



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Vernerin Saha

## 3D-mallintaminen korjausrakennesuunnittelussa Revit-sovelluksella

Metropolian Ammattikorkeakoulu  
Insinööri AMK  
Rakennetekniikka  
Opinnäytetyön loppuraportti  
12.5.2020

Tiivistelmä

Tekijä Otsikko	Verner Saha 3D-mallintaminen korjausrakennesuunnittelussa sovelluksella	Revit
Sivumäärä Aika	41 + 12 12.5.2020	
Tutkinto	Insinööri (AMK)	
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikka	
Ammatillinen pääaine	Rakennetekniikka	
Ohjaajat	Paula Naukkarinen, Lehtori, Metropolia AMK Markus Heinonen, Ryhmäpäällikkö, Granlund Oy	
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin yritykselle Granlund Oy ja sen tarkoituksena oli arvioida Autodeskin Revit ohjelman soveltuvuutta heidän rakennesuunnitteluryhmän tietomallinnustarpeisiin. Rakennetekniikka on yhä kehittyvä insinööritiede, jonka työelämän sovellukset ovat pitkälti siirtyneet tietokonemaailmaan. Jo 70-luvulla syntynyt BIM- eli rakennusten tietomallinnus, jota Revit-mallinnuskin edustaa, on yleistynyt myös Suomessa. Revit on monipuolinen tietomallinnussovellus, jonka käyttökohteita on monia. Revittiä voidaan hyödyntää muun muassa yhdessä drone-lähtöisen 3D-mallinnuksen kanssa tai luku- ja lujuuslaskennan apuvälineenä, joista lisää tässä opinnäytetyössä. Ohjelmaa taitavalle Revit täyttää kaikki perinteisen korjausrakennesuunnittelun tietomallinnustarpeet. Revitillä kykenee mallintamaan ja tulostamaan kaikki tarvittava taso-, leikkaus ja detaljipiirustukset ja sitä voidaan käyttää sekä puu- teräs- että betonirakenteiden mallinnukseen.</p>		
Avainsanat	Rakennesuunnittelu, 3D-Mallinnus, AutoDesk Revit	

## Abstract

Author Title	Verner Saha 3D-modelling With Revit in Structural Renovation Engineering
Number of Pages Date	41 + 12 12.5.2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Structural Engineering
Instructors	Paula Naukkarinen, Lecturer, Metropolia AMK Markus Heinonen, Group Manager, Granlund Oy
<p>This thesis was made for Granlund Oy and its purpose was to evaluate the suitability of Autodesk's Revit program for the BIM-modeling or building information modeling needs of their civil engineering team. Civil engineering is an ever-evolving science, whose work-life applications have largely shifted to the computer world. BIM, or building information modeling, which was born in the 1970s, of which Revit modeling also represents, has also become more common in Finland. Revit is a versatile BIM-modeling software with many applications. Revit can be utilized, among other things, in conjunction with drone-based 3D modeling or as a tool aiding with structural calculations, which are presented in more detail in this thesis. For those who know their way around the program, Revit meets all the BIM-modeling needs in renovation engineering. With Revit you are able to model and print all the necessary plan, section and detail drawings and it can be used to model wood, steel and concrete structures.</p>	
Keywords	Civil-Engineering, 3D-Modeling, AutoDesk Revit

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tutkimusmenetelmät	2
3	Taustoja, teoriaa ja historiaa	3
3.1	Rakennetekniikka ja rakennesuunnittelu	3
3.1.1	Rakennesuunnittelun varhaiset vaiheet	3
3.1.2	Rakennesuunnittelu ja rakentamisen kehitys 1400-1700-luvuilla	4
3.1.3	1800-luvulta moderniin aikaan	6
3.2	BIM- ja tietomallintaminen	8
3.2.1	BIMin esi-isät	9
3.3	Autodesk Revit ja Revit Structure	11
3.3.1	Alkuperäinen Revit ja sen ainutlaatuisuus	11
3.3.2	Autodesk Revit	12
3.4	YTV 2012 ja tietomallinnus sen mukaisesti	13
3.4.1	Osa 1. Yleinen osuus	13
3.4.2	Osa 5. Rakennesuunnittelu	16
3.4.3	Osa 6. Laadunvarmistus	18
3.5	Drone-lähtöinen 3D-mallinnus	19
3.5.1	Dronejen kehitys ja käyttö	19
3.5.2	Dronetyypeistä ja niiden toiminnallisuudesta	21
3.5.3	Fotogrammetria	22
3.5.4	Pistepilvisovellukset	24
4	Tutkimus mallinnusprosessista ja Revitin soveltuvuuksista.	26
4.1	Koulurakennuksen IV-konehuoneen ja vesikattokaistaleen tietomallinnus.	26
4.2	Pistepilviodjelmistolla luodun mallin vienti Revit-sovellukseen	27
4.3	Revit-mallin vienti FEM-Design laskentasovellukseen.	28
5	Tutkimustulokset	28
5.1	Kirjallisuus- ja taustatutkimus	28

5.2	Mallinnusprosessi	29
5.3	Pistepilvisovelluksesta Revittiin	30
5.4	Revitistä FEM-Design laskentasovellukseen	31
6	Johtopäätökset	31
7	Yhteenveto	32
8	Pohdinta	34
	Lähteet:	36
	Kuvien käyttöoikeudet	41
	Liite 1. Revitin sovelluksien ohjeistus	1
	Pistepilviohjelmalla luodun 3D-mallin vienti Revittiin	1
	Revit-mallin vienti FEM Design laskentaohjelmaan	7
	Piirustusohjelman vienti Revitistä AutoCadiin	10
	Liitteet:	
	Liite 1. Revitin sovelluksien ohjeistus	
	Liite 2. Raportti tutkimustuloksista (Vain Granlund Oy:n käyttöön)	

## Lyhenteet

LVIS	Lämpö, vesi, ilmanvaihto ja sähkö
Cad	Tulee englannin sanoista <i>computer aided design</i> ja tarkoittaa tietokoneavusteista suunnittelua.
3D	Tulee sanoista <i>three-dimensional</i> ja tarkoittaa kolmiulotteista.
BIM	Tulee sanoista <i>building information model</i> ja tarkoittaa rakennuksen tietomallia.
YTV2012	Yleiset tietomallivaatimukset 2012 on senaatin kiinteistöjen ohjeellinen julkaisu tietomallinnuksesta Suomessa.
IFC	Tulee sanoista <i>industry foundation classes</i> ja sillä yleisesti tarkoitetaan tiedostomuotoa, jota monet rakennusalan sovellukset pystyvät käyttämään
GUID	Tunnistetietotyyppi, jonka tietomallinnussovellukset antavat niissä mallinnetuille osille.
TATE	Tulee sanasta <i>Talotekniikka</i> .

## 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehtiin yritykselle Granlund Oy. Granlund Oy on konsulttialan yritys, joka tarjoaa muun muassa LVIS- ja rakennesuunnittelupalveluita, sekä rakennuttamis-, konsultointi- ja valvontapalveluita. Granlund Oy:llä on yli 20 eri toimipistettä/tytäryhtiötä Suomessa ja myös muutamia toimistoja ulkomailla. Granlundilla on konsernissa reilut 1000 työntekijää.

Opinnäytetyön taustana oli yrityksen halu siirtää lähitulevaisuudessa rakennesuunnittelu kaksiulotteisesta Cad-maailmasta 3D-maailmaan mahdollisuuksien mukaan. Työssä tutkittiin Autodeskin Revit Structure -sovelluksen soveltuvuutta yleisesti rakennesuunnittelun työkaluna. Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin muun muassa seuraavanlaisia asioita:

- Opinnäytetyössä käsiteltävien aiheiden teoriaperustaa ja historiaa
- Millaisia suunnitelmia Autodeskin Revit Structure -sovelluksella kykenee käytännöllisesti tekemään ja onko osa näistä yhä kannattavampaa tehdä 2D-piirustuksina?
- Selvitetään, kuinka dronella kerätystä kuvamateriaalista tuotettuja pistepilviä ja 3D-malleja tuodaan kyseiseen sovellukseen.
- Arvioidaan yrityskohtaisia kehittämistarpeita Revit Structure -sovelluksen käyttöliittymään, materiaali- ja rakennekirjastoihin sekä työkaluihin korjausrakennesuunnittelun kannalta.

Opinnäytetyön tarkoituksena ei ollut tehdä valmista suunnitelmapohjaa tai kattavaa rakenne- ja materiaalikirjastoa Revit Structure -sovellukseen.

Opinnäytetyön teoriaperusta ja taustat sekä tietoa mallinnetusta kohteesta, kirjallisuus- ja mallinnustutkimuksen johtopäätökset, yhteenveto ja pohdintaa on koottu tähän raporttiin. Granlundille kuuluva ja luottamuksellinen tieto sekä Revitin käyttöön liittyvät kehitysehdotukset on koottu luottamukselliseen Liitteeseen 2. Käytännön ohjeistusta valikoidusta Revitin soveltuvuuksista on koottu Liitteeseen 1.

## 2 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön tutkimus suoritettiin sekä kirjallisuus- ja taustatietotutkimuksena, pääasiassa internetlähteistä, että käytännön tutkimustyönä varsinaisesta mallinnus- ja suunnitteluprosessista. Tutkimus suoritettiin rakennesuunnittelijan ja korjausrakennesuunnittelun näkökulmasta.

Kirjallisuus- ja taustatietotutkimuksessa pyrittiin kartoittamaan projektin käsittelemien aiheiden teoriaperustaa ja historiaa, sekä keräämään tietoa Revitin käytöstä, toiminnasta ja ominaisuuksista sekä sen soveltuvuudesta Granlundin käyttötarkoituksiin.

Käytännön tutkimuksessa aiheesta opinnäytetyössä pyrittiin mallintamaan tietomalli Granlundin korjausrakennuskohteesta Revit-sovelluksella sekä testaamaan Revitin soveltuvuutta eri käyttötarkoituksiin.



### 3 Taustoja, teoriaa ja historiaa

#### 3.1 Rakennetekniikka ja rakennesuunnittelu

Rakennetekniikka ja rakennesuunnittelu ovat insinööritieteitä ja tekniikan aloja, joiden pääasiallisena tehtävänä on rakennusten ja rakennelmien kantavan rungon sekä rakenteiden kantavuuden, ehjänä pysymisen ja stabiiliuden suunnittelu [1]. Rakennesuunnittelun osa-alueisiin kuuluu monia erilaisia erikoistumisaloja kuten esimerkiksi silta-, teräsrakenteiden- tai maanjäristyssuunnittelu [2]. Rakennesuunnittelu on, kuten muun muassa arkkitehti- ja tate-suunnittelu, yksi rakennussuunnittelun osa-alue [2].

##### 3.1.1 Rakennesuunnittelun varhaiset vaiheet

Rakennustekniikan historia on lähes yhtä vanha mitä ihmisten rakentamisen kulttuuri ja se on yksi vanhimpia insinööritieteitä yhdessä niin kutsutun sotilaallisen insinööritekniikan eli pioneeritoiminnan kanssa [1]. Alun perin arkkitehti ja insinööri ovat olleet synonyymejä samalle ammatille [1],[5]. Rakenne- ja rakennussuunnittelun historia juontaa juurensa ainakin 4000-2000 luvuille ennen ajanlaskumme alkua muinaisen Egyptin ja Mesopotamian kansakuntien ajanjaksolle ja rakennesuunnittelun esi-isänä voidaankin pitää ensimmäistä nimeltä tunnettua arkkitehtiä ja insinööriä Imhotepiä, jonka uskotaan suunnitelleen ja rakennuttaneen farao Djoserin pyramidin Sakkarassa Egyptissä noin 2700 vuotta ennen ajanlaskumme alkua [3],[4]. Vanhimmat säilyneet dokumentit rakennesuunnittelusta juontavat juurensa suurin piirtein samalle ajanjaksolle [3]. Entisaikojen rakentaminen perustui pitkälti kokeiluun ja hyväksi havaittuihin rakenneratkaisuihin [3],[5]. Rakennelmat tehtiin pääosin samaan tapaan kuin ne oli aina ennekin tehty ja ymmärrys oikeasta rakentamistavasta siirtyi pääasiallisesti suullisesti sukupolvelta toiselle [3],[5].

Arviolta ensimmäiset matemaattiset tulkinnat fysiikan laeista, joille rakennesuunnittelukin pohjautuu, on läntisellä pallon puoliskolla tehty Antiikin Kreikkalaisen Arkhimedeeseen toimesta, joka eli noin vuosina 287-211 ennen ajanlaskumme alkua [3],[5],[6].

Antiikin roomalaiset kehittivät pitkälle arkkitehtuuriaan ja rakenneteknistä osaamistaan. Roomalainen arkkitehti ja insinööri Marcus Vitruvius Pollio kirjoitti noin 30-15 ennen ajanlaskumme alkua teoksen *De architectura* [3],[5]. Kirja oli mahdollisesti tarkoitettu keisari Augustukselle rakentamisoppaaksi, ja se on ainoa tähän päivään asti säilynyt, laajassa mittakaavassa arkkitehtuuria ja rakennetekniikkaa käsittelevä, teos antiikin ajalta [3],[5]. Esimerkkejä roomalaisten saavutuksista ovat muun muassa kaariholvin potentiaalinen massiivinen hyödyntäminen, laajat akvedukti- ja viemäriverkostot sekä betonin mittava kehittäminen [3],[5],[7],[8],[9],[10]. Vaikkakin mitään edellisistä ei ole keksitty alun peri Rooman valtakunnassa, veivät roomalaiset osaltaan niiden kehitystä pitkälle [3],[5],[7],[8],[9],[10]. Monet Rooman valtakunnan aikaan tehdyt rakennukset ja rakennelmat ovat yhä edelleen pystyssä [3],[7],[8],[9].

### 3.1.2 Rakennesuunnittelu ja rakentamisen kehitys 1400-1700-luvuilla

Leonardo da Vinci teki 1400- ja 1500-lukujen vaihteessa monia teknisiä suunnitelmia ilman pätevää laskennallista perustaa puhtaasti havainnointiin pohjautuen. Monet hänen keksinnöistään on myös todettu teknisesti päteviksi nykyisten insinööritieteiden näkökulmasta. Da Vincin uskotaan myös luoneen pohjan modernille tekniselle piirustukselle. [3],[12].

1600-luvulla Galileo Galilei, Robert Hooke ja Isaac Newton loivat varsinaisen matemaattisen pohjan rakennesuunnittelulle [3]. Vuonna 1638 julkaisemassaan kirjassa: *Dialogues Relating to Two New Sciences*, Galileo Galilei kiteytti ja rajasi materiaalien lujuuden ja kappaleiden liikkeen tieteet, sekä määritteli painovoiman voimaksi, joka yleisesti ottaen aiheuttaa kiihtyvyyden [3]. 1676 Robert Hooke julkaisi ensimmäisen esityksensä Hooken laista, joka käsittelee tieteellisesti materiaalien elastisuutta ja niiden käyttäytymisestä kuormitettuna [3]. 1687 Isaac Newton julkaisi teoksen: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, jossa hän muun muassa julistaa oman lakinsa liikkeestä antaen ensimmäistä kertaa tieteellisen selityksen fysiikan laeille, jotka hallitsevat rakenteita [3]. Isaac Newton ja Gottfried Leibniz kehittivät myös 1600-luvulla samanaikaisesti erilliset versiot analyysin peruslauseista eli teorioista siitä, että derivaatta ja integraali ovat toistensa käänteistoimituksia, luoden näin ollen tärkeän työkalun insinööritieteissä [3],[13]. 1700-luvulla Leonhard Euler kehitti useita rakenteellisen analysoinnin keinoja [3]. Samalla vuosisadalla Daniel ja Johann Bernoulli kehittivät yhdessä niin kutsutun virtuaalisen työn teorian, joka käsittelee muun muassa voimien tasapainoehtoja ja statiikkaa [3]. Daniel Bernoulli kirjoitti ja julkaisi vuonna 1726 tutkimuksesta teoksen: *Composition of Forces* [3]. Vuonna 1750 Daniel Bernoulli ja Leonhard Euler kehittivät yhdessä toimivan palkkiteorian, joka on yhä monien rakenneanalyysien pohjana [3],[14]. 1757 Euler johti lisäksi Eulerin nurjahdus –kaavan [3].

### 3.1.3 1800-luvulta moderniin aikaan

1800-1900-luvuilla rakennusmateriaalin tuntemus ja kehitys sekä rakenneanalyysit kehittyivät kovaa vauhtia [3]. Vuonna 1821 Claude-Louis Navier johti yleisen teorian elastisuudesta matematiikassa käytettävään muotoon ja 1826 hän erotti niin kutsutun materiaalikohtaisen elastisen kertoimen erilliseksi suureeksi jäyhyysmomentista [3],[15]. Elastisia kertoimia ovat muun muassa yleisesti käytettävät kimmokerroin, liukukerroin ja puristuskerroin [15]. Vuonna 1826 Joseph Aspdin patentoi kohtuuhintaisista raaka-aineista valmistetun Portlandsementin mahdollistaen betonirakentamisen yleistymisen taloudellisesti kannattavana [3]. Teräksen käytön rakentamisessa mahdollisti ensimmäistä kertaa Henry Bessemer 1850-luvulla hänen keksimällään Bessemer-prosessilla, jossa konvertterisäiliössä olevaan sulaan hiilipitoiseen rautaseokseen puhalletaan paineella ilmaa. Ilma polttaa ja kaasuunuttaa rautaseoksesta ylimääräisen hiilen ja epäpuhtaudet, jolloin tuloksena syntyy teräsmassaa. Bessemer-prosessi kesti noin 20-minuuttia ja se oli ensimmäinen keino tuottaa taloudellisesti teollisessa mittakaavassa terästä. Tätä ennen metallirakentamisessa oli käytetty yleisesti kanki- ja valurautaa. [3],[16].

1873 Carlo Castigliano julkaisi teoriasa rakenteen siirtymän laskemisesta rasittavan voiman osaderivaattana [3]. 1800-luvun loppupuolella venäläinen insinööri Vladimir Shukhov kehitti analyysikeinon vedetyille- ja ohuille kuorirakenteille [3]. Vahvennetut- ja raudoitettut betonirakenteet näkivät paljon kehitystä monilta osapuolilta 1840-1900-luvuilla ja 1908 ranskalainen insinööri Eugene Freyssinet suunnitteli ja rakennutti kokeellisen esijännitetyn betonisen kaarirakenteen [3]. Freyssinet jatkoi esijännitettyjen betonirakenteiden kehitystä, patentoi keksintönsä 1928 ja vuodesta 1930 alkaen suunnitteli ja rakennutti useita siltoja, joissa hyödynnettiin esijännitettyjä rakenteita [3]. Vuonna 1930 yhdysvaltalainen professori ja insinööri Hardy Cross kehitti niin kutsutun momentin jakautumismenetelmän, jolla kyetään analysoimaan staattisesti määräämättömän rakenteen voimasuureita [3],[17],[18]. Menetelmä on nähnyt laajaa käyttöä tietokoneanalyysien kehittymiseen asti [3],[18]. Noin 1900-luvun puolivälissä britannialainen tiedemies ja insinööri John Baker kehitti teräksen plastisuusteorian, joka mahdollisti turvallisen teräsrakenteiden suunnittelun [3]. 1941 venäläiskanadalainen insinööri Alexander Hrennikoff julkaisi tohtorin väitöskirjansa, jota pidetään niin kutsutun FEM-analyysin edeltäjänä ja vuonna 1942 saksalaisyhdysvaltalainen matemaatikko kehitti kyseisen analyysin matemaattisen pohjan. FEM-analyysissä tarkasteltava rakennus tai rakenne jaetaan pieniin erikseen tarkasteltaviin ja analysoitaviin osiin ja monet suunnittelusovellukset pohjautuvat tänäkin päivänä siihen. [3],[22]. Tietotekniikan ja tietokoneiden laskentatehon kehittyminen 1900-luvun loppupuoliskolta alkaen on helpottanut ja nopeuttanut paljon rakennesuunnittelijan työtehtäviä ja on vienyt ne suurilta osin sähköiseen maailmaan [3].

Tänä päivänä valtaosa laskennasta ja suunnitelmista tehdään tietokoneohjelmilla. Rakennusmateriaaleja ja -tarvikkeita, rakenneanalyysijä sekä matemaattisia teorioita kehitetään vielä tänäkin päivänä ja tästä syystä rakennetekniikkakin on yhä kehittyvä insinööritiede. [1],[2],[3].

### 3.2 BIM- ja tietomallintaminen

BIM on lyhenne englanninkielisen termistä ”Building Information Modeling” ja se tarkoittaa suomeksi rakennuksen tietomallinnusta. Se on prosessi, joka käsittää todellisen rakennelman tai paikan fyysisten ja toiminnallisten tuntomerkkien ja ominaisuuksien digitaalisen esityksen luomisen ja hallinnoinnin, ja sitä ylläpidetään monenlaisilla työkaluilla ja teknologioilla. Rakennuksen BIM- ja tietomallit ovat datakokonaisuuksia, joista saadaan tieto kyseistä rakennusta tai rakennelmaa koskevaa päätöksentekoa varten ja niitä hyödynnetään esimerkiksi suunnittelussa, rakentamisessa ja rakennetun ympäristön käytössä ja ylläpidossa. Tänä päivänä tunnettuja BIM-mallinnussovelluksia ovat muun muassa Autodeskin Revit, Graphisoftin ArchiCAD ja Trimblen Tekla Structures. Termi ”Building Information Model” ilmestyi nykyisessä konseptissaan ensimmäisen kerran lehdessä vuonna 1992, mutta se yleistyi vasta Autodeskin kirjoittaman vuonna 2002 ilmestyneen ”Building information modeling” nimeä käyttäneen kaupallisen julkaisun myötä. Vaikkakin termit BIM- ja rakennuksen tietomallinnus ovat ilmestyneet ja yleistyneet vasta 2000-luvulta lähtien, konsepti, jonka kyseiset termit käsittävät tänä päivänä, on vanhempi. Tietomallinnussovellusten esi-isinä voidaan pitää 70-80-luvuilla kehitettyjä RUCAPS, Reflex ja Sonata mallinnussovelluksia. [43.].

### 3.2.1 BIMin esi-isät

RUCAPS tai ”Riyadh University Computer Aided Production System” oli arkkitehdeille tarkoitettu 70- ja 80-luvuilla kehitetty tietokoneavusteinen suunnittelujärjestelmä ja sitä käytettiin niin kutsutuilla minitietokoneilla, jotka olivat omana aikanaan tehokkaita suuren suorituskyvyn omaavia tietokoneita. Järjestelmän kehittivät alun perin Liverpoolin yliopistosta valmistuneet tohtorit John Davison ja John Watts 70-luvun alkupuolella. 70-luvun lopulla miehet veivät työnsä GMW Architects nimiselle yritykselle ja jatkoivat järjestelmän kehittämistä työskennellessään Riadin yliopiston projektin parissa. RUCAPSia alettiin myymään 1977 alkaen GMW Computers osakeyhtiön kautta ja nimen merkitykseksi vaihdettiin: ”Really Universal Computer Aided Production System”. RUCAPSia myytiin useita kappaleita ympäri maailmaa, vaikkakin se oli aikaansa nähden kallis järjestelmä. Järjestelmänä RUCAPS koostui 38 erillisestä tietokoneohjelmasta ja se oli niin kutsuttu 2,5-ulotteinen mallinnustyökalu, jossa rakennuksen malleja kykeni työstämään ja katselemaan vain kaksiulotteisina plaani- ja leikkauskuvina. Tosin RUCAPSiin oli saatavilla erilaisia liitännäislaitteita, jotka mahdollistivat 3D-tilassa työskentelyn tai kolmiulotteisen hahmotelman ulosrenderöinnin laitteesta. [47.]. Nimen vaihdon jälkeen GMW Computers:ista T2 Solutions:iksi, yritys osti vuonna 1986 Sonatan RUCAPSin seuraajaksi [45],[47].

Sonata-sovelluksen kehitys alkoi 80-luvun alkupuoliskolla ja sen kaupallinen versio julkaistiin ensimmäistä kertaa vuonna -86. Sonatan alkuperäisen version kehitti yksinään rakennusinsinööri ja tietokonetieteiden tohtori Jonathan Ingram, joka myi sovelluksen T2 Solutions -osakeyhtiölle. Toisin kuin aikansa kaksiulotteiset suunnitteluohjelmat, Sonata oli liian raskas sovellus kevyemmille yksityiskäyttöön tarkoitetuille tietokoneille ja vaati erillisen tehokkaamman ja sille tarkoitetun työasematietokoneen. Tosin Sonatalle tarkoitetut työasemat eivät olleet kalliita. Sonatalla kykeni mallintamaan rakenneosia ja rakennuksia sekä tarkastelemaan ja arvioimaan rakennusprosessia ja sen kustannuksia. Sonataa on menestyksekkäästi käytetty useassa oman aikansa rakennus- ja suunnittelukohteessa ja se on nähnyt ajoittaista käyttöä vielä 2000-luvullakin, tehden siitä täten yhden pisimpään käyttöä nähneistä BIM-sovelluksista. [45.].

Sonatan kehittämisen ja myymisen jälkeen Ingram ryhtyi yhdessä Gerard Gartsiden kanssa kehittämään Reflex-mallinnussovellusta [45],[44]. Gartside oli myös aikaisemmin kerennyt tutustumaan Sonataan ja työskennellyt ohjelmiston parissa [44]. Reflexin alustavan kehitystyön jälkeen miehet myivät ohjelman 1996 PTC tai Parametric Technology Corporation:lle 30 miljoonalla Yhdysvaltojen dollarilla [44]. PTC yritti markkinoida Reflexiä rakennusalan suunnitteluun huonolla menestyksellä ja myi sittemmin koko ohjelmiston ja kaikki sen oikeudet Beck Construction yritykselle [43],[44]. Samoihin aikoihin PTC:llä työskennelleet ohjelmistokehittäjät Leonid Raiz ja Irwin Jungreis perustivat oman yrityksensä Charles River Software, joka myöhemmin tunnettiin nimellä Revit Technology osakeyhtiö. Miehet saivat osana heidän irtisanomissopimustansa PTC:ltä poissulkemattoman kehitysluvan Reflexin lähdekoodista ja ryhtyivät kehittämään omaa Revit-tietomallinnussovellustaan, joka on tunnettu vielä tänäkin päivänä BIM-markkinoilla. Vaikka Revit ei enää tänä päivänä sisältäisikään suoraan osia Reflexin alkuperäisestä lähdekoodista, voidaan Revittiä silti pitää Reflexin jälkeläisenä. [43],[39],[44].



### 3.3 Autodesk Revit ja Revit Structure

Autodeskin omistama sovellus Revit on tietomallinnussovellus, joka on tarkoitettu muun muassa arkkitehtien, rakenne- ja TATE-suunnittelijoiden käyttöön sekä yleisesti rakennussuunnitteluun. Revit mahdollistaa suunnittelijoita mallintamaan rakennuksen, rakenteet, niiden osakomponentit sekä TATE-järjestelmät täysin kolmiulotteisina, sekä lisäämään kommentit sekä mitta- ja viiteviivat 3D-malleihinsa. Mallintamisen jälkeen malleista on mahdollisuus ottaa mistä hyvänsä kohtaa malleja kaksiulotteisia teknisiä suunnitelmamuotoisia tulosteita ja kopioita. [39.],[40.].

#### 3.3.1 Alkuperäinen Revit ja sen ainutlaatuisuus

Ohjelmistokehittäjien Leonid Raizin ja Irwin Jungreisn yritys Charles River Software ja Revit saivat alkunsa lokakuun 31. päivänä vuonna 1997, kun yritys perustettiin. Charles River Software sai rahoitusta kahdelta investointialan yritykseltä ja tällä alkupääomalla Raiz ja Jungreis palkkasivat tiimiinsä ammattitaitoisen joukon muita ohjelmistokehittäjiä ja arkkitehtejä, sekä myöhemmin vuonna 1999 toimitusjohtajan ja muuta hallinnollista väkeä. [39.].

Alun perin Revitin tarkoituksena oli mahdollistaa arkkitehtien ja muiden rakennusalan ammattilaisten tekemä rakennuksen ja rakennusosien suunnittelu ja dokumentointi muodostamalla sen tietomalli Revitissä. Revitin kehityksen aikoihin useat muut tietomallinnusohjelmistot kuten ArchiCad ja Reflex mahdollistivat jo omalla tavallaan tietomallipohjaisen suunnittelun. Revitin ero aikansa kilpaileviin sovelluksiin oli siinä, että se mahdollisti niin kutsuttujen parametrusten osien muodostamisen ja mallintamisen visuaalisessa perhe-editorissa, eikä niitä tarvinnut luoda puhtaasti ohjelmointikielellä. Lisäksi Revitissä mallinnetut rakennusosat muodostivat suhteen ja linkittyivät muihin rakennusosiin, tarkoittaen sitä, että esimerkiksi seinän siirtäminen liikutti koko muuta mallia perässä, pitäen kokonaisuuden ehjänä. Tämä mahdollisti helpomman mallin muuttamisen ja korjaamisen jälkikäteen ja Revit olikin tunnettu monien julkaisuversioiden ajan rakennusosien, piirustusnäkyvien ja rakennusmerkintöjen välisestä molempiin suuntiin toimivasta kommunikaatiosta ja yhteenliittyvyydestä. [39.].

Vuonna 2000 Charles River Softwarin nimen muutoksen Revit Technology osakeyhtiöksi jälkeen, huhtikuun 5. päivänä Revitin ensimmäinen kokoversio 1.0 julkaistiin. Ohjelma näki kovaa kehitystä kolmen vuoden sisällä, kävi läpi useita julkaisuversioita, ja 2002 tammikuussa Revit 4.1 julkaistiin. Alun perin Revitistä myytiin vain kuukausimaksulisen sissä ja oman aikansa innovaationa Revitin lisensointi toimi täysin automaattisesti tietokoneohjelmoituna. [39.].

### 3.3.2 Autodesk Revit

Vuonna 2002 Autodesk osti Revit Technology osakeyhtiön 133 miljoonalla yhdysvaltaindollarilla ja mahdollisti samalla Revit-ohjelmiston jatkokehityksen ja parantelun. Vuodesta 2004 eteenpäin Autodesk on julkaissut useita eri versioita Revitistä. Vuonna 2012 Revitistä julkaistiin LT eli lite-versio, joka on kevyempi versio Revitin normaalista versiosta ja josta on karsittu pois joitain täysversion ominaisuuksia. Revitistä on myös aikaisemmin julkaistu erillisiä eri suunnittelualojen käyttöliittymiä, kuten Revit Architecture ja Revit Structure, mutta vuodesta 2013 lähtien eri suunnittelualojen käyttöliittymiä on liitetty yhteen yhteiseksi kokonaisuudeksi, joka käyttää yksinkertaisesti nimeä Revit. Revit Technologyn ja Revit tuotemerkin ostamisen johdosta Autocadista on tullut yksi merkittävimmistä kilpailijoista rakennusalan tietomallinnuksen markkinoilla. [39.].

### 3.4 YTV 2012 ja tietomallinnus sen mukaisesti

*YTV2012* eli *Yleiset tietomallivaatimukset 2012* on Senaatin-kiinteistöjen julkaisu, jonka tarkoituksena on ohjata rakennusalan tietomallinnusta Suomessa. Julkaisu on rahoitettu ja toteutettu useiden eri rakennusalan toimijoiden yhteistyöprojektina ja se koostuu 14 eri osasta ja 4 täydentävästä liitteestä. *YTV2012* mukaan jokaisen tietomallinnukseen osallistuvan tulisi perehtyä omaa suunnittelualaansa koskevan osan lisäksi myös *YTV:n* yleiseen *Osaan 1.* ja laadunvarmistusta käsittelevään *Osaan 6.* *YTV2012* rakennesuunnittelua käsittelevä osa on *Osa 5.* Seuraavissa kappaleissa käsitellään *YTV2012* sisältöä lähinnä rakennesuunnittelijan näkökulmasta. [50.].

#### 3.4.1 Osa 1. Yleinen osuus

*YTV 2012 Osa 1. Yleinen osuus* käsittelee tietomallinnuksen päätavoitteita, yleisiä mallitekniisiä vaatimuksia sekä mallien tekemistä ja hyödyntämistä rakennushankkeen, sekä rakennuksen elinkaaren aikana. Yleisen osan tietomalleille asettamat vaatimukset voivat osittain olla samoja kuin suunnittelualakohtaisissa osissa. Tietomalleja voidaan hyödyntää monilla eri tavoilla ja näin ollen tietomallinnuksen ja tietomallin lopulliset tavoitteet ja käyttötarkoitukset on hyvä tietää jo ennen mallinnusprosessin alkua, jotta malli voidaan tehdä käyttötarkoitusta vastaavaksi. Sama pätee myös suunnittelija- ja mallintajavalinnassa, jotta kohteelle voidaan valita sellainen tekijä, joka taitaa vaadittavanlaiset tietomallinnuksen salaisuudet ja tietomallinnussovellusten käytön. *YTV2012* kattaa sekä uudis- että korjauskohteiden tietomallinnuksen ja sitä noudatettaessa on mallinnuksessa täytettävä yleiset tietomallinnuksen vähimmäisvaatimukset. Lisäksi tapauskohtaisesti mallinnukselle voidaan asettaa lisävaatimuksia kuten jo aiemmin todettiin. [50.].

Tietomallinnuksessa käytettävien mallinnusohjelmien tulisi julkisissa kohteissa olla IFC 2x3 sertifioituja ja eri suunnittelualojen tulee varmistaa käyttämiensä ohjelmien ja tallennusmuotojen yhteensopivuus. Kaikkien suunnittelualojen tulee projektin loppuun luovuttaa alakohtaisen IFC-mallit sekä ohjelmakohtaiset natiivimallit mallinnuskohteesta tilaajalle. Suunnittelualakohtaiset mallit saavat sisältää vain mallin julkaisijan mallintamaa sisältöä, eivätkä ne saa sisältää muiden suunnittelualojen sisältöä. Mallinnettaessa on kohde yleisesti paras sijoittaa molempien vaaka-akselien positiiviselle puolelle ja lähelle 3D-tilan origoa eli nollakohtaa. Rakennusmallin koordinaatiston suhde kunnan koordinaatistoon tulee ilmoittaa ja dokumentoida. Korkeussuunnassa rakennusmalli sijoitetaan kunnan koordinaatiston mukaan. Tietomallinnettaessa mittayksikkönä käytetään millimetrejä ja rakennusosat tulee mallintaa mahdollisimman mittatarkasti niin, että se kuitenkin on käyttötarkoituksen mukaan mielekästä. Mallinnussovelluksella mallinnettaessa on käytettävä kunkin rakennusosan sille tarkoitettua työkalua. Kaikki poikkeamat tästä on dokumentoitava tietomalliselostukseen. Yleisesti ottaen tietomalli tulee mallintaa kerroksittain ja jokainen erillinen rakennus omaan tietomalliinsa. Tarvittaessa voidaan rakennus jakaa erillisiin lohkoihin projektiryhmän yhdessä sopimalla tavalla. Jokainen suunnitteluala tekee tietomalleista mallikohtaisen tietomalliselostuksen, johon dokumentoidaan mallin sisältö, käytetyt mallinnusmenetelmät sekä poikkeamat yleisistä vaatimuksista ja mallinnustavoista. Lisäksi selostuksessa kerrotaan mallin käyttötarkoitus ja sen mittatarkkuus. Selostusta pidetään ajan tasalla ja siitä tehdään erilliset versiot eri käyttötarkoituksia varten. Mallinnushankkeeseen tulee nimetä tietomallikoordinaattori, joka muun muassa ylläpitää eri suunnittelualojen yhteistä yhdistelmämallia ja raportoi havaitsemistaan virheistä pääsuunnittelijalle ja muille suunnittelualoille. suunnittelukoordinaattorin kaikki tehtävät on kerrottu *Osassa 11. Tietomallipohjaisen projektin johtaminen.* [50.].

Tietomallinnusprojektin alkuvaiheessa on mallinnettavasta rakennuksesta tehtävä niin kutsuttu vaatimusmalli, joka on vähintään taulukkomuotoinen dokumentti, josta selviää tilaajan rakennukselle ja sen tiloille asettamat vaatimukset, tarpeet ja tavoitteet kuten esimerkiksi vaaditut huonepinta-alat, rakennuksen energiankulutus ja jäähdytystarve. Vaatimusmallia ylläpidetään ja päivitetään koko rakennusprojektin ajan. Ehdotussuunnitteluvaiheessa rakennuspaikasta tehdään rakennuspaikkamalli ja korjausrakennuskohteissa tämän lisäksi inventointimalli, johon mallinnetaan olemassa olevat rakennukset. Lisäksi arkkitehti tekee yhden tai useamman tilamallin rakennettavasta kohteesta, jonka pohjalta rakennesuunnittelija laatii rakennusosamallin ja tyyppirakenteet. Tässä projektin vaiheessa arkkitehdin tilamallien pohjalta tehdään hankkeen kustannusarvio, jota käsitellään *Osassa 7. Määrälaskenta*. Energia-analyysyjä sekä elinkaarikustannuksia voidaan myös ruveta tekemään tässä vaiheessa rakennushanketta, kun ne kuitenkin kuuluvat yhdeksi osaksi tietomallipohjaista rakennusprosessia. Edellisistä löytyy lisää *Osasta 9*. Tietomallipohjaisen rakennusprosessin kulku menee muilta osin pitkälti suunnittelukohtaisten *YTV2012* osien ja yleisen rakennusprosessin kulun mukaisesti. Suunnittelualakohtaiset tehtävät ovat pitkälti samoja kuin kaksiulotteisessa rakennussuunnittelussa. [50.].

### 3.4.2 Osa 5. Rakennesuunnittelu

*YTV2012 osa 5. Rakennesuunnittelu* käsittelee rakennesuunnittelijan mallintaman tietomallin eli rakennemallin mallintamista ja sen vaadittua sisältöä. Rakennemalliin on mallinnettava kaikki kantavat rakenteet sekä ei-kantavat betonirakenteet. Lisäksi malliin tulee sisällyttää sellaiset rakennusosat ja –materiaalit, joiden koko ja sijainti vaikuttavat muihin suunnittelualoihin. Rakenteet on mallinnettava niin, että ne säilyttävät nimensä, tyyppinsä ja muotonsa tietoa siirrettäessä. Rakennuskohteen rakennetyyppien teko kuuluu rakennesuunnittelijalle, vaikka niitä ei sisällytetäisikään rakennemalliin. BIM-mallinnusohjelmat antavat mallinnetuille rakennusosille yksilöllisen niin kutsutun GUID-tunnistetiedon. Mallia jatko-käsiteltäessä, on rakenneosia pyrittävä muokkaamaan jo olemassa olevaa osaa muokkaamalla, sen sijaan että alkuperäinen osa poistettaisiin ja tilalle tehtäisiin uusi. Tämä mahdollistaa muiden hankkeessa mukanaolevia tunnistamaan rakenneosat GUID-tietojen pohjalta. Jos mallin rakenneosia joudutaan poistamaan ja uudelleenmallintamaan, on alkuperäisen osan GUID-tiedot pyrittävä siirtämään alkuperäiseltä osalta sen korvanneelle osalle. Mallin rakennusosat on myös nimettävä ja numeroitava yleisten käytäntöjen mukaan ja osien nimityksistä kootun listan on oltava projektiin osallistuvien henkilöiden käytettävissä. Rakennemallissa olevien rakennusosien valmiustaso on esitettävä mallissa tai tietomalliselostuksessa. [50.].

Korjausrakennuskohteissa tehtävän rakennemallin laajuus on projektikohtainen. Jos korjauskohteen lähtötietomalli ei ole riittävän tarkka tai se on puutteellinen, voidaan sitä täydentää rakennesuunnittelun osalta. Rakennesuunnittelijan lähtötietomallin teossa noudatetaan rakennemallin yleisiä ohjeita ja lisää sen teosta kerrotaan Osassa 2. Lähtötilanteen mallinnus. Tietomalliselostukseen tulee kirjata lähtötilanteen kartoitusmenetelmät ja mallin mittatarkkuus. Korjauskohteissa uudet rakenteet voidaan mallintaa joko rakennemalliin tai rakennesuunnittelijan lähtötietomalliin. Vanhat rakenteet mallinnetaan, jos rakennemuutokset edellyttävät sen. Muutokset rakenteisiin kirjataan tietomalliselostukseen. [50.].

Rakennesuunnittelun vaatimusmalli voi olla taulukko, piirustus tai tekstidokumentti, tai jotain näiden väliltä, ja siinä tulisi esittää rakennushankkeen rakennesuunnittelulliset lähtökohdat ja vaatimukset. Yleissuunnitteluvaiheessa arkkitehdin ehdotussuunnitelmasta tehdään toteutuskelpoinen rakennemalli. Mallista on saatava tulostettua vaiheen vaatimat piirustukset ja sitä on voitava hyödyntää määrä- ja kustannuslaskennassa, alustavassa aikataulutuksessa, suunnittelualojen yhteensovituksessa ja tarvittaessa lujuuslaskennassa. Toteutussuunnitteluvaiheessa rakennesuunnittelija mallintaa elementti- ja kokoonpanomallit, jollei projektissa ole erillistä elementti tai konepajasuunnittelijaa. Muussa tapauksessa rakennesuunnittelija jatkaa rakennemallinsa kehittämistä. Toteutussuunnitteluvaiheessa mallia on edellisen vaiheen vaatimusten lisäksi kyettävä hyödyntämään työturvallisuuden ja rakennusalueen suunnittelussa sekä asennus- ja työjärjestelyiden suunnittelussa. Lisäksi mallista tulee saada tulostettua paikallavalurakenteiden mitta- ja tarvittaessa raudoituskuvat. Rakennusaikaiset muutokset päivitetään rakennemalliin rakennusprojektin loppuksi. Mallikohtaiset tarkat vaatimukset suunnitteluvaiheittain on esitetty *Osan 5. liitteessä 1.* [50.].

### 3.4.3 Osa 6. Laadunvarmistus

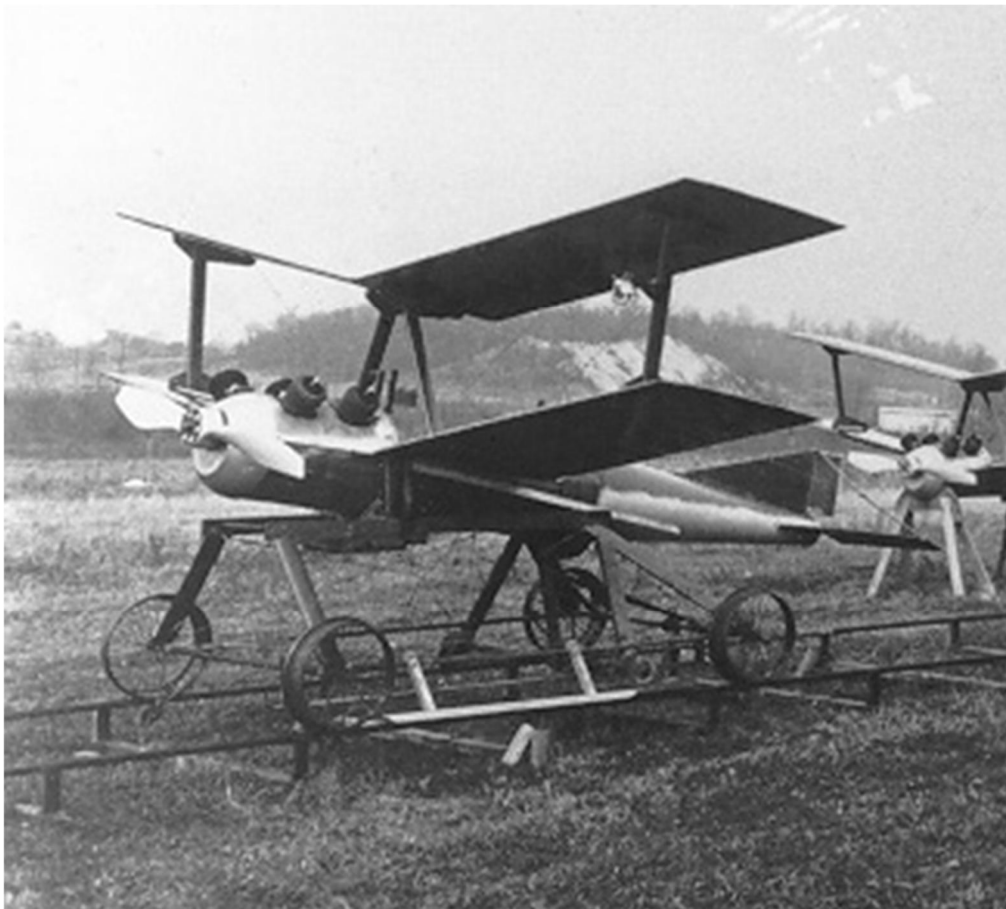
*YTV2012 Osa 6. Laadunvarmistus* käsittelee tietomallipohjaisten suunnitelmien ja mallien laadun varmistusta ja parantamista, tietomallin laadunvarmistusmenetelmiä sekä niissä esiintyviä tyypillisiä ongelmia. Suunnittelijan näkökulmasta on tärkeää tiedostaa tietomallinnus osaksi suunnitteluprosessia. Näin ollen suunnittelija on myös itse vastuussa suunnitelmiansa ja malliensa laadusta. Suunnitelmien avoimuus ja ristiintarkastus eri suunnittelualojen ja tilaajan kesken auttaa mahdollisten ongelmakohtien havainnointia ja parantaa lopputulosta. Jokaisen suunnittelijan on syytä tehdä säännöllistä laadunvarmistusta omille suunnitelmilleen. Suunnittelijaryhmässä tapahtuva laadunvarmistus on luonteeltaan mallien yhteen sovittamista ja niissä havaittujen ongelmien raportoimista eteenpäin. Tilaajalähtöisessä rakennusprosessissa hyvä laatu vaikuttaa asiakastyytyväisyyteen ja tilaaja onkin syytä ottaa mukaan laadunvarmistusprosessiin. Tietomallinnusprojektissa tulee malleista tarkastaa lähtötietomalli, tilamalli, arkkitehdin ja rakennesuunnittelijoiden osamallit, talotekniikan järjestelmämalli sekä yhdistetty malli. [50.]



### 3.5 Drone-lähtöinen 3D-mallinnus

#### 3.5.1 Dronejen kehitys ja käyttö

Drone tai drooni on yleiskielen termi, jolla tarkoitetaan miehittämätöntä kauko-ohjattavaa ilma-alusta. Droneja on jo pitkään käytetty sotilaallisiin tarkoituksiin ja jo ensimmäiset dronet kehitettiin aseiksi. [23.],[24.]. Ensimmäinen radio-ohjattava drone kehitettiin ensimmäisen maailmansodan aikoihin 1910-luvulla Yhdysvaltojen armeijassa. Drone oli tarkoitettu lentäväksi pommiksi ja sen nimi oli Kettering Bug (Kts. Kuva 1). Kettering bug ei tosin koskaan nähnyt taistelukäyttöä. [23.],[24.],[25.].



**Kuva 1.** Kettering Bug, Ensimmäinen radio-ohjattava drone.  
[Lähde: [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/K/Kettering\\_Bug.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/K/Kettering_Bug.html) Encyclopedia of Astrobiology, Astronomy, and Space Flight: Kettering Bug]

Ensimmäinen aktiivista käyttöä nähnyt radio-ohjattava drone oli Isossa-Britanniassa kehitetty ja 1930-luvulla käyttöönotettu De Havilland DH82B Queen Bee eli mehiläiskuningatar [23],[24],[26]. Queen Bee oli De Havilland DH82 kaksipaikkaisen koulutuskoneeksi tarkoitetun kaksitasolentokoneen runkoon rakennettu drone ja sitä käytettiin ilmatorjunnan harjoitusmaalina. Sanan drone arvellaan saaneen alkunsa Queen Been konnotaatioista. [23],[24],[26],[27].

Sotilaskäytössä droneja hyödynnetään nykyään muun muassa tiedustelu- ja tulenjohtotehtäviin, sekä asealustoina. Siviilimarkkinoille dronet rupesivat leviämään aktiivisesti 2000-luvun alusta ja niitä hyödynnetään nykyään ammattikäytössä esimerkiksi rajanvalvontatehtävissä, pelastusoperaatioissa, lähetysten toimituksessa ja maanviljelyssä. [23],[24].

### 3.5.2 Dronetyypeistä ja niiden toiminnallisuudesta

Droneja on sekä lennokki että multikopteri malleja. Lennokit lentävät perinteisen lentokoneen tavoin, niissä on kiinteät siivet ja niiden on pysyttävä liikkeessä pysyäkseen ilmassa. Lennokkimalliset dronet voivat vaatia kiitoradan nousulle ja laskeutumiselle, tai erillisen laukaisualustan. Osassa niistä on myös järjestelmiä, jotka voivat mahdollistaa pystysuoran nousun ja laskeutumisen. Multikopterimalliset dronet toimivat helikopterin tapaan. Niiden roottorien lukumäärä vaihtelee yleensä 2-8 välillä ja ne pystyvät pysymään paikallaan leijuen ilmassa. Toisin kuin perinteisissä kaksiroottorisissa helikoptereissa, multikoptereiden roottorin lapojen kulma on kiinteä eikä sitä pystytä säätelemään ja näin ollen multikopterin ohjaus tapahtuukin roottorien pyörimisnopeutta säätelemällä. Roottorien lukumäärän kasvu vaikuttaa positiivisesti dronen kantokykyyn ja varmistaa sen pysymisen ilmassa siinä tapauksessa, että johonkin roottoriin tulee lennon aikana vika. Tosin roottorien lukumäärän kasvaessa myös dronen akunkesto aika lyhenee. Multikopterit ovat epävakaita ilman erillistä tietokonepohjaista lennonvakautusjärjestelmää. [23.],[24.]. Multikopterit voidaan nimetä erikseen niiden roottorien lukumäärän mukaan seuraavanlaisesti:

- 2 kpl roottoreita = bikooperi
- 3 kpl roottoreita = trikooperi
- 4 kpl roottoreita = neli- tai quadkooperi,
- 6 kpl roottoreita = heksakooperi
- 8 kpl roottoreita = oktokooperi.

Yleisesti droneja ohjataan radiosignaaleiden kautta maasta käsin erilaisia ohjauslaitteita käyttäen. Droneihin on saatavilla, niin kiinteästi droneen asennettuina kuin irrotettavinakin, monenlaisia kuvausjärjestelmiä kuten tavanomaisia näkyvän valon kameroita, lämpökameroita ja laserpohjaisia mallinnusjärjestelmiä. [23.],[24.].

### 3.5.3 Fotogrammetria

Fotogrammetrialla tarkoitetaan etäisyyksien mittaamista valokuvista matriisilaskennan keinoja käyttäen. Sana fotogrammetria on johdettu kreikankielisistä sanoista "fos", "gramma" ja "metrein". "Fos" tarkoittaa valoa, "gramma" piirrosta tai viivaa ja "metrein" mittaamista. Fotogrammetrian kehitys on alkanut suurin piirtein samoihin aikoihin valokuvauksen keksimisen kanssa ja sitä on yleisimmin hyödynnetty karttojen tekoon ilmasta kuvattujen valokuvien pohjalta. Fotogrammetria on yksi niin kutsutuista kaukokartoitusmenetelmistä, joka tarkoittaa sitä, että sillä kyetään analysoimaan ja tarkastelemaan kohdetta ilman fyysistä kanssakäymistä tarkasteltavan kohteen kanssa. Niin kuin monet muutkin keksinnöt, myös fotogrammetria on löytänyt tiensä sotilaallisiin käyttötarkoituksiin. Fotogrammetriaa on hyödynnetty paljon muun muassa sotilaallisissa tiedustelutehtävissä jo ensimmäisen maailmansodan aikana ja ensimmäisiä kuvaus- ja tiedustelulentoja kokeiltiin puluilla, joihin oli valjastettu kamera. [28.],[29.],[30.],[31.].



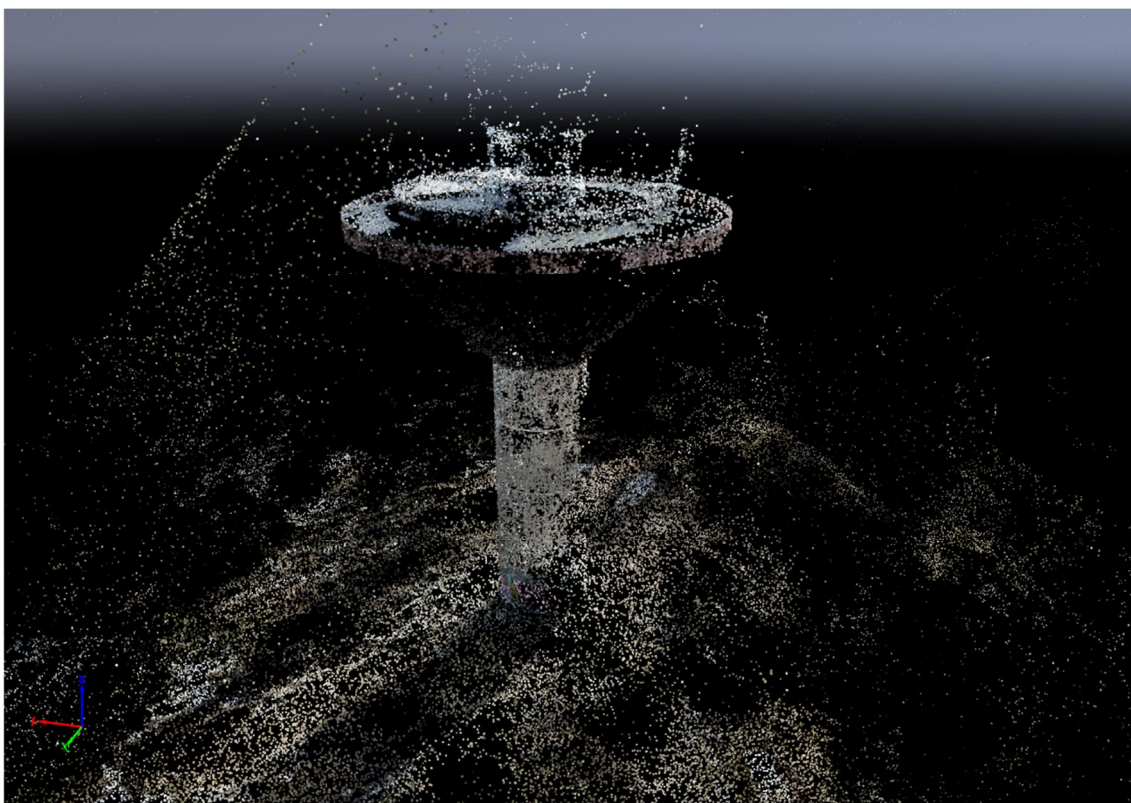
**Kuva 2.** Kuvissa 1900-luvun alkupuolen valokuvauspulu.

[Lähde: <https://www.bild.bundesarchiv.de/dba/de/search/?query=Bild+183-R01996>]

Ensimmäisen maailmansodan aikana ja sen jälkeen kovaa vauhtia kehittynyt lentoteknologia helpotti ilmakuvausta ja mahdollisti parempien kameroiden käytön fotogrammetrian tarkoituksiin. Kameroiden ja valokuvauksen kehittyessä myös fotogrammetriasta tuli nopeasti tarkempien kuvien myötä hyödyllinen apukeino sotilaalliseen tiedusteluun. Parempilaatuisista valokuvista pystyttiin paremmin mittaamaan ja tutkimaan kohdealueita. Sota-aikoina tapahtuneen kehitysten ja onnistuneen käyttöönoton kautta fotogrammetriasta on tullut hyvin monipuolinen menetelmä sekä hyödylliseksi havaittu keino kartoitukseen ja mallintamiseen. [28.],[29.],[30.],[31.]. Tietotekniikan ja tietokoneiden kehityksen myötä fotogrammetrian matriisilaskenta on voitu viedä sähköiseen maailmaan käsinlaskennan sijaan. Nykypäivän suhteellisen halvan ja helposti saatavilla olevan tietoteknisen prosessointitehon avulla fotogrammetrisessä mallinnuksessa käytettävät kuvasarjat voivat olla erittäin suuria ja niitä kyetään käsittelemään ja prosessoimaan nopeammin kuin ennen. Hyvin suuret kuvasarjat mahdollistavat tuotettujen mallien suuren mittatarkkuuden todelliseen kohteeseen nähden. Tehokkaat tietokoneet ovat myös mahdollistaneet fotogrammetrian käytön 3D-mallintamiseen. Käyttötarkoituksiin soveltuvilla tietokoneohjelmistoilla voidaan helposti tuottaa fotogrammetrian keinoin pistepilviä ja 3D-malleja niihin syötetystä valokuvadatasta. [28.],[29.],[30.].

### 3.5.4 Pistepilvisovellukset

Pistepilvellä tarkoitetaan 3D-avaruudessa sijaitsevien useiden pisteiden pilveä eli sarjaa tai joukkoa [32]. Kaikilla pilven pisteillä on oma sijaintinsa 3D-avaruuden origoon eli nollakohtaan nähden [32],[36]. Käyttötarkoitukseen soveltuvilla 3D- ja pistepilvisovelluksilla voidaan pistepilveä visuaalisesti tarkastella ja liikutella virtuaalisessa 3D-tilassa [32]. Pistepilvidataa voidaan tuottaa laserkeilaamalla tai valokuvakokoelmista fotogrammetriaohjelmiston avulla [33],[32],[28],[29],[30]. Pistepilvien tarkkuus vaihtelee riippuen kuvauskalustosta, kuvauksen tarkkuudesta ja mahdollisesti käytettyjen valokuvien määrästä [32],[35],[36],[37],[38]. Tarkalla kalustolla ja oikeilla kuvaus- ja mallinnusmenetelmillä kuvattavasta kohteesta voidaan mallintaa vain muutamien millien heitolla kuvauskohdetta vastaava suhteellisen mittatarkka malli [32],[35],[36],[37],[38],[33].



**Kuva 3.** Kuvankaappaus Pix4D sovelluksesta. Kuvassa Kaivoksenan vesitornista dronella kerätyistä valokuvista pistepilvi ohjelmalla tuotettu pistepilvi

Pistepilvien luonti kuvadatasta pistepilvisovelluksien perustuu fotogrammetriaan [32],[35],[36]. Fotogrammetriasovellukset käsittelevät useita kuvia yhtäaikaista ja yhdistelevät niitä tietokoneprosessoinnin avulla. Nykyisillä tehokkailla tietokoneilla pystytään käsittelemään ja yhdistämään suuria kuvaryhmiä ja tuottamaan niistä karttoja tai 3D pistepilviä. Pistepilvisovelluksia on pääasiassa kahdenlaisia: sellaisia, jotka käyttävät tietokoneen omaa prosessointi- ja grafiikansuoritusvoimaa pistepilven ja 3D-mallin renderöintiin, ja sellaisia, jotka lähettävät valokuvamateriaalin ulkoiselle palvelimelle prosessoitavaksi. Tietokoneen omaa suorituskykyä käyttävien sovellusten prosessointinopeus riippuu prosessointikoneen komponenttien tehosta. Ulkoisella palvelimella tapahtuvan prosessoinnin kestoon vaikuttaa taas muiden käyttäjien samanaikainen palvelunkäyttö sekä prosessointipalvelimen suoritusvoima, eikä rationaalisessa ajassa tapahtuvaa prosessointinopeutta voi tällaisissa palveluissa aina taata. Dronekuvaukseen yhteensopivia pistepilviohjelmia ovat muun muassa Pix4Dmapper, DroneDeploy ja Autodeskin ReCap Photo. Näistä esimerkiksi Pix4Dmapper käyttää prosessointiin tietokoneen omaa suorituskykyä ja ReCap Photo taas ulkoista palvelinta. [35],[36].

## 4 Tutkimus mallinnusprosessista ja Revitin soveltuvuuksista.

### 4.1 Koulurakennuksen IV-konehuoneen ja vesikattokaistaleen tietomallinnus.

Opinnäytetyössä suoritettiin Granlundin korjausrakennuskohteena olleen koulurakennuksen vesikattokaistan, sen päällä sijaitsevan IV-konehuoneen ja katon alapuolisten kantavien seinä-, palkki- ja pilarirakenteiden tietomallinnus Revit-sovelluksella. Tarkoituksena oli mallintaa rakennuksen korjaus- ja muutosalueelta lähtötietomalli opinnäytetyön mallinnustutkimukseen liittyen ja arvioida samalla ensikädessä Revitillä mallintamista. Mallia oli myös tarkoitus hyödyntää sitten korjausrakennesuunnittelussa mahdollisuuksien mukaan.

Kyseessä olleessa kohteessa uusittiin vesikatto ja räystäsrakenteita, laajennettiin IV-konehuonetta uusien TATE-järjestelmien vaatimassa mittakaavassa sekä tehtiin uusia läpivientejä olemassa oleviin rakenteisiin. Lisäksi olemassa oleville rakenteille tehtiin kantavuustarkasteluja rakennemuutoksista, uusista läpivienneistä ja raskaammasta TATE-varustelusta johtuen. Projektissa arvioitiin myös olemassa olevien rakenteiden mahdollista lisätuennan tarvetta.

Korjauskohteesta ei ollut olemassa olevaa tietomallia ja vanha tilanne mallinnettiin Revittiin vanhojen rakennepiirustusten sekä paikalta mitattujen lähtötietojen pohjalta. Olemassa olevissa rakenteissa oli kohtuullisesti aukkoja ja läpivientejä, joita ei ollut merkitty alkuperäisissä rakennesuunnitelmissa. Kyseiset reiät olivat todennäköisesti jälkikäteen tehtyjä.

Mallinnus aloitettiin määrittelemällä Revittiin kerroskorkeudet ja moduuliviivat vanhojen rakennepiirustusten perusteella. Tämän jälkeen mallinnettiin kohteen rakenteet Revitin rakennetyökaluilla korjaus- ja muutosalueelta. Rakennetyypit ja rakenteet, joita Revitin rakennekirjastosta ei löytynyt valmiiksi, lisättiin manuaalisesti ohjelman sisäänrakennetuilla työkaluilla. Kohde mallinnettiin millimetrin mittakaavassa 10 millimetrin tarkkuudella.



Mallista määritetyt piirustusprojektiot tai –pohjat vietiin lopuksi AutoCadin käyttämään DWG-formaattiin ja niitä hyödynnettiin usean rakennesuunnittelijan taholta lopullisten korjausrakennesuunnitelmien tekoon. Lisäksi mallia käytettiin korjaus- ja muutosalueen visuaaliseen havainnointiin.

#### 4.2 Pistepilviohjelmistolla luodun mallin vienti Revit-sovellukseen

Opinnäytetyössä selvitettiin, miten dronekuvaukseen tarkoitetulla pistepilvisovelluksella luotu 3D-malli viedään Revit-sovellukseen. Granlundin dronekalustoa oli ennen tätä opinnäytetyötä testattu todellisten rakennusten kuvauksissa ja 3D-Mallinnamisessa pistepilvisovelluksia apuna käyttäen. Lisäksi Granlund oli aikaisemmin kartoittanut dronekalustoa, jolla pääsisi kyseisessä mallinnuksessa lähelle todellisen maailman mittatarkkuutta.

Tämän opinnäytetyön yhteydessä oli tarkoitus selvittää, kuinka pistepilviohjelmistojen muodostamien 3D-mallien siirto Revit-tietomallinnussovellukseen voidaan käytännössä suorittaa, jotta niitä voitaisiin hyödyntää lähtötietomallien luomiseen sekä lähtötilanteen kartoitukseen. Työssä käytettiin DJI-MAVIC tyyppisellä dronella kerätystä valokuvadatasta Pix4D-pistepilvisovelluksella renderöityjä malleja. Mallit, jota työssä käytettiin, oli aiemmin todettu useammanlaisia sovelluksia käyttäen mittatarkkuudeltaan suurin piirtein todellista tilannetta vastaaviksi.

Työn aikana mallien vientiä Revittiin testattiin ja pistepilvisovelluksen mallit päädyttiin muuntamaan AutoDeskin 3ds Max 3D-mallinnussovelluksella DWG-formaattiin, jonka jälkeen ne vietiin Revittiin. Toimenpiteestä koottiin ohje, joka on sisällytetty Liitteeseen 1.

#### 4.3 Revit-mallin vienti FEM-Design laskentasovellukseen.

Opinnäytetyön tausta- ja kirjallisuustutkimuksessa selvisi, että Revit-sovelluksella tehtyjä tietomalleja on mahdollista siirtää FEM-Design laskenta- ja mitoitussovellukseen käyttämällä StruSoftin StruXML-lisäosaa Revitissä. Granlundin korjausrakennesuunnittelun ryhmä käyttää FEM-Design sovellusta rakenteiden lujuuslaskennassa, joten osana Revitin soveltuvuuden arviointia opinnäytetyöhön päätettiin sisällyttää selvitys siitä, miten Revit-mallien vienti kyseiseen ohjelmaan käytännössä onnistuu. Työssä asennettiin StruXML-liitäntäinen Revittiin ja mallin siirtoprosessia testattiin ja arvioitiin, ja sen käytännön suorituksesta on koottu ohje Liitteeseen 1.

## 5 Tutkimustulokset

### 5.1 Kirjallisuus- ja taustatutkimus

Luotettavaa ja vapaasti saatavilla olevaa informaatiota opinnäytetyön teoriaperustasta ja sen historiasta, jota kirjallisuustutkimuksessa käsiteltiin, on aihealueesta riippuen internetlähteistä saatavilla vaihtelevissa määrin ja osittain hyvin niukalti. Maksullista ja kopiosuojattua kirjallista materiaalia opinnäytetyön taustatiedoista on myös jonkin verran saatavilla. Kuitenkin itse varsinaisesta Revit-sovelluksen käytöstä ja sen soveltuvuudesta eri käyttötarkoituksiin on saatavilla runsaasti informaatiota ja opetusaineistoa. Kirjallisuus- ja taustatutkimuksen mukaan Revit on rakennusalan suunnitteluun tarkoitettu tietomallinnussovellus ja se soveltuu täysin korjausrakennesuunnittelun BIM-mallinnus tarpeisiin. Revitistä saa tulostettua kaikki tarvittava tekniset piirustukset. Lisäksi Revittiin on saatavilla monipuolisesti erilaisia lisäliitäntäisiä niin AutoDeskiltä kuin muiltakin ohjelmistovalmistajilta. Kirjallisuus- ja taustatietotutkimuksen pohjalta selvisi myös mahdollisuus viedä Revitin tietomalleja FEM-Design laskentasovellukseen. Granlundin teettämän hintavertailun mukaan Revit on myös kilpaileviin rakennesuunnitteluun tarkoitettuihin tietomallinnussovelluksiin verrattuna edullisimmasta päästä.

## 5.2 Mallinnusprosessi

Revitillä tehdyssä mallinnustutkimuksessa havaittiin, että sen käyttöliittymä ei ole täysin yksiselitteinen uusille käyttäjille ja voi tuottaa haasteita ohjelman harjoittelun ja käyttöönoton kanssa. Revitin perusversion käyttöliittymästä puuttui paljon rakennetyyppejä ja materiaaleja, jotka vaativat niiden manuaalisen lisäämisen. Lisäksi osa ohjelman käyttämistä piirustusmerkinnöistä olivat sellaisia, joita ei Suomessa yleisesti käytetä teknisissä piirustuksissa. Revitin sisäisellä kattotyökalulla ei kyetty suoraan mallintamaan tasakattorakenteiden kallistussorakerrosta rakennekerrosten väliin taikka kattokallistuksia. Myös aukkojen mallintaminen Revitissä vaati perehtymistä Revitin niin kutsuttuun perhe-editoriin. Ohjelmalla kykenee mallintamaan sekä puu-, teräs-, että betonikohteita ja siihen on mahdollista lisätä uusia rakennusmateriaaleja. Revit mahdollistaa myös betoniterästen mallinnuksen sovelluksessa. Revitistä on mahdollista tulostaa suunnitelmia ja suunnitelmapohjia DWG-formaattiin ja tästä on koottu lyhyt ohje Liitteeseen 1. Opinnäytetyössä tehdyn tietomallinnuksen koettiin onnistuneen ja sillä päästiin haluttuihin lopputuloksiin.

### 5.3 Pistepilvisovelluksesta Revittiin

Pistepilvimallien viemisessä Revittiin havaittiin, että haluttuun lopputulokseen voidaan päästä useammalla menettelyllä. Pix4D-pistepilvisovelluksen luomat mallit eivät DXF-tiedostomuotoa lukuun ottamatta olleet Revitin tunnistamia formaatteja. Revit taas pääasiassa kykenee avaamaan ja käyttämään vain omaa tallennusformaattiaan sekä AutoCadin DWG- tai DXF-formaattia olevia tiedostoja. Kaikissa pistepilviohjelmistolla luoduissa DXF-tiedostomuodon malleissa oli kuitenkin AutoCadilla tarkasteltuna selviä vääristymiä eikä niitä kyetty siirtämään Revittiin. Työssä päädyttiin kokeilemaan FBX- ja OBJ-tiedostomuotoisten mallien siirtoa Revittiin. Taustatutkimuksen pohjalta selvisi, että Revittiin on saatavilla lisäosia, jotka mahdollistavat Revitin perusversion tunnistamattomien tiedostomuotojen tuonnin suoraan Revittiin. Näistä liitännäisistä osa on kuitenkin maksullisia. Työssä päädyttiin viemään pistepilvisovelluksesta saatuja FBX- ja OBJ-malleja lopulta AutoDeskin 3ds Max 3D-mallinnussovellukseen, johon Granlundilla oli olemassa oleva lisenssi, ja muuntamaan ne tällä AutoCadin DWG-muotoon. Tämä mahdollisti mallien viennin Revittiin. 3D-mallien konvertointi voi vioittaa malleja ja muuttaa niiden mittakaavaa. Raskaiden mallien viennissä Revittiin kevyen suoritustehon omaavilla tietokoneilla havaittiin Revitin kaatuilua. Selvityksessä pistepilvisovelluksen 3D-mallin viemisestä Revittiin päädyttiin toivottuun lopputulokseen ja tavoitteet saavutettiin.

#### 5.4 Revitistä FEM-Design laskentasovellukseen

Revit-mallien viennissä FEM-Design laskentasovellukseen havaittiin, että vietäville rakenteille on Revitin puolella määriteltävä niin kutsuttu ”*structural material*”-materiaalityyppi, jotta ne on mahdollista viedä laskentasovelluksen puolelle. Muilta osin mallien vienti ohjelmien välillä oli yksinkertaista ja nopeaa. Selvityksessä Revit-mallin viennistä FEM-Design laskentaohjelmaan saavutettiin haluttu lopputulos.

## 6 Johtopäätökset

Revit on kilpaileviin tietomallinnussovelluksiin nähden edullinen ja perinteiseen rakennesuunnitteluun soveltuva tietomallinnussovellus. Revittiä voidaan käyttää sekä puu-, teräs- että betonirakenteiden suunnitteluun ja betoniterästen mallintamisessa ja suunnittelussa. Revitissä tehdyistä tietomalleista saa tulostettua kaikki tavanomaiset korjausrakentamisen rakennepiirustukset. Piirustuksia ja piirustus pohjia on myös mahdollista tulostaa suoraan AutoCadin DWG-tiedostomuotoon siinä jatkotyöstettäväksi. Revittiin on saatavilla moniin eri käyttötarkoituksiin soveltuvia liitännäisiä niin AutoDeskiltä kuin muiltakin ohjelmistovalmistajilta ja ohjelmaa voidaan hyödyntää yhdessä esimerkiksi drone-lähtöisen 3D-mallinnuksen ja rakenteiden lujuuslaskennan kanssa. Revittiin on mahdollista tuoda pistepilvisovelluksilla luotuja 3D-malleja lähtötiedoiksi ja Revitillä tehtyjä tietomalleja on mahdollista viedä muihin laskentasovelluksiin lujuuslaskentaa varten.

Tietomallinnuksesta ohjelmalla saa suurimman hyödyn sellaisissa korjauskohteissa, joiden mallia voidaan käyttää muuhunkin kuin rakennepiirustusten tekoon. Lisäksi tietomallinnus palvelee kohteissa, joista tarvittavien rakennepiirustusten määrää ei tiedetä ja joiden projektioiden kohtaa rakennuksesta ei kyetä suunnittelun alkaessa varmistamaan. Tietomallista on nopea ottaa uusia piirustuksia rakennuksesta missä tahansa rakennushankkeen vaiheessa. Riippuen suunnittelijan tietomallinnustaidoista voi Revit-mallin pohjalta tehtyjen piirustus pohjien viimeistely olla miellyttävämpää AutoCadissa ja tämä on myös täysin mahdollista. Revit voi tuntua osalle käyttäjistä aluksi monimutkaiselta käyttää, mutta sen käyttösovellukset ovat todella monipuoliset.

## 7 Yhteenveto

Tämä opinnäytetyö tehtiin Granlund Oy:lle ja sen tavoitteena oli arvioida Revitin soveltuvuutta yrityksen korjausrakennusosaston rakennesuunnitteluryhmän tietomallinnustarpeisiin. Rakennusten tietomallinnus on yleistynyt 2000-luvun alusta lähtien maailmalla ja myös Suomessa ja sitä voidaan hyödyntää monenlaisiin käyttötarkoituksiin. Opinnäytetyössä arvioitiin Revitin soveltuvuutta tausta- ja kirjallisuustutkimuksen pohjalta sekä käytännön tietomallinnustyön pohjalta. Lisäksi Revittiä testattiin Granlundia kiinnostaneissa lisäsovellutuksissa.

Opinnäytetyössä mallinnettiin onnistuneesti toimiva tietomalli eräästä Granlundin korjausrakennuskohteesta, selvitettiin kuinka dronella kerätyistä valokuvista pistepilvisovelluksella luotuja 3D-malleja saadaan vietyä Revittiin ja kuinka Revitillä tehtyjä tietomalleja saadaan vietyä FEM-Design laskentasovellukseen lujuuslaskentaa varten. Ohjeet selvityksien kohteena olleista prosesseista on koottu Liitteeseen 1.

Kirjallisuus- ja taustatutkimuksen sekä käytännön mallinnustyön perusteella Revit soveltuu tietomallinnukseen rakennesuunnittelussa, joskin sovelluksen käytön opettelu ja sen käyttöliittymään tutustuminen voi viedä aikansa.

Työssä todettiin, että Revittiin on mahdollista tuoda Pix4D-pistepilvisovelluksilla renderöityjä 3D-malleja korjausrakennuskohteen lähtötilanteen kartoittamisen avuksi. Tiedostomuodot, joissa pistepilviodielmien 3D-mallit voidaan tallentaa, vaihtelevat pistepilvisovelluksittain ja mallien tuonti voi vaatia erillistä liitännäistä Revittiin, jotta ohjelma tunnistaa kyseiset tiedostot. Pistepilvisovelluksista ulos saatavien 3D-mallien tiedostomuodot voidaan myös konvertoida manuaalisesti Revitin ymmärtämään muotoon sovelluksella, joka tunnistaa sekä pistepilvisovelluksen ulospanoformaatteja että Revitin käyttämiä tiedostomuotoja.

Revitillä tehtyjen mallien viennin FEM Design laskentasovellukseen käyttämällä StruSoftin StruXML-liitännäistä todettiin sujuvan helposti ja nopeasti mahdollistaen näin ollen tehokkaamman työskentelyn ja Revit-mallin hyödyntämisen myös lujuuslaskennassa.

Kaiken kaikkiaan voidaan todeta Revitin olevan perinteiseen korjausrakennesuunnitteluun soveltuva ja kilpailukykyinen tietomallinnustyökalu, jota voidaan soveltaa monenlaisissa työtehtävissä ja johon on saatavilla paljon sen jo olemassa olevia ominaisuuksia kehittäviä lisäliitännäisiä.

## 8 Pohdinta

Opinnäytetyön kirjallisuus- ja taustatietotutkimus pohjautuu pitkälti avoimiin internetlähteisiin eikä näiden luotettavuutta voi aina taata. Osassa opinnäytetyön teoria-aiheiden historiaa käsittelevissä lähteissä havaitsin selvää elämistä jo opinnäytetyöprosessin aikana, joka myös osaltaan heikentää kyseisten lähteiden luotettavuutta. Tosin pyrin työn aikana myös varmistamaan monet taustatiedoksi kerätyt seikat useammasta lähteestä. Opinnäytetyön aihealueiden taustoja ja historiaa käsittelevää kappaletta kannattaakin pitää suuntaa antavana. Jo tieteen ja tieteellisen tutkimuksen luonteesta johtuen, ei edes luotettavimmalta pohjalta saatuja tieteellisiä tuloksia voida eikä tulisi pitää absoluuttisena totuutena. Sama pätee myös tähän opinnäytetyöhön. Tosin tehdyn taustatutkimuksen ja mallinnusprosessin perusteella uskon henkilökohtaisesti Revitin käyttökelpoisuuteen rakennesuunnittelun tietomallinnustyökaluna.

Opinnäytetyön mallinnusprosessin aikana pääsin osittain sisälle Revitin käyttöliittymän maailmaan ja aion jatkaa sovelluksen käytön harjoittelua myös tämän opinnäytetyön jälkeen. Aiemmasta 3D-mallinnustaustastani huolimatta koin Revit käyttöliittymän kohtuullisen monimutkaiseksi ja luulen, että monet Revitin käyttöä ensikertaa aloittelevat voivat kokea samoin. Revitin käyttöä harjoitteleville voi olla hyödyksi, jos opetteluun avuksi löytyy joku ohjelman käyttöä hallitseva tukihenkilö, jolta voisi kysyä tarvittaessa ohjelman saloista. Internet on myös pullollaan Revitin käyttöä käsitteleviä oppaita ja opetusvideoita.



Revitin käyttöönottoa kaavailevien yritysten kannattaa mielestäni varautua Revitin sisäänrakennettujen piirustusmerkintöjen päivittämiseen, yrityksen nimiötyylien vientiin sovellukseen, suppean materiaali- ja rakennekirjaston päivitykseen sekä tarvittaessa viivatyötyylien muuttamiseen yrityksen tarpeita vastaavaksi. Tapahtuneen kehitystyön pohjalta on hyvä tehdä yrityksen tietomallipohja, jota voidaan käyttää alkavissa projekteissa. Näin suunnittelijat pääsevät projekteissa suoraan mallintamaan eikä heidän tarvitse käyttää aikaa malliasetusten ynnä muun vastaavan uudelleen määrittelyyn. Samalla vältetään suunnittelijakohtaisten omien mallipohjien muodostumiselta ja yrityksen tietomallinnuskäytännöt yhtenäistyvät ja selkeytyvät. Tietomallinnuspohjan kehittämisestä kannattaa pitää suunnittelijaryhmän keskeisiä kehityspalavereja, jotta pohjaa voidaan viedä suuntaan, jossa se palvelee kaikkien suunnittelijoiden tarpeita, tottumuksia ja mieltymyksiä.

**Lähteet:**

1. Civil engineering. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Civil\\_engineering](https://en.wikipedia.org/wiki/Civil_engineering)>. Luettu: 5.3.2020
2. Structural engineering. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Structural\\_engineering](https://en.wikipedia.org/wiki/Structural_engineering)>. Luettu: 5.3.2020
3. History of structural engineering. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_structural\\_engineering](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_structural_engineering)>.  
Luettu: 5.3.2020
4. History of Civil Engineering. Verkkoaineisto. thecivilengg.com.  
<<http://www.thecivilengg.com/History.php>>. Luettu: 9.3.2020
5. History of Civil Engineering - Ancient Construction Techniques, Prehistoric Civil Engineering Structures. Verkkoaineisto. Bright Hub Engineering.  
<<https://www.brighthubengineering.com/building-construction-design/41552-history-of-civil-engineering/>>. Luettu: 9.3.2020
6. Archimedes. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<<https://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes>>. Luettu: 1.4.2020
7. Roman technology. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Roman\\_technology](https://en.wikipedia.org/wiki/Roman_technology)>. Luettu: 1.4.2020
8. Aqueduct. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Aqueduct\\_\(water\\_supply\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Aqueduct_(water_supply))>. Luettu: 1.4.2020
9. Arch. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Arch>>.  
Luettu: 1.4.2020
10. Concrete. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Concrete>>.  
Luettu: 1.4.2020

11. Vitruvius. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Vitruvius>>. Luettu: 1.4.2020
12. Leonardo da Vinci. Verkkoaineisto. Wikipedia. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo\\_da\\_Vinci](https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo_da_Vinci)>. Luettu: 1.4.2020
13. Fundamental theorem of calculus. Verkkoaineisto. Wikipedia. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Fundamental\\_theorem\\_of\\_calculus](https://en.wikipedia.org/wiki/Fundamental_theorem_of_calculus)>. Luettu: 1.4.2020
14. Euler–Bernoulli beam theory. Verkkoaineisto. Wikipedia. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Euler%E2%80%93Bernoulli\\_beam\\_theory](https://en.wikipedia.org/wiki/Euler%E2%80%93Bernoulli_beam_theory)>. Luettu: 1.4.2020
15. Elastinen kerroin. Verkkoaineisto. Wikipedia. <[https://fi.wikipedia.org/wiki/Elastinen\\_kerroin](https://fi.wikipedia.org/wiki/Elastinen_kerroin)>. Luettu: 7.4.2020
16. Bessemer process. Verkkoaineisto. Wikipedia. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Bessemer\\_process](https://en.wikipedia.org/wiki/Bessemer_process)>. Luettu: 7.4.2020
17. Hardy Cross. Verkkoaineisto. Wikipedia. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Hardy\\_Cross](https://en.wikipedia.org/wiki/Hardy_Cross)>. Luettu: 7.4.2020
18. Moment distribution method. Verkkoaineisto. Wikipedia. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Moment\\_distribution\\_method](https://en.wikipedia.org/wiki/Moment_distribution_method)>. Luettu: 7.4.2020
19. John Baker, Baron Baker. Verkkoaineisto. Wikipedia. <[https://en.wikipedia.org/wiki/John\\_Baker,\\_Baron\\_Baker](https://en.wikipedia.org/wiki/John_Baker,_Baron_Baker)>. Luettu: 7.4.2020
20. Alexander Hrennikoff. Verkkoaineisto. Wikipedia. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Alexander\\_Hrennikoff](https://en.wikipedia.org/wiki/Alexander_Hrennikoff)>. Luettu: 7.4.2020

21. Richard Courant. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Richard\\_Courant](https://en.wikipedia.org/wiki/Richard_Courant)>. Luettu: 7.4.2020
22. Finite element method. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Finite\\_element\\_method](https://en.wikipedia.org/wiki/Finite_element_method)>. Luettu: 7.4.2020
23. Unmanned aerial vehicle. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned\\_aerial\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle)>. Luettu: 8.4.2020
24. drone (UAV). Verkkoaineisto. IoTAgenda.  
<<https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/drone>>.  
Luettu: 8.4.2020
25. Kettering Bug. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Kettering\\_Bug](https://en.wikipedia.org/wiki/Kettering_Bug)>. Luettu: 8.4.2020
26. DE HAVILLAND DH82B QUEEN BEE. Verkkoaineisto. de Havilland Aircraft Museum. <<https://www.dehavillandmuseum.co.uk/aircraft/de-havilland-dh82b-queen-bee/>>. Luettu: 8.4.2020
27. de Havilland Tiger Moth. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/De\\_Havilland\\_Tiger\\_Moth](https://en.wikipedia.org/wiki/De_Havilland_Tiger_Moth)>. Luettu: 8.4.2020
28. Photogrammetry. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<<https://en.wikipedia.org/wiki/Photogrammetry>>. Luettu: 8.4.2020
29. Basics of Photogrammetry. Verkkoaineisto. GIS Resources.  
<[http://www.gisresources.com/basic-of-photogrammetry\\_2/](http://www.gisresources.com/basic-of-photogrammetry_2/)>. Luettu: 8.4.2020
30. Luento 1: Fotogrammetria? Opintojakson sisältö ja tavoitteet. Verkkoaineisto. Aalto-yliopisto. <<https://foto.aalto.fi/opetus/300/luennot/1/1.html>>.  
Luettu: 8.4.2020

31. Aerial photography. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Aerial\\_photography](https://en.wikipedia.org/wiki/Aerial_photography)>. Luettu: 8.4.2020
32. Point cloud. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Point\\_cloud](https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud)>. Luettu: 8.4.2020
33. Lidar. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar>>.  
Luettu: 8.4.2020
34. Laserkeilaus. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<<https://fi.wikipedia.org/wiki/Laserkeilaus>>. Luettu: 8.4.2020
35. DroneDeploy Documentation. Verkkoaineisto. DroneDeploy.  
<<https://support.dronedeploy.com/>>. Luettu: 8.4.2020
36. Measure from images. Verkkoaineisto. Pix4D <<https://www.pix4d.com/>>.  
Luettu: 8.4.2020
37. Flynt, Joseph. 2018. How Accurate are Drone Surveys?. Verkkoaineisto.  
3DINSIDER. <<https://3dinsider.com/drone-survey-accuracy/>>. Luettu: 8.4.2020
38. Buczkowski, Aleks. 2017. How accurate is your drone survey? Everything you  
need to know. Verkkoaineisto. Geoawesomeness.  
<[https://geoawesomeness.com/accurate-drone-survey-everything-need-  
know/](https://geoawesomeness.com/accurate-drone-survey-everything-need-know/)>. Luettu: 8.4.2020
39. Autodesk Revit. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk\\_Revit](https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Revit)>. Luettu: 8.4.2020
40. Yleiskatsaus Revit. Verkkoaineisto. AutoDesk.  
<<https://www.autodesk.fi/products/revit/overview>>. Luettu: 8.4.2020
41. Atlas Venture. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Atlas\\_Venture](https://en.wikipedia.org/wiki/Atlas_Venture)>. Luettu: 15.4.2020

42. Homepage. Verkkoaineisto. North Bridge Venture Partners.  
<<https://www.northbridge.com/>>. Luettu: 15.4.2020
43. Building information modeling. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Building\\_information\\_modeling](https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling)>.  
Luettu: 15.4.2020
44. Reflex (building design software). Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Reflex\\_\(building\\_design\\_software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Reflex_(building_design_software))>.  
Luettu: 15.4.2020
45. Sonata (building design software). Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Sonata\\_\(building\\_design\\_software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Sonata_(building_design_software))>.  
Luettu: 15.4.2020
46. Jonathan Ingram. Verkkoaineisto. Wikipedia.  
<[https://en.wikipedia.org/wiki/Jonathan\\_Ingram](https://en.wikipedia.org/wiki/Jonathan_Ingram)>. Luettu: 15.4.2020
47. RUCAPS. Verkkoaineisto. Wikipedia. <<https://en.wikipedia.org/wiki/RUCAPS>>.  
Luettu: 29.4.2020
48. Quirk, Vanessa. A Brief History of BIM. Verkkoaineisto. ArchDaily.  
<<https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>>. Luettu: 29.4.2020
49. Cherkaoui, Houdayfa. 2017. A history of BIM. Verkkoaineisto. LetsBuild.  
<<https://www.letsbuild.com/blog/a-history-of-bim>>. Luettu: 29.4.2020
50. Yleiset tietomallivaatimukset YTV2012. Verkkoaineisto. buildingSMART.  
<<https://buildingsmart.fi/yleiset-tietomallivaatimukset-ytv/>>. Luettu: 30.4.2020

## Kuvien käyttöoikeudet

Kuva 1.

anonymous ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kettering\\_Bug.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kettering_Bug.jpg)), „Kettering Bug“, marked as public domain, more details on Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/wiki/Template:PD-US>

Kuva 2.

Bundesarchiv\_Bild\_183-R01996,\_Brieftaube\_mit\_Fotokamera.jpg: o.Ang. derivative work: Hans Adler (talk) ([https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bundesarchiv\\_Bild\\_183-R01996,\\_Brieftaube\\_mit\\_Fotokamera\\_cropped.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bundesarchiv_Bild_183-R01996,_Brieftaube_mit_Fotokamera_cropped.jpg)), „Bundesarchiv Bild 183-R01996, Brieftaube mit Fotokamera cropped“, i took the uncropped version of the image., <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/legalcode>

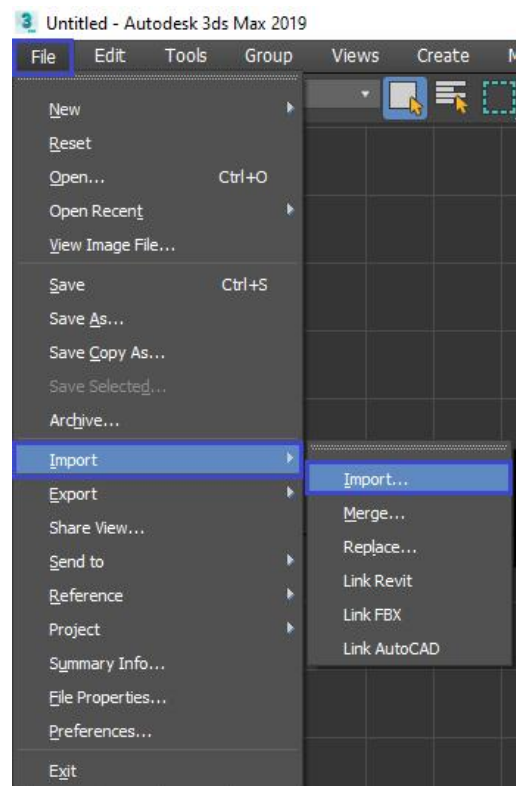
## Liite 1. Revitin sovelluksien ohjeistus

Pistepilviohjelmalla luodun 3D-mallin vienti Revittiin

Yleensä pistepilviohjelmista renderöityjä pistepilviä ja niiden 3D-malleja voidaan tallentaa moniin erilaisiin tiedostomuotoihin. Ulos saatavat tiedostomuodot voivat vaihdella ohjelmasta riippuen. Tässä projektissa käytetty pistepilvisovellus tukee muun muassa tiedostomuotoja FBX ja OBJ. Kumpikaan kyseisistä tiedostomuodoista ei ole suoraan yhteensopiva Revitin kanssa. Revittiin voi erikseen ladata erillisen liitännäisen tätä varten kuten esimerkiksi AutoDeskin appstoresta löytyvä OBJ Converterin:

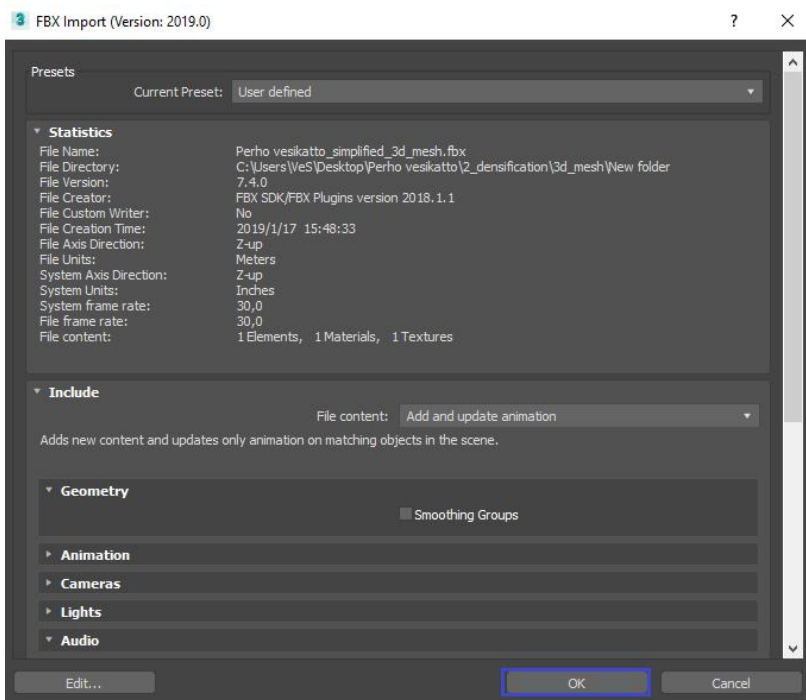
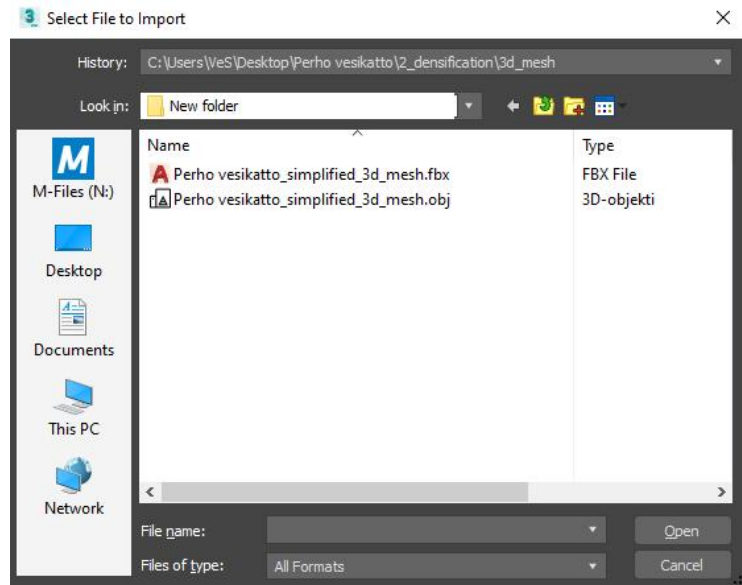


Mallin voi myös muuntaa toisella sovelluksella Revitin tunnistamaan tiedostomuotoon. Seuraavaksi käydään läpi tämä prosessi käyttäen AutoDeskin 3ds-Max 3D-mallinnusohjelmaa. Aluksi avataan kyseinen sovellus ja valitaan vasemmasta ylänurkasta "File" -> "Import" -> "Import"





Seuraavaksi etsitään pistepilvaihjoelmalla luodut 3D-mallit. kuten oheisesta kuvasta näemme 3ds-Max tunnistaa sekä OBJ että FBX tiedostomuodot. Voimme valita kumman tahansa näistä, klikata jompaakumpaa tiedostoa ja valita "Open".

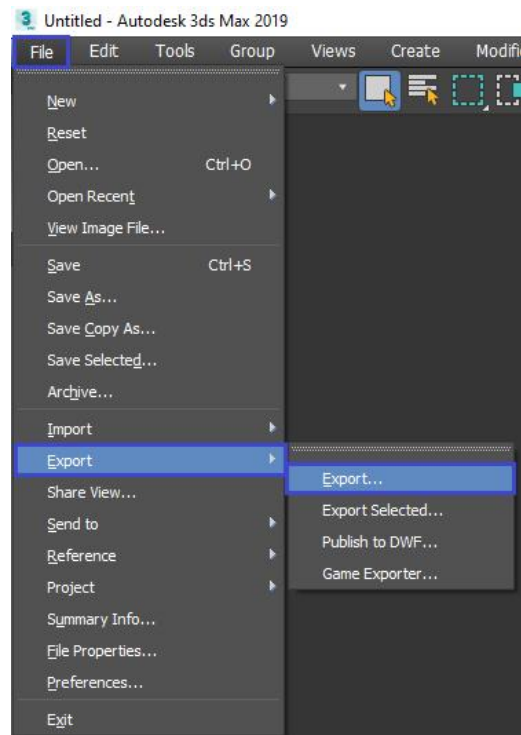


Tämän jälkeen ohjelma kysyy yhteensovitusasetuksia tuotavasta mallista. Oletusarvoisesti voimme käyttää jo valittuja perusasetuksia ja painaa "OK".

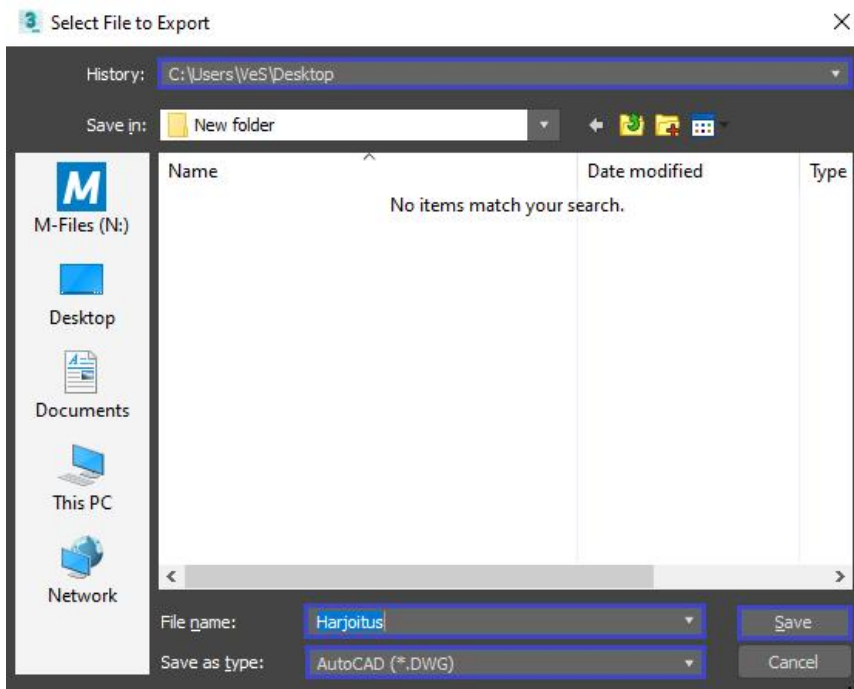
Mallin tulisi ilmestyä nyt katseluruutuun:



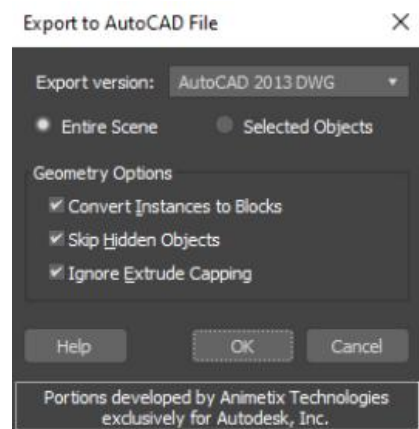
Tämän jälkeen voimme tallentaa mallin AutoCadin DWG-tiedostomuotoon, jota Revit kykenee käyttämään. Valitaan "File"-> "Export" -> "Export"



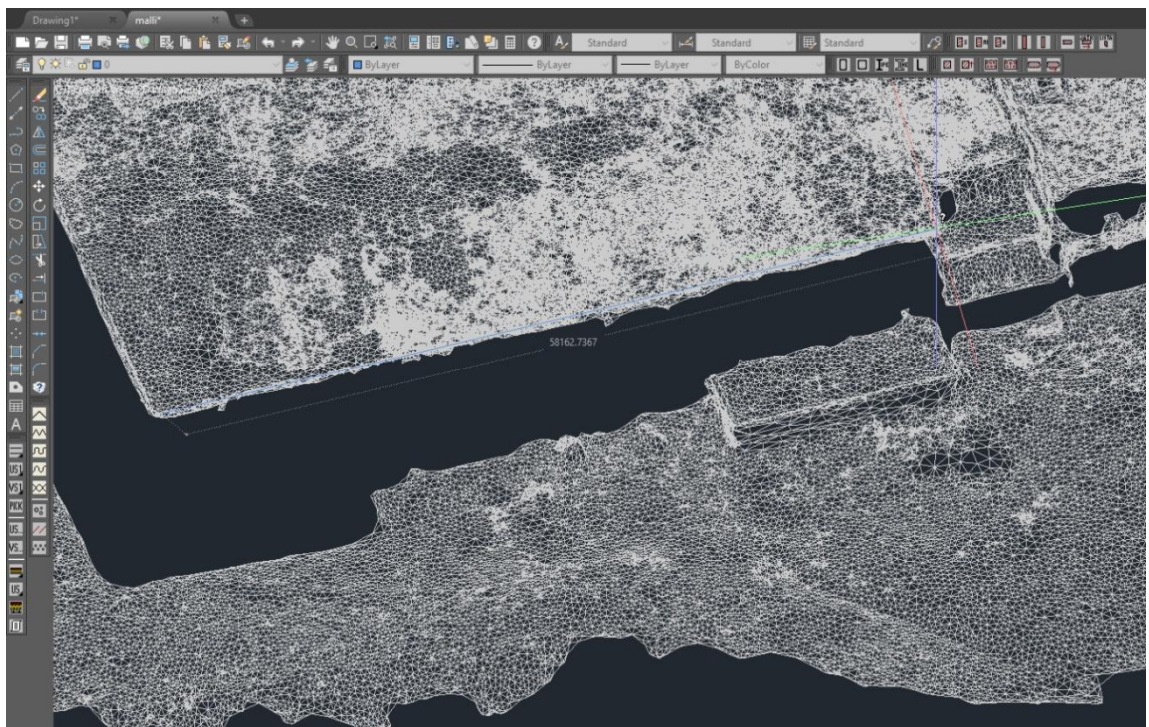
Avautuvasta ikkunasta valitaan mallille sijainti, nimi ja AutoCad DWG tiedostomuoto ja painetaan tallenna:



Tämän jälkeen ohjelma kysyy vielä asetuksia mallin muuntamisesta ja ne voi täyttää tarpeidensa mukaan tai käyttää oletusasetuksia

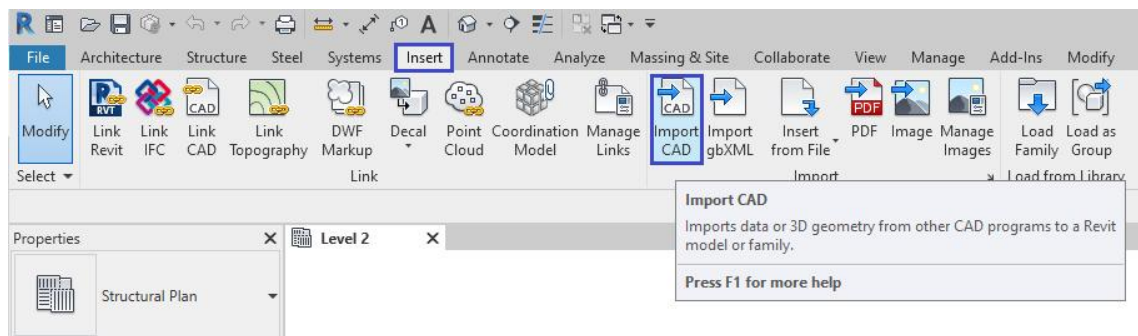


Tallennettu malli on hyvä tarkastaa AutoCadilla. Tarkastetaan, että malli aukeaa ja että se ei ole silminnähdessä muuttunut alkuperäisestä. Lisäksi on hyvä varmistaa, että malli ei ole vääristynyt tiedostomuodon muuntamisen yhteydessä ja mallin mitat vastaavat todellista tilannetta, käyttämällä esimerkiksi AutoCadin mittatyökalua. Toki mallin mittatarkkuus ei välttämättä vastaa aina todellisuutta jo kuvauskaluston epätarkkuudesta johtuen.

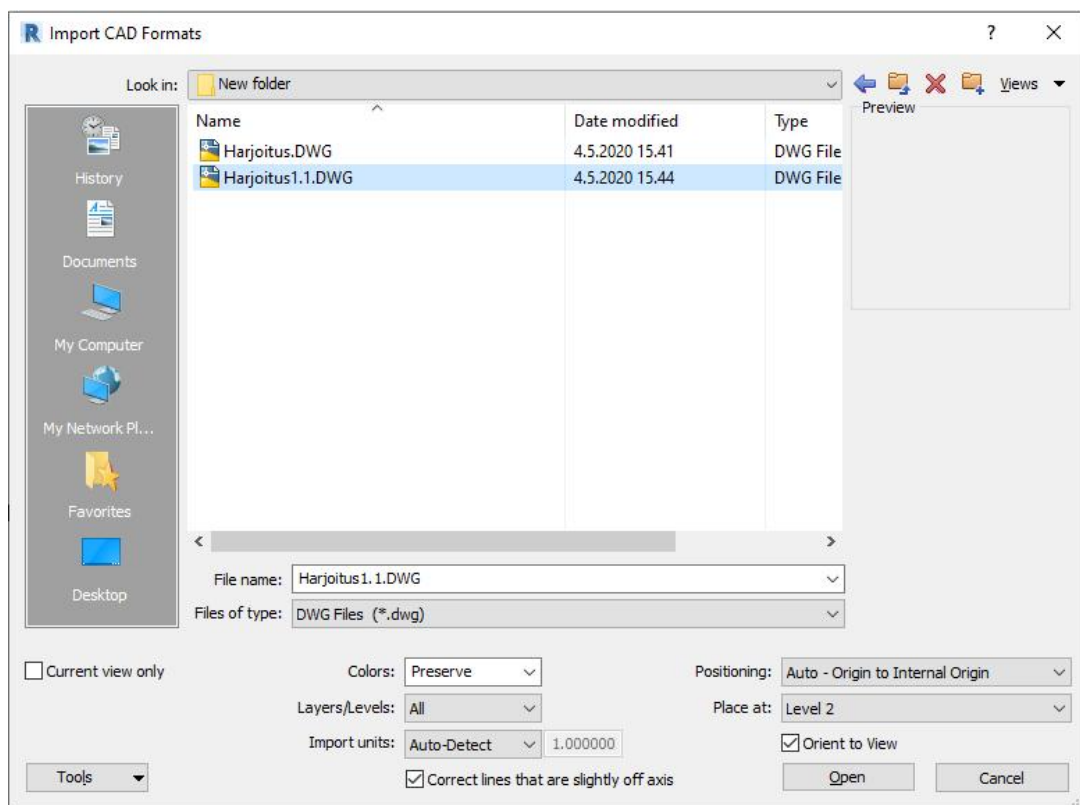


Seuraavaksi voidaan käynnistää Revit.

DWG-mallin voi nyt tuoda Revittiin esimerkiksi "Insert"-välilehdeltä löytyvän "Import CAD"-työkalun avulla.



Aukeavasta ruudusta navigoidaan tiedostopolkuun johon DWG tallennettiin, valitaan ja avataan se käyttäen haluttuja tiedoston tuontiasetuksia.



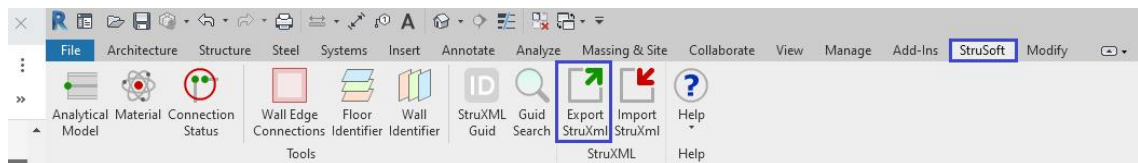
Tiedostoa Revittiin tuotaessa on hyvä huomioida käytetyn laitteiston tehokkuus ja avattavan mallin raskaus. Liian iso ja raskas malli voi kaataa Revitin. Kuvauskaluston tarkkuudesta riippuen pistepilvioletilla muodostettuja pistepilviä voidaan hyödyntää korjauskohteiden lähtötilannetta mallinnettaessa.

## Revit-mallin vienti FEM Design laskentaohjelmaan

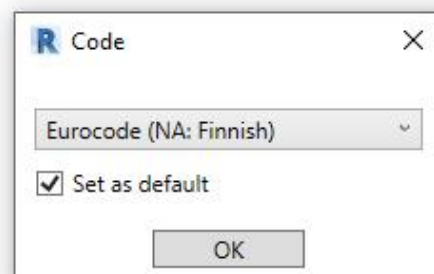
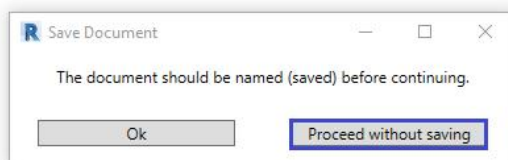
Revitillä tehtyjä rakennemalleja on mahdollista viedä FEM Design laskentasovellukseen StuSoftin StruXML liitännäisellä revitiin. Tämä onnistuu liitännäisellä myös toisin päin. StruXML mahdollistaa tehokkaan työskentelyn tietomallinnuskohteissa, joissa vaaditaan myös monimutkaisempaa lujuuslaskentaa. Lisäksi Revittiä taitavat suunnittelijat voivat välttää kokonaan kankeahkon mallintamisen FEM Designissä liitännäistä hyödyntäen. Liitännäisen voi ladata ilmaiseksi StuSoftin FEM Design internetsivuilta osoitteesta:

<https://wiki.fem-design.strusoft.com/xwiki/wiki/femdesignwiki/view/BIM%20Integration/StruXML%20Revit%20%20Add-In/Getting%20started/#Download>

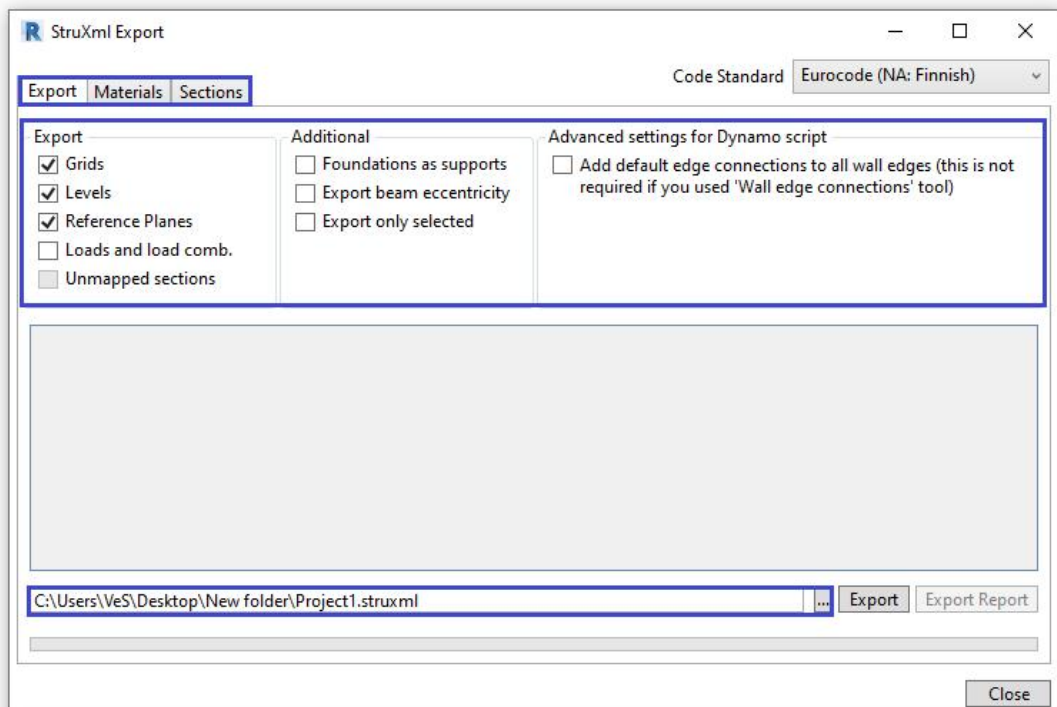
Liitännäisen asentamisen jälkeen Revittiin tulisi ilmestyä ”StuSoft” välilehti, josta löytyy mallin vientiin ja tuontiin liittyvät työkalut.



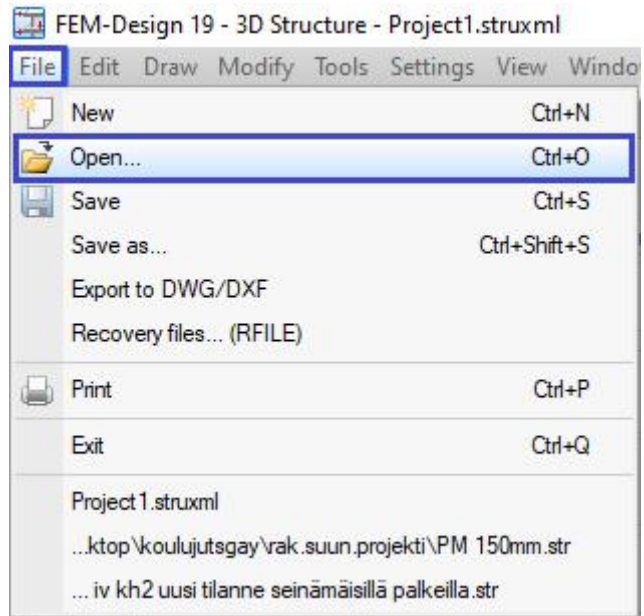
”Export StruXML” työkalusta pääsemme viemään mallia FEM Designiin. Painiketta painaessa voi ohjelmaan ilmestyä ikkuna, joka kysyy tiedoston tallentamisesta ennen jatkamista. Paina ”Proceed without saving” jatkaaksesi prosessia. Seuraavaksi ohjelma kysyy käytettävästä Eurokoodin kansallisesta liitteestä. Yleisesti Suomessa käytetään Suomen kansallista liitettä.



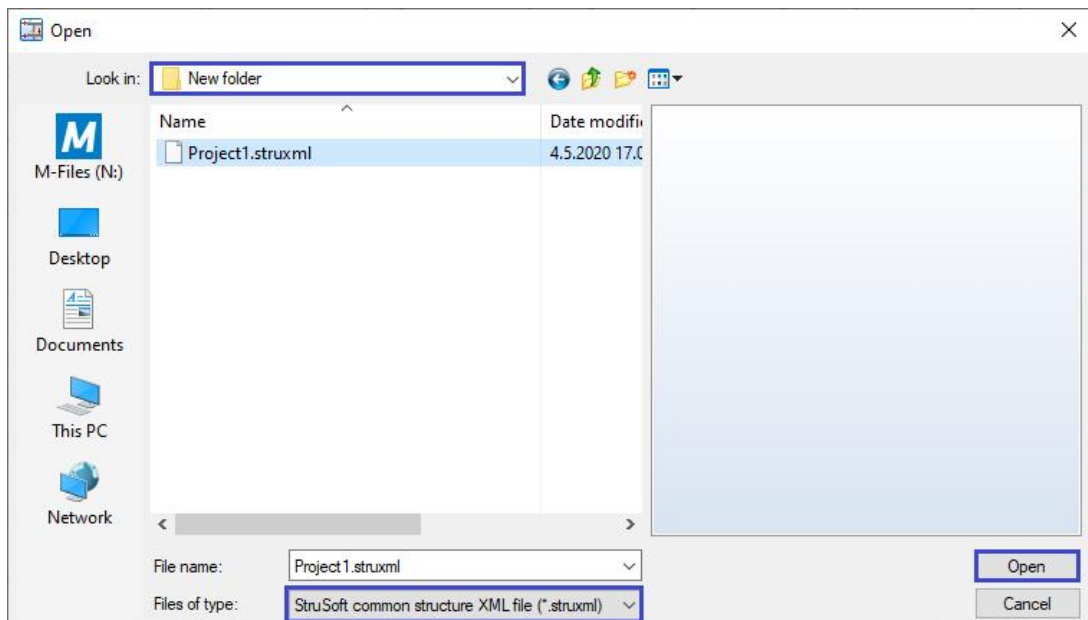
Tämän jälkeen pääsemme varsinaiseen venti-ikkunaan. Ikkunan yläosan valikoista valitaan asetukset, joita mallin viennissä halutaan käyttää ja alalaidasta tiedostosijainti, johon viety malli tallennetaan. Huomioitavaa prosessissa on, että rakenteet tulisi mallintaa niille tarkoitetuilla työkaluilla ja käyttäen niissä niin kutsuttua ”*structural material*”-materiaalityyppiä. Kun vientiasetukset on valittu, painetaan ”Export”. Tämän jälkeen viennistä tulee harmaaseen kenttään raportti, ja jos kaikki on sujunut oikein, malli on tallentunut valittuun sijaintiin. Harmaaseen kenttään ilmestyvät myös kaikki virheet, jota viennissä tapahtui. Prosessin jälkeen voidaan valita ”Close” ja käynnistää FEM Design 3D-Structure.



FEM Designissä valitaan yläreunan vasemmasta laidasta "File" -> "Open".



Tämä jälkeen ilmestyvän ikkunan yläreunasta valitaan polku, johon viety malli tallennettiin, ja alareunan alavetovalikosta struxml-tiedostomuoto. Viedyn mallin tulisi ilmestyä listalle. Valitaan se ja painetaan "Open". Mallin tulisi ilmestyä sovelluksen katseluruutuun ongelmitta. Mallin vienti takaisin Revittiin tapahtuu lähestulkoon samalla lailla. "StruSoft" välilehdeltä valitaan "ImportStruXml" ja tuotaville rakenteille määritetään Revitissä käytettävät rakennetyypit.

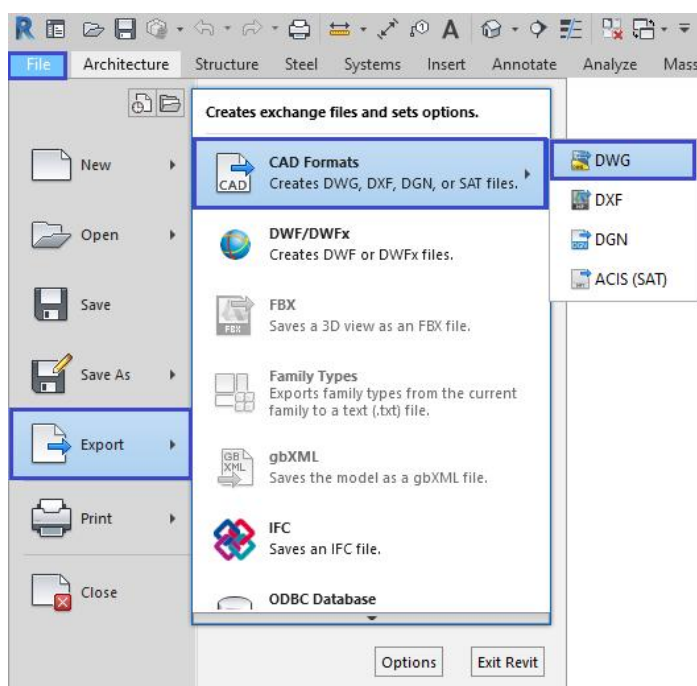




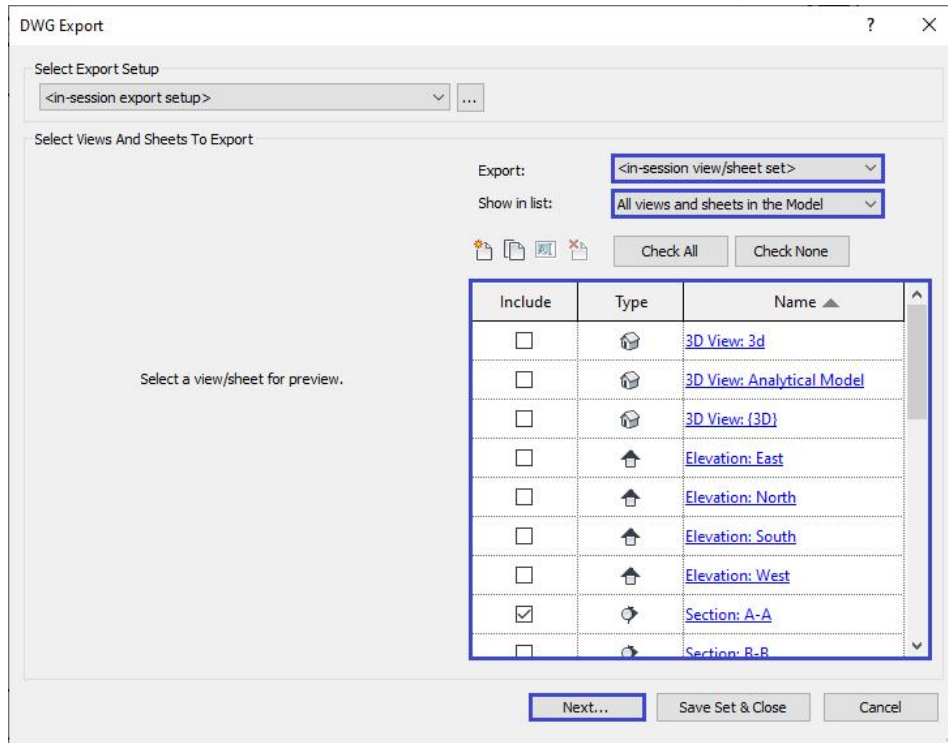
## Piirustusohjan vienti Revitistä AutoCadiin

Revit on tehty hyvin yhteensopivaksi AutoCadin kanssa ja Revitissä tehtyjä piirustusohjia on nopea viedä AutoCadiin jatkokäsiteltäviksi. Prosessi toteutetaan seuraavasti:

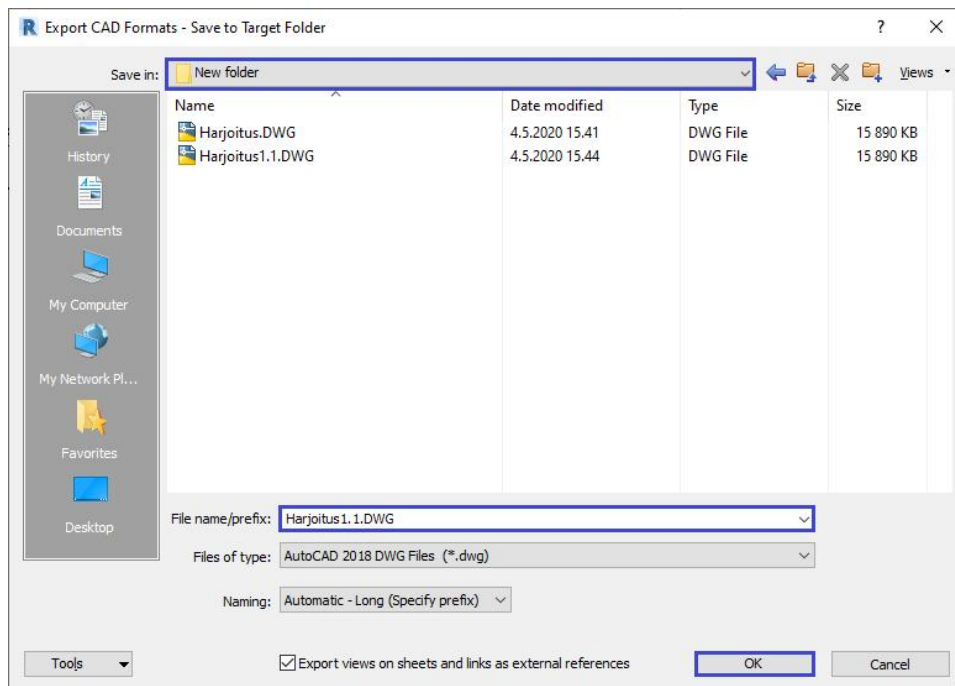
Ensin avataan Revittiin tehty malli, jossa ymmärrettävästi täytyy olla piirustusten projektiot, pohjat tai leikkeet valmiina. Tämän jälkeen valitaan vasemmasta yläkulmasta "File" -> "Export" -> "CAD Formats" -> "DWG".



Aukeavan ikkunan oikean yläreunan valikoista valitaan mitä piirustuspohjia alapuolen listassa näkyy ja tämän jälkeen listasta voi valita ne pohjat, jotka halutaan muuntaa AutoCad-muotoon. Kun tämä on tehty, painetaan "Next".



Seuravasta ikkunasta määritellään polku, johon AutoCad-piirustukset tallentuvat. Kuville voi myös halutessaan määrittellä nimen. Lopuksi painetaan "OK".



Piirustusohjat tallentuvat valittuun kansioon, kukin omaan DWG-tiedostoon. Ne käyttävät niille edellisessä määritellyn nimen alkuosaa ja loppuosa nimestä tulee Revitissä käytetyn piirustusnimen mukaan.