



TIETOMALLI ELEMENTTIRAKENTAMISESSA - MOBIILILAITTEEN HYÖDYNTÄMINEN TYÖMAALLA

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Olli-Pekka Oinonen	
Työn nimi Tietomallin hyödyntäminen elementtirakentamisessa	
Päiväys 16.3.2015	Sivumäärä/Liitteet 38/0
Ohjaaja(t) Viljo Kuusela, lehtori, Hannu Haaranen, pt tuntiopettaja	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Lujabetoni Oy, Betonimestarit Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Työn taustana oli Lujabetoni Oy:n ja Betonimestarit Oy:n yhteinen tavoite kehittää projektihallintaa tietomallin avulla mobiilisovelluksilla. Insinööriyön tavoitteena oli selvittää ja tutkia elementtirakentamisen näkökulmasta, mitä hyötyjä tietomallista saadaan käyttämällä tablet-tietokonetta. Tarkoituksena oli selvittää tietomallikatselusovelluksien hyödyntämistä projektinohjauksessa. Työn tärkeimmät tavoitteet oli tutkia Tekla Field3D -ohjelman avulla tiedonsiirtoa osapuolten välillä, valmiusasteiden dokumentointia, tietokannan yhdistämistä elementin elinkaareen, reklamaatioiden kohdentamista, työntekijöiden ohjeistusta, vastaanottodokumentointia, havainnollistamista ja 2D- piirustuksien linkitystä tietomalliin.</p> <p>Työ toteutettiin vapaamuotoisesti haastattelemalla elementtiurakkaan kuuluvia henkilöitä tietomallin hyödyntämisestä työmaalla, tutkimalla tietomallisovelluksien eri käyttömahdollisuuksia, vertailemalla eri ohjelmistoja ja havainnoimalla työmaan toimintaa.</p> <p>Selvitystyön tuloksena saatiin tulos, jossa kerrotaan mitä sovelluksilla pystyy jo tekemään ja mitä kehitettävää niissä olisi. Insinööriyön tekemisen aikana kävi ilmi, että tietomallisovelluksia tableteilla käytetään vielä hyvin vähän työmailla, mutta mielenkiintoa olisi oppia hyödyntämään tietomallia tehokkaammin projektinohjauksessa. Lisäksi tablet-laitteiden tietomallikatselusovelluksissa oli puutteita, joista suurin oli sovellusten yksinkertaisuus, koska toimintojen vähyydestä estää kattavan projektinohjauksen.</p>	
Avainsanat BIM, tietomalli, tablet, projektinohjaus, elementti, rakentaminen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Olli-Pekka Oinonen			
Title of Thesis BIM in Concrete Element Building - Using the Mobile Unit on the Site			
Date	27.04.2015	Pages/Appendices	38/0
Supervisor(s) Mr Viljo Kuusela, Senior Lecturer and Mr Hannu Haaranen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Lujabetoni Oy, Betonimestarit Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final yers project was to develop project management by using BIM, (building information model) and to study how it can be used in concrete element building. This project was commissioned by Lujabetoni Oy and Betonimestarit Oy. They had a common goal to develop the BIM for the use of mobile applications. The objective was to research data transfer between the parties, readiness of the elements, documentation, how to connect life cycle of the element to the database, the allocation of complaints, employee guidance, documentation in receiving situation, visualization and interconnection of 2D drawings to the model with the Tekla Field3D application.</p> <p>The research methods were interviews and personal observations. The personnel of the element factory and element building site were interviewed about the access of the BIM on the site. First, the applications were studied to see how they would work in project control. Then, different possibilities of the use were investigated. Finally, the applications were compared to each other and the best application was chosen.</p> <p>As a result it was found out how the software could be used, and what kind of development is needed. BIM is a useful tool for project control on-site and using BIM would be cost effective, if you use it effectively. Using BIM effectively requires training and instructions from the employees.</p>			
Keywords BIM, construction, tablet, project control, element			
public			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Tausta ja tavoitteet	6
1.2	Lyhenteet ja määritelmät	6
2	TIETOMALLI	7
2.1	Tietomallien tallennusformaatti	9
2.1.2	IFC	9
2.2	Tietomallin tarkastukset	11
3	TIETOMALLISOVELLUKSET	14
3.1	Tietomallin käyttö	14
3.2	Ohjelmistot	14
3.3	Tietomallisovellukset tableteille	15
3.3.1	Sovellukset	15
3.3.2	Apple Ipad Air 2	15
3.3.3	Tekla field3D	16
3.3.4	Tekla BIMsight	17
3.3.5	BIMx	18
3.3.6	Bim+ Explorer	19
3.3.7	AutoCAD 360 Mobile	20
3.3.8	Bim 360 Glue ja Bim 360 Field	21
3.4	Sovellusten arviointi	22
4	TIETOMALLIN KÄYTTÖ ELEMENTTIEN ELINKAARESSA	25
4.1	Dokumentointi	26
4.2	Tiedonsiirto	29
4.3	Elementin valmiusaste	30
4.4	Työntekijöiden opastaminen ja ohjeistus	31
4.5	2D piirustusten linkittäminen malliin	33
4.6	Reklamaatioiden kohdistaminen	33
4.7	Elementtien tietokannan yhdistäminen rakennuksen elinkaareen	33
5	TULOKSET	34
5.1	Henkilöstön tekniset edellytykset	34
5.2	Tabletin käyttö kustannukset	34

5.3	Saavutettavat hyödyt	35
6	YHTEENVETO.....	36

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoitteet

Tämä insinööri työ tehdään Lujabetoni Oy:lle ja Betonimestarit Oy:lle, jotka ovat suuria elementti-toimittajia. Työn tutkimuskohteena käytetään Tyl Freeway logistiikkakeskusta ja Lumitien teollisuus-hallia. Insinööri työn tavoitteena on selvittää tietomallien hyödyntämistä tablet-tietokoneilla element-tirakennusurakassa. Tarkoituksena on selvittää mitä tietoja tietomallista saa irti ja mitä kehitettävää on tietomallin katseluohjelmissa. Tärkein tavoite on selvittää, miten sovelluksia voi hyödyntää mm. katselmusdokumentointiin, reklamaatioiden kohdentamiseen, tiedonsiirtoon ja työntekijöiden ohjeis-tukseen. Tablettien tietomallin katselusovelluksien kehittämisessä olisi syytä huomioida työmaahenkilöstön tarpeet.

Työmaalla ei ole tähän päivään mennessä juurikaan hyödynnetty tietomalleja elementtirakentami-nessa. Tästä johtuen tietomallin käyttö on puutteellista, eikä sen käyttöä ole koulutettu henkilöstölle. Tässä työssä perehdytään Tekla Field3D-ohjelmistoon, mutta myös muihinkin samankaltaisiin ohjel-miin on tarkoitus tutustua.

Työ toteutetaan haastatteleamalla elementtiurakkaan kuuluvia henkilöitä tietomallin hyödyntämisestä työmaalla, tutkimalla tietomallisovelluksien soveltamismahdollisuuksia vertailemalla eri ohjelmistoja ja havainnoimalla työmaan toimintaa. Työn tärkeimpänä tavoitteena on tietomallin hyödyntämisen kehittäminen kaikille elementtiurakkaan kuuluville henkilöille.

1.2 Lyhenteet ja määritelmät

BIM = Building Information Model (Rakennuksen tietomalli)

IFC = Industry Foundation Classes

TATE = Talo Tekniikka

Tyl = Työyhteenliittymä

2 TIETOMALLI

Rakennuksen tietomallinnus (BIM, engl. Building Information Model) on kokonaisvaltainen lähestymistapa suunnitteluun, joka mahdollistaa rakennuksen ja talotekniikkajärjestelmien 3D-mallintamisen, sekä eri järjestelmien simuloimisen. Tietomallinnus tekee myös suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden sekä muiden projektin jäsenten välisestä yhteistyöstä saumattomampaa, jolloin on tärkeää, että suunnittelutyökalu tarjoaa yhteensopivuuden mm. IFC-standardien sekä BCF-tiedostomuodon kanssa. IFC-malli luodaan alkuperäismallista kuten kuvassa 1. (Magicad.)



Kuva 1. Tietomallilla tarkoitetaan sekä alkuperäis- että IFC-mallia (Kulusjärvi 2012, osa 6)

Koko järjestelmän kattava tietomalli tarjoaa rakennusprojektissa perinteistä 2D-piirustusta kattavamman ja tarkemman perustan projektin osapuolten välille (kuva 2). Arkkitehti, rakenne- ja talotekniikkamallien realistinen mallintaminen mahdollistaa törmäystarkasteluiden tarkastelun jo suunnitteluvaiheessa. Suunnittelussa tehtyjen ratkaisujen toimivuus pystytään mallintamaan ja testaamaan jo ennen kuin rakennustyöt ja asennukset alkavat, jolloin rakennusvaiheessa säästyy resursseja. Tietomalli palvelee tietopankkina läpi rakennuksen elinkaaren aina rakennusvaiheesta rakennuksen kunnossapitoon. Tietomalli on koko rakennuksen elinkaaren aikaisten tietojen kokonaisuus digitaalisessa muodossa. Perinteiseen dokumenttipohjaiseen tapaan nähden hankkeen tiedot eivät ole hajallaan eri piirustuksissa ja raporteissa, vaan kaikki tiedot saadaan haettua mallista, josta saadaan tarvittaessa esimerkiksi työkohtaiset piirustukset.



Kuva 2. Tietomallin jakaminen (Tekla)

Tietomallia kutsutaan natiivimalliksi, kun se on mallinnusohjelmiston omassa tiedostomuodossa ja IFC-malliksi, kun se on mallinnusohjelmistossa tuodussa IFC-standardiin perustuvassa järjestelmäs-
täriippumattomassa tiedostomuodossa.

Tietomallin ulottuvuudet ovat

- 2D-malli (x,y): piirustukset
- 3D-malli (x, y, z): virtuaalisuus
- 4D-malli (3D-malliin lisätty aikatieidot): aikataulut
- 5D-malli (3D-mallin lisätty aikaulottuvuus ja kustannustiedot): kustannusohjaus

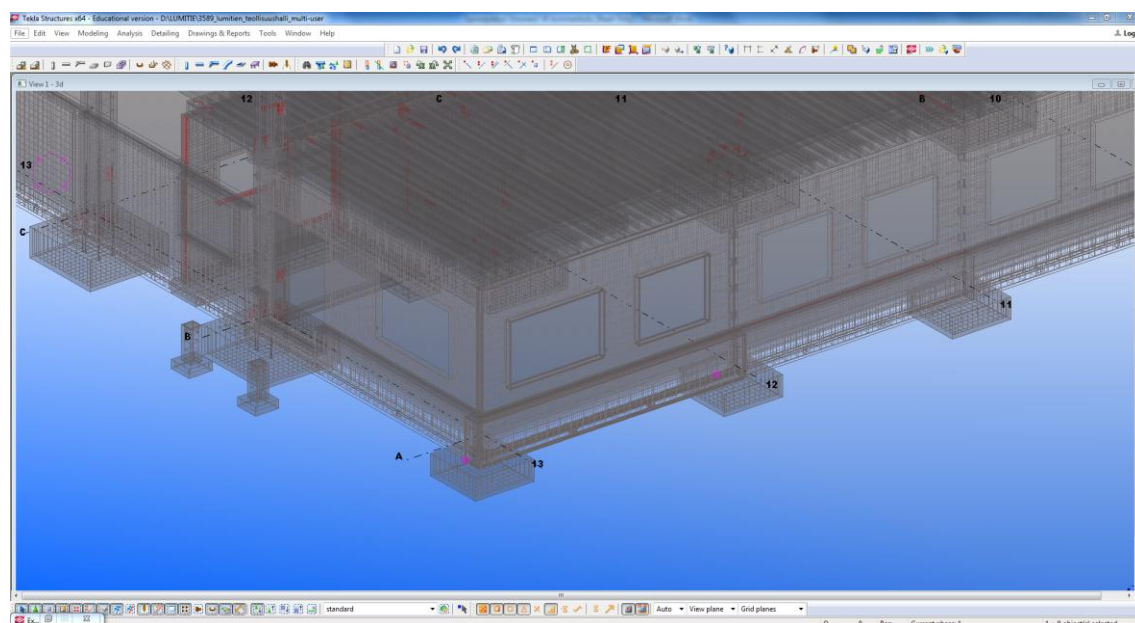
Tietomallin 5D-suunnittelun osille voidaan myös liittää mm. aikataulu ja hinta. Näiden tietojen avulla rakennuksen tai projektin tilaajalla on jo tarkka tieto suunnitteluvaiheessa, paljonko työ tulisi mak-
samaan.

2.1 Tietomallien tallennusformaatti

Tietomallin ideaalinen tallennus-sijainti paikka olisi integroitu tietomallipalvelin, eli tietokanta, joka voisi sisältää kaikki tietomalliin liittyvät tiedot alkuperäismuodossa. Tällä hetkellä tietomallien sisältämät tiedot on taltioitu useisiin eri formaatteihin, kuten Microsoft Excel-, Word-dokumentteihin ja projektisuunnitelmätiedostoihin. Tämän seurauksena yleinen tietomalli formaatti on välttämätön, jotta tietomallia voidaan käyttää eri ohjelmistoilla ja alustoilla. Yleiseksi tietomalli formaatiksi on noussut IFC, joka pitää sisällään tiedot rakennuksen osien geometriasta ja niiden ominaisuuksista. (Leinonen ja Metelinen 2014.)

2.1.1.1 Natiivi-malli

Mallinnusohjelman omaan ohjelmakohtaiseen tallennettuun tietomalliin kutsutaan natiivi-malliksi. Esimerkiksi arkkitehtiohjelman ArchiCAD-ohjelmiston natiivi tallennusmuoto on *.pln ja Revit:in *.vtb. Rakennesuunnitteluohjelmiston Tekla Structures:in natiivi muoto on *.db1. (VTT). Kuvasta 3 nähdään otos natiivimallista Tekla Structures ohjelmistosta

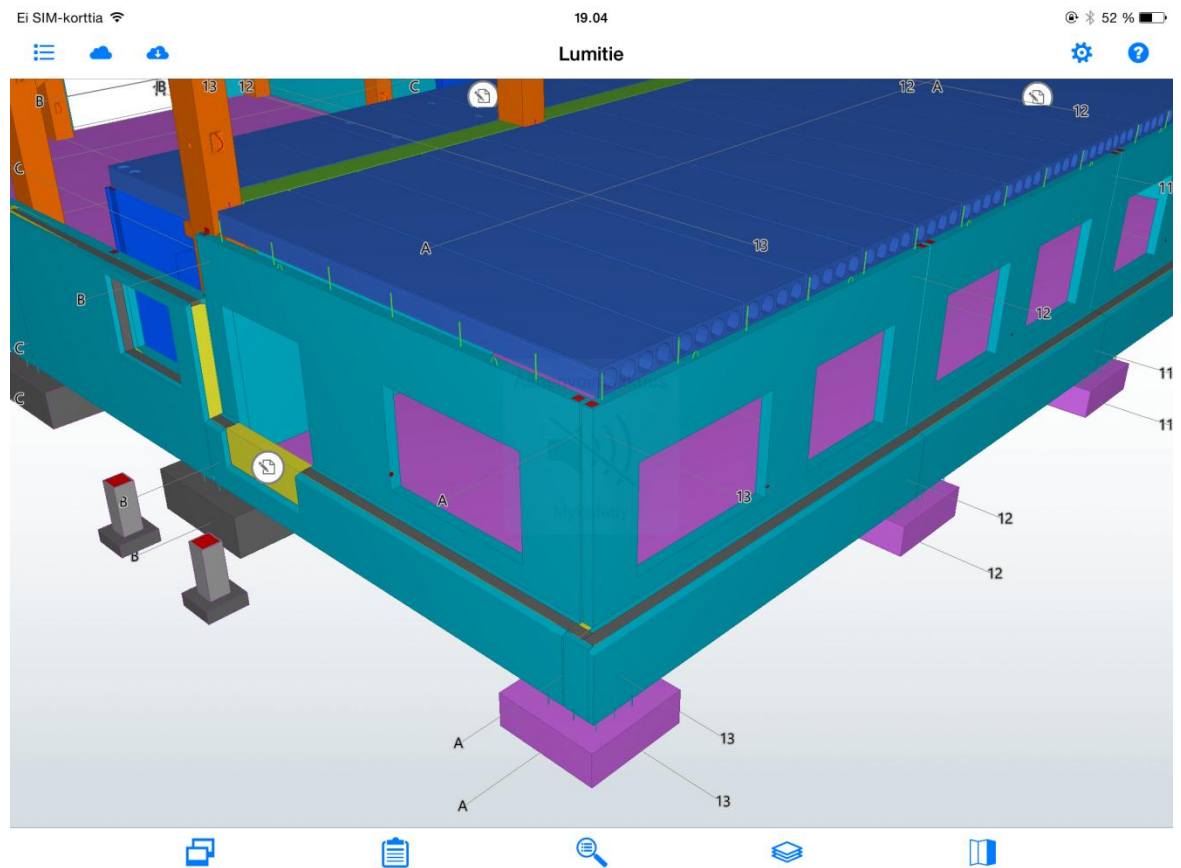


Kuva 3 Natiivimalli

2.1.2 IFC

IFC-standardi (Industry Foundation Classes) on kansainvälinen tiedonsiirto-standardi rakentamisen ja kiinteistöpidon eri sovellusten välillä. IFC on jatkuvasti kehittyvä rakennusalan oliopohjainen ISO/PAS 16739 standardi tiedonsiirtoon tietokonesovelluksesta toiseen. Standardin perusajatuksena on, että sen välityksellä mahdollistetaan tuotemallitietojen siirtäminen eri ohjelmistosta toiseen. IFC:llä siirretään ainoastaan oliotietoa eli parametreja ja 3d-geometria tietoja eikä sillä voida siirtää piirustusmuotoisia tiedostoja. (buildingsmart.) Kuvassa 4 on otos IFC mallista Tekla Field3D ohjelmistosta

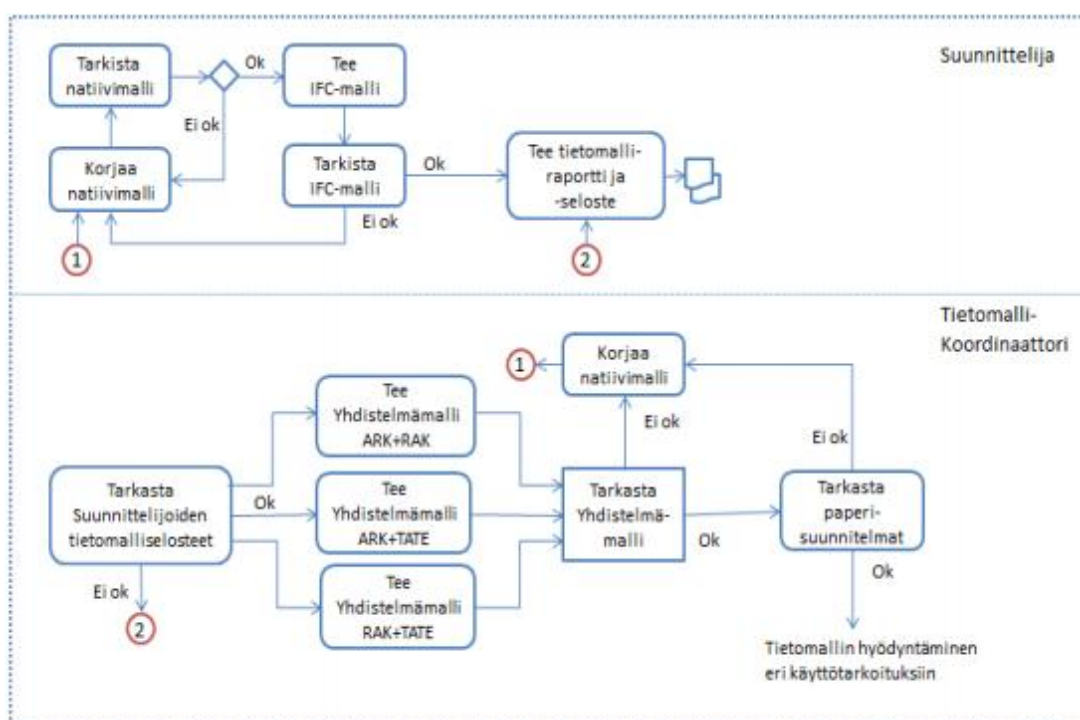
Uusin IFC- standardin versio on 4 (aikaisemmin nimeltään 2x4), julkaistu 12.3.2013. Rakennushankkeissa tullaan käyttämään käytännössä vielä pitkään monia muitakin tiedonsiirtomenetelmiä IFC:n lisäksi. (buildingsmart.)



Kuva 4 IFC malli

2.2 Tietomallin tarkastukset

Suunnittelijoiden pitää valvoa tietomallin laatua ja tiedonsiirtoa (Kuvio 1). Tietomallista täytyy varmistaa, että ne ovat oikeassa muodossa ja suunnittelu-kohtaiset sekä muut vaatimukset täyttyvät. Tarkastuksissa pyritään tutkimaan tietomallien eri osien suunnitelmat vertaamalla niitä keskenään ristiin tarkastelulla. Tarkastella voi esimerkiksi rakenne ja lvi malleja päällekkäin. Tällä menetelmällä saadaan varmistettua, että puutteet ovat tiedossa ja ne korjataan ennen kuin malli lisätään yhdistelmämalliin. Yhdistelmämallissa voidaan esimerkiksi tehdä törmäystarkasteluita. (Kulusjärvi 2012, osa 6).



Kuvio 1. Tietomallin tarkastusprosessi (Omar 2014)

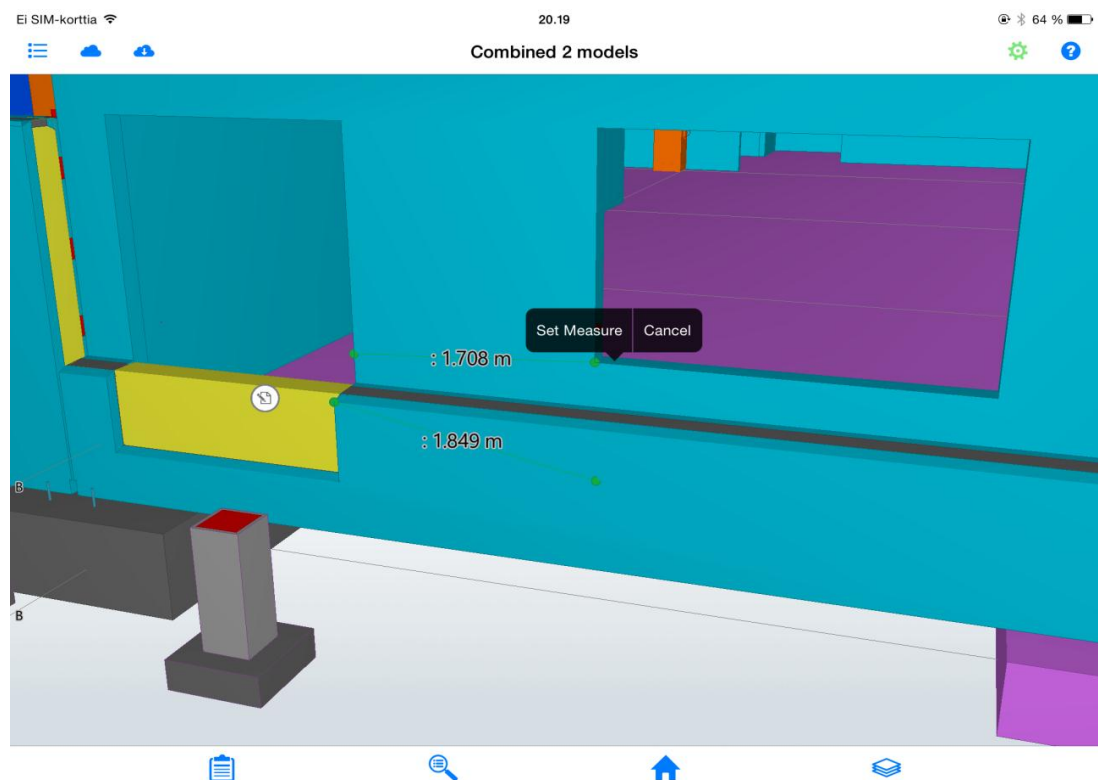
Tietomallin tarkastukseen sopivia ohjelmia ovat esimerkiksi Tekla Field3D, TeklaBimsight ja Autodesk NavisWorks. Tarkastettavilla malleilla laadunvarmistusprosessissa on viisi tarkoitukseltaan ja laajuudeltaan erilaista näkökulmaa, joiden avulla pystytään tekemään IFC-malleilla tarkastuksia. Nämä ovat

- lähtötietomalli
- tilamalli
- rakennusosamalli (arkkitehti- ja rakennemallit)
- järjestelmämalli (talotekniikka)
- yhdistelmämalli

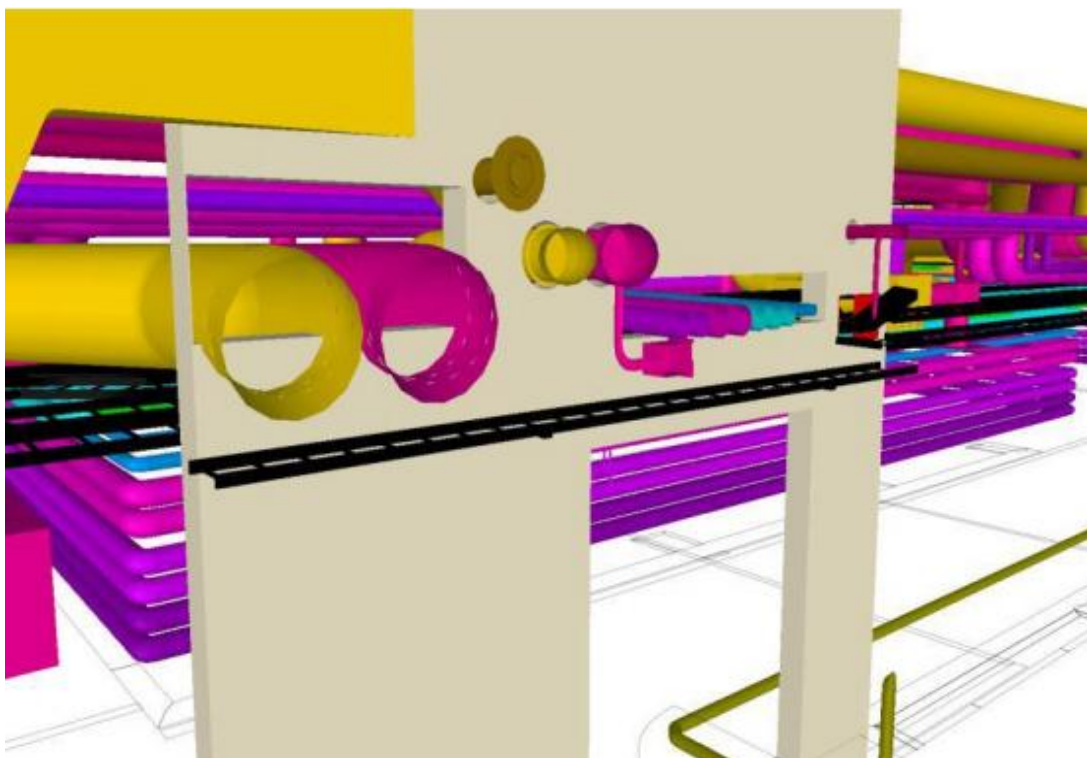


Kuva 3. Visuaalinen tarkastelu

Yksi tarkastuksen muoto on visuaalinen tarkastus (kuva 3). Tämä tarkastusmuoto on helposti omaksettava ja useasti tehokas, mutta altis inhimillisille virheille. Se edellyttää erityistä huolellisuutta kattavan tarkastuksen tekemiseksi (kuva 4).



Kuva 4. Rakenteiden tarkastelu



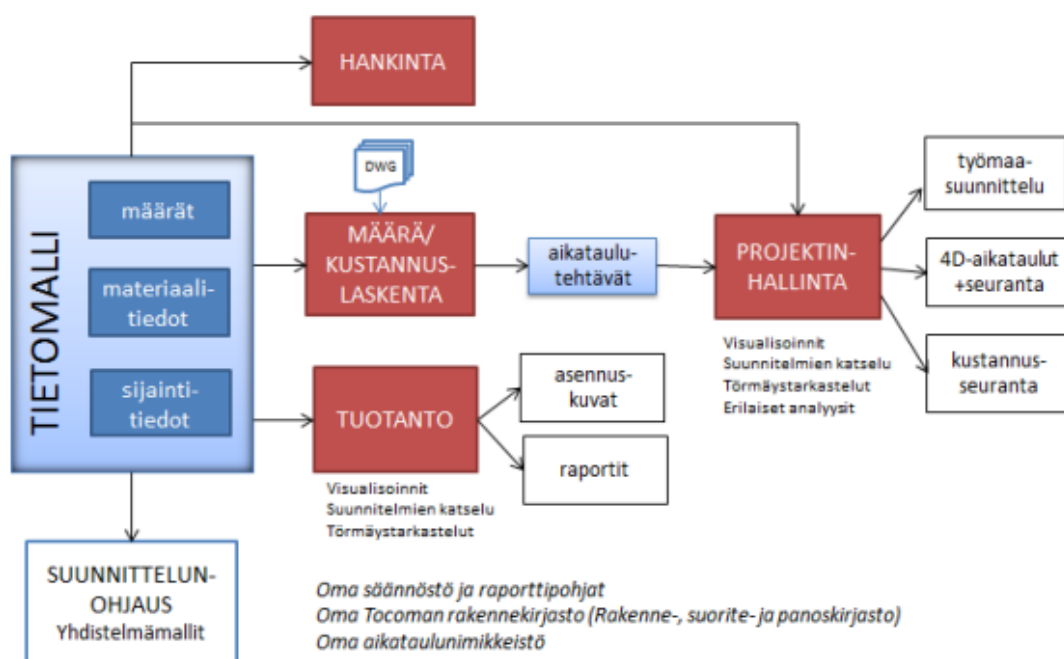
Kuva 5. Törmäystarkastelu TATE-rakennemallien kesken (Kulusjärvi 2012, osa 6)

Kuvassa 5 on nähtävissä yhdistelmämallin törmäystarkastelu, jossa ilmastointiputket ovat päällekkäin seinärakenteen kanssa. Törmäystarkastelut kattavat kaikki sähkö- ja LVI-järjestelmät. Törmäystarkasteluita voi tehdä myös arkkitehti- ja rakennekuvien välillä suoraan referenssikuvasta. Törmäystarkastelu säästää aikaa ja yhteistyö projektin eri osapuolten välillä helpottuu. Erilaisten asennusongelmien riski vähenee huomattavasti. (Magicad)

3 TIETOMALLI KATSELU SOVELLUKSET

3.1 Tietomallin käyttö tuotannossa

Tietomallia käytetään kustannus- ja määrälaskennassa, hankinnassa, tuotannossa ja projektinhallinnassa (kuvio 2). Tietomalli sisältää paljon määrätietoja jotka saadaan hyödynnettyä laskennassa ja hankinnoissa. Tuotannonohjauksessa voidaan hyödyntää mallia paikan päällä tehokkaasti katseluohjelmilla.



Kuvio 2. Tietomallin kustannus- ja määrälaskenta (Kulusjärvi 2012, osa 6)

3.2 Ohjelmistot

Ohjelmistot voidaan jaotella tietomallinnuksessa seuraavasti:

- suunnitteluohjelmistot
 - Tekla Structures
 - Revit
- tarkastus- ja analysointiohjelmat
- katseluohjelmat.

Tietomalliohjelmistoja on nykyään markkinoilla paljon, mutta tällä hetkellä ei ole olemassa sellaista tietomalliohjelmää, joka voisi kattaa kaikki rakennustuotannon tarpeet. Suurin osa nykyisistä ohjelmistoista on tehty suunnittelutarpeita ajatellen eikä tuotannonohjaukseen.

3.3 Tietomallisovellukset tableteille

Nykyään tietomallikatselusovelluksia tablet-laitteelle on useita. Niitä on saatavilla sekä maksullisina että ilmaisversioina. Maksulliset versiot ovat kattavampia sekä toimivampia. Sovelluksia kehitetään yhä enemmän työmaaympäristöön soveltuviksi tuotannon ohjauksen työkaluiksi. Vielä ei ole tarpeeksi kattavaa sovellusta, joka korvaisi täysin paperipiirustukset. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin useita eri ohjelmistoja, jotka voisivat soveltua projektinojaukseen. Tärkeimpiä ominaisuuksia, joita sovelluksella etsittiin, oli tietomallin visuaalinen tarkastelu, dokumentointi ja tiedonsiirto.

3.3.1 Sovellukset

Tablet sovelluksiksi on valittu (Apple) Ipadiin sopivat tietomallikatselu sovellukset, koska käytössä oli Apple air 2:n. Testauksen pääsovellukseksi valittiin *Tekla Field3D*, koska sitä käyttävät useimmat isot rakennusliikkeet Suomessa. Taulukossa 1 on lueteltuna, mitä eri ohjelmistoja tutkimustyön aikana käytettiin, ja millä käyttöjärjestelmällä ohjelmisto toimii.

TAULUKKO 1. Ohjelmistot, joita opinnäytetyön tutkimuksessa käytettiin

Ohjelmisto	Windows 7 ja 8	Android	Ios
Tekla Field3d			x
Tekla BIMsight	x		
BIMx		x	x
BIM+ explorer			x
AutoCAD 360	x	x	x
BIM 360 Glue/Field			x

3.3.2 Apple Ipad Air 2

Testaukseen valittiin Ipad Air 2, koska työn tilaajalla on ollut hyviä kokemuksia Ipadeista. Laitetta on saatavilla useilla eri variaatioilla, joiden suurimmat erot ovat tallennustilan määrässä ja datayhteysmahdollisuuksissa. Laitteen tarkemmat tekniset ominaisuudet löytyvät taulukosta 2.

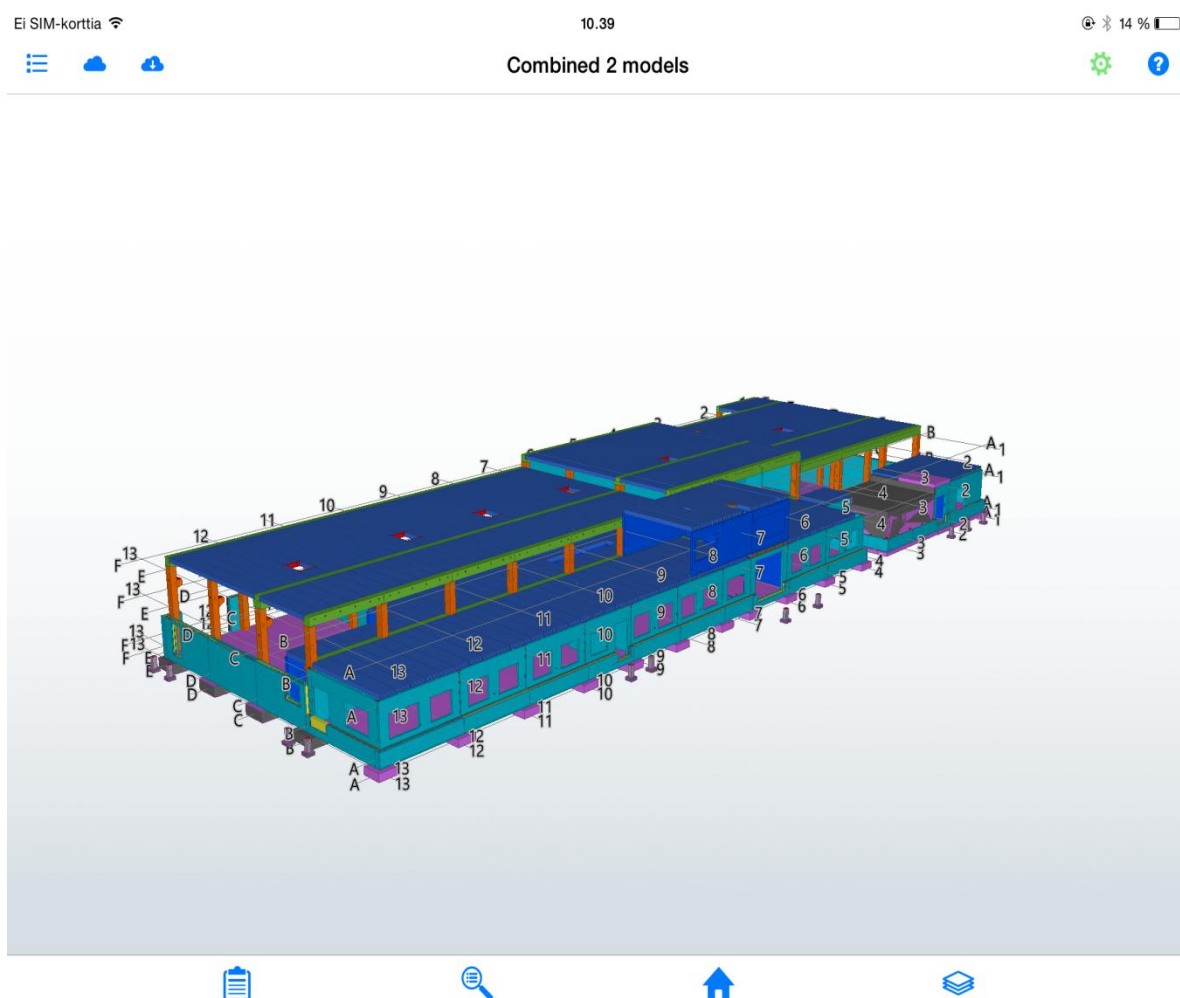
TAULUKKO 2. Apple Ipad Air 2 ominaisuudet (Apple)

Apple iPad Air 2 16GB Wifi/LTE tekniset tiedot	
Käyttöjärjestelmä	iOS 8.1, päivitettävissä iOS 8.2
Näyttö	9.7" Retina
Proessori	Apple A8X 64-bit (M8 Motion)
Talletustila	16 GB sisäänrakennettu talletustila
Yhteydet	Wifi, 3G/4G (LTE)
Kamera (takapuoli)	8 MP
Akku	27.3 WHr
Mitat (cm)	24,00 x 16,95 x 0,61
Paino (g)	444

3.3.3 Tekla field3D

Tekla Field3D on 3D-työkalu, joka hyödyntää tietomalleja Applen laitteissa. *Field3D* käsittelee suuria tietomalleja ja sillä voi myös katsoa rakenteen tietoja esimerkiksi korkoasemista ja painoista.

Tekla Field3D:llä voidaan jakaa malleja pilvipalveluiden kautta usealle mallinkäyttäjälle. Mallinkäyttäjät voivat yhdistää rakennemalliin omat alakohtaiset mallinsa. Talotekniikka-asentajille 3D-malli havainnollistaa hyvin kuinka tekniikka on suunniteltu asennettavaksi ja he voivat tehdä myös törmäys-tarkasteluja (kuva 6).

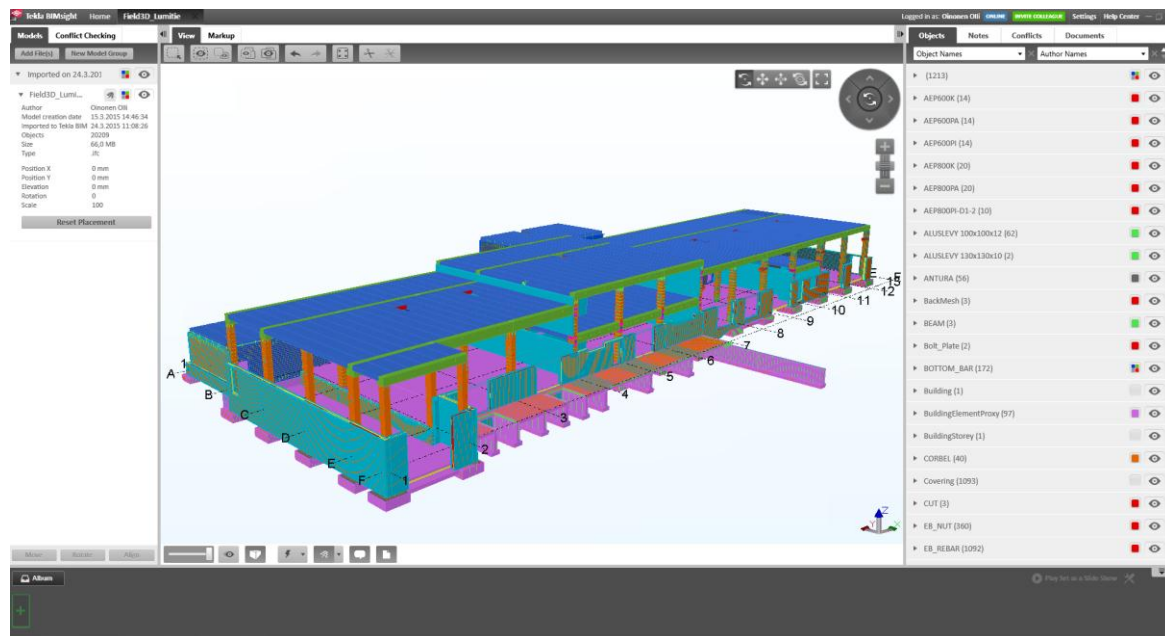


Kuva 6. Tekla Field3D aloitusnäky

Tekla Field3D on helppokäyttöinen, mutta toimintoja on mielestäni liian vähän. Toimintona pitäisi olla helppo tapa lisätä 2D piirustuksia rakenteeseen yms. Tietomalli ja yhdistelmämallit toimivat moitteettomasti ainakin Ipad Air2:lla.

3.3.4 Tekla BIMsight

Tekla BIMsight on helppokäyttöinen 3D-työkalu, joka hyödyntää tietomalleja Windows 7 ja 8 laitteissa. *BIMsight:llä* voidaan katsoa yhdistelmämalleja ja ratkaista mahdolliset ongelmat jo ennen varsinaisen työn aloittamista. *BIMsight* on ladattavissa verkosta ilmaiseksi.



Kuva 7. Tekla BIMsight aloitusnäky projektissa

Tekla BIMsight (kuva 7) on samankaltainen ohjelmisto kuin *Field3D*. Tämä ohjelmisto vaikuttaa huomattavasti raskaammalle kuin *Field3D*. Tablet-laitteella ohjelma on hyvinkin kankea, mutta pöytätietokoneella toimii hyvin. *BIMsightin* käyttö tutkimustyön aikana oli vähäistä, koska jo alkutuntuma antoi kuvan, ettei sovellus mahdollista nopeaa ja sujuvaa työskentelyä mobiililaitteella.

3.3.5 BIMx

BIMx on katseluohjelma, jossa liikutaan 3D-malleissa, jotka on luotu *ArchiCAD*-rakennussuunnittelu ohjelmistolla. Tämä ohjelma tukee myös 2D piirustuksia ja ne saadaan linkitettyä kuvaan tiettyyn paikkaan. *BIMx* toimii ios, android ja Windows käyttöjärjestelmissä. *BIMx* on suunnattu arkkitehteille ja rakennuttajille.

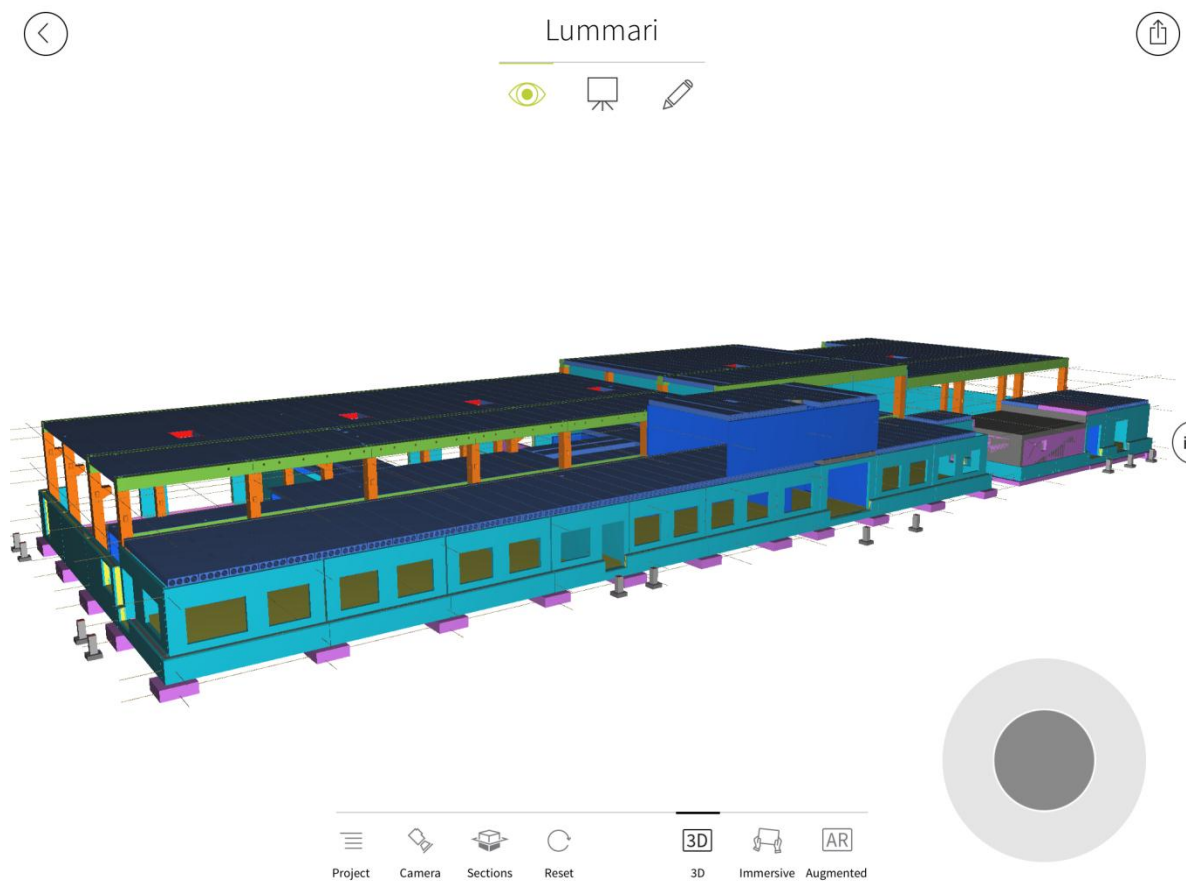


Kuva 8. BIMx näkymä

BIMx:n hyvä puoli on se, että se tukee myös 2D-piirustuksia, jotka ovat vielä tarpeellisia työmaalla. Tarvittavat detaljit saadaan linkitettyä tiettyyn elementtiin, kuten kuvassa 8 nähdään. Huonoja puolia ohjelmassa on, että se ei tue IFC-malleja joten *BIMx* ei ole soveltuva nykyisiltä osin yhdistelmämallien käyttöön.

3.3.6 Bim+ Explorer

Bim+ on helppokäyttöinen 3D-työkalu, joka hyödyntää tietomalleja kaikissa laitteissa. *Bim+*:lla voidaan katsoa yhdistelmämallia ja ratkaista mahdolliset ongelmat jo ennen varsinaisen työn aloittamista. *Bim+* perusversio on ladattavissa verkosta ilmaiseksi.



Kuva 9.

Bim+ on hyvin samankaltainen ohjelma kuin Tekla BIMsight. Mallin käsittely tabletilla on hiukan hankalaa, koska sormituntuma malliin on hyvin heikko. Tämän lisäksi tiedostojen ja kuvien ottaminen on hankalaa verrattuna *Teklan* ohjelmistoihin ja tätä myöten tiedonsiirto on myös hankalampaa.

3.3.7 AutoCAD 360 Mobile

AutoCAD 360 on ohjelmisto, joka tukee DWG, PDF ja jpg -tiedostoja. Ohjelmisto toimii älypuhelimella, tablet tai pöytätietokoneella. *AutoCAD 360 Mobile* on pääsääntöisesti 2D-kuvankatselu ja piirto-ohjelma. AutoCAD 360 on ilmainen ohjelma, josta mittojen ottaminen on helppoa, ja joka soveltuu hyvin 2D-kuvien katseluun.

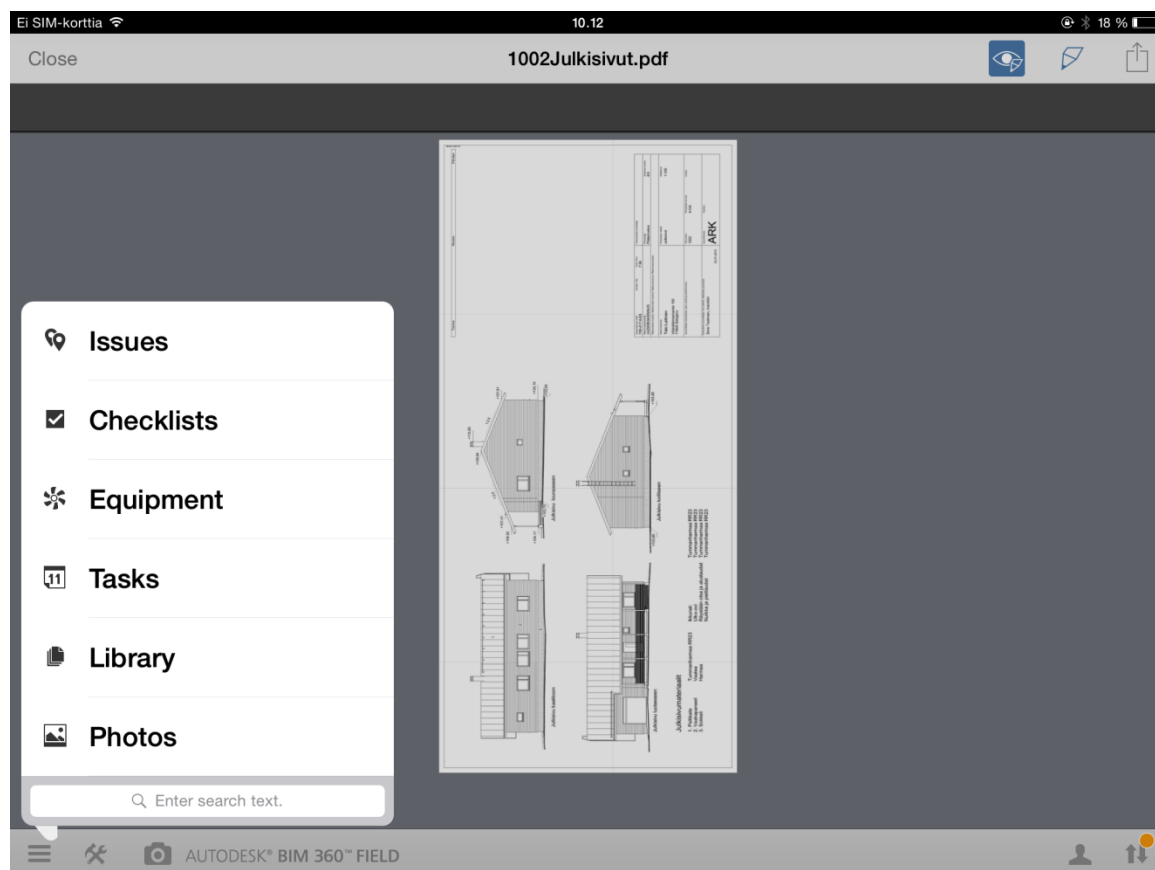


Kuva 10. AutoCAD 360 (Autocad 360)

AutoCAD 360 Mobile toimii hyvänä tukena tietomalli-katselusovellusten rinnalla, koska puuttuvien mittojen ottaminen on helppoa. Tässä ohjelmassa vaaditaan paljon sorminäppäryyttä ja laitteen näppärää käyttöä.

3.3.8 Bim 360 Glue ja Bim 360 Field

Bim 360 sovellukset ovat Autodeskin tuotteita. *Bim 360 Glue* on tietomallin katseluohjelmisto ja *Bim 360 Field* on projektin hallinta ohjelma. Nämä ohjelmistot ovat täysin pilvipalvelupohjaisia. Tämän seurauksen kaikki tabletilla tehtävät merkinnät siirtyvät reaaliaikaisesti kaikille projektin osapuolille.



Kuva 11. Näkymä Bim 360 Field valikosta

Kuten yllä olevasta kuvasta 11. näemme *Bim 360 Field* ohjelmistoon saa luotua omia tarkastuslistoja, kalenterimerkintöjä ja valokuvia. Lisäksi ohjelmistossa on kalenteri, jonka avulla mallin sisällä voidaan luoda palaverimerkintöjä ja katselmus palaverreja.

3.4 Sovellusten arviointi

Sovellusten käytön kriteereiden perustat tulivat havainnoista eri ohjelmistojen välillä ja, joita pidettiin tärkeinä tutkimuksessa.

Sovellusten käytön kriteerit muodostuivat tutkimustyössä tärkeinä pidetyistä ominaisuuksista ja ohjelmistojen testauksen aikana huomatuista ohjelmistojen eroista ja ominaisuuksista. Tässä työssä ei tarkastelussa käytetty yleisiä käytössä olevia menetelmiä tai listoja, esimerkiksi Nielsenin listaa.

Sovellusten käytön arviointi kriteereinä olivat:

- helppokäyttöisyys
- monipuolisuus
- renderointi tarkkuus
- ohjelman nopeus
- sisällön selkeys
- soveltuvuus projektin hallintaan
- dokumentointi
- tiedonsiirto
- valmiusaste esittäminen
- havainnollistaminen
- 2D kuvien linkitys

Taulukossa olevat arviot perustuu vain käyttäjän subjektiivisiin arviointeihin.

TAULUKKO 3. Tekla Field3D arviointi

Tekla Field3D	heikko	tydyttävä	hyvä	erinomainen
Helppokäyttöisyys			x	
Monipuolisuus	x			
Renderointi				x
Nopeus				x
Selkeys		x		
Soveltuvuus		x		
Dokumentointi			x	
Tiedonsiirto				x
Valmiusaste	x			
Havainnollistaminen			x	
Linkitys		x		

Arvosana Hyvä

TAULUKKO 4. Tekla BIMsight arviointi

Tekla BIMsight	heikko	tydyttävä	hyvä	erinomainen
Helppokäyttöisyys		x		
Monipuolisuus		x		
Renderoindi			x	
Nopeus			x	
Selkeys		x		
Soveltuvuus		x		
Dokumentointi		x		
Tiedonsiirto			x	
Valmiusaste		x		
Havainnollistaminen			x	
Linkitys		x		

Arvosana Tyydyttävä

TAULUKKO 5. BIMx arviointi

BIMx	heikko	tydyttävä	hyvä	erinomainen
Helppokäyttöisyys			x	
Monipuolisuus		x		
Renderoindi				x
Nopeus				x
Selkeys		x		
Soveltuvuus	x			
Dokumentointi	x			
Tiedonsiirto		x		
Valmiusaste	x			
Havainnollistaminen				x
Linkitys				x

Arvosana Hyvä

TAULUKKO 6. BIM+ Explorer arviointi

BIM+ Explorer	heikko	tydyttävä	hyvä	erinomainen
Helppokäyttöisyys		x		
Monipuolisuus		x		
Renderoindi		x		
Nopeus	x			
Selkeys		x		
Soveltuvuus	x			
Dokumentointi		x		
Tiedonsiirto		x		
Valmiusaste	x			
Havainnollistaminen			x	
Linkitys		x		

Arvosana Tyydyttävä

TAULUKKO 7. Autocad 360 arviointi

Autocad 360	heikko	tydyttävä	hyvä	erinomainen
Helppokäyttöisyys		x		
Monipuolisuus		x		
Renderointi	x			
Nopeus			x	
Selkeys	x			
Soveltuvuus	x			
Dokumentointi	x			
Tiedonsiirto		x		
Valmiusaste	x			
Havainnollistaminen	x			
Linkitys	x			

Ei voida verrata muihin, koska ei avaa IFC tiedostoa.

Arvosana Heikko

4 TIETOMALLIEN HYÖDYNTÄMINEN ELEMENTTIURAKASSA

Eri ohjelmistojen vertailun perusteella opinnäytetyössä tehtyyn tutkimukseen valittiin *Tekla Field3D*. Tekla Field3D valittiin, koska se alkutuntuma oli hyvä ja sitä käytetään suurissa rakennusliikkeissä Suomessa. Tutkimuskohteen käytettiin Kuopiossa rakenteilla olevaa Lumitien tehdashallia ja Sipoossa rakennettavaa SOK:n logistiikka keskusta.

Alla olevassa listassa on aiheet, joihin työssä lähdettiin etsimään vastauksia

- katselmusdokumentointi
- reklaamaatioiden kohdentaminen
 - Kohdentamista mahdollisista virheistä, kenen virhe mahdollisesti on
- työntekijöiden ohjeistus ja opastaminen
 - Työntekijöille ohjeistusta havainnoinnin avulla mallista minkälaiselle rakenne/rakennus tulisi näyttää valmiina
- valmiusasteiden dokumentointi
 - Valmiusasteiden merkitseminen malliin, esimerkiksi "suunniteltu", "valmistettu" ja "asennettu"
- tiedonsiirto
 - Tiedonsiirtoa eri osapuolten välillä tietomallin sisällä
- vastaanotto dokumentointi
- yhdistäminen rakennuksen elinkaareen
 - Tietomallin yhdistäminen rakennuksen elinkaareen
- henkilöstön tekniset edellytykset
 - Henkilöstön tekniset edellytykset mitä heiltä vaaditaan tietomallin käyttöön ottoon
- kustannukset
 - Kuinka paljon tietomallin käyttöönotto tulisi maksamaan mobiili sovelluksilla
- saavutettavat hyödyt
 - Analyysi saavutettavista hyödyistä, esimerkiksi kustannus säästöistä

4.1 Dokumentointi

Tekla Field3D sovelluksen avulla voidaan dokumentoida kuvin ja sanoin jotakin elementtiä tai sen osaa. Näin ollen dokumentointi on hyvin yksinkertaista ja sen voi tehdä melkein kuka vain.

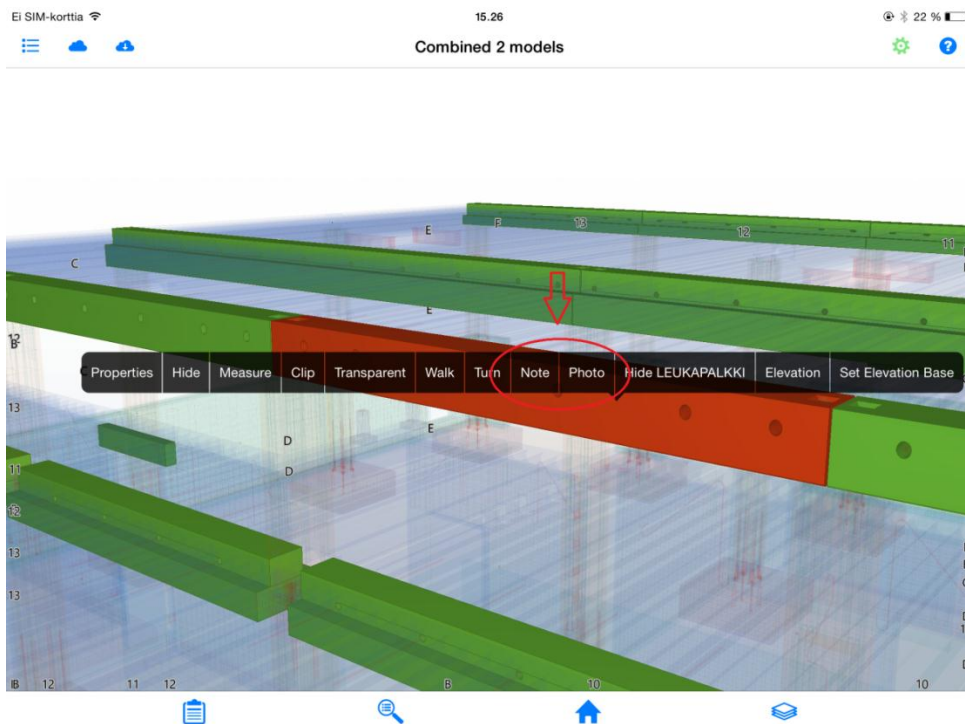
Mikäli malli on laadittu oikein, elementtien haku tapahtuu *Tekla Field3D* sovelluksella seuraavasti;

- Valitaan search elements ja kirjoitetaan property valuen kohdalle elementti tunnuksen pelkkä numero-osa tai osoitetaan sormella haluttua elementtiä ja klikataan, jolloin esille tulee valikko.



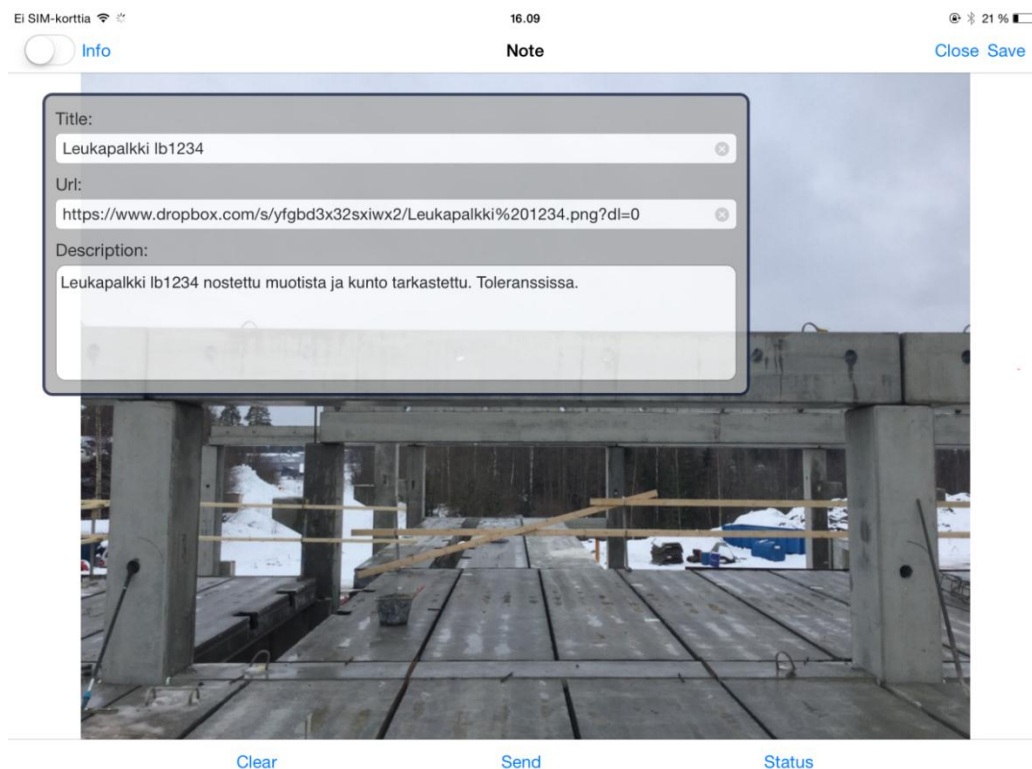
Kuva 12. Etsi-valikko

- Seuraavaksi valitaan elementti, jonka seurauksena tulee näkyviin päävalikko.



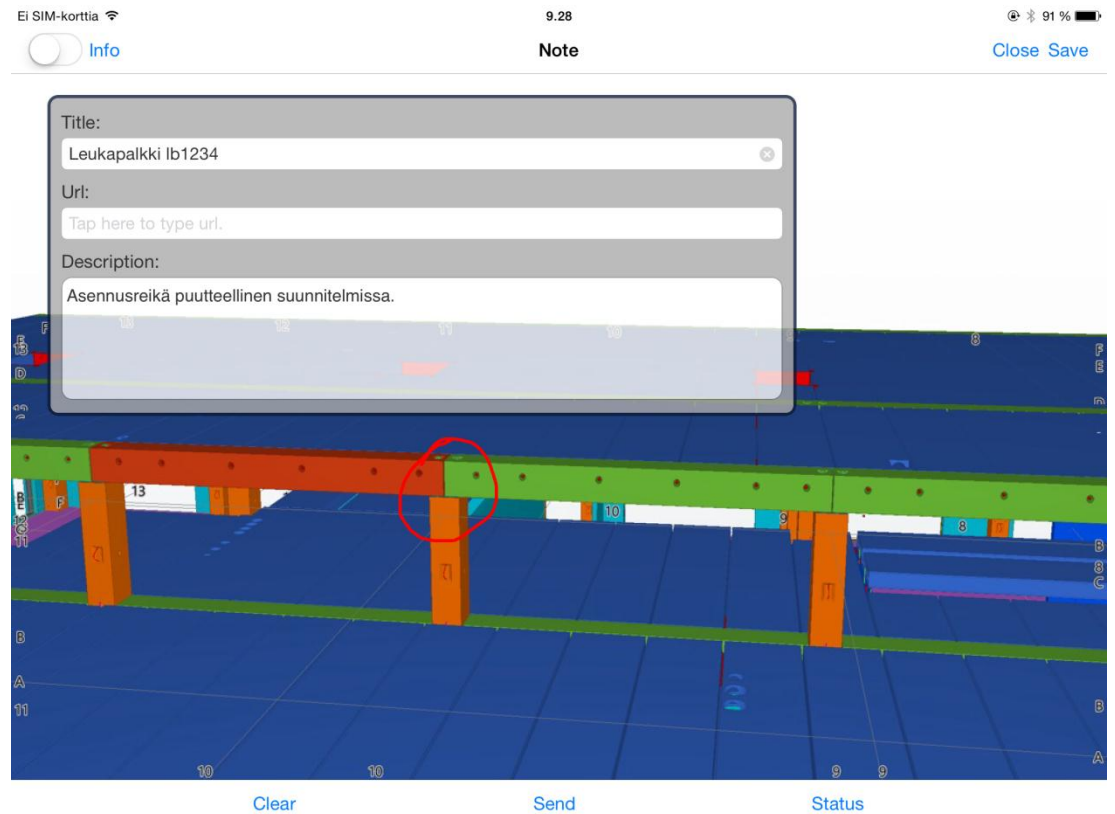
Kuva 13. Päävalikko

- Seuraavaksi valitaan haluttu toiminto dokumentointiin photo tai note, kuten yläpuolen kuvassa on osoitettu.
- Kun kuva on otettu, niin siihen voidaan määrittää otsikko ja mahdollisesti luoda url-linkki, jossa elementin 2D kuvat sijaitsevat.



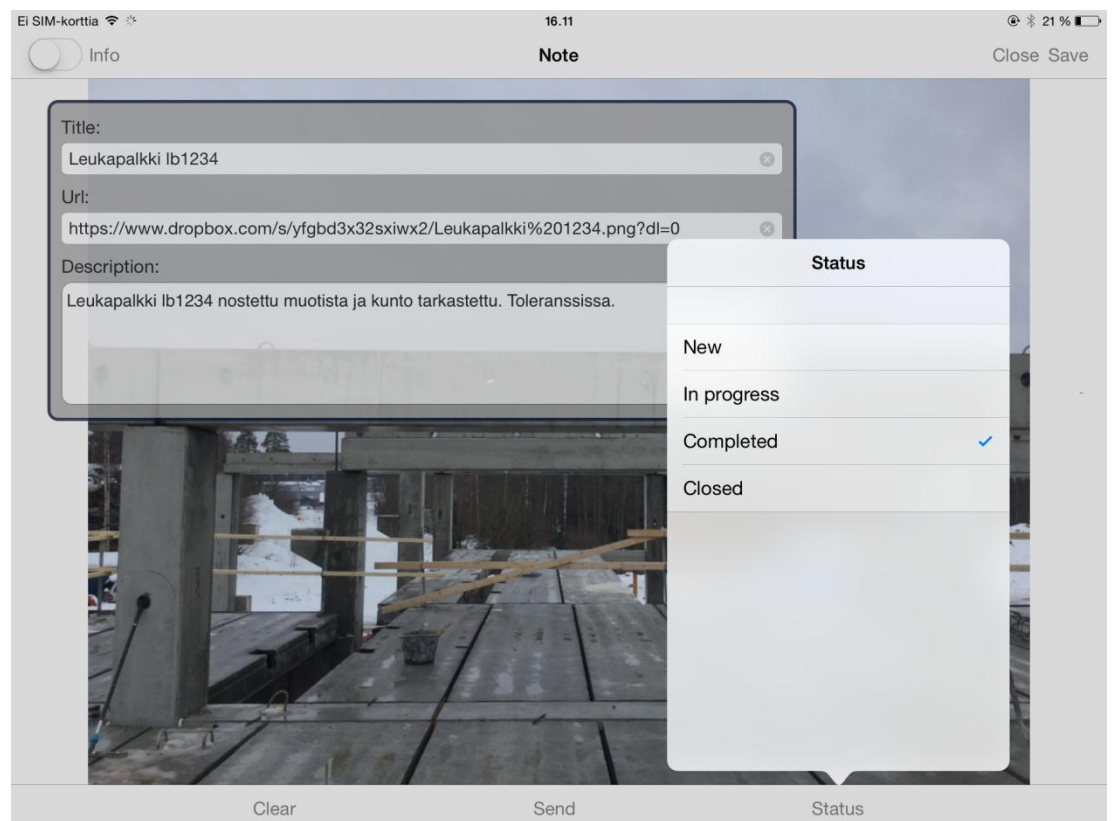
Kuva 14. Dokumentointikuva asennetusta elementistä

➤ Vaihtoehtoisesti note



Kuva 15. Suunnitelmassa olevan virheen havaitsemisen merkintä

➤ Seuraavaksi voidaan luoda "tila" painamalla oikeata alanurkasta status painiketta.



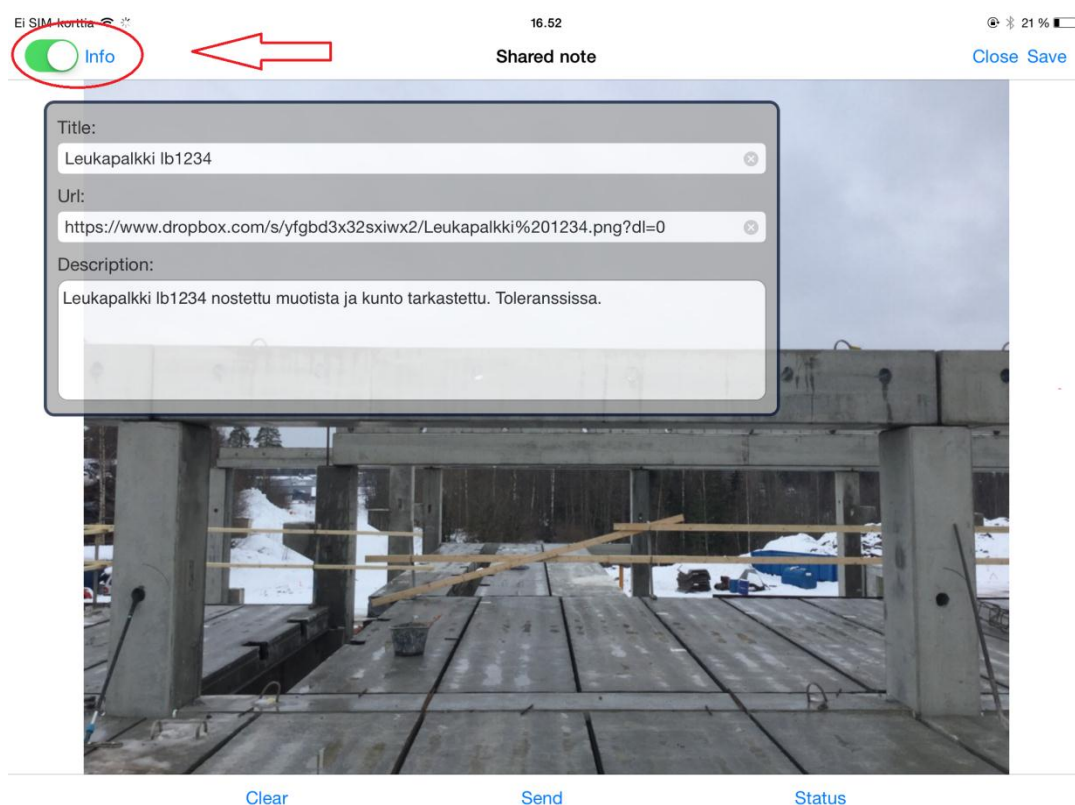
Kuva 16. Tilan valitseminen

Tilavalikossa voisi olla enemmän vaihtoehtoja. Valikossa voisi olla tilat: suunniteltu, valmistettu, lähetetty, vastaanotettu, asennettu ja luovutettu. Näin ollen se tukisi paremmin elementin elinkaarta.

4.2 Tiedonsiirto

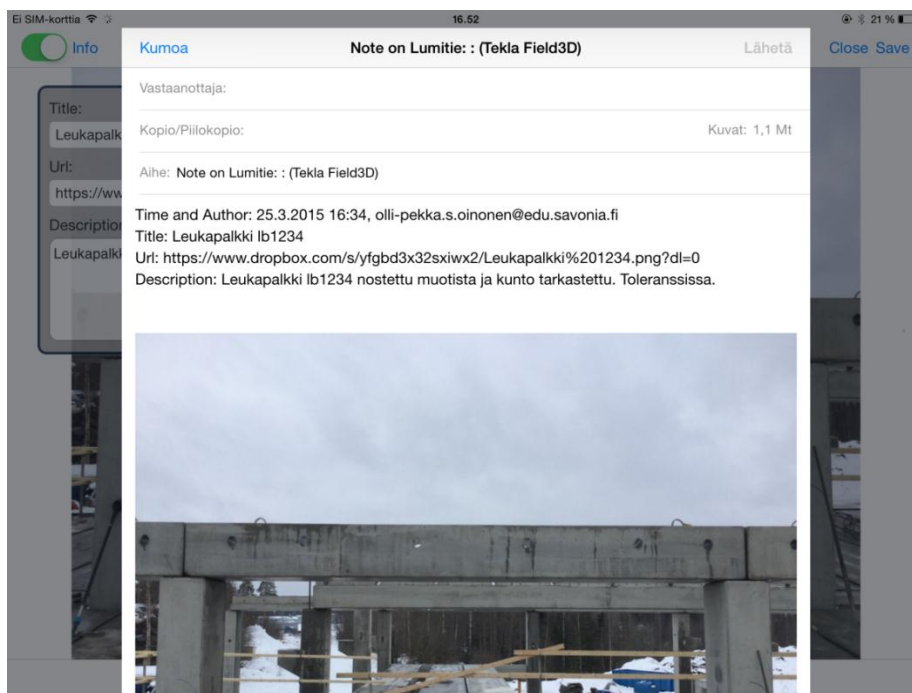
Tiedonsiirto suunnittelijoiden, tehtaiden ja työmaan välillä voidaan toteuttaa *Tekla Field3D* sovelluksella. Sillä voidaan siirtää tietoa mallin sisällä tai lähettää mallista suoraan sähköpostia. Tiedonsiirto tapahtuu seuraavasti.

- Tiedon siirtäminen mallin sisällä muille mallin käyttäjille tapahtuu siten, että kun malliin on lisätty kuva ja/tai huomautus, painetaan vasemmalla ylänurkassa olevaa info-painiketta, jolloin painike muuttuu vihreäksi, ja kuva sekä huomautus menee jakoon muille mallin käyttäjille.



Kuva 17. Mallin sisäinen viestintä

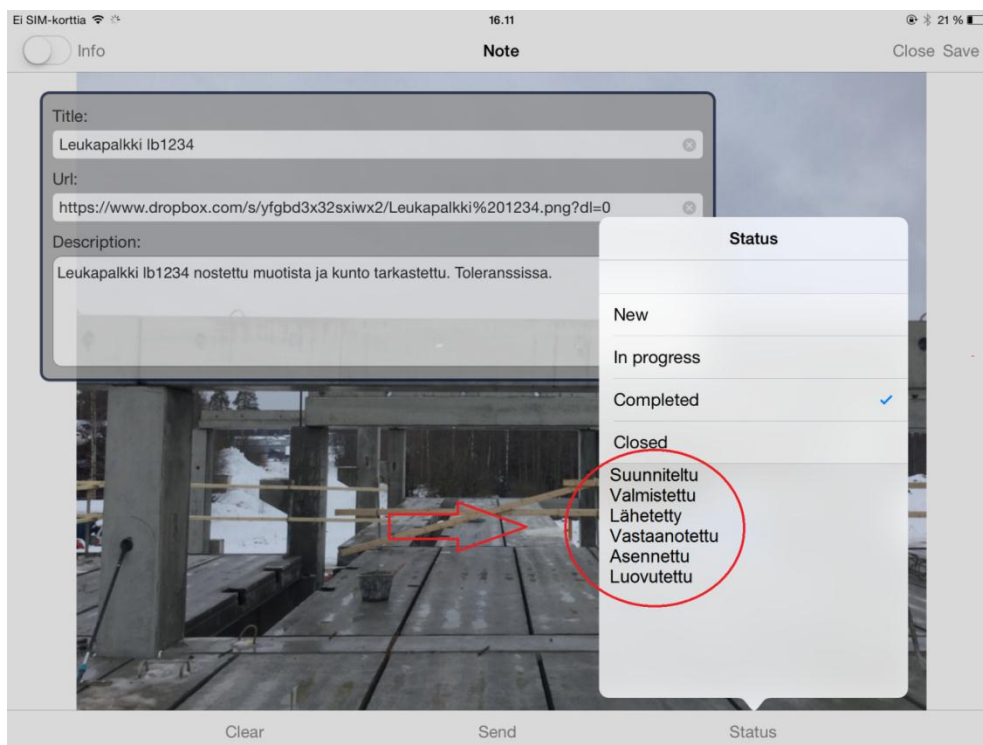
Tiedon siirtäminen sähköpostilla tapahtuu siten, että kun malliin on lisätty kuva ja/tai huomautus, painetaan alhaalla keskellä olevaa send-painiketta, jolloin kuva ja huomautus voidaan lähettää suoraan haluttuun sähköpostiin.



Kuva 18. Suoraan Tekla Field3D- ohjelmasta sähköpostin lähetyks.

4.3 Elementin valmiusaste

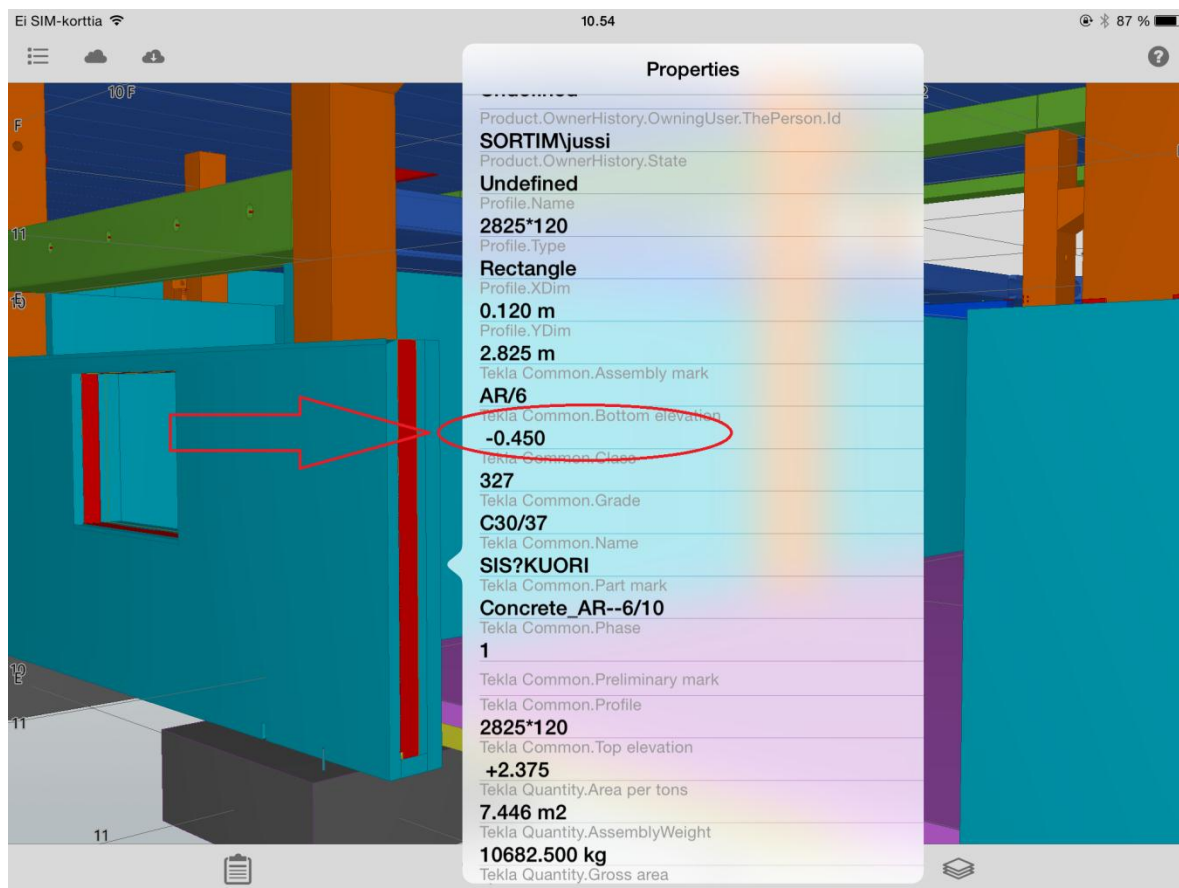
Tekla Field3D:hen elementtien tilan merkitseminen on elementtien elinkaaren näkökulmasta vielä puutteellista. Mielestäni tilavalikossa voisi olla tilat "suunniteltu", "valmistettu", "lähetytty", "vastaanotettu" ja "asennettu" kuten seuraavassa kuvassa on kirjattu.



Kuva 19. Elementin tilavalikko Tekla Field3D sovelluksesta paranteluineen.

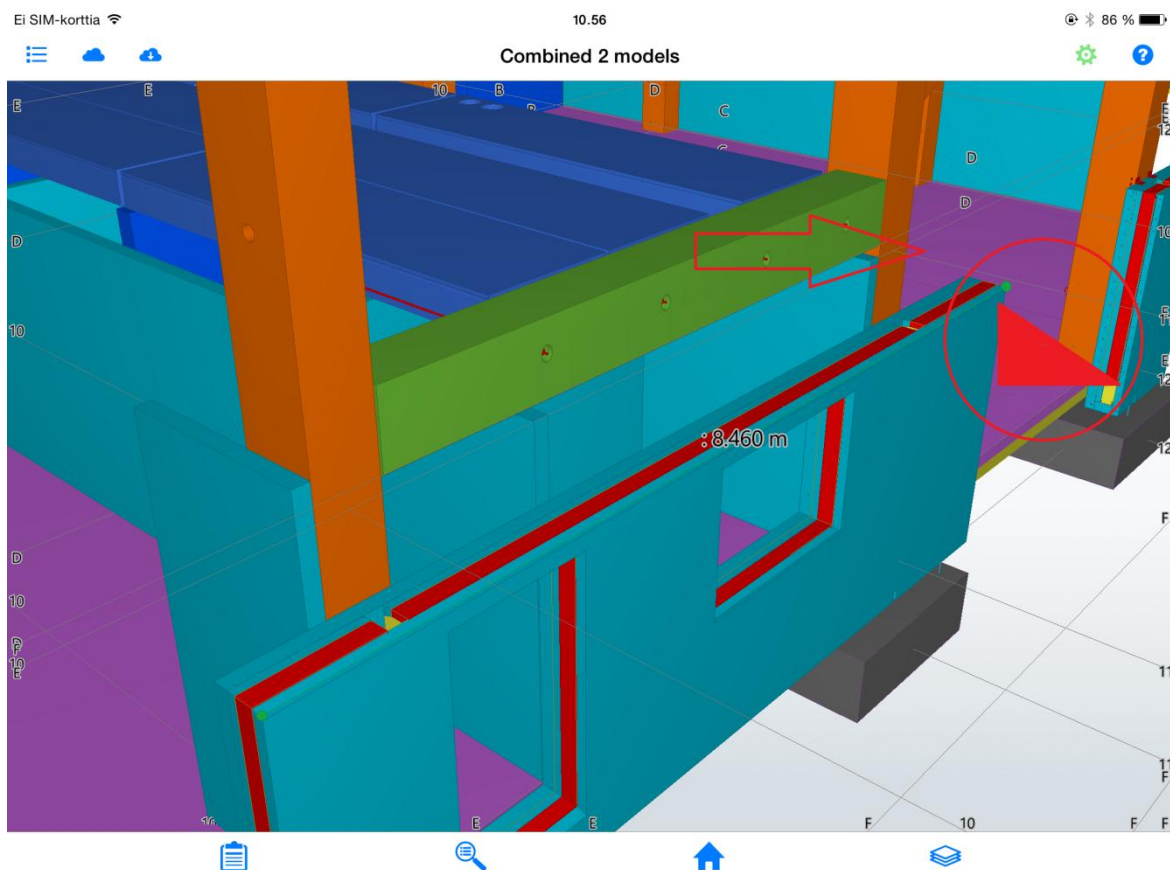
4.4 Työntekijöiden opastaminen ja ohjeistus

Työntekijöitä voidaan opastaa ja ohjeistaa Tekla Field3D-sovelluksen avulla havainnollistamalla mallista kolmiulotteisen kuvan avulla. Kolmiulotteisen mallin avulla työntekijälle voidaan ilmaista visuaalisesti mitenkä elementit täytyy asentaa. Tietomallista löytyy myös elementtien korot hyvin selkeästi properties-valikosta.



Kuva 20. Properties-valikko Tekla Field3D- sovelluksesta.

Kuvassa on näkymä properties-valikosta, jossa elementin pohjakorko on osoitettu nuolella. Properties-valikkoa pitäisi voida muokata yksilöllisesti, koska osa properties valikon tiedoista ovat ylimääräisiä elementtityön näkökulmasta.

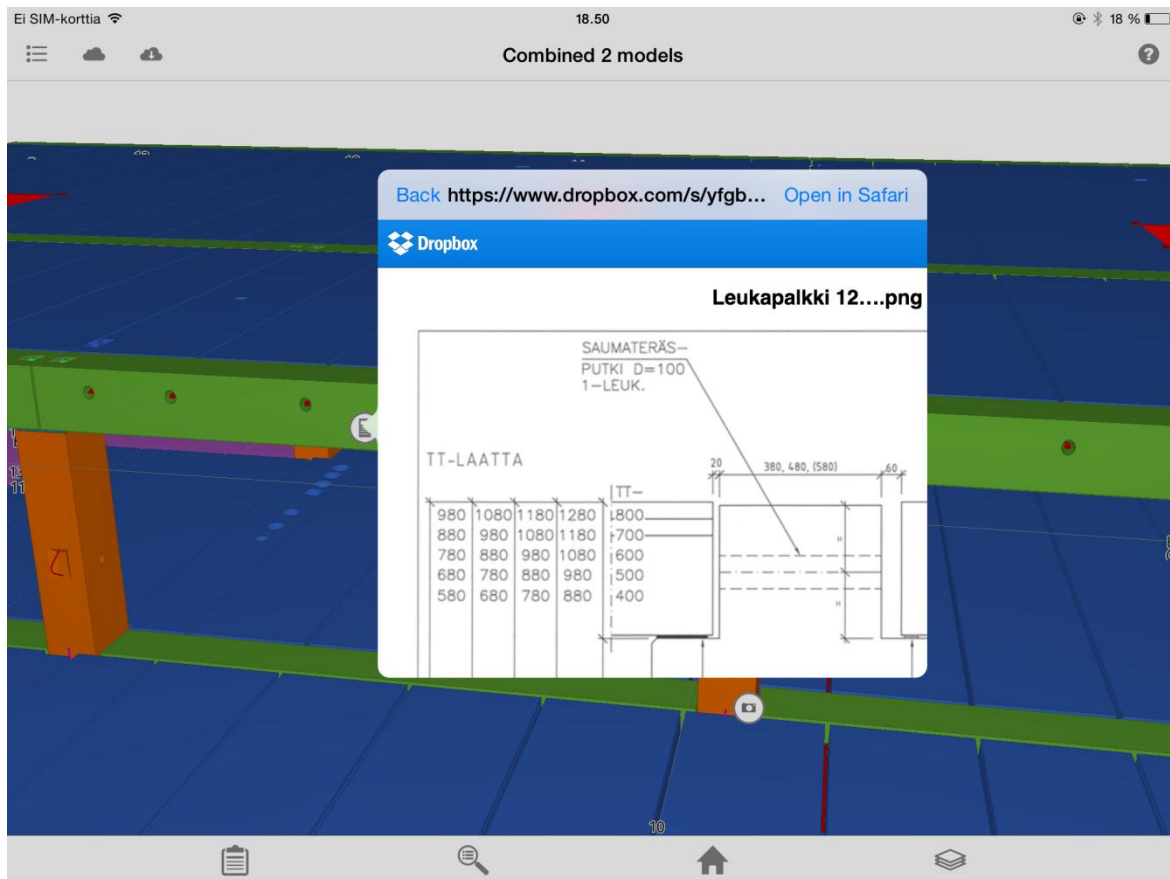


Kuva 21. Mittaus-komento Tekla Field3D ohjelmasta.

Mallista voidaan tarvittaessa ottaa myös mittoja, mikä on jokseenkin hankalaa ja vaatii erityistä sorminäppäryyttä. Mittaus-komennossa pitäisi olla mahdollisuus ottaa helposti suorakulmamittoja tai 45° kulmamittoja, kuten kuvassa 21. on ilmaistu.

4.5 2D piirustusten linkittäminen malliin

Tekla Field3D:hen saadaan liitettyä elementtiin tiedostoja, jotka ovat verkossa tai pilvipalvelussa esimerkiksi dropbox:ssa. Tiedostojen liittäminen malliin urlkoodin avulla voi olla hyvin työlästä, etenkin jos elementtejä on paljon. Pilvipalvelun kansiojako täytyy olla todella selkeä, että tätä toimintoa voisi hyödyntää tehokkaasti.



Kuva 22. Kuvassa näkyy linkitetty 2D-kuva tietomalliin pilvipalvelusta.

4.6 Reklamaatioiden kohdistaminen

Reklamaatioiden kohdistamiseen tarvitaan tarkkaa dokumentointia ja selvityksiä missä vaiheessa elementti tai sen osa on ollut kunnossa. Tarkan dokumentoinnin avulla saadaan selvitettyä missä vaiheessa virhe, puute tai rikkoontuminen on tapahtunut. Näin ollen voidaan paikantaa hetki, jolloin virhe on tapahtunut.

4.7 Elementtien tietokannan yhdistäminen rakennuksen elinkaareen

Tietomalli säilyttää siihen merkatut dokumentti-kuvat ja asiakirjat, joten tietomallista voidaan tarvittaessa katsoa onko kyseisessä elementissä ollut joskus jotain puutteita tai korjauksia. Näin ollen mahdollisesti joskus tulevat muutostyöt laajennukset ja rakennustyöt voidaan suunnitella oikein, mikäli elementti tai sen osa on muuttunut alkuperäisistä kuvista.

5 TULOKSET

Tekla-mallia voi hyödyntää elementtiurakassa työmaalla tablet-tietokone sovelluksilla. Sovelluksen täytyy tukea IFC-tiedostoa, jotta Tekla mallit toimivat. Natiivimallista IFC- malliksi muuttamisessa pitää huolehtia, että IFC- mallin tasot ovat kutakin työryhmää palvelevat ja ylimääräiset tasot saadaan poistettua mallista vaivattomasti. Suunnittelijoille täytyisi luoda oma suunnitteluohje joka palvelee myös tuotantoa. Tutkimustyön aikana selvisi, että parhaat katselusovellukset ovat: Tekla Field3D ja BIM 360 -tuotesarja.

Tekla Field3D on yksinkertainen ohjelmisto, joka on helppokäyttöinen ja jota voi käyttää vaivattomasti dokumentointiin, tiedonsiirtoon ja havainnollistamiseen. Mikäli Field3D:tä haluttaisiin käyttää sujuvasti elementtityön projektinohjauksessa, täytyisi ohjelmistossa olla QR- tai viivakoodi -haku, jonka avulla elementin tarvittavat 2D kuvat löytyisivät ja tarvittavat merkinnät saataisiin lisättyä suoraan QR-koodin taakse. Tämä edellyttäisi myös sen, että elementin tunnistetiedoista löytyisi QR-koodi.

BIM 360 -tuotesarja on Autodeskin tuote ja se sisältää ohjelmistot BIM 360 Field, BIM 360 Layout ja BIM 360 Glue. Tämä ohjelmistosarja vaikutti hyvältä kokonaisvaltaiseen projektinohjaukseen, koska ohjelmisto oli monipuolinen, joskin hiukan hankala. Hyviä puolia ohjelmistossa on, että ohjelmistoon voidaan lisätä mm. tarkastuslistoja, valokuvia ja 2D kuvia. Lisäksi ohjelmistossa on viivakoodi ja QR-koodi -lukija, jonka avulla ainakin dokumentit ja valokuvat saadaan linkattua QR-koodin taakse.

5.1 Henkilöstön tekniset edellytykset

Tietomallin peruskäyttäminen tabletilla vaatii kohtalaiset tietotekniikkataidot ja jonkin verran englanninkielen taitoa. Henkilöstöä täytyy opastaa ja perehdyttää ohjelmiston käyttöön, jotta mallin käyttö olisi mahdollisimman tehokasta. Harjaantunut tietomallin käyttö vaatii jo enemmän tietotekniikan osaamista ja englanninkielen taitoja, jotta käyttäjä voi käyttää tehokkaasti useampia toimintoja. Tämä kuitenkin vaatii, että organisaatiossa on henkilö, joka tekee oikeanlaisen IFC- mallin ja mahdollisen pilvipalveluprojektipankin, josta tiedostot löytyisivät.

5.2 Tabletin käyttö kustannukset

Tietomallin käyttöönoton kustannukset tabletille ovat:

Apple Ipad AIR2	595€ alv.24%
Suojakuori otherbox	99,99€ alv.24%
Tekla Field3D	39,95€ alv.24%/3kk

Laitteen käyttöikä on 2 vuotta, joten kuukausikohtaiseksi kustannukseksi tulisi olemaan $24,80€ + 4,17 + 13,32€ = 32,29€/kk$ per laite. Lisäksi on otettava huomioon myös henkilöstön koulutus tarpeet. Tarvittavat perusteet saadaan opetettua noin 6-8 tunnin opintoina.

5.3 Saavutettavat hyödyt

Tablet-tietokoneen tuomia etuja projektin ohjauksessa on monia mikäli tietotekniset taidot ovat käyttäjällä hyvät. Koneen mukana kulkevat kaikki tarvittavat kuvat, dokumentit ja muistiot. Tällä hetkellä tämä kuitenkin vaatii, että kuvat ja dokumentit tallennetaan erikseen koneelle. Käyttö olisi paljon tehokkaampaa, mikäli käyttäjät saisivat käyttöön pilvipohjaisen projektipankin.

Tietomallikatselu-ohjelmista on työmaalla hyötyä ainakin suuremmissa kohteissa, koska mallin avulla pystytään havainnollistamaan kokonaiskuvaa ja mahdolliset puutteet voidaan merkata malliin heti kun ne on huomattu. Malliin merkityn virheen tai dokumentin voi laittaa jakoon sekä mallin sisällä että sähköpostilla. Nopean tiedonsiirron ja ammattitaitoisen työnjohdon ansiosta saadaan virheen toistuvuus katkaistua nopeasti ja mahdolliset korjaustyöt vähenevät työmaalla, koska tehtaalla on jo ehditty reagoimaan virheeseen. Tarkan dokumentoinnin seurauksena saadaan elementille kattava elinkaari aina valmistamisesta luovutukseen. Dokumentoinnin ansiosta voidaan ilmaista omasta organisaatiosta riippumattomat virheet tai hajoamiset. Tämän seurauksena mahdolliset oman organisaation kohdistuvat reklamaatiot saadaan kohdennettua pois oman yhtiön työstä.

Mobiilisovelluksien tehokas käyttäminen työmaalla lisää työnjohdon tehokkuutta ja ylimääräisten paperikopioiden vähentämistä, joka tuo kustannussäästöjä. Nopea tiedonkulku ja tiedonsiirto on mobiilisovelluksien vahva puoli. Tiedonsiirron ansiosta mahdolliset virheet ja puutteet saadaan ratkaistua nopeasti, mikä tuo kustannussäästöjä. Parhaan ja tehokkaimman tuloksen saa, kun työnjohtajat ovat päteviä omaan työhönsä ja heillä on halu kehittyä tulevaisuuden rakentamisessa tietomalliym-
päristöissä.

6 YHTEENVETO

Rakennusalalla tietomallia on hyödynnetty jo vuosia suunnittelussa, mutta tietomallin hyötyihin projektinohjauksessa on kiinnitetty huomiota vasta viime vuosina. Tietomallin käyttö projektinohjauksessa on selvästi kasvamassa ja rakentamisessa sitä halutaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Insinööriyön päätavoitteena oli selvittää elementtirakentamisen näkökulmasta tietomallin hyödyt ja haasteet sekä etsiä keinoja hyödyntää tietomallia tehokkaasti. Kartoituksen perusteella tietomallin käyttäjille tarvittaisiin koulutusta, ja tietomallikatselusovelluksiin kehitystä, joka kattaisi projektinohjauksen haasteet. Uskon, että tietomallia voidaan hyödyntää tehokkaasti projektinohjauksessa jo lähitulevaisuudessa.

Mikäli tietomallia halutaan käyttää projektinohjauksen apuvälineenä kokonaisvaltaisesti, niin tietomallin käyttö vaatii todella hyvät tietotekniikan ja tietomallin käyttötaidot. Tietomallia tullaan tulevaisuudessa hyödyntämään paljon enemmän sen kehittyttyä, mutta tietomalli ei tule poistamaan paperipiirustuksia vielä vähään aikaan. Tulevaisuudessa pilvipalveluiden avulla paperipiirustukset ja muut dokumentit tulisivat vähenemään. Projektipankin tulisi sijaita pilvipalvelussa, jolloin tieto olisi yhdessä paikassa ja reaaliaikaisesti jaettavissa eri toimijoiden kesken. Tietomallia tullaan lähitulevaisuudessa hyödyntämään paljon suuriin projekteihin, mutta tuskin tulee käyttöön lähiaikoina pieniin rakennusprojekteihin projektinohjauksessa. Tietomallin käyttö vaatii tarkkaa perehtymistä ohjelmistoon ja orientoitumista asiaa kohtaan.

Tulevaisuudessa mobiilisovellusten tehokas käyttäminen projektinohjauksessa on varmasti mahdollista toteuttaa tietoyhteiskunnan ja teknologian ydinosaamisen kehittyessä, mutta mielestäni hyvä projektinohjaus lähtee kuitenkin ammattitaitoisesta työnjohdosta. Monet suunnittelijat ja muutamat rakennusurakoitsijat panostavat tietomallin käyttöön ja kehitykseen. Tietomalliosaaminen tulee olemaan osana kehittyvää organisaatiomallia. Tätä mallia käyttävät yritykset tulevat saamaan suuren kilpailuedun, koska vastaavaa ammattitaitoa edustavat jotkin alanedustajat ”piirtelee kynällä tupakiasikin kanteen omia mallejaan”. Reaaliaikaisen laadunvalvonnan dokumentaation jakaminen eri toimijoiden kesken antaa luotettavan ja hyvän vaikutelman yhtiöstä. Tietomallintamisen peruskulmakiviä tulevat olemaan mielestäni luotettavuus, yhteisöllisyys, tasapuolisuus, sekä osaamisen kehittäminen. Uskon, että toimijat, jotka ovat pioneeriasemassa tämän toimintatavan kehittämisessä ja käyttämisessä, tulevat saamaan suuria kustannussäästöjä. Reaaliaikaisen laadunvalvonnan ansiosta mahdolliset toistuvat tai epäsäännölliset työvirheet saadaan esiin, joten virheisiin voidaan reagoida mahdollisimman nopeasti. Reagoimalla virheeseen nopeasti, saadaan työvirheen elinkaari loppumaan nopeasti, jonka seurauksena korjauskustannukset pienenevät.

Rakennustyömaalla tietomallin katselusovelluksista halutaan nykyään helppokäyttöisiä ja selkeitä. Kuitenkin helppokäyttöinen ja kattava sovellus ei mahdu samaan ohjelmistoon. Sovellukseen pitäisi luoda täysin kattava tietomallipohjainen projektipankki, jossa on dokumentoituna kaikki rakennusta ja sen osia koskevat tiedot niin suunnittelun, rakentamisen, käytön ja huollon ajalta. Tämä mahdollistaisi kokonaisvaltaisen rakennuksen elinkaarensurannan ja mahdollisesti käytönajalta tapahtuvan huollon ja laajennusten tai muun rakennusteknillisen työn esivalmisteluiden, kuten suunnittelun hel-

pottamista. Mielestäni helpommalla työllä saadaan edullisempia käyttöajan korjauksia, kuten esimerkiksi peruskorjauksia tai perusparannuksia.

Elementtirakentamisen näkökulmasta tietomallista on jo hyötyjä. Sovellusten avulla tietomallista saadaan tarpeellisia tietoja nopeasti ja tehokkaasti. Tehokkaan käytön edellytyksenä on tuotannon hyvä tietomalliosaaminen. Lisäksi tehokkaampaan työskentelyyn tarvittaisiin kehitystä tablet tietomallisovelluksiin. Merkittävämpiä hyviä puolia Tekla Field3D -sovelluksessa tällä hetkellä on: havainnollistaminen, reaaliaikaisuus tiedonsiirrossa ja rakenteiden tietojen poiminta.

Lähteet

- Apple [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-04-20] Saatavissa: <https://www.apple.com/fi/ipad-air-2/specs/>
- Autocad 360 [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-03-02] Saatavissa: <https://www.autocad360.com/free-cad-software/>
- Buildingsmart [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-04-20] Saatavissa: <http://www.buildingsmart.fi/5>
- KULUSJÄRVI, Heikki 2012, osa 6. Yleiset tietomallivaatimukset, Osa 6, laadunvarmistus. Saatavissa: http://files.kotisivukone.com/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_6_laadunvarmistus.pdf
- LEINONEN, Iiro ja METELINEN, Miro 2014. Rakennuksen tietomallin käyttö mobiililaitteilla. Saimaan ammattikorkeakoulu. Tietotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 2015-03-6] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2014112717214>
- Magicad.fi a [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-02-20] Saatavissa: <http://www.magicad.com/fi/content/valitse-bim-sovellus-johon-voit-luottaa-myos-tulevaisuudessa>
- Magicad.fi b [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-04-20] Saatavissa: <http://www.magicad.com/fi/content/t%C3%B6rm%C3%A4ystarkastelut-s%C3%A4st%C3%A4v%C3%A4t-aikaa>
- RAZAQI, Omar 2014. Tietomallin hyödyntäminen työmaalla. Turun ammattikorkeakoulu. Rakennus-alantyönjohdon koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 2015-04-14] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2014120117606>
- Tekla.fi [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-03-15] Saatavissa: <http://www.tekla.com/fi/ratkaisut>
- VTT.fi [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-05-06] Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2013/VTT-R-03335-13.pdf>