamaan toteutuneet raudtojen sijainnit sekä mahdolliset virheet. Tässä esimerkiksi huomataan, että alapinnan raudoite tulee ulos elementistä. Elementin raudoitusta on siis lyhennettävä.



KUVA 23. Raudituslomakkeellisesta elementistä tulostettu IFC ja sen BEC-tietoja.

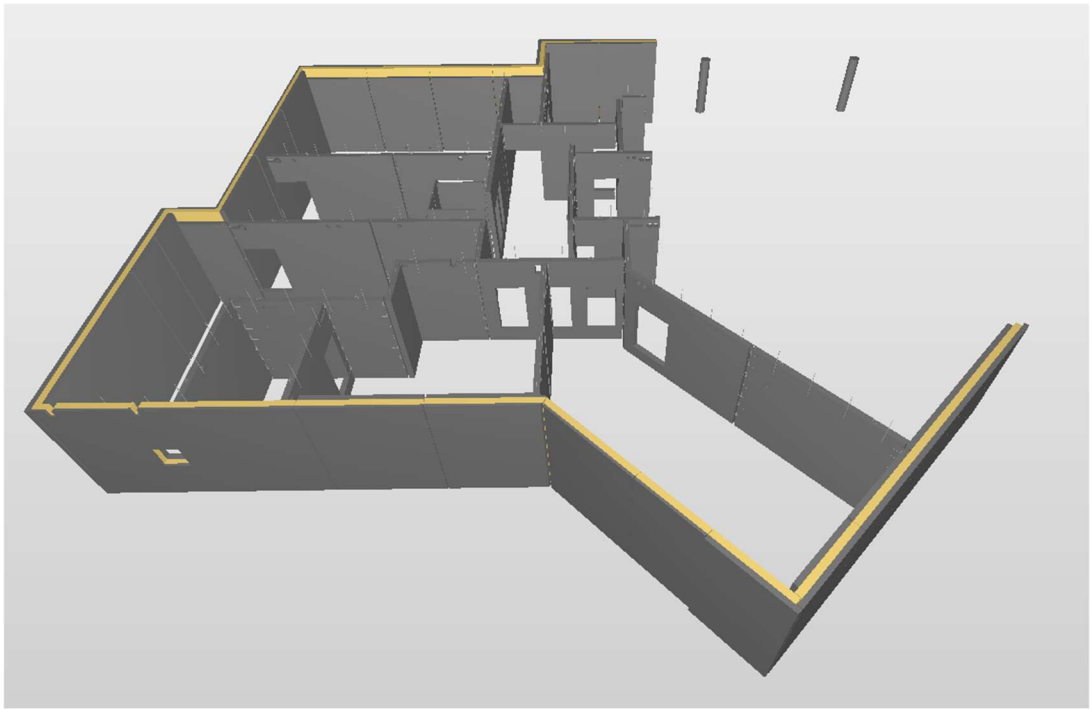
4.9 Mallin IFC-tarkastelu

Rakennemallia tarkastellaan Solibri Anywheren mallin muokkaus työkaluilla. Rakennuksen jälkitarkastelulla pystytään toteamaan mahdollisia virheitä tai vaikka vaikeasti suunniteltavia kohtia.



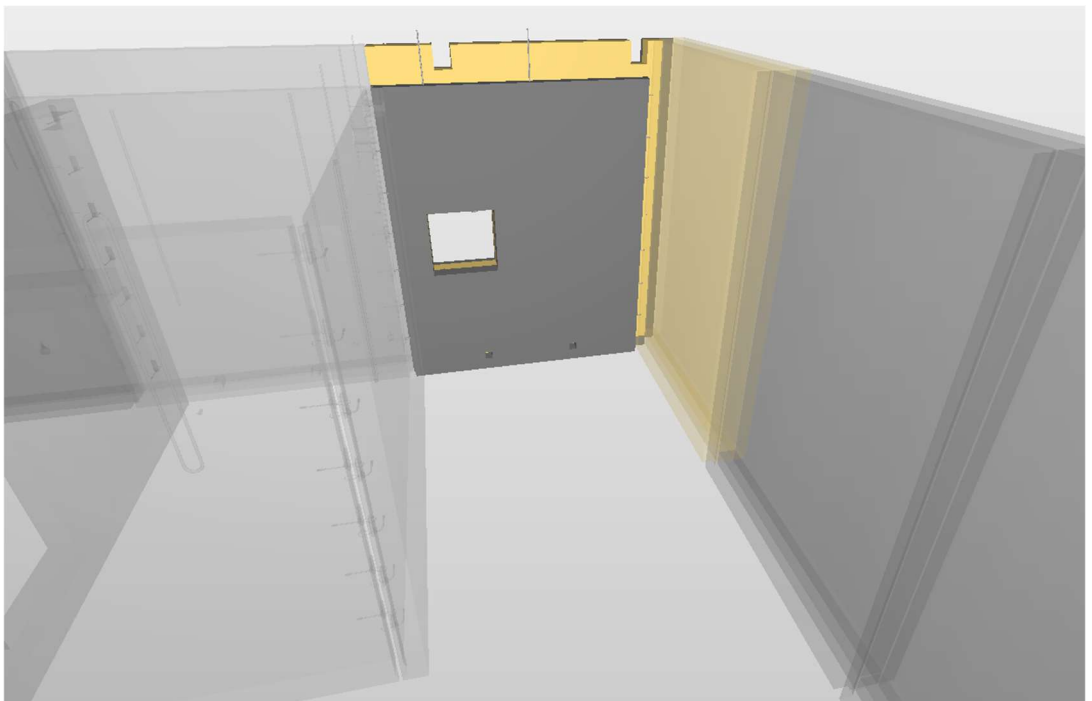
KUVA 24. Solibri Anywheren työkaluilla tehty leikkaus mallista.

Rakenteiden ollessa yhdessä kuvassa, pystytään työmaan ja suunnittelijoiden välistä keskustelua helpottamaan. Tämä edellyttää luonnollisesti työmaan ja suunnittelutoimiston ohjelmien yhteentoimivuutta, jolloin mallia pystytään lukemaan myös työmaalla.



KUVA 25. Rakennuksen IFC-kuvasta otettu leikkaus, toisen kerroksen osalta.

Kerroksesta leikatusta kuvasta nähdään kivien korot nopeasti ja pystytään tarkistamaan niiden oikeellisuus.

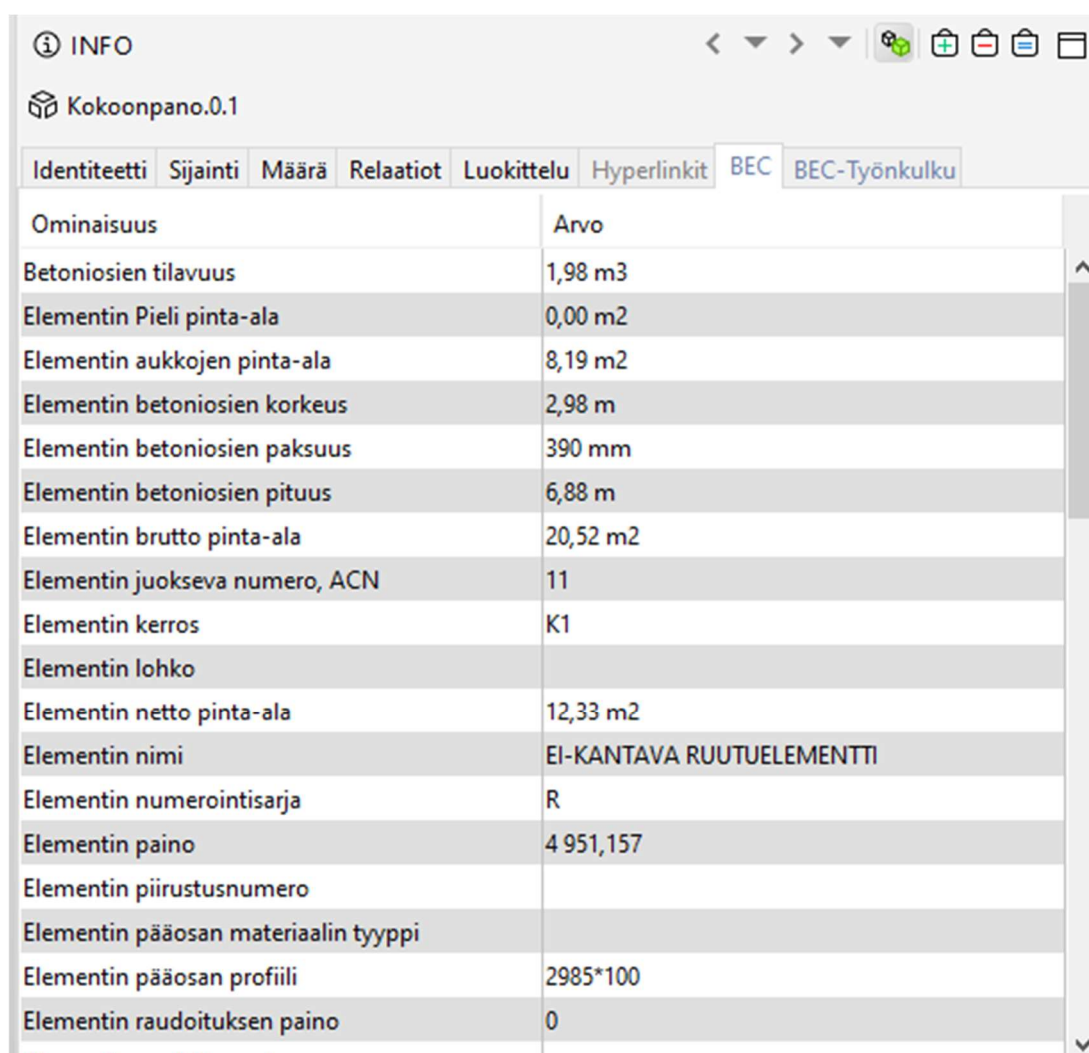


KUVA 26. Rakennuksen yksi ulkoseinäelementti korostettuna IFC kuvassa.

Yksittäisten rakenneosien tarkastelu onnistuu mallista helposti. Mahdolliset elementin sijoitukseen liittyvät ongelmat pystytään jo ennalta katsomaan, näin ongelmia muodostuu vähemmän työmaalla.

Elementtien tarvikeosien mahdolliset sijaintivirheet sekä muiden rakenteiden geometrioiden kohtaamiset nähdään helposti. Tarvikeosien laadut ja määrät pystytään myös kivikohtaisesti tarkastamaan.

Tietomallista pystytään lukemaan paljon erialan osajien tarvitsemia tietoja. BEC-tiedot löytyvät jokaisesta rakenneosasta ja myös kokonaisuudesta. Tiedoista selviää elementtien kaikki osat sekä rakenteet.



Ominaisuus	Arvo
Betoniosien tilavuus	1,98 m3
Elementin Pielin pinta-ala	0,00 m2
Elementin aukkojen pinta-ala	8,19 m2
Elementin betoniosien korkeus	2,98 m
Elementin betoniosien paksuus	390 mm
Elementin betoniosien pituus	6,88 m
Elementin brutto pinta-ala	20,52 m2
Elementin juokseva numero, ACN	11
Elementin kerros	K1
Elementin lohko	
Elementin netto pinta-ala	12,33 m2
Elementin nimi	EI-KANTAVA RUUTUELEMENTTI
Elementin numerointisarja	R
Elementin paino	4 951,157
Elementin piirustusnumero	
Elementin pääosan materiaalin tyyppi	
Elementin pääosan profiili	2985*100
Elementin raudituksen paino	0

KUVA 27. Mallista luettavat BEC-tiedot

Rakennuttajalle tai tilaajalle voidaan toimittaa rakennemallista tulostettava BEC-luettelo, joka sisältää rakentamisessa tarvittavia tietoja. Jokaiselle elementille

syötetyt tiedot tulevat tässä kohtaa näkyviin, siksi tietojen alkuperäinen sijoittaminen on tehtävä huolella.

4.10 Palaute mallista

Rakennuksen mallintamisesta koituvat hyödyt suunnittelijalle koostuvat suurimaksi osaksi projektissa tehtävien töiden yhdistämisestä ja toisten suunnittelijoiden kanssa syntyvästä helpommasta kanssakäymisestä. Projektin edetessä rakennuksen valmistusvaiheeseen, työmaa hyötyy myös mallista. Malli selkeyttää rakennuksen havainnollistamista. Tämä kuitenkin edellyttää, että kummatkin osapuolet voivat käyttää samoja lukuohjelmia ja osaavat tulkita niitä oikein. Mallin päivittäminen vie myös aikaa. Kun suunnitelmat muuttuvat, muutokset joudutaan usein viemään useisiin eri kuviin.

Mallintamisen hyödyt suunnittelijalle
Mallista saatava selkeämpi ja visuaalisempi kokonaiskuva
Ongelmakohtien havaitseminen ajoissa ja korjauskustannusten pieneneminen

Taulukko 7. Mallintamisen hyödyt.

Mallintamisen haasteet suunnittelijalle
Mallin päivittämisen hitaus

Taulukko 8. Mallintamisen haasteet.

5 KEHITTÄMISSUUNNITELMA

Kehittämissuunnitelman läpikäynti alkaa toimeksiantajan nykytilan kuvauksella, minkä jälkeen tuodaan esille toimeksiantajan asettamat tavoitteet. Kun tavoitetilä on kuvattu, tarkastellaan varsinaisia kehittämistoimenpiteitä.

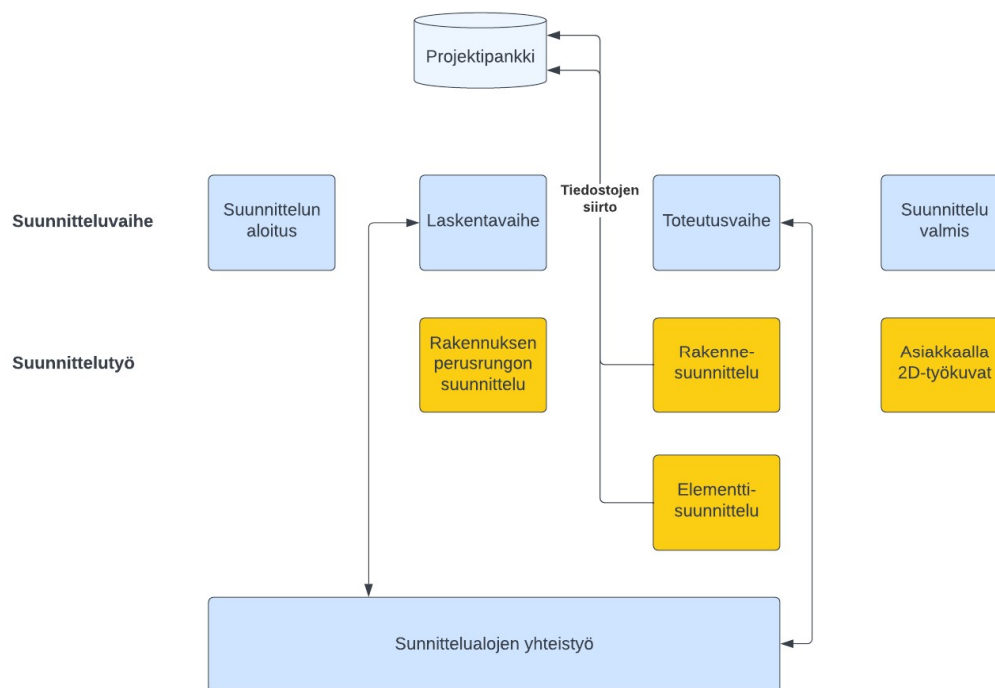
5.1 Nykytilan kuvaus

Tyypillisessä suunnittelutoimeksiannossa asiakkaan kanssa käydään läpi kohteen perustietoja ja rakenteita. Suunnittelu etenee niin, että tämän jälkeen tehdään tilaajalle laskentaan sopivat suunnittelupiirustukset.

Laskentavaiheen jälkeen alkaa toteutussuunnitelmien työstäminen. Tällöin lisätään mm. puuttuvia yksityiskohtia, elementtien osia ja rajoituksia. Lisäksi tehdään piirustuksia, joita ei laskentavaiheessa ole tarvittu.

Piirustukset tehdään 2D CAD-kuvina. Rakennuksesta muodostetaan piirustuksia kerroksittain sekä tehdään rakenteellisesti erilaisista kohdista leikkaukset. 2D-työkuvilla ohjataan työmaalla tapahtuvaa rakentamista. Rakennuksesta tuotetaan myös suunnittelusopimuksen mukaisesti elementtien piirustuksia valmistajille. Kohteesta tehdyt valmiit työkuvat tallennetaan projektipankki-sovellukseen, josta ne jaetaan muille suunnittelijoille sekä muille projektin osapuolille.

Suunnitteluprojektin työnkulku on esitetty seuraavassa kaaviossa.



TAULUKKO 9. Taulukkokaavio nykytilan suunnitteluprosessista

Suunnittelussa hyödynnetään pitkäaikaista kokemusta ja erilaisia luotuja mallityyppejä, joiden pohjalta suunnittelua nopeutetaan ja hyviä käytäntöjä voidaan siirtää uusiin suunnittelukohteisiin. Rakennuksen kantavan rungon suunnittelu toteutetaan laskelmapohjien ja taulukoiden avulla.

Suunnitteluohjelmiana on AutoDeskin AutoCAD 2015, jonka suunnittelua helpottavia lisäsovelluksia ei käytetä. Lisäsovelluksilla tarkoitetaan esimerkiksi 2D-tasossa piirrettävien seinälinjojen rakenteiden tuottamista viivapiirron yhteydessä. Toimistolla on käytössä myös Cadmatic Building -sovellus rakennemallien tuottamiseen.

5.2 Tavoitetilan kuvaus

Nykyisin suurempien suunnittelukohteiden tarjouspyynnöissä vaaditaan rakennuksen mallintamista. Tietomallintavalla suunnittelulla toimeksiantaja tavoittelee kilpailukyvyyn ylläpitämistä myös tulevaisuudessa.

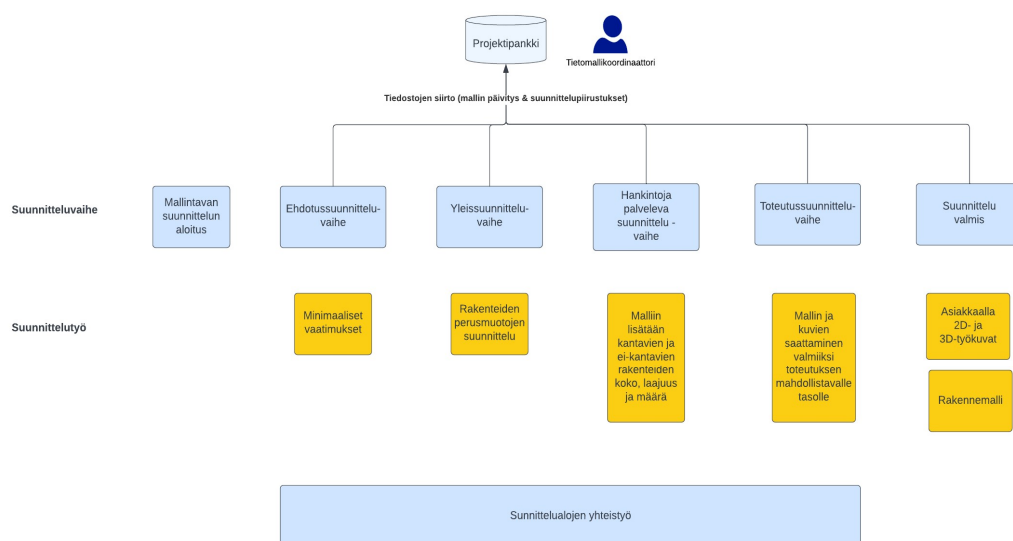
Toimeksiantaja tavoittelee suunnittelumallin kehittämistä niin, että tietomallintavaa suunnittelua pystytään toteuttamaan nykyisillä resursseilla. Näin pyritään siihen, että suunnittelun tehokkuus yleisesti paranisi. Toimeksiantajalle on myös tärkeää, että kilpailukyky pystytään ylläpitämään siirtymävaiheen aikana.

5.3 Kehittämistoimenpiteet

5.3.1 Suunnitteluun liittyvien toimintamallien muutokset

Vaikka ehdotussuunnitteluvaiheessa ei ole mallinnukseen liittyviä vaatimuksia, voidaan tilaajalle toimittaa alkuvaiheessa luonnos rakennuksen rakenteesta erillisinä tasokuvina.

Tietomallintamisen yleissuunnitteluvaihe on hyvin vastaava nykyiseen laskentavaiheeseen verrattuna. Yleissuunnitteluvaiheessa työ aloitetaan tuottamalla nykyisen suunnittelutavan mukaisesti laskentaa tukevat kuvat arkkitehtikuvien pohjalta. Näihin kuviin voi tulla tässä suunnitteluvaiheessa paljon muutoksia. Nykyinen AutoCAD-suunnitteluohjelma on tässä työvaiheessa vielä jonkin aikaa käytössä, mutta sen korvannee jatkossa Cadmatic Building. Tässä vaiheessa rakennuksesta tuotetaan myös uutena kokonaisuutena perusrungon sisältävä rakennemalli.



TAULUKKO 10. Tavoitetilan mukainen, mallintavan suunnittelun prosessi

Hankintoja palveleva suunnittelu ja toteutusvaihe vievät mallia eteenpäin kohti työkuvia. Suunnittelu toteutetaan kappaleessa neljä kuvattujen työtapojen mukaisesti. Keskeistä tässä suunnittelutavassa on se, että käytetään kattavasti sovelluksen sisäisiä työkaluja, jolloin saadaan hyödynnettyä tehokkaammin sovelluksen suunnittelua tukevia piirteitä. Esim. aikaisemmin viivapiirtona tehty perustus, tehdään uudella työvälineellä perustus-blokkina (sisältäen mm. geometrian ja sijaintitiedot). Erilaisten työkalujen käyttö eroaa aikaisemmasta työtavasta erilaisten rakenteellisten tietojen syöttövaatimusten osalta. Nämä rakenteelle tulevat tiedot muodostavat myöhemmin rakennemallin.

Uutena työvaiheena tässä vaiheessa tulee siis vaatimus tuottaa IFC-tiedostomuodossa oleva rakennemalli. Rakennemalli yhdistetään rakennuksen tietomalliin tietomallikoordinaattorin toimesta. Nykyiseen toimintamalliin verrattuna muutosta on myös siinä, että projektipankki on saatavilla jo projektin alkuvaiheessa. Tietomallikoordinaattori tehostaa ja koordinoi eri suunnittelutahojen välistä yhteistyötä.

Rakennemalliin liittyy vahvasti ajatus mallin päivittämisestä hyvinkin karkeasta tasosta, hyvin yksityiskohtaiseen tasoon. Tätä samaa suunnittelutapaa noudatetaan myös nykyisillä työvälineillä, mutta nyt muutokset tulisi viedä erillissuunnitelmien sijaan myös itse rakennemalliin.

5.3.2 Uusien työvälineiden vaatima koulutus

Pienillä suunnittelutoimistolla kapasiteetti on hyvin rajallinen, tästä syystä henkilöstön kouluttaminen uusiin ohjelmiin ei ole niin yksiselitteistä. Cadmatic Building-ohjelman ollessa perusrakenteeltaan hyvin samanlainen kuin nykyinen AutoCAD, helpottaa tämä uuden ohjelman omaksumista. Tähän siirtymään vaadittava koulutusmäärä kartoitetaan erikseen. Jos toimintatapaa ei samalla myös muuteta, ei nykyisillä resursseilla ehditä lisäksi toteuttaa kohteesta myös rakennemallia.

5.3.3 Rakennemallin päivittämiseen liittyvä lisätyö

Suunnitelmien päivittäminen toisten suunnittelijoiden kanssa voi tuoda haasteita. Yhdestä projektista tulostettavien kuvien määrä on todella suuri. Mallintamalla tulostettavien kuvien määrä ei pienene, mutta ei myöskään merkittävästi suurene. Kun rakennukseen tulee muutoksia, on ne tehtävä tiedostoon, josta malli tulostetaan ja kaikkiin aikaisemminkin ylläpidettäviin suunnitteludokumentteihin.

6 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyössä luotiin Insinööritoimisto Kai Kakko Oy:lle kehittämissuunnitelma, joka ohjaa toimeksiantajaa kohti tietomallintavaa suunnittelua. Kehittämissuunnitelmassa esitetään suunnittelutyökalun päivittämistä Cadmatic Buildingiin, jolla pystytään pysymään lähellä nykyisenkaltaista työtapaa ja tuottamaan vaadittu rakennemalli. Kehittämissuunnitelmassa tuodaan esille myös tarve siirtyä puhtaista viivapiirroksista käyttämään suunnitteluohjelman sisäisiä työkaluja, esim. seinä- ja laattaelementtien suunnittelussa. Tämä on myös edellytys rakennemallin luomiselle.

Tietomallintavaan suunnitteluun siirtyminen ei ole pelkästään suunnittelutyökaluihin liittyvä kysymys. Kehittämissuunnitelmassa oletettiin tietomallintavan suunnittelun etenevän YTV2012-suosituksen mukaisesti. Tästä huolimatta tarjouskilpailuissa saattaa esiintyä suosituksesta poikkeavia vaatimuksia. Vaikka rakennemalli projekteissa vaaditaankin, niin silti natiivitiedostot ja alkuperäiset suunnitelmat ovat silti usein keskeisessä roolissa. Näyttää siis siltä, että tietomallintava suunnittelu tuo lisää työtä ja jos työtä halutaan tehdä samoilla resursseilla kuin aikaisemminkin, niin suunnittelutyön tuottavuuden tulee kasvaa. Kehittämissuunnitelmassa tehtiin oletuksia, että näin tulisi tapahtumaan, mutta on myös mahdollista, että tietomallintava suunnittelu pidentää projektille asetettua suunnitteluaikaa. Tällöin on myös epäselvää se, että saadaanko suunnitteluprojekteja myytyä aikaisempaa korkeampaan hintaan, jotta lisääntyneelle työlle saadaan riittävä kate.

Tämän työn tuloksia voi soveltaa tietyin rajauksin myös laajemmin. Useat pienet suunnittelutoimistot voivat kokea raskaiden, puhtaasti 3D-pohjaisten mallinnustyökalujen käytön haastavana ja perinteisestä suunnittelutyöstä poikkeavana. Cadmatic Building tarjoaa mallintavan suunnittelutyövälineen, jolla mallinnus tapahtuu normaalin suunnittelutyön ohella. Tässä työssä tehtyjen kokeilujen pohjalta voisi uskoa, että tämänkaltaisen toimintamalli olisi ainakin pienemmille suunnittelutoimistoille konkreettisempi ja helpommin omaksuttava lähestymistapa tietomallintavaan suunnitteluun.

On kuitenkin syytä huomioida, että tässä työssä ei arvioitu Cadmatic Building -ohjelman kilpailijoita kuin hyvin pintapuolisesti. Useissa ohjelmissa voi suunnittelutyötä helpottaa myös esim. pitkälle kehittyneillä yhteistyön ja tiedonvaihdon työvälineillä. Lisäksi usein isoissa suunnittelutoimistoissa suunnittelutyökalut sisältävät paljon kustomointeja ja suunnittelua helpottavaa sisältöä. Näitä lisäpiirteitä tai niiden hallinnointia, ei myöskään tarkasteltu tässä työssä.

Toimeksiantajan omassa kohteessa tehdyn rakennemallin toteutus osoittautui hyväksi lähestymistavaksi. Näin toimeksiantajalle jäi selkeä rakennemallin mukainen esimerkkiaineisto ja kuvaus tietomallintavasta suunnittelusta, heille tutun kohteen osalta. Samaan kohteeseen tehty rakennemalli antoi myös mahdollisuuden arvioida kehittämissuunnitelmaan nostettavia asioita hyvinkin käytännönläheisesti.

Mielenkiintoisena jatkotutkimuskohteena olisi mitata erilaisten tietomallintavien suunnittelutyökalujen käyttöä samassa kohteessa ja arvioida työkalujen tehokkuutta osana suunnitteluprosessia. Lisäksi olisi hyvä tarkastella tietomallintavien suunnittelutyökalujen tehokkaaseen käyttöönottoon kuluvaa aikaa.

7 LÄHDELUETTELO

- [1] Väylävirasto, "Mikä on tietomalli?," [Online]. Available:
] <https://vayla.fi/palveluntuottajat/inframallit/mika-on-tietomalli->. [Haettu 10 02 2022].
- [2] A-Insinöörit, "HUSin Siltasairaala palkittiin maailman parhaana julkisen sektorin BIM-projektina," [Online]. Available: <https://www.ains.fi/uutiset/hus-siltasairaala-maailman-paras-julkisen-sektorin-bim-projekti>. [Haettu 9 Huhtikuu 2022].
- [3] Tekla, "HUS Siltasairaala," [Online]. Available: <https://www.tekla.com/fi/bim-awards/hus-siltasairaala>. [Haettu 10 Helmikuu 2022].
- [4] Tekla, "Kaupunkiympäristöalo: Tietomallipohjaista suunnittelua uusilla ulottuvuuksilla," [Online]. Available:
] <https://www.tekla.com/fi/ajankohtaista/referenssit/kaupunkiymp%C3%A4rist%C3%B6alo-tietomallipohjaista-suunnittelua-uusilla-ulottuvuuksilla>. [Haettu 10 Helmikuu 2022].
- [5] Ramboll, "Senaatti-kiinteistöt jatkaa aktiivisessa roolissa tietomallintamisen kehittäjänä," [Online]. Available: <https://fi.ramboll.com/Media/rfi/senaatti-jatkaa-tietomallintamisen-kehittajana>. [Haettu 12 Helmikuu 2022].
- [6] Ramboll, "Tietomallintamisessa tarvitaan inhimillisyyttä ja ihmisten kohtaamista," [Online]. Available: <https://fi.ramboll.com/media/artikkelit/rakentaminen-ja-kiinteistot/tietomallintamisessa-tarvitaan-inhimillisyytta-ja-ihmisten-kohtaamista>. [Haettu 5 Tammikuu 2022].
- [7] Valtioneuvosto, "Kehityshankkeet tuovat yhteentoimivaa tietoa rakentamisalalle," 2021. [Online]. Available: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/kehityshankkeet-tuovat-yhteentoimivaa-tietoa-rakentamisalalle>. [Haettu 01 03 2022].
- [8] KIRAHUB, 2021. [Online]. Available: <https://kirahub.org/ytyv2020-talotekniikan-ja-rakennesuunnittelun-nimistojen-koekaytto-alkaa/>. [Haettu 05 03 2022].
- [9] Autodesk, "Yleiskatsaus, Revit," [Online]. Available:
] <https://www.autodesk.fi/products/revit/>. [Haettu 9 Huhtikuu 2022].
- [1] Rakennuslehti, "Trimble on saanut lähes kaikki Teklan osakkeet haltuunsa," [Online].
0] Available: <https://www.rakennuslehti.fi/2011/07/trimble-on-saanut-lahes-kaikki-teklan-osakkeet-haltuunsa/>. [Haettu 9 Huhtikuu 2022].
- [1] Trimble, "Tehokas rakennesuunnittelun tietomalliohjelmisto – Tekla Structures," [Online].
1] Available: <https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>. [Haettu 9 Huhtikuu 2022].
- [1] Cadmatic, "CADMATIC Building - tieto helpottaa suunnittelijan elämää," [Online].
2] Available: <https://www.cadmatic.com/fi/construction/ohjelmistoratkaisut/cadmatic-building/>. [Haettu 9 Huhtikuu 2022].
- [1] Building Smart Finland, "YTV2012, Osa 5, Rakennesuunnittelu," 2012. [Online]. Available:
3] https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytyv2012_osa_5_rak.pdf. [Haettu 9 Huhtikuu 2022].

- [1] ArkWorks, "As. Oyt Espoon Olarin Lysti & Onni," [Online]. Available:
4] <https://www.arkworks.fi/portfolio/as-oyt-espoon-olarin-lysti-onni/>. [Haettu 10 09 2022].
- [1] E. Halmetoja, "Tietomallit ylläpidossa," 2016. [Online]. Available:
5] https://www.senaatti.fi/app/uploads/2017/05/6099-Tietomallit_yllapidossa.pdf. [Haettu 10 02 2022].
- [1] COBIM - hankkeen osapuolet, "BuildingSmart," 2012. [Online]. Available:
6] https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_5_rak.pdf. [Haettu 15 02 2022].
- [1] T. Lehtoviita ja J. Rautiainen, "Tietomallit rakennusten turvallisuuden varmistamisessa,
7] tietomallien tarkasteluohjelmien vertailu," 2019. [Online]. Available:
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/225722/Tietomallien%20tarkasteluohjelmien%20vertailu.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. [Haettu 9 Huhtikuu 2022].