



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JOONA SIIVONEN  
SÄHKÖNJAKELUVERKON TIETOMALLIPOHJAISEN SUUNNITTE-  
LUN SUUNTAVIIVAT

Diplomityö

Tarkastaja: professori Pekka Verho  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
2. toukokuuta 2018

## TIIVISTELMÄ

**SIIVONEN JOONA:** Sähkönjakeluverkon tietomallipohjaisen suunnittelun suuntaviivat  
Tampereen teknillinen yliopisto  
Diplomityö, 67 sivua  
Syyskuu 2018  
Tietotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Pääaine: Sähköverkot ja -markkinat  
Tarkastaja: Professori Pekka Verho

**Avainsanat:** jakeluverkko, tietomalli, sijaintitieto, infrastruktuuri, lisätty todellisuus

Diplomityössä tutkitaan tietomallien hyödyntämistä sähkönjakeluverkon sijaintitiedon mallintamisessa ja suunnittelussa. Diplomityön toimeksiantaja on sähköverkkoyhtiö Elenia Oy. Työssä esitetään tyypilliset jakeluverkkohankkeet, hankkeiden suunnitteluprosessi sekä verkkojen yhteisrakentaminen, jonka jälkeen esitellään keskeiset suunnittelu-työkalut ja suunnittelutyömenetelmät. Toimintaympäristön ja työmenetelmien jälkeen kuvataan tietomallien käsite ja toimintaperiaatteet sekä tutkitaan tietomallinnuksen tarjoamia mahdollisuuksia jakeluverkkosuunnittelussa. Olemassa olevan ja osin suppeasti dokumentoidun vanhan jakeluverkon komponenttien spatiaaliseksi mallintamiseksi käytettäviä menetelmiä ovat mm. laserkeilain ja maatutka, joiden toimintaperiaate, rajoitukset ja saatava digitaalinen aineisto on kuvattu diplomityössä. Menetelmien käytettävyyttä on lisäksi arvioitu asiantuntijahaastattelujen avulla.

Exove Design Oy tuotti Elenia Oy:lle lisättyä todellisuutta hyödyntävän mobiilisovelluksen pilotin. Sovellus kehitettiin tekniikan soveltuvuusselvityksen näkökulmasta (ns. Proof of Concept). Hankkeen ensisijaisena tarkoituksena oli tutkia lisätyn todellisuuden hyödynnettävyyttä olemassa olevan tai suunnitellun maanalaisen jakeluverkon komponenttien sijainnin esittämisessä. Tämän diplomityön osuus hankkeesta oli määrittellä sovelluksen toiminnallisuudet, tuottaa sovellukseen tarvittava tausta-aineisto sekä arvioida sovelluksen toimintaa testialueella maastossa. Tulosten perusteella lisätty todellisuus on käyttökelpoinen työkalu maanalaisen infrastruktuurin havainnollistamiseen maastossa. Testeissä käytetyn iPad-laitteen paikannustarkkuus ei kaikilta osin ollut tyydyttävä. Kuvantunnistus- ja kiihtyvyyssanturipohjainen päätelaitteen sijainnin seuraaminen toimi epäluotettavasti maasto-olosuhteissa. Tulosten pohjalta saatiin kuitenkin uusia kehitysideoita.

Työn keskeisenä tarkoituksena on tutkia tietomallinnuksen hyödyntämistä jakeluverkkosuunnittelussa ja tuottaa Elenia Oy:lle tietoa, kuinka tietomallinnus vaikuttaa jakeluverkkosuunnitteluun tulevaisuudessa. Diplomityö auttaa sähköverkkoyhtiötä hahmottamaan millaisia uusia suunnittelu- ja työtapoja tietomallien käyttäminen mahdollistaa ja toisaalta tietomallien käytön asettamia vaatimuksia. Tietomallien teorian ja nykyisten toimintatapojen vertailun avulla havaittiin erilaisia tietomallipohjaista suunnittelua rajoittavia tekijöitä: Osittain puutteellinen dokumentaatio olemassa olevasta verkosta, puuttuvat tietomallipohjaista suunnittelua koskevat standardit ja toimintatavat, tietomalleja tukevien sovellusrajapintojen puuttuminen suunnitteluohjelmien välillä ja vähäinen kokemus tietomallien käytöstä verkkotietojärjestelmän ulkopuolella. Tunnistetuille rajoitteille on työssä määritelty edelleen toimenpidesuositukset.

## ABSTRACT

**SIIVONEN JOONA:** Guidelines for use of building information modeling in electricity distribution networks

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 67 pages

September 2018

Master's Degree Programme in Information Technology

Major: Power Systems and Market

Examiner: Professor Pekka Verho

**Keywords:** electricity distribution networks, building information model, location information, infrastructure, augmented reality

The purpose of this M.Sc thesis is to study the use of building information modeling (BIM) in electrical distribution network planning. This thesis was made for the distribution system operator Elenia Oy. Typical distribution network projects, their design processes and joint projects between network operators are covered in this thesis, followed by key design tools and typical working methods. After the description of the operating environment the building information model is described as a concept with its principles and its possibilities in distribution network planning. Methods for spatial imaging of components of the old and partly poorly documented existing distribution network, lidar and ground penetrating radar are demonstrated with expert interviews and their working principles, limitations and material produced are reviewed.

Exove Design Oy conducted a proof of concept type mobile application for Elenia Oy, that uses augmented reality for presenting underground distribution network components. The primary purpose of the application development was to test the applicability of augmented reality in the visualization of the installed or designed underground distribution network components. This M.Sc. thesis contributed the project for defining PoC phase functionalities, providing the network information file of the test site for the application and evaluate the performance of the application at the test site. Based on the results, the added reality is a useful tool for illustrating underground infrastructure in the terrain. The positioning accuracy of the iPad used in the tests was not entirely satisfactory. Image recognition and acceleration-based location tracking of the device was unreliable under terrain conditions. New development ideas were given based on these results.

The main purpose of this M.Sc. thesis is to study the use of BIM in distribution network design and provide information to Elenia Oy about how BIM affects the design work in the future. This thesis helps distribution system operators to not only gain understanding of new designing and working methods that BIM provides, but also to realize the new requirements as well. By comparison of the theory of BIM and the current methods of operation, various types of limiting factors for BIM usage were identified: Partly poor documentation of the existing distribution network, lacking standards and established working methods for the BIM based design methods, the lack of a suitable application interface between design applications and minor experience of the use of BIM usage outside network information systems. Recommendations for the actions to be taken to overcome the identified problems are given.

## ALKUSANAT

Diplomityö on tehty sähköverkkoyhtiö Elenia Oy:lle vuoden 2018 aikana. Diplomityön tarkastajana toimi Tampereen Teknillisen Yliopiston professori Pekka Verho ja työn ohjaajana Elenialla suunnittelupäällikkö Evgenia Tkachenko. Ennen työn aloittamista ehdin toimia kolme vuotta suunnitteluinsinöörinä erilaisten jakeluverkkohankkeiden parissa Elenialla, joten sähköjakeluverkkojen suunnitteluun liittyvä aihe oli hyvin kiinnostava.

Kiitän professori Verhoa työn tarkastamisesta ja työn kirjoittamisen aikana saaduista kommentteista. Evgeniaa tahdon kiittää työni ohjaamisesta ja Eleniaa hyvästä diplomityöpaikasta sekä opintojeni mahdollistamisesta työni ohella. Erityisesti olen kiitollinen läheisilleni, jotka ovat tukeneet minua opintojeni aikana.

Tampereella, 10.9.2018

Joona Siivonen

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	6
2.	JAKELUVERKKOSUUNNITTELU .....	9
2.1	Jakeluverkkohankkeet .....	9
2.2	Yhteisrakentaminen.....	10
2.3	Jakeluverkon suunnitteluprosessi .....	11
2.4	Suunnittelutyökalut .....	14
3.	TIETOMALLIT JA INFRASTRUKTUURI .....	21
3.1	Tietomallien teoria .....	21
3.2	Tiedostoformaattit .....	23
3.2.1	Inframodel ja LandXML .....	23
3.2.2	ShapeFile.....	27
3.3	3D-mallien luominen.....	27
3.3.1	Laserkeilaus .....	27
3.3.2	Maatutka.....	29
3.3.3	Kuvantamislaitteiston sijainnin määrittäminen.....	31
3.4	Kokemukset 3D-mallintamisesta .....	32
3.4.1	Maatutkaus Visimind Ab .....	32
3.4.2	Sähköaseman mallinnus.....	34
3.5	Koneohjaus.....	35
3.6	Tietomallien luominen .....	36
4.	TIETOMALLINNUS JAKELUVERKOISSA .....	38
4.1	Tietomallien nykytila jakeluverkkosuunnittelussa.....	38
4.2	Sijaintitiedon luovutus ja yhteiset työmaat .....	40
4.3	Laadun seuranta ja projektien hallinta .....	45
4.4	Tietomallien tarjoamat mahdollisuudet.....	45
5.	TIETOMALLIEN KÄYTTÖN EDISTÄMINEN .....	46
5.1	Lähtötiedot ja verkon dokumentointi .....	46
5.2	Standardien ja toimintatapojen kehitys .....	47
5.3	Rajapintojen kehittäminen.....	48
5.4	Pilotointi.....	48
6.	LISÄTYN TODELLISUUDEN KEHITYSHANKE .....	49
6.1	Lisätty todellisuus .....	49
6.2	Hankkeen määrittely .....	50
6.3	Aineiston tuottaminen .....	52
6.4	Hankkeen tulokset.....	55
6.5	Jatkokehitys.....	59
7.	YHTEENVETO .....	62
	LÄHTEET.....	65

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

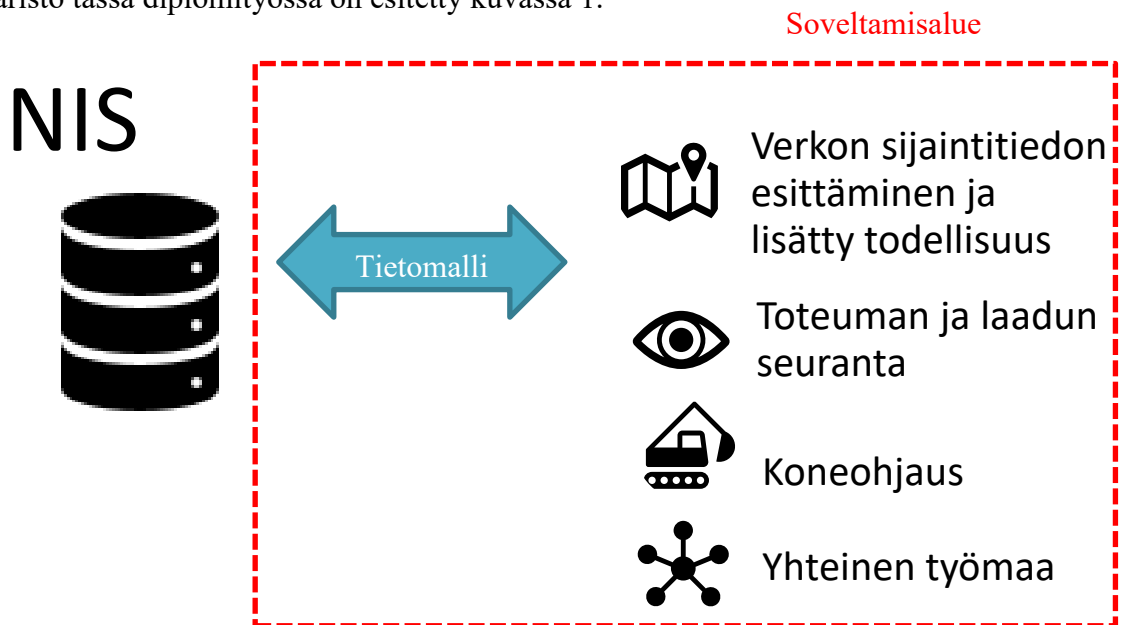
NIS	Network Information System, Verkkotietojärjestelmä
GIS	Geographical Information System, Paikkatietojärjestelmä
3D	3-Dimensional, Kolmiulotteinen
DMS	Distribution Management System, Käyttötukijärjestelmä
BIM	Building Information Modeling, Rakennuksen tietomalli
2D	2-Dimensional, Kaksiulotteinen
DWG	Drawing, CAD-ohjelmien tiedostomuoto
DXF	Drawing Exchange Format, CAD-ohjelmien tiedostomuoto
CAD	Computer Aided Design, Tietokone avusteinen suunnittelu
bSF	BuildingSMART Finland, Tietomallintamisen yhteistyöfoorumi
YIV2015	Yleiset Inframallivaatimukset 2015
XML	Extensible Markup Language, merkintäkielistandardi
ESRI	Environmental Systems Research Institute
$\lambda$	aallonpituus
$v$	nopeus
$f$	taajuus
GNSS	Global Navigation Satellite System, Satelliittipaikannus
GPS	Global Positioning System, Satelliittipaikannusjärjestelmä
GLONASS	Globalnaja navigatsionnaja sputnikovaja sistema, Satelliittipaikannusjärjestelmä
DGPS	Differential GPS, Differentiaalinen satelliittipaikannusjärjestelmä
AR	Augmented Reality, Lisätty todellisuus
PoC	Proof of Concept, Soveltuvuusselvitys

# 1. JOHDANTO

Tämä diplomityö on tehty toimeksiantona Elenia Oy:lle. Elenia Oy on yli sadan kunnan alueella toimiva sähköverkkoyhtiö, joka vastaa sähkönjakelusta yli 420 000 asiakkaalle. Elenia-konserniin kuuluvat sähköverkkoyhtiö Elenia Oy (jäljempänä Elenia), kaukolämpöyhtiö Elenia Lämpö Oy, energia-alan asiakaspalvelu yhtiö Elenia Palvelut Oy ja rahoitusyhtiö Elenia Finance Oyj. Elenia-konsernin pääkonttori sijaitsee Tampereella. Konsernin liikevaihto vuonna 2016 oli 315,3 miljoonaa euroa. [1] Elenia on viime vuosina toteuttanut huomattavia sähkönjakeluverkon (jäljempänä jakeluverkko) kaapelointihankkeita nostaakseen sähkönjakelun toimitusvarmuutta. Elenian suuresta verkkomäärästä johtuen tämä on edellyttänyt tehokkaan investointistrategian toteuttamista ja suurien vuotuisten investointiohjelmien läpivientiä. Vuonna 2014 Elenian toteuttamien investointien arvo oli n. 100 M€.

Diplomityön tarkoituksena on tutkia tietomallien hyödyntämistä sähkönjakeluverkon sijaintitiedon mallintamisessa ja suunnittelussa, sekä määrittää sähköverkkoyhtiössä suoritettavia konkreettisia toimia tietomallipohjaisen suunnittelun toteuttamiseksi. Tietomallit muuttavat olennaisesti suunnittelutyötä vaikuttamalla tiedon luomiseen ja käsittelyyn. Tietomallinnuksessa suunnitelmia ei pelkästään tuoteta yksittäistä tarkoitusta varten, vaan rakennelmista luodaan virtuaalisia malleja, joita voidaan hyödyntää koko rakennelman elinkaaren ajan aina rakennelman suunnittelusta sen teknisen pitoajan loppuun saakka. Tietomallien avulla voidaan tehostaa suunnitteluprosesseja vähentämällä manuaalisen työn määrää ja edelleen manuaalisen suunnittelu- ja dokumentointityön aiheuttamia virheitä. Tietomalli on infrastruktuurialalla ja varsinkin sähkönjakeluverkkojen suunnittelussa melko uutta ja vähän käytettyä tekniikkaa, mutta se mahdollistaa kattavan ja ajantasaisen suunnitelmatietojen välittämisen eri projektiosapuolien välillä, sekä ajantasaisen projektien toteumanseurannan ja laadunhallinnan. Tietomallien tutkimuksen ja käyttöönoton edistämisen jakeluverkkoyhtiöissä tekee erityisen ajankohtaiseksi tietomallien jatkuva kehittyminen ja käyttöönotto infrastruktuurialalla. Myös sähköverkkoyhtiöiden tulee osallistua työmenetelmien ja tekniikan, kuten erilaisten standardien kehittämiseen, jotta tietomallien mahdollistamista toimintatavoista saadaan kokemusta sekä laatu- ja kustannushyötyjä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Toisaalta voidaan vaikuttaa toimintatapojen ja alan standardien kehittämiseen sellaiseen suuntaan, joka huomioi myös sähköverkkoyhtiöiden tarpeet.

Diplomityössä kuvataan jakeluverkon suunnitteluprosessi eri vaiheineen sekä vaiheiden keskeisimmät tavoitteet. Suunnitteluprosessin ohessa kuvataan suunnittelussa käytettävät työmenetelmät ja ohjelmistot, sekä perehdytään tiedon hankintaan ja tuottamiseen suunnitteluprosessin eri vaiheissa. Suunnitteluprosessin esittelyn jälkeen kuvataan tietomallien teoreettinen tausta, kuten tietomallien käsitteen määrittely, tietomallien tekniset vaatimukset ja yleisesti käytetyt tiedostoformaatit. Tämän jälkeen esitetään erilaisia menetelmiä olemassa olevien jakeluverkkokomponenttien spatiaaliseksi mallintamiseksi digitaaliseen muotoon. Käytetyistä menetelmistä on lisäksi kerätty käyttäjäkokemuksia haastatteluiden perusteella menetelmien käyttökelpoisuuden arvioimiseksi. Suunnittelutyön osalta on huomionarvoista, että jakeluverkon suunnittelu tapahtuu yleisesti verkkotietojärjestelmässä (NIS, engl. Network Information System), joka on paikkatietojärjestelmä (GIS, engl. Geographical Information System). Tässä diplomityössä tietomalli toimii rajapintana jakeluverkon sijaintitiedon tuomiseen tai viemiseen verkkotietojärjestelmän ja ympäristön välillä, eikä jakeluverkon suunnittelua ole pyritty kääntämään varsinaiseksi tietomalliksi verkkotietojärjestelmän ulkopuolelle. Tietomallin soveltamisympäristö tässä diplomityössä on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Tietomallin soveltamisalue diplomityössä.

Diplomityön tausta- ja teoriaosuuden jälkeen esitetään yhteistyössä ohjelmistotalo Exove Design Oy:n kanssa tehty kehityshanke, jossa pilotoitiin lisätyn todellisuuden hyödyntämistä jakeluverkon sijaintitiedon esittämisessä. Kehityshankkeen tulosten pohjalta arvioidaan aikaansaadun työkalun käytettävyyttä jakeluverkon spatiaalisen informaation esittämisessä lisätyn todellisuuden avulla ja esitetään ehdotetut jatkotoimenpiteet työkalun kehittämiseksi. Tämän diplomityön osuus kehityshankkeessa oli projektin tavoitteiden ja työkalun toiminnallisuuksien määrittely, saatujen tulosten arviointi ja jatkokehityksen ideointi. Havaittujen tulosten ja teorian avulla arvioidaan myös yleisesti tietomallien potentiaalia jakeluverkkosuunnittelussa, jonka jälkeen esitetään millaisia konkreettisia toimia verkkoyhtiössä tulee tehdä tietomallien laajamittaisemman hyödyntämisen edistämiseksi.

Alalla käytävissä olevien suunnitteluohjelmien suuresta määrästä ja tietomallien jatkuvasta kehityksestä johtuen työssä pyritään tekemään tarkastelu periaatteen tasolla, jonka jälkeen perehdytään yksityiskohtaisemmin järjestelmien toimintaan esimerkkien kautta. Liiallista yksittäisten ja nopeasti kehittyvien sovellusten toiminnallisuuksien tai toimintatapojen ongelmien esittämistä pyritään välttämään selkeän kokonaiskuvan aikaansaamiseksi. Kaikkia tietomallien käsitteen määrittelemiä toiminnallisuuksia ei ole vielä toteutettu kaikkiin suunnitteluohjelmistoihin, joten niiden osalta on esitetty toiminnallisuuksien peruseriaatteet ja arvioitu niiden mahdollista käyttökelpoisuutta tulevaisuudessa. Työssä on kuitenkin korostettu eräitä periaatteellisia tietomallinen toteutukseen liittyviä ongelmia tai puutteita, kuten tiettyjen tiedostoformaattien tai määritelmien yhteensopimattomuutta jakeluverkon suunnittelun tarpeisiin. Työn keskeisin tavoite on kuvata tietomallit osana jakeluverkkosuunnittelua ja toimia ohjeistuksena tietomallien laajamittaisemmalle käytölle.

## 2. JAKELUVERKKOSUUNNITTELU

Mittavat vuotuiset jakeluverkkoinvestoinnit edellyttävät tehokasta suunnitteluprosessia. Tässä luvussa kuvataan sähkönjakeluverkon suunnitteluprosessi eri vaiheineen ja esitetään niiden tärkeimmät tehtävät. Luvussa kerrotaan myös suunnitteluvaiheiden jakautumisesta eri toimijoiden kesken ja suunnitteluprosessin kulusta Elenialla. Jakeluverkon suunnitteluprosessi esitetään ensin yleisellä tasolla, jonka jälkeen selostetaan tärkeimmät suunnittelutyökalut ja suunnittelutyömenetelmät. Lisäksi luvussa kerrotaan verkkotoimijoiden yhteisrakentamisen tuomista vaatimuksista suunnittelulle. Esitetyn perusteella huomataan jakeluverkon dokumentaation, sijaintitiedon ja helpon suunnitelmatietojen jakamisen merkitys suunnittelutyössä.

### 2.1 Jakeluverkkohankkeet

Jakeluverkon rakentamishankkeiden käynnistäviä tekijöitä ovat mm. laajennus- tai korvausinvestoinnit sekä erilaiset sidosryhmähankkeet. Sidosryhmähankkeilla käsitetään eri sidosryhmien toiminnasta johtuvat jakeluverkon muutostarpeet, kuten olemassa olevien jakeluverkon komponenttien siirtäminen erilaisten infrastruktuurihankkeiden takia. Laajennusinvestoinneissa nykyistä jakeluverkkoa on tarpeen laajentaa uusia sähköliittymiä varten, kun taas korvausinvestoinneissa mm. jakeluverkon tekninen pitoaika sekä sähkönjakelun toimitusvarmuuden kasvattaminen edellyttävät verkon komponenttien uusimista tai korvaamista esimerkiksi maanalaisella rakenteella. Sähkömarkkinalaissa on säädetty jakeluverkon toimitusvarmuuden osalta seuraavasti:

*51 § 2: jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta asemakaava-alueella verkon käyttäjälle yli 6 tuntia kestävää sähkönjakelun keskeytystä*

*51 § 3: Jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta muulla kuin 2 kohdassa tarkoitettulla alueella verkon käyttäjälle yli 36 tuntia kestävää sähkönjakelun keskeytystä. [2]*

Jakeluverkon säävarmuudella tarkoitetaan sähkömarkkinalain 51 § 2. ja 3. kohdan sähkönjakelun enimmäiskeskeytysaikojen alittamista vuoteen 2028 mennessä myrskyn, lumikuorman tai vastaavan sääilmiön seurauksena. Asemakaava-alueella sijaitsevat asiakkaat ovat Elenian tulkinnan mukaan säävarman sähköverkon piirissä, jos jakeluverkon 20 kV:n syöttö tapahtuu maakaapelia pitkin sähköasemalta kuluttajaa syöttävälle muuntamolle saakka, sillä vioittunutta keskijänniteilmajohtoa ei välttämättä ehditä korjaamaan kuuden tunnin aikana. Tyypilliset käytettävissä olevat viankorjausresurssit huomioiden on myös asemakaava-alueiden ulkopuolisen jakeluverkon keskijänniterunkojohdot toteutettava pääosin maakaapelilla, jotta määrätty toimitusvarmuus voidaan täyttää. Pääosin

maaseudulla toimivassa verkkoyhtiössä sähkömarkkinalain 51 § 2. ja 3. kohdan asettamien tavoitteiden saavuttaminen määräaikaan mennessä edellyttää merkittäviä vuotuisia kaapelointihankkeita. Energiaviraston tunnuslukujen perusteella voidaan ennustaa korvausinvestointihankkeiden jatkuvan tulevina vuosina: Elenialla oli Energiaviraston julkaisemien vuoden 2016 tunnuslukujen mukaan 285 415 kappaletta pienjänniteliittymiä ja keskijänniteliittymiä 321 kappaletta. Jakeluverkkopituutta yhteensä 1-70 kV:n jännitetason osalta noin 25 000 km, jonka maakaapelointiaste oli 27,30 % ja 0,4 kV:n osalta n. 42 700 km, jonka maakaapelointiaste samana vuonna oli 44,52 %. Käyttöpaikkojen lukumäärä, joilla sähkömarkkinalain 51 § mukainen toimitusvarmuustaso ei täyttynyt, oli 14 913 kappaletta. 2016 vuoden laajennusinvestoinnit olivat 21,9 miljoonaa euroa ja korvausinvestoinnit 95,5 miljoonaa euroa. [3]

## 2.2 Yhteisrakentaminen

Yhteisrakentamisella tarkoitetaan kahden tai useamman eri verkkotoimijan, kuten sähköverkkoyhtiön ja teleoperaattorin hankkeiden yhteensovittamista tietyllä alueella. Tarkoituksena on madaltaa verkkojen rakentamiskustannuksia, pienentää investointikustannuksia ja minimoida alueelle mm. kaivuutöistä aiheutuvat haitat. Pienemmät kustannukset kannustavat myös verkkotoimijoita investoimaan alueisiin, jotka olisivat yksinään toteutettuna liian kalliita. Yhteisrakentamista on pyritty edistämään vuonna 2016 säädetyllä yhteisrakentamislalla.

Laki verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä 276/2016 4 § asettaa tarpeen suunnitella pääasiassa jakeluverkon korvausinvestointihankkeita sekä joitakin suurempia uusia laajennusinvestointikokonaisuuksia, kuten uusia asuinalueita yhteistyössä teleoperaattorien kanssa:

*Verkkotoimijan on suostuttava toisen verkkotoimijan fyysisen infrastruktuurin yhteisrakentamista ja verkkojen yhteisrakentamista koskevaan pyyntöön oikeudenmukaisin ja kohtuullisin ehdoin. Pyyntö on esitettävä kirjallisena ja yksilöitynä. Kohtuulliseen pyyntöön on suostuttava, jollei yhteisrakentaminen:*

- 1) lisää verkkotoimijoiden kustannuksia erillISRakentamiseen verrattuna;
- 2) koske vähäistä rakennushanketta; tai
- 3) vaaranna verkon turvallisuutta tai verkon käyttöä aiottuun tarkoitukseen. [4]

Kahden eri infrastruktuurihankkeen päällekkäinen suunnittelu ja toteutus luovat monia haasteita koko projektin ajalle. Suunnitelmat ovat usein eri formaatissa ja eri toimijat käyttävät eri ohjelmistoja verkkojensa suunnitteluun. Sähköverkkoyhtiö laatii korvausinvestointinsa käyttämällä omia analyysejaan ja tavoiteverkkoa, kun taas samaan kohteeseen tehtävä teleoperaattorin uusi valokuituverkko toteutetaan teleoperaattorin omien vaatimusten perusteella.

Verkkoyhtiön tapauksessa investointihankkeelle on olemassa vähintään keskijänniteverkon komponentit käsittävä suunnitelma hankkeen laajuuden ja kustannusten pohjana, ennen kuin päätös hankkeen toteuttamisesta on tehty. Tästä syystä suunnitelmia ei usein päästä laatimaan yhteiskaivuu huomioiden, vaan ainakin osin valmiita suunnitelmia muokataan toisiinsa yhteensopiviksi. Yhteisrakentamisessa on kuitenkin kuvatuista haasteista huolimatta suuri potentiaali jakaa verkkojen rakentamiskustannuksia eri toimijoiden kesken ja edelleen parantaa verkonrakentamisen tehokkuutta.

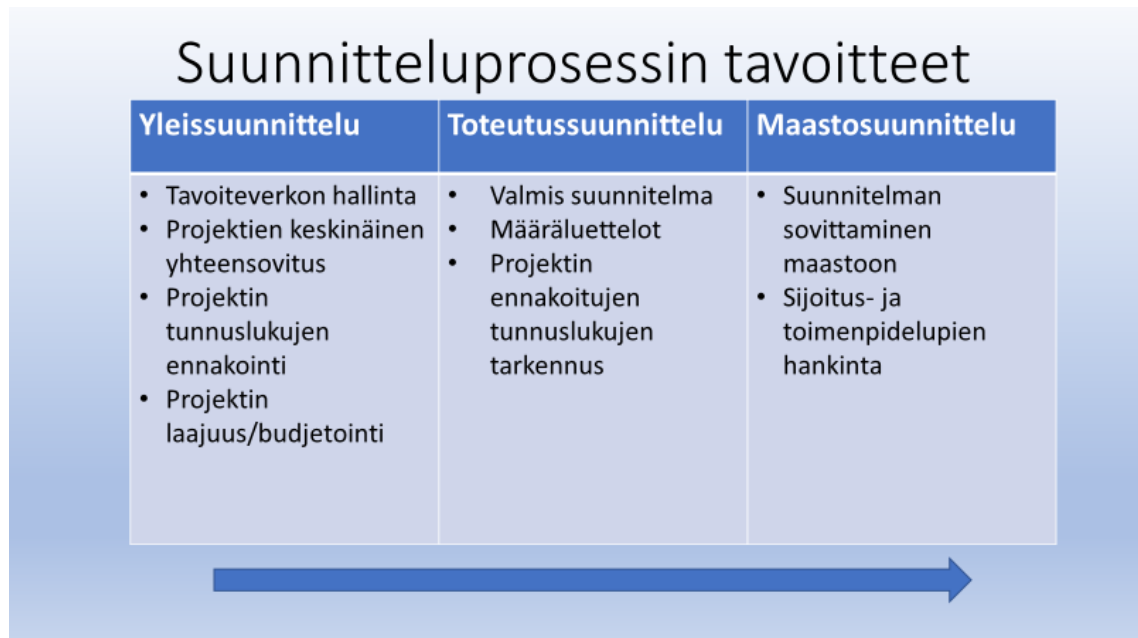
## 2.3 Jakeluverkon suunnitteluprosessi

Lakervi & Partanen mukaan sähköverkon suunnittelutyöt voidaan jaotella viiteen eri ryhmään: *pitkän aikavälin kehittämissuunnittelu, kohdesuunnittelu (verkostosuunnittelu), maastosuunnittelu, rakennesuunnittelu ja työsuunnittelu*. Jokaisella vaiheella on oma vuoronsa ja tehtävänsä osana suunnitteluprosessia: Pitkän aikavälin kehittämissuunnittelun tavoitteena on toimia pohjana yksityiskohtaiselle verkostosuunnittelulle ja ottaa kantaa siihen, millaisia investointeja verkkoon tulee tehdä, jotta se täyttää sille asetetut vaatimukset. Kohdesuunnittelussa määritellään investoinnissa käytettävät komponentit ja tehdään tarkka suunnitelma. Maastosuunnittelun tavoitteena on puolestaan suunnitella valitut komponentit lopullisille paikoilleen maastoon. Rakennesuunnittelun tavoitteena on komponenttien fyysisten ominaisuuksien suunnittelu, esimerkiksi pylväs rakenne. Viimeinen vaihe on työsuunnittelu, jonka yhteydessä määritellään työn aikataulu ja tarvittavat resurssit. [5]

Elenia Oy:llä on laaja kumppaniverkosto, joka vastaa verkon rakentamisesta ja viankorjauksesta. Verkkoalue on jaettu erillisiin urakointialueisiin, joista jokaisella operoi tietty aluekumppani. Aluekumppani vastaa alueen viankorjauksesta, uusien sähköliittymien rakentamisesta ja sidosryhmätöiden tekemisestä. Jakeluverkon korvausinvestointien osalta verkkoalue on jaettu erillisiin raamialueisiin, joilla toimivat raamiurakoitsijat vastaavat jakeluverkon korvausinvestointien toteuttamisesta, erilliskilpailutettavia projekteja lukuun ottamatta.

Sähköjakeluverkon suunnittelutyöt Elenia Oy:llä voidaan yleisesti jakaa kolmeen eri pääkategoriaan: yleissuunnittelu, toteutussuunnittelu ja maastosuunnittelu. Kategoriat noudattavat Lakervi & Partanen esittämää prosessia, mutta osa toiminnoista tapahtuu osana muita vaiheita. 0,4 – 20 kV jakeluverkkoja rakennetaan nykyaikana pääosin maa-kaapeloimalla, joten rakennesuunnittelun osuus ei ole enää työvaiheena yhtä suuri. Ilmajohdoverkon muutoksiin liittyvä rakennesuunnittelu tapahtuu keskijänniteverkon osalta osin jo toteutussuunnitteluvaiheessa ja pienjänniteverkon osalta usein vasta maastosuunnittelun yhteydessä. Syynä tähän on se, että keskijännitejohdot on ilmakuvaattu ja laserkeilattu helikopterista käsin, sekä useimpien pylväiden sijainnit on GPS-paikannettu verkkotietojärjestelmään, jolloin suunnittelijalla on saatavilla tarvittavat tiedot verkon rakennesuunnittelua varten. Pienjänniteverkon pylväistä on Eleniällä käytössä vain verkko-

tietojärjestelmän paikkatieto, mutta pylvään sijainti- ja rakennetiedoissa ilmenee toisinaan puutteita. Työsuunnittelu tapahtuu projektiurakoitsijan toimesta tilaajan asettaman projektiaikataulun puitteissa, lukuun ottamatta verkon käyttöönottoon liittyvää Elenian ja projektiurakoitsijan välistä aikatauluttamista. Prosessin vaiheet tavoitteineen Elenia Oy:ssä on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. *Suunnitteluprosessien tavoitteet jakeluverkkosuunnittelussa.*

Yleissuunnittelua tarvitaan keskijänniteverkon suunnittelussa aina keskijänniteverkkotopologian muuttuessa. Yleissuunnittelun tavoitteena on tavoiteverkon hallinta ja toisaalta keskijänniteverkkoa koskevien korvausinvestointiprojektien laajuuden määrittäminen. Tavoiteverkolla käsitetään tietylle alueelle suunniteltu teknillistaloudellisesti mahdollisimman optimaalinen keskijänniteverkko, jota ei ole tarkoitettu sellaisenaan yhtenä kokonaisuutena toteuttavaksi, mutta jota käytetään ohjaamaan alueella tehtäviä pienempiä suunnitelmia. Keskijänniteverkon pitkä tekninen käyttöikä johtaa verkon kehittyessä tilanteeseen, jossa keskijänniteverkossa on käytössä uusia ja vanhoja komponentteja sekaisin ja verkon kytkentätilanne voi edelleen ajautua käyttötoiminnalle epäedulliseksi, jos tavoiteverkkoa ei huomioida suunnittelussa. Yleissuunnittelussa määritellään keskijänniteverkon verkkotopologia ja kytkentätilanne tavoiteverkko huomioiden. Edellä mainittujen perusteella suunnitellaan keskijänniteverkon alustavat johto- tai kaapelireitit, joiden lisäksi valitaan verkon keskijännitekomponentit, kuten keskijännitekaapelit, muuntamot ja erottimet. Yleissuunnittelun asteesta riippuen, esimerkiksi muuntamoita ei välttämättä ole mahdollista tai tarpeen valita ennen pienjänniteverkon laskentaa, joten uusi muuntamo voidaan rajata vain erottimien lukumäärä ja mahdolliset kaukokäyttölaitteet huomioiden. Lopullisen muuntamon malli määräytyy tällöin pienjänniteverkon sähköliittymien vaatiman jakelumuuntajan teholuokan perusteella.

Yleissuunnitelman pohjalta saadaan laajojen korvausinvestointihankkeiden alustavat kustannukset, joihin pienjänniteverkon osuus voidaan arvioida suhteellisenä osuutena, joka summataan yleissuunnitelman kustannuksiin. Yleissuunnitelmasta perustuva alustava kustannusarvio mahdollistaa hankkeiden budjetoinnin ilman tarkkojen suunnitelmien laatimista, mikä edelleen säästää suunnittelun työpanosta siirtämällä toteutussuunnitelmien laatimisen myöhempään vaiheeseen, jolloin hankkeen toteutuminen on varmistunut. Kun toteutussuunnitelma tehdään lähempänä toteutuksen ajankohtaa, voidaan myös käytettävät komponentit ja verkon tila huomioida paremmin, ja tarve myöhemmälle suunnitelman muokkaamiselle vähenee. Toteutussuunnitelma toimii myös pohjana projektin määräluetteloille ja projektin taloudellisille tunnusluville. Komponenttien lopulliset sijoituspaikat maastossa ja määräytyvät maastosuunnittelun yhteydessä. Suunnitteluprosessin eri vaiheet jakautuvat Elenia Oy:n tapauksessa eri toimijoiden ja henkilöiden kesken. Verkon tavoitekuvan hallinnasta vastaa Eleniällä *verkon kehitys* -tiimi, joka vastaa jakeluverkko- ja projektien yleissuunnitelmien tuottamisesta. Toteutussuunnitelmien laadinta tapahtuu *sähköinen suunnittelu* -tiimissä tai projektin urakoitsijan toimesta. Maastosuunnittelusta vastaa aina projekti- tai alueurakoitsija. Usealla eri tasolla tapahtuva prosessi mahdollistaa suunnittelijoiden erikostumisen tietyn tyyppiseen suunnitteluun, mutta edellyttää aktiivista tiedonvaihtoa eri suunnittelijoiden välillä projektien alkaessa, sekä mahdollisissa muutostilanteissa.

Toteutussuunnittelun tavoitteena on puolestaan tuottaa tavoiteverkon huomioiva ja teknillistaloudellisesti mahdollisimman optimaalinen toteutussuunnitelma, jossa kaikki komponentit ovat valittuina ja sijoitettuna ennakoituille paikoilleen verkkotietojärjestelmässä. Tavoiteverkon ja teknillistaloudellisen optimoinnin yhdistäminen on yksittäisen suunnitelman näkökulmasta eräänlainen kompromissi: Halvin ja mitoitukseltaan riittävä toteutustapa ei välttämättä ole optimaalisin ratkaisu tavoiteverkon näkökulmasta, sillä usein eri suunnittelunäkökohdat ovat ristiriidassa keskenään. Esimerkiksi kaapeleiden mitoittamisessa tietty johtimien poikkipinta on sähköisiltä arvoiltaan riittävä, mutta verkko-yhtiön ole välttämättä tehokkainta käyttää kaikkia markkinoilla olevia kaapelikokoja, vaan määrittellä tietyt käytettävät jakeluverkkokomponentit etukäteen materiaalikustannusten minimoimiseksi. Vakioidut komponentit ja rakennustapaohjeet lisäksi ohjaavat suunnittelijoita yhtenäisiin suunnitteluratkaisuihin. Rakennustavan ja komponenttien valinnan seurauksena korostuukin suunnittelutyössä verkon komponenttien sijoittelu, koska erilaiset tekniset reunaehdot ja ohjeet määrittelevät suunnitelman komponentit, mutta komponenttien suunniteltu sijainti riippuu suunnittelijan ammattitaidosta ja näkemyksestä, sekä saatavilla olevista ympäristön lähtötiedoista. Lähtötiedoilla käsitetään tässä tapauksessa esimerkiksi alueen kaavoitus ja maaperäkarta.

## 2.4 Suunnittelutyökalut

Laadukkaan suunnitelman laatiminen edellyttää standardien asettamien teknisten reuna-ehdojen noudattamisen ja yhtiökohtaisten tarkentavien suunnitteluohjeiden seuraamisen lisäksi useiden eri tietolähteiden yhdistämistä. Tietoa maastosta kerätään maastokatselmusten, karttojen, valokuvien ja laserkeilatun kolmiulotteisen (3D) -aineiston avulla. Sähkötekkinen laskenta ja suunnittelutyö puolestaan suoritetaan verkkotietojärjestelmän avulla. Eri tietolähteitä yhdistämällä voidaan maasto-olosuhteet ja olemassa olevien komponenttien mekaaninen kunto ennakoida, joka edelleen johtaa projektin tarkempaan aika-aulutukseen ja budjetointiin.

Komponenttikokonaisuuksien käsittelemiseksi tarvitaan tarkoitusta varten rakennettu tietokanta. Tietokannalla käsitetään komponenteista laadittu tiedostokokoelma, joka jakeluverkkosuunnittelun tapauksessa tarkoittaa tietokantaa verkon komponenteista. Tietokanta on luettelo verkon olemassa olevista, suunnitelluista ja puretuista komponenteista attribuutteineen. Lakervi & Partanen mukaan nykyiset jakeluverkkojen käyttöön ja suunnitteluun liittyvät järjestelmät ovat graafisia tietokantapohjaisia järjestelmiä ja tietokantaperiaatteen mukaan toteutetut järjestelmät muodostuvat tietokannasta ja sen hallintajärjestelmästä. Tietokannassa sijaitsevaa tietoa voi käyttää useampi eri järjestelmä; verkkotietojärjestelmään liittyviä muita järjestelmiä ovat mm. käytönvalvonta ja -tukijärjestelmä sekä asiakastietojärjestelmä liittymä-, asiakas- ja energiatietoineen. [5]

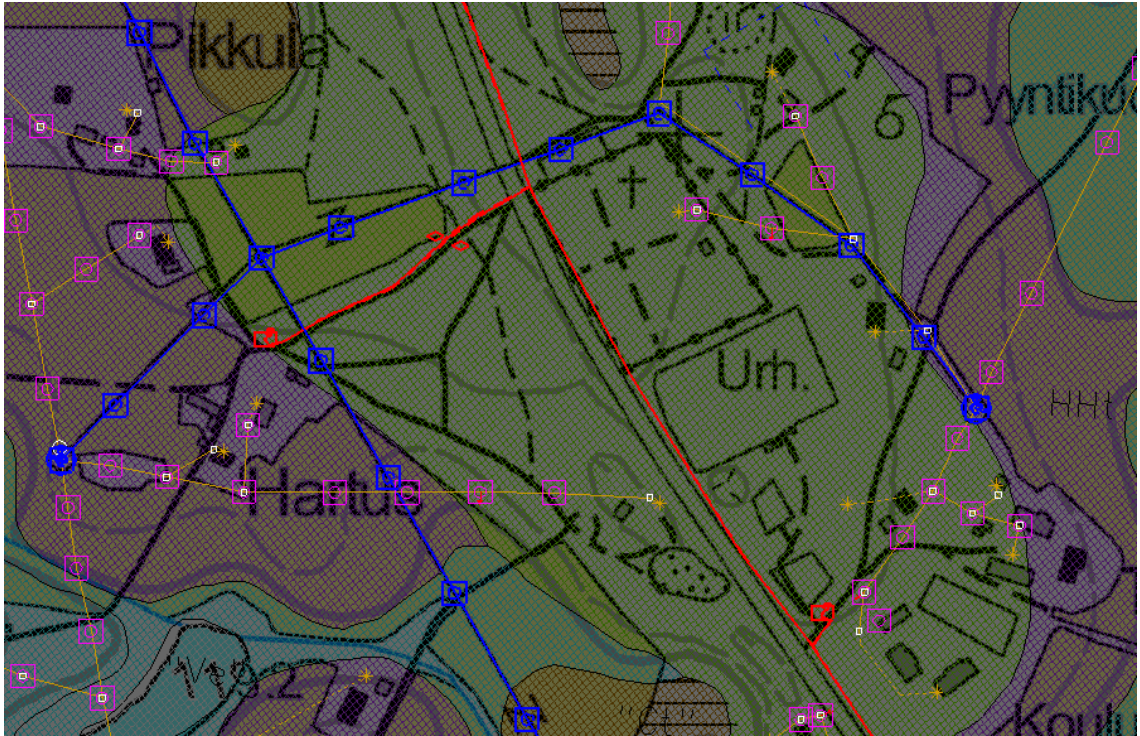
Elenia Oy käyttää jakeluverkkosuunnittelussa Trimble NIS -järjestelmää. Trimble NIS on sähköverkkoyhtiöille tarkoitettu verkkotietojärjestelmä, joka sisältää sovelluksia verkostolaskentaan, verkon suunnitteluun, verkko-omaisuuden ja -investointien hallintaan sekä kunnossapitoon. [6] Trimble NIS on graafinen tietokantapohjainen järjestelmä, jossa jakeluverkon komponentit on esitetty ETRS-TM35FIN koordinaatistossa erikseen valittavalla taustakartalla. Tietokantapohjaisissa ohjelmistoissa verkon tiedot on tallennettu erilliseen tietokantaan, josta ne ovat eri sovellusten käytettävissä. NIS- järjestelmän lisäksi tietokantaa hyödynnetään esimerkiksi Trimble DMS käytöntukijärjestelmässä (engl. Distribution Management System), jossa verkkomallia käytetään jakeluverkon käytön tukena. Trimble DMS järjestelmästä ilmenee ajantasainen tieto verkon kytkentätilasta, joka tuodaan järjestelmään automaattisesti kaukokäyttöisiltä erotin- tai kytkinkomponenteilta tai manuaalisesti syöttämällä tieto Trimble DMS järjestelmään käsi käyttöisiltä komponenteilta, joita maastossa työskentelevät henkilöt ohjaavat käyttökeskuksen ohjeiden mukaisesti.

Trimble NIS ympäristössä maastossa käytössä olevista komponenteista pidetään yllä niin sanottua mastertietokantaa, johon muut suunnitelmat perustuvat. Suunnitelman laatiminen aloitetaan rajaamalla suunnitelma-alue ja lataamalla suunnittelualueen olemassa oleva verkko mastertietokannasta. Verkkoon tehtävät muutokset, kuten komponenttien lisääminen tai poistaminen, ajetaan muutoksina mastertietokantaan työn edetessä maastossa. Tästä prosessista käytetään nimeä *verkon dokumentointi*. Elenialla verkon dokumentointi tapahtuu sähköinen suunnittelu -tiimissä. Dokumentointiprosessin tarkoituksena on tallentaa maastossa verkkoon tehdyt muutokset verkkotietojärjestelmän mastertietokantaan ja varmistaa tallennettavien tietojen oikeellisuus. Urakoitsija sijaintikartoittaa asennetut komponentit ja kaivuureitit maastossa, jonka jälkeen komponentit voidaan tallentaa mastertietokantaan todellisille paikoilleen. Oikealla ja ajantasaisella dokumentoinnilla on suuri merkitys verkon suunnittelun ja turvallisen käytön kannalta. Erityisesti kaapeliverkon kytkentöjen turvallinen suorittaminen maastossa edellyttää tarkkaa dokumentaatiota ja merkintöjä maastossa, sillä kaapelin reittiä ei voida päätellä maan pinnalta. Verkon dokumentoinnin osalta on huomioitava vanhojen maakaapelien epätarkempi dokumentointi. Maakaapeleja on asennettu Suomessa jo useiden vuosikymmenien ajan, siis jo ennen satelliittipaikannuksen käyttämistä. Vanhat maakaapelit on dokumentoitu joko käyttämällä maanmittauksen menetelmiä, kuten takymetria tai piirtämällä ne summittaisesti kartalle käsin. Takymetri on etäisyysmittarin ja kaukoputken yhdistävä mittalaite, jolla voidaan mitata tietyn pisteen asema maastossa oleviin kiintopisteisiin nähden. Siirtyminen sähköisiin verkkotietojärjestelmiin on edellyttänyt vanhan ja paikoin epätarkan dokumentaation digitoimista. Joitakin vanhoja komponentteja, kuten pylviä, on ollut mahdollista paikantaa satelliittipaikannuksen avulla jälkikäteen, mutta suunnittelutyössä on aina huomioitava komponentin oletetun sijainnin tarkkuus suunnitelmia laadittaessa.

Trimble NIS -järjestelmän tietokanta koostuu erillisistä tauluista, joita ovat master-, suunnitelma- ja Q-taulu. Nimensä mukaisesti mastertaulussa ylläpidetään luetteloa verkkoon asennetuista komponenteista, kun taas Q-tauluun on tallennettu mastertietokantaan tehdyt muutokset. Jokaisella suunnitelmalla on oma suunnitelmataulunsa, jossa on esitettyinä kaikki suunnitelmalla lisätyt, poistetut tai muutetut komponentit. [7] Työn edetessä suunnitelmataulun muutokset ajetaan mastertauluun työn dokumentoinnin yhteydessä.

Mastertietokannan muutokset vaikuttavat myös käytöntukijärjestelmän esittämään verkkomalliin tietokantapohjaisen sovellusratkaisun ansiosta, jolloin kaikki työn osapuolet pysyvät ajan tasalla hankkeen etenemisestä ja toisaalta kytkentäsuunnittelu on mahdollista suorittaa käytönsuunnittelijoiden toimesta käyttämällä Elenian tapauksessa Trimble DMS käytöntukijärjestelmää. Oikea-aikainen verkon dokumentointi on tärkeää myös taloudellisesta näkökulmasta, sillä mastertietokannan pohjalta voidaan laskea jakeluverkon kulloinenkin arvo tai määrittää työn edistymiseen sidottujen urakoitsijan maksuerien tila.

Verkkotietojärjestelmässä kartat ovat tärkeä osa jakeluverkkosuunnittelua, esimerkiksi suunniteltavat kaapelireitit ja maanpäällisten komponenttien sijainnit riippuvat vahvasti muun infrastruktuurin sijainnista maastossa. Maakaapelien sijoittaminen teiden varsille mahdollistaa kaapelin paremman luokse päästävyyden myöhemmin, koska kaapelin päälle ei pääse kasvamaan puustoa, lisäksi tien läheisyys rajoittaa rakentamista, joka vähentää laitesierrojen tarvetta. Kuvassa 3 on esitetty kuvakaappaus Trimble NIS järjestelmästä, jossa näkyy valmis yleissuunnitelma. Taustakarttana on kuvassa maaperäkartta, jonka tehtävänä on havainnollistaa maaperän koostumus suunnittelualueella, jotta kaapelireitti voidaan optimoida ja kaivuuyksiköt ennustaa mahdollisimman tarkasti.



Kuva 3. Yleissuunnitelma, taustakarttana maaperäkartta. Uusi suunniteltu keskijänniteverkko on korostettu punaisella värillä ja purettava keskijänniteverkko sinisellä.

Verkkotietojärjestelmän kartat eivät aina kerro riittävästi suunnittelukohteen olosuhteista, esimerkiksi maaston metsäisyyttä tai tien penkköjen kallioisuutta on vaikea päätellä, joten tiedon hankintaa käytetään usein myös muita aineistoja. Suunnittelukohteen maastokatselmus on suurella verkkoalueella pitkien välimatkojen takia työläs, mutta varma tapa hankkia tietoa maasto-olosuhteista ja olemassa olevien komponenttien tarkasta sijainnista maastossa. Maastokatselmuksilta voidaan toisinaan välttyä käyttämällä erilaisia digitaalisia aineistoja, kuten ilmakuvia, Google Street View -kuvia tai helikopterilla kuvattua tai laserkeilattua ilmajohtoaineistoa. Vuodenaika vaikuttaa maastokatselmuksen onnistumiseen ja valokuvien perusteella voidaan maastosta saada parempi kuva suunnittelun sijoitusta lumiseen vuodenaikaan. Kuvassa 4 on esitetty helikopterilla kuvattua 20kV:n ilmajohtoaineistoa, josta selviää esimerkiksi pylsä rakenne ja komponenttien sijainti vie-

reiseen tiehen nähden. Eleniällä kyseisen aineiston selaamiseen käytetään Visimind -sovellusta, jonka avulla suunnittelija voi navigoida aineistossa. Kuvien lisäksi aineisto sisältää laserkeilauksella tuotetun 3D-mallin, jossa voi liikkua vapaasti. Mallissa voidaan käyttää sovelluksen mittaustyökaluja, joilla voidaan arvioida esimerkiksi johtimien etäisyyttä rakennuksiin.



Kuva 4. 20 kV ilmajohtoverkon ilmakehu-aineistoa Visimind -ohjelmassa.

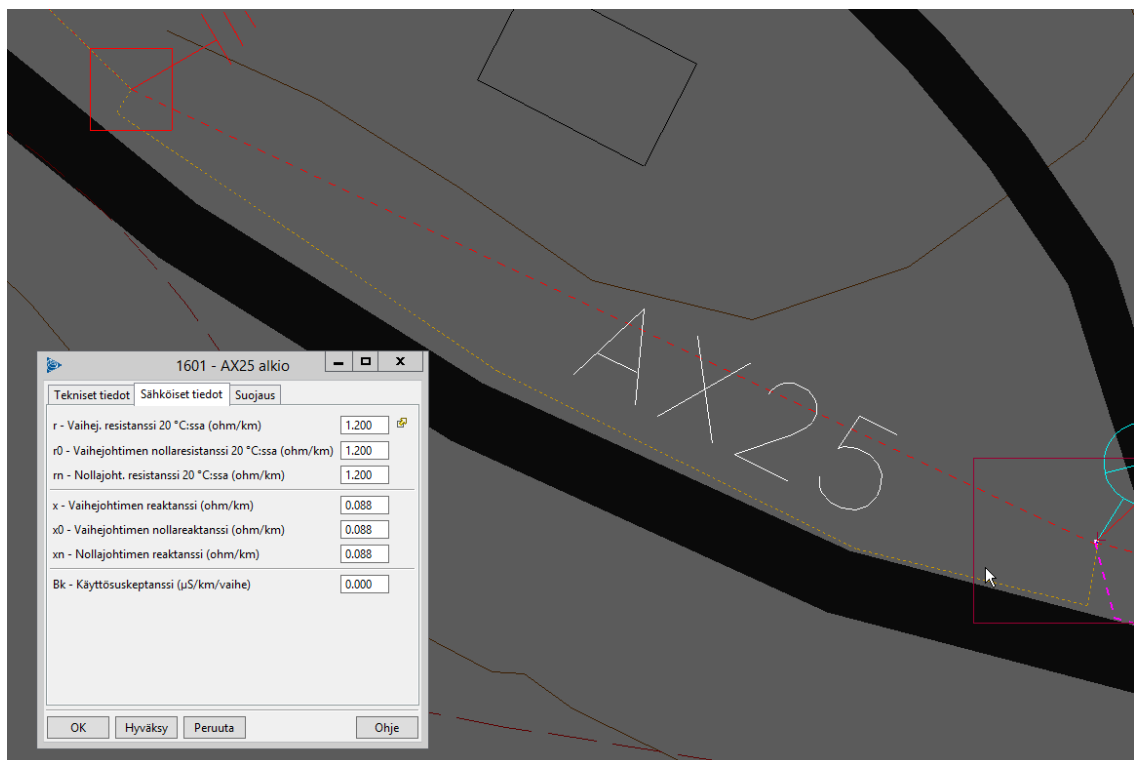
Kuvassa 4 esimerkkinä 20 kV ilmajohtoaineistosta on vanha 20kV/10kV sähköasema, joka on jäänyt toiminaan erotinasemana päämuuntajan purkamisen jälkeen. Esimerkiksi päämuuntajan vanha muuntajaperustus on nähtävillä erotinaseman oikealla puolella. Kuvassa 5 on vertailun vuoksi esitetty ruutukaappaus samasta kohteesta Google Maps -karttapalvelussa. Kuvan 5 kontrasti ei ole yhtä hyvä, mutta kuvasta voidaan kuitenkin nähdä erotinasema eri kuvakulmasta ja tunnistaa eri komponentteja, kuten vielä kuvaamishetkellä paikoillaan oleva vanha päämuuntaja sekä erotinaseman kaukokäyttölaitteiden oma-käyttömuuntaja.



Kuva 5. *Kuvaa 3 vastaava kohta Google Maps -palvelussa.*

Ulkopuolisten kuva-aineistojen käyttökelpoisuudesta kertoo myös niiden integrointi verkkotietojärjestelmään, jonka ansiosta Google Maps karttanäkymän voi avata suoraan Trimble NIS järjestelmästä haluttuun sijaintiin. Minkään esitetyn tiedonhankintakanavan perusteella ei voida aina muodostaa aukotonta kuvaa verkosta tai maaston kaivuolosuhteista, joten tiedonhankinnassa on käytettävä useita eri lähteitä, joita ylläpitävät eri tahot ja joiden tiedot on kerätty eri aikoina. Verkkoyhtiö ei voi luonnollisesti vaikuttaa muuhun kuin itse teettämänsä aineiston ajantasaisuuteen, joten suunnittelija voi joutua toimimaan osin vajailla tiedoilla, turvautumaan maastokatselmukseen tai luottamaan suunnitelman tarkentamiseen vasta maastosuunnittelun yhteydessä.

Jakeluverkon sähköisten arvojen laskenta ja suunnitellun verkon komponenttien mitoitus tapahtuvat myös verkkotietojärjestelmää hyödyntäen. Trimble NIS verkkotietojärjestelmässä kaksi verkon solmupistettä yhdistyvät toisiinsa johdolla, jonka fyysistä reittiä kuvaa johtoalkioreitti, esimerkiksi kuvassa 6 näkyvä AXMK 4x25-maakaapelin reitti on esitetty johtoalkioiden avulla ja alkioireitin eri päitä yhdistää johto-osa, joka kuvaa johdon numeerisia arvoja. Johto-osan pituus määräytyy suunnitteluvaiheessa piirretyn alkioireitin avulla ja työn dokumentoinnin jälkeen osalle syötetyn mitatun pituuden avulla, jonka perusteella osan sähköiset arvot saadaan automaattisesti johdon pituuden ja pituusyksikön sähköisten arvojen tulona. Johdoille on syötetty verkkotietojärjestelmään myös sähkötekniisiä ominaisuustietoja, kuten suurimmat sallitut oikosulku- ja ylikuormitussuojien arvot kaapelin asennustavasta riippuen, eli toimiiko johto jakeluverkon runkojohtona vai kuluttajan liittymiskaapelina. Muuntamot ja jakokaapit toimivat verkon solmupisteinä, joissa kaapeleiden kytkentymistä pisteeseen hallitaan KJ-verkossa erottimen asennolla ja puolestaan PJ-verkossa jonovarokeytkimellä, johon on syötetty suojaavan sulakkeen koko. Laskentaparametreihin on syötetty standardien asettamat rajat vikalaskentaa varten, kuten suojauksen toiminta-aika ja suurin sallittu kosketusjännite. Osista muodostuvaa verkkomallia voidaan näin käyttää tehojako- ja vikalaskentaan, jolla varmistetaan, että suunniteltu tai olemassa oleva verkko kestää kuormituksen ja verkon suojaus toimii oikein. Kummankin laskennan tapauksessa laskentatuloksiin tulostuu varoitus, jos annettuja parametreja, kuten suurin sallittu oikosulkusuoja, ylitetään.



Kuva 6. Johto-osa ja -alkio sähköisine arvoineen, Trimble NIS-järjestelmässä.

Jakeluverkkoprojektien yleis- tai toteutussuunnittelun ja työn toteuttamisen välisenä aikana on toisinaan tarpeen päivittää projektissa käytettäviä verkostomateriaaleja, esimerkiksi materiaalitoimittajan vaihtuessa. Materiaalien hankintahinnan lisäksi myös materiaalihankintojen hajauttaminen usean eri toimijan kesken lisää kilpailua materiaalitoimittajien välillä sekä materiaalien saatavuutta yhden materiaalitoimittajan kohdatessa toimitusvaikeuksia. Sijaintitietopohjaisen ratkaisun ansiosta suunniteltuja komponentteja voidaan päivittää massa-ajona, mikäli komponenttien sähköinen kytkytyminen ei muutu. Massa-ajolla tarkoitetaan tiettyihin suunnitelmiin kohdistuvaa tietokannan muutosta, jossa tietyn lajin omaavat komponentit korvautuvat toisilla, mutta komponentin suunniteltu sijainti voidaan säilyttää ennallaan. Erilaisten suunnittelutöiden automatisoituminen korostaa edelleen suunniteltujen komponenttien sijaintitiedon merkitystä. Esitetyn perusteella huomataan komponenttien sijoittelun merkitys jakeluverkkosuunnittelussa. Komponenttien kytkytyminen ja mitoittaminen saadaan tarkasti laskettua verkkotietojärjestelmää hyödyntämällä, sekä attribuuttitietojen täyttäminen varmistettua, kun taas komponenttien sijoittelua on arvioitava silmämääräisesti muiden aineistojen avulla. Komponenttien tyyppin ja attribuuttitietojen automaattisen päivityksen sekä jakeluverkon mallia hyödyntävän laskennan johdosta komponenttien sijaintitieto voidaan nostaa yhdeksi tärkeimmistä valmiin jakeluverkkosuunnitelman tuloksista sen vaatiman manuaalisen työn ja automatisoinnin puuttumisen johdosta.

## 3. TIETOMALLIT JA INFRASTRUKTUURI

Tietomallilla käsitetään rakennelman fyysisiä ja toiminnallisia ominaisuuksia kuvaava virtuaalinen malli, jolla on useita erilaisia käyttökohteita koko rakennelman elinkaaren ajan. Tässä luvussa kuvataan tietomalli käsitteenä, tietomallin ero perinteiseen malliin verrattuna sekä kuinka tietomalleja voidaan luoda ja kuinka niitä voidaan käyttää rakennelman elinkaaren eri vaiheissa. Tietomallien ohella luvussa on kuvattu myös olemassa olevien infrastruktuurirakenteiden mallintaminen sähköiseen muotoon ja millaisia kokemuksia erilaisista mallintamistekniikoista on saatu käytännössä. Luvun lopussa on kuvattu tietomallien hyödyntäminen koneohjauksessa ja tietomallien luomisen prosessit.

### 3.1 Tietomallien teoria

Kansainvälisen BIM (engl. Building Information Modeling) standardin projektikomitean mukaan tietomalli on rakennelman tai järjestelmän fyysisten ja toiminnallisten ominaisuuksien esitys, johon on koottu kaikki rakennelman toiminnallisuuksien kannalta relevantti tieto. Tietomalli toimii järjestelmän koko elinkaareen liittyvien päätösten perustana. Peruslähtökohtana tietomallissa on eri sidosryhmien välinen yhteistyö rakennelman elinkaaren vaiheissa, joissa rakennelmaa suunnitellaan, rakennetaan, puretaan tai siihen tehdään muita muutoksia. [8]

Tietomalli voidaan siis käsittää rakennelman 3D-mallina, johon on erikseen mallinnettu kaikki rakennelman komponentit toiminnallisuuksineen ja attribuutteineen. Perinteinen tapa rakennesuunnittelussa on kolmiulotteisen kappaleen esittäminen kaksikulotteisten (2D) kuvien avulla useammasta eri perspektiivistä katsottuna tai 3D-mallin avulla. Kaksikulotteisia kuvia voidaan kuitenkin tuottaa myös kappaleen kolmiulotteisesta mallista valitsemalla tietty perspektiivi, josta kuva tuotetaan. Jotta kolmiulotteisesta mallista voidaan edelleen muodostaa tietomalli, täytyy myös kappaleeseen erikseen mallintaa komponentit, joista kappale rakentuu, sekä antaa komponenteille tarvittavat attribuutit, kuten esimerkiksi komponentin materiaali, mekaaniset tai sähköiset ominaisuudet, sekä komponenttien mahdollinen asennusjärjestys. Esimerkiksi mallipohjaisia suunnitteluohjelmistoja valmistava Tekla mainitsee tietomallin erotukseksi tavallisesta mallista attribuuttitiedon ja kohteen muokkaamisen vaikutukset näkymästä toiseen. Jos mallin muokkaaminen yhdessä näkymässä ei muuta mallia kaikissa muissakin näkymissä tai jos komponenteilla ei ole attribuuttitietoja, ei kyseessä ole Teklan määrittelyn mukaan tietomalli. [9] Kuvassa 7 on koottu yhteen esiteltujen määrittelyjen vaatimuksia tietomallin käsitteelle.

## Tietomallin ominaisuudet

Malli	Tietomalli
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rakennelman 2D/3D malli</li> <li>• Ei sisällä attribuuttitietoja</li> <li>• Ei sisällä toiminnallisuuksia</li> <li>• Mallin muokkaaminen yhdessä näkymässä ei muuta mallia muissa näkymissä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rakennelman 2D/3D malli</li> <li>• Sisältää komponenttien attribuuttitiedot</li> <li>• Sisältää komponenttien toiminnallisuudet</li> <li>• Mallin muokkaaminen yhdessä näkymässä muuttaa mallia kaikissa muissa näkymissä</li> </ul>

Kuva 7. Tietomallin ero tavalliseen malliin verrattuna.

Wang ja Xiangyu määrittelevät suunnitelman ja tietomallin eron kirjassaan BIM Handbook siten, että suunnitelma edustaa tiettyä tarkoitusta varten laadittua dokumenttia rakennelmasta, tietomallin ollessa rakennelmaa edustava virtuaalinen malli, joka sisältää tiedon rakennelman komponenteista, ominaisuuksista ja toiminnallisuuksista. Tietomallista voidaan automaattisesti laatia erilaisia dokumentteja rakennelmasta, kuten rakennekuvien tai määräluetteloiden muodostaminen automaattisesti mallista. Wang ja Xiangyu mainitsevat myös parametrinen objektien käsitteen keskeiseksi tekijäksi tietomallin ymmärtämiseksi ja sen erottelemiseksi 3D-objekteista. Määritelmän mukaan parametriset objektit koostuvat geometrisistä määritelmistä tietoineen ja sääntöineen. Geometria tulee esittää ilman epäolennaisuuksia ja epäjohdonmukaisuutta, aina tarkkoine mittoineen. Parametrisen objektien säännöt muokkaavat automaattisesti niihin liittyviä muita objekteja, esimerkkinä seinä, joka sovittaa itsensä suunnitelmassa oven ympärille ilman, että seinään tarvitsee manuaalisesti tehdä erillistä aukkoa ovea varten. Komponentin toiminnallisuus määrittyy sääntöjen mukaan, eikä ristiriitoja synny. Objekteja voidaan määritellä ja hallita objekteina itsenään tai niiden komponentteina. Jos tietyn objektin sisältämän komponentin paino muuttuu, muuttuu myös koko objektin paino ja vastaavia tasoja voi rakennelman sisällä olla loputon määrä. Objekti ei saa rikkoa sille asetettuja sääntöjä, vaan objektin tulee täyttää tarkoituksensa ja olla valmistettavissa. Objekteilla tulee olla kyky linkittyä toisiinsa sekä vastaanottaa, lähettää ja tuoda attribuutteja, kuten objektin materiaali, energiankulutus tms. muihin sovelluksiin ja tietomalleihin. [10] Suunniteltavan rakennelman muotojen ja ominaisuuksien lisäksi voidaan muita tietoja, kuten aika ja kustannukset, käsitellä omina ulottuvuuksinaan. Rakennelman fyysisestä mallista käytetään käsitettä 3D, aikataulutuksesta 4D ja kustannuslaskennasta 5D. Aika ja kustannustekijät käsitetään näin omina ulottuvuuksinaan.

Tietomallin jokaiselle komponentille voidaan määritellä esimerkiksi käyttöönottopäivämäärä ja tekninen pitoaika, joiden avulla voidaan tuottaa esimerkiksi automaattisia raportteja ja ilmoituksia ennakoivaa huoltoa varten. Komponenttien asennusajankohtaa kuvaavien attribuuttien avulla voidaan edelleen laatia työlle aikatauluja ja määrittää eri komponenttien asennusjärjestys. Mallinnettu laitteisto sisältää samat komponentit kuin rakennettava laitteisto, jolloin suunnitelman määräluettelo on mahdollista tuottaa automaattisesti suunnitellusta mallista laskemalla yhteen mallissa käytetyt komponentit suunnitelman tietokannasta. Edelleen koko rakennelman rakentamiskustannukset saadaan määriteltä kertomalla komponenttien määrät vastaavien komponenttien yksikköhinnoin. Taloudellisia tunnuslukuja, kuten laitteiston nykykäyttöarvo, voidaan määrittää automaattisesti laskemalla yhteen kaikkien laitteiston komponenttien jälleenhankinta-arvot, ikävähennys huomioiden.

## 3.2 Tiedostoformaatit

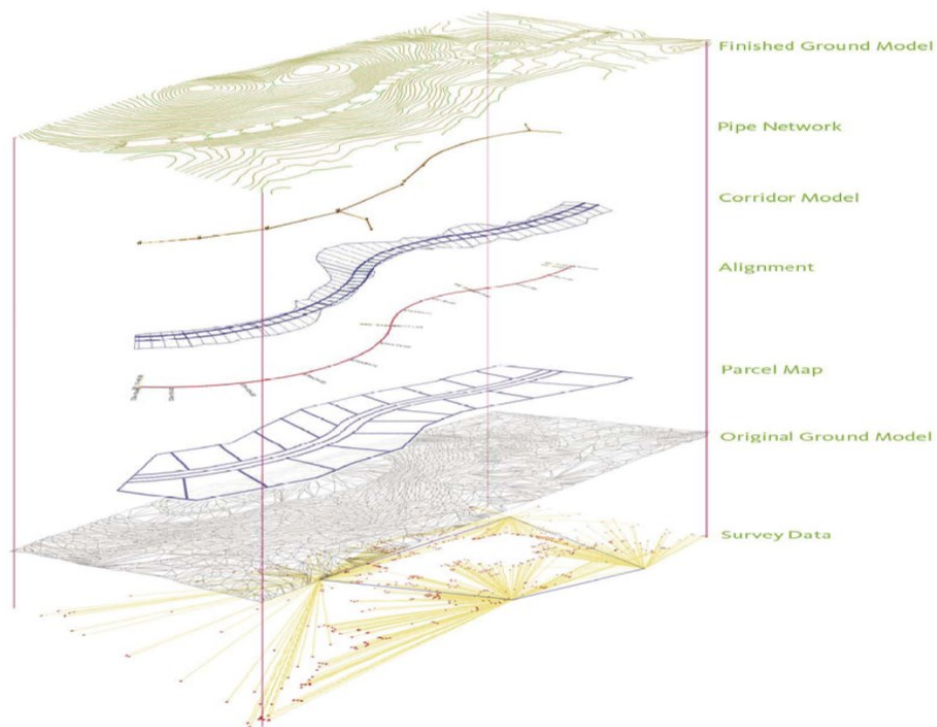
American Society of Civil Engineer järjestön tietomallinnusta infrastruktuurihankkeiden laadunhallinnassa käsittelevän julkaisun mukaan tietomallinnusta on esitetty informaation integroimisalustaksi ja helpottamaan projektinhallintaa, koska lukuisia erilaisia informaatioalustoja on käytössä. Informaation keräämistä yhteen alustaan jarruttaa kuitenkin ohjelmisto- ja tiedostostandardien puuttuminen. [11] Seuraavassa on esitetty nykyisin infrastruktuuralalla käytössä olevia tietomallien tallentamiseen tarkoitettuja tiedostoformaatteja. Tiedostoformaatit esitetään tässä kappaleessa jakeluverkon suunnittelu huomioiden ja arvioidaan formaattien kelpoisuutta jakeluverkon sijaintitiedon esittämiseen. Nykyisin laajasti käytettyjä tiedostoformaatteja ovat esimerkiksi DWG (Engl. Drawing) ja DXF (Engl. Drawing Exchange Format). DWG-formaatti on Autodesk Inc:n tiedostoformaatti, joka on yksi yleisimmistä tiedostoformateista 2D tai 3D mallien tallentamiseen. DWG tiedosto sisältää CAD-suunnitelmaan (engl. Computed Aided Design) syötetyn informaation. [12]

### 3.2.1 Inframodel ja LandXML

Suurimpien infrastruktuuritoimijoiden tavoite tietomallien käytölle työmailla on aiheuttanut tarpeen yhteisten vaatimusten määrittelemiselle. Rakennustietosäätöön erityispäätoimikunta buildingSMART Finland (bSF) on määrittänyt Yleiset inframallivaatimukset (jäljempänä YIV2015). [13] YIV2015:n mukaan tietomallinnuksen tavoitteena on tukea hanke- ja elinkaariprosesseja, jotka liittyvät hankkeen suunnitteluun ja rakentamisen laatuun, tehokkuuteen, turvallisuuteen ja kestävään kehitykseen. Vaatimusten johdannossa myös todetaan tietomallien mahdollistavan investointipäätösten tuen, energia- ympäristö- ja elinkaarianalyysit, eri tekniikkalajien yhteensovittamisen, sekä tiedon hyödyntämisen rakentamisen aikana, esimerkiksi koneohjauksessa. YIV2015:n mallinnuksen perusvaatimusten mukaan ohjelman on pystyttävä hyödyntämään ja luomaan tietomalli avoimessa tietomallipohjaisessa formaatissa, joka on Inframodel määrittelyn mukaan LandXML.

YIV2015:ssa avoimet formaatit todetaan kuitenkin paikoin riittämättömiksi, jolloin siirtymävaiheessa tietoa joudutaan siirtämään niiden ohella myös muissa muodoissa, kuten järjestelmien natiiviformaateissa tai DWG-muodossa. Objektien nimeämisissä tulee kuitenkin käyttää infraBIM-nimikkeistöjärjestelmää, jossa on esitetty infrarakenteiden ja mallien yhtenäiset nimeämiskäytännöt. InfraBIM-nimikkeet on edelleen johdettu infrarakennusosanimikkeistön pohjalta. Koordinaatiston osalta käytetään valtakunnallisten suositusten mukaista EUREF-FIN koordinaatistoa ja valtakunnallisella tasolla ETRS-TM35FIN-koordinaatistoa esimerkiksi yleissuunnittelun yhteydessä. Tarkemmassa suunnittelussa puolestaan käytetään ETRS-GKn järjestelmää (jossa kirjain n on paikallinen keskipituuspiiri). [14] Jakeluverkon rakentamisen näkökulmasta verkkoja rakennuttaa alueella toimiva jakeluverkkoyhtiö, jolla on oma komponenttien nimeämiskäytäntönsä. Koordinaattijärjestelmä voi puolestaan olla yhtäläinen muiden toimijoiden kanssa. Jakeluverkkoyhtiön näkökulmasta erillistä komponenttien tunnusjärjestelmää tarvitaan jakeluverkon komponenttien yksilöimiseksi.

World Wide Web Consortiumin kehittämä XML (engl. Extensible Markup Language) on merkintäkielien yläkäsite, joka määrittelee, kuinka tiedon merkitys kuvataan tiedon sekaan. XML-tiedostoissa itse tieto ja tiedon merkitys on tallennettu samaan tiedostoon, joka mahdollistaa informaation vaihtamisen eri ohjelmien välillä. Formaatin pohjalta on edelleen johdettu alaformaatteja eri toimialoja varten, joista erityisesti LandXML-formaatti on suunniteltu infrastruktuuri-informaation siirtämiseen eri järjestelmien välillä. Formaatin periaate on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. LandXML-tiedostoformaatin malli. [15]

LandXML organisaation tavoitteena on ollut kehittää avoimeen lähdekoodiin perustuva XML-pohjainen standardi maa- ja vesirakentamistöiden suunnittelua ja mittausdatan käsittelyä varten siten, että standardi palvelee suunnitteludatan siirtoa osapuolien välillä, mahdollistaa datan keräämiseen pitkällä aikavälillä ja muodostaa standardimuotoisen formaatin suunnitteludatan toimittamiseen. [15] Kaapeleille ei ole LandXML:ssä omaa elementtiään, vaan ne käsitellään PlanFeatureina. [16] PlanFeaturen tarkoituksena on kuvata objekteja, joilla ei ole omaa varsinaista lajia.

Inframodel-tiedonsiirto on LandXML-formaatin pohjalta kehitetty avoin menetelmä infratietojen siirtoon käytettäväksi suunnitteluohjelmien sekä mittaus- ja koneohjaussovellusten välillä. Inframodel-tiedonsiirto kehittää tiedonsiirtoa kohti tietomallinnuksen laajamittaisempaa hyödyntämistä, mahdollistamalla tiedon siirtämisen eri järjestelmien välillä. Toisaalta Inframodel-tiedonsiirto sopii nykyisellään huonosti jakeluverkon suunnitteluun, mutta mahdollistaa tiedon jakamisen eri toimijoiden kesken. Geoinformatiikan sanaston mukaan käsitteellä arvojoukko viitataan arvoalueeseen, joka muodostuu nimettyjen arvojen kiinteästä luettelosta. [17] Vuonna 2016 julkaistussa Inframodel4 versiossa eri maakaapelirakenteille ei ole määritetty kiinteää arvojoukkoa, koska version laatijoiden mukaan eri kaapeleiden valmistajilla ja eri toimijoilla on omat tarpeensa kaapelityyppien nimeämisiin, jolloin mahdollisia vaihtoehtoja olisi satoja erilaisia. Kuvassa 9 on esitetty ote Inframodel 4 PlanFeaturen skeemasta, josta nähdään PlanFeaturen mahdolliset syötettävät datatyypit.

```

▼<xs:simpleType name="InframodelPlanFeatureLabelType">
  ▼<xs:annotation>
    <xs:documentation>Plan feature label</xs:documentation>
  </xs:annotation>
  ▼<xs:restriction base="xs:string">
    <xs:enumeration value="label"/>
    <xs:enumeration value="owner"/>
    <xs:enumeration value="networkType"/>
    <xs:enumeration value="cableType"/>
    <xs:enumeration value="radiusAround"/>
    <xs:enumeration value="widthRight"/>
    <xs:enumeration value="heightAbove"/>
    <xs:enumeration value="widthLeft"/>
    <xs:enumeration value="heightBelow"/>
    <xs:enumeration value="footingHeight"/>
    <xs:enumeration value="footingMaterial"/>
    <xs:enumeration value="foundationType"/>
    <xs:enumeration value="length"/>
    <xs:enumeration value="lengthDir"/>
    <xs:enumeration value="width"/>
    <xs:enumeration value="railingType"/>
    <xs:enumeration value="purpose"/>
    <xs:enumeration value="shockResistaceClass"/>
    <xs:enumeration value="snowPlowingDurabilityCategory"/>
    <xs:enumeration value="normalizedWorkingWidht"/>
    <xs:enumeration value="railingHeight"/>
    <xs:enumeration value="railHeight"/>
    <xs:enumeration value="railingMaterial"/>
    <xs:enumeration value="startType"/>
    <xs:enumeration value="endType"/>
    <xs:enumeration value="fenceType"/>
    <xs:enumeration value="fenceHeight"/>
    <xs:enumeration value="postMaterial"/>
    <xs:enumeration value="postShape"/>
    <xs:enumeration value="material"/>
    <xs:enumeration value="thickness"/>
    <xs:enumeration value="surfaceRef"/>
    <xs:enumeration value="type"/>
  </xs:restriction>
</xs:simpleType>

```

Kuva 9. *Inframodel 4 skeemojen PlanFeature parametrin ominaisuudet. [18]*

Datatyypin perusteella nähdään, että mm. kaapelin omistaja, tilavaraus ja tyyppi saadaan määriteltyä, mutta LandXML ei sisällä esimerkiksi kaapelin sähköistä kytkeytymistä tai sähköisiä arvoja kuvaavaa arvojoukkoa. Tällöin tiedostomuunnosta ei voida suorittaa verkkotietojärjestelmän natiivitiedostotyyppiin ja LandXML-tiedoston välillä molempiin suuntiin, koska komponenttien sähköistä kytkeytymistä ei esitetä. bSF-organisaation toiminnassa ei vielä mukana ole jakeluverkkoyhtiöitä eikä kantaverkkoyhtiö Fingrid. [19] Jakeluverkonhaltijalla on sähkömarkkinalain 13§ nojalla yksinoikeus rakentaa jakeluverkkoja vastuualueellaan. [20] Sähköverkkotoimijoiden puuttuminen organisaatiosta ei palvele tietomallien standardien kehittymistä sellaiseen suuntaan, joka huomioisi myös jakeluverkon komponenttien esittämisen kaikkine relevanteine attribuutteineen.

### 3.2.2 ShapeFile

Yksi sijaintitiedon esittämisessä käytettävistä tiedostoformaateista on Shapefile, joka on ESRI:n (engl. Environmental Systems Research Institute) kehittämä avoin spatiaalinen dataformaatti, jonka avulla erilaisia rakenteita voidaan kuvata vektoripohjaisten karttojen avulla. Objektin muodot voidaan esittää pisteiden, viivojen tai polygonien avulla siten, että objektilla voidaan säilyttää tiettyjä attribuutteja, kuten kaapelin jännitetaso ja asennussyvyys. Shapefile tiedosto koostuu kolmesta osasta, jotka ovat Shape-tiedosto, joka sisältää itse muodon kuvattuna listalla sen kärkipisteistä, DBASE-tiedosto, joka sisältää muodolle tallennetut attribuuttitiedot, sekä Indeksi-tiedosto, jossa on DBASE- ja Shape-tiedostojen lukemiseen tarvittavat ohjeet. [21]

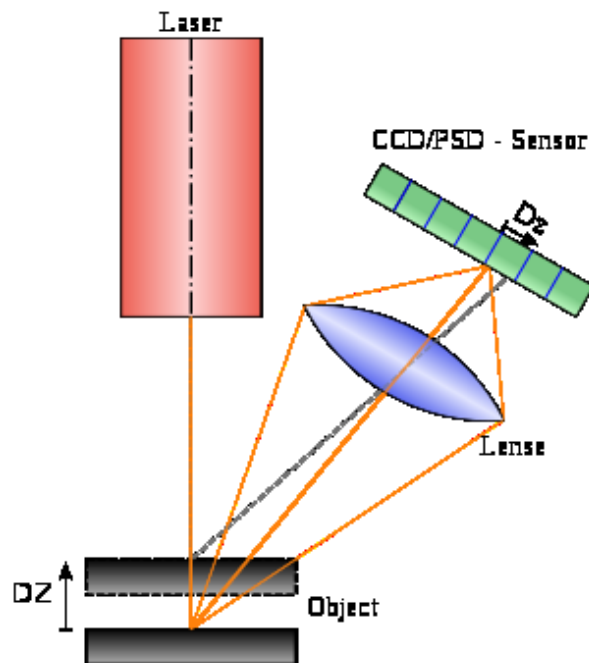
## 3.3 3D-mallien luominen

Tässä kappaleessa esitetään olemassa olevia jakeluverkkokomponenteille soveltuvia menetelmiä sekä maanpäällisten, että maanalaisten kappaleiden mallintamiseksi. Menetelmät kuvataan ensin teoreettisella tasolla, jonka jälkeen kappaleessa 3.4 esitetään asiantuntijahaastattelujen avulla saatuja käytännön kokemuksia esitellyistä menetelmistä ja millaisia käytännön rajoituksia menetelmien käyttämiseen liittyy.

### 3.3.1 Laserkeilaus

3D-malleja on mahdollista luoda olemassa olevista rakennelmista mallintamalla rakennelma sähköiseen muotoon. Maanpäällisiä rakennelmia voidaan mallintaa esimerkiksi laserkeilaamalla olemassa oleva rakennelma käyttämällä laserkeilainta, jolla on mahdollista mitata pisteiden etäisyyttä laserkeilaimen. Laserkeilaimen sijainti keilattavaan rakennelmaan nähden toimii mittauksen nollapisteenä ja laserkeilain käyttää lasersädettä pisteen etäisyyden mittaamiseen laserkeilaimesta. Mittaus perustuu valon kulku-aikaan keilamesta objektiin ja sen heijastuman kulkeutumisesta takaisin mittalaitteen ilmaisimeen. Keilain heijastaa useita eri pisteitä ohjaamalla lasersäteen lähtökulmaa ilmaisimeen nähden. Pisteiden etäisyydestä ja lasersäteen lähtökulmasta voidaan edelleen laskea jokaiselle mitatulle pisteelle 3D-koordinaatit. Lasketut 3D-koordinaatit viedään haluttuun katselu- tai suunnitteluohjelmaan datan katselemiseksi tai käsittelemiseksi 3D-muodossa.

Saapuvan valon intensiteetti tai tulokulma voivat tuottaa dataa kappaleesta. Valon intensiteettiä voidaan hyödyntää ilmaisemaan erilaisten materiaalien pinnanlaatueroa. Laserkeilaimen toiminta voi perustua valon kulkunopeuden lisäksi myös lasersäteen heijastuskulmaan, tätä ilmiötä hyödyntävää mittausta kutsutaan kolmiomittaukseksi. Lähetetty lasersäde heijastuu kappaleesta ilmaisimeen, jolloin heijastuvan valon tulokulma ilmaimeen nähden määrittää lasersäteen osumakohtaan ilmaisimen sensoriin. Ilmaisimen ja lähtetimen välinen etäisyys ja säteen lähtökulma ovat tällöin mittauksessa vakiot, joten kappaleen etäisyys voidaan laskea ilmaisimeen saapuvan valon tulokulman avulla. Kolmiomittaus on valon kulkuaikaan verrattuna tarkempi mittaumenetelmä, jonka tarkkuus ylittää jopa kymmeneen mikrometriin, kulkuaikaan perustuvan mittauksen tarkkuuden ollessa vain millimetrituokkaa, mutta toisaalta kulkuaikaan perustuvan mittauksen etuna on kilometreihin yltävä mittausetäisyys. [22] Kuvassa 10 on esitetty periaatekuva, kolmiomittaukseen perustuvan keilaimen toiminnasta.



Kuva 10. Laserkeilauksen toimintaperiaate. [22]

Esimerkiksi jakeluverkon sähköasema sisältää useita maanpäällisiä komponentteja, jotka sisältävät monia erilaisia yksityiskohtia, jotka ovat muodoltaan mutkikkaita ja ohuita, kuten pylväät, johtimet sekä eristinketjut. Laadukkaan 3D-mallin skannaaminen mutkikkaasta rakenteesta vaatii laserkeilaimelta suurta tarkkuuta ja toisaalta hidastaa mittausta kasvattamalla mitattavien pisteiden määrää. Myös laserkeilaimen sijaintia voi olla tarpeen siirtää, jotta lasersäde tavoittaa kappaleen kaikki pinnat.

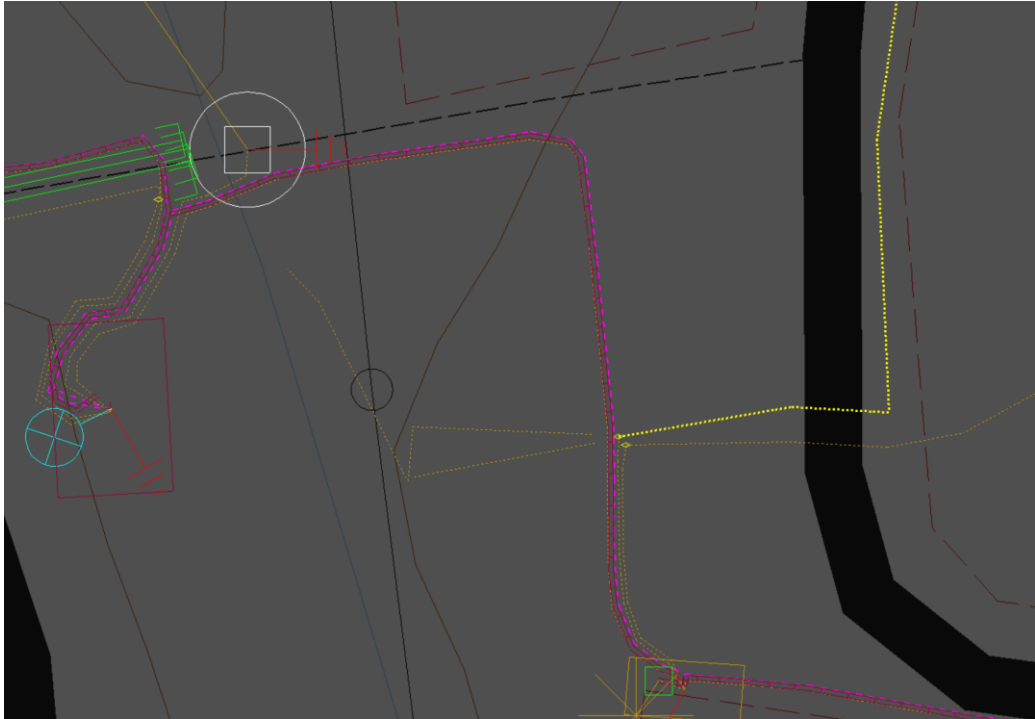
Toinen maanpäällisiin rakenteisiin soveltuva 3D-kuvantamismenetelmä on fotogrammetria, eli 3D-mallin luominen 2D-kuvien perusteella. 2D-kuvien haasteena on syvyystiedon puuttuminen kuvista, joka ratkaistaan kuvaamalla mallinnettava kappale useasta eri kuvakulmasta siten, että kameroiden koordinaatit kuvaamispaikalla tunnetaan, jonka jälkeen

saadusta aineistosta voidaan kappaleiden pikselimittoja hyödyntäviä laskenta-algoritmeja käyttämällä määrittää kappaleiden fyysiset mitat ja sijainnit suhteessa kameraan ja toisiinsa. Menetelmässä kuvasta tunnistetaan muotoja valmiin kirjaston avulla, joka sisältää esimerkiksi erilaisia sylintereitä ja kartioita, joita sovitetaan kuvan muotoihin 3D-mallin tuottamiseksi. Menetelmän haittapuolena on laserkeilausta alhaisempi mallin tarkkuus, mutta toisaalta etuna on itse mittauksen nopeus verrattuna laserkeilaukseen. [23]

### 3.3.2 Maatutka

Maanalaisten rakenteiden kuvaamiseen voidaan käyttää maakerroksen läpäiseviä kuvantamistekniikoita, kuten radiotaajuista säteilyä hyödyntävää maatutkaa tai kaapelitutkaa, jossa kaapeliin lähetettyä signaalia mitataan vastaanottimella maanpinnalta. Yksinkertaisin tapa paikantaa vanhoja kaapeleita on käyttää kaapelitutkaa ja merkitä kaapelin reitti maastoon. Olemassa olevien maanalaisten kaapeleiden tutkaaminen on verkkoyhtiölle tarpeellista, joko suoraan kaapeliin liittyvien töiden tai kaapelin läheisyydessä tapahtuvan työn yhteydessä vahinkojen välttämiseksi. Kaapeleiden sijaintitietoja ei ole aina kuitenkaan digitoitu tarkasti esimerkiksi GPS-paikannusta hyödyntämällä, vaan kaapelien sijainnit maastossa on piirretty kartalle käsin.

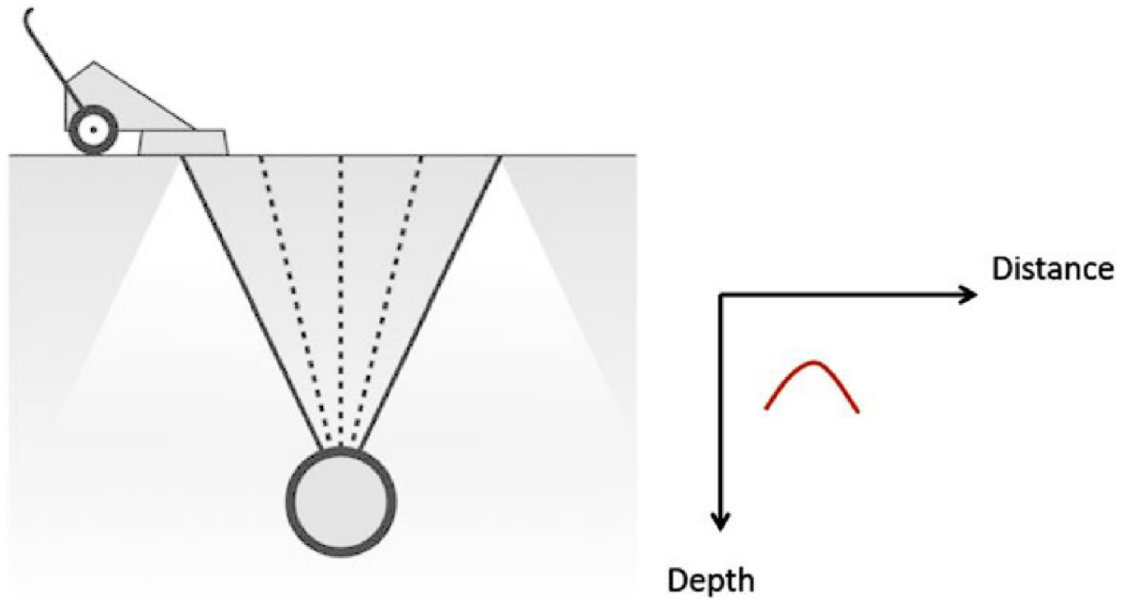
Kuvasta 11 nähdään, kuinka vuonna 2016 rakennetun puistomuuntamon yhteydessä rakennetut kaapelit on kohdistettu GPS-paikannetulle reitille (tummanpunainen tikapuumainen kuvio). Keltaisella korostettu pienjännitekaapeli on rakennettu 1970-luvulla ja kaapeli on digitoitu vähäisellä taitepisteiden määrällä ja käsin piirtämällä. Esimerkiksi tien (musta paksu kuvio) saneeraussuunnitelman laatimisessa ei voida hyödyntää kaapelin sijaintitietoa muuten kuin kuvaamaan kummalla puolen tietä kaapeli kulkee. Paikannetun reitin osalta voidaan tuottaa soveltuvassa koordinaatistossa oleva DWG-tiedosto tiesuunnittelun tueksi, jolloin mahdolliset kaapelin siirtotarpeet voidaan ennakoida tarkemmin. Oikea sijaintitieto on tärkeää mm. tietöiden edellyttämien kaapelin siirtojen kustannusten ja aikataulun ennakoimiseksi.



Kuva 11. Kaapelien dokumentointitarkkuuksien erot verkkotietojärjestelmässä.

Kaapeleiden laajamittaisessa kartoittamisessa maatutka on käyttökelpoinen työkalu. Kaapelitutkaan verrattuna maatutka kykenee havaitsemaan useita erilaisia rakenteita samalla kertaa ja saatua aineistoa voidaan edelleen verrata verkkotietojärjestelmän tietoihin ja suorittaa kaapeleiden kohdistaminen oikeille paikoilleen tuotetun aineiston avulla.

Maatutka koostuu itse tutkan ohjainyksiköstä, lähetin- ja vastaanotin antenneista sekä laitteesta, jolla määritetään tutkan sijainti maastossa. Tutka voidaan paikantaa esimerkiksi satelliittipaikannusta hyödyntämällä. Tutkan toiminta perustuu radioaaltoihin. Tutkalaite saa aikaan lähetinantennista säteileviä radioaaltoja, jotka etenevät maaperään. Kun väliaineessa (esim. maaperässä) etenevä aalto kohtaa tiellään aineen permeabiliteetin muutoksen, heijastuu osa aallosta takaisin kohti maan pintaa ja vastaanotinantennia. Palaavan signaalin amplitudi on suoraan verrannollinen väliaineen permeabiliteetin muutokseen. Koska tutka reagoi permeabiliteetin muutokseen, ei havaittavien kappaleiden tarvitse olla magneettisia tai sähköä johtavia, vaan maatutkalla voidaan havaita jopa muovisia putkia maan alta, sillä putken ja maan permeabiliteetit ovat erilaiset. Maatutkan muodostama tutkatun reitin poikkileikkauskuvaa ei kuitenkaan voi tarkasti esittää, varsinkaan pienimpien kappaleiden osalta niiden todellisia muotoja, sillä tutkan lähettämä radioaalto aukeaa kartiomaisesti tutkasta poispäin. Kartio liikkuu kappaleeseen nähden, kun tutkaa kuljetetaan maan pinnalla. Muodostuneeseen kartioon osuva permeabiliteetin muutos näkyy tutkan vastaanottimen muodostamassa kuvassa hyperbelinä. Hyperbelin muoto ei siis kuvaa maanalaisen kappaleen muotoa, vaan ainoastaan signaalin takaisin heijastumista kappaleesta. [24] Kuva 12 havainnollistaa maatutkan lähettämien signaalien osumisen maanalaiseen kappaleeseen ja hyperbelin muodostumisen tutkan liikuessa kappaleen ylitse.



Kuva 12. Kaapelitutkan havaintokenttä. [24]

Kaapelitutkan toimintaa rajoittavat signaalinetenemiseen liittyvät fyysiset tekijät, kuten signaalin aallonpituus ja signaalin etenemisnopeus väliaineessa. Signaalin aallonpituus  $\lambda$  saadaan aallon etenemisnopeuden  $v$  ja taajuuden  $f$  osamääränä  $\lambda = v/f$ . Tyypillisesti signaalista ei saada enää heijastuksia 20 aallonpituuden jälkeen, joten tutkimuksen maksimi syvyyteen vaikuttaa käytetyn taajuuden lisäksi myös aallon etenemisnopeus väliaineessa. Taajuudella on myös merkitystä kappaleiden havaitsemisessa, aallonpituus rajoittaa tutkimuksen resoluutiota, joka edelleen asettaa rajan sille, kuinka lähemmäs sijaitsevat objektit voidaan erottaa toisistaan. Maatutkissa käytetään tyypillisesti useita eri taajuuksia parhaan tuloksen saavuttamiseksi. Suurilla taajuuksilla signaali vaimenee maaperään nopeammin, mutta saatu tutkimuksen resoluutio on suurempi ja signaali läpäisee helpommin esimerkiksi betonilaatan raudoituksen, matalammat taajuudet puolestaan kantavat syvemmälle väliaineeseen, mutta niiden resoluutio on huonompi. Objektin syvyys saadaan laskettua signaalin kulkuajasta lähettimestä heijastuskohtaan ja siitä edelleen tunnistimeen. Maatutkan mittaaman kulkuajan tarkkuus on yleensä hyvin tarkka, mutta mittauksen epätarkkuus syntyy laskettaessa objektin syvyyttä kulkuajan perusteella, koska aallon etenemisnopeutta ei voida tietää tutkimatta maaperän ominaisuuksia. [24]

### 3.3.3 Kuvantamislaitteiston sijainnin määrittäminen

Kuvantamislaitteiston toiminnan ohella on huomioitava laitteiston oikean sijainnin määrittäminen. Käytetystä kuvantamismenetelmästä riippumatta esitellyt laitteet määrittävät kuvattavan objektin muodon ja sijainnin laitteistoon nähden, joten laitteiston sijainti on saatava tarkoin selvitettyä, jotta muodostettua mallia voidaan edelleen tutkia suhteessa muihin ympäristön rakenteisiin tai komponentteihin. Laitteiston sijainti määritetään joko perinteisesti mittaamalla laitteiston asema maastoon merkittyihin kiintopisteisiin nähden

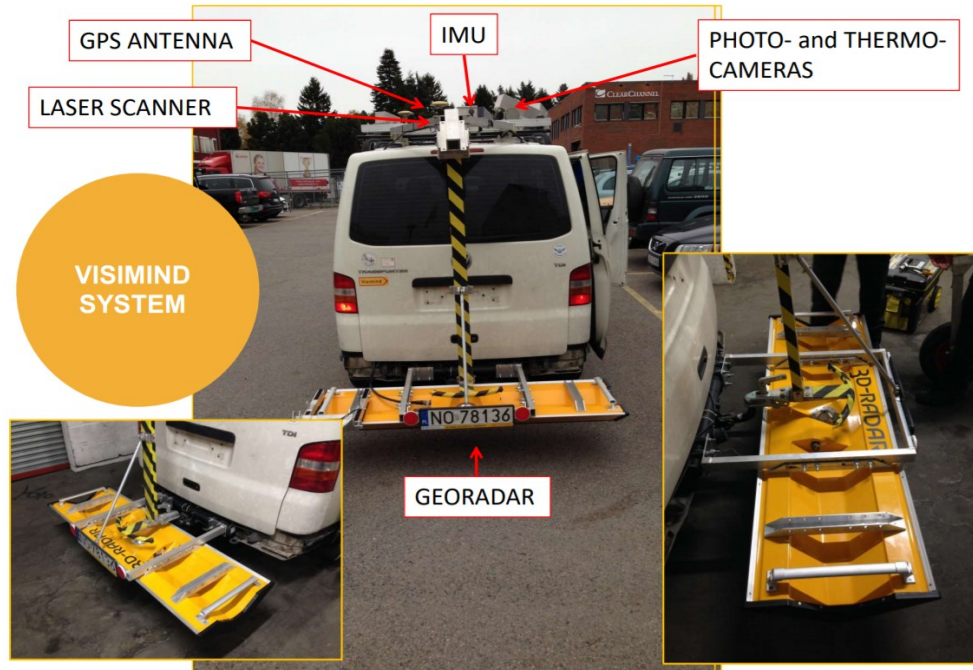
tai hyödyntämällä satelliittipaikannusta, jolla käsitetään satelliittien lähettämään signaaliin perustuvat paikannusjärjestelmät GNSS (engl. Global Navigation Satellite System), kuten yhdysvaltalainen GPS (engl. Global Positioning System) sekä venäläinen GLONASS (venj. Globalnaja navigatsionnaja sputnikovaja sistema). Järjestelmien toiminta perustuu satelliitin lähettämän signaalin vastaanottamiseen, joka sisältää satelliitin aseman ja signaalin lähetyshetken. Signaalien kuluaikojen perusteella satelliittipaikannin voi laskea oman sijaintinsa metrien tarkkuudella. Tarkkuutta voidaan parantaa jopa kymmeneen senttimetriin käyttämällä differentiaalista GNSS-paikannusta (DGNSS), jossa tiedettyyn sijaintiin on sijoitettu referenssiasema, joka mittaa paikannuksen virhettä ja välittää virhetiedon eteenpäin satelliittipaikantimille. Saavutettu tarkkuus riippuu aina käytetystä menetelmästä ja verkkoyhtiön on määriteltävä riittävä paikannustarkkuus kustannussyistä riittävälle tasolle ja käytettävä mm. kaupunkien ydinkeskustoissa suurempaa tarkkuutta. Esimerkiksi Elenia on määritellyt kaapelireitin paikannustarkkuuden vaatimukseksi urakoitsijoilleen 50 cm tai 10 cm alueella tarvittavasta tarkkuudesta riippuen.

### **3.4 Kokemukset 3D-mallintamisesta**

Tässä kappaleessa esitetään haastatteluilla kerättyjä käytännön kokemuksia 3D-mallien luomisesta olemassa olevista jakeluverkon komponenteista laserkeilaimella sekä maatulokalla. Kokemusten keräämiseksi haastateltiin Visimind Ab:n (jäljempänä Visimind) edustajaa ja Elenian projektipäällikköä. Visimindin edustaja kertoi yrityksen pilotoimasta hankkeesta, jossa maatulokaa hyödyntämällä paikannettiin maakaapeleita kaupungissa sekä haja-asutusalueella. Elenian projektipäällikkö toimi puolestaan hankkeessa, jossa Empower Oy suoritti kahden Elenian 110 kV/20 kV sähköaseman 3D-mallinnuksen laserkeilausta käyttämällä.

#### **3.4.1 Maatulokaus Visimind Ab**

Visimind suoritti maakaapelien paikannuksen käyttämällä ajoneuvoon asennettua maatulokaa. Laitteiston kokoonpanoon kuuluvat lisäksi GPS-paikannin, jolla tutkan asema maastossa paikannettiin, laserkeilain maan pinnan yläpuolisen 3D-mallin luomiseksi sekä kamera. Ajoneuvoon asennettu laitteisto on nähtävillä kuvassa 13. Laitteiston avulla voidaan tuottaa yhdellä kertaa maastoon paikannettu 3D-pistepilvi, valokuvat ja maatulokan keräämä aineisto. [25]

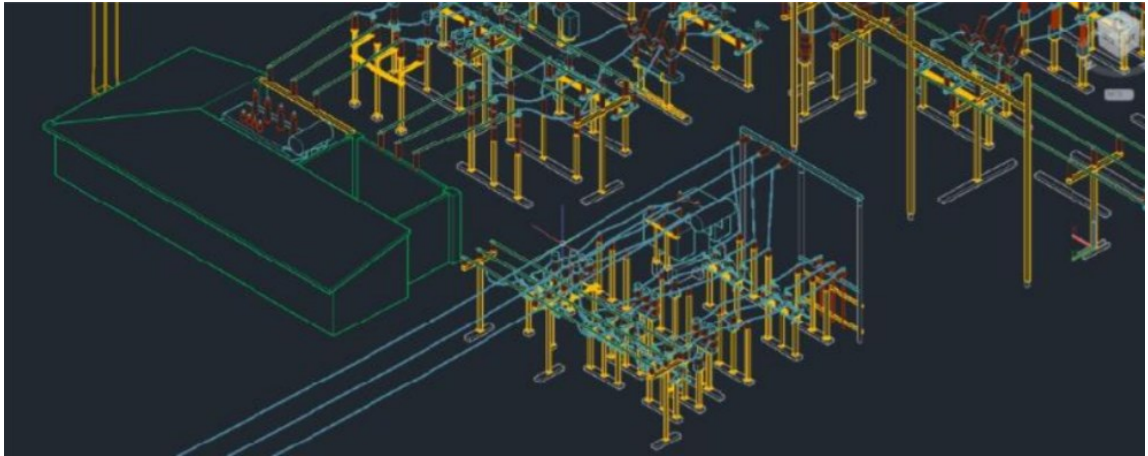


Kuva 13. Ajoneuvoon asennettu maatutkalaitteisto. [25]

Mittaustapahtuma itsessään sujui Visimindin mukaan nopeasti, mutta maastossa eniten aikaa kului retin kiintopisteiden mittaamiseen. Laitteiston sijainti maastossa tulee määrittää tarkasti koko mittauksen ajan, jotta saatu aineisto on mahdollista sijoittaa koordinaatistoon. Visimind käytti mittauksessaan haja-asutusalueella DGPS-referenssiasemaa välittämään korjaussignaalia, joten tukiaseman sijainti jouduttiin ensin määrittämään maastoon. Kaupunkialueella hyödynnettiin kiinteitä rakennelmia, joiden sijainti mitattiin maanmittauksen menetelmiä hyödyntäen, jonka jälkeen aineisto voitiin kohdistaa saadun laserkeilausaineiston avulla, kohdistamalla pistepilvessä näkyvä kappale maastossa mitattuihin koordinaatteihin. Kiintopisteenä voidaan tällöin käyttää mitä tahansa kiinteää rakennelmaa, kuten katukiven tai rakennuksen kulmaa, jonka sijainti mitataan maastossa tarkasti, tämän jälkeen kartoitettu aineisto kohdistetaan mitattuihin pisteisiin. Maatutka saa signaalin auton renkaaseen asennetusta kierroslukuanturista mittausten ottamiseksi, jotta mittauspisteiden väli pysyy kiinteänä. Tutkatut kaapelit on mahdollista tallentaa DXF- tai Shapefile-muotoon niiden viemiseksi haluttuun katseluohjelmaan. Ajoneuvon nopeus tutkimuksen aikana oli noin 20-30 km/h. Mittauksen tulokset olivat hyviä, mutta mittauksen valmistelu on kuitenkin työläs. Mittauksen ongelmana pidettiin kaapelin tai putkien hankalaa tunnistamista, joka tapahtuu vertaamalla aineistoa esimerkiksi verkko-tietojärjestelmän johtotietoihin, sillä tutkan tuottamasta aineistosta ei voi suoraan päätellä, mikä kaapeli on kyseessä, varsinkin jos alueella on useita saman kokoisia kaapeleita. [26]

### 3.4.2 Sähköaseman mallinnus

Empower Oy ja Elenia suorittivat 2017 kehityshankkeen kahden sähköaseman tietomallintamisesta. Mallinnettavat sähköasemat sijaitsivat Haapajärvellä ja Karkkilassa. Hankkeen loppuraportissa kerrotaan, että Haapajärven sähköasemalla käytettiin tiedon dokumentointiin kopteri- ja panoraamakuvausta sekä laserkeilausta. Tuotettu aineisto toimitettiin Empower Oy:n suunnittelijalle 3D-mallin luomista varten. Empower Oy:n tuotama malli on esitetty kuvassa 14. Raportin mukaan mallista voidaan tarkastella rakenteiden mittoja kuten maastokäynnillä, kuten esimerkiksi johtimien ulottumaa. Raportissa kuvataan mallintamisen hyödyiksi mm. ajankäyttö ja kustannukset, saadun tiedon jaettavuus ja tiedon luotettavuus perinteiseen paperille dokumentoituun tietoon verrattuna ja se, että mallin käyttö poistaa saneerauskilpailutuksen epävarmuustekijöitä. Mallin hyödyt todetaan raportissa välillisiksi ja rahallinen arvo hankalaksi alkuvaiheessa [27]



Kuva 14. Mallinnettu sähköasema. [27]

### 3.5 Koneohjaus

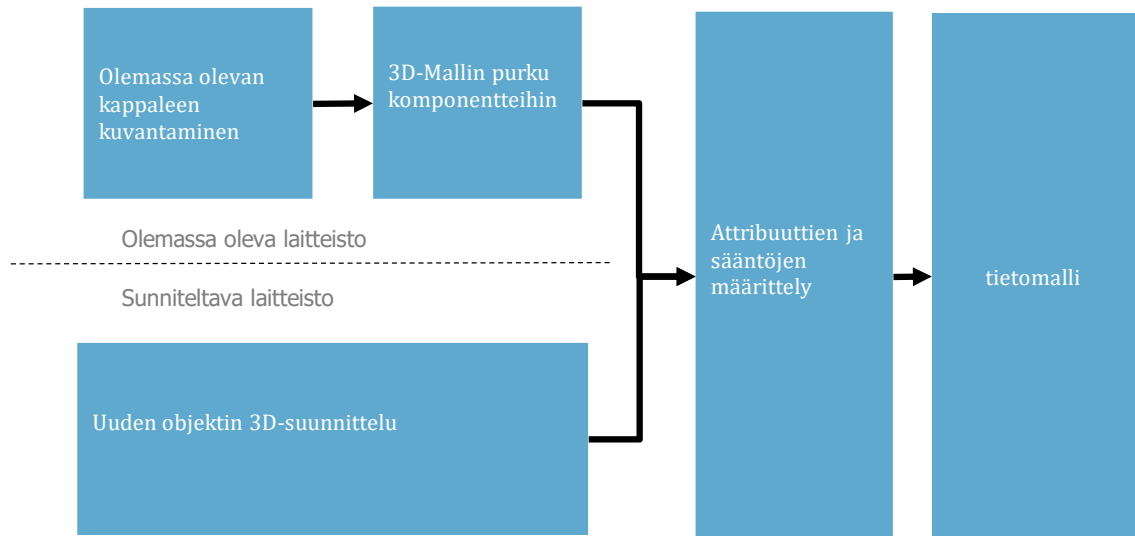
Maanrakennustöiden toteutusmallilla eli koneohjausmallilla käsitetään järjestelmä, jolla suunniteltu kaivuu välitetään kaivinkoneenkuljettajan näytölle tai automaattisesti kaivinkoneen automaatiolle siten, että kaivannon oikea sijainti, malli ja syvyys saavutetaan ilman kaivannon merkitsemistä maastoon. Järjestelmä voi toimia automaattisesti rajoittamalla kaivinkoneen kauhan liikkeen esimerkiksi määrätyn tason yläpuolelle, jotta koneen kuljettaja ei kaiva liian syväälle, tai järjestelmä voi viestiä kuljettajalle määrätyn kaivupinnan saavuttamisesta kuitenkin ohjaamatta tai rajoittamatta itse kaivinkonetta. Koneohjaus vaatii kaivinkoneen ja sen kauhan asentoantureita, satelliittipaikannuksen vastaanotinta sekä tietokonetta. Paikannuksessa hyödynnetään GNSS-paikannusta ja laseretäisyysmittareita, jotta koneen tarkka asema ja suunta maastoon nähden voidaan laskea. Esimerkiksi koneohjausjärjestelmä voi rajoittaa kauhan liikkeen ennalta määritettyyn virtuaalisen mallin pintaan, jolloin kaivuu rajoittuu automaattisesti haluttuun syvyyteen. Vastaavasti koneohjausjärjestelmä kykenee tallentamaan koneen kaivaman reitin työn dokumentointia varten.

Suunniteltu sähkökaapelin kaivuureitti voidaan myös hyödyntää koneohjauksessa. Reitistä itsessään ei tarvita välttämättä mallinnettua kaivupintaa, mutta kaivinkoneelle syötetyn reitin sijainnin avulla voidaan varmistaa kaivinkoneen pysyminen määrätyllä reitillä, joka osaltaan vähentää työn virheiden mahdollisuutta. Koneohjauksen käyttäminen mahdollistaa myös kaapelin asennussyvyyden valvonnan, kun kaivannon syvyyttä voidaan valvoa koneohjauksen avulla. Koneohjaus mahdollistaa myös reaaliaikaisen työmaan toteuman seurannan välittämällä tiedon toteutuneista kaivuuyksiköistä urakoitsijan työnjohdolle, sekä edelleen työn tilaajalle. Kaivinkone voi tallentaa kaivuureitin sijainnin maastossa, joka voidaan edelleen tuoda verkkotietojärjestelmään ja käsitellä kuten GPS-paikannettua kaapelireittiä. Menetelmällä voidaan välttyä kaapelin paikantamiselta sen asennuksen jälkeen omana työvaiheenaan, mutta menetelmän käyttäminen edellyttää kaapeaa kaivuureittiä, jotta kaapeleiden sijainti voidaan varmuudella määrittää saadun aineiston perusteella. Siten työmailla, jossa samaan kaivantoon sijoitetaan muita komponentteja, tai kaivantoa joudutaan muusta syystä levittämään, ei saadun aineiston perusteella voida suoraan muodostaa mallia asennetun kaapelin tarkasta reitistä, vaan kaapelin asema tulee osoittaa laitteistolle erikseen. Elenia ei ole vielä hyödyntänyt koneohjausta tai tallennettua kaivuureittiä työmaillaan. Urakoitsija voisi kuitenkin toisaalta tallentaa kaivamansa reitin soveltuvalla kaivinkoneella ja välttyä näin kaapelin paikantamiselta erillisenä toimenpiteenä olettaen, että vaatimusten mukainen tarkkuus saavutetaan.

### 3.6 Tietomallien luominen

Edellä olevien menetelmien perusteella havaitaan 3D-mallien luomisen olevan mahdollista olemassa olevista, jopa maanalaisista ja mutkikkaan muotoisista jakeluverkkokomponenteista, sekä uusista komponenteista kaivuureitin GPS-paikantamisen tai koneohjauksen avulla. Paikannuksen jälkeen voidaan kaapelin 2D- tai 3D-malli sijoittaa verkko-tietojärjestelmään reitiksi ja näin mallintaa rakenne sähköiseen muotoon. Tietomallien luomisessa on huomioitava Wang ja Xiangy:n mainitsema parametrinen objektien käsite eli toiminnallisuuksien, sekä sääntöjen mallintaminen ja määrittäminen objekteille. Tietomallia ei siten voida muodostaa suoraan viemällä esimerkiksi laserkeilattua aineistoa suunnitteluohjelmaan, vaan aineistosta on eroteltava erilliset komponentit ja määriteltävä niiden attribuutit ja toiminnallisuudet. [28] Tämä tarkoittaa käytännössä esimerkiksi laserkeilattun sähköaseman komponenttien erottelua siten, että kaikki komponentit erotetaan toisistaan omiksi 3D malleikseen ja saaduille malleille määritetään edelleen komponentin tyyppi (kuten pylvä, eristin, johdin tms.), jonka jälkeen komponentille syötetään tarvittavat attribuuttitiedot, kuten käyttöönottopäivämäärä ja valmistaja. Parametrinen objektien käsitteen perusteella komponenteille tarvitsee edelleen määrittellä niiden keskinäisiä suhteita ja toiminnallisuuksia kuvaavat säännöt, kuten komponenttien sähköinen kytkeytyminen toisiinsa.

Laserkeilattua aineistoa voidaan kuitenkin hyödyntää tarkentamalla 3D-mallin objektien sijaintia toisiinsa, määrittämällä objektien sijainnit uudelleen maastossa mitattujen koordinaattien perusteella. Tietomalleja voidaan myös luoda tarkoitukseen soveltuvalla suunnitteluohjelmistolla, suunnittelemalla malli alusta saakka piirtämällä komponentti kerrallaan ja lisäämällä attribuuttitiedot jokaiselle komponentille ja edelleen yhdistelemällä olemassa olevia komponentteja toisiinsa isompien kokonaisuuksien tuottamiseksi. Kuvassa 15 on esitetty molemmat prosessit tietomallin muodostamiseksi.



Kuva 15. Tietomallin luominen.

Kuvan 15 esittämän prosessin uusia komponentteja koskevan osan kohdalla osa attribuuteista saadaan automaattisesti verkkotietojärjestelmään käyttämällä ennalta määritettyjä komponentteja, kuten tiettyjä kaapelityyppejä. Tietty kaapeli määritellään komponenttina verkkotietojärjestelmään, jolloin kaapelille syötetään ennalta tiedetyt attribootit, kuten kaapelin impedanssi. Menetelmää voidaan soveltaa esimerkiksi kaapelitukauksen tuottamaan aineistoon. Aineistossa on tutkan tuottama maanalainen muoto, joka on soveltuvalla ohjelmistolla saatettu 3D-viivoiksi ja viivoista on edelleen määritetty mitä maanalaista kaapelia viiva edustaa, jonka jälkeen viivan tyyppiä voidaan valita tietty kaapelityyppi, jolloin viivan attribuutit voidaan täyttää automaattisesti.

Useista erilaisista mallinnusmenetelmistä huolimatta nähdään tietomallin käsitteen ja nykyisten sovelluksien välillä selkeä ero. Tämän luvun alussa esitettyjen tietomallin määritelmien mukainen sääntöjen ja relaatioiden mallintaminen ei toteudu 3D-malleihin attribuutteja lisäämällä, vaan myös kappaleiden väliset suhteet tulisi mallintaa. Toisaalta siirtyminen puhtaaseen tietomallipohjaiseen suunnitteluun on pitkä prosessi ja jo osittainen tietomallipohjaisuus tuo suoria hyötyjä. Tietomallipohjainen työmaa siis hyödyntää osaa tietomallin ominaisuuksista, mutta ei välttämättä ole käytetystä määritelmästä riippuen tietomalli.

## 4. TIETOMALLINNUS JAKELUVERKOISSA

Tässä luvussa esitellään tietomallit osana jakeluverkkojen suunnittelua, sekä kuinka tietomalleja voidaan hyödyntää myös yhteisrakentamisessa. Tämän jälkeen kuvataan keskitetyn tietopisteen merkitys ja toiminta, sekä verkon sijaintitiedon esittäminen yhteisellä työmaalla. Lopuksi on kuvattu, kuinka tietomalli mahdollistaa tehokkaamman laadunseurannan ja projektinhallinnan ja miten jakeluverkon sijaintitiedon tarkkuus vaikuttaa tietomallien hyödyntämiseen.

### 4.1 Tietomallien nykytila jakeluverkkosuunnittelussa

Verkkotietojärjestelmät, kuten Trimble NIS, sisältävät erilaisia komponenttien attribuuttitietoja, joita ovat mm. komponentin tyyppi, valmistaja ja käyttöönottopäivä. Osa attribuuteista myös kuvaa komponenttien sähköisiä arvoja, kuten nimellisvirtaa tai johtimen impedanssia. Attribuuttien tehtävänä on sisällyttää tiedot samaan järjestelmään ja mahdollistaa erilaisten laskutoimitusten ja analyysien suorittamisen aineiston pohjalta. Kappaleessa 3.2.1 esitetyn Inframodel-tiedonsiirtoformaatin huomattiin kuitenkin olevan soveltumaton kaikkien attribuuttien tallentamiseen. Trimble NIS verkkotietojärjestelmään voidaan kuitenkin tuoda komponentteja esimerkiksi Shapefile muodossa ja lisätä attribuutit vastaavuustiedostoa käyttämällä, josta on kerrottu tarkemmin kappaleessa 4.2.

Luvussa 3 esitettyjen tietomallin määritelmien, kuten BIM projektikomitean tai Teklan nimeämien ehtojen perusteella Elenian käyttämä verkkotietojärjestelmä ei ole kokonaisuutena tietomalli, koska kaikkia komponentteja ei ole mallinnettu todellisine mittoineen, eikä sijaintikartoittamattomien komponenttien sijainnin tarkkuus ole riittävän tarkkaa rakennesuunnittelua varten. Tiettyjä kokonaisuuksia tosin voidaan pitää esiteltyjen määritelmien mukaisina tietomalleina, jos tarkastellaan esimerkiksi yksittäistä aluetta, jossa on vain GPS-paikannettuja kaapeleita. Kaapeli on mallinnettu verkkotietojärjestelmään oikealle sijainnilleen ja sille on annettu käytännössä kaikki relevantit attribuutit, kuten kuvassa 6 esitetyn kaapelin tapauksessa. Tosin menneinä vuosina digitoidut verkonosat eivät aina sisällä kaikkia attribuuttitietojaan. Suurin eroavaisuus on kuitenkin Wang ja Xiangyun nimeämä parametrusten objektien käsite, jossa parametrusten objektien säännöt muokkaavat automaattisesti niihin liittyviä muita objekteja. Trimble NIS järjestelmässä komponentteja ei ole mallinnettu fyysisine mittoineen, eikä komponenteilla ole määritelty sääntöjä siitä, kuinka eri komponentit voivat kytkeytyä toisiinsa. Tosin tietyt komponentit, kuten kytkimet tarvitsevat isäntäkomponenttina toimivan johto-osan, mutta kyseessä on pikemminkin järjestelmän toimintaan liittyvä seikka, eikä sääntö tai logiikka, koska isäntäkomponentti voi olla mikä tahansa johto-osa, vaikka komponenttien kytkeytyminen toisiinsa ei olisi todellisuudessa mahdollista.

Tietomallipohjaisen suunnittelun edellytyksenä on lähtöaineiston saattaminen tietomalleja tukevaan muotoon. Kappaleen 3.6 kuvan 15 havainnollistamaa prosessia olemassa olevien komponenttien osalta voidaan soveltaa muodostettuihin 3D-malleihin ja tuottaa tarvittava lähtötietoaineisto. Samalla kuitenkin 3D-mallien epätarkkuus on huomioitava rakennesuunnittelussa ja työmailla on edelleen käytettävä soveltuvia menetelmiä, kuten kaapelituttaa työskenneltäessä maakaapelien läheisyydessä.

Sähköverkkoyhtiöissä verkkotietojärjestelmät palvelevat useaa eri käyttötarkoitusta kuten jakeluverkon suunnittelua, verkko-omaisuuden hallintaa, verkon luotettavuuden arviointia ja kunnossapidon hallintaa. Trimble NIS järjestelmässä on valittavissa eri suunnitelmatyyppejä käyttötarkoituksesta riippuen. Monien komponenttien ollessa fyysisiltä mitoiltaan pieniä tarkasteltavaan alueeseen nähden, on kyseiset komponentit tarpeen kuvata ohjelmassa huomattavasti todellista kokoaan suurempina ja toisaalta rajatumpia kokonaisuuksia suunniteltaessa komponenttien esitettävien mittojen tulee mahtua suunnittelunäkymään. Tästä syystä verkon komponentteja ei ole yleensä tarpeen kuvata suunnitteluohjelmistoissa todellisissa mitoissaan, vaan niiden tulee skaalautua tarpeen mukaan. Komponenttien todellisen koon esittäminen tulee tarpeelliseksi, kun verkkotietoja luovutetaan muille toimijoille, varsinkin tietomallipohjaista työmaata varten, jolloin komponentit on esitettävä yhdessä muun infrastruktuurin kanssa oikeilla sijainneillaan ja oikeissa mitoissaan.

Esitettyjen tekijöiden perusteella nähdään verkkotietojärjestelmän ja Inframodel-tiedonsiirtoformaatin yhteensopivuutta koskeva ongelma, joka on seurausta jakeluverkon poikkeavista vaatimuksista muuhun infrastruktuurirakentamiseen verrattuna. Toisaalta infrastruktuuri kokonaisuutena kattaa useiden eri alojen komponentteja, joten kaikkien attribuuttien ja sääntöjen kuvaaminen samaan tiedonsiirtoformaattiin alojen jatkuvasti kehittyessä on vaikea tavoite. Tällöin tiedonsiirtoformaatin pitäisi pystyä kattamaan esimerkiksi maanrakentamisen ohella sähkön-, veden- ja kaasun jakeluun tarvittavat komponentit toiminnallisuuksineen. Yhteisten työmaiden osalta keskeisintä on komponenttien fyysisen sijaintitiedon jakaminen eri toimijoiden kesken, koska esimerkiksi jakeluverkon osalta sähköisten arvojen laskenta voidaan suorittaa verkkotietojärjestelmässä, eikä kyseisestä informaatiosta ole hyötyä tien rakentamisessa. Kuvassa 16 on esitetty edellä kuvatut tarpeet niin verkkotietojärjestelmän, kuin yhteisen työmaan mallin tiedoille jakeluverkon osalta.

## Suunnitelmilla tarvittavat tiedot

Verkkotietojärjestelmä	Yhteisen työmaan mallin tiedot
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komponenttien sähköiset ominaisuudet</li> <li>• Suunnitelman kustannuslaskenta ja verkko-omaisuuden hallinta</li> <li>• Analyysit, kuten verkon luotettavuus</li> <li>• Tarkoituksenmukainen esitystapa kullekin tehtävälle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todellista kokoa vastaava esitystapa</li> <li>• Aluevaraus</li> <li>• Komponentin tyyppi</li> <li>• Komponentin omistaja</li> <li>• Työjärjestys ja aikataulu</li> </ul>

Kuva 16. Esimerkkejä eri järjestelmissä tarvittavista jakeluverkon tiedoista.

Verkkotietojärjestelmällä ja yhteisellä työmaalla on erilaiset vaatimukset, verkkotietojärjestelmän palvellessa monia edellä kuvattuja tarkoituksia, kun puolestaan yhteisellä työmaalla kaikkien komponenttien tarkka sijainti tulee saada kuvattua yhdellä kertaa samaan suunnitelmaan. Komponenttien kuvaaminen verkkotietojärjestelmässä tietomallin määrittelyn mukaisesti ei ole tarkoituksenmukaista, koska järjestelmällä on monia erilaisia käyttötarkoituksia, jotka vaativat oman esitystapansa. Eri vaatimusten johdosta on tärkeää, että verkkotietojärjestelmällä laadittu suunnitelma voidaan konvertoida yhteisen työmaan käyttämään malliin. Seuraavissa kappaleissa on esitetty menetelmiä suunnitelmätietojen viemiseksi yhteiseen suunnitelmaan.

### 4.2 Sijaintitiedon luovutus ja yhteiset työmaat

Laki verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä 276/2016 5 § on säädetty tietojen keskittämisestä seuraavasti:

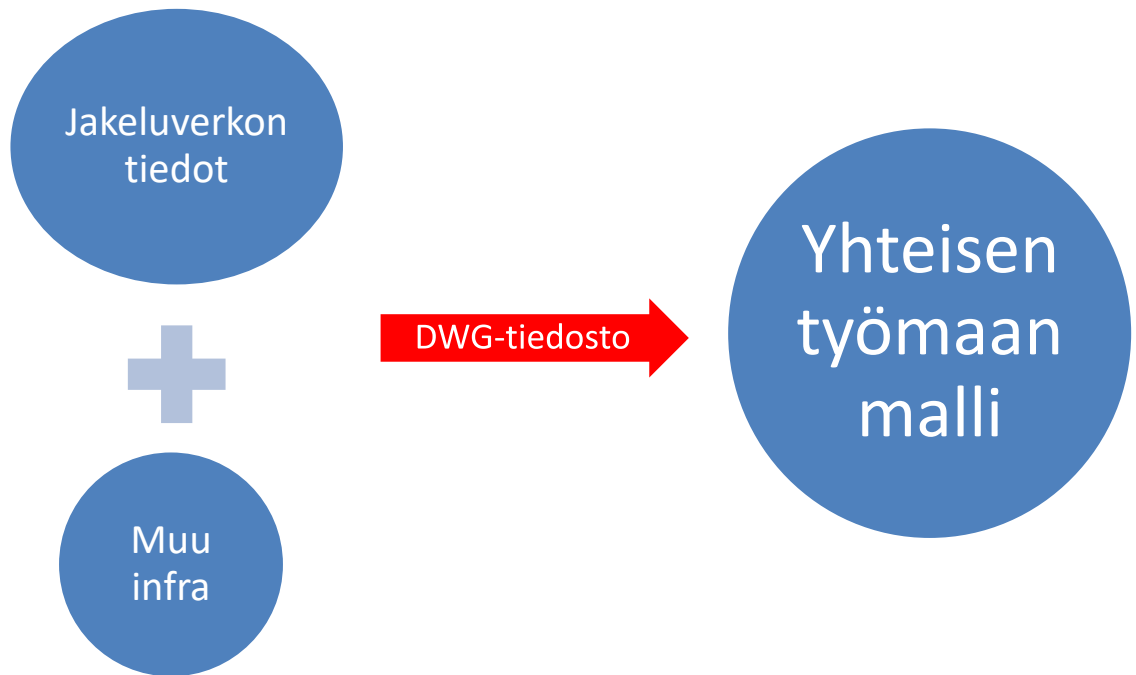
*”Viestintäviraston tehtävänä on huolehtia, että tarjolla on helppokäyttöinen ja tietoturvallinen keskitetty tietopiste, jonka kautta annetaan ilman aiheetonta viivytystä digitaalisessa muodossa tiedot:*

- 1) verkkojen fyysisestä infrastruktuurista;
- 2) suunnitelluista rakennustöistä;
- 3) rakentamiseen liittyvistä lupamenettelyistä;
- 4) kaapeleiden, putkien ja niihin verrattavien aktiivisten verkon osien sijainneista.

*Tietoja ei kuitenkaan tarvitse antaa siltä osin kuin tietojen antamisen voidaan katsoa vaarantavan: 1) verkkojen tietoturvallisuutta; 2) yleistä tai kansallista turvallisuutta; 3) yritys- ja liikesalaisuuksia.” [4]*

Suunnitelmatietojen jakaminen on tarpeellista yhteisrakentamispotentiaalin hyödyntämiseksi ja tehokkaan yhteisrakentamisprosessin aikaansaamiseksi. Yhteisrakentamislain tarkoittama keskitetty tietopiste toimii tällä hetkellä Viestintäviraston ylläpitämässä verkkotietopiste.fi -palvelussa. Palvelun tavoitteena on edesauttaa viestintä- ja sähköverkkojen yhteiskäyttöä ja yhteisrakentamista, sekä alentaa verkkojen rakentamiskustannuksia eri toimijoiden yhteistyötä lisäämällä ja vähentää maanalaisten komponenttien vaurioitumista maarakoiden yhteydessä. Yhteisrakentamislaki 276/2016 velvoittaa kaikkia verkko toimijoita ja viranomaisia toimittamaan tiedot suunnitteilla olevista hankkeista ja olemassa olevista verkoista palveluun [29], joten palvelussa olevan datan voidaan ennustaa olevan kattavaa tulevaisuudessa. Palvelun käyttäjät voivat hankkia tietoa maanalaisten rakenteiden sijainnista maastossa. Tosin nykyisin verkkotietopiste.fi -palvelussa olemassa oleva verkko ja suunnitellut projektit on kuvattu alueina, eikä erillisinä komponentteina, joten palvelun hyödyntäminen yhteisrakentamisen osalta rajoittuu yhteisrakentamispotentiaalin havaitsemiseen, eikä suunnitelmatietojen vaihto palvelussa ole mahdollista.

Eri toimijoiden välisen yhteisrakentamisen kannalta suunnitelmien yhdistäminen samaan tietomalliin ei vaadi kaikkien attribuuttitietojen sisällyttämistä siirtämiseen käytettävään tiedostoformaattiin. Komponenttien esittäminen todellisissa mitoissaan, oikeassa sijainnissa ja relevanteilla attribuuttitiedoilla, täyttää yhteisellä työmaalla tarvittavan tiedon tarpeen. Tietojen välittäminen onnistuu tällöin käyttämällä esimerkiksi DWG-, LandXML- tai Shapefile-formaattia. Tyypillisesti nykyisin jakeluverkkoyhtiö toimittaa yhteisen työmaan vastuutaholle johtotiedot esimerkiksi katusuunnittelua varten DWG-muodossa soveltuvassa koordinaatistossa. Prosessi on esitetty kuvassa 17. Työtavan heikkoudet tietomallinnukseen verrattuna ovat DWG-kuvien tekemiseen kuluva aika, kuvien ajantasaisuus pitkien projektien aikana, sekä erityisesti kuvien informatiivisuus. NIS-ohjelmistolla DWG kuvia luotaessa on lisäksi luotava erillinen selitelehti kuvalle, jotta erilaiset kaapelit voidaan tunnistaa toisistaan esimerkiksi viivojen värityksen perusteella tai korostettava eri johtolajit kuvaan erikseen. Syynä yhteensopimattomuudelle voidaan pitää erilaisia suunnitteluohjelmistoja ja niiden yhteensopimattomuutta keskenään.



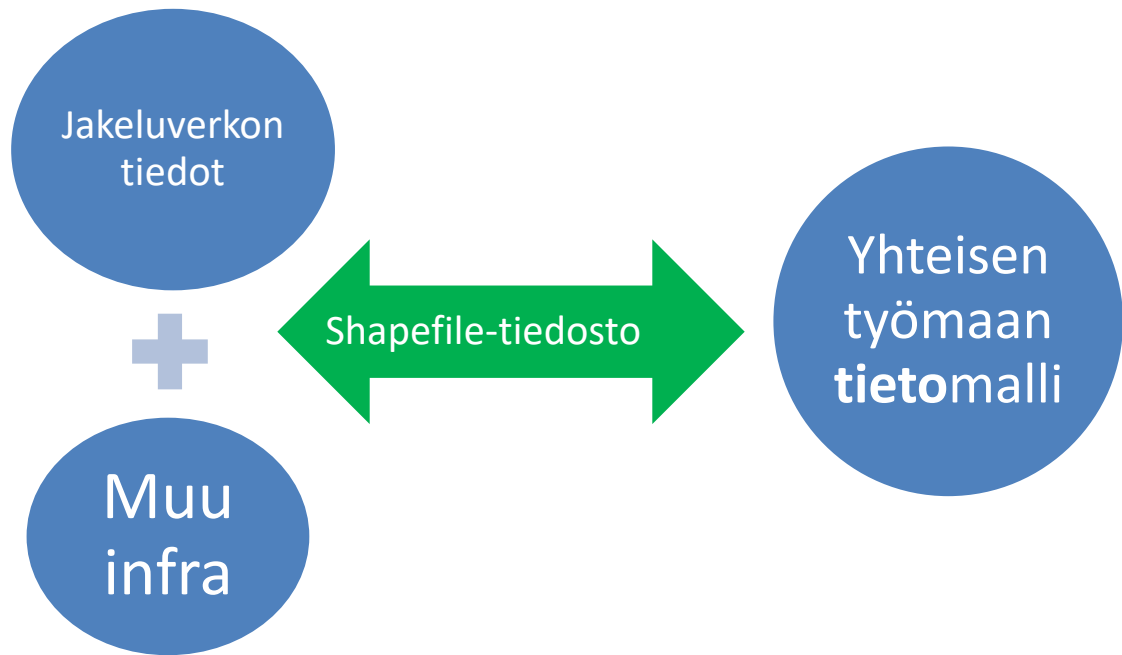
Kuva 17. Yhteisen työmaan suunnitelmätiedot nykyisin.

Yhdistettäessä eri toimijoiden komponentteja samaan näkymään yhdeksi malliksi syntyy tiedostomuunnoksen yksisuuntaisuudesta johtuvia ongelmia, jos komponenttien asemaa on tarpeen siirtää yhteisessä mallissa. Jakeluverkkoyhtiön toimittamaan tiedostoon (esim. DWG-tiedosto) voi tehdä muutoksia soveltuvalla ohjelmistolla, mutta muutetun DWG-tiedoston tuominen automaattisesti Trimble NIS-järjestelmään ei ole vielä mahdollista. Elenialla muutokset tehdään Trimble NIS-järjestelmän suunnitelmiin manuaalisesti ja kaapeloinnin valmistuttua kaapelit siirretään lopulliselle paikalleen järjestelmään tuodulle sijaintikartoitetulle reitille verkon dokumentoinnin yhteydessä. Trimble NIS käyttäjän käsikirjan mukaan DWG-tiedosto voidaan kuitenkin lukea taulukon 1 mukaisesti ja edelleen muuntaa DWG-tiedoston esittämät komponentit Trimble NIS-järjestelmän formaattiin vastaavuustiedostoa käyttämällä. Vastaavuustiedosto sisältää tiedon, miten erilaiset piirrosmerkit muunnetaan jakeluverkon komponenteiksi ja mitä Trimble NIS:n attribuuttitietoa piirrosmerkin attribuutti vastaa. [30] Kuvattu menetelmä ei ole käytössä Elenialla.

**Taulukko 1.** *Trimble NIS luettavat ja kirjoitettavat tiedostomuodot. [30]*

Nimi	Kuvaus	Ominaisuuksien tiedot voidaan siirtää	Luku/kirjoitus
Osoite	Osoitteita sisältävä tekstitiedosto.	Ei	Luku
Dgn	Intergraphin tiedostomuoto.	Ei	Molemmat
Dgn 8	Intergraphin tiedostomuoto, jolla on erilainen sisäinen tietorakenne kuin perus-Dgn:llä.	Ei	Molemmat
Dxf	AutoCadin ASCII-tiedostomuoto.	Ei	Molemmat
Dwg	Binaaritiedostomuoto, jota käytetään 2D- ja 3D-suunnittelutietojen ja metatietojen tallentamiseen.	Ei	Molemmat
Tielaitos	ASCII-tiedostomuoto, jota käytetään maastomallin kohteiden siirtämiseen järjestelmien välillä.	Kyllä	Luku
JobXML	JobXML on xml-pohjainen muoto, jonka avulla voidaan esimerkiksi lukea GPS-muotoisia tietoja suoraan tietojen kerääjältä. jx1-tiedosto voidaan lukea Trimble Survey Controller- tai Trimble Access -sovellusten uusimmista versioista.	Kyllä	Luku
KML	Maantieteellisten huomautusten ja visualisointien XML-notaatio. Lyhenne sanoista Keyhole Markup Language.	Ei	Kirjoitus
PXY	Kartoituksessa ja GIS-järjestelmässä käytettävä CAD-järjestelmien tiedostomuoto.	Ei	Molemmat
Shape	GIS-ohjelmistojen geospaatialisten vektoritietojen tiedostomuoto.	Kyllä	Molemmat
Tab	Geospaatialisten vektoritietojen tiedostomuoto.	Ei	Kirjoitus

Yhteisen työmaan suunnitteluprosessien kehittämisen kannalta tavoiteratkaisuna voidaan pitää järjestelmien välistä rajapintaa, jonka avulla verkkotietojärjestelmässä oleva tietyn alueen mastertietokanta ja suunnitelmatiedot voitaisiin tuoda sopivassa formaatissa, kuten Shapefile-muodossa, käytettäväksi muissa suunnitteluohjelmistoissa, esimerkkinä infrasuunnittelussa käytettävät CAD-ohjelmistot ja vastaavasti myös toisinpäin. Hankkeen pääurakoitsija voisi näin valvoa komponenttien suunniteltuja sijainteja ja toisaalta jakeluverkkosuunnittelija voisi hyödyntää yhteisen työmaan mallia suunnitelman laati- misessa. Komponenttien uudet sijainnit ajettaisiin tämän jälkeen takaisin verkkotietojär- jestelmään automaattisesti vastaavuustiedoston avulla. Kuvattu prosessi on esitetty ku- vassa 18. Menetelmä antaisi jakeluverkkosuunnittelijoille lisää työkaluja haastavia koh- teita kuten kaupunkialueen 3D katusuunnittelua vaativia työmaita varten. Komponenttien sijainnin suunnittelussa voidaan näin hyödyntää useita eri ohjelmistoja.



Kuva 18. Yhteisen työmaan suunnitelmatietojen tavoitetilä.

Kaapeleiden tarkan sijaintitiedon määrittelemineen jo suunnitteluvaiheessa lisää tarvittavan suunnittelutyön määrää, mutta on tärkeää nostaa esille tarkempaa suunnittelua vaativia tulevaisuuden vaatimuksia: Maanalaisten rakenteiden määrä lisääntyy sähköverkkojen kaapeloimisen myötä ja myös haja-asutusalueiden tietoliikenneverkkojen rakentaminen tuo osaltaan lisää laitteita jopa haja-asutusalueiden kaivuureiteille. Jakeluverkkojen sijoittaminen teiden varsille aiheuttaa tarpeen laitesiiirroille tietöiden yhteydessä, jolloin tietöiden suunnitteluvaiheessa on uusi kaapelireitti suunniteltava muu maanalainen infrastruktuuri huomioon ottaen.

Esitetyn perusteella usein jo tavallisesta tietyöstä tai vesijohdon uusimisesta aiheutuu yhteinen työmaa, jossa on useita toimijoita, jolloin työn sujuvuuden kannalta on tarpeen laatia yhteisiä suunnitelmia ja sovittava toimijoiden kesken uusien komponenttien sijoittamisesta tai vanhojen siirtämisestä. Myös koneohjauksen käyttäminen edellyttää reitin suunnittelun tarkkuutta, mutta toisaalta mahdollistaa kaivuureitin paikantamisen ja työmaan reaaliaikaisen toteuman seurannan. Ideaalitapauksessa työmaan tietomalli päivittyy ja tarkentuu koneohjauksen avulla ja saatu informaatio voidaan hyödyntää esimerkiksi maakaapelireittien sijaintikartoituksessa ja työmaan toteuman seurannassa.

### 4.3 Laadun seuranta ja projektien hallinta

Tietomalleja voidaan hyödyntää projektien laadunhallinnassa sisällyttämällä vaadittavia laatuparametreja suoraan tietomalliin. Mallin komponentit voivat sisältää laatuvaatimuksia materiaaleille tai asennustavalle ja vertailla arvoja tietomalliin. 4D-malliin voidaan myös liittää tietoja projektin aikataulusta, turvallisuudesta ja erilaisista resursseista. [31] Maakaapeloimalla rakennettavan jakeluverkon tapauksessa, siirryttäessä kohti tietomallinnuksen ja koneohjauksen laajamittaisempaa hyödyntämistä, voidaan esimerkiksi asennetun kaapelin syvyyskoordinaattia verrata maanpinnan korkeuteen ja tarkastaa automaattisesti, täyttyvätkö kaapelien vaaditut asennussyvyudet. Myös laserkeilatun ilmajohtoverkon osalta voidaan jo nykyisin tuottaa analyysejä ilmajohtoverkon määräysten vastaisista rakenteista, kuten ilmajohtojen ja rakennuksen välisestä etäisyydestä. Projektien laadunhallinnan ja eri osapuolien välisen kommunikaation tehostamisen kannalta informaation keskittäminen yhteisiin järjestelmiin on tärkeä tekijä projektien hallinnassa. Koneohjaus mahdollistaa myös tarkemman työnseurannan, jolloin työmaan etenemistä voidaan seurata reaaliajassa. Jatkuva seuranta helpottaa työn aikatauluttamista ja mahdollista reklamaatioiden selvittelyä.

### 4.4 Tietomallien tarjoamat mahdollisuudet

Tietomallipohjaisten suunnittelu- ja rakentamistekniikoiden yhteenvetona voidaan todeta tietomallien käyttämisen lisäävän suunnitelmien informatiivisuutta ja tarkkuutta sekä mahdollistavan uusia ja tehokkaampia työmenetelmiä, kuten mallinnettujen kaapelireitien hyödyntäminen kaivinkoneautomaatiossa. Erityisesti vanhan verkon kuvantaminen mahdollistaa verkon tehokkaamman kunnonhallinnan ja investointien kohdistamisen huonokuntoisiin verkon osiin. Esitetyn perusteella tietomallien käyttöä tulisi edistää verkko-yhtiöissä. Seuraavassa luvussa on esitetty tietomallien käyttöä tukevia toimia verkko-yhtiöille.

## 5. TIETOMALLIEN KÄYTTÖN EDISTÄMINEN

Tässä luvussa on kuvattu keskeisimmät toimenpiteet, joita verkkoyhtiöiden tulisi tehdä tietomallipohjaisen suunnittelun käyttöönoton edistämiseksi. Havaitun perusteella keskeisimmät toimenpiteet ovat; (1) verkon dokumentoinnin kehittäminen tietomallien näkökulmasta, (2) verkkoyhtiöiden osallistuminen alan standardointiin ja toimintatapojen kehittämiseen, (3) tiedonsiirtorajapintojen kehittäminen, 4) uuden tekniikan ja toimintatapojen pilotointi. Diplomityön yhteenvedossa on esitetty lisäksi taulukko tarvittavista toimenpiteistä.

### 5.1 Lähtötiedot ja verkon dokumentointi

Jakeluverkon tehokkaan suunnittelun ja turvallisen käytön kannalta on olennaista, että rakennettu jakeluverkko dokumentoidaan oikein, jotta verkon huolto- ja muutostyöt sekä käyttötoimenpiteet voidaan suunnitella etukäteen ja edelleen toteuttaa suunnitellun mukaisesti maastossa. Tietomallinnuksen käyttöönoton laajuudesta ja ajankohdasta riippumatta on tärkeää dokumentoida jakeluverkon komponentit relevantteine attribuuttitietoineen jo nykyään, jotta uusien ominaisuuksien käyttöönotto on myöhemmin mahdollista. Verkkotietojärjestelmään voidaan lisätä erilaisia tietomalleja palvelevia toiminnallisuuksia tai siirtää tietoa verkon komponenteista muuhun järjestelmään esitettäväksi osana jotakin muuta mallia, mutta tämän edellytyksenä on komponenttien oikea dokumentaatio.

Komponenttien kattavat ja oikeelliset attribuutti- ja sijaintitiedot madaltavat osaltaan kynnystä uusien suunnittelutekniikoiden käyttöön ja parantavat suunnitelmien laatua paremman ennakoitavuuden avulla. Verkkotietojärjestelmän komponenteille annetut relevantit attribuutit tuovat myöhemmin verkon suunnittelun ja rakentamisen kannalta lisäarvoa tietomallipohjaisilla työmailla, vaikka kaikki attribuutit eivät nykyisellään palvelisi mitään tiettyä tarkoitusta. Puutteellinen dokumentaatio puolestaan kasvattaa kynnystä käyttää tietomallipohjaisia suunnittelutekniikoita, koska puutteelliset tiedot minimoivat mallista saatavan hyödyn. Luvussa 3 esitetyn tietomallin käsitteen täyttäminen tulevaisuudessa, edes paikallisesti, edellyttää verkon komponenttien mallintamista todellisine mittoineen, toiminnallisuuksineen, attribuutteineen ja sääntöineen. Puuttuvat attribuutit on selvitettävä kaikille puutteellisesti dokumentoiduille komponenteille, joko maastossa kartoittaen tai muodostamalla attribuutteja komponenttien datalehtien perusteella. Esimerkiksi antamalla kaikille dokumentoiduille tietyn tyyppisille jakokaapeille niiden todelliset mitat valmistajan ilmoittaman tiedon perusteella.

## 5.2 Standardien ja toimintatapojen kehitys

Tietomallinnuksen ja infrastruktuurialan toimintatapojen jatkuvasti kehittyessä on verkkoyhtiöiden osallistuminen yhteisten tietomallistandardien ja toimintatapojen kehittämiseen tärkeää. Mikäli verkkoyhtiöt jättäytyvät standardien kehityksen ulkopuolelle tai tulevat mukaan liian myöhäisessä vaiheessa, on vaarana alan toimintatapojen ja standardien kehittyminen suuntaan, joka palvelee muita toimijoita, mutta asettaa verkkoyhtiöille lisää velvoitteita yhteisellä työmaalla toimimiseen. Mikäli verkkoyhtiön ja muiden toimijoiden toimintatavat eivät kohtaa, joutuu verkkoyhtiö omien suunnittelu- ja dokumentointitarpeidensa lisäksi tuottamaan muille toimijoille tarvittavan aineiston erikseen, joka edelleen lisää työmäärää ja kustannuksia, mutta ei mahdollista uusien toimintatapojen tuomia hyötyjä.

Parhaassa tapauksessa verkkoyhtiöiden käyttämät järjestelmät ovat tulevaisuudessa yhteensopivia muiden infrastruktuuritoimijoiden käyttämien tietomallien kanssa ja tietoa jaetaan erilaisten järjestelmien välillä reaaliajassa. Tämä edellyttää myös verkkoyhtiöiden tarpeiden kuulemista standardien ja toimintatapojen kehittämisessä ja toisaalta verkkotietojärjestelmien kehittämistä yhteensopiviksi tietomallien kanssa. Tietomallien yhteensopivuus edesauttaa yhteisrakentamista ja tehostaa verkon dokumentointia, mikä edelleen madaltaa kustannuksia ja parantaa laadunhallintaa. Täysin yhteensopivien tietomallipohjaisten ohjelmistojen kehittäminen lisää kilpailua ohjelmistotoimittajien välillä, mahdollistamalla saumattoman siirtymisen erilaisten suunnitteluohjelmien välillä. Joustavuus saattaa kuitenkin aiheuttaa muutosvastarintaa ohjelmistotoimittajissa tai luoda motiivin käyttää suunnitteluohjelmistokohtaisia natiiviformaatteja mahdollisimman pitkälle tulevaisuuteen. Yhteensopivuuden takaamiseksi alalle tarvitaankin standardeja ohjaamaan ohjelmistojen ja tiedostoformaattien kehitystä.

### 5.3 Rajapintojen kehittäminen

Rajapintoja tarvitaan tiedon välitykseen erilaisten järjestelmien välillä, kun tiedot halutaan välittää suoraan järjestelmästä toiseen. Erityisesti yhteisrakentamisen ja yhteisten työmaiden osalta esitetyn tiedonvaihdon toteuttaminen edellyttää toimivaa rajapintaa järjestelmien välille. Myös sellaisten ulkopuolisten sovellusten käyttäminen, jotka hyödyntävät verkkotietojärjestelmän tietokantaa, kuten luvussa 6 esitetty lisätyn todellisuuden sovellus, edellyttävät reaaliajassa toimiakseen rajapintaa sovelluksen ja tietokannan väliin. Mikäli kaikki liittyvä infrastruktuuri olisi koottuna yhteiseen kaikkien osapuolien hyödynnettävissä olevaan tietokantaan, olisivat ajantasaiset tiedot aina saatavilla ja yhteisten suunnitelmien laatiminen helpompaa, eikä resursseja kuluisi manuaaliseen tiedonvaihtoon. Teknisesti pääsy tietokantaan voidaan rajata tiettyjen maantieteellisten koordinaattien perusteella, joten tiedot muista verkon osista pysyisivät salassa. Käytännön ongelmana on kuitenkin eri tyyppiset tietokannat ja suunnitteluohjelmistot, jotka eivät ole yhteensopivia keskenään. Lisääntyvä tiedon määrä järjestelmissä luo edelleen painetta kehittää järjestelmiin lisää toiminnallisuuksia, jotka eriyttävät järjestelmiä edelleen toisistaan, ellei järjestelmien kehittämistä pyritä yhtenäistämään.

### 5.4 Pilotointi

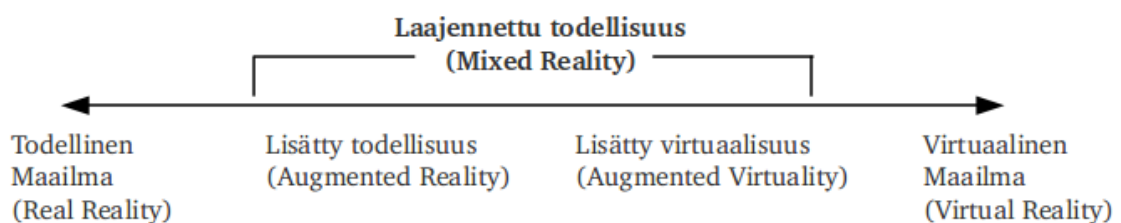
Tietomallinnuksen käyttöönoton edistämiseksi voidaan edellä kuvattujen toimenpiteiden ohella suositella uusien tekniikoiden ja toimintatapojen pilotointia yhdessä kumppaniurakoitsijoiden kanssa. Diplomityön yhteydessä tehtyjen haastattelujen perusteella huomattiin haastatteluissa nousevan esiin sellaisia teknisiä haasteita ja vaatimuksia, jotka eivät välttämättä ilmene, ellei tekniikkaa kokeilla käytännössä. Pilotoinnista saatujen kokemusten perusteella on myös helpompaa arvioida tekniikan käytettävyyttä ja saavutettavia hyötyjä, joiden avulla voidaan jälleen asettaa uusia tavoitteita uusien tekniikoiden ja työtapojen käyttöönottamiseksi. Pilotoinnin haasteena ovat luonnollisesti suuremmat kustannukset hankintojen ja työmäärän kasvun seurauksena. Onnistunut pilotointi vaatii tavoitellakkuutta ja jatkuvaa tulosten kirjaamista sekä toiminnan kehittämistä kohti tehokkaampia prosesseja. Seuraavassa luvussa on esitetty aiheeseen liittyvä pilottihanke, jossa hyödynnetään lisättyä todellisuutta jakeluverkon maanalaisten komponenttien esittämisessä.

## 6. LISÄTYN TODELLISUUDEN KEHITYSHANKE

Osana diplomityötä suoritettiin lisätyn todellisuuden kehityshanke, jossa tutkittiin lisätyn todellisuuden hyödyntämistä jakeluverkon maanalaisten komponenttien sijaintitiedon esittämisessä. Tässä luvussa kuvataan lisätyn todellisuuden käsite ja toimintaperiaate, jonka jälkeen kuvataan hankkeen keskeiset tavoitteet ja havaitut tulokset. Sovelluksen kehittämiseen osallistuivat Exove Design Oy (jäljempänä Exove Design) ja Elenia. Exove Design vastasi itse sovelluksen toteuttamisesta ja tämän diplomityön osuus hankkeesta oli sovelluksen toiminnallisuuksien määrittely, sovelluksessa esitettävän aineiston tuottaminen, sovelluksen paikannustarkkuuden arvioiminen ja jatkokehitystarpeiden ideointi saatujen tulosten pohjalta.

### 6.1 Lisätty todellisuus

Lisätyllä todellisuudella (AR, engl. Augmented Reality) tarkoitetaan digitaalisen sisällön esittämistä fyysisen todellisuuden rinnalla hyödyntämällä soveltuvaa päätelaitetta, kuten älypuhelin tai AR:n käyttöön tarkoitettuja AR-laseja. Esimerkiksi Milgram määrittelee lisätyn todellisuuden virtuaalisen jatkumon avulla. Virtuaalisessa jatkumossa käyttäjän täysin ympäröivä virtuaalinen todellisuus on sijoitettu akselin toiseen päähän ja fyysinen todellisuus toiseen. Ääripäiden väliin jäävää tilaa kuvataan laajennetuksi todellisuudeksi, johon lisätty todellisuus sijoittuu lähemmäksi todellista maailmaa. [32] Laajennetussa todellisuudessa fyysisen todellisuuden päälle tuodaan siis virtuaalisia elementtejä lisäämään informaatiota ympäröivästä maailmasta. Milgramin virtuaalinen jatkumo on esitetty kuvassa 19.

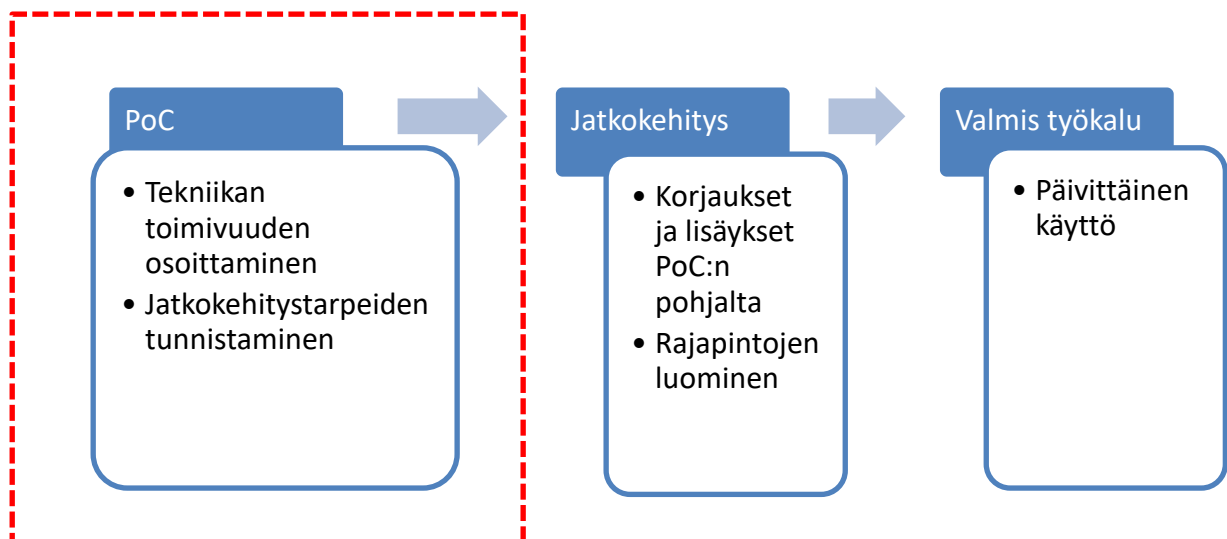


Kuva 19. Milgramin jatkumo. [33]

Graafisen lisätyn todellisuuden esittämiseksi virtuaalinen objekti on esitettävä oikeassa asemassa ympäristöönsä nähden. Tämä edellyttää 3D-mallin ja havainnoitsijan aseman tuntemista suhteessa fyysiseen ympäristöön. Handbook of Augmented Realityn mukaan kameran (havainnoitsijan) sijainti voidaan määrittää kameran kuvan avulla, tunnistamalla kuvasta tiettyjä muotoja tai vertailumerkkejä, kuten tunnistamista varten liimattuja tarroja. Kun ohjelmisto on tunnistanut kuvasta tarvittavat objektit, saadaan yhteys 3D-mallin ja kameran kuvan välille. Kameran asema voidaan edelleen määrittää projisoimalla mallin 3D-koordinaatit kameran 2D-kuvan päälle ja minimoimalla tunnettujen pisteiden etäisyydet. Muita tekniikoita ovat mm. GNSS, sähköinen kompassi ja kiihtyvyyssanturit. Eri tekniikat voivat täydentää toistensa puutteita ja paras tulos saadaan yhdistelemällä eri tekniikoita, jolloin kyseessä on hybridipaikannus. GNSS:n epätarkkuudesta huolimatta sillä saadaan määritettyä käyttäjän karkea sijainti maastossa ja kameran suunta saadaan käyttämällä lisäksi sähköistä kompassia sekä kiihtyvyyssantureita. [34]

## 6.2 Hankkeen määrittely

Lisätyn todellisuuden kehityshankkeen tarkoituksena oli tuottaa sovellus jakeluverkon maanalaisten komponenttien sijaintitiedon esittämiseen maastossa ja tutkia itse sovelluksen toimivuutta. Pää tarkoituksena oli todentaa konseptin toimivuus, eli toteuttaa niin sanottu PoC (engl. Proof of Concept), toisin sanoen varmistua tekniikan toimivuudesta jatkokehitystä varten, sekä luoda suunnitelma jatkotoimenpiteille lisätyn todellisuuden hyödyntämiselle tulevaisuudessa. Kun PoC on suoritettu, voidaan sen tulosten perusteella edelleen jatkokehittää sovellusta päivittäiseen käyttöön tarkoitetun työkalun aikaansaamiseksi. Kehitysprosessi on esitetty kuvassa 20, tässä diplomityössä keskitytään PoC vaiheeseen, sekä kuvataan PoC:n tulosten perusteella johdetut tarpeet jatkotoimenpiteille.



Kuva 20. Sovelluskehityksen kulku.

Sovellettaessa lisätyn todellisuuden käsitettä jakeluverkon rakentamiseen ja käyttöön liittyviin työtehtäviin, huomataan lisätyn todellisuuden käytöllä olevan useita erilaisia lisäarvoa tuovia mahdollisuuksia. Maanalaisten jakeluverkon komponenttien esittämistä maastossa voidaan hyödyntää monissa eri työvaiheissa maastosuunnittelusta viankorjaukseen. Lisätyn todellisuuden avulla voidaan havainnollistaa suunniteltu maanalainen jakeluverkko maastosuunnittelijoille sekä tarvittaessa myös maanomistajille. Valmiin jakeluverkon osalta lisätyn todellisuuden avulla voidaan havainnollistaa verkon maanalaisia rakenteita esimerkiksi työn vastaanoton, viankorjauksen ja kaapelinäyttöjen yhteydessä. Vanhan jakeluverkon saneerauksen yhteydessä lisätyn todellisuuden avulla voidaan havainnollistaa verkon purkautuvat rakenteet ja suunnitellut kytkentämuutokset. PoC -vaiheen tulosten pohjalta voidaan työkalua edelleen kehittää edellä mainittujen toiminnallisuuksien sisällyttämiseksi.

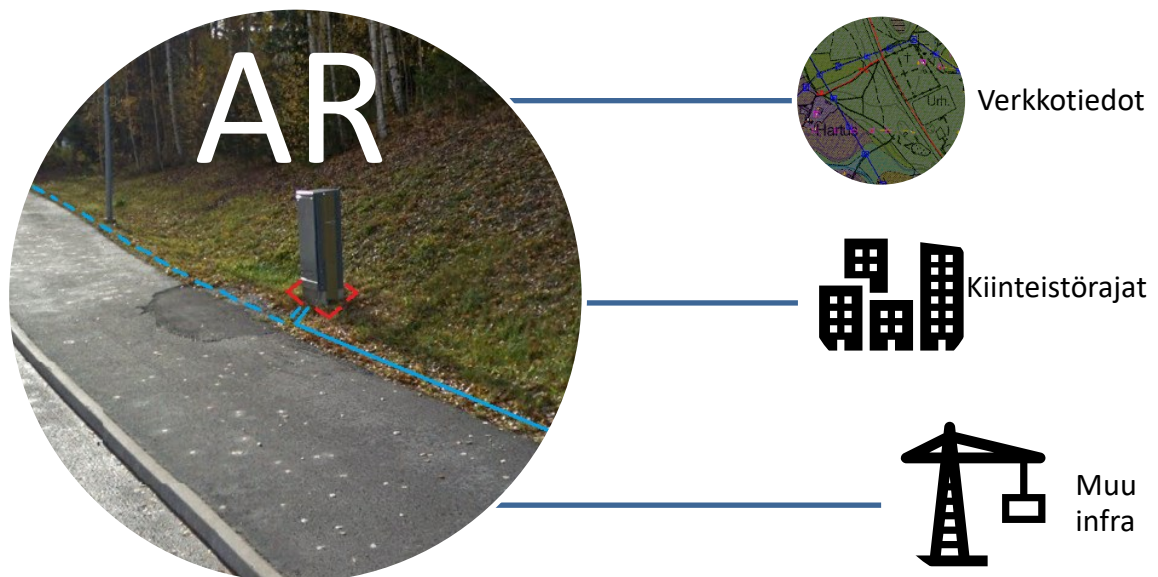
Jotta sovellus voi toimia, on sovellukseen kyettävä tuomaan tarvittava aineisto, kuten esitettävät jakeluverkon komponentit sijaintitietoineen, jonka lisäksi päätelaitteen sijainti ja asema maastossa on tiedettävä, jotta lisätyn todellisuuden sisältö voidaan esittää oikein. Tämän perusteella voidaan sovelluksen kehittämisen mahdollisena esteenä nähdä seuraavat tekijät:

1. Päätelaitteen sijaintia tai orientaatiota ei saada määritettyä riittävällä tarkkuudella.
2. Tietokantarajapinnan luominen ei onnistu tai verkkotietojen tuomisessa muulla tavalla kohdataan ongelmia.
3. Sovelluksessa esitettävä verkkotietoaineisto ei ole riittävän tarkasti dokumentoitua lisätyn todellisuuden avulla esitettäväksi.

Nimetyistä riskeistä päätelaitteen paikannus voitiin todeta suurimmaksi riskiksi hankkeen onnistumisen kannalta, sillä tässä työssä on kuvattu monia jo olemassa olevia tiedonsiirtoformaatteja, joiden avulla jakeluverkon sijaintitieto voidaan esittää koordinaatiston avulla ja viimevuosina on rakennettu huomattava määrä uutta ja pääosin hyvin dokumentoitua jakeluverkkoa. Työssä aiemmin kuvattujen tiedonjakamismenetelmien perusteella huomataan jakeluverkkoaineiston tuomisen verkkotietojärjestelmästä olevan mahdollista, joten työkalun kehittäminen seurasi kuvan 20 mukaista strategiaa, jossa paikannusteknologian toimivuus varmistetaan ja laaditaan jatkotoiminpiteet lisätyn todellisuuden käyttämiseksi verkostotöissä. Sovellus tuotettiin Unity3D-ympäristössä, joka on tarkoitettu sekä AR:n että pelien tuottamiseen. Unity3D on myös yhteensopiva DXF-tiedostoformaatin kanssa. Sovellusraajapinnan rakentaminen oli näin ollen selkeintä sisällyttää osaksi jatkokehitystä, sillä PoC-vaihe oli mahdollista toteuttaa siirtämällä tarvittavat jakeluverkon komponentit DXF-formaatissa AR-sovellukseen. PoC-vaiheen pohjalta voidaan myös kerätä kokemuksia sopivan esitystavan valitsemiseksi.

Hankkeen alussa Exove Design vertaili yhteistyössä Elenian kanssa erilaisia päätelaitevaihtoehtoja, joista valittiin Apple iPad Pro 10,5”, joka Exove Designin mukaan soveltui paremmin AR:n käytölle valmiista kehitysalustastaan johtuen. Unity3D:n avulla sovellus on kuitenkin käännettävissä myöhemmin myös Windows ja Android -käyttöjärjestelmille.

Koska PoC-vaiheen perustana oli sovelluksen toimivuuden ja AR:n käyttökelpoisuuden arviointi, suoritettiin sovelluksen testaus rajatulla alueella Pirkanmaalla. Rajattu alue mahdollisti aineiston nopeahkon tuottamisen sillä manuaalisten muutosten määrä jäi vähäiseksi ja toisaalta kiinteistöraja- ja vesijohtotietojen hankinta oli helpompaa. Sovellukseen tuotavaksi aineistoksi määritettiin PoC-vaiheessa testialueen jakeluverkon komponentit, alueen kiinteistörajat, sekä vesijohtotiedot edustamaan alueen muuta maan alaista infrastruktuuria. Lisätyn todellisuuden esittämiseen käytettävä aineisto on esitetty kuvassa 21, jossa on nähtävillä myös hankkeen määrittelyssä käytetty luonnos AR-näkömästä. Aineiston tuottaminen on kuvattu tarkemmin kappaleessa 6.3.



Kuva 21. Lisätyn todellisuuden hyödyntämä aineisto.

### 6.3 Aineiston tuottaminen

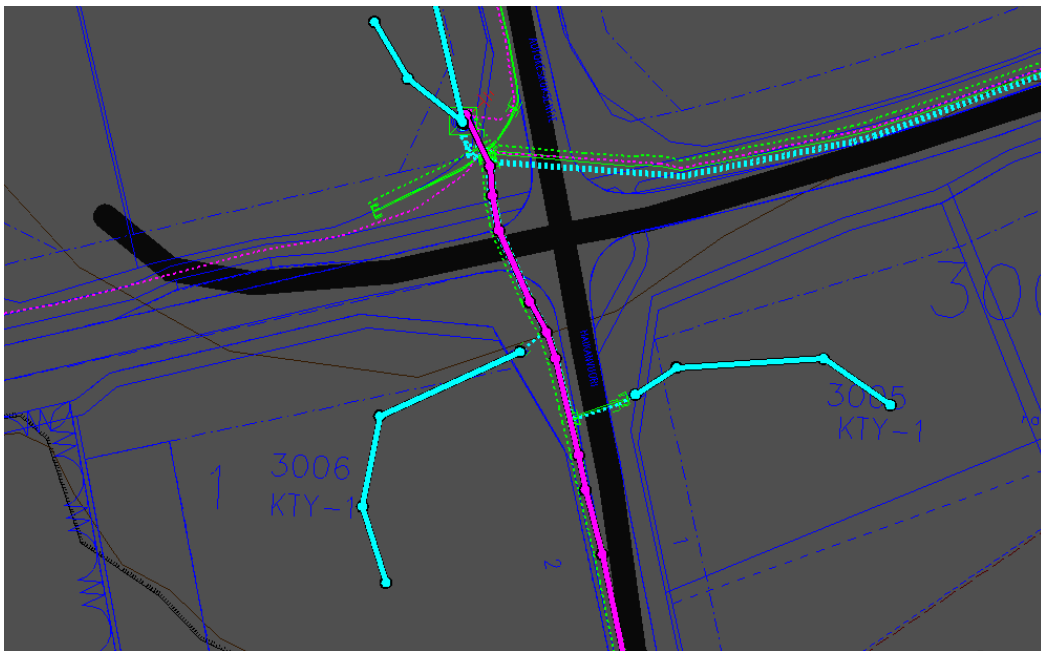
Tällä hetkellä Elenian verkkotietojärjestelmässä ei ole suoraan AR-käyttöön suunniteltua esitystapaa, sillä lisätty todellisuus poikkeaa vaatimuksiltaan tavallisesta verkkotietojärjestelmässä käytettävästä esitystavasta, jossa kappaleessa 4.1 kuvatun mukaisesti jakeluverkon komponentit on tarpeen esittää huomattavasti nykyistä kokoaan suurempina, sillä verkkotietojärjestelmässä on yleensä tarpeen käsitellä laajoja alueita samanaikaisesti. Lisätyn todellisuuden osalta puolestaan komponentit tulee esittää päätelaitteen näytöllä to-

dellisissa mitoissaan käyttäjän ympärillä perspektiivi huomioiden. Sovelluksen ensimmäistä versiota kehoitettiin ainoastaan oikean esitystavan löytämiseksi jakeluverkkokomponenttien esittämiseen, sillä päätelaitteen paikannukseen liittyvät toiminnallisuudet eivät olleet vielä täysin valmiita. Puuttuvista toiminnallisuuksista huolimatta päätelaitteesta oli mahdollista saada sen tuottamia GPS-koordinaatteja ja verrata niitä käyttäjän tiedettyyn sijaintiin kartalla. Testauksen yhteydessä arvioitiin silmämääräisesti päätelaitteen GPS-sijainnin tarkkuus riittämättömäksi, vaikkei sitä vielä nimenomaisesti tutkittu. Päätelaitteen kohdistaminen maastoon suoritettiin manuaalisesti hyödyntämällä paikannettuja maanpäällisiä komponentteja, kuten jakokaappeja ja muuntamoita. Käytännössä kohdistaminen toteutettiin viemällä päätelaite fyysisesti komponentin kohdalle ja syöttämällä laitteen sijainti sovellukseen siten, että käyttäjä kohdistetaan maanpäällisen komponentin kohdalle, jonka jälkeen laitteen orientaatio korjattiin manuaalisesti tähtäämällä näkymä kohti tunnettua komponenttia. Tämän jälkeen näkymää kehoitettiin kävelemällä lyhyt matka päätelaitteen kanssa. Ensimmäisen testin yhteydessä todettiin pistemäisiä komponentteja (kuten jakokaapit ja muuntamot) esittävät symbolit liian suuriksi. Koordinaatistona käytettiin WGS84-Euref\_TM35 -koordinaatistoa. Kuvassa 22 näkyy keskijännitekaapelin jatkoa kuvaava violetti vinoneliö, joka on huomattavan suuri komponentin todelliseen kokoon verrattuna.



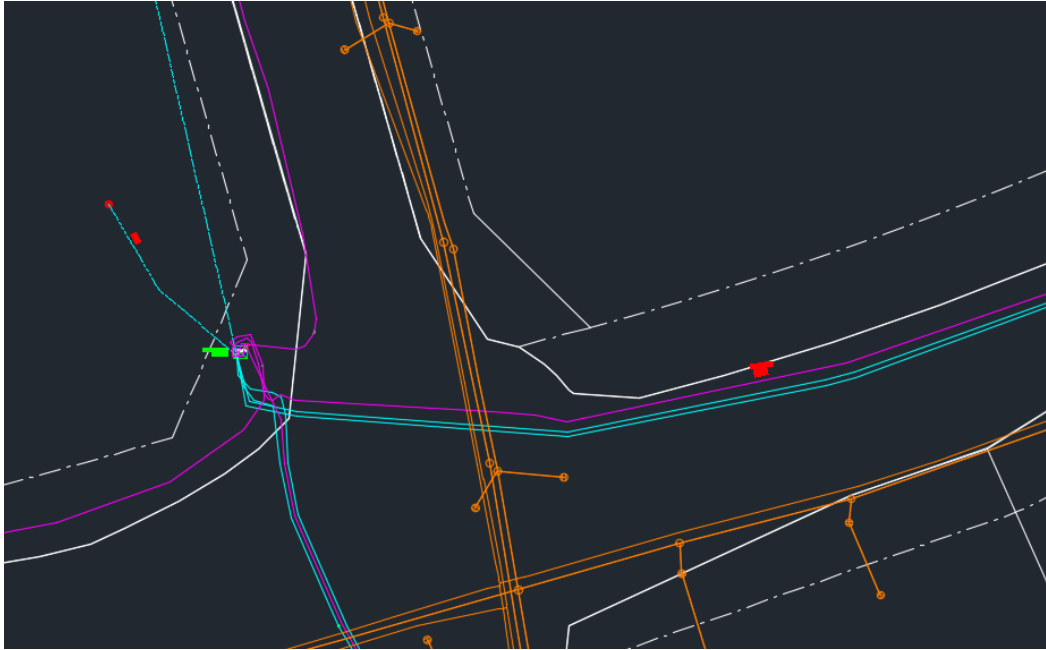
Kuva 22. Ruutukaappaus sovelluksen ensimmäisestä testistä. Kaapeliputki vihreällä värillä, keskijännitekaapeli violetilla. Keskijännitejatkon symboli skaalaamaton.

Yksi huomioitava tekijä on myös maakaapeleiden dokumentoidun sijainnin tarkkuus. Nykyisin maakaapelit sijaintikartoitetaan GNSS-paikannuksen avulla niiden ollessa avoimen kaivannon pohjalla, mutta vanhemmat maakaapelit on dokumentoitu verkkotietojärjestelmään manuaalisesti piirtämällä. Paikannusta käytettäessä verkkotietojärjestelmän maakaapelien johtoalkioiden taitepisteet (kulmat) asettuvat paikannuksen jälkeen mitattujen pisteiden mukaisesti. Mikäli maakaapelin reitti on sijaintikartoitettu, täytetään verkkotietojärjestelmän johtoalkioille ”Kaapeli sijaintikartoitettu” -attribuutin arvoksi ”kyllä”. Esittäessä maakaapeleiden sijaintia maastossa lisätyn todellisuuden avulla, on tärkeää kuvata, onko esitettävän maakaapelin sijaintia todellisuudessa paikannettu, jotta käyttäjän on mahdollista arvioida sijainnin luotettavuutta. Attribuuttitieto kuitenkin menetetään DXF-tiedoston kirjoittamisen yhteydessä. Attribuutin esittämiseksi tehtiin Trimble NIS – verkkotietojärjestelmään kysely, joka korosti paikantamattomat johtoalkiot attribuutin arvon perusteella. Kyselyn tuottama näkymä verkkotietojärjestelmässä (Trimble NIS) on esitetty kuvassa 23. Paikantamattomat johdot esitettiin lopullisessa aineistossa katkoviivoina. Noin 76 % kaapelialkioista on merkitty Elenian verkkotietojärjestelmässä sijaintikartoitetuiksi.



Kuva 23. Paikantamattomien alkoiden korostaminen.

Valitun testialueen verkosta luotiin verkkotietojärjestelmällä DXF-tiedosto, jota käytettiin sovelluksen esittämänä aineistona. Luotuun DXF-tiedostoon yhdistettiin Autocad-ohjelmalla alueen kiinteistörajat ja vesiputkistot. Kiinteistörajat kohdistettiin paikoilleen verkkotietojärjestelmän taustakartan kiinteistörajojen avulla, sillä kunnalta saatu aineisto ei ollut karttakoordinaatistossa. Näkymä aineistosta on esitetty kuvassa 24.



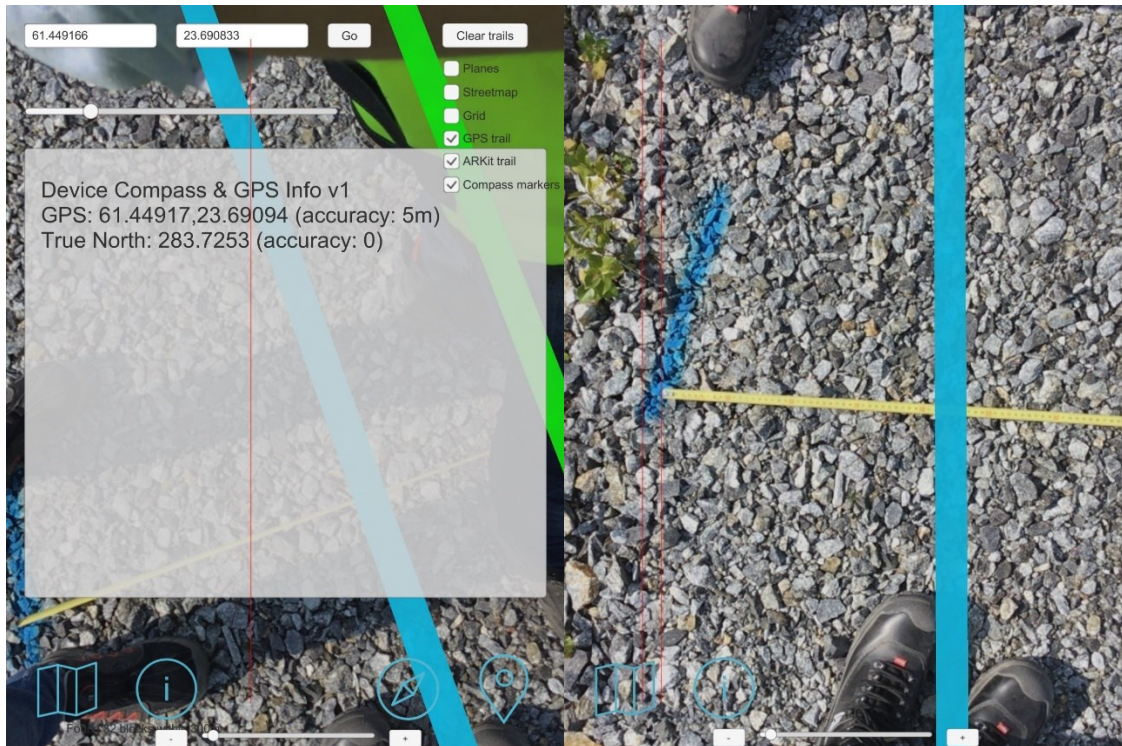
Kuva 24. Testialueen maanalaista infrastruktuuria ja kiinteistörajat. Kuvassa pienjännitejohdot on esitetty sinisellä värillä, keskijännitejohdot violetilla, kaapeliputket vihreällä ja vesijohdot oranssilla.

## 6.4 Hankkeen tulokset

AR-sovelluksen tarkkuuden mittaamista varten vietiin päätelaitteeseen sovelluksen tausta-aineistoksi ainoastaan alueen jakeluverkkokomponentit, sillä kiinteistörajojen ja vesijohtojen sijainnin vertaaminen olisi edellyttänyt useiden ulkopuolisten tahojen samanaikaista osallistumista sovelluksen testaukseen jo hankkeen alussa. Toisaalta testialueen jakeluverkko on rakennettu pääosin viimeisen kolmen vuoden aikana, joten pelkkien asennuksen yhteydessä paikannettujen jakeluverkkokomponenttien avulla saatiin riittävä kuva sovelluksen paikannustarkkuudesta. Ensimmäisen testikerran aikana havaittua GPS-signaalin epätarkkuutta pyrittiin korjaamaan liittämällä päätelaitteeseen erillinen Bad Elf GPS-vastaanotin. Valmistaja ilmoitti vastaanottimen paikannustarkkuudeksi 2,5 m. [35] Itse iPad päätelaitteen osalta paikannustarkkuutta ei oltu ilmoitettu.

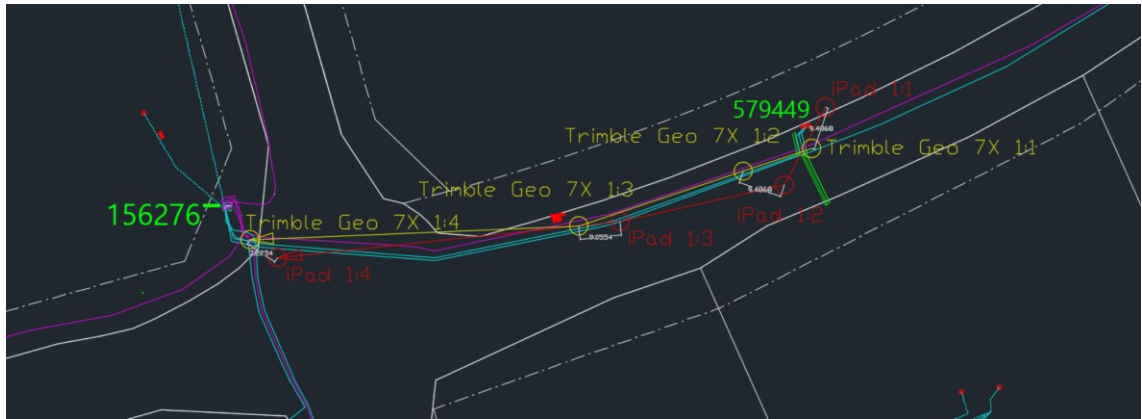
Sovelluksen paikannustarkkuuden testaaminen suoritettiin kulkemalla testialueella neljä erilaista matkaa kaapelin suuntaisesti ja seuraamalla kuljetun matkan vaikutusta sovelluksen paikannustarkkuuteen. AR-sovellus määrittä ensin sijaintinsa ja orientaationsa GPS-signaaliin ja laitteen kompassiin perustuen, jonka jälkeen sovellus hyödynsi Apple AR-kit alustan kuvantunnistusta ja päätelaitteen kiihtyvyyssantureita määrittääkseen laitteen suunnan ja nopeuden. Heti mittauksen alussa todettiin, että päätelaitteen suunta on kalibroitava manuaalisesti näkyviin komponentteihin, koska pelkkä päätelaitteen kompassianturin lukeman tarkkuus ei ollut täysin tyydyttävä, osassa mittauksista myös laitteen sijainti kalibroitiin manuaalisesti, mikäli laitteen ilmoittama sijainti poikkesi sovel-

luksen käytettävyyden kannalta merkittävästi todellisesta sijainnista maastossa. Mittaukset toteutettiin merkitsemällä maakaapelit maalilla maastoon kaapelitutkan avulla ja mittaamalla kaapeleiden todellisen sijainnin ero AR-sovelluksen esittämään näkymään verrattuna. Mittaukset suoritettiin sijoittamalla mittanauha tutkatun maakaapelin kohdalle ja mittaamalla maakaapelin ja AR-sovelluksen esittämän kaapelin välinen etäisyys. Mittaukset kohdistettiin vain paikannettuihin maakaapeleihin. Kaksi mittaustilannetta on esitetty kuvassa 25.



Kuva 25. Ruutukaappaus päätelaitteen näytöltä mittaustapahtuman yhteydessä. Maahan maalattu viiva on maakaapelin tutkattu sijainti.

Päätelaitteen paikannuksen tarkkuutta mitattiin vertaamalla tuloksia kaapeleiden sijaintikartoitukseen tarkoitettuun ja differentiaalista satelliittipaikannusta hyödyntävään Trimble Geo 7X päätelaitteeseen. Trimble Geo 7X ilmoitti koko testin ajan paikannustarkkuudekseen 10 cm. Ensimmäinen mitattu reitti on näkyvillä kuvassa 26. Reitti on kuljettu kuvassa oikealta vasemmalle, kuvassa näkyvien maakaapelien suuntaisesti mittaamalla arvot ensin jakokaapin 579449 läheisyydessä heti kalibroinnin jälkeen, jonka jälkeen edettiin jalkaisin 10 m ja suoritettiin uusi mittaus. Tämän jälkeen edettiin vielä 40 m ja 50 m, jolloin yhteismatkaksi muodostui yhteensä 100 m ja mittauspisteitä kertyi reitiltä 4 kappaletta. Päätelaitteen ilmoittama sijainti on esitetty kuvassa 26 punaisella värillä ja Trimble Geo 7X laitteen ilmoittama päätelaitteen tarkempi sijainti keltaisella. Sijaintien välinen suora etäisyys on mitattu AutoCad ohjelman mittaustoiminnolla.



Kuva 26. Ensimmäinen mittausreitti.

Laitteiden mittaamat koordinaatit käännettiin WGS84-järjestelmästä ETRS-järjestelmään, sillä Trimble NIS ohjelmistolla ei ollut mahdollista tuottaa WGS84-formaatissa olevaa DXF-tiedostoa. Laitteiden mittaamat koordinaatit eri mittauspisteissä on esitetty taulukossa 2.

**Taulukko 2.** Päätelaitteiden ilmoittamat koordinaatit ETRS-muodossa.

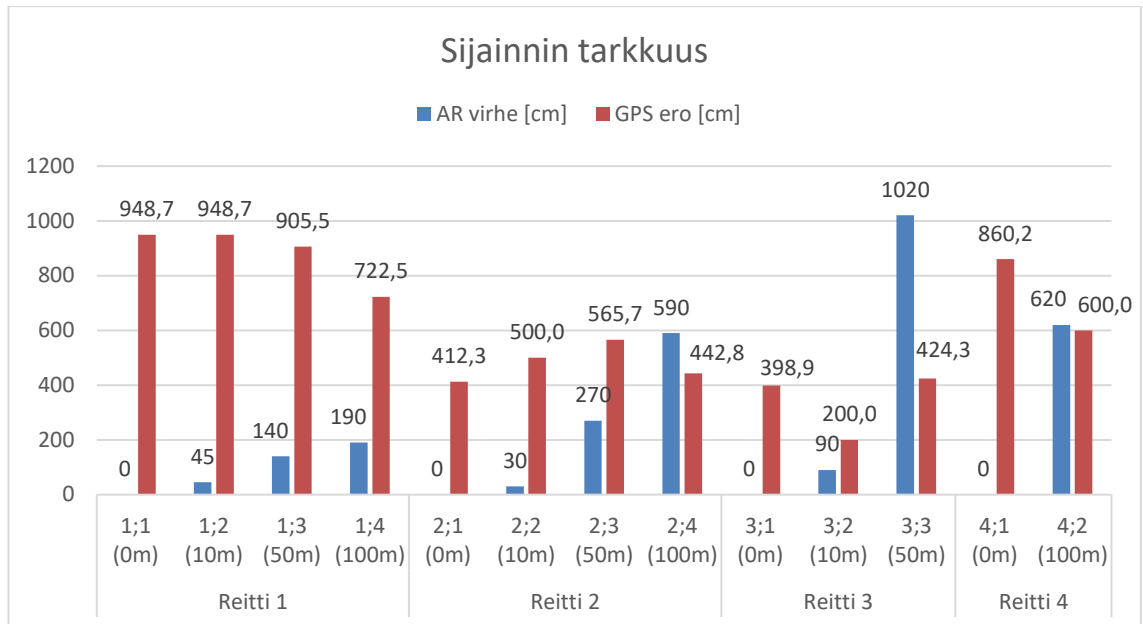
Piste	Etäisyys [m]	Koordinaatti Ipad [ETRS]		Koordinaatti Trimble X7 [ETRS]	
1;1 (0m)	0	323622	6817313	323619	6817304
1;2 (10m)	10	323613	6817296	323604	6817299
1;3 (50m)	50	323577	6817288	323568	6817287
1;4 (100m)	100	323502	6817280	323496	6817284
2;1 (0m)	0	323506	6817297	323502	6817296
2;2 (10m)	10	323500	6817316	323500	6817311
2;3 (50m)	50	323485	6817373	323481	6817369
2;4 (100m)	100	323514	6817432	323512	6817428
3;1 (0m)	0	323661	6817521	323661	6817517
3;2 (10m)	10	323651	6817507	323649	6817507
3;3 (50m)	50	323610	6817464	323607	6817461
4;1 (0m)	0	323666	6817523	323661	6817516
4;2 (100m)	100	323531	6817427	323531	6817421

AutoCad-ohjelmalla laskettu päätelaitteiden sijaintien välinen ero ja maastossa mitattu AR-sovelluksen virhe on esitetty taulukossa 3. Kalibrointi on ilmoitettu taulukon viimeisessä sarakkeessa.

**Taulukko 3.** *Päätelaitteiden sijainnin välinen ero sekä AR-sovelluksen virhe.*

Piste	Kuljettu matka [m]	AR virhe [cm]	GPS ero [cm]	Suunnan määrittäminen
1;1 (0m)	0	0	948,68	Suunta+sijainti kalibroitu manuaalisesti
1;2 (10m)	10	45	948,68	Suunta kalibroitu manuaalisesti
1;3 (50m)	50	140	905,54	Suunta kalibroitu manuaalisesti
1;4 (100m)	100	190	722,54	Suunta kalibroitu manuaalisesti
2;1 (0m)	0	0	412,31	Suunta kalibroitu manuaalisesti
2;2 (10m)	10	30	500,00	Ei kalibroitu
2;3 (50m)	50	270	565,69	Ei kalibroitu
2;4 (100m)	100	590	442,76	Ei kalibroitu
3;1 (0m)	0	0	398,94	Suunta+sijainti kalibroitu manuaalisesti
3;2 (10m)	10	90	200,00	Ei kalibroitu
3;3 (50m)	50	1020	424,26	Ei kalibroitu
4;1 (0m)	0	0	860,23	Suunta+sijainti kalibroitu manuaalisesti
4;2 (100m)	100	620	600,00	Ei kalibroitu

Taulukon 1 ja 2 arvot on esitetty kuvan 27 kuvaajassa. AR-sovelluksen virhe kasvaa käyttäjän edetessä päätelaitteen kanssa maastossa. Koska orientaation alkukalibrointi suoritettiin jokaisen reitin ensimmäisessä pisteessä, on AR-virheen arvo aina reitin alussa nolla, mutta kasvaa, kun päätelaitetta liikutellaan maastossa. Päätelaitteiden sijaintien ero taas vaihtelee irrallaan kuljetusta matkasta.



Kuva 27. Päätelaitteiden mittaaman sijainnin välimatka ja AR-sovelluksen virhe eri mittauspisteissä.

Testien perusteella huomataan ongelma sovelluksen toimintalogiikassa. AR-näyttämän virhe oli jopa päätelaitteen GPS-virhettä suurempi, eli laite pyrkii käyttämään kuvantunnistusta ja kiihtyvyyssanturia, vaikka GPS-sijainti olisi selkeästi ristiriidassa näin saadun sijainnin kanssa. Sovelluksen toimintalogiikkaa tulisi muuttaa siten, että laitteen sijainti perustuisi GPS-signaalin hyödyntämiseen jatkuvasti, jos välimatka kasvaa liian suureksi näiden välillä. Kuvantunnistuksen kannalta vaihtelevat maasto-olosuhteet ovat hankalia epäsäännöllisen ympäristön takia ja käyttäjä voi myös kävellessään kohdistaa kameran esimerkiksi taivasta tai lumihankea vasten, jolloin sijainnin määrittäminen kuvantunnistuksen avulla hankaloituu entisestään.

Toisaalta silmämääräisesti tarkasteltuna Trimble Geo 7X laitteen tarkkuus oli hyvällä tasolla ja se olisi täysin riittävä AR-käyttöä ajatellen, mutta päätelaitteen hinnan tulisi olla riittävän alhainen, jotta se voitaisiin ottaa laajemmin käyttöön. Laitteiden kustannuksia silmällä pitäen, sovelluskehityksessä kannattaa tulevaisuudessa tutkia muita tavanomaisia kuluttajalaitteita, joiden sijainnin tarkkuus olisi käytettyä päätelaitetta parempi.

## 6.5 Jatkokehitys

Kun laitteen sijaintiin liittyvät ongelmat on saatu ratkaistua, tulee seuraavaksi kehittää rajapinta verkkotietojärjestelmän ja AR-sovelluksen välille. Rajapinnan kehityksen yhteydessä voidaan hyödyntää tässä luvussa mainittuja AR-käyttöön soveltuvia esitystapoja. Myös myöhempi reaaliaikainen tiedonsiirtorajapinta käytöntukijärjestelmän ja sovelluksen välillä olisi käyttökelpoinen työkalu erottamaan esimerkiksi vikaantunut tai irti kytketty maakaapeli maastossa.

Sovelluksen toiminnan kannalta olennainen tekniikka on nykyisin jo olemassa. Testien yhteydessä verrattiin silmämääräisesti eri puhelinten sijaintia ja orientaatiota päätelaitteeseen. Kun sovellukseen syötettiin GPS-koordinaatit Samsung Galaxy S9 -puhelimesta avoimena olevasta Google Maps sovelluksesta, saatiin AR-sovellus tällöin riittävän tarkasti kalibroitu. Myös suuntaa arvioidessa Google Maps sovellus kykeni silmämääräisesti riittävän tarkkaan orientaatioon. Havainnot tukevat käsitystä siitä, että sovelluksen tyydyttävän toiminnan edellytyksenä on sopivan päätelaitteen valinta ja ohjelman toimintalogiikan hienosäätö. Tavoiteltavan sijainnin tarkkuuden osalta on myös huomattava monien maakaapelien paikantamattomuus ja paikannettujen maakaapelien dokumentointi Trimble NIS järjestelmässä: Usein kaapelit dokumentoidaan erilleen, jotta ne voidaan erottaa toisistaan normaalissa verkkotietojärjestelmän näkymässä, vaikka kaapelit olisi asennettu samaan kapeahkoon ojaan. Kaapelien verkkotietojärjestelmään dokumentoitu väli saattaa olla dokumentointitavasta riippuen jopa metrien luokkaa. Tästä johtuen kaikki kaapelit eivät välttämättä ole todellisilla paikoillaan, vaikka kaapelireitti olisi asennuksen yhteydessä paikannettu suurella tarkkuudella. Ruutukaappaus AR-sovelluksen kalibroinnin jälkeisestä näkymästä on esitetty kuvassa 28. Kuvasta havaitaan kaapeliputki vihreällä värillä, keskijännitekaapeli violetilla ja pienjännitekaapeli sinisellä.



Kuva 28. AR-Sovelluksen näkymä heti kalibroinnin jälkeen. Kaapeliputki vihreällä värillä, keskijännitekaapeli violetilla ja pienjännitekaapeli sinisellä.

Kuvan 28 perusteella on helppo huomata sovelluksen käyttökelpoisuus tulevaisuudessa useissa erilaisissa työtehtävissä. Esimerkiksi jakeluverkon kytkentätilanteen kuvaamiseen tai rakennettavan verkon havainnollistamiseen asentajille, suunnittelijoille sekä maanomistajille. Yhdistettäessä myös muu infrastruktuuri AR-sovellukseen, voidaan maastossa tapahtuvaa suunnittelutyötä selkiyttää ja tehostaa entisestään, myös maastossa kuljettu reitti voidaan tallentaa sovelluksen avulla ja hyödyntää sitä suunnittelussa. Esi-tetyn perusteella lisätty todellisuus on uusi ja selvää lisäarvoa tuova työtapa, jota kannat-taa aktiivisesti kehittää. Kaapeleiden dokumentoinnilla on kuitenkin suuri merkitys so-velluksen käyttökelpoisuuteen maastossa, koska huolimattomasti dokumentoitujen kaa-pelien esitys ei ole tarkoituksenmukainen lisätyn todellisuuden kannalta. Lisättyä todelli-suutta tai vastaavia kaapeleiden tarkkaa sijaintia hyödyntävien sovellusten kannalta olisi-kin tarpeen muuttaa kaapelien dokumentointitapaa vastaamaan niiden todellista asemaa maastossa. Verkkotietojärjestelmän näkymää voisi puolestaan kehittää suuntaan, jossa lä-hekkäin olevat kaapelit voisivat näkyä hieman erillään, niiden vierekkäisestä sijainnista huolimatta.

## 7. YHTEENVETO

Tietomallinnus muuttaa perusteellisesti tavan, jolla tietoa suunnittelutyössä luodaan, käsitellään ja analysoidaan, sekä tarjoaa käyttökelpoisia työkaluja suunnitelmien laatimisen automatisointiin, optimointiin ja laadunvarmistukseen. Tietomalleille asetetut vaatimukset osoittavat toimijoiden välisten tiedostoformaattien ja ohjelmistorajapintojen puuttumisen vaikeuttavan tietomallien laajamittaisempaa hyödyntämistä. Tiedon kerääminen yhteen älykkääksi malliksi eri toimijoiden suunnitelmista on tästä syystä haastavaa ja siirtymäkautena on tarpeen kehittää toimintatapoja, joilla tietoa voidaan jakaa eri osapuolien kesken. Erilaiset suunnitteluohjelmistojen natiiviformaateista tuotetut Shapefile-, XML- tai DWG-tiedostot eivät sisällä kaikkia mallin luomiseen tarvittavia tietoja ja toisaalta natiiviformaatissa olevat tiedostot eivät tyypillisesti ole yhteensopivia eri toimijoiden suunnitteluohjelmistojen välillä. Siirtyminen yhdellä kertaa kaikkien toimijoiden saatavilla olevaan tietomalliin ei ole tärkeintä, vaan suunnittelun ja projektinhallinnan toimintatapojen siirtäminen kohti tietomallipohjaista lähestymistapaa. Infrastruktuuriprojektien laajuuden ja mutkikkaiden suunnitteluprosessien johdosta toimintatapojen muuttaminen yhdellä kertaa on hyvin haastavaa ja toisaalta yritykset vaatisivat merkittävää kannustinta äkillisen muutoksen aikaansaamiseksi.

Tietomalleja voidaan hyödyntää suunnittelutyön lähes kaikissa vaiheissa ja ne tarjoavat suunniteluun lisäarvoa vähentämällä virheitä, auttavat hahmottamaan kokonaisuuksia sekä mahdollistavat suunnittelutyön osittaisen automatisoinnin, jonka johdosta tietomallien käyttöönotto tulisi suorittaa ensin edes yksittäisen osapuolen sisällä ja vähitellen laajentaa tietomalleja uusille sidosryhmille pilottihankkeiden avulla. Siirtymäkauden ratkaisuna voidaan esittää toimijoiden omia osittaisia tietomalleja, joissa oman toiminnan kannalta olennainen tieto, kuten sähköverkon komponenttien parametrit, on määritelty kaikille oman suunnittelun kohteena oleville objekteille. Muiden toimijoiden objektit olisi tällöin tuotu malliin edustamaan tiettyä tarkoitusta, kuten vesijohdon sijaintia, mutta itse komponentin toimintaan liittyvät seikat on jätetty huomiotta.

Yleiset inframallivaatimukset eivät tue sähköverkon mallintamista toimivana kokonaisuutena, mutta sähköverkkojen toimintaympäristö on infrastruktuurin ympäröimää ja jossa usein toimitaan samoilla työmailla toteuttaen yhteisiä kokonaisuuksia, kuten uusia asuinalueita. Yhteinen toimintaympäristö ja työmaat aiheuttavat tarpeen ottaa käyttöön yhteisiä toimintatapoja muiden infrastruktuuritoimijoiden kanssa. Verkkoyhtiön osallistuminen alan standardien kehittämiseen on verkkoyhtiön näkökulmasta tärkeää, sillä standardien ja toimintatapojen muotoutuminen on voimakkainta prosessin alussa, koska standardien vaikutus on vielä vähäisempää, eivätkä ne sido niin monia toimijoita. Standardien kehittämislle luo erityisesti painetta tietomallien potentiaali estää työn ongelmia ja tehostaa toimintaa. Havaitun pohjalta on odotettavissa, että infrastruktuuritoimijat tulevat

lähivuosina tekemään tärkeitä linjauksia tulevaisuuden varalle, joten verkkoyhtiöiden on tärkeää osallistua aktiivisesti yhteisten tietomallien kehittämiseen. Viranomaisnäkökulmasta yhteisrakentamista voidaan edistää motivoimalla verkkoyhtiöitä tietomallien käyttöön lainsäädännön tai regulaation keinoin, esimerkiksi huomioimalla tietomallit sähkömarkkinalain kannustimien avulla.

Tietomallien käyttöönoton edistämiseksi vaadittavien konkreettisten toimien yhteenve-tona voidaan todeta tietomallipohjaisen suunnittelun käyttöönotolle olevan useita eri vaatimuksia, jotka verkkoyhtiöiden tulee täyttää: Verkon dokumentoinnin tehtävänä on varmistaa, että tietomallipohjaiselle työmaalle on saatavilla tarvittavat ja oikeelliset lähtötiedot, joihin objektien sääntöjä on myöhemmin mahdollista soveltaa. Osallistuminen alan standardointiin ja kehitykseen varmistaa infrastruktuuriella käytettävien toimintatapojen, tiedostoformaattien ja rajapintojen palvelevan myös jakeluverkon tarpeita ja uuden tekniikan pilotointi tarjoaa kokemuksia uudesta tekniikasta ja jalostaa toimintatapoja oikeaan suuntaan. Tarvittavat toimenpiteet on koostettu taulukkoon 4.

**Taulukko 4.** *Tietomallien käyttöönoton tukemiseksi tehtävät toimenpiteet.*

Vaatus	Sisältö
Lähtötiedot ja dokumentointi	Dokumentoinnin oikeellisuus ja tarkkuus, kerättävien attribuuttien kartoittaminen tietomallien näkökulmasta
Standardien ja toimintatapojen kehittyminen	Osallistua tietomalleihin liittyvien toimintatapojen ja tiedostoformaattien kehittämiseen
Rajapintojen kehittäminen	Kehittää suunnitelmätietojen automaattiseen vaihtamiseen soveltuvia rajapintoja
Pilotointi	Kokeilla uusia tekniikoita ja toimintatapoja aktiivisesti eri osapuolien kesken esimerkiksi yhteisrakentamishankkeissa. Esim. työmaa ilman erillisiä kartoja ainoastaan ohjelmistoja hyödyntäen.

Lisätyn todellisuuden osalta voidaan todeta tekniikan olevan käyttökelpoista, mutta käytettävyyden vahvasti riippuvaista käytetyistä lähtötiedoista ja päätelaitteista. Sopivilla päätelaitteilla ja harkituilla käyttökohteilla lisätyllä todellisuudella voidaan parhaimmillaan saavuttaa uusia parempia työmenetelmiä ja tehostaa maastossa tehtävää työtä. Työssä kuvattu lisätyn todellisuuden kehityshanke onnistui suurimmilta osin soveltuvuus selvityksessä. Verkkotiedot saatiin yhdistettyä muuhun infraan yhdeksi aineistoksi ja aineisto oli mahdollista esittää lisättyä todellisuutta hyödyntävän sovelluksen avulla. Sovelluksen paikannustarkkuus ei kenttätessissä ollut täysin riittävällä tasolla, mutta myöhemmän kehityksen ja eri päätelaitteiden avulla sovellus on otettavissa päivittäiseen käyttöön tulevaisuudessa. Diplomityön tulokset ovat käyttökelpoisia sovelluksen myöhempiä jatkokehitystä varten.

Kenttätestien perusteella lisätty todellisuus on tekniikkana kiinnostava, mutta sen tarjoama hyöty on vielä vähäinen Elenian jo käyttämään mobiiliin verkkotietojärjestelmään verrattuna. Tablet-laitteella käytettävä verkkotietojärjestelmä ei myöskään ole yhtä altis sijainnin epätarkkuudelle, sillä käyttäjä voi arvioida omaa asemaansa karttanäkymän avulla. Toisaalta lisätty todellisuus vaikuttaa käyttökelpoiselta, jos verkon komponenttien sijaintiin ja dokumentoinnin tarkkuuteen liittyvät haasteet saadaan ratkaistua. Jakeluverkon suunnittelussa ja rakentamisessa lisätty todellisuus soveltunee käytettäväksi tulevaisuudessa esimerkiksi virtuaalilasien yleistyessä tai kaivinkoneissa havainnollistamassa kaivuureittii ja maanalaisia komponentteja.

## LÄHTEET

---

- [1] Tietoa Eleniasta, Elenia Oy, verkkosivu saatavissa, (viitattu 16.1.2018): [http://www.elenia.fi/yritys/elenia\\_info](http://www.elenia.fi/yritys/elenia_info)
- [2] Sähkömarkkinalaki, 6. luku, Jakeluverkkoa ja jakeluverkonhaltijaa koskevat säännökset 51 § 2 ja 5 § 3
- [3] Sähköverkkotoiminnan tunnusluvut vuodelta 2016, Energiavirasto, verkkosivu saatavissa (viitattu 29.1.2018): <https://www.energiavirasto.fi/sahkoverkkotoiminnan-tunnusluvut-2016>
- [4] Laki verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä, 276/2016, 4 ja 5 §
- [5] Lakervi & Partanen, Sähkönjakelutekniikka, Otatieto, Helsinki, 2009. s. 63-64 ja 265-267
- [6] Trimble NIS, Trimble Inc, verkkosivu saatavissa, (viitattu 19.1.2018): <https://utilities.trimble.fi/trimble-nis-sahkoverkoille.html>
- [7] S. Vehmasvaara, diplomi-insinööri, järjestelmäinsinööri, Elenia Oy, Tampere. Haastattelu 21.3.2018.
- [8] What is BIM?, About the national BIM standard, verkkosivu saatavissa (viitattu 16.1.2018): <https://www.nationalbimstandard.org/faqs>
- [9] Mitä on BIM, Bim ei yllä kaikkialle, Tekla, verkkosivu saatavissa (viitattu 23.1.2018) <https://www.tekla.com/fi/tietoa-meist%C3%A4/mit%C3%A4-bim>
- [10] Wang, Xiangyu, BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, Australasian Journal of Construction Economics and Building 12.3, 2012
- [11] Computing in Civil and Building Engineering ©ASCE 2014, Building Information Modeling for Quality Management in Infrastructure Construction Projects 2014, s.66. saatavilla verkossa, (viitattu 13.2.2018) <https://ascelibrary-org.libproxy.tut.fi/doi/abs/10.1061/9780784413616.009>
- [12] What is DWG?, Autodesk, verkkosivu saatavissa (viitattu 23.3.2018) <https://www.autodesk.com/products/dwg>

- 
- [13] Yleiset Inframallivaatimukset, Building Smart Finland, verkkosivu saatavissa, (viitattu 4.5.2018) <https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>
- [14] Yleiset Inframallivaatimukset YIV2015 - Yleiset mallinnusvaatimukset, Building Smart Finland, Saatavilla verkossa (viitattu 28.2.2018) [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015\\_Mallinnusohjeet\\_OSA2\\_Yleiset\\_Vaatimukset\\_V\\_1\\_0.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA2_Yleiset_Vaatimukset_V_1_0.pdf)
- [15] About, LandXML.org, verkkosivu saatavissa (viitattu 2.9.2018) <http://www.landxml.org/About.aspx>
- [16] Dokumentaatio – Inframodel 4, Inframodel 4 uudet osat, Building Smart Finland saatavilla verkossa (viitattu 19.2.2018) [https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2014/04/Inframodel\\_4\\_uudet\\_osat.pdf](https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2014/04/Inframodel_4_uudet_osat.pdf)
- [17] Geoinformatiikan sanasto, TSK 45, 2014 Maanmittauslaitos, saatavilla verkossa (viitattu 19.2.2018): <http://www.tsk.fi/tiedostot/pdf/GeoinformatiikanSanasto>
- [18] Building Smart Finland, Inframodel 4.0.3 Schema, verkkosivu saatavissa (viitattu 2.9.2018) <https://buildingsmart.fi/infra/schema/4.0.3/inframodel.xsd>
- [19] Toiminnassa mukana olevat organisaatiot, Building Smart Finland, verkkosivu saatavissa (viitattu 19.2.2018): <https://buildingsmart.fi/toiminnassa-mukana/>
- [20] Sähkömarkkinalaki, II osa, 2 luku, Sähköverkkotoiminnan luvanvaraisuus, 13 § Jakeluverkon rakentaminen.
- [21] ESRI Shapefile Technical Description, Environmental Systems Research Institute, Saatavilla verkossa (viitattu 12.2.2018): <https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>
- [22] 3D scanner, Wikipedia, Verkkosivu saatavissa, (viitattu 14.2.2018) [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner)
- [23] Sun, L., Suo, X., Liu, Y., Zhang, M., & Han, L, 3D modeling of transformer substation based on mapping and 2D images, Mathematical Problems in Engineering, 2016, saatavilla verkossa (viitattu 14.2.2018): <http://dx.doi.org.libproxy.tut.fi/10.1155/2016/9320502>
- [24] Utsi, Ground Penetrating Radar: Theory and Practice, Elsevier Science & Technology, Oxford, EC 2017, s. 3-9 ja 13-17,
- [25] Georadar Presentation, Visimind AB, Ei saatavilla.
- [26] Andrea Latini, Visimind Ab, Puhelinhaastattelu, Tukholma – Tampere, 28.2.2018

- 
- [27] Empower PN Oy, Elenia Oy, Kehityshanke: Sähköaseman tietomallintaminen -raportti, saatavilla verkossa, (viitattu 18.4.2018) <http://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Loppuraportti%20kehityshanke%20Elenia%203D%20s%C3%A4hk%C3%B6asemamallinnus%202017.pdf>
- [28] Wang, Xiangyu. "BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors." *Australasian Journal of Construction Economics and Building* 12.3 (2012): 101. Web.
- [29] Viestintävirasto, Tietopiste, Verkkosivu Saatavissa (viitattu 12.2.2018) [https://www.viestintavirasto.fi/attachments/Verkkotietopiste\\_kayttoohjeet.pdf](https://www.viestintavirasto.fi/attachments/Verkkotietopiste_kayttoohjeet.pdf)
- [30] Trimble, Trimble NIS käyttäjän käsikirja, Ei saatavilla julkisesti.
- [31] *Computing in Civil and Building Engineering* ©ASCE 2014, *Building Information Modeling for Quality Management in Infrastructure Construction Projects 2014*, s.69. Saatavilla verkossa, (viitattu 13.2.2018) <https://ascelibrary-org.libproxy.tut.fi/doi/abs/10.1061/9780784413616.009>
- [32] P. Milgram ja A.F. Kishino 1994, "Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays" *IEICE Transactions on Information Systems*, Vol E77-D No.12 s. 1321–1329
- [33] Milgramin jatkumo, Wikipedia, Verkkosivu saatavissa, (viitattu 2.9.2018) [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Laajennettu\\_todellisuus\\_5\\_milgram.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f3/Laajennettu_todellisuus_5_milgram.png)
- [34] Furht, B. 2011, *Handbook of Augmented Reality*, 1. Aufl. edn, Springer Science + Business Media. s. 6-7 ja 23-24
- [35] Bad Elf, Bad Elf GPS for Lightning connector, specifications, Verkkosivu Saatavissa (viitattu 27.8.2018) <https://bad-elf.com/pages/be-gps-1008-detail>