

Topi Sarajärvi

## **TEOLLISUUDEN TIETOMALLIEN HALLINTA**

# **TEOLLISUUDEN TIETOMALLIEN HALLINTA**

Topi Sarajärvi  
Opinnäytetyö  
Kevät 2019  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Topi Sarajärvi

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Teollisuuden tietomallien hallinta

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Management of industrial information models

Työn ohjaajat: Timo Kiviahde, Olli Nurmesniemi, Markku Seppänen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2019

Sivumäärä: 77

---

Teollisuuden hankkeissa tietomallien hyödyntämisen tarve on lisääntynyt huomattavasti viime aikoina. Tähän tarpeeseen Sweco Industry Oy on kehittänyt Sweco@ModelSafe-teollisuuden tietomallien hallinta- ja tarkastuspalvelun. Palvelu varmistaa, että asiakkaan tietomallien data on ajantasaista, tarkastettua, kattavaa ja käyttökelpoista myös tulevaisuudessa. Työn tarkoituksena on laatia alustava ohjeistus, jonka pohjalta palvelun lopullinen ohjeistus laaditaan. Ohjeistus ohjaa palvelun alla työskenteleviä suunnittelijoita ja tietomallikoordinaattoria yhtenäisiin toimintatapoihin. Yhtenäiset toimintatavat ovat välttämättömiä toimivan ja luotettavan palvelun kannalta.

Työn toteutus aloitettiin Swecon sisäisellä kyselyllä, jossa kartoitettiin palvelun kehittämisen ja ohjeistuksen laadinnan kannalta olennaisia asioita. Tämän jälkeen tehtiin ohjelmallisia kokeiluja sopivan siirtoformaatin löytämiseksi sekä palvelun kannalta keskeisimpien ohjelmatoimintojen testaamiseksi. Lopuksi perehdyttiin palvelun käytännön toteutukseen ja vastuisiin. Työ rajattiin koskemaan suunnitteluohjelmista ainoastaan Vertex G4Plant -ohjelmistoa. Yhdistelmämallien koonti- ja tarkasteluohjelmassa työssä käytettiin Autodeskin Navisworks Manage -ohjelmistoa.

Työn lopputuloksena syntyi kaksiosainen ohjeistus. Ohjeistuksen ensimmäisessä osassa käsitellään suunnittelumallien tallennuskäytäntöjä ja -vastuita. Ohjeistuksen toinen osa käsittelee yhdistelmämallin tallennus-/julkaisukäytäntöjä ja -vastuita sekä Navisworks-ohjelmiston toimintoja. Vaikka ohjeistus laadittiinkin pelkästään Vertex-ohjelmiston pohjalta, antaa se hyvän rungon lähteä luomaan palvelua ja ohjeistusta eteenpäin. Jatkossa tulee miettiä useamman suunnitteluohjelman vaikutusta palveluun. Eri suunnitteluohjelmien vaikutus tulee huomioida ainakin siirtoformaattivalinnoissa sekä tuotettujen suunnittelumallien tietosisällön yhdenmukaistamisessa. Vakioitu tietosisältö on lähes välttämättömien ohjelmallisten toimintojen kannalta ja sen myötä toimivan palvelun varmistamiseksi.

---

Asiasanat: BIM, tietomallinnus, teollisuus, digitalisaatio

## **ALKULAUSE**

Kiitos Sweco Industry Oy:lle mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta sekä tarjoamistanne tiloista ja laitteista työn suorittamista varten. Kiitokset myös työn ohjaajille sekä kaikille niille henkilöille, jotka olivat apuna ja tukena opinnäytetyön aikana.

Oulussa 24.5.2019

Topi Sarajärvi

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 TIETOMALLINNUS	8
2.1 Tietomallin tietosisältö	10
2.1.1 Tietosisällön vakiointi	13
2.1.2 Tieto yhdistelmämalliin	14
2.2 Tietomallinnuksen vaiheet	16
2.2.1 Hankkeen aloitus	18
2.2.2 Ehdotussuunnitteluvaihe	19
2.2.3 Luonnossuunnittelu, Yleissuunnittelu	19
2.2.4 Toteutussuunnittelu	20
2.2.5 Hankintoja palveleva suunnittelu	21
2.2.6 Toteutusvaihe	21
2.3 Tietomallien monet mahdollisuudet	22
2.3.1 Työmaakäytössä	23
2.3.2 Käyttö ja ylläpito	24
2.3.3 Virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen	28
3 OHJELMISTOT TIETOMALLINNUKSESSA	31
3.1 Vertex G4Plant	32
3.1.1 Käyttöliittymä	33
3.1.2 Suunnittelutietojen hallinta	33
3.1.3 Putkistosuunnittelu	34
3.1.4 Profiilirakenteet	36
3.1.5 Pistepilvi ja ympäristö	36
3.1.6 Kääntäjät	36
3.2 Autodesk Navisworks	37
3.2.1 Yhdistelmämallin tarkastelu	39
3.2.2 4D-aikataulutus ja visualisointi	40
4 TEOLLISUUDEN TIETOMALLIEN HALLINTA- JA TARKASTUSPALVELU	41

5 OHJEISTUKSEN KEHITTELY	42
5.1 Kysely	42
5.2 Vertex-mallien vienti Nawisworks-yhdistelmämalliin	46
5.2.1 IFC-tiedoston vienti Navisworksiiin	47
5.2.2 VRML-tiedoston vienti	51
5.2.3 Step-tiedoston vienti	53
5.3 Navisworks Manage-ohjelmiston toiminnot	54
5.3.1 Sets-ryhmittely	54
5.3.2 Compare-toiminto	58
5.3.3 Mallin tarkastelutoiminnot ja raportointi	63
5.3.4 Navisworks yhdistelmämallin julkaisu	69
5.4 Palvelun vastualueet ja hakemistorakenne	70
5.5 Tulokset	71
6 YHTEENVETO	74
LÄHTEET	76

# 1 JOHDANTO

Suunnitteluprosessi on kokenut suuria muutoksia digitalisaation myötä. 2D-kuvien käsin piirtämisestä on siirrytty tietokonepohjaiseen piirtämiseen ja myöhemmin lisäksi on tullut myös tietokonepohjainen 3D-mallinnus. Vähintäänkin yhtä merkittävän muutoksen perinteiseen suunnitteluprosessiin on tuonut viimeisen vuosikymmenen aikana yleistynyt tietomallinnus. Tietomallinnuspohjaisissa hankkeissa suunnitteluprosessin pääosaa näyttää 3D-mallinnus. 3D-malliin sisällytetään tarvittava tieto ja mallin pohjalta voidaan luoda ajantasaisesti tarvittavia dokumentteja ja raportteja sekä tehdä erilaisia simulointeja. Lähes kaikki hankkeeseen kuuluva data on digitaalisessa muodossa yhdessä paikassa, mikä tekee dokumenttien hallinnasta selvempää sekä mahdollistaa kohteen koko elinkaarenaikaisen seurannan.

Tietomallinnuspohjaiset hankkeet ovat kiinteistö- ja rakennusalalla jo hyvin yleisiä. Viime aikoina tarve hyödyntää tietomalleja on lisääntynyt myös teollisuuden hankkeissa. Tähän tarpeeseen Sweco Industry Oy on kehittänyt Sweco@ModelSafe-teollisuuden tietomallien hallinta- ja tarkastuspalvelun. Opinnäytetyön tarkoituksena on luoda alustava ohjeistus palvelun tueksi.

Työn toteutus aloitetaan Sweco Industryn sisäisellä kyselyllä, jossa kartoitetaan Sweco@ModelSafe-palvelun ja ohjeistuksen laadinnan kannalta merkittäviä asioita. Tämän jälkeen tehdään tarvittavia ohjelmakohtaisia kokeiluja sekä perehdytään palvelukonseptin rakenteisiin ja toteutustapoihin. Työ rajataan koskemaan suunnitteluohjelmista pelkästään Vertex G4Plant -ohjelmaa. Yhdistelmämallin koonti- ja tarkastus ohjelmana käytössä on Autodeskin Navisworks Manage.

Työn tilaajana toimii Sweco Industry Oy, joka kuuluu kansainväliseen Sweco-konserniin. Sweco on rakennetun ympäristön ja teollisuuden asiantuntija, joka palvelee asiakkaitaan rakennetekniikan, talotekniikan, teollisuuden sekä ympäristö- ja yhdyskuntatekniikan aloilla. Swecolla työskentelee yhteensä 16 000 asiantuntijaa, joista 2100 suomessa. (Sweco, linkki-> Tietoa-Swecosta.)

## 2 TIETOMALLINNUS

Tässä luvussa havainnollistetaan mitä tietomallinnus tarkoittaa ja mitä tietomallinnuksessa ja tietomallinnuspohjaisessa hankkeessa tulee huomioida sekä miten tietomalleja voidaan hyödyntää. Luvussa esiteltävät tietomallinnuksen taustat ja nimikkeet tulevat pääasiassa kiinteistö-, rakennus- ja infra-aloilta, koska tietomallinnus on kehitelty pitkälti näiden alojen ympärille. Myös tietomallinnukseen liittyvät säännökset, ohjeet ja kehityshankkeet on laadittu lähinnä kiinteistö-, rakennus- ja infra-alojen lähtökohtien ja tarpeiden pohjalta. Luvussa esiteltävät tietomallintamisen perus lainalaisuudet, tietomallinnusta ohjaavat säännökset ja ohjeistukset sekä muut hyväksi havaitut käytännöt voidaan siirtää kuitenkin soveltaen myös teollisuuden tietomallinnuspohjaisiin hankkeisiin.

Rakennuksen tietomallinnus, BIM (Building Information Modeling) käsittää digitaalisen kokonaisuuden, mikä mahdollistaa rakennuskohteen koko elinkaaren aikaisen tietojen seurannan. Tietomallinnukseen liittyy keskeisenä osana rakennuksen geometrian määrittäminen eli 3D-mallin luominen. Tämän tietoa sisältävän 3D-mallin avulla suunnitelmien- ja toteutumien havainnollistamisen sekä erilaisten simulointien tekeminen on mahdollista. Tämä parantaa suunnittelun ja rakentamisvaiheiden laatua, tehokkuutta ja turvallisuutta. Tietomallinnuksen yhtenä tavoitteena on tukea kestävästä kehityksestä mukaista hanke- ja elinkaari-prosessia. (Halmetoja 2016, 6; YTV 2012 osa 1, 5.)

Tietomallipohjainen suunnitteluprosessi eroaa perinteisestä dokumenttipohjaisesta suunnittelusta. Työn pääpaino on jakaantunut piirto-, tulostus- ja tiedonsiirtorutiineista merkittävimpiin suunnittelutehtäviin ja sisällön tuottamiseen. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi 2D-muotoiset toteutuspiirustukset tuotetaan vaiheittain 3D-mallien pohjalta hankkeen aikataulun mukaan. Suurena etuna perinteiseen suunnitteluun verrattuna on, että kaikki tietomallinnuspohjaisen hankkeen tiedot sijaitsevat yleensä yhdessä ja samassa mallissa eivätkä hajallaan eri piirustuksissa ja raporteissa. Tieto määritellään siis vain yhdessä paikassa, eikä moneen kertaan useissa piirustuksissa, eli tieto on kertaluonteista. Tietomallinnuksen avulla suunnittelu- ja rakennusaikana malleihin tehdyt muutokset päivit-

tyvät automaattisesti malleista tuotettaviin dokumentteihin. Yksi mallintamisen tavoitteista on, että tietomalli siirtyisi rakennusvaiheen jälkeen käytön, ylläpidon ja huollon työkaluksi, joten mallin tulisi vastata luovutusvaiheessa lopullista rakennusta. (Halmetoja 2016, 12–13.)

Tietomalli käsitetään monesti pelkästään rakennuksen kolmiulotteisena mallina, mutta tämän lisäksi tietomalli mahdollistaa 4D- ja 5D-mallit, jotka pohjautuvat rakennuksen 3D-malliin. 4D-mallista puhuttaessa tarkoitetaan yleensä geometriaan perustuvaa rakentamisvaiheiden ajan simulointia 3D-mallissa. 5D-malliin voidaan ajan lisäksi sisällyttää jotain muuta rakennukseen liittyvää informaatiota, esimerkiksi materiaali- ja hintatietoja. (Halmetoja 2016, 10.)

Tietomallit mahdollistavat

- tuen investointipäätöksiin, vertailemalla ratkaisujen toimivuutta, laajuutta ja kustannuksia
- energia-, ympäristö- ja elinkaarianalyysiratkaisujen vertailun suunnittelua varten sekä ylläpidon tavoiteseurantaan
- suunnitelmien havainnollistamisen sekä rakennettavuuden analysoinnin
- laadunvarmistuksen, tiedonsiirron parantamisen ja suunnitteluprosessin tehostamisen
- rakennushankkeiden tietojen hyödyntämisen käytön ja ylläpidon aikaisissa toiminnoissa (YTV 2012 osa1, 5). (Kuva 1.)

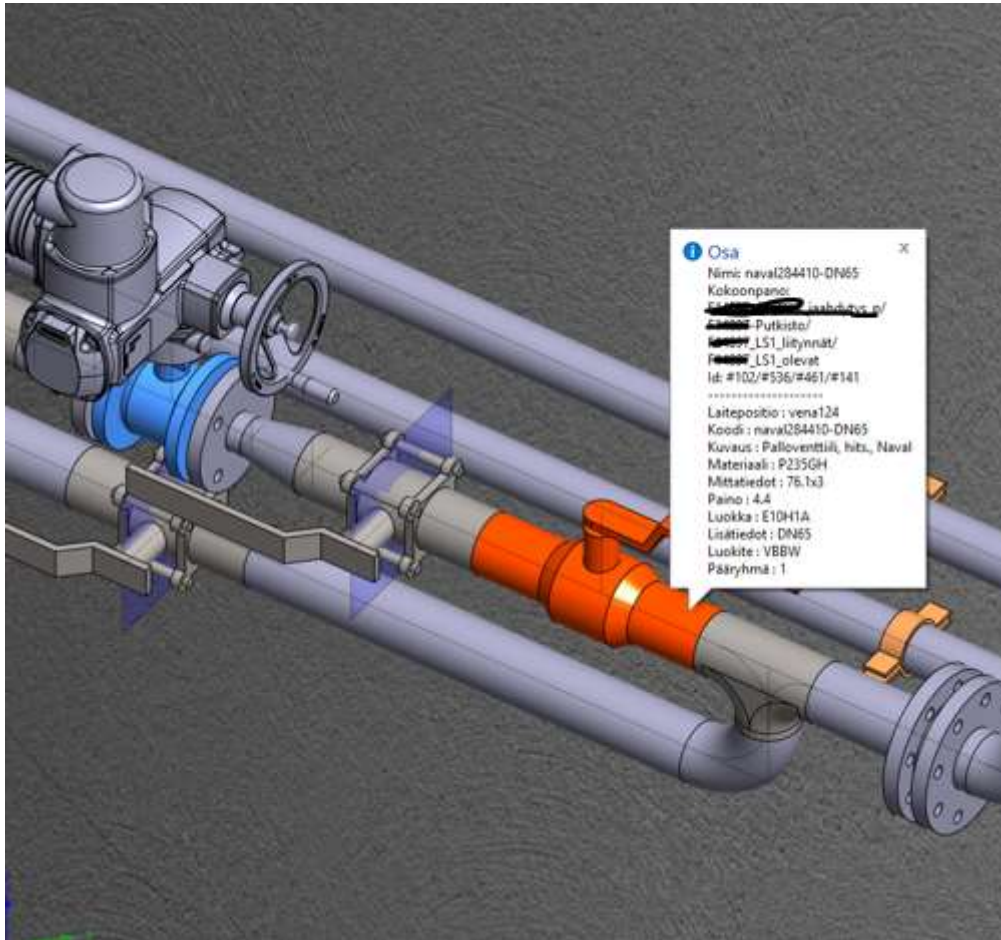


KUVA 1. Tietomallinnuksen tuomia mahdollisuuksia (LODPlanner, linkit-> Learn-> Bim blog-> What is BIM)

## 2.1 Tietomallin tietosisältö

Tietomallinnuksen tavoitteena on luoda malli, joka havainnollistaisi kohteen fyysistä olemusta sekä sisältäisi tarvittavan ja määrämuotoisen tiedon helposti käytettävässä muodossa. Tietomalli sinänsä ei ole mikään itseisarvo tai tavoite vaan pitäisi miettiä miten malli ja sen sisältämä tieto saadaan palvelemaan parhaiten eri sidosryhmiä ja käyttäjiä kaikissa kohteen elinkaaren vaiheissa mm. suunnittelussa, rakentamisessa, käytössä ja ylläpidossa sekä purussa.

Tietomallia ei pidä käsittää siis pelkästään visuaalisesti kauniina 3D-mallina vaan mallina, joka geometrian lisäksi sisältää myös osien ominaisuustietoja sekä eri osien välisiä yhteyksiä toisiinsa. (Jäjävä–Lehtoviita 2016, 15.) (Kuva 2.)

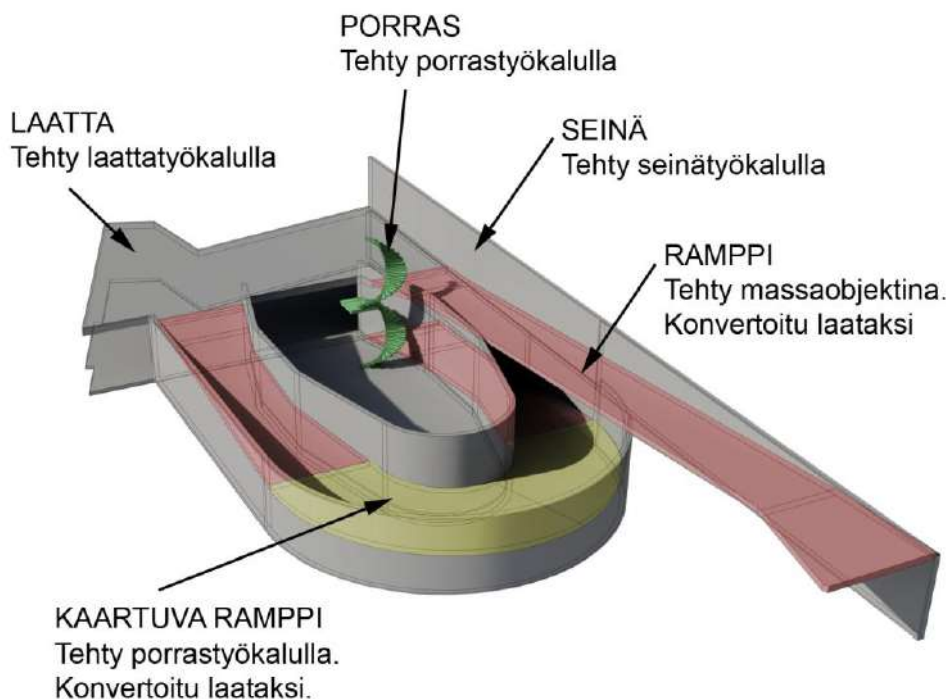


*KUVA 2. Teollisuuden tietomallista voidaan lukea halutessaan esimerkiksi venttiilin ominaisuustietoja sekä laitepositio.*

Toimivan tietomallin kannalta tärkein päätös on, mitä ja miten mallinnetaan. Suunnittelijan tulisi tietää tekemiensä mallien käyttötarpeet hyvin jo suunnittelun alkuvaiheessa. Suunnitteluvaiheessa voidaan objekteihin sisällyttää tarvittavaa tietoa. Kun rakennukseen lisätään seinä, riippuu seinäobjektin käyttökelpoisuus sen sisältämästä datasta. Seinäobjektin 3D-geometriasta voidaan tuottaa pohjapiirustus, leikkaus, sivuprojektit ja mittatietoa. Jos seinäobjekti sisältää tiedon rakennetyypistä, voidaan mallia käyttää määrälaskennassa. U-arvon sisältävä objekti taas mahdollistaa energia-analyysin. Suunnittelijoita tulisi ohjeistaa siitä, miten tietoa ja suunnitelmia tulisi mallintaa, jotta mallien tietosisältö palvelisi mahdollisimman hyvin tulevaa käyttötarkoitusta. (Hietanen 2005, 28; Jäjävä–Lehtoviita 2016, 63.)

Rakennusalan tietomallinnuksessa käytettävät ohjelmat ovat oliopohjaisia, mikä tarkoittaa, että rakennusosista käytetään valmiiksi määriteltyjä tietystä formaatissa olevia tietopaketteja esim. pilari, ovi, ikkuna, seinä. Oliot sisältävät rakennusosan tietoja useista eri näkökulmista, kuten visuaalisuus, mitat, materiaaliominaisuudet, lämpötekniset ominaisuudet jne. Näitä tietomallin sisältämiä tietoja voidaan hyödyntää esimerkiksi lujuslaskennassa sekä tehdasvalmisteisten osien valmistuksessa. Aina valmiiden olioiden käyttäminen ei kuitenkaan ole mahdollista, jolloin täytyy käyttää ohjelman normaaleja piirto-ominaisuuksia. Tällaiseen objektiin on hankala lisätä pitkälle menevää älykkyyttä, ja tiedostojen koko kasvaa. (Halmetoja 2016, 10.)

Yleisissä tietomallivaatimuksissa ohjeistetaan mallintamaan rakennuspuolen suunnitteluohjelmien mallikomponenteilla ja työkaluilla aina kun se on mahdollista. Eri rakennusosien mallinnukseen on olemassa omat työkalunsa esimerkiksi seinälle seinätyökalu ja laatoille laattatyökalu (kuva 3). Erikoistapauksissa, joissa tarkoituksenmukaista työkalua tai komponenttia ei voida käyttää, tulee poikkeamat dokumentoida tietomalliselostuksessa. (YTV 2012 osa 1, 8.)



*KUVA 3. Kuvan ajoramppi on mallinnettu suunnitteluohjelman työkaluja käyttäen (YTV2012 osa1, 8).*

Yleiset tietomallivaatimukset sekä muut hankekohtaiset asiakirjat ja ohjeet antavat perustoimintatavat ja ohjeistuksen, joita noudattamalla tietomallintaminen pysyy tietyissä raameissaan. Tietomallien sisältämään tietoon ei ole olemassa kuitenkaan tällä hetkellä vielä mitään vakioitua käytäntöä, ja hankekohtaisesti mennäänkin aina erikseen sovitulla toimintatavoilla.

Tietomallivaatimuksissa (YTV 2012) määritellään ensisijaisesti, mitä rakenteita tulisi mallintaa eikä juurikaan rakenteille annettavaa tietosisältöä. Vain joidenkin tiettyjen rakenteiden kohdalla on esitetty vaatimuksia ominaisuuksien määrittelystä. (Halmetoja 2016, 14.)

Tietomallien tietosisältö- ja tarkkuusvaatimuksia hankeen eri vaiheissa voidaan määritellä Yleisten tietomallivaatimusten ja niitä täydentävien liitteiden mukaan. Yksittäisissä hankkeissa nämä vaatimukset on kuitenkin aina erikseen määriteltävä. (Jäjävä – lehtoviita 2016, 38.)

### **2.1.1 Tietosisällön vakiointi**

Yleisenä näkemyksenä on vallinnut, että jokainen toimisi omasta näkökulmasta omalla tavalla ja toimintamallilla YTV2012 ohjeistuksen raameissa. Tämän ajattelumallin seurauksena jokaiselle hankkeelle joudutaan määrittelemään aina samoja asioita, mitä useissa aikaisemmissa hankkeissa on jo määritetty. Standardien ja järjestelmällisten toimintatapojen avulla tietosisältö voitaisiin vakioida. Vakioituna tieto saataisiin koneluettavaan muotoon eli tiedonkäsittelyä voitaisiin digitalisoida. Vakioidussa tietomallin tietosisällössä lähtötiedot olisivat aina samassa muodossa, tietojen muuttamiseen menevä aika lyhenisi ja lopputietojen tuottaminen voitaisiin automatisoida. (Henttinen 2016.)

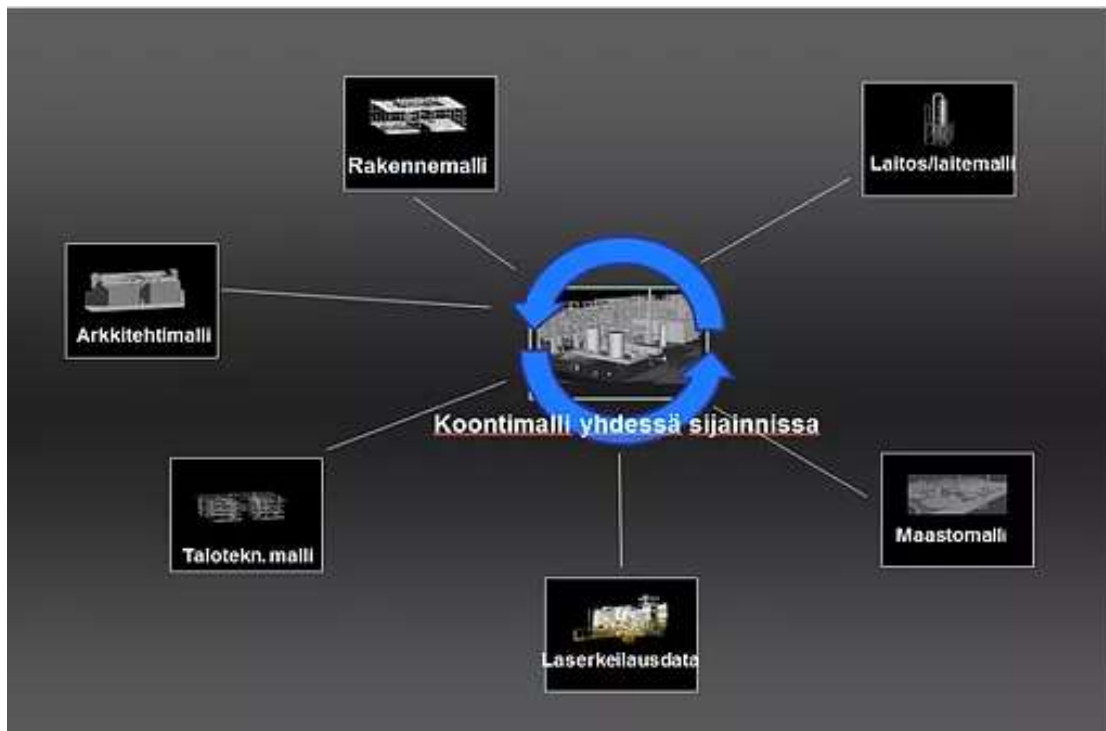
Tietomallien tietosisällön ja tiedonhallinnan vakiointiin on Suomessa aloitettu viime vuosien aikana useita eri hankkeita ja niihin liittyviä kokeiluja. Keskeisimpinä niistä on kiinteistö- ja rakentamisalan digitalisaatiota eteenpäin vievä vuonna 2016 aloitettu KIRA-digi-hanke, joka on osa hallituksen julkisten palveluiden digitalisoimisen kärkihanketta. KIRA-digi-hankeella tähdätään suunnittelussa syntyvän mallitiedon vakiointiin, joka mahdollistaisi tietojen automatisoidun koneluettavuuden.

*”KIRA-digi hankkeen tavoitteena on avata rakentamisen ja kaavoituksen julkinen tieto kaikkien helposti käytettäväksi, kehittää sujuvasti yhteen toimivia järjestelmiä ja yhtenäisiä toimintatapoja sekä käynnistää joukko kokeiluhankkeita luomaan uusia innovaatioita ja liiketoimintaa. Myös lainsäädäntöä on kehitettävä niin että se tukisi alan digitalisaatiota.” (KIRA-digi, linkki-> Info -> Visio ja tavoitteet.)*

Osana valtakunnallista KIRA-digi hanketta, BuildingSMART Finland on luonut Vakioinnin toimialaryhmän tarkastelemaan Suomen kiinteistö- ja rakennusalan käyttämiä sanastoja ja nimikkeitä. Myös kansainvälinen toimikenttä erityisesti Pohjoismaissa otetaan huomioon. Vakioinnin tavoitteena on luoda yhteinen perusta, johon eri toimialojen sanastot ja nimikkeistöt voidaan liittää. Tämän avulla objektin tietojen koneluettavuus tulisi mahdolliseksi ja BIM-tiedonsiirto suunnittelusta rakentamiseen ja myöhemmin myös ylläpitoon saataisiin automatisoitua. (Vakiointi.)

### **2.1.2 Tieto yhdistelmämalliin**

Onnistuneen hankkeen takaamiseksi eri suunnittelijoiden suunnitelmien yhteensopivuutta on päästävä vertailemaan yhteiseen ympäristöön. Tämän lisäksi tietojen jakaminen on oltava saumatonta hankkeen eri sidosryhmien välillä. Suunnitelmien vertailu ja tiedon jakaminen on mahdollista yhdistelmämallin avulla. Yhdistelmämalli luodaan yhdistämällä eri suunnittelualojen tietomallit. Yhdistelmämallin tarkoituksena on varmistaa eri suunnittelualojen ja hankeosien suunnitelmien yhteensopivuus. (Halmetoja 2016, 15.) (Kuva 4.)



KUVA 4. Yhdistelmämallin yhdistää eri suunnittelualojen tietomallit (Koontimallin muodostaminen).

Yhdistelmämallia voidaan käyttää tietojen välittämiseen ja havainnollistamiseen monella eri tavalla. Mallien avulla voidaan tehdä suunnitelmien yhteensopivuuksia visuaalisesti mallissa kävellessä tai leikkauksia hyödyntäen. Visuaalisen tarkastelun lisäksi ohjelmalliset törmäystarkastelut ovat mahdollisia. Yhdistelmämallilla hankkeen esittelemine palaverissa on havainnollisempaa ja mallien avulla voidaan sopia ja suunnitella esim. asennus- ja työjärjestyksiä. Yhdistelmämallit mahdollistavat ajantasaisen tiedon myös työmaalle, jossa asentajat ja työjohto voivat tarkastella malleja mobiililaitteidensa avulla. (Jäjävä – Lehtoviita 2016, 70–72.)

Jaettaessa eri suunnittelualojen tietomalleja esim. yhdistelmämalliin, alkuperäisillä suunnitteluohjelmilla luodut tietomallit muutetaan yleensä yhteisesti sovitun tiedostoformaattiin. Keskeisempänä edellytyksenä on, että tietomalleihin tuotettu tietosisältö ja geometria pitäisi saada siirtymään täysimääräisenä muihin malleja hyödyntäviin ohjelmiin.

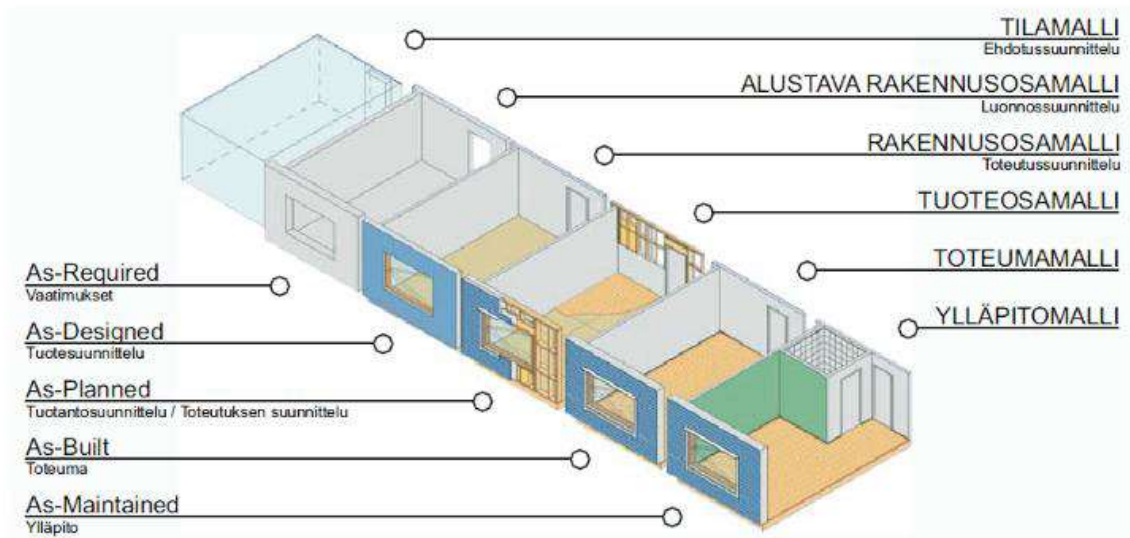
Tietomallien sisältämän tiedon jakeluun sekä yhdistelmämalliin viemiseen käytetään jotain yhteisesti sovittua avointa tiedonsiirtoformaattia. Yleisimpiä käytössä olevia tiedonsiirron standardeja ovat mm. IFC (Industry Foundation Classes) sekä USA:ssa ja eräissä muissa maissa käytetty COBie. (Halmetoja 2016, 16.)

Yleiset tietomallivaatimukset (YTV2012) asettaa tietomallien mallinnukseen käytettäville ohjelmille sekä mallien siirtoformaateille omat vaatimuksensa. Julkisissa hankkeissa kaikkien suunnitteluohjelmien käyttö on sallittua, jos ne tukevat vähintään IFC 2x3 -tiedostomuotoa. Hankekohtaisesti esimerkiksi IFC-version tai erityisominaisuuksien suhteen voidaan asettaa erityisvaatimuksia. Tarjousta tehtäessä suunnittelijan on mainittava käyttämänsä mallinnusohjelma sekä sen tuki IFC-tiedostomuodon versio. Kaikki mallit tulee luovuttaa työn aikana sekä IFC-muodossa ja mallinnukseen käytettävän ohjelman omassa tiedostomuodossa. (YTV 2012, 6.)

## **2.2 Tietomallinnuksen vaiheet**

Tietomallinnus tulee huomioida rakennushankkeen jokaisessa vaiheessa alkaen heti tarveselvitys- ja hankesuunnitteluvaiheista lähtien. Tämän luvun tarkoitus on havainnollistaa, miten tietomallia tuotetaan ja hyödynnetään rakennushankkeen eri vaiheissa. Luvussa esitellyt vaiheet pohjautuvat yleisissä tietomallivaatimuksissa (YTV 2012) tietomallinnukselle asetettuihin vaatimuksiin.

Tietomalli auttaa suunnittelijoita saavuttamaan suunnittelutyölle asetetut tavoitteet. Mallintamisen avulla voidaan heti suunnittelun alkuvaiheessa nopeasti todeta, mihin vaiheeseen suunnitelmissa on edetty. Tarkempi suunnittelu jatkuu yleensä saman alkuvaiheen mallin pohjalta. Havainnollistamisen mahdollisuudet sekä mallien tarkkuus kasvavat luonnollisesti prosessin edetessä. Rakennuksen tietomallintamisen vaiheet on esitetty kuvassa 5. (Halmetoja 2016, 10.)



KUVA 5. Rakennuksen tietomallintamisen vaiheet (Halmetoja 2016, 11)

Seuraavassa on kuvattu kuvan 4 vaiheiden sisällöt lyhyesti:

*Tilamalli* luodaan ehdotussuunnittelua varten, jossa mahdollistetaan vaihtoehtojen vertaileminen. Tilamalli määrittelee yksittäisen rakennuksen tilat ja sen avulla voidaan analysoida alustavasti mm. rakennuksen elinkaarikustannuksia sekä ympäristövaikutuksia. (Halmetoja 2016, 11)

*Alustava rakennusosamalli* on luonnossuunnitteluvaiheen malli, jossa alustavasti määritellään tiloja rajaavat rakennusosat. Eri suunnittelijoiden malleja tarkastellaan yhdistelmämallissa vähintään rakenteiden ja järjestelmien tilantarpeiden osalta. Mallien ja analyysien tarkkuus lisääntyy tilamalliin verrattuna. (Halmetoja 2016, 11; YTV 2012 osa 1, 16)

*Rakennusosamalli* on toteutussuunnitteluvaiheen malli, jossa on alustavasti määriteltä tiloja rajaavat rakennusosat ilman tarkempaa tuoterakennetta. Mallin avulla voidaan tehdä törmäystarkastelut eri suunnittelualojen mallien välillä. (Halmetoja 2016, 11)

*Tuoteosamalli* on toteutussuunnitteluvaiheen täydennetty rakennusosamalli, joka sisältää rakennusosia vastaavat valitut rakennustuotteet. Mallia voidaan käyttää havainnollistamiseen huomattavasti aikaisempia vaiheita paremmin. Mallin tieto-

jen pohjalta voidaan tehdä lopulliset energia-analyysit ja elinkaarilaskelmat. Mallia käytetään rakentamisaikana havainnollistamisen apuna sekä esim. rakennusaikataulun ja asennusjärjestyksen seurantaan. (Halmetoja 2016, 12; YTV 2012 osa 1, 18)

*Toteumamalli* on rakennuksen lopullinen malli. Rakennusaikaiset toteutumat tulee olla päivitettyinä malliin. Tarkoituksena on, että mallissa olisi tarvittava ja ajantasainen tieto rakennuksen käyttöön ja ylläpitoon. (Halmetoja 2016, 12)

*Ylläpitomalli* sisältää käytön ja ylläpidon kannalta keskeiset tiedot. Malliin täydennetään mahdolliset rakennukseen tehdyt muutokset ja peruskorjaukset. (Halmetoja 2016, 12.)

### **2.2.1 Hankkeen aloitus**

Rakennushankkeissa tärkeimmät päätökset tehdään usein juuri hankkeen alussa tarve- ja hankesuunnitteluvaiheessa. Näissä vaiheissa määritellään hankkeen budjetti- ja aikataulutavoitteet, laajuuden kokonaistavoitteet sekä tonttiin ja käyttöön liittyvät vaatimukset. Selvitysten perusteella arvioidaan vaihtoehdot ja valitaan toimintamallit, esimerkiksi onko kyseessä uudis- vai saneerauskohte. Päätöksenteon keskeisimmät tiedot saadaan laajuustietojen sekä tiloille esitettyjen vaatimusten kautta. (YTV 2012 osa 1, 11.)

Tässä vaiheessa hanketta tietomallilla on harvoin geometrisiä muotoja, koska varsinaisia tilasuunnitelmia ei vielä ole. Tämä on kuitenkin jo osa tietomalliprosessia, joten päätöksenteon keskeisimmät tilavaatimukset ja tiedot kirjataan sähköiseen muotoon. Tätä tietomallintamisen vaihetta kutsutaan vaatimusmalliksi. Vaatimusmalli tulisi olla minimissään taulukkomuotoinen tilaohjelma, jota voidaan käyttää ohjelma- ja suunnitelmaratkaisujen vertailussa. (YTV 2012 osa 1, 11–12.)

Heti hankkeen alkuvaiheessa on laadittava tietomallintamisen tavoitteet sekä varmistettava kaikille osapuolille lähtötietojen saatavuus. Tähän tehtävään on yleensä nimetty erikseen tietomallikoordinaattori, mutta tehtävää voi tehdä myös pääsuunnittelija tai hankesuunnitelman laatija. (YTV 2012 osa 1, 13.)

## 2.2.2 Ehdotussuunnitteluvaihe

Ennen varsinaiseen yleissuunnitteluun siirtymistä on vuorossa ehdotussuunnitteluvaihe, jossa hankkeelle haetaan sopivinta perusratkaisua karkealla tasolla olevilla vaihtoehtoisilla suunnitelmilla. Kolmiulotteisella mallilla voidaan tutkia ja vertailla visuaalisesti eritasoisia vaihtoehtoja, minkä avulla suunnittelijat, tilaaja sekä tuleva rakennuksen käyttäjä valitsevat yhteistyössä sopivimman ja parhaan vaihtoehdon. (YTV 2012 osa 1, 13–14.)

Keskeisimpiä mallien hyötyjä ehdotussuunnitteluvaiheessa ovat investointi- ja elinkaarikustannusten laskenta sekä ympäristövaikutusten tarkastelu ja näiden vertailu simuloiteja hyödyntäen. Kustannuslaskelmat sekä energia-analyysit ja elinkaarikustannuslaskelmat tehdään pinta-alojen ja tilojen käyttötarkoituksen perusteella arkkitehdin mallien pohjalta. Nämä kuuluvat mallipohjaisen prosessin pakollisiin tehtäviin. Kattavat vertailut ovat tärkeitä alkuvaiheessa hanketta, koska radikaalejakin muutoksia voidaan tehdä vielä helposti. (YTV 2012 osa 1, 13–14.)

Ehdotussuunnitteluvaiheen alussa tulee varmistaa eri suunnittelualojen koordinaatistojen ja korkojen yhteensopivuus yhteensovittamistestillä. Yhteensovittamistestistä vastaa tietomallikoordinaattori. Käytännössä yhteensopivuus tarkistetaan siten, että arkkitehti mallintaa tulevan rakennuksen paikalle muutaman rakennusosan sen hetkisen suunnitelman mukaisesti ja lähettää tämän mallin IFC-tiedostona muille suunnittelijoille. Jokainen suunnittelija lisää tähän malliin oman suunnittelualansa ohjelmilla laatimansa IFC-mallin. Tästä yhdistelmämallista voidaan todeta, onko kaikilla käytössään sama koordinaatisto sekä korkoasema. (YTV 2012 osa 1, 15.)

## 2.2.3 Luonnossuunnittelu, Yleissuunnittelu

Yleissuunnittelu-/luonnossuunnitteluvaiheessa jatketaan hanketta tilaajan vaatimuksin päivitetyn ehdotusvaiheessa valitun perusratkaisun pohjalta. Yleissuunnitteluvaiheessa tilaajan ja suunnittelijan on saatava yhteisesti hyväksytty suunnitelma toteutussuunnitteluvaihetta varten. Tässä kohtaa tietomallin mahdollistama havainnollistaminen, visualisointi sekä erilaiset analyysit tukevat sidosryhmien kommunikointia ja päätöksentekoa. (YTV 2012 osa 1, 15.)

Yleissuunnitteluvaiheessa on varauduttava merkittäviin muutoksiin suunnitelmissa, joten kunkin suunnittelualan ja eri suunnittelijoiden töiden tulee edistyä yhteistyössä samaan tahtiin. Tämän vuoksi myös eri suunnittelijoiden ajantasaiset mallit tulisivat olla aina muiden saatavilla, mikä varmistetaan riittävän tiheällä tallennusvälillä. (YTV 2012 osa 1, 15.)

Suunnitelmien yhteensovittaminen on aloitettava jo yleissuunnitteluvaiheessa. Eri suunnittelijoiden malleista luodulla yhdistelmämallilla tulee tehdä vähintään rakenteiden ja järjestelmien tilantarpeiden visuaaliset tarkistukset. Tarkistukset ovat suunnitelmien hyväksymisen ja projektin jatkoon kannalta oleellisia. Tarkistuksilla varmistetaan suunnitelmien laatu ja määrätietojen luotettavuus sekä mallien vaatimuksien mukainen sisältö. (YTV 2012 osa 1, 16.)

Luonnosvaiheessa lisääntyneillä ja tarkentuneilla tiedoilla voidaan täydentää ja tarkentaa ehdotusvaiheessa tehtyjä kustannus- ja elinkaarikustannuslaskelmia sekä energia-analyysyjä. (YTV 2012 osa 1, 16.)

#### **2.2.4 Toteutussuunnittelu**

Toteutussuunnitteluvaiheessa menettely ei poikkea yleissuunnitteluvaiheesta muuten kuin tuotettavan tiedon tarkkuudessa. Mallien tarkkuus lisääntyy yksityiskohtaisemmillä tyyppitiedoilla ja suunnitelmat tulee olla urakkatarjouspyynnön edellyttämällä tarkkuuden tasolla. (YTV 2012 osa 1, 17.)

Tilaaaja ja suunnittelija hakevat yhteistyössä toteutussuunnitelmavaiheeseen sopivinta ratkaisua. Tilaaja hyväksyy suunnitelman. Luonnossuunnitteluvaiheesta tarkentuneen tietomallin avulla havainnollistaminen ja visualisointi toimii aikaisempaa paremmin kommunikoinnin ja päätöksenteon tukena. Lopullisen toteutussuunnitelmavaiheen hyväksynnän jälkeen voidaan siirtyä valmistelemaan rakennushanketta sekä tehdä urakkatarjouskyselyjä. (YTV 2012 osa 1, 17.)

Suunnitelmien havainnollistamiseksi ja yhteensopivuuden varmistamiseksi luodaan yhdistelmämallin. Yhdistelmämallin luonnista vastaa tietomallikoordinaattori. Toteutussuunnitelmavaiheen tarkasteluissa huomioidaan esim. talotekniset

törmäystarkastelut, järjestelmien ja rakenteiden väliset törmäystarkastelut, varattujen tilojen riittävyyden toteaminen sekä reikä- ja varaussuunnittelu. (YTV 2012 osa 1, 18.)

Tarkastuksen jälkeen tietomalleista on mahdollista tuottaa määräluetteloita ja niihin perustuvia kustannusarvioita. Urakkatarjousvaiheessa on mahdollisuus hyödyntää luotuja määräluetteloita. Näiden lisäksi toteutussuunnitteluvaiheen malleista on mahdollista tehdä lopulliset energia-analyysit sekä elinkaarikustannuslaskelmat. (YTV 2012 osa 1, 18.)

### **2.2.5 Hankintoja palveleva suunnittelu**

Tietomalleista tuotetut määräluettelot, visualisoinnit sekä muut mahdollisesti tarvittavat dokumentit helpottavat tarjousten tekijöitä urakkatarjousten laskemisessa sekä rakennustöiden alustavassa suunnittelussa. (YTV 2012 osa 1, 19.)

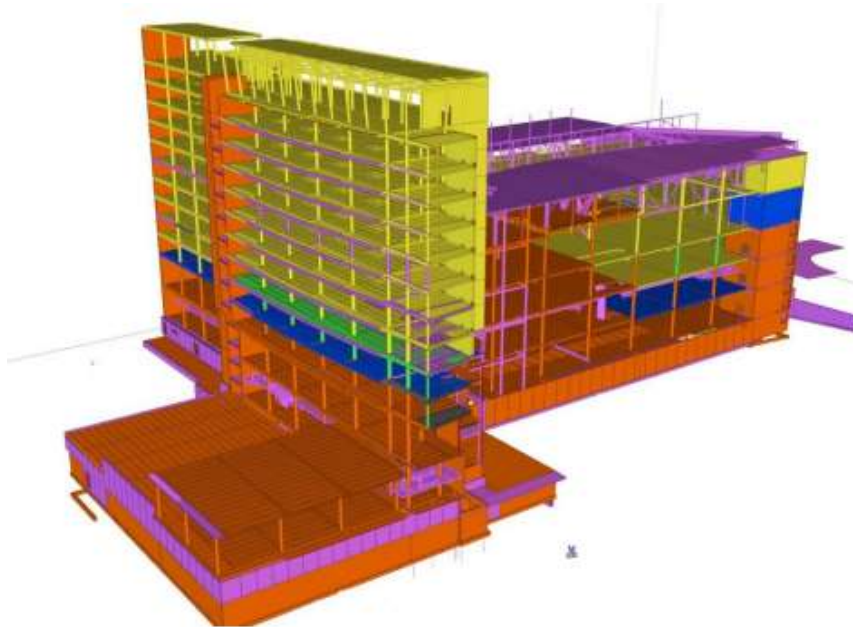
Tietomallista saatavan informaation ja mallien avulla urakoitsijat voivat paremmin tutustua suunnitelmiin ja rakennuspaikkaan. Urakoitsijalla on mahdollista käyttää myös tietomalliin pohjautuvaa 4D-mallinnusta, jonka avulla voidaan testata erilaisia aikataulu- ja toteutusvaihtoehtoja. Ohjelmien hyödyntäminen rakennusvaiheiden simulointia varten vaatii kuitenkin, että toteutustapa olisi suunnittelijoiden tiedossa jo hyvissä ajoin, jotta mallinnus voidaan laatia sen mukaisesti. (YTV 2012 osa 1, 19.)

### **2.2.6 Toteutusvaihe**

Tietomallien visuaalisuus on merkittävä tekijä rakennuksen työmaavaiheessa. Mallin avulla perehdytään kohteeseen ja rakenteisiin sekä suunnitellaan työjärjestykset ja töiden yhteensovittaminen. Esimerkiksi taloteknisissä asennuskatselmuksissa voidaan urakoitsijoiden kanssa käydä läpi asennettava alue, suunnitella asennusjärjestykset sekä varmistaa aikataulujen sopivuus eri urakoitsijoiden kesken. (YTV 2012 osa 1, 19.)

Tietomallipohjaista-aikataulutusta voidaan käyttää rakennusvaiheessa mm. tilaajalle annettavan rakentamisaikataulun täydentämisessä sekä projektin aikataulun

kannalta kriittisten rakenteiden ajoittamisessa. Mallin jaottelu tuotannon ja aikataulutuksen vaatimusten mukaan on sovittava erikseen, mikäli sitä edellytetään suunnittelijoilta. Rakennusaikataulun jakelu voi tapahtua esimerkiksi 4D-tietomallista tuotettuna staattisena mallinäkökuvana, jossa aikataulutus eri rakennusosille näkyy eri väreillä (kuva 6). (YTV 2012 osa 1, 19; YTV 2012 osa 13, 11.)



*KUVA 6. Esimerkki runkovaiheen tietomallipohjaisesta aikataulusta Värit: oranssi=valmis/asennettu, sininen=kuluva viikko, vihreä=seuraava viikko, keltainen=aikataulutettu yli kaksi viikkoa, lila= aikataulutettu yli kaksiviikkoa eri urakoitsija (YTV 2012 osa 13, 11).*

Rakennusvaiheen toteutumatietaa tallennetaan säännöllisesti malliin sovittuna ajankohtana, esimerkiksi päivittäin tai viikoittain. Tämän tarkoituksena on havainnollistaa projektin kaikille osapuolille rakennus- ja asennustöiden eteneminen ja samalla pitää dokumentit ajan tasalla. Tietomallihankkeen lopussa on tärkeää varmistaa, että kaikki rakennusaikana tehdyt muutokset ovat tallennettuna tietomalliin. Tällä turvataan se, että malli vastaisi valmista rakennusta. (YTV 2012 osa 1,19–20.)

### **2.3 Tietomallien monet mahdollisuudet**

Tietomalleja voidaan hyödyntää nykyisten teknologioiden avulla hyvin monipuolisesti ja kehityksen myötä hyödyntämisen mahdollisuudet kasvavat jatkuvasti.

Seuraavaksi käydään läpi muutamia esimerkkejä käytössä olevista teknologi-  
oista sekä tulevaisuuden teknologioiden mahdollisuuksista mm. tietomallit työ-  
maa käytössä sekä käytön ja ylläpidon apuna. Tämän lisäksi käydään läpi lisätyn  
todellisuuden (AR) ja virtuaalitodellisuuden (VR) käyttö kohteita ja niiden tuomia  
mahdollisuuksia.

### **2.3.1 Työmaakäytössä**

Tietomalleja voidaan hyödyntää työmaalla mm. hankinnoissa, aikataulun visuali-  
soinnissa ja toteutuman seurannassa, suunnittelun etenemisen valvomisessa  
sekä suunnitelmien läpikäynnissä. Tämän lisäksi tietomallia voidaan hyödyntää  
perehdytyksissä, työmaapalavereissa ja -kokouksissa. Työmaalla tietomallien  
tarkastelu sekä muistiinpanojen ja huomioiden merkkkaus onnistuvat mobiililait-  
teilla erilaisten katseluohjelmien avulla.

Mobiililaitteiden avulla kohteen kaikki suunnitelmat ja aikataulut ovat työnjohdon  
käytössä myös työmaalla. Tietoja voidaan hallinnoida ja käsitellä yhden laitteen  
avulla ja unohtuneiden paperikuvien hakemiseen toimistolta ei kulu enää ylimää-  
räisiä työtunteja. Mobiililaitteisiin on saatavilla monenlaisia ilmaisohjelmia, jotka  
helpottavat projektin eri toimintoja. Esimerkiksi luovutusvaiheessa olevan koh-  
teen puutteet voidaan kirjata helposti mobiililaitteelta ja ne ovat kaikkien nähtä-  
villä. Puutteiden korjaaminen on näin helppoa ja selkeää ja korjauksien etene-  
mistä on helppo seurata. (Jäjävä – Lehtoviita 2016, 72.) (Kuva 7.)



*KUVA 7. Tietomallien hallinta ja tarkastelu on mahdollista työmaalla mobiililaitteiden avulla (Järvinen 2014, 25; Autodesk A360).*

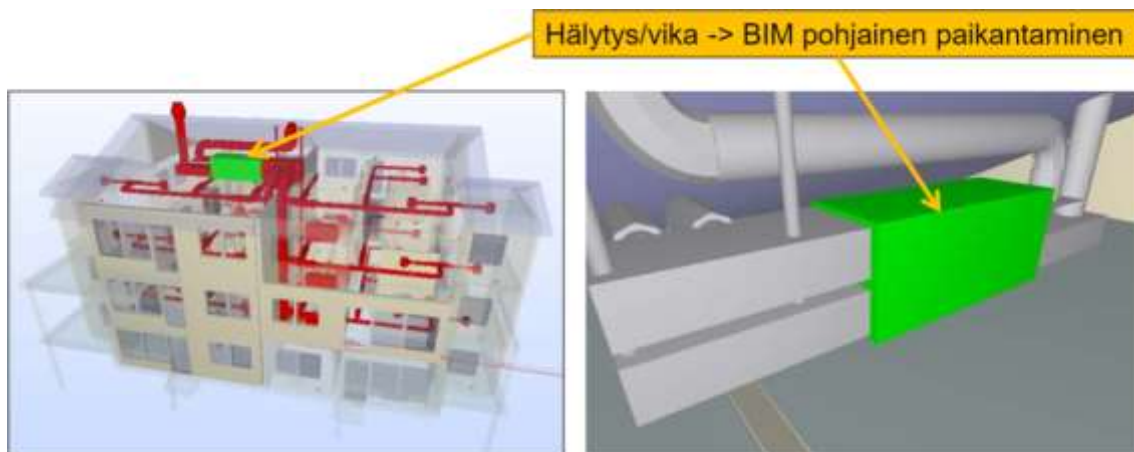
### **2.3.2 Käyttö ja ylläpito**

Yksi tietomallintamisen päätavoitteista on tuottaa työkalu käytön ja ylläpidon avuksi. Tietomallien hyödyntämiselle rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana on lukuisia mahdollisuuksia ja tapoja mutta se ei ole saanut vielä vakiintuneita käytäntöjä. Mallia voidaan hyödyntää esimerkiksi kolmiulotteisena olosuhdemallina, jossa kiinteistönhoidon ja kiinteistön vuokralaisten käyttöön voidaan esittää olosuhteiden ja palvelupyyntöjen hetkellisiä tilanteita. Toinen vaihtoehto on tuottaa

mallista ylläpitomalli, jossa kolmiulotteisen mallin avulla esitetään mm. huoltoluu-  
kut, venttiilit ja muut toimilaitteet sekä huoltoa vaativat kohteet. (Halmetoja 2016,  
6,9.)

Ylläpitomalli toimii tällä hetkellä pääasiassa passiivisen tiedon varastona sisäl-  
täen mm. tilatiedot, laitetiedot, teknisten järjestelmien vaikutusaluekartat, paikan-  
nusrustukset, konekortit ja järjestelmäkuvaukset. Tämän vuoksi mallin käyttö  
rajoittuu lähinnä tiedon hakemiseen ja visualisointiin. Visuaalisuus onkin yksi yl-  
läpitomallin suurimpia vahvuuksia verrattuna 2D-piirustuksiin. Jotta tietomalli vas-  
taisi todellisiin kiinteistöhuollon tarpeisiin pitäisi mallin sisältää paikannustiedot  
sekä yksilölliset tunnisteet, joiden avulla laitetiedot voitaisiin yhdistää suoraan  
huoltokirjaan. Näin paikantaminen tapahtuisi suoraan tietomallista. (Halmetoja  
2016, 20–21.)

Teknologian kehittyessä rakennuksen 3D-malliin pohjautuvalla 4D-mallilla voitai-  
siin paikantaa värien avulla rakennuksen laitteiden, järjestelmien tilojen sekä nii-  
hin liittyvien tapahtumien sijainnit. Esimerkiksi hälyttävän laitteen sijainti voidaan  
osoittaa värien avulla rakennuksen 3D-mallista. (RIL 267-2015, 127–128.) (Kuva  
8.)



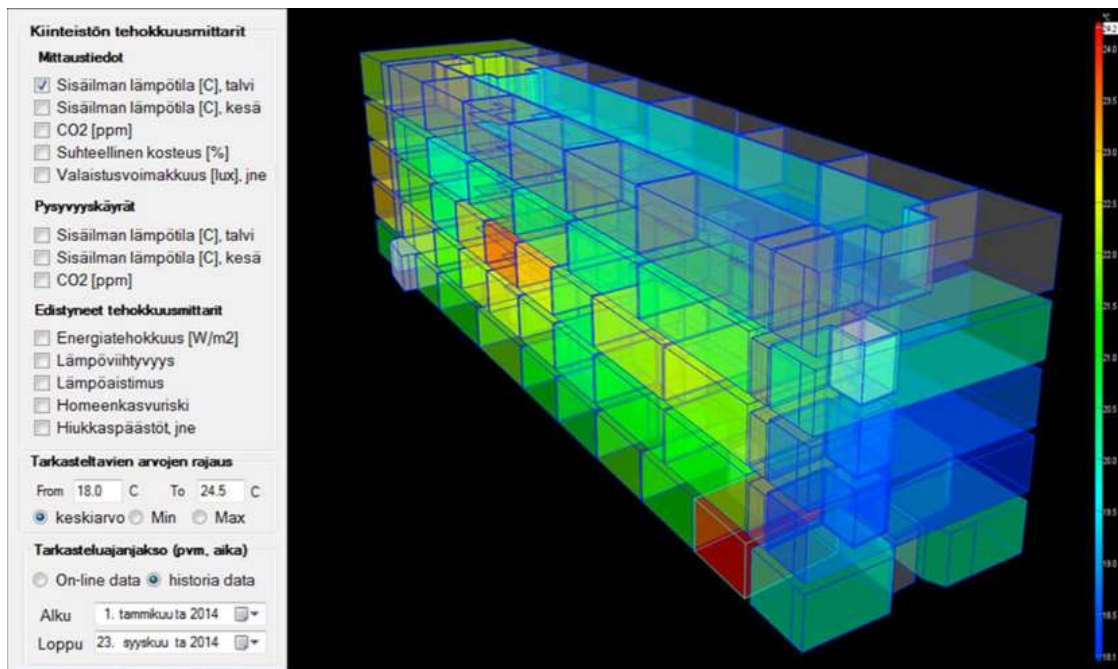
*KUVA 8. Esimerkki BIM-tietoon perustuvasta ylläpitomallista, jossa mallin avulla esitetään vian tai hälyttävän laitteen paikka (RIL 267-2015, 128).*

*Olosuhdemallin avulla pystytään visuaalisesti esittämään rakennuksen muuttuvia suureita, kuten sisäilman lämpötilaa, hiilidioksidipitoisuutta tai energiankulutusta*

rakennuksen tietyssä tilassa tai tilaryhmissä ja halutulla ajanhetkellä. Tällä hetkellä ei ole kuitenkaan vielä määritelty vaatimuksia koskien olosuhdemallin tietosisältöä, visualisoinnin toteutustapaa eikä mittaustietojen ajantasaisuutta. (Halmetoja 2016, 22–23.)

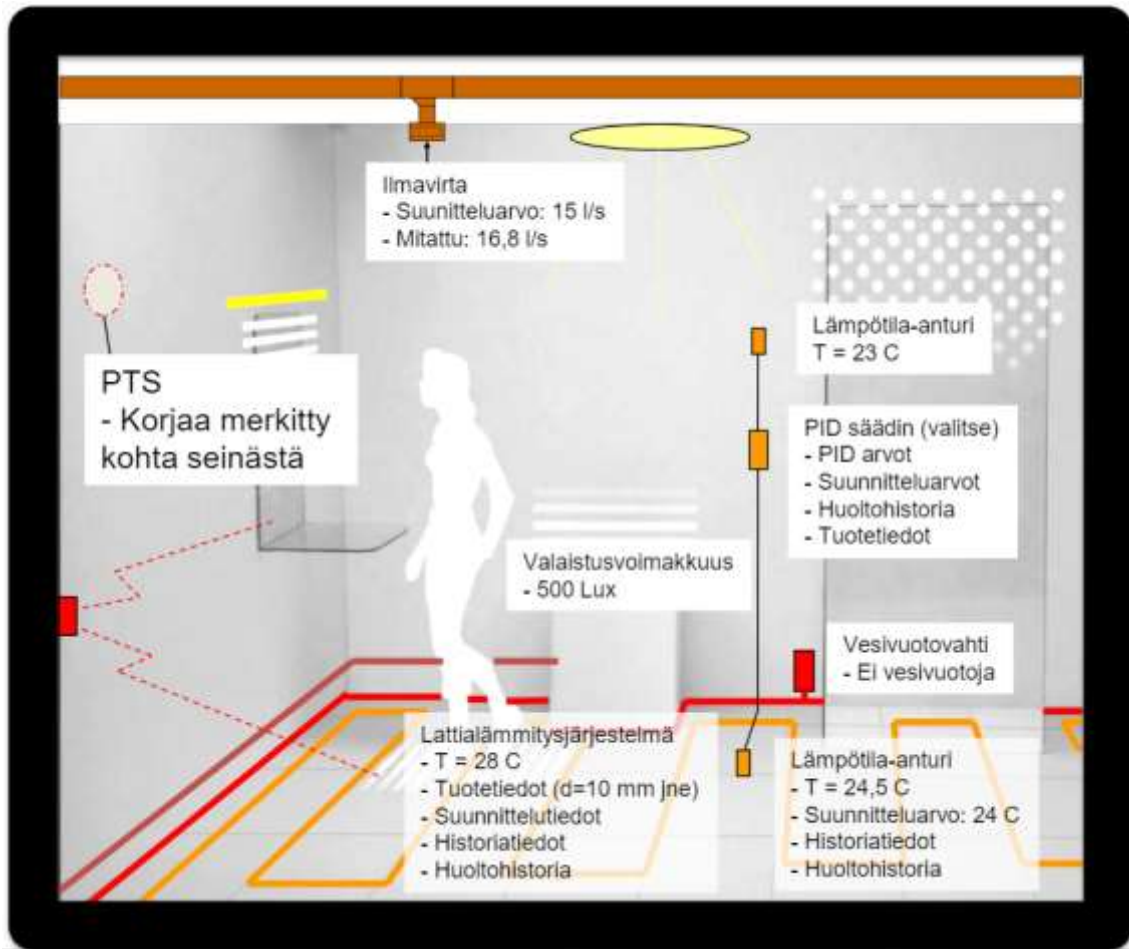
Toimiva olosuhdemalli edellyttäisi, että esimerkiksi rakennusautomaatiojärjestelmä pystyy tunnistamaan mallissa olevat komponentit ja näin tuottamaan jokaiselle komponentille kohdennettua mittaustietoa. Tämä varmistetaan suunnittelu- vaiheessa luomalla aktiivisille komponenteille paikkatieto ja identiteetti, jota voidaan lukea ulkoiseen tietokantaan. (Halmetoja 2016, 23.)

Nykyiset rakennukset sisältävät modernin rakennusautomaatiojärjestelmän (RAJ), johon on liitetty lukematon määrä antureita, mittareita, toimilaitteita ja säätimiä. Osa RAJ:n keräämästä tiedosta olisi mahdollista visualisoida 5D-mallin avulla. Tämä mahdollistaa suuren potentiaalın rakennuksen tehokkaalle käytölle, ylläpidolle ja tulevaisuuden palveluille. Kuvassa 9 on esitetty VTT:llä kehitetty prototyypisovellus, jonka avulla visualisoidaan erilaisia mittaustietoon perustuvia tehokkuusmittareiden arvoja halutulla aikavälillä. (RIL 267-2015, 129–130.)



KUVA 9. VTT:n prototyypisovellus rakennusautomaatiojärjestelmään perustuvasta olosuhdemallista (RIL 267-2015, 130)

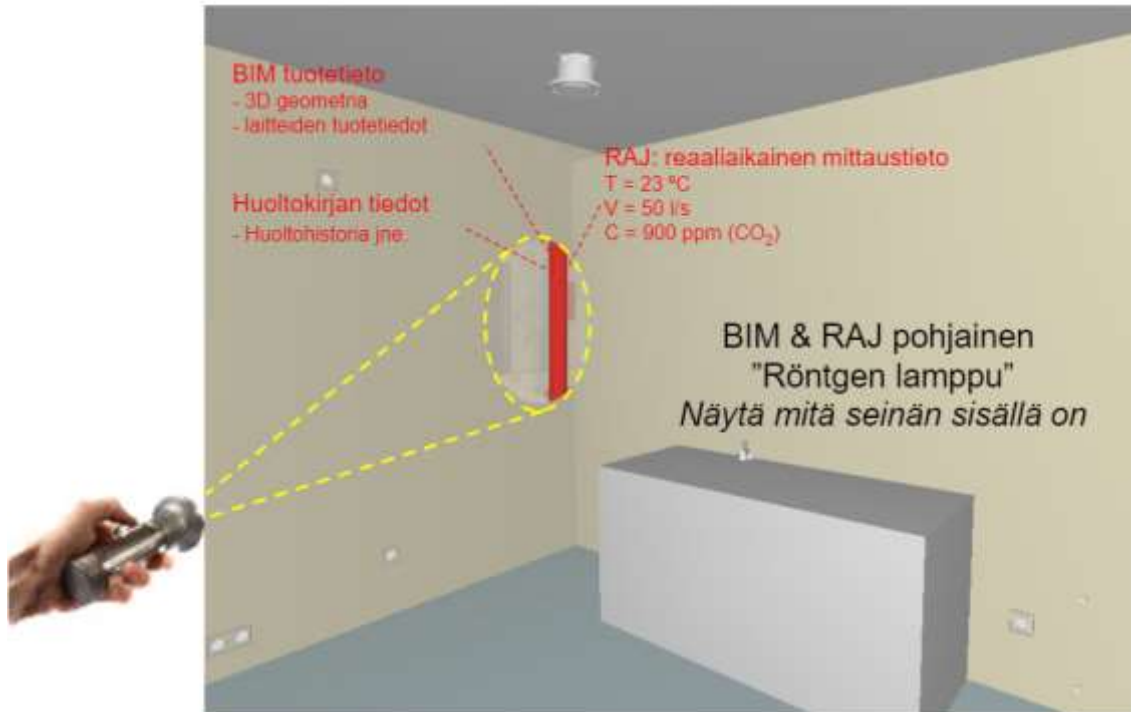
Tulevaisuudessa myös lisätty todellisuus (AR) tuo uusia sovellusmahdollisuuksia käytön ja ylläpidon hyödyksi. Lisätyllä todellisuudella tarkoitetaan teknologiaa, jossa todelliseen näkymään voidaan yhdistää esimerkiksi mobiililaitteen kameran kautta BIM-pohjaista suunnittelu- tai 3D/4D-tietoa. Näkymään voidaan lisätä myös rakennusautomaatiojärjestelmän tai muiden kiinteistöjärjestelmien kautta tuotettua tietoa. (RIL267-2015, 131.) (Kuva 10.)



*KUVA 10. Lisättyä todellisuutta voitaisiin hyödyntää esimerkiksi kiinteistön käytössä ja ylläpidossa. Mobiililaitteen kameran kautta katsottuna esimerkiksi huonetilaa, näkyisi tietojärjestelmistä lisätty informaatio huonetilaan paikannettuna (RIL267-2015, 132).*

Yksi mahdollisuus hyödyntää lisättyä todellisuutta kiinteistön käytössä ja ylläpidossa on ns. röntgenlamppu. Röntgenlampun avulla voitaisiin heijastaa kiinteis-

tön tietojärjestelmässä oleva tieto esimerkiksi rakennuksen seinälle oikeaan paikkaan, jolloin kyseisessä kohdassa seinän sisäiset putket ja kanavat näkyisivät seinän pinnalla. (RIL267-2015, 132.) (Kuva 11.)



*KUVA 11. Lisätyn todellisuuden teknologioihin perustuvan röntgenlampun avulla voitaisiin heijastaa todellisen rakennuksen seinälle rakennuksen tietojärjestelmissä olevaa tietoa (RIL267-2015, 133)*

### **2.3.3 Virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen**

Rakennusten ja niihin liittyvän rakennetun ympäristön 3D-malleista on mahdollisuus luoda tietokonepelimoottoria hyödyntävä virtuaalimalli. Virtuaalimallissa voidaan liikkua ja tarkastella mallia pelimaailmasta tuttuun tapaan. Virtuaalimalli mahdollistaa käyttäjäpalautteen antamisen kohteesta pelkän mallin avulla sekä erilaisista kiinteistö- ja rakennetun ympäristön tietojärjestelmistä kerätyn reaaliaikaisen ja historiatiedon monitoroinnin, analysoinnin ja visualisoinnin. (RIL 267-2015, 134.)

Perinteisesti loppukäyttäjät voivat kokea asumisen ja työskentelyn lopullisissa tiloissa vasta niiden valmistuttua. On todettu, että suurin osa ei kykene ymmärtä-

mään lopputulosta perinteisistä suunnitteludokumenteista. Virtuaalisen, todellista vastaavan mallin avulla loppukäyttäjät voivat kommentoida suunnitelmia ja osallistua suunnitelmien kehittämiseen jo ennen kuin itse rakennusta on aloitettu rakentamaan. (Olemme edelläkävijä uusien teknologioiden hyödyntämisessä.)  
(Kuva 12.)



*Kuva 12. Virtuaaliympäristön avulla tilojen esittely on havainnollisempaa kuin perinteisistä piirustuksista (Virtuaalisafarilla edetään joystickillä, ei jeepillä-Opas vie kierrokselle tulevaisuuden rakennukseen 2017; Swecon VirtuaSite vie opiskelijat syvälle VR-oppimisympäristöön-Teollisuuslaitosten tilat ja mittasuhteet tutuksi jo opiskeluaikana 2019; Vive, linkit-> Products-> Vive).*

Uudis- ja korjausrakennushankkeiden esittäminen ja työstäminen eri sidosryhmien kanssa on nykyisten VR- ja AR-ratkaisujen avulla helpompaa. Virtuaalimaailma antaa usein ymmärrettävämmän kokemuksen rakennuksesta kuin perinteiset suunnittelumateriaalit. Tämän avulla saadaan tärkeää palautetta heti hankkeen alkuvaiheessa, jolloin muutosten tekeminen on vielä huomattavasti edullisempaa kuin rakennusvaiheen jo käynnistyessä. (Tammi 2018.)

Virtuaalitodellisuutta voidaan käyttää myös opetustarkoituksessa. Vastavalmistuneilla suunnittelijoilla on usein hankaluuksia teollisuuslaitosten kokoluokkien hahmottamisessa. Virtuaaliympäristön avulla laitosten tilojen, komponenttien kokoluokan ja mittasuhteiden hahmottaminen on helpompaa kuin perinteisistä piirustuksista. Virtuaaliympäristöä voidaan käyttää apuna myös voimalaitosten käyttäjäkoulutuksissa, kunnossapidon suunnittelussa sekä turvallisuusasioiden huomiointissa. (Swecon VirtuaSite vie opiskelijat syvälle VR-oppimisympäristöön-Teollisuuslaitosten tilat ja mittasuhteet tutuksi jo opiskeluaikana 2019.)

### 3 OHJELMISTOT TIETOMALLINNUKSESSA

Tietomallinnuspohjaisissa hankkeissa käytetään useita erilaisia tietokoneohjelmia. Käytettävät tietokoneohjelmat voidaan ryhmitellä seuraavasti:

- mallipohjaiset suunnitteluohjelmat
- mallien katselu- ja tarkasteluohjelmat
- malleja hyödyntävät projektinhallintaohjelmistot
- malleja lähtötietona käyttävät simulointi ohjelmistot. (Jäjävä–Lehtoviita 2016, 38.)

Tässä luvussa keskitytään tarkastelemaan tietomallinnuksessa ja tietomallien käytössä tarvittavia suunnitteluohjelmia sekä katselu- ja tarkastusohjelmia. Seuraavassa on listattu eri suunnittelualojen käytössä olevia yleisimpiä suunnitteluohjelmia.

Arkkitehtisuunnitteluohjelmat:

- ArchiCAD
- Arksystems ARK
- Revit Architecture
- CADS Planner House
- Nemetschek Allplan
- Architecture
- Bentley Microstation.

Rakennesuunnitteluohjelmat:

- Tekla Structures
- Revit Structure
- Vertex BD
- CADS Planner House
- Nemetschek Allplan Engineering.

Talotekniikan suunnitteluohjelmat:

- MagiCAD
- Revit MEP
- CADS Electric
- CADS HEPAC.

Laitossuunnitteluohjelmat:

- Vertex G4Plant
- PDS
- Microstation
- PDMS
- Autocad Plant3D.

Tietomallien hallinnan ja koordinoinnin kannalta useilla eri suunnitteluohjelmilla luodut mallit sekä näiden lisäksi myös muu projektiin kuuluva data mm. pistepilvimallit olisi pystyttävä kokoamaan yhdeksi järkeväksi kokonaisuudeksi, yhdistelmämalliksi. Yhdistelmämallien koontiin ja katseluun on markkinoilla tarjolla useita eri vaihtoehtoja. Muutamia yleisimpiä käytössä olevia katselu- ja tarkasteluohjelmia ovat Solibri Model Checker, Solibri Model Viewer, Tekla BIMsight, Tekla Field 3D sekä Autodesk Navisworks Manage, -Simulate ja -Freedom

Tässä työssä keskitytään suunnitteluohjelmistoista Vertex G4Plant -laitos- ja putkistosuunnitteluohjelmistoon sekä Autodesk Navisworks -projektinhallinta- ja koordinoitiohjelmistotuoteperheeseen.

### **3.1 Vertex G4Plant**

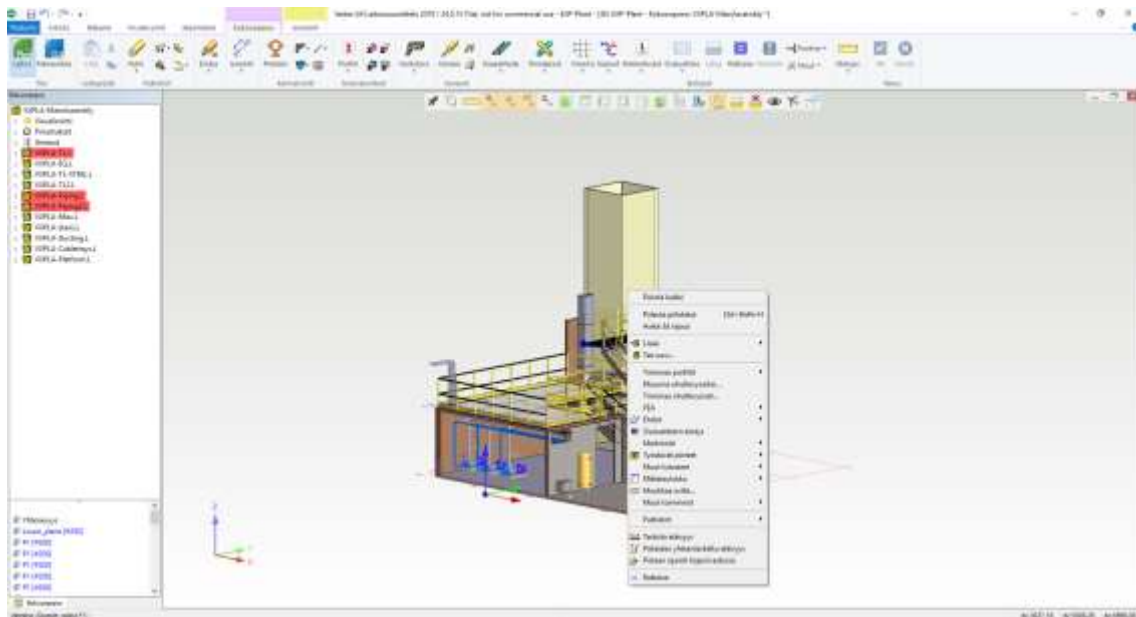
Tässä työssä Vertex G4Plant -suunnitteluohjelmasta puhuttaessa tarkoitetaan vuoden 2018 versiota, koska kyseinen versio oli käytössä myös opinnäytetyön toimeksiantajalla.

Vertex G4Plant on suomalainen ja suomenkielinen, parametrinen ja piirre pohjainen 3D-laitos- ja putkistosuunnitteluohjelmisto. Vertexin avulla voidaan suunnitella laitoksia sekä laitoksiin liittyviä rakenteita ja laitteita. Suunnittelua voidaan toteuttaa joko mallintamalla tai piirtämällä. Vertex G4Plant sisältää vakiona myös Vertex G4 -mekaniikkasuunnitteluohjelmiston työkalut. Piirustusten tuottaminen

onnistuu myös piirtämällä eli ilman mallia. Ohjelmisto sisältää runsaasti valmiita kirjastokomponentteja hyödyntäviä erikoistoimintoja, jotka nopeuttavat suunnittelua ja mallinnusta. (Vertex G4Plant yleiskatsaus 2018.)

### 3.1.1 Käyttöliittymä

Vertex G4Plantin toiminnot suoritetaan kuvaruudun yläreunasta valittavilla painonapeilla. Useimmat toiminnot voidaan suorittaa myös hiiren 2. painikkeella halutun osan tai kokoonpanon päällä, minkä avulla avautuu käyttöön tilannekohtainen valikko. Käyttöliittymää on mahdollisuus muokata itselle mieluisammaksi ohjelman asetuksien kautta tietyin rajoituksin. (Vertex G4Plant yleiskatsaus 2018.) (Kuva 13.)



*KUVA 13. Yleisnäkymä Vertex G4Plant suunnittelutilasta. Toimintoja sisältävät painonapit sijaitsevat yläreunassa. Kuvassa näkyy myös tilannekohtainen valikko avattuna mallin päällä.*

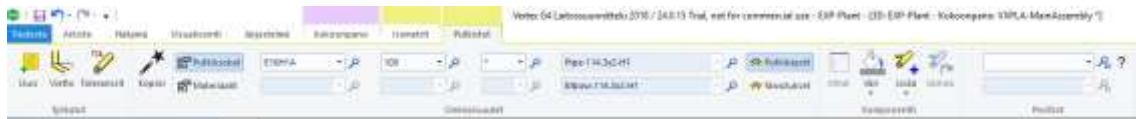
### 3.1.2 Suunnittelutietojen hallinta

Suunnittelutietojen hallintaan Vertex G4Plant käyttää arkistoja. Arkistot on jaoteltu projekti-, malli- ja piirustusarkistoihin. Projektiarkistoiden kautta hallitaan projektien piirustuksia ja malleja sisältäviä kansioita. Vertex-arkistoon tallennetut

dokumentit tai projektit voidaan arkistoida myös projektin dokumentit ja niiden metatiedot sisältäviksi paketeiksi. Tämän lisäksi projektit tai valitut projektidokumentit on mahdollista siirtää toiseen Vertex-ohjelmistoon siirtopakettien avulla. Perusarkistoinnissa on käytössä Vertexin omat tietokannat, mutta hajautettuun suunnitteluun sekä yleiseen suunnitteludokumenttien hallintaan on saatavilla myös laajennettu SQL-pohjainen PDM-järjestelmä Vertex Flow. (Vertex G4Plant yleiskatsaus 2018.)

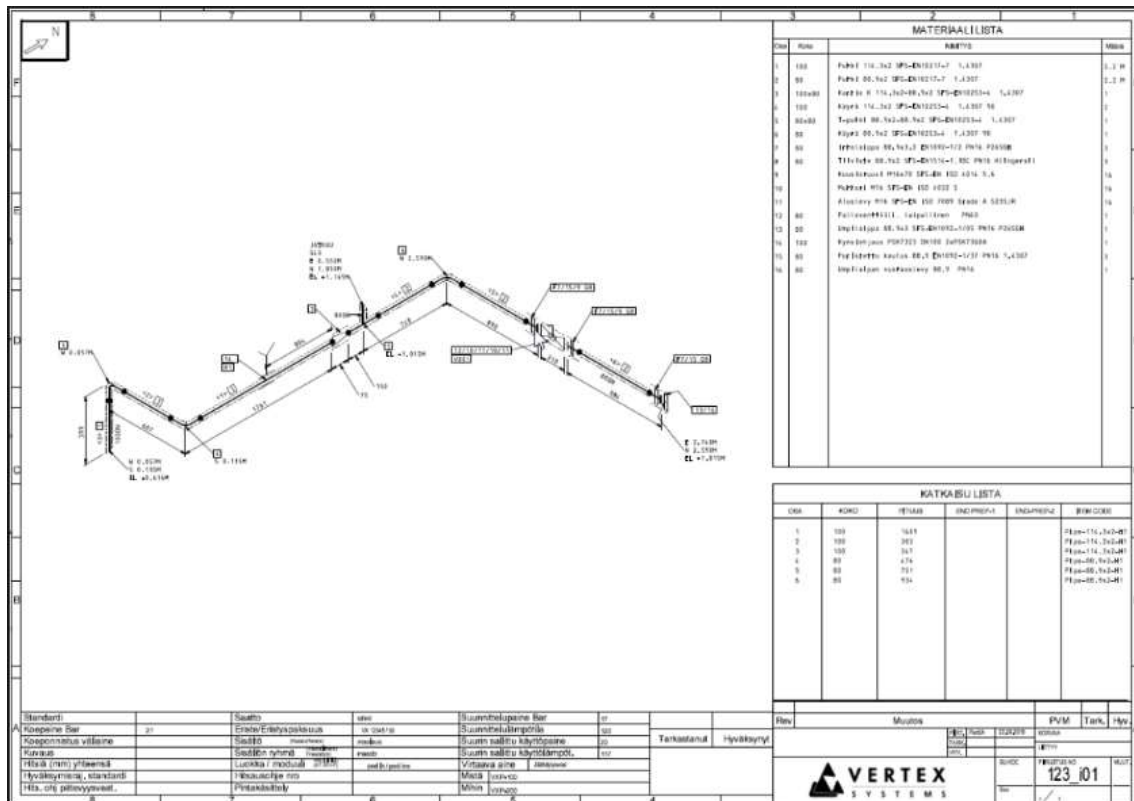
### 3.1.3 Putkistosuunnittelu

Mallinnettaessa putkistoa Vertexillä putken reititys määritellään valmiin ohjauskäyrän avulla tai luonnostelemalla reitti geometrisillä ehdoilla. Lisättäessä putkilinjaa avautuu ylävalikkoon valintapainikkeet, joiden avulla valitaan putkiluokka, nimelliskoko, seinämän paksuus, putken nimike, käyrän nimike, kulmien tekotapa ja vietto (kuva 14). Putkilinjaa voidaan mallintaa myös komponenttikirjaston avulla. Putkilinjojen yhteensopivuudet voidaan analysoida ohjelman törmäystarkastelu-toiminnolla. (Vertex G4Plant yleiskatsaus 2018.)



KUVA 14. Valikko näkymä putkilinjan tietojen määrittämiseen.

G4Plant ohjelmistoon integroidun Isogen-isometrisovelluksen avulla voidaan luoda 3D-putkilinjasta tai valituista linjan osista mitoituksen sisältävä isometripiirustus osaluetteloihin. (Vertex G4Plant yleiskatsaus 2018.) (Kuva 15.)



KUVA 15. Vertex G4Plantilla tuotettu isometripiirustus (Vertex G4Plant yleiskatsaus 2018)

Vertex G4Plant sisältää vakiona PSK-putkiluokat sekä laajan putkikomponentti-kirjaston. Tämän lisäksi ohjelma sisältää valmiit tietokannat muovi-, elintarvikke- ja kaukolämpöputkistojen suunnitteluun. (Vertex G4Plant yleiskatsaus 2018.)

Putkistokannakointiin Vertex-ohjelmiston mukana toimitetaan PSK73-standardisarjan mukaiset primäärikannakkeet. Portti- ja uloketyyppisille sekundäärikannakkeille löytyy standardien SFS 5398 ja SFS 5397 mukaisia tyyppiesimerkkejä. Vakio kannakekirjastojen lisäksi voit tuoda malliin myös Lisega- ja Hydra-primäärikannakkeita. Kannakkeiden luonti onnistuu myös kirjastoprofiilien avulla. (Vertex G4Plant yleiskatsaus 2018.)

Putkieristysten mallinnukseen on olemassa myös omia erikoistoimintoja, joiden avulla putkiin ja putkenosiin voidaan lisätä eristystä. Eristystä voidaan tarpeen mukaan lisätä vain tietyille kohdille putkea. Erikoistyökaluja käyttäen myös käy-

rien, laippojen ja varusteiden eristäminen on mahdollista. Sovellus sisältää kattavat eristystaulukot, joiden avulla oikean eristyksen valinta käy helposti. (Vertex G4Plant yleiskatsaus 2018.)

### **3.1.4 Profiilirakenteet**

Vertex G4Plant -ohjelmisto sisältää standardien mukaisen kattavan profiilikirjaston. Käyttäjä voi tarvittaessa täydentää kirjastoa tallentamalla sinne omia profiilejaan. Älykkäiden profiilien tietomallin sisältämä data siirtyy esimerkiksi Excelliin, IFC- tai 3D-PDF-tiedostoon. Excelin avulla saat profiilirakenteista tekstimuotoisia tai kuvallisia katkaisulistoja. Kuvallisissa katkaisulistoissa voidaan esittää mm. profiilien poikkileikkaukset ja päiden sahauskulmat. (Vertex G4Plant yleiskatsaus 2018.)

### **3.1.5 Pistepilvi ja ympäristö**

Vertex G4Plant mahdollistaa pistepilvi-lisäoption avulla pistepilvitiedostojen avaamisen ja käsittelyn. Ohjelmistolla voidaan avata esimerkiksi e57-, pts., ptx-, xyz- tai laz-tiedostoja. Vertex G4Plantin avulla voidaan harventaa pistepilveä lukuvaiheessa, rajata, poistaa pisteitä sekä tallentaa muokatun pistepilven uudelle nimelle. Pistepilviä voidaan hyödyntää mallinnettaessa referointiin sekä apupintojen luontiin pisteiden avulla. Pistepilvi on mahdollista tuoda myös mallista tehtäviin työpiirustuksiin. (Vertex G4Plant yleiskatsaus 2018.)

Vertex-maastomallinnustyökalun avulla voidaan luoda ympäristön kokoonpanolle. Ympäristön mallinnukseen voidaan käyttää apuna esimerkiksi 3D-DWG-tiedostoa, joka sisältää korkeuskäyrät. Maaston muokkaaminen on mahdollista lisäämällä malliin uusia maastopisteitä tai siirtämällä ja poistamalla vanhoja maastopisteitä. Myös maan paksuutta sekä materiaalia maan pinnalle ja leikkaukselle on mahdollista muokata. (Vertex G4Plant yleiskatsaus 2018.)

### **3.1.6 Kääntäjät**

Vertex G4Plant 2018 ohjelmisto tukee useita eri 2D- ja 3D-tiedostoformaatteja (kuva 16).

Verteisiin voidaan lukea seuraavia tiedostomuotoja (import):

DGN-piirustukset (*.dgn)	SW-tiedostot (*.sldprt, *.sldasm)
DGN-mallit (*.dgn)	STEP-tiedostot (*.stp, *.step)
DXF-tiedostot (*.dxf)	STL-tiedostot (*.stl)
Binaari DXF-tiedostot (*.dxb)	RAR-tiedostot (*.rar)
Design Web Format (*.dwf)	ZIP-tiedostot (*.zip)
IGES-tiedostot (*.igs)	Vertex-siirtotiedosto (*.vxz)
ACIS-tiedostot (*.sat)	Vertex Red Pen -tiedostot (*.vrx)
ACIS-tiedostot (*.sab)	Lisega 3D kannake (*.l3d)
3DS-tiedostot (*.3ds)	DGN-piirustukset (*.dgn)
OBJ-tiedostot (*.obj)	Piping Component -tiedostot (*.pcf)
DAE-tiedostot (*.DAE)	HPGL-kuvat (*.hpgl, *.hgl)
IFC-tiedostot (*.ifc)	TIFF-kuvat (*.tif, *.tiff)
IFC-tiedostot (pakatut) (*.ifczip)	JPEG-kuvat (*.jpg, *.jpeg)
GIF-kuvat (*.gif)	BMP-kuvat (*.bmp)
PNG-kuvat (*.png)	

Verteistä voidaan tallentaa seuraavia tiedostomuotoja (export):

## 2D

Adobe Acrobat -tiedostot (\*.pdf)  
AutoCAD-piirustukset (\*.dwg)  
DXF-tiedostot (\*.dxf)  
Binaari DXF -tiedostot (\*.dxb)  
Scalable Vector Graphics (\*.svg)  
Design Web Format (\*.dwf)  
Binary Design Web Format (\*.dwf)  
Compressed Design Web Format (\*.dwf)  
HPGL-kuvat (\*.hpgl, \*.hgl)  
TIFF-kuvat (\*.tif, \*.tiff)  
JPEG-kuvat (\*.jpg, \*.jpeg)  
BM -kuvat (\*.bmp)  
GIF-kuvat (\*.gif)  
PNG-kuvat (\*.png)

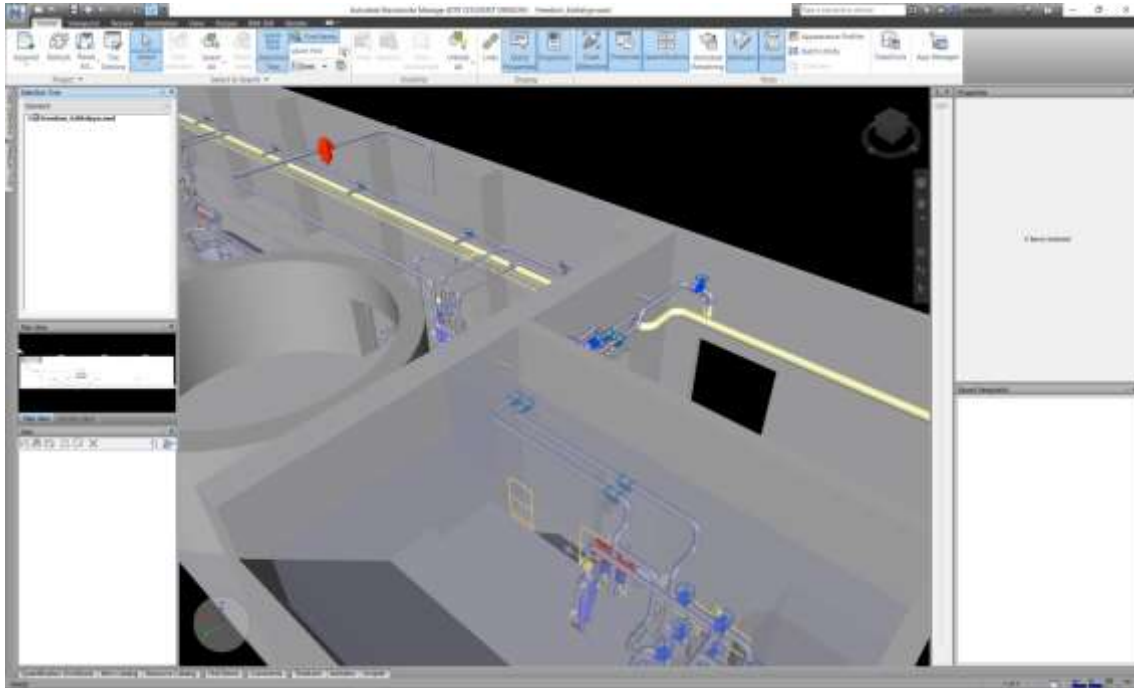
## 3D

Adobe Acrobat -tiedostot (\*.pdf)  
AutoCAD -piirustukset (\*.dwg)  
IGES-tiedostot (\*.igs)  
ACIS-tiedostot (\*.sat)  
3DS-tiedostot (\*.3ds)  
DAE-tiedostot (\*.dae)  
I3D-tiedostot (\*.i3d)  
STEP-tiedostot (\*.stp, \*.step)  
VRML-tiedostot (\*.vrl, \*.vrml)  
STL-tiedostot (\*.stl)  
IFC-tiedostot (\*.ifc)  
IFC-tiedostot (pakatut) (\*.ifczip)  
JPS-tiedostot (\*.jps)  
U3D-tiedostot (\*.u3d)

*Kuva 16. Vertex G4Plant 2018 ohjelmiston tukemat tiedostoformaatit (Vertex G4Plant yleiskatsaus 2018)*

### 3.2 Autodesk Navisworks

Autodesk Navisworks on projektinhallintaan ja koordinointiin kehitelty ohjelmisto. Navisworks-ohjelmiston avulla voidaan yhdistellä tietomalleja yhdistelmämalliksi, jonka avulla tehostetaan tietomallinnuspohjaisen projektin koordinointia, tarkastelua sekä yhteistyötä projektin osapuolten kesken. (Autodesk Navisworks ohjelmisto projektinhallintaan.) (Kuva 17.)



*KUVA 17. Navisworks Managen käyttöliittymän näkymä.*

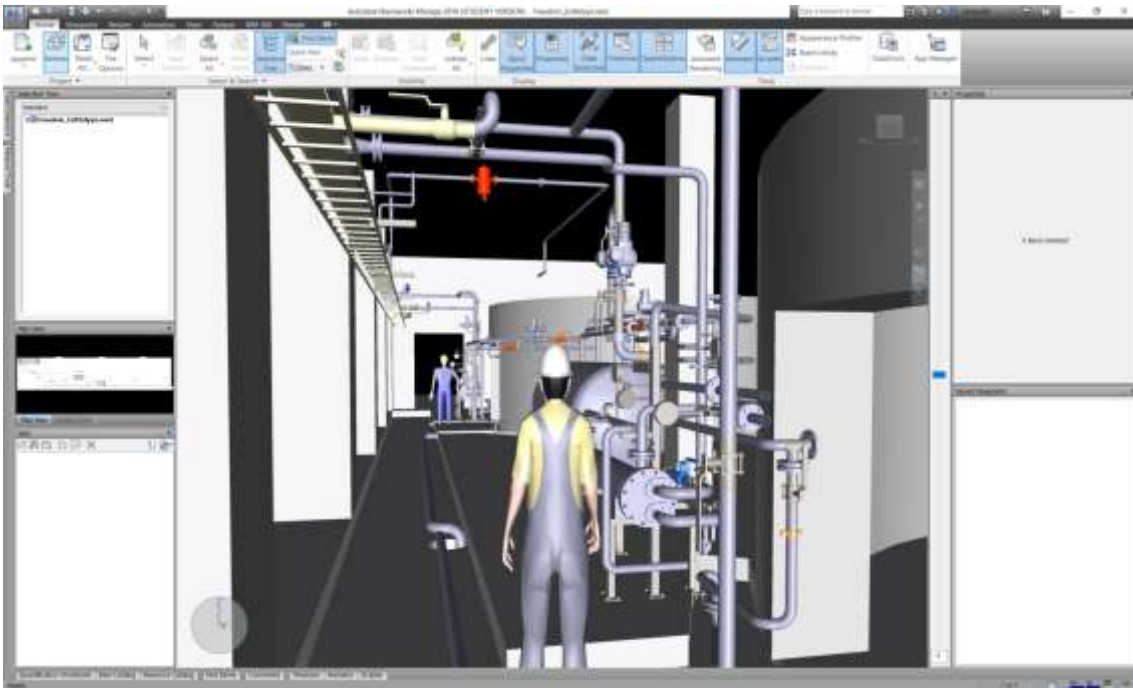
Autodesk Navisworks tuoteperheeseen kuuluu kolme eri ohjelmistoa Manage, Simulate ja Freedom. Manage ja Simulate-ohjelmistot ovat maksullisia ja niillä voidaan luoda ja tarkastella yhdistelmämalleja. Navisworks Freedom on ilmaisohjelma, joka on pelkästään mallien katselua varten. (Autodesk Navisworks ohjelmisto projektinhallintaan.)

Navisworks-yhdistelmämalli voidaan koota eri osapuolten 3D-tietomalleista sekä laserskannauksella tuotetuista pistepilviedostoista. Navisworks tukee suuren määrän eri tiedostomuotoja mm. Autodesk (dwg/dxf), 3ds Max, Inventor, MicroStation, PDS (dri), PDMS (rvn), ArchiCAD (nwc), Step, IGES, IFC, VRML, Leica, Faro jne. Navisworks Yhdistelmämalliin voidaan tuoda tietoa myös ulkoisista tietokannoista. (Autodesk Navisworks ohjelmisto projektinhallintaan.)

Yhdistelmämalli voidaan Manage- ja Simulate-ohjelmien avulla julkaista jaettavana tiedostona esimerkiksi nwd-muodossa. Julkaistu nwd-muotoinen yhdistelmämalli on katseltavissa myös ilmaisella Naviswork Freedom -ohjelmistolla. (Autodesk Navisworks ohjelmisto projektinhallintaan.)

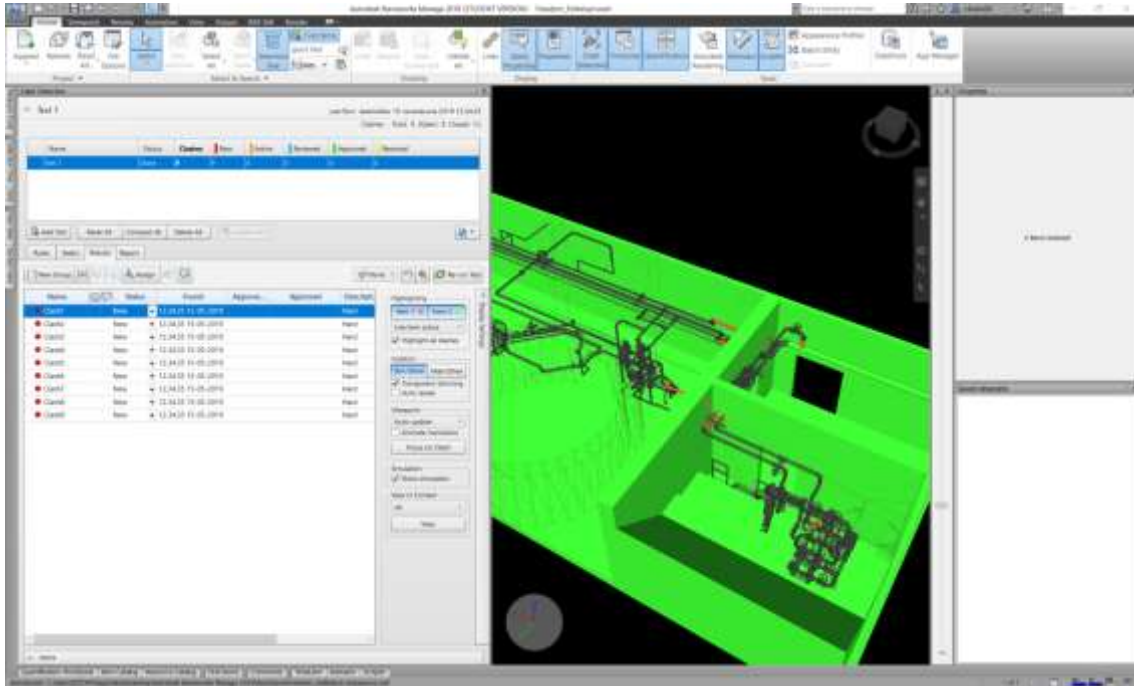
### 3.2.1 Yhdistelmämallin tarkastelu

Navisworks-yhdistelmämallia on mahdollista tarkastella erilaisten navigointityökalujen avulla (kuva 18). Mallissa navigointi on mahdollista kaikissa Navisworks-ohjelmissa. Manage- ja Simulate-ohjelmistoilla voidaan tarkastella malleja tiedostomuodoista ja koosta riippumatta. Erilaisten tarkistustyökalujen avulla voidaan tehdä mm. etäisyyksien ja pinta-alojen mittauksia. Tämän lisäksi Manage- ja Simulate-ohjelmat mahdollistavat eri sidosryhmien välisen kommunikoinnin kommentointi- ja punakynämerkintätyökalujen avulla. (Autodesk Navisworks ohjelmisto projektinhallintaan.)



*KUVA 18. Navisworks mallissa navigointia*

Navisworks mahdollistaa myös törmäystarkastelut. Törmäystarkastelujen tekeminen on mahdollista ainoastaan Navisworks Manage -ohjelmiston avulla. Tämä on ainoa ero Manage- ja Simulate-ohjelmistojen välillä. Törmäystarkastelutoiminnon avulla voidaan selvittää suunnitelmien mahdolliset ristiriidat ennen kohteen toteutusta. Törmäystarkasteluista on mahdollista luoda julkaistavia raportteja. (Autodesk Navisworks ohjelmisto projektinhallintaan.) (Kuva 19.)



*KUVA 19. Törmäystarkastelun tulokset*

### **3.2.2 4D-aikataulutus ja visualisointi**

Navisworks Manage- ja Simulate-ohjelmistojen avulla voidaan 3D-malliin luoda 4D-aikataulutus ja linkittää mallin tiedot projekti aikatauluun. 4D-aikataulutus on mahdollista myös animoida ja exportoida AVI-videoksi. Videon avulla voidaan esitellä visuaalisesti, miten kohteen rakennusvaiheet on aikataulutettu. (Autodesk Navisworks ohjelmisto projektinhallintaan.)

Fotorealistisen visualisoinnin avulla voidaan luoda suunnitelmista realistisen näköisiä kuvia sekä animaatioita. Kuvia voidaan elävöittää esim. ihmisillä ja kasveilla RCP-objektien avulla. Fotorealistinen visualisointi on käytössä Manage- ja Simulate-ohjelmistoissa. (Autodesk Navisworks ohjelmisto projektinhallintaan.)

## 4 TEOLLISUUDEN TIETOMALLIEN HALLINTA- JA TARKASTUSPALVELU

Teollisuuden hankkeissa on pidemmän aikaa ollut tarve lisätä tietomallien hyödyntämistä ja tarve on kasvanut edelleen viimevuosien aikana. Tämä selittyy mm. sillä, että teollisuuden haasteina tulevat lähivuosina olemaan lisääntynyt tiedon tarve ja tuotannon parempi hallinnointi, joka perustuu digitalisaation kehitykseen myös teollisuudessa. Teollisuuden yrityksille digitalisaation tuomiin haasteisiin tulisi tarjota ratkaisuja, joita tulevina vuosina on odotettavissa osittain teknologian kehityksen myötä. (Heinonen 2019, 21)

Kuten luvun 2 alussa kerrottiin sekä aikaisemmista luvuista voidaan päätellä, on tietomallinnus kehitetty pitkälti kiinteistö-, rakennus- ja infra-alojen ympärille. Tietomallinnukseen liittyvät säännökset, ohjeet ja kehityshankkeet on laadittu lähinnä kiinteistö-, rakennus- ja infra-alojen lähtökohtien ja tarpeiden pohjalta. Tämän vuoksi teollisuuden alalla on sovellettava näiden alojen hyväksi havaittuja käytäntöjä ja ohjeita omissa tietomallinnuspohjaisissa projekteissa. Myös Sweco Industry Oy on Sweco@ModelSafe-hankkeessaan hyödyntänyt Swecon rakennuspuolen tietomallikokemusta.

Sweco@ModelSafe on Sweco Industry Oy:n kehittänyt teollisuuden tietomallien hallinta- ja tarkastuspalvelu. Palvelun tarkoituksena on tarjota asiakkaalle kokonaisuus, jonka avulla varmistetaan, että tietomallien data on ajantasaista, tarkastettua, kattavaa ja käyttökelpoista myös tulevaisuudessa.

Palvelu mahdollistaa tehokkaamman tietomallien tiedonhallinnan, jolloin tieto on helposti käytettävissä, vakioitua, havainnollista ja tiedolle on omistajansa. Palvelun avulla tieto saadaan helposti jaettua kaikille sidosryhmille. Palvelu sisältää Navisworks-koontimallin luonnin, tarkastuksen, tarkastuksista raportoinnin, tallennuksen ja ylläpidon, mallidatan julkaisun sekä ohjeistuksen ja koordinoinnin. Ohjeistuksen ja koordinoinnin tueksi kehitetään osia Sweco@ModelSafe-ohjeistukseen tämän opinnäytetyön pohjalta.

## 5 OHJEISTUKSEN KEHITTELY

Työn suoritus aloitettiin kyselyllä, jolla selvitettiin Sweco@ModelSafe-palvelun kehittämisen ja ohjeistuksen laadinnan kannalta oleellisia asioita. Kyselyn jälkeen aloitettiin ohjelmistokohtaiset testit. Opinnäytetyön rajattiin koskemaan lukuisista suunnitteluohjelmista ainoastaan Vertex G4Plant -ohjelmistoa, jotta työ pysyisi sopivan laajuisena. Yhdistelmämallin koonti- ja tarkasteluohjelmanä käytettiin Autodeskin Navisworks Manage -ohjelmistoa.

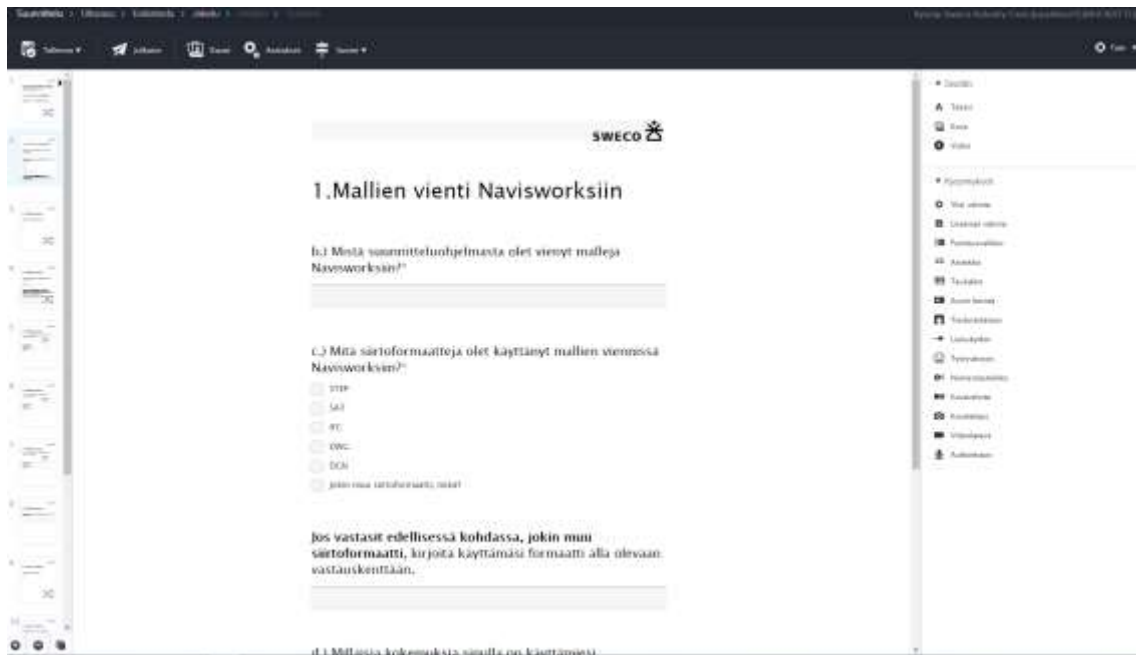
Ohjelmalliset testit aloitettiin Vertex G4Plant -ohjelmistolla luotujen mallien viennillä Navisworks-ympäristöön. Mallien viennissä täytyi huomioida natiivimallin objektien geometrian, värien sekä attribuuttitietojen virheetön ja täysimääräinen toistettavuus myös Navisworks-yhdistelmämallissa. Tämän lisäksi kokoonpanopuunrakenne pitäisi näkyä samanlaisena kuin natiivimallissa. Seuraavaksi perehdyttiin Sweco@ModelSafe-palvelun kannalta olennaisiin Navisworks Manage -ohjelmiston toimintoihin ja asetuksiin, liittyen yhdistelmämallin koontiin, ohjelmallisiin ja visuaalisiin tarkasteluihin, tarkastelujen analysointiin sekä niistä raportointiin. Lopuksi selvitettiin palvelun hallinnan kannalta tärkeitä tallennus ja julkaisu vastuita sekä hakemistorakenteita. Näiden asioiden pohjalta laadittiin Sweco@ModelSafe-palvelua tukeva alustava ohjeistus.

### 5.1 Kysely

Työ aloitettiin Sweco@ModelSafe-palvelun ja -ohjeistuksen laadintaa tukevalla kyselyllä. Kyselyssä haluttiin saada tietoja tämän hetkisistä käytännöistä ja kokemuksista liittyen suunnittelu-, katselu- ja tarkastusohjelmien käyttöön. Tämän lisäksi haluttiin tietää siirtoformaattien käytöstä, pistepilvitiedostojen käsittelystä ja Vertex-päämallin hallinnasta. Kyselyn loppuun jätettiin vielä vapaan kommentin mahdollisuus. Kyselyyn muotoutui yhteensä viisi pääkohtaa:

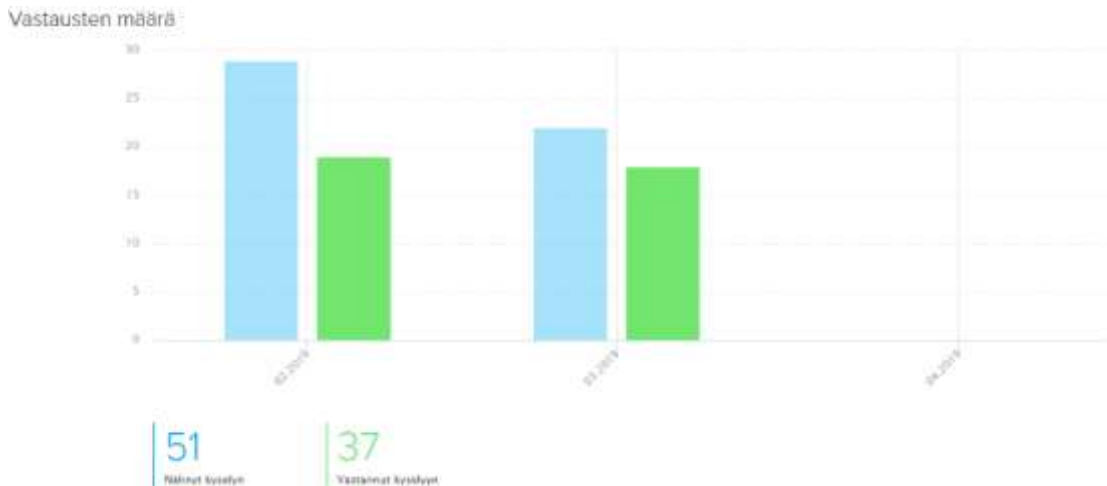
1. mallien vienti Navisworksiiin
2. törmäystarkastelut
3. pistepilven käsittely
4. Vertex-päämallin hallinta
5. vapaa kommentti.

Kyselyn kysymykset laadittiin yhteistyössä Sweco Industryn suunnittelijoiden ja palvelun kehittäjien kanssa. Lopullinen kysely laadittiin ja julkaistiin SurveyPal-työkalun avulla (kuva 20). SurveyPal-kysely lähetettiin kaikille Sweco Industryn Vertex-suunnittelijoille, Oulun toimiston tiimille sekä Swecon tietomalli- ja digitalisaatioasioista vastaaville henkilöille. Kyselyä lähetettiin yhteensä 76 henkilölle. Pääkohderyhmäksi valikoituivat opinnäytetyön rajauksen vuoksi Vertex-käyttäjät.



*KUVA 20. SurveyPal-kyselyn suunnittelunäkymä*

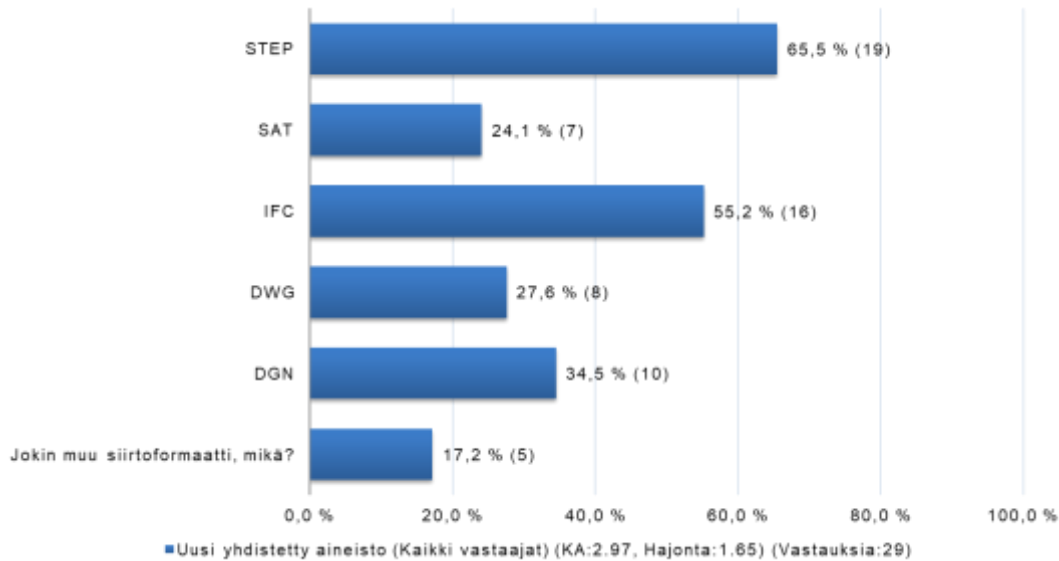
Kyselyn vastausajaksi ajateltiin aluksi viikkoa, mutta kyselyajankohdan sattuessa talvilomaviikkojen kohdalle jatkettiin aikaa kahteen viikkoon. Kyselyyn vastattiin kohtuullisen aktiivisesti. Vastauksia saatiin yhteensä 37 henkilöltä. Kyselyn nähteitä eli kyselyn avanneiden määrä oli yhteensä 51 (kuva 21).



*KUVA 21. Kyselyn nähneiden ja vastanneiden henkilöiden määrä*

Kyselyn vastausten avulla saatiin kartoitettua hyvin tämän hetkisiä käytäntöjä ja ongelmakohtia ohjelmien ja siirtoformaattien käytöstä sekä mallien hallinnan suhteen. Kyselyn hyöty ohjeistuksen laadinnan kannalta painottui lähinnä kysymysalueisiin 1. Mallien vienti Navisworksiiin, 4. Vertex-päämallin hallinta sekä 5. Vapaa kommentti. Tämän vuoksi tässä raportissa käydään läpi vain nämä edellä mainittujen kohtien vastaukset. Työn kannalta tärkeimpänä asiana vastauksissa nousivat siirtoformaattien toimivuus sekä mahdolliset Vertex-mallin Navisworks-ympäristöön vientiin liittyvät havainnot.

Kyselyn ensimmäisessä osassa Mallien vienti Navisworksiiin kävi ilmi, että Step, IFC ja DGN olivat kolme eniten käytettyä siirtoformaattia (kuva 22). Tämän lisäksi Step- ja IFC-formaattien toimivuudesta oli annettu vapaamuotoisia kommentteja eniten ja osasta kommentteja oli luettavissa myös Vertex-mallien vientiin koskevia huomioita. Näistä tiedoista oli apua, kun mietittiin tiedoston siirtoformaattien rajausta.



*KUVA 22. Kohdan 1c vastauksista selvisi tämän hetkinen siirtoformaattien käyttäjajakauma.*

Tarkasteltaessa kyselyn tuloksia huomattiin, että kohdassa 2a- Oletko tehnyt törmäystarkasteluja -kysymyksen asettelu oli väärin. Kysymyksen tarkoitus oli selvittää, kuinka moni vastaajista on tehnyt ohjelmallisia törmäystarkasteluja. Tämä kohta oli kuitenkin ymmärretty niin, että myös pelkästään visuaalisia törmäystarkasteluja tehneet olivat vastanneet tähän myöntävästi. Tästä johtuen kohta 2a keräsi oletettua suuremman kyllä-vastausten määrän. Näin ollen virheellinen kysymyksen asettelu vääristää koko kohdan 2. Törmäystarkastelut-osa-alueen tuloksia.

Kohdassa 4 Vertex-päämallin hallinta vastaustapa oli vapaamuotoinen ja siinä tulikin paljon hyviä huomioita ja ehdotuksia Vertex-käyttöön liittyen. Eniten ongelmia Vertex-työskentelyssä tuntui ilmenevän isojen mallien kanssa työskennellessä ja varsinkin silloin, kun käytössä on muilla ohjelmilla tuotettuja malleja. Toinen useasti mainittu ongelma oli ohjelman kaatuilu, joka myös ilmeisesti johtuu suurista malleista.

Kohdan 5 Vapaa kommentti vastauksissa tuli tärkeää tietoa ja hyviä huomioita palvelun kehittämiseen ja ohjeistuksen laadintaan. Kommentteja ja huomioita saatiin mm. Navisworks-yhdistelmämallin attribuuttidatan hyödyntämisestä ryhmittelyyn, väreillä luokitteluun sekä mallin koontiin ja julkaisuun.

## 5.2 Vertex-mallien vienti Navisworks-yhdistelmämalliin

Ohjelmistokohtaiset kokeilut aloitettiin selvittämällä sopivinta siirtoformaattia Vertex-mallien vienniksi Navisworks-yhdistelmämalliin. Käytössä oli opiskelijalisenssillä toimivat Vertex G4Plant vuoden 2018 versio sekä Navisworks Manage vuoden 2019 versio. Siirtotestejä ja muita ohjelmallisia testejä varten saatiin työn toimeksiantajalta valmis Vertex-malli. Testeissä tärkeimpinä huomion kohteina olivat natiivimallin geometrian, värien, attribuuttitietojen ja kokoonpanopuun rakenteen siirtyminen Navisworks-yhdistelmämalliin.

Toimivinta siirtoformaattia alettiin selvittämään kyselyn tulosten pohjalta sekä Vertex-tukipalvelun kautta. Kyselyn perusteella Step- ja IFC-formaattien toimivuus olisi Vertex-malleja vietäessä toimivin vaihtoehto. Vertex-tukipalvelusta kysyttäessä suositeltiin käyttämään IFC-formaattia. Tukipalvelusta kerrottiin, että IFC-formaatti siirtää geometrian lisäksi objektien attribuuttitiedot sekä kokoonpanopuun rakenteen. Myös VRML- ja 3D-PDF-formaateilla attribuuttitiedot siirtyisivät, mutta VRML-tiedoston attribuuttitiedot näkyisivät ainoastaan pikanäkymänä. 3D-PDF-formaattia Navisworks ei tue. Step-formaatissa attribuuttitiedot eivät siirry mutta geometria, värit ja kokoonpanopuun rakenne toistuisivat hyvin, tukipalvelusta kerrottiin.

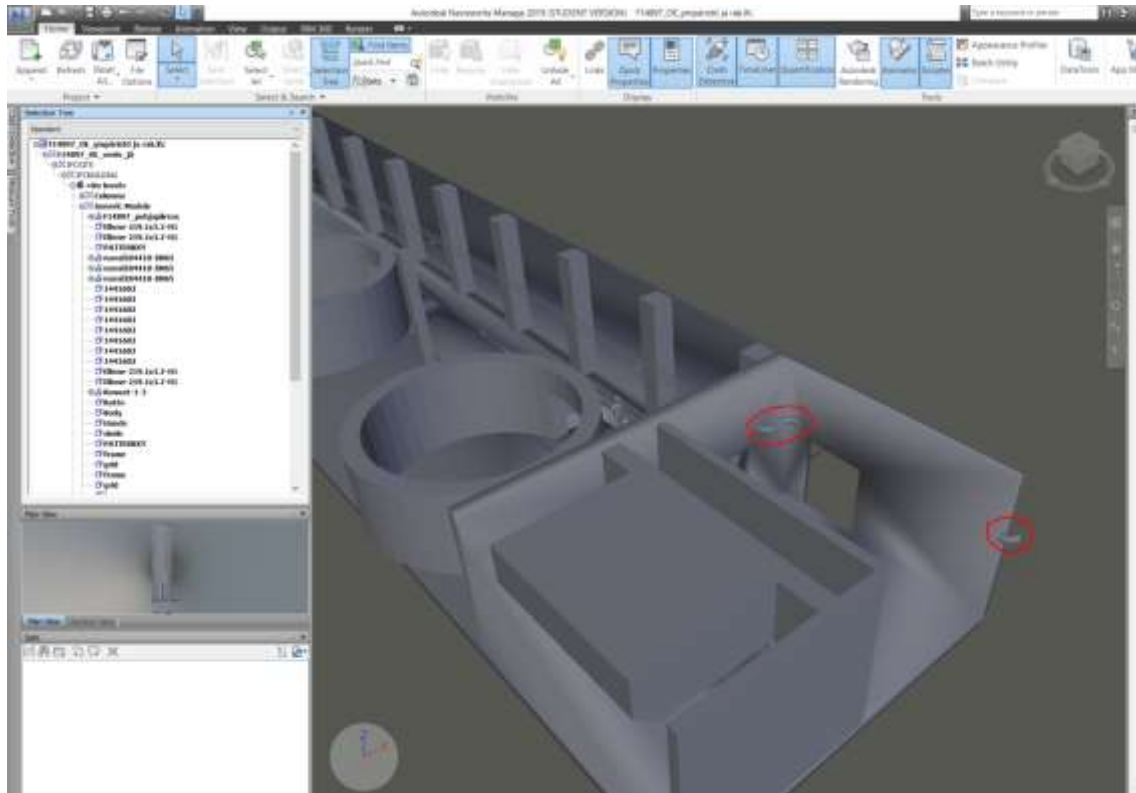
Vertex G4Plant -ohjelma tukee vakiona DXF-, DXB-, DWG-, SAT-tiedostojen vientiä ja tuontia sekä PDF-, SVG-, DWF-, HPGL- tiedostojen ja rasteri- eli piste-grafiikkakuvan vientiä. Tämän vuoksi ennen siirtotestien aloittamista täytyi eri formaatissa olevien tiedostojen vientiin ja tuontiin saada tarvittavat lisäoptiot käyttöön. Vertex G4Plant -ohjelmaan on mahdollista saada maksullisena lisäoptiona Step-, IGES-, IFC-kääntäjät tiedostojen vientiin ja tuontiin, 3D PDF- ja SDNF-kääntäjät tiedostojen vientiin sekä 3D DWG- ja SolidWorks-kääntäjät tiedostojen tuontiin. Lisäoptioita voidaan tarpeen mukaan lisätä helposti ottamalla yhteyttä Vertex-myyntiin. Opiskelijalisenssiin saatiin opinnäytetyössä tarvittavat lisäoptiot ilmaiseksi käyttöön.

Vertex-mallien siirtotestit päätettiin tehdä lopulta kuitenkin IFC-, VRML- ja Step-formaateilla. Testikäyttöön saadusta Vertex-mallista tallennettiin ympäristön ja

rakennuksen mallit omana tiedostonaan ja putkisto- ja laitemallit omana tiedostonaan. Tiedostot tuotiin yhteen Naviswork-malliin.

### 5.2.1 IFC-tiedoston vienti Navisworksiiin

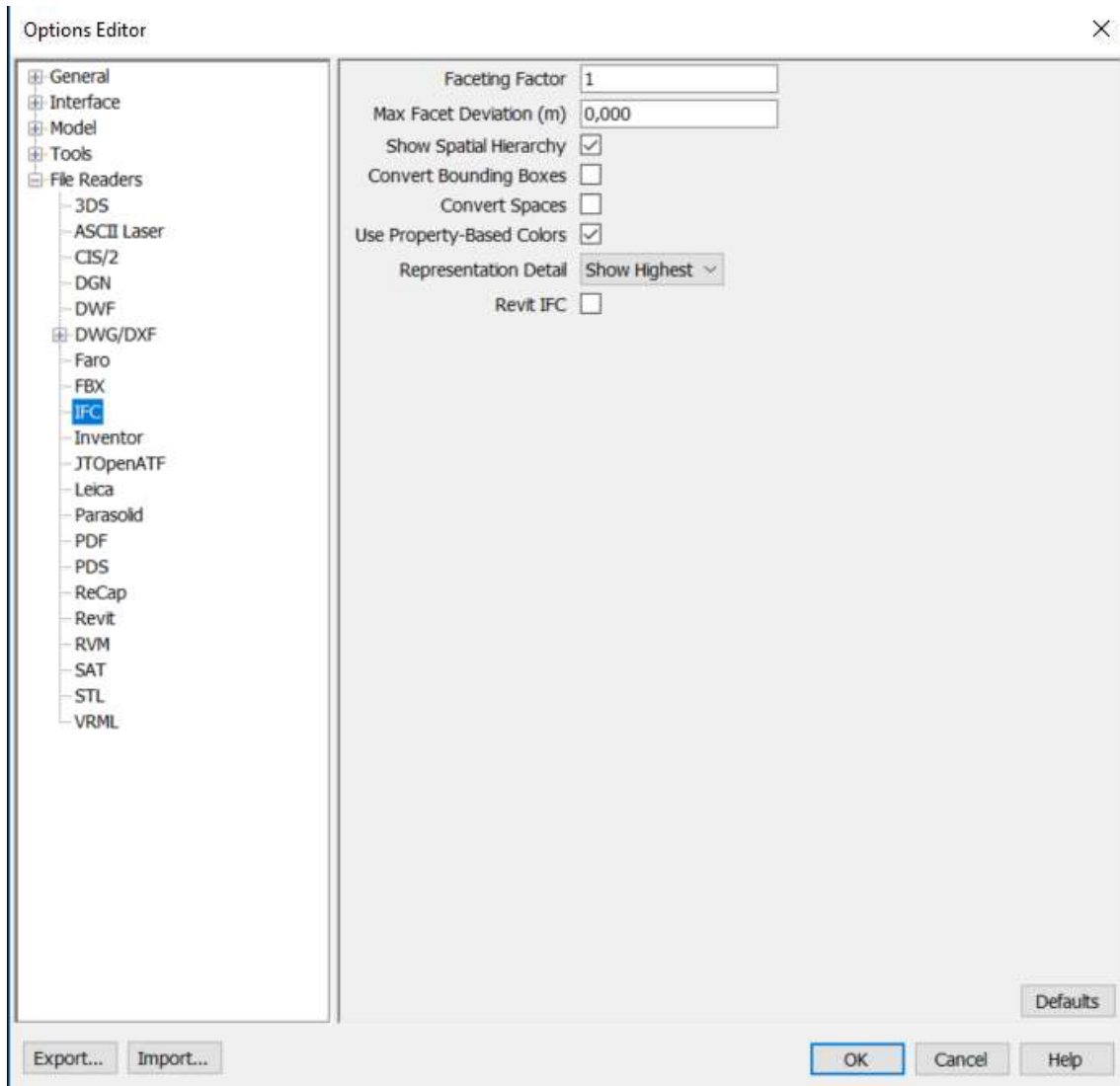
IFC-formaatissa olevan tiedoston vienti Navisworks-ympäristöön oli aluksi ongelmia. Ympäristön ja rakennuksen sisältämien mallien geometriat eivät näkyneet kuten niiden olisi pitänyt. Putkistosta hävisi suoria putkisto-osia, ainoastaan mutkat, laipat ja venttiilit olivat jäljellä, suorat seinämallit vääristyivät ja kokoonpanopuunrakenne ei toistunut alkuperäisessä muodossa. Myös värien toistossa oli ongelmia. (Kuva 23.)



*KUVA 23. Näkymä Navisworks-ympäristöön tuodusta virheellisesti toistuvasta IFC-mallista.*

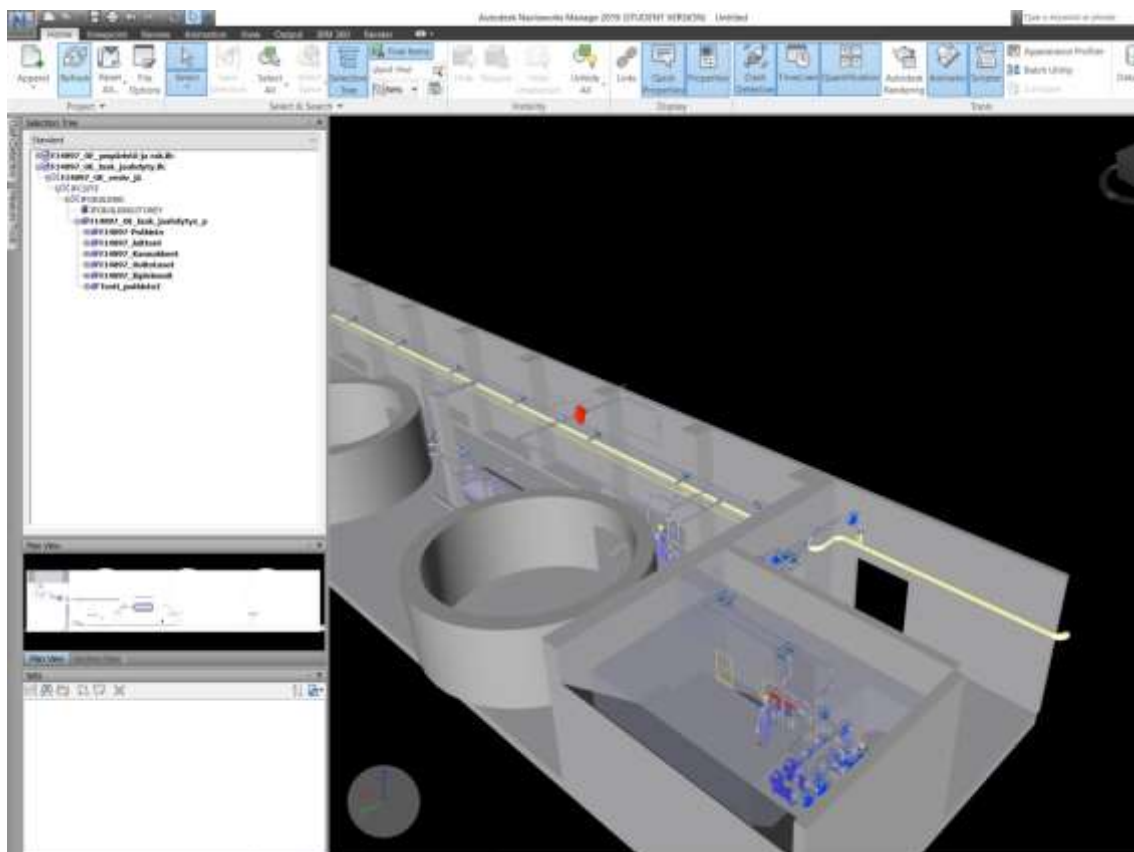
Ongelmat jatkuivat kokeiltaessa lisätä malliin putkisto- ja laitteistokokoonpanoja. Pienienkin putkistokokoonpanojen lataaminen kesti tuskastuttavan pitkään tai lataaminen ei onnistunut ollenkaan. Tähän ongelmaan löytyi kuitenkin kohtuullisen nopeasti ratkaisu. Syyksi ilmeni Navisworks-ohjelman tähän tilanteeseen sopi-

mattomat File Readers -asetukset. File Readers -asetuksien kautta voitiin vaikuttaa joihinkin tiedoston toistettavuuteen vaikuttaviin asioihin riippuen siitä, mikä formaatti oli kyseessä. IFC-asetuksia päästiin muuttamaan Options Editor -ikkunan File Readers -kohdan kautta. Ongelman aiheuttaja, oletuksena käytössä oleva Revit IFC -valinta täytyi ottaa pois käytöstä (kuva 24).



*KUVA 24. IFC-asetuksien muokkaus näkymä*

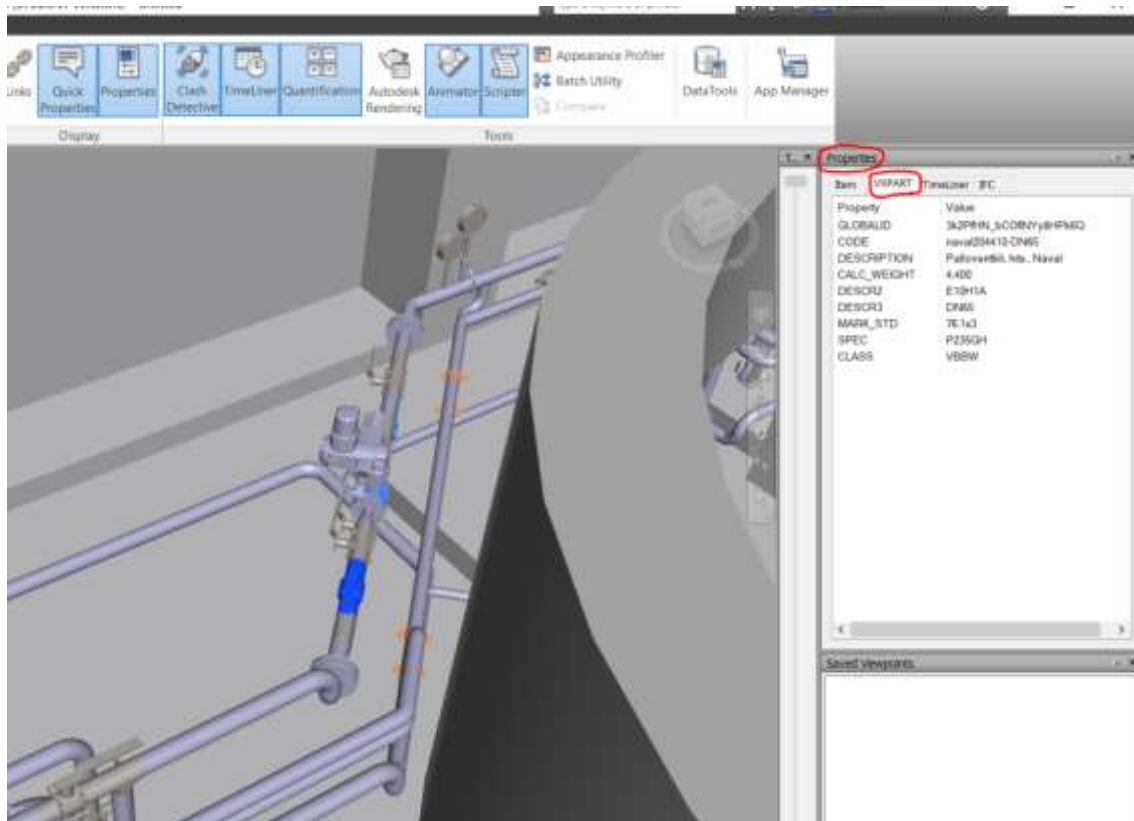
Kun valinta Revit IFC poistettiin, Vertex-malleista käännetyt IFC-tiedostot alkoivat näkymään oikein. Lisäksi kokoonpanopuun rakenne ja värit toistuivat normaalisti (kuva 25). Myös putkisto- ja laitteistomallien lataus sujui huomattavasti nopeammin.



*KUVA 25. Näkymä Navisworks ympäristöön tuodusta IFC-mallista, IFC-asetuksien muokkauksen jälkeen.*

Seuraavaksi testattiin IFC-tiedoston attribuuttitietojen näkyminen. Attribuuttitietojen siirtyminen on olennainen osa valittaessa toimivaa siirtoformaattia, koska yhdistelmämallin avulla tulee voida tarkastella muutakin kuin 3D-geometriaa. Tämän lisäksi monet ryhmittelyt Navisworksilla voidaan tehdä attribuuttitietojen avulla.

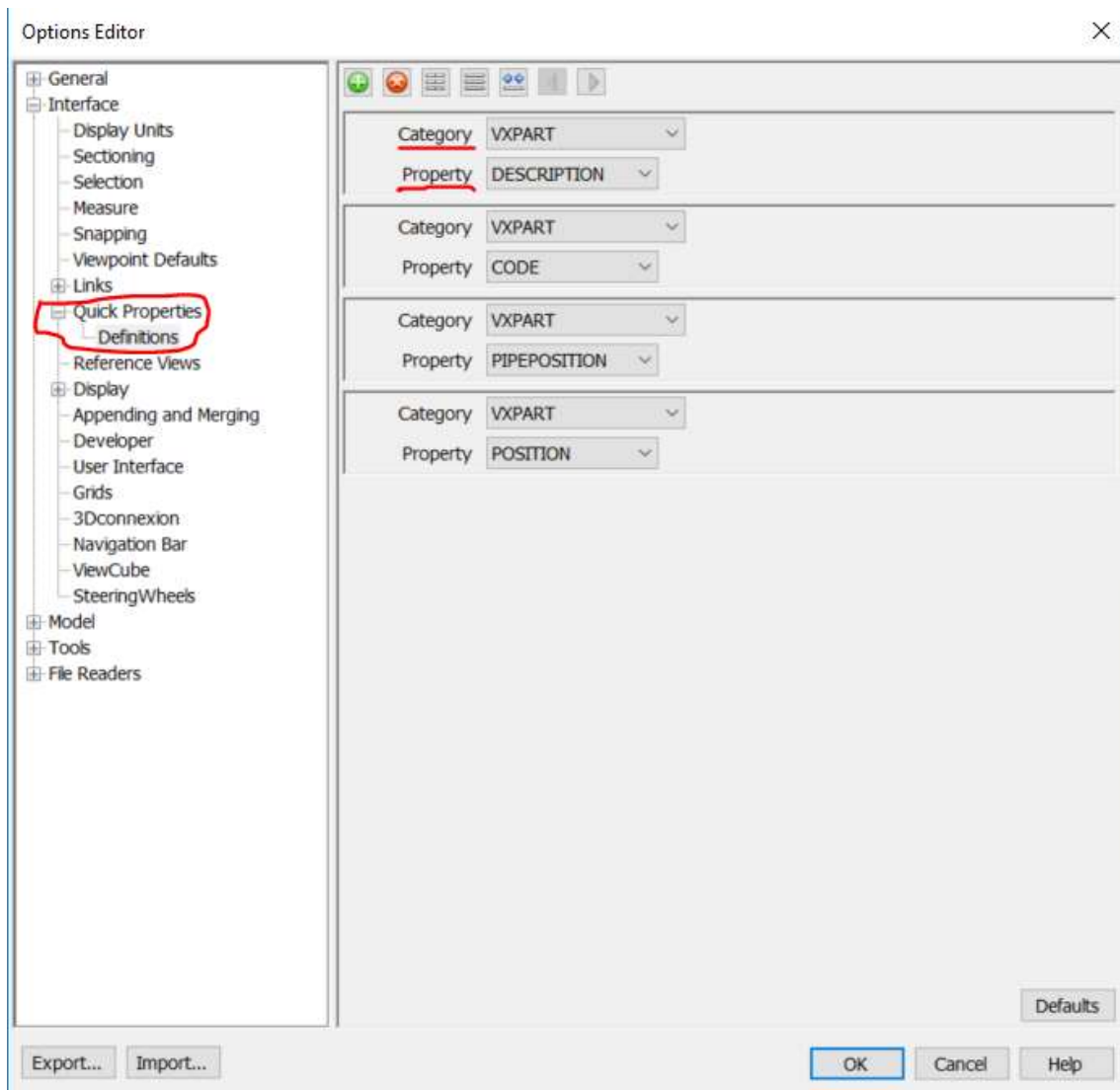
Jotta siirtyneet attribuuttitiedot saatiin hyödynnettyä, täytyi tietää, kuinka ne saadaan Navisworks ohjelman puolella näkymään. Tähän Navisworksilla oli Properties- ja Quick Properties näkymämahdollisuudet. Properties näkymä saatiin aktivoitua Home-välilehden Display-valikosta. Tämän jälkeen voitiin todeta, että IFC-tiedoston attribuuttitiedot toistuivat täysimääräisinä myös Navisworks ympäristössä (kuva 26).



KUVA 26. Attribuuttitiedot näkyvät Properties-ikkunassa.

Properties näkymän lisäksi attribuuttitietojen näyttämiseen oli Quick Properties -näkyvä. Quick Properties -näkyvässä attribuuttitiedot näkyivät pikaikkunassa, kun hiiren osoittimen vei halutun komponentin päälle. Quick Properties -näkyvä voitiin kytkeä käyttöön samasta Display-valikosta kuin Properties-näkyvä. Quick Properties -asetuksien kautta päästiin määrittelemään mitä tietoja pikaikkunanäkymässä näytetään. Asetuksiin päästiin vasemmasta yläkulmasta *ApplicationButton->Options->Interface->QuickProperties->Definitions*.

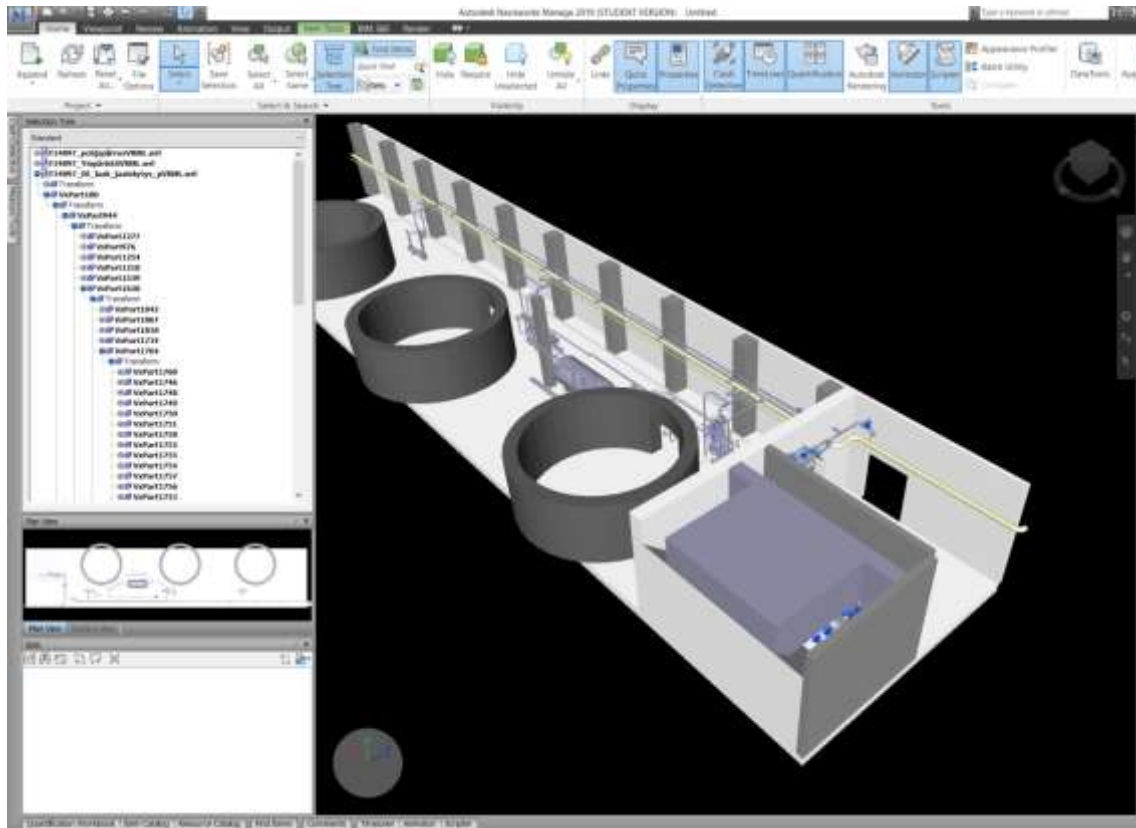
Asetuksien Category kohdasta voitiin määrittää, minkä pohjalta tieto näytetään ja Property kohdasta määritettiin tieto, joka Category valinnasta näytetään. Vertex-ohjelmasta tuoduille malleille piti asettaa Category-kohtaan valinta VXPART. (Kuva 27.)



KUVA 27. Quick Properties-asetuksien määrittäminen

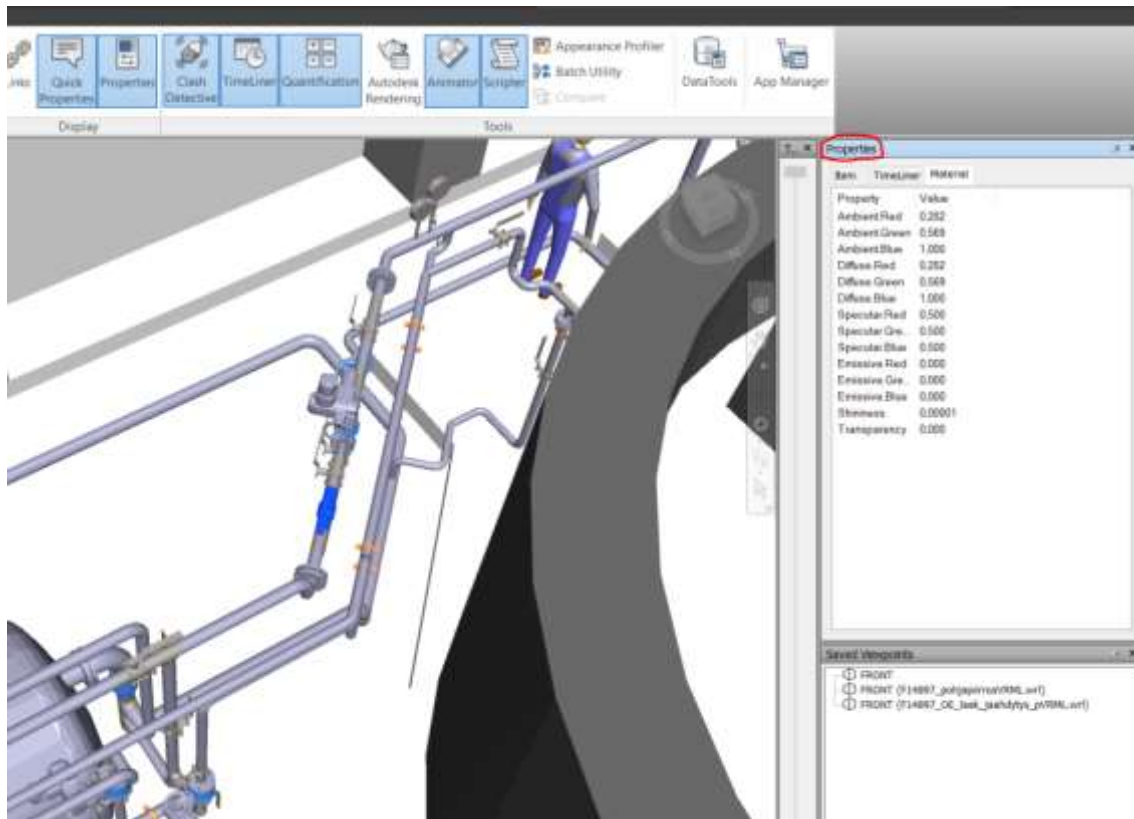
## 5.2.2 VRML-tiedoston vienti

VRML-tiedoston vienti onnistui ilman ongelmia. Mallin geometriat ja värit sekä kokoonpanopuun rakenne toistuivat Navisworks-mallissa hyvin. (Kuva 28.)



*KUVA 28. VRML-tiedosto Navisworks-ympäristössä*

Ainoa ongelma ilmeni VRML-tiedoston attribuuttitietojen tarkastelussa. Attribuuttitiedot eivät näkyneet Properties-ikkunassa vaan ainoastaan Quick Properties -näkymänä. (Kuva 29.)

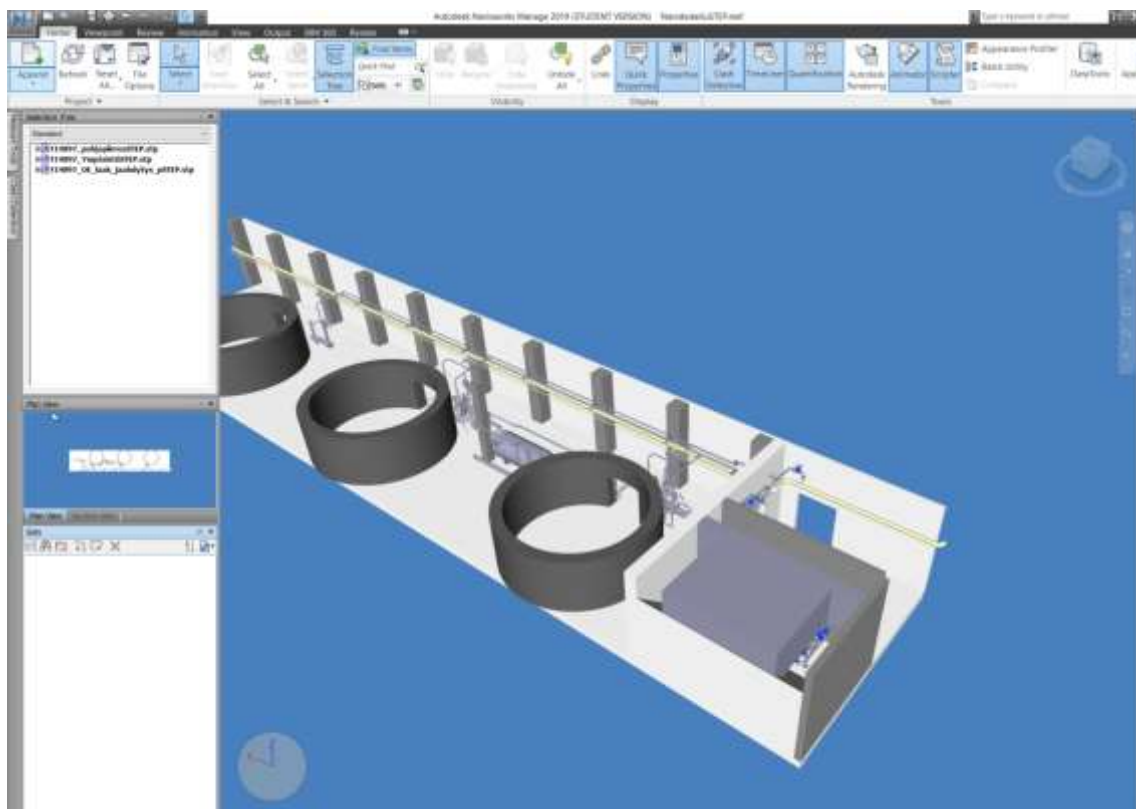


KUVA 29. VRML-tiedoston attribuuttitiedot eivät näy Properties-ikkunassa.

Vertex tuotedokumentaatiossa oli maininta, että VRML-tiedosto sopii käytettäväksi mallien siirtoon Navisworksiiin, mutta suositellaan käyttämään IFC-tiedostoa, koska se tukee paremmin attribuuttitietojen siirtoa ja on nopeammin luettavissa Navisworks-ohjelmaan.

### 5.2.3 Step-tiedoston vienti

Step-tiedoston vienti Navisworksiiin onnistui ilman ongelmia. Tiedoston kääntäminen Vertexillä kesti jonkin verran kauemmin kuin IFC-tiedoston kääntäminen. Step-tiedoston geometriat, värit ja kokoonpanopuun rakenne siirtyivät Navisworksiin. Attribuuttitietojen siirtymisen osalta kävi kuten kyselyn vastausten ja Vertex-tukipalvelusta saadun tiedon kautta voitiin olettaakin. Step-tiedosto ei siirtänyt attribuuttitietoja Navisworks-ympäristöön. Tämä asia sulki Step-tiedoston lopullisesti pois siirtoformaattivaihtoehdoista. (Kuva 30.)



*KUVA 30. Step-tiedosto Navisworks ympäristössä*

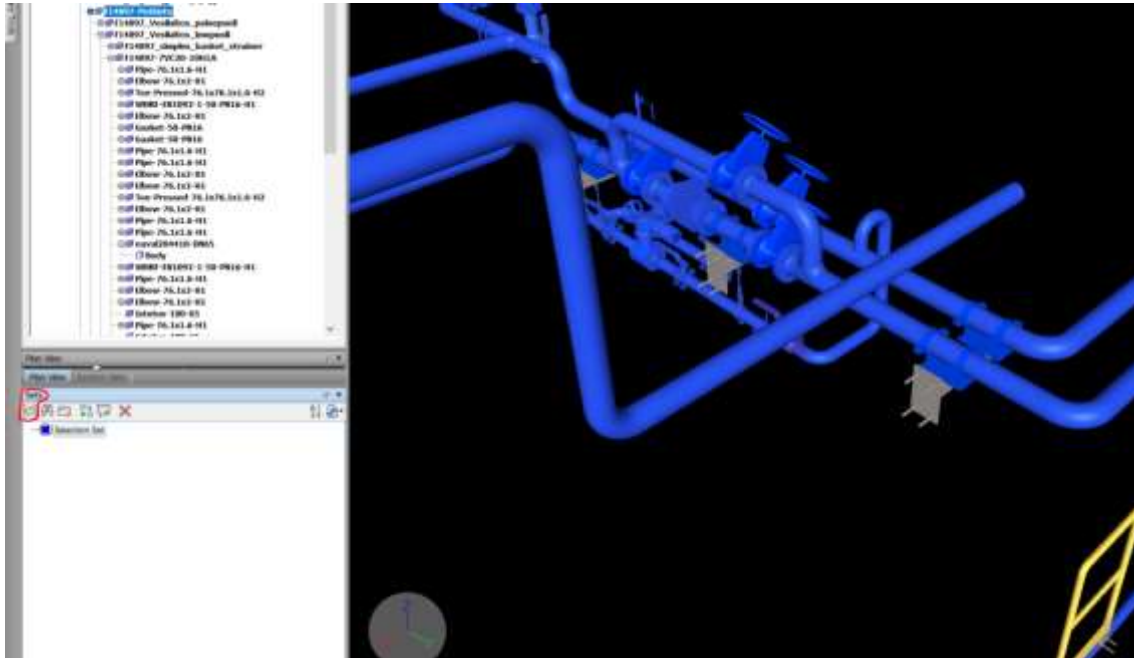
### **5.3 Navisworks Manage-ohjelmiston toiminnot**

Navisworks Managen ohjelmalliset kokeilut suoritettiin sellaisille ohjelman toiminnolle, jotka ovat Sweco@ModelSafe-palvelun kannalta keskeisimpiä ja vaativat ohjeistuksen. Jokaisesta tarvittavasta toiminnosta ja asetuksien määrittelyistä laadittiin seikkaperäinen ohje. Ohjeet sisällytettiin alustavaan Sweco@ModelSafe-ohjeistukseen. Alustavaan ohjeistukseen sisältyviä Navisworks Manage ohjelman toimintojen kokeiluja tehtiin Sets-ryhmittelystä, Compare-toiminnosta, yhdistelmämallin tarkastelutoiminnoista sekä erilaisista raportointitoiminnoista.

#### **5.3.1 Sets-ryhmittely**

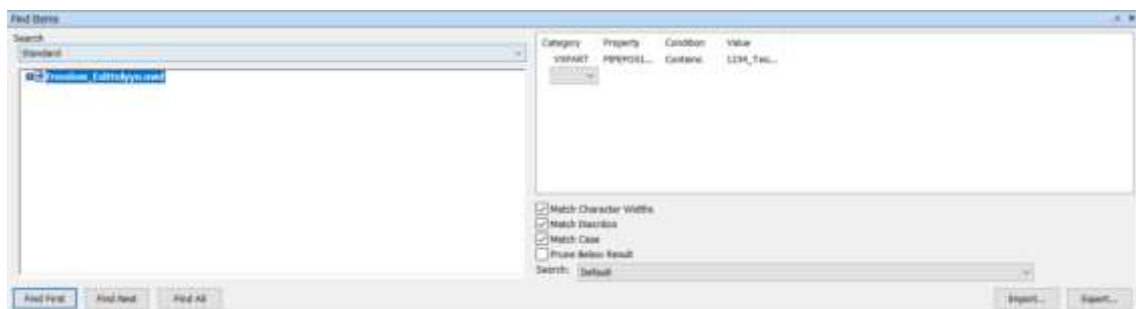
Navisworks-ohjelmiston kokeilut aloitettiin Sets-toiminnolla, jonka avulla voidaan tallentaa erilaisia ryhmittelyjä. Ryhmittelyjä voitaisiin käyttää apuna muihin Navisworks-toimintoihin esimerkiksi törmäystarkasteluun tai väreillä luokitteluun.

Ryhmittely voitiin tehdä manuaalisesti mallista tai kokoonpanopuusta valitsemalla tai hakemalla attribuuttitietojen avulla. Manuaalisesti ryhmiteltäessä valitut komponentit voitiin tallentaa Sets-ikkunan Save Selection -valinnalla (kuva 31).



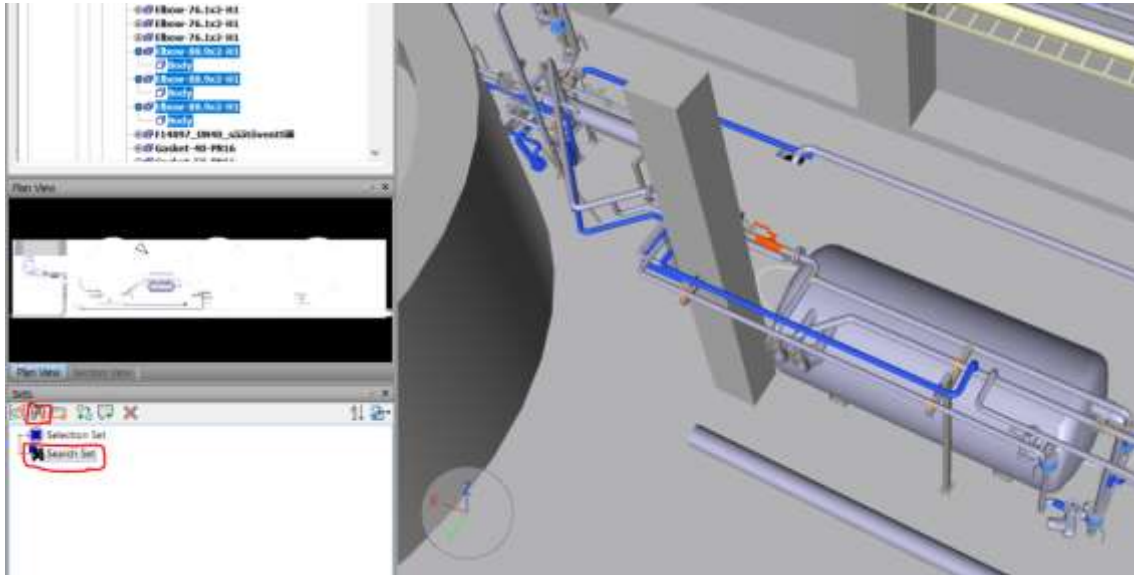
*KUVA 31. Kuvassa putkisto on tallennettu Selection Set-ryhmäksi, Sets-toiminnon avulla.*

Find Items -hakutoiminnon avulla komponenttien ryhmittely oli mahdollista mm. attribuuttitietoja käyttäen esimerkiksi laite- tai putkipositioiden avulla. Find Items -ikkunan vasemmalta laidalta Search-valikon alapuolelta valittiin ne kohteet, joista haluttiin tehdä hakuja. Jos mitään ei ollut valittuna, teki toiminto haun kaikista kohteista. Tämän jälkeen määriteltiin hakukriteerit Category, Property, Condition ja Value, minkä jälkeen haku voitiin suorittaa. (Kuva 32.)



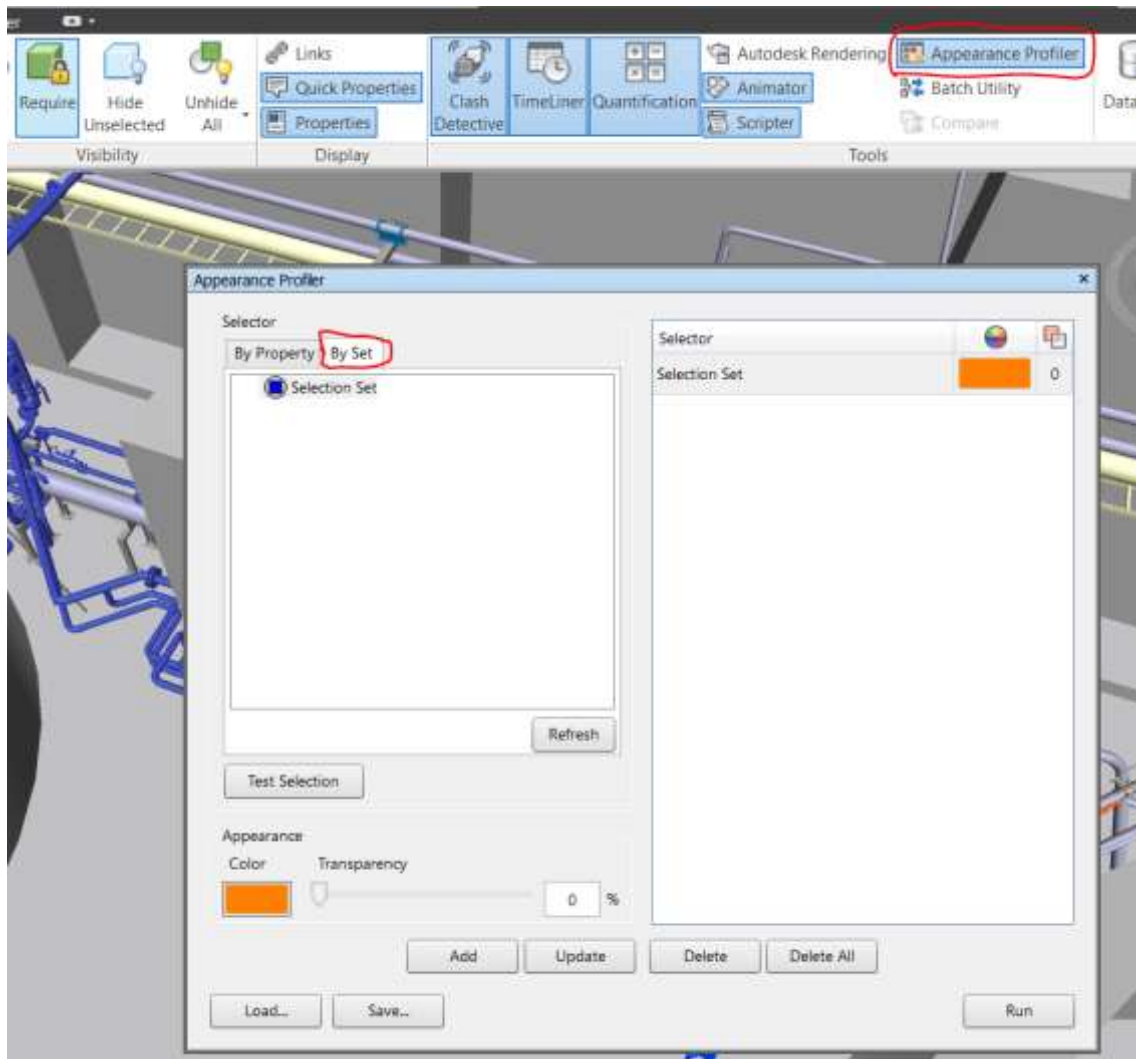
*KUVA 32. Komponenttien hakua Find Items -toiminnolla*

Suoritetun hakutoiminnon jälkeen hakukriteerin täyttäneet komponentit aktivoituvat, minkä jälkeen ne voitiin tallentaa suoraan Save Selection -toiminnolla tai myöhemmin Save Search -toimintoa käyttäen. (Kuva 33.)



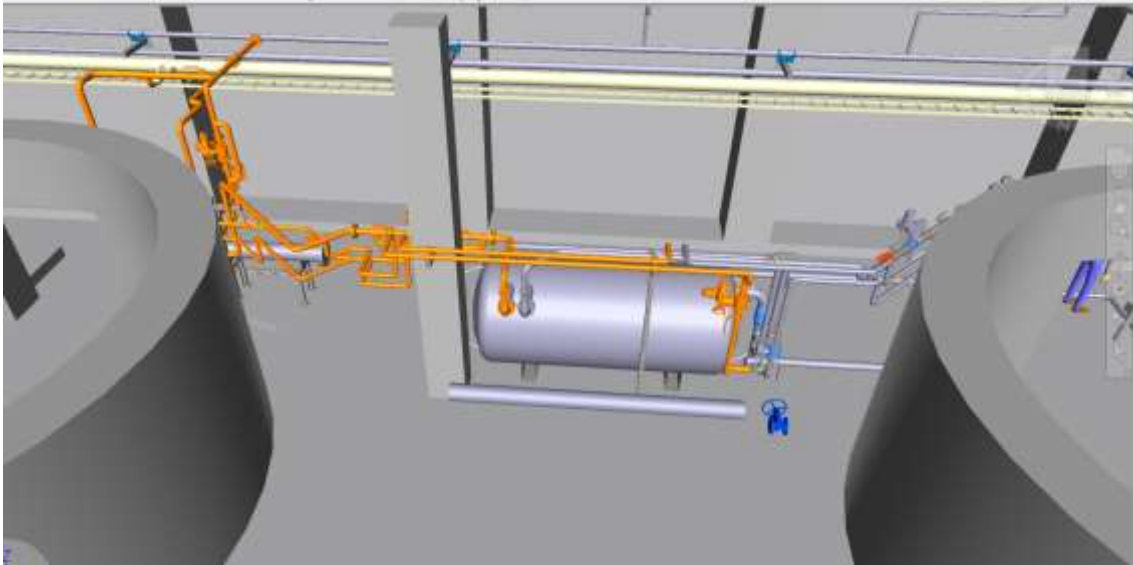
*KUVA 33. Find Items-toiminnolla haetut komponentit tallennettu ryhmäksi Save Search-toiminnon avulla.*

Tallennetut setit voitiin luokitella Appearance Profiler -toimintoa käyttäen. Appearance Profiler -toiminnossa Sets-valintoja apuna käyttäen voitiin merkata putkistot halutuilla väreillä esimerkiksi virtaavan aineen mukaan. Appearance Profiler -toiminto löytyy Home-välilehden Tools-työkalujen kohdalta. (Kuva 34.)



*KUVA 34. Värien asettaminen Appearance Profiler -toiminnon avulla*

Testimelessä eräs mallin putkilinjoista värjättiin Appearance Profiler -toimintoa käyttäen oranssiksi (kuva 35).



*KUVA 35. Putkilinjan väri vaihdettu Appearance Profiler -toiminnon avulla.*

Putkilinjan vaihdettu väri voitiin palauttaa helposti mallista Home-välilehden Project-valikon Reset all -työkalulla ja sieltä valinnalla Appearance. Tämä toiminto palautti kaikki Naviksella tehdyt värin muutokset, mikäli kyseessä ei ollut nwd-malli, johon värivalinta olisi tallennettu.

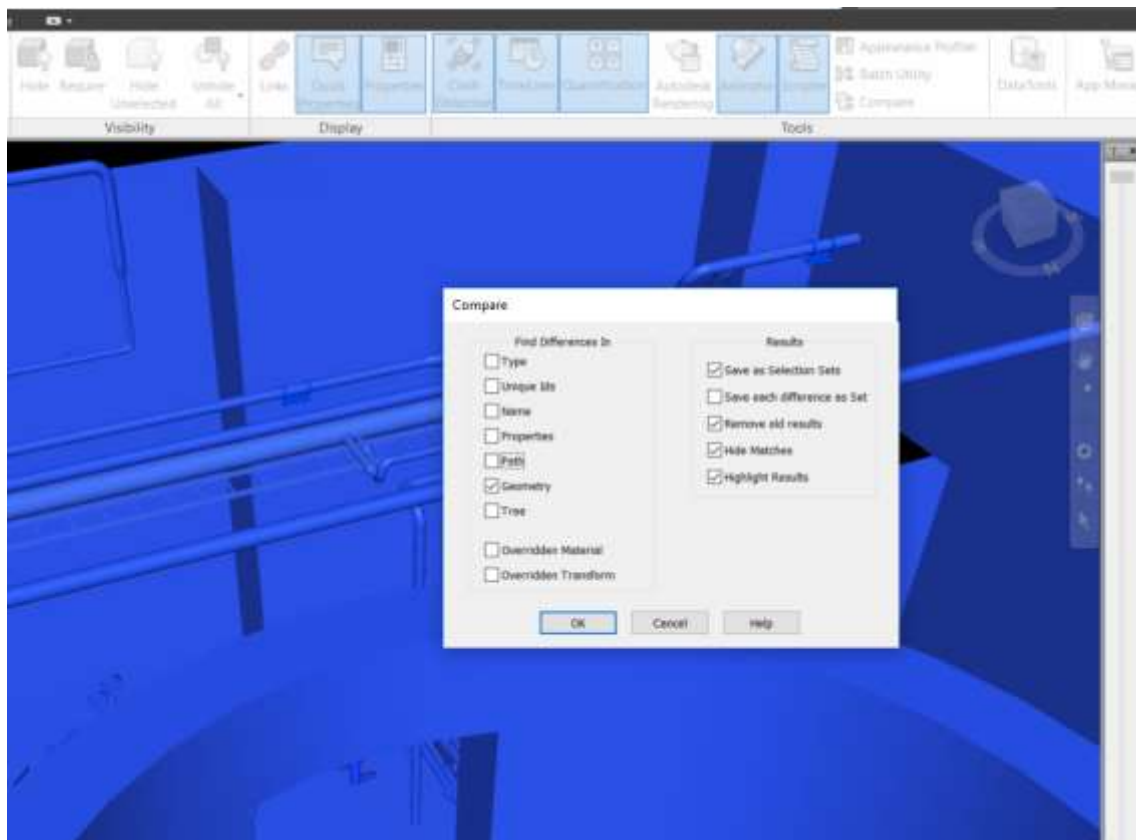
### **5.3.2 Compare-toiminto**

Seuraavaksi otettiin tarkastelun alle Navisworks Managen Compare-toiminto. Toiminnon avulla voidaan vertailla kahta eri mallia toisiinsa. Tämä on tärkeässä osassa, kun halutaan analysoida, mitä muutoksia tai uusia osia/malleja yhdistelmämalliin on tullut.

Compare-toiminnon testaus aloitettiin tallentamalla Navisworks nwf-mallista nwd-malli nimellä Compare\_testiin\_1. Tämän jälkeen Vertex-ohjelmalla tehtiin natiivimalliin pieniä muutoksia ja lisäyksiä. Muutokset päivitettiin nwf-malliin, josta tallennettiin toinen nwd-malli nimellä Compare\_testiin\_2. Tämän jälkeen molemmat mallit avattiin Navisworks ympäristöön Append-toiminnolla. Ensimmäisenä tuotiin malli, johon muutoksia haluttiin vertailla eli Compare\_testiin\_1.

Kun molemmat mallit oli tuotu, voitiin aloittaa vertailu. Aluksi molemmat mallit tuli aktivoida rakennepuusta, minkä jälkeen voitiin valita Compare-toiminto käyttöön. Compare-toiminto löytyi Home-välilehden Tools-valikosta. Valinnan jälkeen

avautui Compare-valintaikkuna, josta voitiin tehdä määrytyksiä tulevaan vertailuun. Määrytyksissä voitiin vaikuttaa mistä mallien eroavaisuuksia haetaan ja mitä vertailun tuloksissa näytetään. Tavoitteena testissä oli löytää eroavaisuuksia mallien geometrioissa, joten Find Differences In -kohtaan valittiin Geometry. Vertailun tuloksissa haluttiin tallentuvan Selection Sets -näkyvät ja samalla poistettavaksi mahdolliset aikaisemmin tehdyt vertailutulokset. Tämän vuoksi tehtiin valinnat *Save As Selection Sets* ja *Remove old results*. Hide Matches -valinnalla haluttiin piilottaa tuloksista molemmista malleista löytyneet muuttumattomat geometriat. Highlight Results -valinnalla puolestaan haluttiin saada tuloksien korostusvärit käyttöön. Korostusvärien avulla vertailutulosten tulkinta olisi helpompaa. (Kuva 36.)

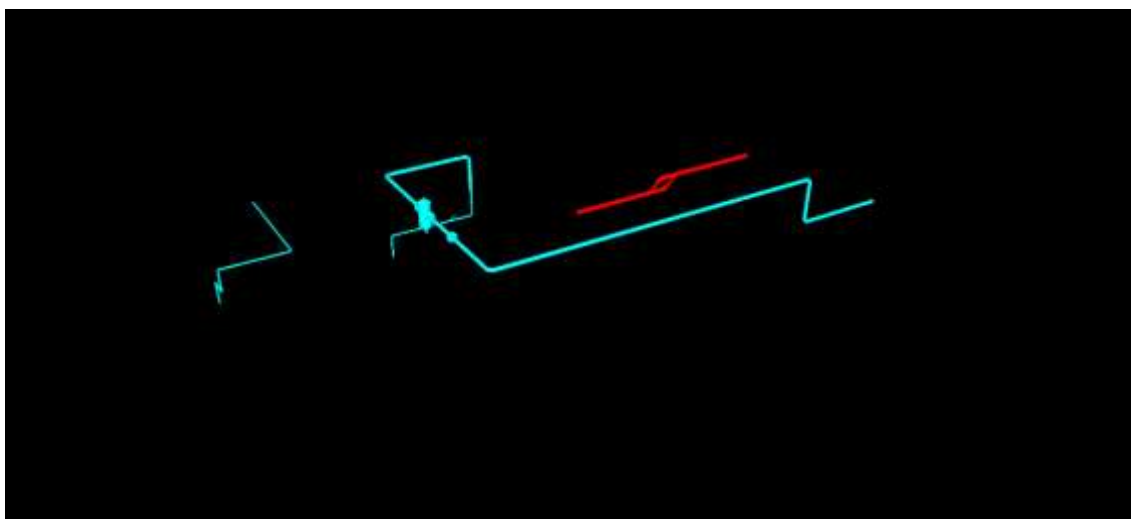


*KUVA 36. Compare-asetuksien määrittelyä*

Asetusten määrittämisen jälkeen suoritettiin vertailutesti. Vertailun tulokset tulivat näkyviin väreillä merkattuina geometrioina. Compare-testin tuloksen värien tulkintaan löytyi apuja Navisworks Help -sivuilta.

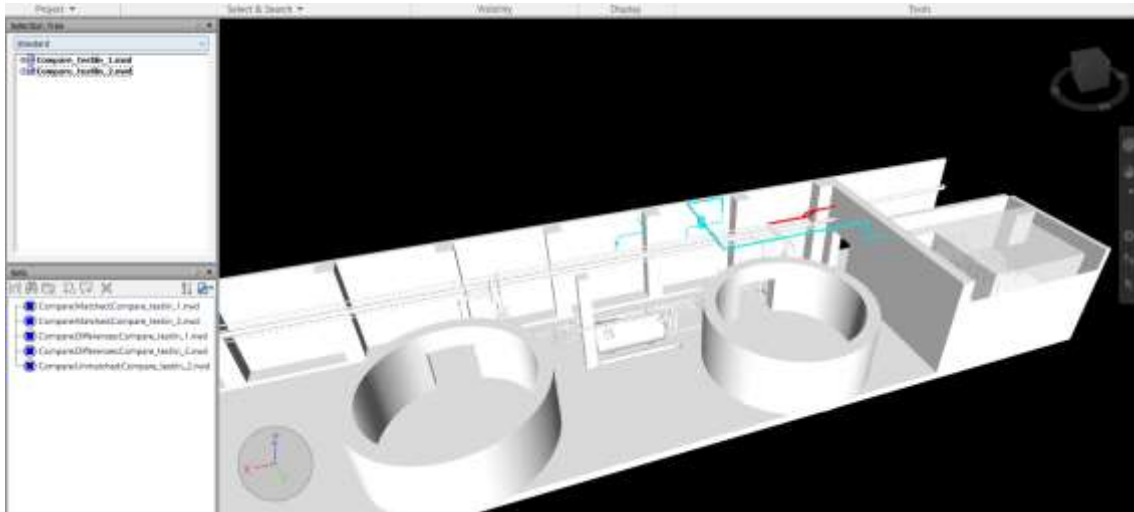
- Valkoinen: molemmissa malleissa olevat, ei muutoksia sisältävät geometriat.
- Punainen: molemmissa malleissa olevat, muutoksia sisältävät geometriat.
- Keltainen: geometriat, joita on aikaisemmassa mallissa, mutta ei uudessa mallissa.
- Turkoosi: geometriat, joita on pelkästään uudemmassa mallissa-> Uudet osat ja mallit.

Kuvaruudulla näkyi turkoosilla värillä kaksi *Compare\_testiin\_2* -malliin lisättyä putkilinjaa. Tämän lisäksi kuvassa näkyi myös putkilinjaan tehty muutos. Muutoksen kokenut putkilinja näkyi punaisella värillä. Muut malliin kuuluneet geometriat olivat piilotettuna, joten se tarkoitti, että niihin ei ollut tullut muutoksia. Näiden tulosten perusteella Compare-vertailu toimi kuten pitääkin. (Kuva 37.)



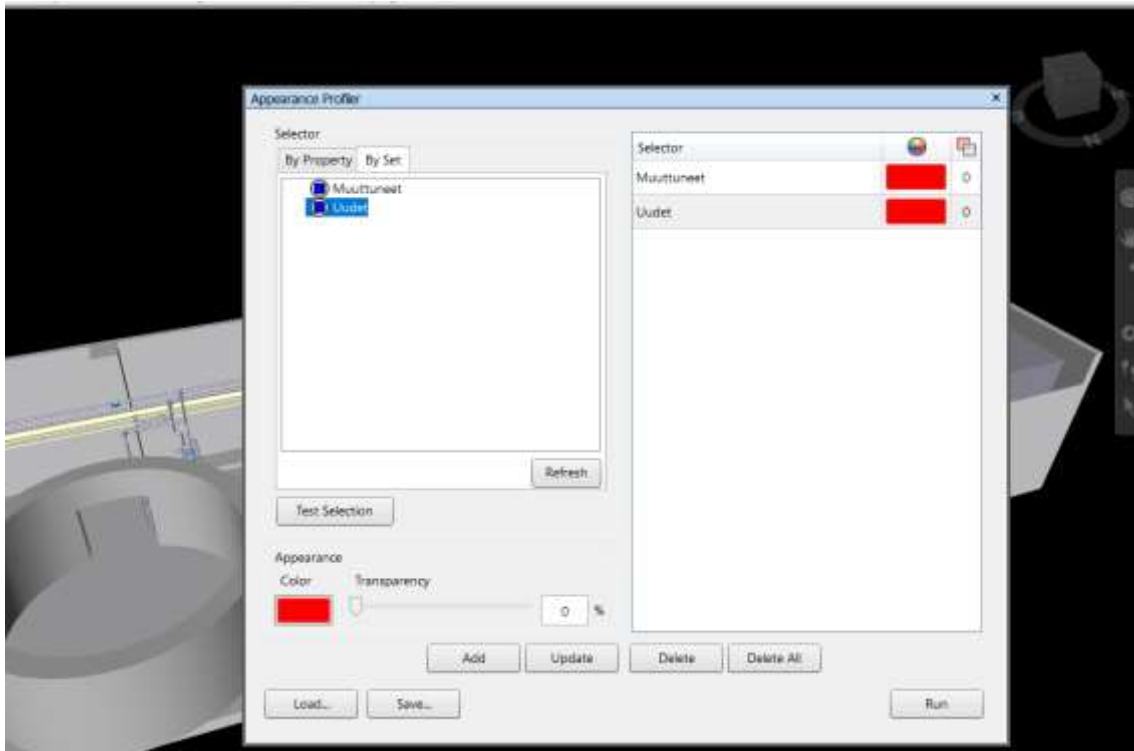
*KUVA 37. Näkymä Compare-testin jälkeen. Uudet geometriat=turkoosi, muuttuneet geometriat=punainen.*

Vertailutuloksien muuttuneista ja uusista geometrioista tallentui automaattisesti Selection Setit, koska asetuksissa määritettiin valinta Save as Selection Sets. Tallentuneita Selection Setsejä voitiin nimetä uudelleen ja niitä voitaisiin hyödyntää törmäystarkastelussa tai uusien ja muuttuneiden geometrioiden väreillä merkkäamiseen. (Kuva 38.)



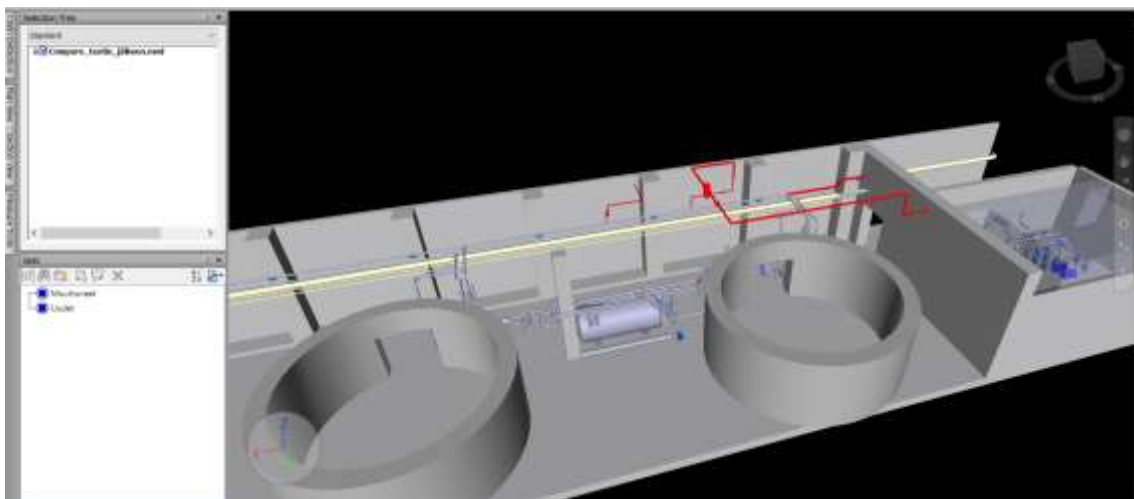
*KUVA 38. Näkymä Compare-testin tuloksista. Näkyvillä myös aluksi piilotettuna olleet muuttumattomat geometriat (näkyvät valkoisella). Tallentuneet Selection Setsit näkyvät kuvan vasemmassa reunassa.*

Testin tuloksien jälkeen näkymästä poistettiin vanhempi nwd-malli (Compare\_Testiin\_1) ja värit palautettiin normaaliksi Home-välilehden Project-työkalan Reset All-toiminnon avulla. Selection Setsien avulla uudet ja muuttuneet geometriat värjättiin muusta mallista erottuvalla punaisella värillä Appearance Profile-toiminnon avulla (kuva 39).



*KUVA 39. Uusien ja muuttuneiden geometrioiden värit voitiin muuttaa helposti Appearance Profiler -toiminnon avulla.*

Lopuksi nwd-malli tallennettiin uudella nimellä (Compare\_testin\_jälkeen) törmäystarkastelutestejä varten (kuva 40).

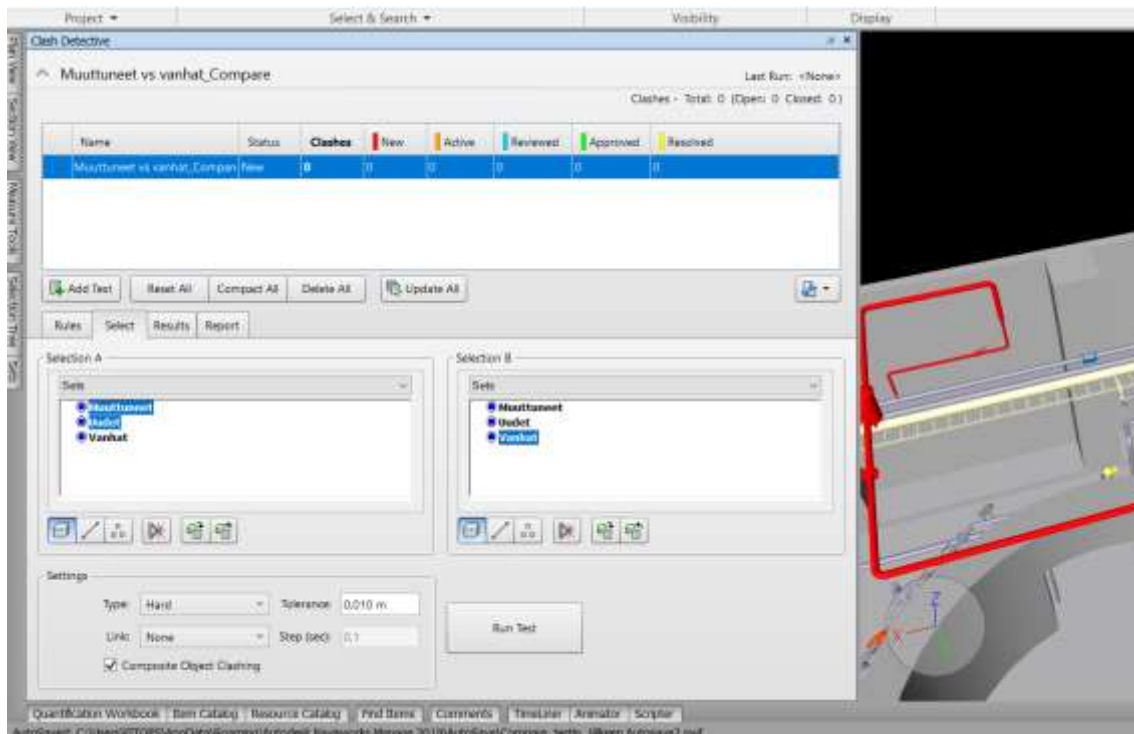


*KUVA 40. Compare-testissä löytyneet uudet ja muuttuneet geometriat värjättyinä punaisella. Malli valmis muille tarkasteluille ja julkaisuun.*

### 5.3.3 Mallin tarkastelutoiminnot ja raportointi

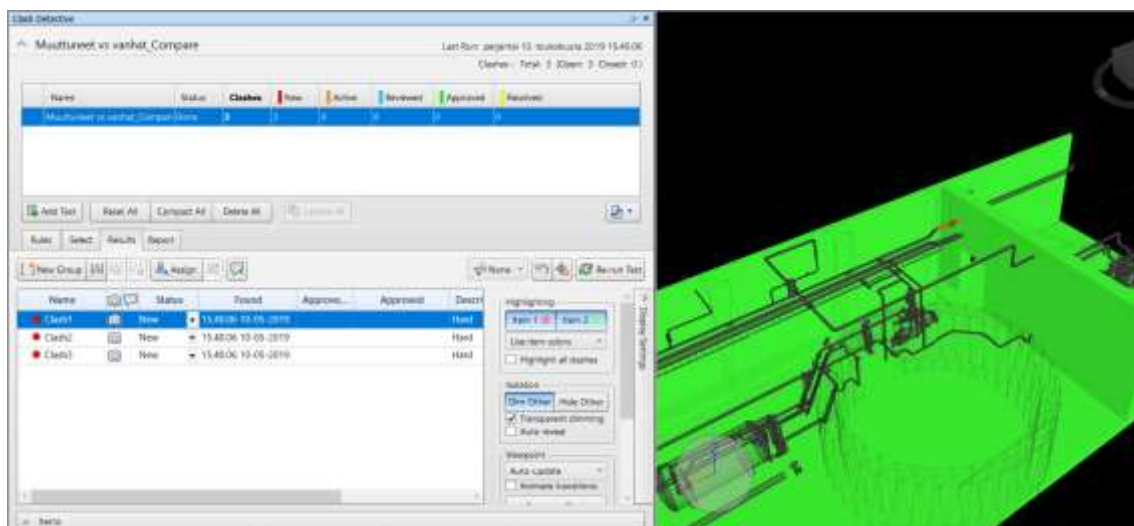
Malliin kohdistetut tarkastelut aloitettiin ohjelmallisilla törmäystarkasteluilla. Navisworks Managen törmäystarkastelutoiminnon avulla voitiin tarkastella eri suunnittelualojen suunnitelmien sopivuutta toisiinsa nähden. Sweco@ModelSafe-palvelun kannalta tarpeellisimmaksi osoittautui törmäysten tarkastelu uusien ja muuttuneiden suunnittelumallien geometrioiden ja vanhojen olemassa olevien mallien geometrioiden välillä. Tämän vuoksi törmäystarkasteluja tehtiin kaksi. Ensimmäinen testi ajettiin Compare-toiminnon avulla saatujen Select Setsien ja jo aikaisemmin mallissa olevien geometrioiden välillä. Toinen testi ajettiin kaikkien putkistokomponenttien ja rakennuksen välillä. Tämän vuoksi törmäystarkasteluissa käytettiin aikaisemmin Compare-testin jälkeen tallennettua nwd-mallia, jossa oli valmiiksi tallennettuna Selection Sets -ryhmät uusista ja muuttuneista geometrioista.

Törmäystarkastelutestit aloitettiin valitsemalla Clash Detective -ikkunasta Add Test. Tarkastelu nimettiin Muuttuneet vs vanhat\_Compare. Törmäystarkasteluja määrittävät asetukset tehtiin Select-välilehdeltä. Tarkasteltaviksi Selection A -kohtaan valittiin Sets ja komponenteiksi Sets-ryhmät Muuttuneet ja Uudet. Selection B -kohtaan valittiin myös Sets ja komponenteiksi kaikki aikaisemmassa mallissa olleet geometriat, joista oli luotu oma Sets-ryhmä. Törmäystarkastelun tyyppiksi valittiin Hard ja Tolerance-kohtaan lisättiin lukema 0,01m. Tolerance-lukema tarkoittaa sallittua massojen leikkaamista ilman törmäyskirjausta. (Kuva 41.)



*KUVA 41. Törmäystarkastelu määrittämissä Clash Detective-ikkunan Select-välilehdellä.*

Valintojen jälkeen suoritettiin törmäystarkastelu. Törmäyksiä kirjautui kolme kappaletta, ja ne olivat tarkasteltavissa Clash Detective -ikkunan Results-välilehdellä. Results välilehdellä voitiin ryhmitellä törmäyksiä New Group -toiminnolla sekä kohdentaa tietyille henkilölle tai ryhmälle Assign-toiminnolla. Myös törmäykseen liittyvät kommentit oli mahdollista lisätä Results-välilehdeltä. Törmäyksiä tarkasteltaessa voitiin haluttu törmäys aktivoida Results-välilehden törmäys listalta, jolloin törmäävä kappale näkyi kuvaruudulla punaisella ja geometria, johon törmäys kohdistui, vihreällä värillä. Samalla ympärillä olevat ei törmäykseen osallistuneet geometriat näkyivät tummina ja himmennettyinä. Törmäysnäkömön väriin ja geometrioiden himmentämiseen voitiin vaikuttaa Clash Detective -ikkunan Display Settings -toiminnoilla. (Kuva 42.)



KUVA 42. Kuvassa vasemmalla näkymä Clash Detective -ikkunan Results-välilehdeltä, josta törmäystarkastelun tuloksia voidaan tarkasatella, luokitella ja kohdentaa. Kuvassa oikealla näkymä Results-välilehdellä aktivoitusta clash1-törmäyskuvannosta.

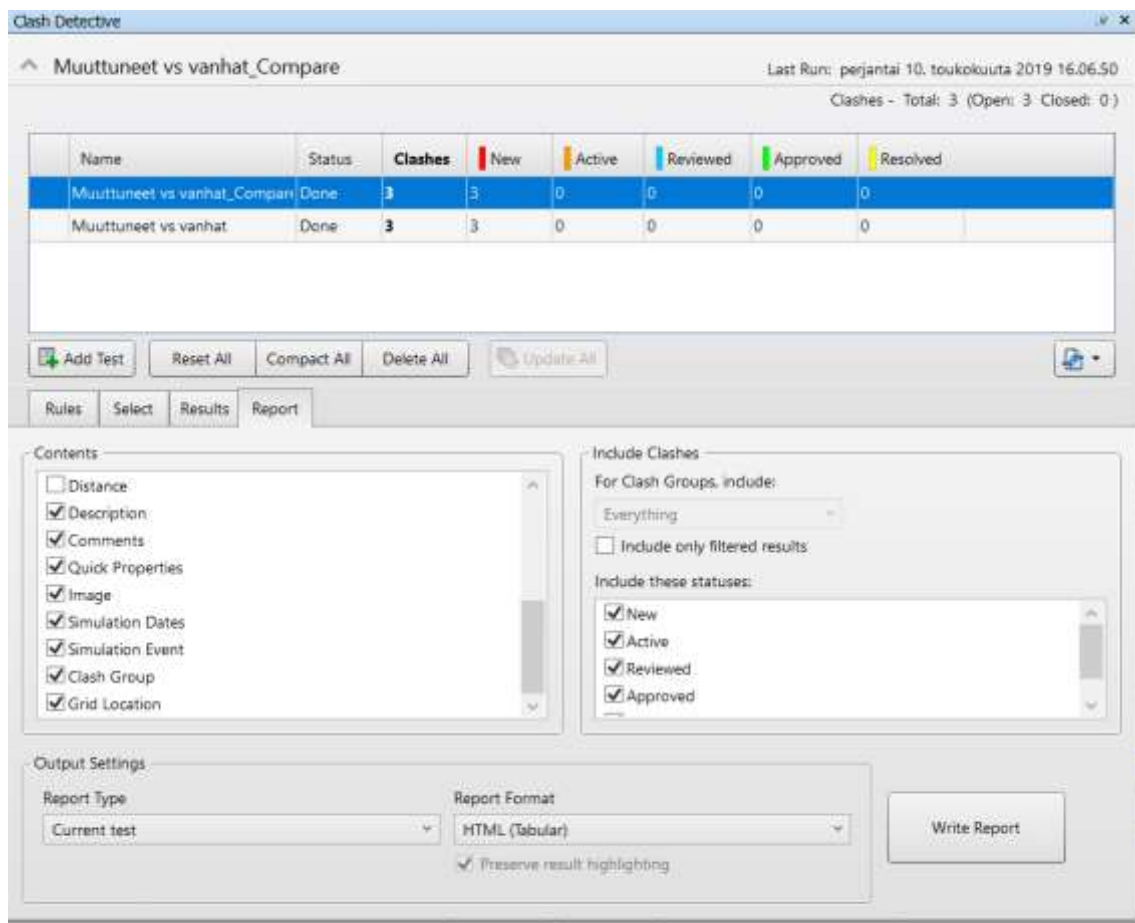
Tämän jälkeen tehtiin testin vuoksi törmäystarkastelu ilman Compare-tarkastelussa saatuja Sets-ryhmittelyjä. Tämän vuoksi Selection A-kohtaan täytyi valita manuaalisesti uudet ja muuttuneet komponentit mikä tällaisessa testikäytössä onnistui vielä helposti, koska muutokset olivat tiedossa ja niitä oli varsin vähäinen määrä. Mikäli uusien ja muuttuneiden mallienhallintaan ei ole mitään selkeää käytäntöä, on uusien ja muuttuneiden geometrioiden löytäminen suurissa kokoonpanoissa haastavaa ja jopa mahdotonta. Mallienhallintaan voidaan käyttää mm. tietynlaista kansiorakenneratkaisua, joka tulee olla käyttäjien tiedossa. Kansiorakenteiden apuna voidaan lisäksi hyödyntää myös ohjelmallisia toimintoja.

Navisworks Managen törmäystarkasteluiden analysoinnissa on käytössä myös Status-ominaisuus, joka merkkää törmäyksien statuksen. Mikäli malliin on tehty aikaisempia törmäystarkasteluja ja samat törmäykset toistuvat uudessakin tarkastelussa, voidaan statuksen perusteella lukea pelkästään uudet törmäykset. Uudet törmäykset näkyvät New statuksena ja merkattuna punaisella värillä.

Törmäystarkastelutestien jälkeen perehdyttiin törmäystesteistä raportointiin. Raportointi on tärkeässä roolissa tietomallinnusprojektin hallintaa. Törmäystarkasteluraportoinnilla varmistetaan, että jokainen projektissa työskentelevä saa tiedon

omien- sekä muiden suunnitelmien oikeellisuudesta. Tämän tiedon avulla suunnitelmiin voidaan tehdä tarvittavia muutoksia.


Törmäystarkasteluraporttia päästiin tekemään Clash Detection -ikkunan Report-välilehdeltä. Raportin sisältöön pystyttiin vaikuttamaan Contents-, Include Clashes -, Include these statuses - ja Output Settings -valinnoilla. Contents-valinnoilla voitiin vaikuttaa siihen mitä informaatiota raportissa halutaan esittää. Include Clashes valinnoilla voitiin vaikuttaa miten määritellyt ryhmittelyt näkyvät raportissa. Include these statuses -valinnoilla voitiin vaikuttaa, minkä statuksen törmäykset raporttiin kirjataan. Output Settings -valinnoilla voitiin taas määrittellä raportin tyyppi ja formaatti. (Kuva 43.)






*KUVA 43. Report-välilehdeltä määritellään törmäystarkasteluraportin sisältöä ja formaattia.*

Törmäystarkasteluraportti luotiin HTML (tabular)-muodossa (kuva 44). Raportista voitiin lukea aikaisemmin Contents-asetuksissa määritellyt tiedot. Tämän lisäksi

raportin vasemmassa reunassa oli jokaisesta törmäyksestä havainnollistava kuva. Kuvaa oli mahdollista tarkastella myös suurempana klikkaamalla kuvan päällä. Huomion arvoiseksi seikaksi nousi, että raporttia tallennettaessa syntyi HTML-linkin lisäksi kansio, joka sisälsi kaikki törmäyskuvannot sekä raporttiin tulevan logon. HTML-linkki ja kuvat sisältävä kansio tulee säilyttää aina yhdessä, muuten HTML-raportin kuvat eivät ole katsottavissa. Tämä asia on otettava huomioon, kun raportteja välitetään eri osapuolille.

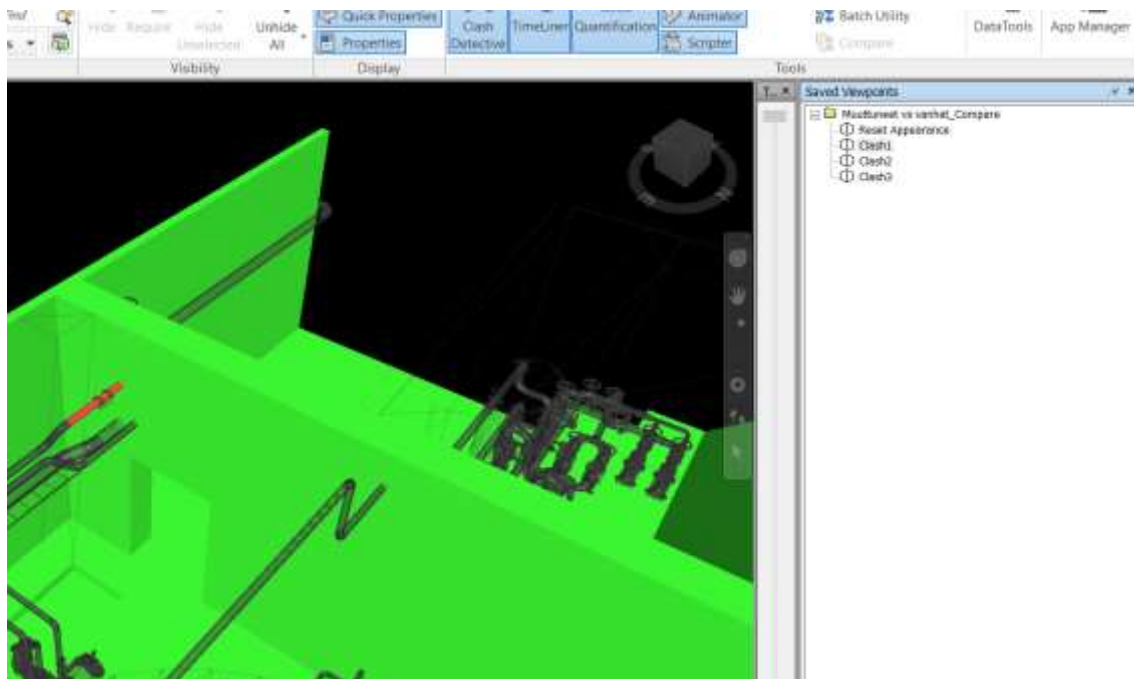
**SWECO**  Clash Report

Muuttuneet vs vanhat\_Compare Tolerance: 0.010m Clashes: 3 New: 3 Active: 0 Reviewed: 0 Approved: 0 Resolved: 0 Type: Hard OK

Image	Clash Name	Status	Description	Date Found	Clash Point	Item 1			Item 2		
						VXPART DESCRIPTION	VXPART CODE	VXPART POSITION	VXPART DESCRIPTION	VXPART CODE	VXPART POSITION
	Clash1	New	Hard	2019/5/10 13:06	x: 0.0000000002, y: 1.355, z: 3.918	PuAJ	Pipe-114.3a2 H1				
	Clash2	New	Hard	2019/5/10 13:06	x: 0.0000000002, y: 5.675, z: 5.431	PuAJ	Pipe-88.9a2-H1 hevtilinja1				
	Clash3	New	Hard	2019/5/10 13:06	x: 10.596, y: -0.201, z: 4.541	PuAJ	Pipe- 48.3a1.6.H1 hevtilinja1				

*KUVA 44. HTML (tabular) -muotoinen törmäystarkastelu raportti*

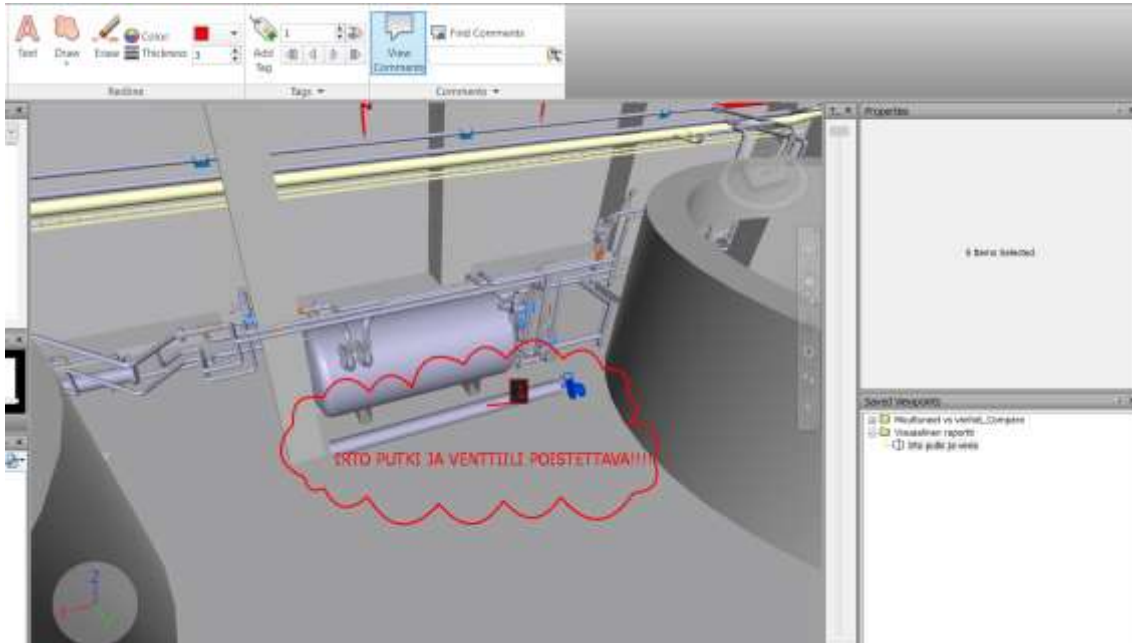
HTML-raportin lisäksi raportti voitiin luoda myös XML-, text- ja As Viewpoints -muotoisena. Palvelun kannalta selkeimmäksi raporttiformaatiksi osoittautui HTML (tabular), mutta tämän lisäksi As viewpoints -raportti havaittiin käytännölliseksi tavaksi raportoida törmäyksistä. As Viewpoints -raportissa törmäyskuvannot tallentuivat Navisworks-ohjelman Saved Viewpoints -ikkunaan, josta niitä voitiin tarkastella esimerkiksi erillisestä nwd-muotoiseksi tallennetusta raporttimallista (kuva 45).



*KUVA 45. As Viewpoints-muodossa tallennetussa raportissa törmäyskuvannot tallentuvat Saved Viewpoints-ikkunaan.*

Ohjelmallisen törmäystarkastelun lisäksi yhdistelmämallia tulee tarkastella visuaalisesti. Visuaalisella tarkastelulla voidaan sulkea pois erilaisia loogisia virheitä ja riskikohtia, mitä ohjelmallinen törmäystarkastelu ei huomioi. Tässä työssä visuaalisissa tarkasteluissa perehdyttiin lähinnä tarkasteluista raportointiin. Visuaalisen tarkastelun raportointiin käyttökelpoisiksi työkaluiksi osoittautui epäkohdista tallennettuihin viewpointteihin merkkaukset, punakynä- ja kommenttitoimintoja käyttäen.

Toimintojen kokeilut aloitettiin tallentamalla haluttu kuvanto Viewpoint-välilehden Save Viewpoint -toiminnolla. Tämän jälkeen tallennettuun kuvantoon tehtiin merkintöjä Review-välilehden Redline-valikon työkaluilla sekä lisättiin kommentti Tags-valikon Add Tag -toiminnolla. Samoja toimintoja voitiin käyttää myös törmäystarkastelukuvantojen merkkaukseen. (Kuva 46.)



*KUVA 46. Kuvantoon lisätty punakynämerkintöjä ja kommentti*

Visuaalisista tarkasteluista raportointi onnistui tehdä HTML-muotoisena Output-välilehden Viewpoints Report -toiminnolla. Lisäksi tallennettujen Viewpoints-kuvantojen avulla voitiin raportoida erillistä visuaalisen tarkastelun nwd-mallia käyttäen, kuten ohjelmallisesta törmäystarkastelusta raportoidessa. Toimivin ratkaisu olisi luoda visuaalisestakin tarkastelusta oma nwd-malli. Malliin voitaisiin tallentaa ainoastaan visuaalisen tarkastelun viewpoints-kuvannot, joista voidaan luoda sitten HTML-muotoinen raportti Viewpoints-kuvantoja hyödyntäen.

### **5.3.4 Navisworks yhdistelmämallin julkaisu**

Tietomallinnusprojektissa ajantasaisen ja tarkistetun yhdistelmämallin avulla voidaan viestiä hankkeen etenemisestä helposti kaikille sidosryhmille. Yhdistelmämallista tallennetun julkaisumallin välityksellä kaikki osapuolet saavat yhdenmukaisen tiedon. Ohjelmavaihtoehtoina Navisworks-yhdistelmämallin julkaisuun oli aluksi selainpohjaiset Autodesk A360 ja Autodesk Viewer sekä Autodesk Navisworks tuoteperheeseen kuuluva Freedom-ilmaisohjelma.

Palvelun kehittyessä ja eläessä matkan varrella useiden kokeilujen ja palaverien jälkeen julkaisumallin katseluun valikoitui Navisworks Freedom, koska kon-

septi rakentui palvelin pohjaiseksi. Julkaisumuodoksi valikoitui Navisworks Freedom -ohjelmalla katsottavissa oleva nwd-muoto. Yhdistelmämallin julkaisu aikataulu ja julkaisu väli sovitaan aina projektikohtaisesti.

#### **5.4 Palvelun vastualueet ja hakemistorakenne**

Ohjelmallisten testien jälkeen käytiin läpi palvelun käytännön toteutustapoja ja vastuita Swecon palvelun kehittäjien ja suunnittelijoiden kanssa. Palaverissa todettiin, että ohjeistukseen tulisi lisätä vielä suunnittelu- ja päämallin tallennukseen liittyviä tallennusvastuiden ja tallennusaikataulujen ohjeistusta, Navisworks-yhdistelmämallin tallennus- ja julkaisu vastuiden ohjeistusta sekä palvelun hakemistorakenteiden ohjeistusta.

Tallennusaikataulujen määrittelyssä lähdettiin miettimään asiaa julkaisu mallin julkaisu ajankohdan mukaan, mikä määrittäisi myös muutkin tallennus ajankohdat. Yhdistelmämalliin tehtävät tarkastelut ottavat aikaa mallin koosta riippuen 1–2 vuorokautta. Tämän vuoksi ajantasaiset natiiviohjelmalla tehdyt uudet ja muuttuneet suunnitelmat tulisi olla tallennettuna IFC-muodossa palvelimelle 1–2 vuorokautta ennen yhdistelmämallin julkaisu ajankohtaa. Tämä vaatii tietenkin sen, että ennen kuin IFC-tiedostot uusista ja muuttuneista Vertex-malleista voidaan tallentaa palvelimelle, tulee ajantasaiset Vertex-mallit olla tallennettuna Vertex-päämalliin. Koska tilanteet vaihtelevat projektikohtaisesti sovittiin, että ohjeistuksessa ei määritellä tarkemmin yhdistelmämallin julkaisu aikatauluja eikä tallennusaikatauluja, vaan ne pitää sopia aina projektikohtaisesti.

Seuraavaksi määriteltiin palvelun toimijoiden vastualueet, joista palvelun kehittäjästä vastaavilla henkilöillä olikin jo selkeät näkemykset. Yhdistelmämallin tarkastelusta, tallentamisesta, raportoinnista ja julkaisusta vastaisi tietomallikoordinaattori. Päivitysneiden ja ajantasaisten suunnittelumallien IFC-tiedostojen tallentamisesta palvelimelle taas vastaisi pääsuunnittelija. Jokainen yksittäinen suunnittelija olisi vastuussa oman ajantasaisten suunnittelumallinsa tallennuksesta Vertex-päämalliin. Tämän lisäksi tulisi huomioida, että tietomallikoordinaattorin yhdistelmämalliin tekemät tarkastelut eivät poista suunnittelijoiden vastuuta mallinsa oikeellisuudesta.

Palvelimen hakemistorakenne oli viimeinen asia palvelun toimintaperiaatteista, mikä tulisi lisätä ohjeistukseen. Palvelun tiedostojen hallinta toimii hakemistorakennepohjalta. Hakemistorakenne tulisi olla selvillä pääsuunnittelijalla, joka tallentaa suunnittelumallien IFC-tiedostot palvelimelle ja etenkin tietomallikoordinaattorilla, jonka toiminta keskittyy palvelimella työskentelyyn. Palvelun kehittämisestä vastaavalla Swecon Industryn asiantuntijalla oli hakemistorakenteesta valmis ohjeistus laadittuna, joka sovittiin laitettavaksi liitteenä opinnäytetyönä laadittuun ohjeistukseen.

## 5.5 Tulokset

Työn aluksi suoritettiin Swecon sisäinen kysely. Kyselyn jälkeen siirryttiin ohjelmakohtaisiin testeihin sekä käytiin läpi palvelun vastuualueita ja palvelimen hakemistorakennetta. Työn lopputuloksena laadittiin Sweco@ModelSafe -teollisuuden tietomallien hallinta- ja tarkastuspalvelua tukeva alustava ohjeistus. Tässä luvussa on esitelty ohjeistuksen laadinnan kannalta keskeisimmät huomiot, valinnat ja ohjelmistotoiminnot.

Ensimmäisenä ohjelmallisissa kokeiluissa selvitettiin sopivin siirtoformaatti Vertex-mallien vientiin Navisworks-ympäristöön. Kyselyn perusteella voitiin jo aika pitkälle päätellä toimivin siirtoformaatti. Kyselystä saatua tietoa tarkennettiin vielä Vertex-tukipalvelusta. Tukipalvelusta suositeltiin IFC-formaatin käyttöä. Näiden tietojen lisäksi suoritettiin kokeiluja, joiden avulla sopivin siirtoformaatti valittiin.

Kokeilujen pohjalta sopivimmaksi siirtoformaatiksi osoittautui IFC 2x3 -formaatti. IFC-formaatti täytti kaikki siirtoformaatille asetetut tavoitteet. IFC-tiedosto toisti geometriat, värit, attribuuttitiedot sekä kokoonpanopuun rakenteen. Tuotaessa IFC-tiedostoa Navisworks Manageen oli kuitenkin huomioitava File Readers -asetukset, jotta geometriat ja tiedot siirtyivät oikein. Tämän lisäksi attribuuttitietojen näkymiseen vaikutti Properties- ja Quick Properties -toimintojen asetukset. Asetukset tulee ottaa huomioon myös Navisworks Freedom-katseluohjelmalla.

Navisworks Managen ohjelmakohtaisten toimintojen kokeiluista ensimmäisenä tehtiin Sets-valintojen avulla ryhmittely, joka osoittautui hyödylliseksi toiminnoksi palvelun kannalta. Toiminnon avulla voitiin tehdä manuaalisia tai hakutoimintoihin

perustuvia ryhmittelyjä. Komponentteja voitiin hakea mm. attribuuttitietojen avulla. Sets-ryhmittelyt osoittautuivat toimivaksi keinoksi mm. väreillä luokitteluun tai törmäystarkasteluun.

Tämän jälkeen kokeiltiin Navisworksin Compare-toimintoa, jonka avulla voitiin vertailla vanhan ja uuden mallien välisiä eroja. Compare-toiminto toimi testissä hyvin. Compare-testin tulosten avulla voitiin nähdä helposti yhdistelmämallin muuttuneet ja uudet geometriat. Geometriat oli luokiteltu väreillä, mikä helpotti tulosten tulkintaa. Tämän lisäksi suoritetusta testistä tallentui Sets-ryhmiä, joita voitaisiin hyödyntää väreillä luokitteluun ja törmäystarkasteluihin.

Ohjelmallisissa törmäystarkastelutesteissä pääpainona oli keskittyä uusien/muuttuneiden geometrioiden ja vanhojen olemassa olevien geometrioiden välisiin törmäyksiin. Tarkastelussa käytettiin Compare-testin avulla tallentuneita Setsejä. Compare-testin Sets-ryhmiä käyttämällä törmäystarkastelussa saatiin helposti tarkasteltua pelkästään uusien/muuttuneiden geometrioiden törmäilyjä jo olemassa oleviin geometrioihin.

Tämän jälkeen tutkittiin Navisworks Managen raportointimahdollisuuksia. Törmäystarkasteluista raportointiin palvelun kannalta sopivimmaksi keinoksi valikoitui HTML (tabular) -pohjainen raporttimuoto sekä As Viewpoints -raportti, joka tallensi törmäykset kuvantoina mallin Saved Viewpoints -ikkunaan. Visuaalisesta tarkastelusta raportointiin parhaimmaksi raportointivaihtoehdoksi osoittautui kuvantojen tallentaminen Save Viewpoint -toiminnolla, jolloin kuvannot tallentuivat Saved Viewpoint -ikkunaan. Tallennetuista kuvannoista voitiin tehdä myös lähetettävä HTML-muotoinen raportti. Sekä törmäystarkastelu että visuaalisen tarkastelun raportteihin voitiin lisätä tarvittaessa punakynämerkintöjä.

Palvelukonseptin käytännöistä ja vastuista löytyi palvelua kehittelevien Sweco Industryn asiantuntijoiden avulla selkeät näkemykset. Tietomallikoordinaattori vastaa pääasiassa palvelimella tapahtuvasta yhdistelmämallin koonnista, tarkastuksesta ja raportoinnista sekä julkaisusta. Hänen tehtävänä on lisäksi palvelun sisäinen ohjeistus ja koordinointi. Pääsuunnittelija on vastuussa uusien ja muuttuneiden IFC-mallien tallentamisesta palvelimelle. Yksittäinen suunnittelija taas

vastaa omien suunnitelmiensa tallennuksesta ja oikeellisuudesta. Julkaisu- ja tallennusaikatauluista tulee sopia aina projektikohtaisesti, mutta oletuksena on, että ajantasaisilla suunnittelumalleilla päivitetty yhdistelmämalli julkaistaisiin viikon välein.

Palvelimen hakemistorakenne oli välttämättömyys saada ohjeistukseen mukaan, koska se on keskeisessä osassa palvelun tiedostojen hallintaa. Hakemistorakenteen määritteli valmiiksi palvelukonseptia kehittävä Sweco Industryn asiantuntija. Hakemistorakenteen ohje lisättiin opinnäytetyönä laaditun ohjeistuksen liitteeksi.

## 6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli laatia alustava ohjeistus Sweco@ModelSafe -tietomallien hallinta- ja tarkastuspalvelun tueksi. Opinnäytetyössä tehdyn ohjeistuksen pohjalta laaditaan lopullinen Sweco@ModelSafe-ohjeistus, joka tulee palvelun alla toimivien suunnittelijoiden ja tietomallikoordinaattorin käyttöön.

Työn alussa suoritetun kyselyn ja ohjelmakohtaisten testien pohjalta saatiin laadittua Sweco@ModelSafe-palvelua tukeva kaksiosainen ohjeistus. Ohjeistuksen ensimmäisessä osassa tarkastellaan suunnittelumallien tallennuskäytäntöjä ja -vastuita. Toisessa osassa perehdytään yhdistelmämallin koontiin, tarkasteluun, tarkasteluista raportointiin ja julkaisuun liittyviin käytäntöihin ja vastuisiin sekä Navisworks Manage -ohjelman toimintoihin. Ohjeistus laadittiin työn rajaamiseksi Vertex G4Plant -suunnitteluohjelman pohjalta. Vertex-ohjelman vaikutus näkyy ohjeistuksessa lähinnä mallien vientiin käytettävässä IFC-formaattivalinnassa.

Useiden suunnitteluohjelmien vaikutus tulisi huomioida jatkossa palvelun kehityksessä sekä ohjeistuksen laadinnassa. Eri suunnitteluohjelmien osalta tärkeää olisi löytää kullekin ohjelmalle toimiva siirtoformaatti, jonka avulla natiivimallin geometrioiden, värien sekä komponentin tietojen toistettavuus säilyisi myös Navisworks-ympäristössä. Siirtoformaatin vaikutus tulee huomioida etenkin ohjeistuksen ensimmäisessä osassa, jossa käsitellään natiivimallien tallennuskäytäntöjä. Ohjeistuksen toisessa osassa siirtoformaatti vaikuttaa lähinnä formaattikohtaisissa, tuonti- ja attribuuttiasetuksien määrittämisessä. Muihin ohjeistuksessa käytäviin Navisworks-ohjelman perustoiminnallisuuksiin tiedostoformaatti ei vaikuta.

Siirtoformaatin lisäksi palvelun ja ohjeistuksen laadinnassa tulee jatkossa ottaa huomioon suunnitteluohjelmakohtaisten ohjeiden päivittäminen/laatiminen sekä yhdistelmämalliin siirrettävien mallien sisältämän tiedon vakiointi. Toimivan palvelun kannalta on merkittävää, että jokainen Navisworks-yhdistelmämalliin tuotava malli vastaisi tietosisällöltään ja nimeämisiltään toisiaan riippumatta natiivimallia tuottavasta ohjelmasta. Vakiomuotoinen tieto vaikuttaa mm. ohjelmallisiin luokittelu- ja etsintätoimintoihin, mikä taas vaikuttaa useimpiin ohjelmallisiin tarkasteluihin ja sen myötä koko yhdistelmämallin hallintaan.

Työn haasteena oli, että ohjeistusta laadittiin koko ajan kehitteillä olevaan palveluun. Mielestäni ohjeistus kattaa kuitenkin hyvin tämän hetkisen palvelukonseptin pääperiaatteet ja lainalaisuudet sekä ohjelmakohtaisten toimintojen opastukset ja antaa hyvän pohjan palvelun ja ohjeistuksen eteenpäin viemiselle.

## LÄHTEET

Autodesk A360. Saatavissa: <https://a360.autodesk.com/>. Hakupäivä 14.5.2019.

Autodesk Navisworks ohjelmisto projektinhallintaan. Profox Companies LTD. Saatavissa: <https://www.profox.com/navisworks>. Hakupäivä 14.5.2019

Halmetoja, Esa 2016. Tietomallit ylläpidossa. Saatavissa: <https://www.se-naatti.fi/2016/11/15/tietomallit-yllapidossa-dokumentti/>. Hakupäivä 28.1.2019.

Heinonen, Miikka 2019. Digital Twin konseptina ja sen käyttömahdollisuudet teollisuudessa. Kandidaatintyö. Tampere: Tampereen Yliopisto

Henttinen, Tomi 2016. Kohti normitettua tiedonhallintaa. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/kohti-normitettua-tiedonhallintaa/>. Hakupäivä 25.3.2019.

Hietanen, Jiri 2005. Tietomallit ja rakennus suunnittelu. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Jäjävä, Päivi – Lehtoviita, Timo 2016. Tietomallintaminen talonrakennustyömaalla. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Järvinen, Tero 2014. Talotekninen suunnittelu, tietomallit. Saatavissa: <https://docplayer.fi/3279422-Talotekninen-suunnittelu-tietomallit.html>. Hakupäivä 16.5.2019.

KIRA-digi. Saatavissa: <http://www.kiradigi.fi>. Hakupäivä 25.3.2019.

Koontimallin muodostaminen. Profox Companies LTD. Saatavissa: <https://www.profox.com/koontimalli>. Hakupäivä 19.5.2015.

LODPlanner. Saatavissa: <https://www.lodplanner.com>. Hakupäivä 15.5.2019.

Olemme edelläkävijä uusien teknologioiden hyödyntämisessä. Sweco Finland. Saatavissa: <https://www.sweco.fi/palvelumme/virtuaalitodellisuus/>. Hakupäivä 16.5.2019.

RIL267-2015. Käyttäjäkohtainen älyrakennus suunnittelu, rakentaminen, käyttö ja ylläpito. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Sweco. Saatavissa: <https://www.sweco.fi>. Hakupäivä 18.1.2019.

Swecon VirtuaSite vie opiskelijat syvälle VR-oppimisympäristöön-Teollisuuslaitosten tilat ja mittasuhteet tutuksi jo opiskeluaikana 2019. Sweco Finland. Saatavissa: <https://www.sweco.fi/uutiset/uutisarkisto/news-2019/swecon-virtuaalivie-opiskelijat-syvälle-vr-oppimisymparistoon--teollisuuslaitosten-tilat-ja-mittasuhteet-tutuksi-jo-opiskeluaikana/>. Hakupäivä 17.5.2019.

Tammi, Kalle 2018. Immersiokokemuksia. Saatavissa: <http://prodigious.tamk.fi/2018/02/19/immersiokokemuksia/>. Hakupäivä 16.5.2019.

Vakiointi. Building Smart Finland. Saatavissa: <https://buildingsmart.fi/vakiointi/>. Hakupäivä 25.3.2019.

Vertex G4Plant yleiskatsaus 2018. Vertex Systems. Saatavissa: <https://kb.vertex.fi/plant2018fi/vertex-g4plant-yleiskatsaus>. Hakupäivä 3.3.2019.

Virtuaalisafarilla edetään joystickillä, ei jeepillä-Opas vie kierrokselle tulevaisuuden rakennukseen 2017. Sweco Finland. Saatavissa: <https://www.sweco.fi/uutiset/uutisarkisto/news-2017/virtuaalisafarilla-edetaan-joystickilla-ei-jeepilla--opas-vie-kierrokselle-tulevaisuuden-rakennukseen/>. Hakupäivä 16.5.2019

Vive. HTC Corporation. Saatavissa: <https://www.vive.com>. Hakupäivä 17.5.2019.

YTV 2012. Yleiset tietomallivaatimukset. Osa 1. Yleinen osuus. Saatavissa: [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_1\\_yleinen\\_osuus.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf). Hakupäivä 28.1.2019.

YTV 2012. Yleiset tietomallivaatimukset. Osa 13. Rakentaminen. Saatavissa: [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012\\_osa\\_13\\_rakentaminen.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/ytv2012_osa_13_rakentaminen.pdf). Hakupäivä 28.1.2019.

