

Marko Virtanen

Lyöntipaalutuksen tietotarpeen arviointi ja määrittely

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Maanmittaustekniikka
Insinööriytyö
9.5.2016

| | |
|--|--|
| Tekijä Otsikko | Marko Virtanen Lyöntipaalutuksen tietotarpeen arviointi ja määrittely |
| Sivumäärä Aika | 55 sivua 9.5.2016 |
| Tutkinto | insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma | maanmittaustekniikka |
| Ohjaajat | yliopettaja Vesa Rope työnjohtaja Jonne Nurmela |
| <p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli arvioida ja määrittellä lyöntipaalutustyön tietotarvetta tietomallinnusta ajatellen. Paaluja ei ole toistaiseksi vielä edistyksellisesti tietomallinnettu johtuen käytettävien suunnitteluohjelmistojen asettamista rajoitteista sekä vähäisestä tietomallien käytöstä pohjarakenteiden mallintamisen osalta talo- ja infrarakennushankkeissa. Työn tilaaja oli YIT Rakennus Oy, jonka kanssa selvitystyö lyöntipaalutuksen tietotarpeesta suoritettiin yhteistyössä.</p> <p>Tietotarpeen arvioinnin ja määrittelyn alustamiseksi on selvitetty perinteistä lyöntipaalutus-kentän suunnitteluprosessia. Selvitystyössä auttoivat muutamien suunnittelutoimistojen geotekniikan suunnittelijat, rakennesuunnittelijat sekä tietomallinnuksen asiantuntijat. Tärkeimpänä kirjallisina oppaina olivat Suomen Rakennusinsinöörien Liiton Paalutusohje 2011 sekä BuildingSmart Finland –yhteistyöfoorumien julkaisema Yleiset inframallivaatimukset 2015 –vaatimuskokoelma. Työssä on kerrottu alustuksena talo- ja infrarakentamisen osalta tietomallipohjaisen suunnittelun nykytilaa ja selvitetty sen haasteita.</p> <p>Työssä selvitettiin myös takymetrimittauksia osana paalutustyötä, koneohjauksen käytön nykytilannetta Suomessa lyöntipaalutuksessa sekä mittauslaitteiden ja koneohjausjärjestelmien tukemia tiedostoformaatteja. Koneohjauksen käytön haasteina lyöntipaalutustyön toteutamatiedonkeräämisessä on koneohjauksessa käytetyn satelliittimittauslaitteiston epätarkuus verrattuna takymetrimittaukseen ja työssä kerääntyvän aineiston tiedonhallinta.</p> <p>Tämän työn pohjalta on mahdollista saada kokonaiskuva lyöntipaalutustyön vaatimasta tietotarpeesta. Tietotarvetta on tarkoituksella arvioitu hyvin laajasti, koska erikoisempia paaluja käytäessä tietovaatimus on suurempi paalutustyön laadunvalvontaa ajatellen.</p> | |
| Avainsanat | lyöntipaalutus, koneohjaus, tietomalli, pohjarakentaminen |

| | |
|---|--|
| Author Title | Marko Virtanen Evaluation and determining of the information requirements of pile driving |
| Number of Pages Date | 55 pages 9 May 2016 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Land Surveying |
| Instructors | Jonne Nurmela, Construction Site Foreman Vesa Rope, Principal Lecturer |
| <p>The objective of this Bachelor's thesis was to evaluate and specify the information requirements of pile driving operations for the purpose of information modeling. Currently, foundation piles have not yet been modeled due to limitations set by CAD software used and limited use of information models in foundation structure modeling in building and infrastructure projects.</p> <p>In order to evaluate and outline the information requirements, the traditional planning process of a pile driving field was illuminated. The information gathering was facilitated by geotechnology planners, structural planners and experts in information modeling.</p> <p>Furthermore, the thesis looked into total station measurements as a part of pile driving, and studied the current situation of machine control systems in pile driving in Finland. One of the challenges in the use of machine control systems is the data management of the obtained information.</p> <p>On the basis of this thesis it is possible to get an overall picture about the information requirements for pile driving. A very broad range of information is assessed because the need for information in the quality control of special piles is very high.</p> | |
| Keywords | pile driving, machine control system, information model |

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Lyöntipaalutus käsitteenä | 1 |
| 2.1 | Paalutus rakennusteollisuudessa | 1 |
| 2.2 | Lyöntipaalutuskoneen esittely | 3 |
| 2.3 | Paalutustyöluokat | 4 |
| 2.4 | Suomessa käytettävät paalutyypit | 5 |
| 2.5 | Mittaustyö lyöntipaalutuksessa | 9 |
| 3 | Satelliittipaikannusmenetelmät | 11 |
| 3.1 | Absoluuttinen paikannus | 11 |
| 3.2 | Suhteellinen paikannus | 12 |
| 3.3 | Differentiaalinen paikannus | 12 |
| 3.4 | RTK-mittaus | 13 |
| 3.5 | Verkko-RTK-mittaus | 13 |
| 4 | Koneohjauksen käyttö lyöntipaalutuksessa | 15 |
| 4.1 | GNSS-mittauslaitteiston toimivuus Novatronin koneohjausjärjestelmässä | 15 |
| 4.2 | RTK-paikannusmenetelmän käyttö työkoneissa | 15 |
| 4.3 | Tartetiedot ja mittauslaadun dokumentointi koneohjausjärjestelmän avulla | 16 |
| 4.4 | Koneohjauksen nykytilanne lyöntipaalutuksessa | 16 |
| 5 | Tiedostoformaatit mittauslaitteissa ja koneohjausjärjestelmissä | 19 |
| 5.1 | Geotrim ja Trimble Access -ohjelmiston tiedostoformaatit | 19 |
| 5.2 | Sitech Finland | 19 |
| 5.2.1 | Tiedostoformaatit SCS900- ja Trimble BC HCE -ohjelmistolle | 20 |
| 5.2.2 | 3D-koneohjausohjelmisto GCS900 | 21 |
| 5.2.3 | 3D-koneohjausohjelmisto DPS900 | 21 |
| 5.3 | Novatron | 21 |
| 6 | Lyöntipaalutuksen suunnitelma-aineiston käsittely suunnittelutoimistoissa | 22 |
| 6.1 | Yleistä paalutuskentän suunnittelusta | 22 |
| 6.2 | Sweco | 24 |
| 6.3 | Ramboll | 25 |

| | | |
|-------|--|----|
| 6.4 | A-insinöörit | 26 |
| 7 | Tietomallit rakennustöissä | 27 |
| 7.1 | InfraBIM | 27 |
| 7.2 | IFC | 27 |
| 7.3 | Inframodel3 | 27 |
| 7.4 | Tietomallipohjainen suunnittelu | 29 |
| 7.4.1 | Tietomallipohjaisen hankkeen osa-alueet ja jako osamalleihin | 31 |
| 7.4.2 | Mallintamisen tarkkuustasot | 35 |
| 7.4.3 | Tietomalliselostus | 36 |
| 7.4.4 | Lähtötietomalli ja nykytilamalli | 37 |
| 7.4.5 | Suunnitelmamalli | 39 |
| 7.4.6 | Yhdistelmämalli | 39 |
| 7.5 | Tietomallintaminen eri suunnitteluvaiheissa | 40 |
| 7.5.1 | Esisuunnittelu ja suunnittelun aikaiset työmallit | 40 |
| 7.5.2 | Yleissuunnittelu | 40 |
| 7.5.3 | Väyläsuunnittelu | 40 |
| 7.5.4 | Rakennesuunnittelu | 41 |
| 7.5.5 | Toteutusmalli | 41 |
| 7.6 | Tietomallien käyttökohteet ja käyttämisen haasteet | 41 |
| 8 | Suunnitelma-aineistojen tietovaatimukset paalutustyön tietomalleille | 42 |
| 8.1 | Paalutustyön tietovaatimukset suunnittelijalta ja urakoitsijalta | 42 |
| 8.1.1 | Lyöntipaalut | 42 |
| 8.1.2 | Paalulaattarakenteet | 45 |
| 8.1.3 | Paaluhatturakenteet | 45 |
| 8.1.4 | Ankkuri | 46 |
| 8.1.5 | Suunnittelijan tietotarve paalutustyön jälkeen | 46 |
| 9 | Yhteenveto | 49 |
| | Lähteet | 52 |

Lyhenteet ja käsitteet

| | |
|----------------------|--|
| avoin formaatti | Tiedostomuoto, jota ohjelma pystyy hyödyntämään ja tuottamaan tietomallin avoimessa tietomallipohjaisessa formaatissa. Infrarakenteiden osalta avoin formaatti on Inframodel-sisällön ja -määrittelyn mukainen LandXML ja taitorakenteiden osalta IFC. [14, s. 8.] |
| esivalmistettu paalu | Maata syrjäyttävä paalu tai paaluelementti, joka on valmistettu joko yhtenä kappaleena tai osina ennen asentamista [3]. |
| geotekninen luokka | Pohjarakennuskohteen maaperän ominaisuuksia kuvaava luokka, joka määrittää kohteen rakentamisen vaikeusasteen ja haastavuuden [3]. |
| GNSS | GNSS-lyhenne tulee sanoista Global Navigation Satellite System. GNSS-järjestelmä käyttää sijainnin määrittämiseen usean eri paikannusta palvelevaa satelliittipaikannusjärjestelmää ja toimijaa. Satelliittipaikannus oli pitkään ainoastaan GPS-järjestelmän varassa. [24.] |
| hydraulijärkäle | Lyöntilaite jossa järkäleen liikkuva osa nostetaan hydraulisesti. Järkäleen pudotus on vapaa jos ei oteta huomioon öljyn virtauksen aiheuttamaa vastusta. Liikkuvan järkäleen massa voi vaihdella yleensä 500–2000 kg:n välillä. Iskuluvut erilaisilla lyöntilaitteilla vaihtelevat yleensä välillä 50–200 iskua/min. [3.] |
| jälkilyönti | Järkäleellä lyötävä iskusarja, jolla esivalmistetun paalun vaadittu tai suunniteltu lyöntivastus voidaan varmistaa [3]. |
| järkäle | Paalutuskoneen työkalu, jota käytetään paalun asentamiseen lyömällä (iskevä tai putoava massa) [3]. |
| kitkapaalu | Paalu, joka siirtää kuormat maahan pääasiassa paalun vaippapinnan ja viereisen maan välisen kitkan avulla [3]. |

| | |
|-------------------|---|
| lyöntipaalu | Lyöntipaalu on maata syrjäyttävä paalu, joka asennetaan maahan lyömällä sitä jollakin iskevällä laitteella, kuten järkäleellä [3]. |
| paaluhattu | Pienpaalun päähän katkaisun jälkeen sijoitettava osa, joka liittää paalun perustukseen ja siirtää kuormat perustuksesta paalulle [3]. |
| paalutustyöluokka | Paalutustyön toteutuksen huomioiva luokitus ja se määräytyy kohteen seuraamusluokan (CC1-CC3) ja geoteknisen luokan (GL1-GL3) perusteella [3]. |
| törmäystarkastelu | Törmäystarkastelu on eri suunnittelualojen aineistojen tarkastusmenetelmä. Eri tekniikkalajit sovitetaan yhteen, jolloin voidaan havaita suunnitelmien ristiriitaisuudet. voidaan vertailla, ovatko esim. arkkitehti- ja rakennemallit yhteneväiset kantavien rakenteiden osalta tai ovatko rakennemallissa olevat reiät samassa kohdassa kuin LVI-mallin putket. |
| vinopaalu | Paalu, joka on asennettu pystytasoon nähden kaltevaksi [3]. |
| YIV2015 | Yleiset inframallivaatimukset 2015. Rakennustietosäätiön erityispäätoimikunta buildingSMART Finland on julkaissut Yleiset inframallivaatimukset 2015 -ohjeet. Tarve vaatimuksille on syntynyt suurimpien infratilaajien tavoitteesta siirtyä tietomallintamisen käyttöön. (http://www.infrabim.fi/yiv2015/.) |
| YTV2012 | Yleiset tietomallivaatimukset 2012 on Senaatti-kiinteistöjen vuonna 2007 julkaistujen tietomallivaatimusten päivitys, joka toteutettiin 2011 ja 2012 aikana. Rakennushankkeissa osapuolet haluavat määritellä, miten jokin rakenteen yksityiskohta mallinnetaan. YTV2012:n pohjana on käytetty tilaaja-organisaatioiden aikaisempia ohjeita ja niistä saatuja käyttökokemuksia. (http://www.buildingsmart.fi/8.) |

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä käsitellään lyöntipaalutustyön ja suunnittelun tietotarvetta. Työssä on lueteltu Suomessa käytettyjen mittaus- ja koneohjauslaitteistojen tiedostoformaattit sekä yleisesti käytetyt paalutyypit. Lisäksi työssä on selvitetty paalutustyöhön liittyvää mittaustyötä ja koneohjausjärjestelmien käyttöä.

Suunnittelutoimistojen haastattelujen pohjalta tehdään selkoa paalutusaineiston suunnittelman tekemiseen liittyvästä tietotarpeesta, jota tarvitaan tietomallien tuottamiseen. Työssä on lisäksi tehty selkoa rakennesuunnittelijoiden ja geotekniikan suunnittelijoiden välisestä tiedonvaihdosta, jotta rakennushankkeen paalutuksia varten saadaan luotua tarkoituksenmukaiset suunnitelmat. Insinööriyössä keskitytään käsittelemään maata syrjäyttävien paalujen asennustyötä. Työssä on kerrottu kolmen suunnittelutoimiston lyöntipaalutusaineiston suunnittelutyöstä. Käsittelyn kohteena ovat myös Inframodel3-tiedonsiirtoformaatti sekä tietomallipohjainen suunnittelu ja rakentaminen.

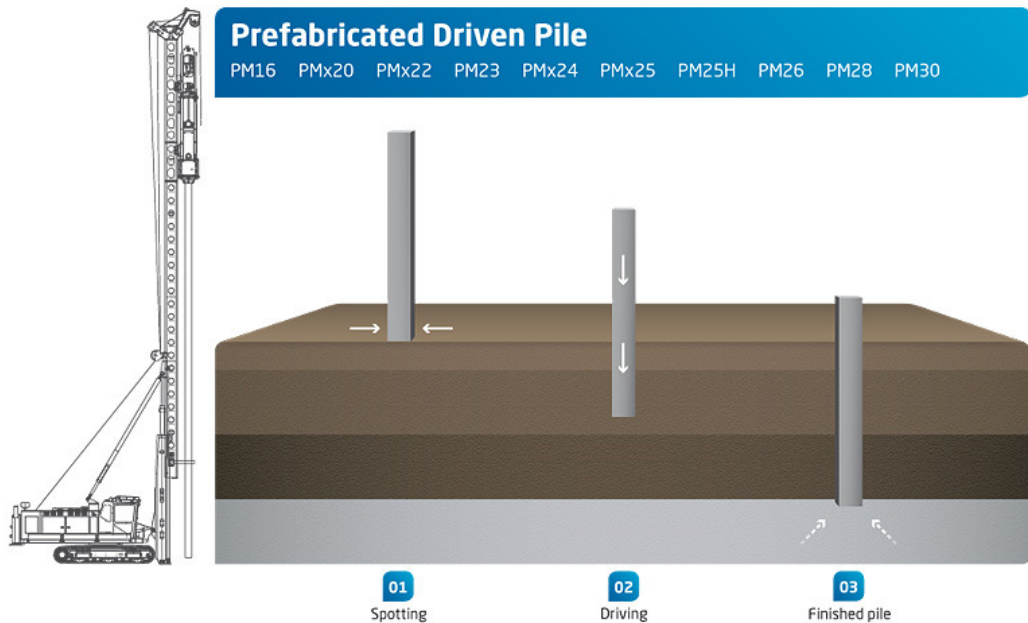
Insinööriyön lopussa tehdään selkoa tietotarpeen vaatimuksista paalutustyötä varten. Työssä luetellaan myös niitä tietoja, joita paalutuskoneen käyttöjärjestelmä lähettää suunnittelijalle paalutustyön jälkeen. Täten tarkoituksena on tehdä selkoa paalutustyön tietotarpeesta ja tiedonkeräämisestä alkaen aineiston luovutustilanteesta urakoitsijalle aina siihen saakka, kunnes urakoitsija toimittaa toteumatiedot suunnittelijalle suoritetusta paalutustyöstä.

2 Lyöntipaalutus käsitteenä

2.1 Paalutus rakennusteollisuudessa

Paaluperustuksia käytetään, kun rakennuksen tai rakenteen maapohjan rakenne todetaan riittämättömäksi rakentamisen käyttöön. Syitä ovat muun muassa maan painuminen, siirtyminen, kiertyminen tai ympäristössä olevien rakennusten sijainnit ja rakentamisessa käytetyt perustustavat. Paalujen tarkoitus on siirtää rakennusten tai infrarakenteiden, kuten anturan tai siltaelementin, voimia kantavaan maahan tai kallioon. [3, s. 15.] Lyöntipaalutuksessa esivalmistettu ja määrämittäiseksi tehty paalu nostetaan pystyyn ja lyödään maahan hyväksikäyttäen hydraulisen järkäleen pudotusvoimaa. Paalun kärki

syryttää lyöntien aikana maa-ainesta maahan upotettavan paalun ympäriltä [kuva 1]. Paalujen käyttö rakennusten ja rakenteiden perustustyössä on lisääntynyt merkittävästi muutaman viime vuosikymmenen aikana. Paalujen käytön lisääntymisen vuoksi kasvavien kaupunkien ja taajamien heikkopohjaisillekin alueille voidaan rakentaa rakennuksia ja rakenteita paalulaattojen varaan. [1, s. 38–39; 2.]



Kuva 1. Esivalmistetun lyöntipaalun asennusprosessi [4].

Lyönnit ohjataan esivalmistetun paalun pituusakselin suuntaisesti ja keskeisesti paalun päähän [kuva 1]. Paalun tulee olla tuettuna riittävästi vaakasuunnassa, jotta voidaan minimoida asennuksen aikainen sivuun siirtymä, joka vaikuttaa sen asennuksen jälkeiseen sijaintiin. Paalujen asentamisen tarkkuuden määrittävät paalutustyöluokat. Paalujen asennuksen loppulyönneissä on käytettävä vastaavan pohjarakennesuunnittelijan hyväksymiä tai määrittelemiä pudotuskorkeuksia ja paalun lyönnin aikaisten minimipainu- mien on pysyttävä sallituissa arvoissa. [3, s. 203.]

Normaali asennustyö keskeytettävä, jos paalu kohtaa asennuksen aikana lohkarren, suuren kiven tai kallion. Asennusta jatketaan tämän jälkeen käyttäen matalampaa hydraulijärkäleen iskun pituutta, kunnes paalun riittävä tuenta on saavutettu. Paalun yläpään korkeusasema mitataan loppulyöntien jälkeen. Tarvittaessa tehdään tarkastus- tai jälki- lyönnit riittävien korkeusasema- ja tuenta-arvojen saavuttamiseksi. [3, s. 204.]

2.2 Lyöntipaalutuskoneen esittely

Paalutuskonetta käytetään nimensä mukaisesti lyöntipaalutustyöhön. Koneen rakenne koostuu ylävaunusta, alavaunusta ja keilistä. Ylävaunu kääntyy 360 astetta. Ylävaunu ja alavaunu kytkeytyvät toisiinsa kääntökehän avulla. Keili rakentuu peruskeilistä ja lisäosista. Keilin kallistusta ohjataan sivukallistussylinterien ja etukallistussylinterin avulla. Vaakapuomi liikuttaa horisontaalisesti keiliä. Junttan PM20LC -paalutuskoneen maksimi kurotusetäisyys on 1500 mm. Paalutuskone on varustettu kahdella hydraulivinsillä. Vinssejä käytetään paalun ja järkäleen hallintaan. Ylävaunuun kuuluu lisäksi liikuteltava vastapaino, jolla voidaan säätää koneen vakautta [kuva 2]. [5.]



Kuva 2. Paalutuskoneen rakenne. Kuvassa on Suomessa yleisin käytetty paalutuskone Junttan PM20LC [5].

2.3 Paalutustyöluokat

Paalutusohjeessa 2011 on lueteltu paalutustyöluokat PTL1, PTL2 ja PTL3. Paalun rakenne määräytyy työkohteen paalutustyöluokan perusteella, joka huomioi työn aikaiset kuormitus- ja rasiutilat. Paalun rakenteen valitsemisessa erilaisiin työkohteisiin huomioidaan paalutustyötapahtuman lisäksi kohteen ominaisuudet, joita kuvataan geoteknisen luokan ja seuraamusluokan avulla. [3, s. 99.]

Ennen pohjarakenteiden suunnittelutyön aloitusta suoritetaan geotekniset tutkimukset, joiden päätarkoituksena tutkia pohja- ja pohjavesiolosuhteita rakennuspaikalla ja sen ympäristössä. Geoteknisiä tutkimuksia tarvitaan suunnitteluvaiheessa pohjatutkimusten aineistojen perusteella mallinnettavan maapohjan ominaisuuksien asianmukaiseen kuvaamiseen. Pohjatutkimusten perusteella valitaan rakennuskohteen geotekninen luokka, joka kuvaa rakennuspaikan pohjarakentamisen vaativuustasoa. [3, s. 35.]

Taulukko 1. Paalutustyöluokat PTL1, PTL2 ja PTL3 tavanomaisessa rakentamisessa [3, s. 100].

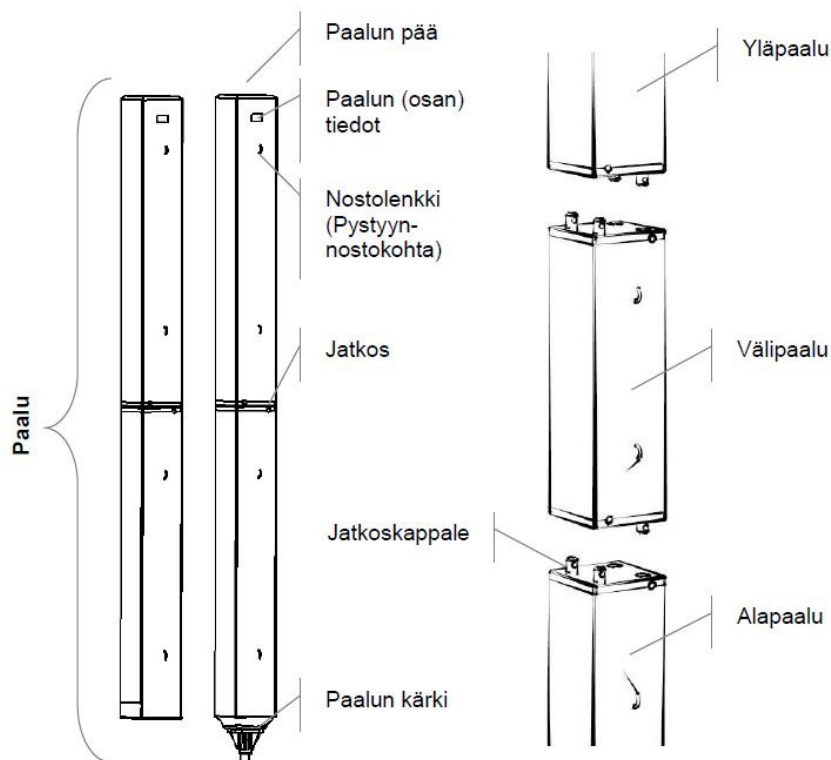
| Geotekninen luokka | Seuraamusluokka, ks. SFS-EN 1990 | | |
|--------------------|----------------------------------|---------------|---------------|
| | CC1 | CC2 | CC3 |
| GL1 | PTL1...(PTL3) | PTL2...(PTL3) | PTL2...(PTL3) |
| GL2 | PTL1...(PTL3) | PTL2...(PTL3) | PTL3 |
| GL3 | PTL2...(PTL3) | PTL2...(PTL3) | PTL3 |

Geoteknisen luokan 1 rakennuspaikka ei yleensä edellytä paaluperustuksien asennuksia maaperän hyvän rakenteen vuoksi. Mikäli rakennuskohteen olosuhteet tai tavanomaiset kuormitus- ja rasiutilat poikkeavat normaaleista, tulisi paalujen rakenteen vaatimukset sekä asennuksen erityisvaatimukset määrittää hankekohtaisesti. Paalujen valmistuksessa käytettäville materiaaleille ja valmistustöille on eri standardeissa paalunosien ja paalujen varusteiden valmistukseen liittyviä suoraan seuraamusluokasta riippuvia vaatimuksia. Paalujen valmistuksessa tulee huomioida rakennettavan kohteen ylin paalutustyöluokka. [3, s. 99–100.]

Suomessa tehtävissä paalutustöissä tavanomaisin paalutustyöluokka on PTL2. Paalutustyön tilaaja määrittelee rakennuskohteessa käytettävän paalutustyöluokan. Sen valintaan vaikuttavat maaperän ominaisuudet, kuten esimerkiksi savimaan leikkauslujuus. [6.]

2.4 Suomessa käytettävät paalutyypit

Suomessa yleisimmin käytettäviä maata syrjäyttäviä paalutyyppejä ovat teräsbetoniset lyöntipaalut, jotka ovat kooltaan 300x300 mm² ja 350x350 mm². Muita yleisimmin käytettäviä maata syrjäyttäviä paalutyyppejä ovat 250x250 mm²:n kokoiset teräsbetonipaalut, halkaisijaltaan suuremmat kuin 150 mm kokoiset puupaalut, avoimet paalut sekä teräspaalut. [6.]



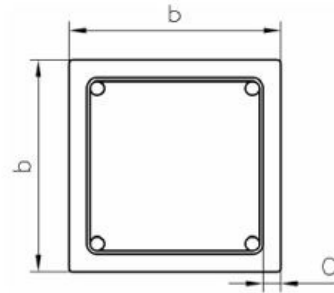
Kuva 3. Esivalmistetun teräsbetonipaalun rakenne [7 s. 5].

Teräsbetonipaalua [kuva 3] käytetään erilaisten rakennusten ja infrarakenteiden paalutukseen. Tavanomaisia käyttökohteita ovat liikenne- ja väylärakenteet sekä teollisuus- ja asuntorakentaminen, kuten kerros- ja pientalot. Teräsbetonipaaluja käytetään myös energiateollisuuden perustuksissa, esimerkiksi tuulivoimaloiden rakentamisessa. Paalut

on suunniteltu sadan vuoden käyttöiälle. Kalliota vasten lyötävään paaluun on asennettu kalliokärki, jonka tarkoituksena on suojata paalun alapäätä asentamisen aikaisia rasituksia vastaan, keskittää paalun kärkeen kohdistuvat rasitukset mahdollisimman tasaisesti paalun poikkileikkaukselle sekä estää paalun kärjen liukumista sivusuunnassa paalua lyödessä maahan. Geotekniikan suunnittelija määrittää käytettävän kalliokärjen tyypin. [7, s. 3.]

Tyypit, mitat ja materiaalit

b = paalun sivumitta
 C = betonipeitteen paksuus
 M = paalun massa
 A = paalun kärjen ja poikkileikkauksen ala
 A_u = paalun vaipan pinta-ala
 f_{ck} = betonin puristuskestävyys



Taulukko 1. Paalun perustiedot

| Paalun tyyppi | b [mm] | C [mm] | | M [kg/m] | A [mm ²] | A _u [m ² /m] | f _{ck,cube} [MPa] |
|---------------|--------|--------|-----------|----------|----------------------|------------------------------------|----------------------------|
| TB250a | 250 | 25 | +10 -5 | 156 | 62500 | 1,00 | 45 |
| TB250b | 250 | | | 156 | 62500 | 1,00 | 45 |
| TB300a | 300 | | | 225 | 90000 | 1,20 | 45 |
| TB300b | 300 | | | 225 | 90000 | 1,20 | 45 |
| TB300c | 300 | | | 225 | 90000 | 1,20 | 50 |
| TB350a | 350 | | | 307 | 122500 | 1,40 | 50 |

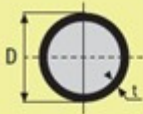
Kuva 4. Esivalmistetun lyöntipaalun ominaisuusjitietoja [6, s. 4].

Kuvan 4 paalun tyypit ovat Suomessa paalutustyössä käytettyjen paalujen rakennetta kuvaavat tyypit. Saman kokoluokan paalun eri tyypin erottamiseksi on käytetty kirjaimia. Paalut valmistetaan niiden piirustusten mukaisesti. Teräsbetonipaalujen elementtejä valmistetaan vakio pituuksina tasametrein. [7, s. 5.] Taulukossa 2 on esitetty eri paalutyypien elementtien vakio pituudet.

Taulukko 2. Paaluelementtien vakio pituudet [6, s. 5].

| Tyyppi | TB250a | TB250b | TB300a | TB300b | TB300c | TB350a |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Yksimittainen paalu | 3–12 m | 3–15 m | 3–12 m | 3–15 m | | 3–14 m |
| Alapaalu, jatkettava | | | | | | |
| Välipaalu | | | | | | |
| Yläpaalu, jatkettava | | | | | | |

Suomessa käytetään esivalmistettujen betonipaalujen lisäksi teräsputkipaaluja. Teräsputkipaalut valmistetaan tavallisesti kuumavalssatusta teräsnauhasta joko pituus- tai kierresaumahitsaamalla. SSAB on tunnetuin teräsputkipaalujen valmistaja Suomessa. SSAB:n tuotemerkki on RR-paalu. Maata syrjäyttäviä paalutyyppejä, joita yritys toimittaa, ovat lyötävät eRR-energiapaalut, RR-pienpaalut, RR-suurpaalut ja injektoidut RR-pienpaalut. Toinen tunnettu teräsputkipaalujen valmistaja on HTM, jonka tuotemerkki on HT-paalu. Pienpaalut ovat halkaisijaltaan 30 mm:stä 300 mm:iin, ja niiden valmistusmateriaali on tavallisesti terästä tai pallografiittirautaa.



| Paalu | D [mm] | t [mm] |
|------------|--------|--------|
| RR75 | 76,1 | 6,3 |
| RR90 | 88,9 | 6,3 |
| RR115/6,3 | 114,3 | 6,3 |
| RR115/8 | 114,3 | 8,0 |
| RR140/8 | 139,7 | 8,0 |
| RR140/10 | 139,7 | 10,0 |
| RR170/10 | 168,3 | 10,0 |
| RR170/12,5 | 168,3 | 12,5 |
| RR220/10 | 219,1 | 10,0 |
| RR220/12,5 | 219,1 | 12,5 |

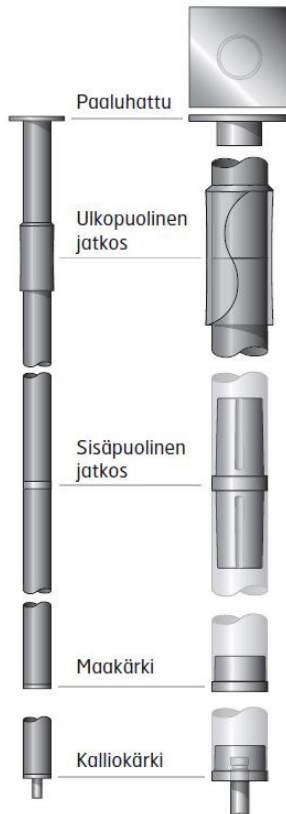
Kuva 5. RR-paalutyypit poikkileikkaussuureineen [7, s. 6].

Kuvassa 5 on esimerkki, kuinka paalutyypien poikkileikkaussuureet esitetään RR-paalutyypien paalutusohjeessa. D on halkaisija ja t on seinämäpaksuus.



Kuva 6. RR-suurpaalut [8].

RR-suurpaaluja käytetään silta-, liikenneväylä-, ja ratahankkeissa, satamalaitureissa, toimisto- ja liikerakennuksissa, teollisuusrakennuksissa sekä energiateollisuusrakentamisessa, kuten tuulivoimaloissa. Paalut voivat parhaimmillaan olla 36 metriä pitkiä ja jatkokohitsattuina 45 metriä pitkiä. Suurpaalun halkaisija vaihtelee 40 cm:n ja 122 cm:n välillä. [8.]



Kuva 7. RR- ja RRs-paalutyyppi [8].

RRs-paalut ovat erikoislujia, joiden valmistuksessa on käytetty lujempaa teräslajia. RRs-paalutyyppiä on saatavilla muun muassa seuraavina kokoluokkina:

- 115 cm / 8 m
- 125 cm / 6,3 m
- 140 cm / 8 m
- 140 cm / 10 m
- 170 mm / 10 m.

Mitat on esitetty paalujen tuoteselostuksessa siten, että selostuksesta ilmenee paalun halkaisijan ja teräspaalun seinämäpaksuuden tiedot. [7, s. 47.]

2.5 Mittaustyö lyöntipaalutuksessa

Suunnittelija lähettää työmaan käyttöön PDF-, DWG- ja Excel-tiedostoja. Suunnitelma-aineistot ovat harvemmin täysin valmiita kun suunnittelija lähettää ne paalutustyöurakoitsijalle. DWG-kuvien ynnä muiden sähköisten kuvien koordinaatitot yleensä eroavat työmaalla käytetyistä koordinaatistoista. DWG-kuvien laatu on vaihtelevaa ja uusien kuvien revisioita voi tulla useampi kappale työn aikana. Suunnitelmista puuttuu yleensä runsaasti tietoja. Mittaustyönjohdon on kyettävä näkemään suunnitelmien puutteet, ja heidän täytyy olla niistä yhteydessä suunnittelijaan, jotta suunnitelmat tulevat kuntoon. Mittaustyöhenkilö luo työn aluksi mittaustiedoston käyttäen hyödyksi suunnittelijalta saatuja paalutustyökuvaa ja paalutaulukoita. Paalutustyökuvan paalut ja rakennuksen nurkat muunnetaan samaan koordinaatistoon. Lisäksi aineiston mittasuhteet on tarkistettava rakennuksen päämittojen mukaan. Ennen mittaustiedoston siirtoa tehdään tarkastus aineiston korkeusjärjestelmän oikeellisuudesta. [10; 11.]

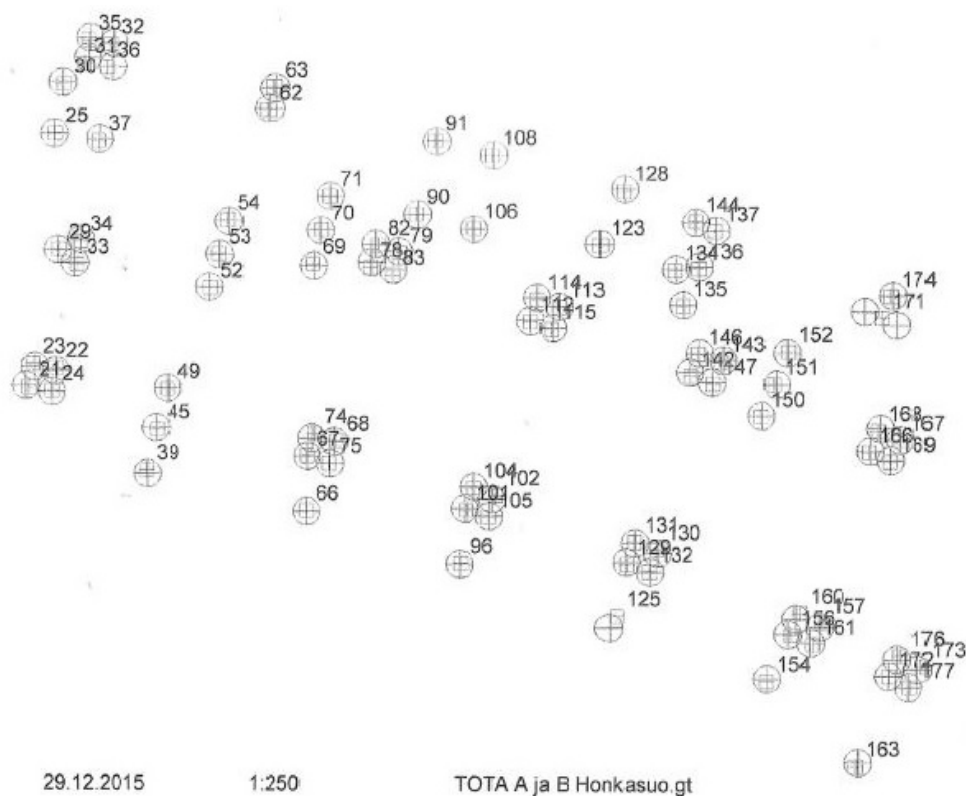
Mittaushenkilö muokkaa sähköisistä suunnitelma-aineistoista käyttöön GT- ja GSI-tiedostoja. Mitatut toteumatiedot luovutetaan GT-muodossa työnjohdolle. Leican mittauslaitteilla varsinainen mittaustyö tehdään GSI-formaatilla. Trimblen mittauslaitteissa käytetään ARE-, GDM-, CSV- tai DXF-tiedostoformaatteja. Suunnittelijalle lähetetään tavallisesti DWG-muotoinen toteumakuva paalutustyön päättyessä. Tiedostoformaattien käyttö riippuu käytettävistä mittauslaitteista ja tietokoneohjelmistoista. [10.]

Mittaustöiden aloituksen yhteydessä työmaalle tuodaan rakennuksen nurkkapisteet ja työmaan korkeustieto valmiiksi kaupungin mittausosaston toimesta. Mittaustiedoston sekä rakennuksen nurkkien avulla suoritetaan työmaalla takymetrin asemointi ja luodaan työmaalle työmaakoordinaatisto. Tässä vaiheessa mitataan työn aikana käytettävät apupisteet, jotka mitataan välittömästi asemoinnin jälkeen samalta asemapisteltä. Työmaalle luodaan apupisteitä, koska varsinaiset rakennuksen nurkkapisteet yleensä tuhoutuvat. [10.]

Paalujen sijaintien merkitsemistyö voi tämän jälkeen alkaa. Paalujen suunniteltujen sijaintien merkitsemistyö suoritetaan aluksi maalimerkinnoilla. Tämän jälkeen merkintöjen

kohtaan lyödään noin 40 cm pitkä harjateräs, koska muuten maalimerkinnät häviävät, kun koneella ajetaan ja paaluja siirretään työkohteessa. Maanpinta voi sijaita neljä metriä paalun oikeaan katkaisutasoon nähden ylä- tai alapuolella. Vinopaalut on myös lyötävä oikeaan sijaintiin. Maanpinnan korkeudesta ja paalun vinoudesta riippuu, kuinka paljon merkitsemiskohtaan täytyy ottaa ennakkoa, jotta paalu olisi suunnitellussa katkaisutasossa oikeassa sijainnissa. Vinopaaluissa paalun keskipisteen sijaintitieto muuttuu korkeuden mukaan. Vinopaalut tavallaan tähdätään oikeaan pisteeseen ennen paalun lyönnin aloittamista. Lyödessä paalu on oltava oikeassa lyöntikulmassa ja lyöntisuunnan on oltava oikea. Lopuksi suoritetaan paalujen katkaisutason merkintä punaisella viivalla. Paalun katketessa suunnittelijalta täytyy pyytää muutos suunnitelmaan. [10.]

Mittaustyön päätteeksi on kaksi eri tiedostoa, jotka ovat suunniteltujen sijaintien ja toteutuneiden sijaintien tiedostot. Toteutuneiden sijaintien tiedoista kirjoitetaan GT-tiedostoformaatti, minkä jälkeen tiedot voidaan kyseisessä muodossa lukea paalutustyönjohtajan laatimaan paalutuspöytäkirjaan. [10; 11.]

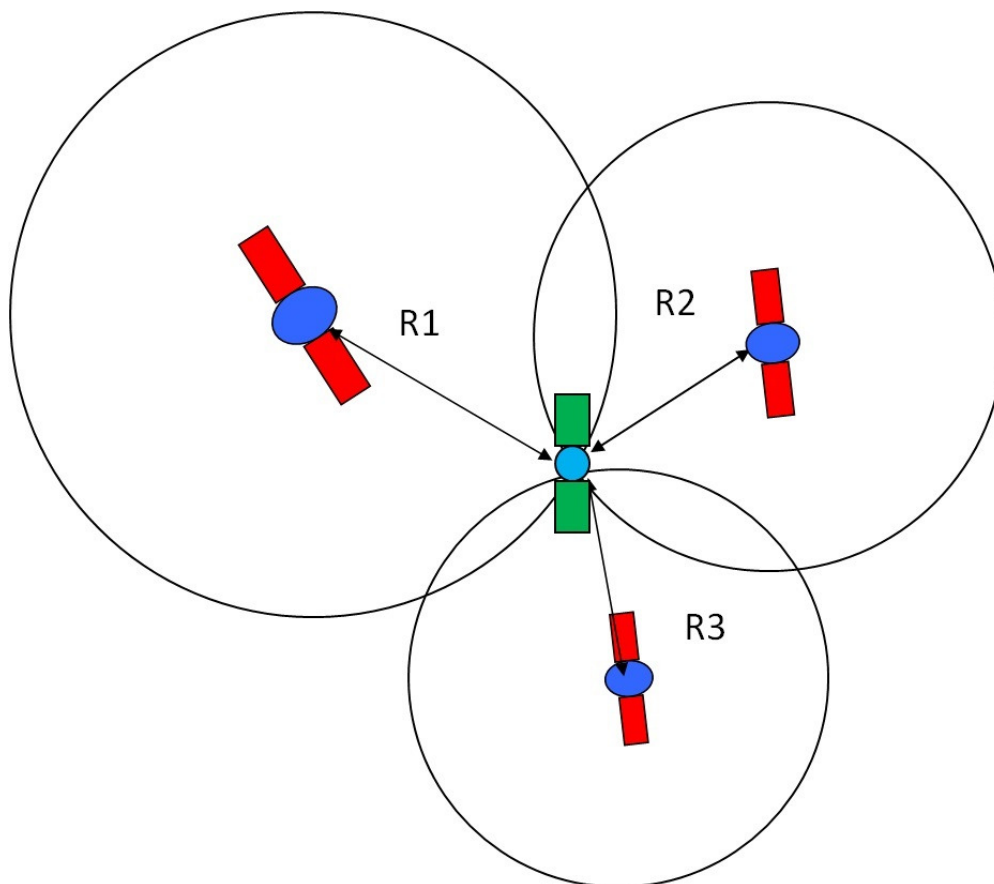


Kuva 8. Paalutuspöytäkirjaan liitettävästä tarkekuvasta käyvät ilmi paalujen numerot sekä paalujen visuaaliset sijainnit toisiinsa nähden [12].

3 Satelliittipaikannusmenetelmät

3.1 Absoluuttinen paikannus

Satelliittimittaus on sijainnin määrittämistä eri satelliittipaikannusjärjestelmien avulla. Absoluuttisella satelliittipaikannusmenetelmällä [kuva 9] määritetään sijainti mittaamalla etäisyydet vastaanottimen havaintopaikasta vähintään kolmeen satelliittiin. Vastaanottimen kellovirheen korjaamiseksi tarvitaan havainto vielä neljännessä satelliitista. Etäisyyden mittaus perustuu satelliitin lähettämään signaalin kulkuajan mittaamiseen C/A-koodihavaintojen (Coarse Acquisition) avulla satelliittisignaalin viivytystekniikkaa käyttäen. Etäisyys satelliittiin selviää signaalin kulkuajasta, joka puolestaan selviää verratessa vastaanotettua koodia auton navigaattorin generoituun koodiin. Havaintijan paikka on satelliittien ja etäisyyksien määrittämien pallopintojen leikkauskohdassa. Absoluuttisen paikanmäärityksen tarkkuus on alle 10 metriä. Esimerkiksi autojen navigaattorit käyttävät sijainnin määrittämiseen absoluuttista paikanmääritysmenetelmää. [23.]



Kuva 9. Absoluuttisen paikanmäärityksen periaate (<http://www.nasa.gov>).

3.2 Suhteellinen paikannus

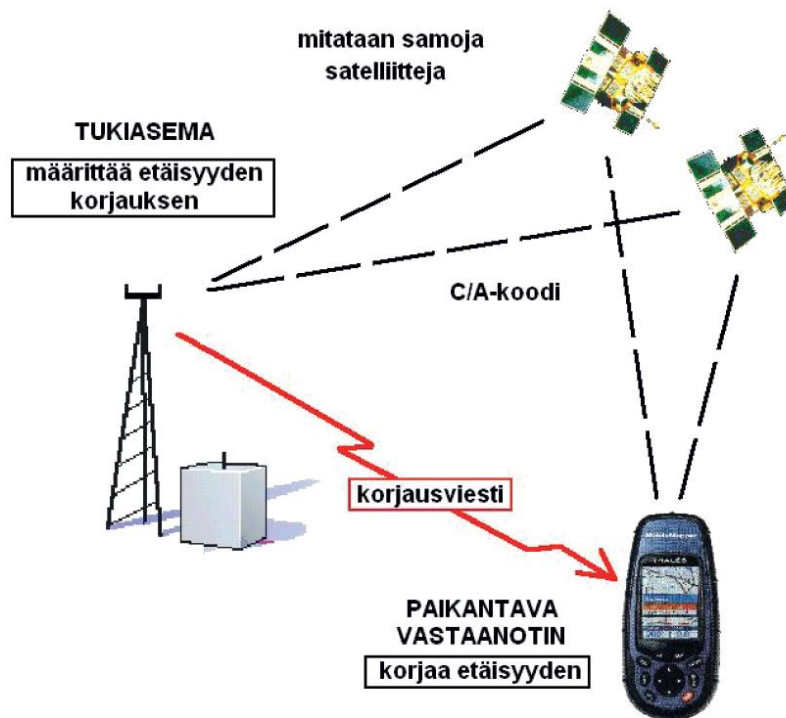
Suhteellisessa paikannusmenetelmässä tarvitaan vähintään kaksi vastaanotinta. Yksi vastaanottimista sijaitsee koordinaateiltaan tunnetulla pisteellä, ja toisella niin sanotulla liikkuvalla vastaanottimella suoritetaan mittaustyö. Suhteellinen paikanmääritys perustuu satelliittien kantoaallon vaihe-eron mittaamiseen ja vastaanottimien välisen koordinaattieron laskentaan. Paikannusmenetelmää voidaan käyttää, jos mittaustarkkuudeksi riittää senttimetrin tarkkuus. Suhteellisen satelliittimittausmenetelmän käyttö edellyttää yleensä häiriötöntä yhteyttä satelliitteihin ja pidempää mittausaikaa. [23.]

3.3 Differentiaalinen paikannus

Differentiaalinen paikannus on menetelmä, joka pienentää paikanmäärityksen virheitä differentiaalikorjauksen avulla. Menetelmässä etäisyydet satelliitteihin mitataan absoluuttisen paikannusmenetelmän tapaan C/A-koodin avulla. Menetelmä perustuu mittamiseen koodien vaihe-eron avulla. Havaintopaikan ja satelliitin tunnettuja koordinaatteja vastaavan etäisyyden laskenta tapahtuu samaan aikaan tukiaseman mitatessa etäisyyttä satelliitteihin [kuva 10]. Laskettua etäisyyttä pidetään etäisyyden oikeana arvona. Mitatun ja lasketun etäisyyden erotuksena saadaan havainnon virhe. Tukiasema välittää määrittämänsä virheet paikantavalle vastaanottimelle, joka korjaa mittaamiaan etäisyyksiä vähentämällä virhearvon mitatusta etäisyydestä.

Etäisyyksiin tehtävää korjausta (-virhe) kutsutaan differentiaalikorjaukseksi. Menettelyllä voidaan korjata tukiaseman ja paikantavan vastaanottimen yhteiset virheet, jotka ovat havaintohetken systemaattisia virheitä. Yhteiset virheet aiheutuvat lähinnä valvontalohkosta, satelliittilohkosta ja ilmakehästä. Korjattujen etäisyyksien avulla paikantavan vastaanottimen sijainti saadaan laskettua oleellisesti tarkemmin kuin absoluuttisella paikannuksella. [24, s. 300.]

Differentiaalisessa paikannuksessa tukiasema poistaa sijainnin laskentaan liittyvät virheet, joten siksi mitatut koordinaattitiedot ovat tarkempia kyseisellä menetelmällä. Kyseiseen paikannusmenetelmään havaitsija tarvitsee tietoliikenneyhteyden korjauspalvelun tarjoajaan. [24, s. 300.]



Kuva 10. Differentiaalisen paikannmäärityksen periaate [23, s. 300].

3.4 RTK-mittaus

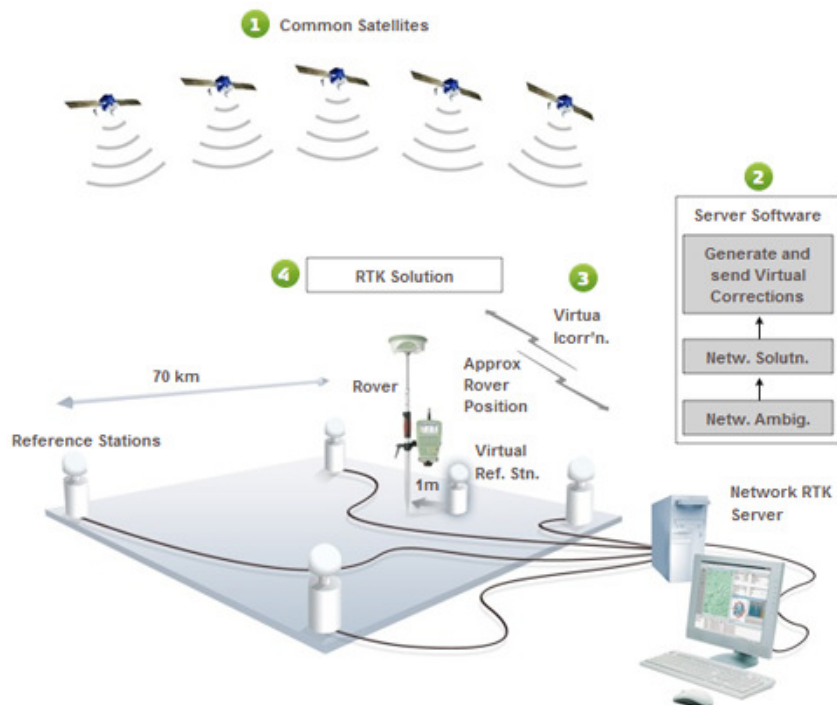
Tässä insinööriyössä käsiteltävän 3D-koneohjausjärjestelmän toiminta perustuu satelliittipaikannukseen ja RTK-mittaukseen, joka on suhteellisen paikannuksen sovellus sekä mittaus- ja kartoitustekniikassa käytettävä perusmenetelmä. RTK-mittaus on menetelmä, jossa paikannin suorittaa paikannmäärityslaskennat reaaliajassa ja koordinaatit saadaan heti mittaushetkellä. Perinteisessä RTK-mittauksessa käytetty tukiasema on sijoitettu tunnetulle pisteelle, joka lähettää mittaamansa vaihehavainnot paikantavalle liikutettavalle vastaanottimelle. Maanrakennustyökoneissa, joihin on asennettu koneohjausjärjestelmä, käytetään RTK-mittausmenetelmää. [23.]

3.5 Verkko-RTK-mittaus

Reaaliaikaista kinemaattista mittausmenetelmällä mittauksia voidaan suorittaa melko rajallisella alueella tukiaseman ympäristössä ilmakehän ionosfääriin liittyvien virheiden ja häiriöiden vuoksi. RTK-mittauksen toimintasäde on noin 20 kilometriä, jonka ulkopuolella mittaustarkkuus ei ole enää vaadittavalla tasolla.

Ilmakehään liittyviä virheitä on kuitenkin mahdollista hallita paremmin, kun yhden tukiaseman sijasta käytetään tukiasemien verkostoa. Kun RTK-mittausta tehdään tukiasemaverkossa, puhutaan verkko-RTK-mittauksesta. Tukiasemaverkon avulla voidaan mallintaa ilmakehän virheitä niin, että ionosfääriin ja troposfääriin liittyviä virheitä pystytään korjaamaan. Tämä mahdollistaa entistä pidemmät etäisyydet tukiasemiin, parantaa mittauksen luotettavuutta ja nopeuttaa mittauksia. [24,s. 320.]

Suomessa on käytössä kaksi tunnettua tukiasemaverkostonratkaisua, joita ovat Trimblen VRS- ja Leica Geosystems Oy:n tarjoava SmartNet-järjestelmä. Verkko-RTK-tukiaseman tarkoitus on minimoida etäisyydestä johtuvien virheiden vaikutusta vastaanottimeen [kuva 11]. Kun etäisyys tukiaseman sekä liikkuvan vastaanottimen välillä kasvaa useisiin kymmeniin kilometreihin, ilmakehän olosuhteen saattavat vaihdella hyvinkin paljon tukiaseman ja vastaanottimen välillä. [25.]



Kuva 11. Verkko-RTK-paikannuksen periaate (www.smartnetna.com).

Tukiasemaverkosto koostuu laskentakeskuksesta ja kiinteistä tukiasemista. Laskentakeskus määrittää tukiasemien mittaamien havaintojen perusteella tarvittavan korjaustiedon ja korjausviesti lähetetään mobiili-internetyhteyttä käyttäen vastaanottimelle. [24, s. 321.]

4 Koneohjauksen käyttö lyöntipaalutuksessa

4.1 GNSS-mittauslaitteiston toimivuus Novatronin koneohjausjärjestelmässä

YIT Rakennus Oy:n useassa kaivinkoneessa ja stabilointikoneessa on Novatron Oy:n valmistama koneohjausjärjestelmä. Laitteiden käytössä on havaittu systemaattisia virheitä ja virheellisen koordinaattijärjestelmän käyttöä. Muita järjestelmien käyttöön liittyviä ongelmia ovat virheellinen tukiaseman kalibrointi, puutteellinen geoidimalli, koordinaatioon yhteensopimaton koneohjausmalli. Lisäksi on esiintynyt olosuhdevirheitä, kuten esimerkiksi työn suorittaminen katvepaikassa sekä yhteyskatkoja. [31.]

4.2 RTK-paikannusmenetelmän käyttö työkoneissa

GNSS-mittaukseen liittyy työnaikaisia välttämättömiä toimenpiteitä, jotta varmistetaan järjestelmän avulla tehdyn paalutustyön laatu. Tarkkeiden mittauksia varten on luotava ohjeistus, jota noudattamalla tarkkeita tulee mitattua järjestelmällisesti koko paalutustyön aikana. Lisäksi työkoneen kuljettajan on valvottava laitteiston ilmoittamia satelliittimittaustarkkuuslukuja, jotka kertovat kuljettajalle GNSS-laitteiston toimintatarkkuudesta. Työkonetta, jossa on ainoastaan yksi satelliittiantenni, on käännettävä säännöllisin väliajoin noin 45 astetta, jotta järjestelmä pystyy määrittämään antennin suunnan suhteessa koneen pyörähdysakseliin. Tämän jälkeen puomi asetetaan jälleen saman tarkistuspisteen päälle, jossa se oli ennen koneen kääntämistä. Jos puomin kääntämisen jälkeen laitteiston mittaustarkkuus on vaatimusten mukaisissa toleransseissa, paalutustyötä voidaan jatkaa. [32]

Novatron-koneohjausjärjestelmissä käytetään SmartNet- ja VRS-verkkokorjauspalvelua. Yrityksellä on myös oma verkkokorjauspalvelun tarjonta, jonka käyttö on Suomessa ja muissa maissa vielä vähäistä. [32.]

Työkohteen, jossa GNSS-laitteistoa tullaan käyttämään paalutustyössä, tulee olla avoin, jolloin kaikkien paikantamiseen tarvittavien satelliittien seurannan voi suorittaa häiriöttä. Tukiaseman on sijaittava riittävän lähellä. Normaalisti YIT:n työmaalle sijoitetaan oma tukiasemakontti, jolloin voidaan varmistua paikannusjärjestelmän toimivuudesta.

4.3 Tarketiedot ja mittauslaadun dokumentointi koneohjausjärjestelmän avulla

Novatronin koneohjausjärjestelmä mahdollistaa työkoneen kuljettajalle toteumatietojen keräämisen työn suorittamisen yhteydessä. Satelliittiyhteyden ollessa heikko tai käyttökatkoksen esiintyessä järjestelmä ilmoittaa kuljettajalle huonosta satelliittipaikannustarkkuudesta. Koneohjausjärjestelmän tuottamasta mittausraportista ei ilmene mittaustarkkuutta yksittäisen pisteen mittaushetkellä. Koneohjausjärjestelmän valmistaja ei ole nähnyt tarvetta yksittäisen pisteen tallennuksen mittaustarkkuuden dokumentoinnille, jos yleinen mittaustarkkuusluokka on tiedossa. [32.]

4.4 Koneohjauksen nykytilanne lyöntipaalutuksessa

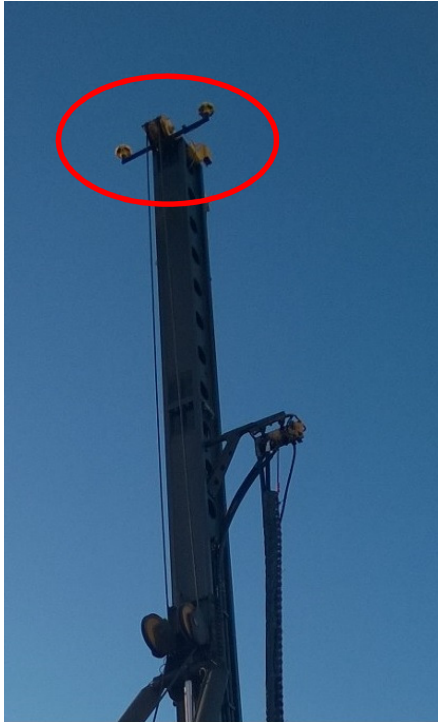
Koneohjauksen käyttö lyöntipaalutuksessa on Suomessa vielä vähäistä. Laitteistoja on asennettuna vasta kolmeen paalutuskoneeseen. [32; 33; 34.]

Niskasen maansiirto Oy on tehnyt koneohjauksen avulla onnistuneita pystypaalujen asennuksia. Heidän lyöntipaalutuskoneessaan on käytössä Leica Geosystems'in koneohjausjärjestelmä, jonka kehitystyö on parhaillaan käynnissä. Sen sijaan vinopaaluja ei ole vielä asennettu kyseisen laitevalmistajan koneohjausjärjestelmää hyödyntäen. [34.]



Kuva 12. Novatron-koneohjausjärjestelmän antennit on asennettu lyöntipaalutuskoneen takaosaan.

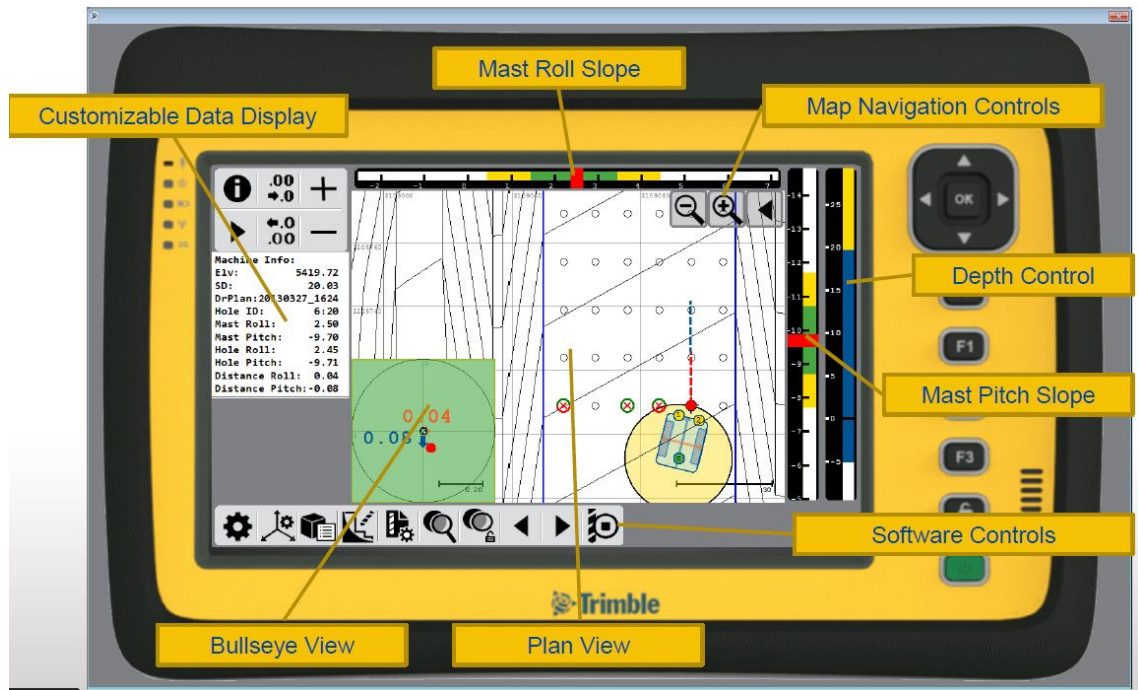
Trimblellä on toimiva koneohjausjärjestelmäratkaisu lyöntipaaluksessa. Trimblen koneohjausjärjestelmän antennit on asennettu keilin yläpäähän [kuva 13], jolloin lyötävien paalujen mittaustarkkuus on hyvä, koska paalutuskoneen niveliin asennettujen antureiden määrä on pienempi verrattuna järjestelmiin, joissa satelliittipaikannusantennit on asennettu koneen takaosaan kuvan 12 mukaisesti.



Kuva 13. Trimble-koneohjausjärjestelmän antennit on asennettu keilin yläosaan.

Otaniemen työmaavierailun yhteydessä haastatellun Pirkan Rakentajapalvelu Oy:n paalutuskoneen kuljettajan mukaan työmaan mittauspalvelua on tarvinnut ainoastaan paalujen katkaisutasojen merkinnässä sekä paalujen toteumatietojen kartoittamiseen. Paalutuskoneen kuljettaja näkee kuvan 14 mukaisesti suunniteltujen paalujen paikat, paalutuskoneen nykyisen sijainnin työkohteessa, etäisyyden ja suunnan seuraavaan kuljettajan valitsemaan asennettavaan paaluun sekä vinopaalujen osalta keilin asennon suhteessa asennettavan paalun suunnitelmanmukaiseen kulmaan. Paalut on mallinnettu koneohjausmalliin vektorimuotoisina viivoina, jolloin koneohjausjärjestelmä voi laskea tarvittavan ennakon maanpinnan nykyisen tason suhteen. Koneohjausmallien ja järjestelmän tuottama toteumatietoaineiston tiedonsiirto toteutetaan pilvipalvelua käyttäen. Trimblen koneohjausjärjestelmän ja iPiler-paalutusohjelman välinen tiedonsiirtojärjestelmä on vielä kehitysvaiheessa. Paalutustyönjohdon on tuotettava paalutuspöytäkirjat vielä

perinteisellä tavalla kokoamalla koneohjausjärjestelmän ja paalutusohjelman tuottamia tietoja yhteen. [33.]



Kuva 14. Trimble-koneohjausjärjestelmän näyttö paalutuskentästä. Näkymä DPS900-paalutusohjelmistosta [30, s. 15].

Trimblen tarjoama koneohjausjärjestelmä paalutusta varten tuottaa toteumatiedot asennustyön yhteydessä. Toteumatiedoista tallentuu muun muassa järjestelmän laskeman paalun tavoitetason ja paalun yläpään koordinaatit. Tasokoordinaatit ovat olleet toleranssien sisässä työkonenukijettajan mukaan. Korkeus on sen sijaan vaihdellut 5–10 cm takymetrilla mitatusta arvosta. Työmaalla tehtävää paalutuskoneen paikannusjärjestelmän toiminnan tarkastusta varten mittaushenkilö mittaa asennettujen paalujen päihin tarkistuspisteitä, joihin paalutuskoneen järkäle voidaan sijoittaa sekä tarkastaa, että koordinaattiarvot ovat oikein. Järjestelmä mittaa sijaintia järkäleen keskikohtaan ja korkeuden mittauksessa on huomioitu iskutyynyn paksuus. Korkeus mitataan iskutyynyn pohjasta. Todellinen korkeustieto muuttuu sitä mukaa kun iskutyyny kuluu, mutta kulumista ei ole paalutustyössä huomioitu. [33.]

Novatronin GNSS-mittauslaitteiston käytettyjä satelliittimittausmoodeja ovat L1 C/A-, L2E-, L2C-, L5-, G1-, G2-, G2P-, G3 CDMA-, B1- ja B2-signaalisia RTK-mittauksia. GNSS-laitteiston toimivuus on nykyään hyvin luotettavalla tasolla. Katkoksia esiintyy lä-

hinnä käyttöympäristön luonnollisista ja mekaanisista katveista ja radiosignaalin katveista. Verkkokorjauspalveluntarjoajan mukaan yhden tukiaseman tarkkuusero paikalliseen tukiasemaan on tasossa 0.008m + 1 ppm ja korkeudessa 0.015m + 1ppm. Tyypillisesti verkkokorjauksen tarkkuus on heikompi kuin hyvin sijoitellun paikallisen tukiaseman tarkkuus. Laitteiston tärinänkestokyvyn määrittää käytännössä valittu antennityyppi. Paalutuskoneissa käytetään mekaanisesti vahvistettuja antennoja. Novatronin lyöntipaalutuskoneen koneohjauslaitteiston mittaussovelluksen kenttätestejä suoritetaan parhaillaan. Novatronin X-Site-käyttöjärjestelmää ei ole vielä integroitu Junttanin iPiler-ohjelman kanssa. [31.]

5 Tiedostoformaatit mittauslaitteissa ja koneohjausjärjestelmissä

5.1 Geotrim ja Trimble Access -ohjelmiston tiedostoformaatit

Geotrim on Trimblen maan- ja rakennusmittauslaitteistojen sekä ohjelmistojen maahantuojia. Lisäksi Geotrim tuo maahan paikkatieto- ja maataloussovelluksia. Yritys tarjoaa Trimnet VRS-palvelua GNSS-mittauksia varten, vuokraa mittauslaitteita ja tukee asiakkaita laitteiden käytössä. [26.]

Geotrimin maahantuoman Trimble Access -mittausohjelmassa kaikki mittaukset tallentuvat JOB-tiedostoformaattiin. Access-ohjelmasta voidaan kirjoittaa ASCII-muotoisia tekstitiedostoja melkein missä formaatissa tahansa. Esimerkiksi GT- ja CSV-muotoiset tiedostot ovat yleisimpiä ja niitä pystyy käyttämään useimmissa CAD-pohjaisissa ohjelmissa. Access-ohjelmaan pystyy lukemaan pistetietoja eri ASCII-muodoissa. Taustakarttana voi käyttää muun muassa DXF-, SHP-, JPG- tai BMP-muodossa olevaa aineistoa. DXF-tiedostoformaatti on näistä kaikista käytetyin. Accessissa voi käyttää tiemittaukseen Trimblen tukemia RXL- ja DC-tiedostomuotoja. [27.]

5.2 Sitech Finland

Sitech Finland on Trimblen infra-alan ratkaisujen maahantuojia. Maahantuojia on osa Wihurin teknistä kauppaa ja se tarjoaa 2D- ja 3D-koneohjauksia yleisimpiin työkonetyypeihin, GNSS- ja takymetri-mittauslaitteita sekä ohjelmistoja maanmittausalan asiakkaille. [28.]

5.2.1 Tiedostoformaatit SCS900- ja Trimble BC HCE -ohjelmistolle

SCS900-mittausohjelmisto tukee DXF- ja TTM-pintamalleja sekä PRO-tie- ja -pintamalleja. Kiintopistetiedosto on tavanomaisesti CSV-muodossa. Edellä mainittuja tiedostoformaatteja on siis mahdollista viedä suoraan SCS900-mittausohjelmistoon. Toinen tapa on tuoda lähtöaineistot Trimble Business Center Heavy Civil Construction -ohjelmistoon, jäljempänä Trimble BC HCE, aineiston valmisteluja varten, jonka jälkeen valmis aineisto synkronoidaan SCS900-ohjelmistoon. Tällöin käyttäjän ei tarvitse välittää tiedostotyypistä, koska ne tulevat automaattisesti oikein. [30.]

Trimble BC HCE -ohjelmisto tukee seuraavia tiedostoformaatteja:

- DXF
- DWG
- DGN
- XML
- Inframodel3
- GT
- CSV
- TXT
- VGP
- LAS
- XYZ
- IFC
- SKP
- KOF
- GEO
- LLC
- LIN
- PRF

- SKV
- Novapoint. [30.]

Lisäksi ohjelmisto tukee lukematonta määrää Trimblen omia tiedostoformaatteja, joita ovat esimerkiksi JOB, SPJ, DC, RXL ja T0X. [30.]

5.2.2 3D-koneohjausohjelmisto GCS900

3D-koneohjausohjelmisto GCS900 on luotu kaivinkoneita, höyliä, puskukoneita, tiivistyskoneita, asfaltinlevittäjiä ja -jyrsimiä varten. Se käyttää Trimblen omia binääriformaatteja. Näitä ovat muun muassa SVD-pintamallit ja SVL-viivatiedostot. SVD- ja SVL-muotoiset tiedostoformaatit saadaan ulos Trimble BC HCE -ohjelmistosta. Inframodel3-yhteensopivuus tulee GCS900-ohjelmiston kautta. Syynä binääriformaatin käyttöön on tehokkuus. [29.]

5.2.3 3D-koneohjausohjelmisto DPS900

3D-koneohjausohjelmisto DPS900 on suunniteltu poravaunuille ja paalutuskoneille. DPS900 käyttää VCL-muodossa olevia pora- ja paalukaavioita. Ohjelmisto tukee myös IREDES-muodossa olevia porakaavioita. Pora- ja paalutuskaavioiden tekemiseen tarvittavaa VCL-formaattia voi kirjoittaa Trimble BC HCE -ohjelmalla, mutta IREDES-formaatin kirjoittamista varten tarvitaan kaivosalan erillinen ohjelmisto. [29.]

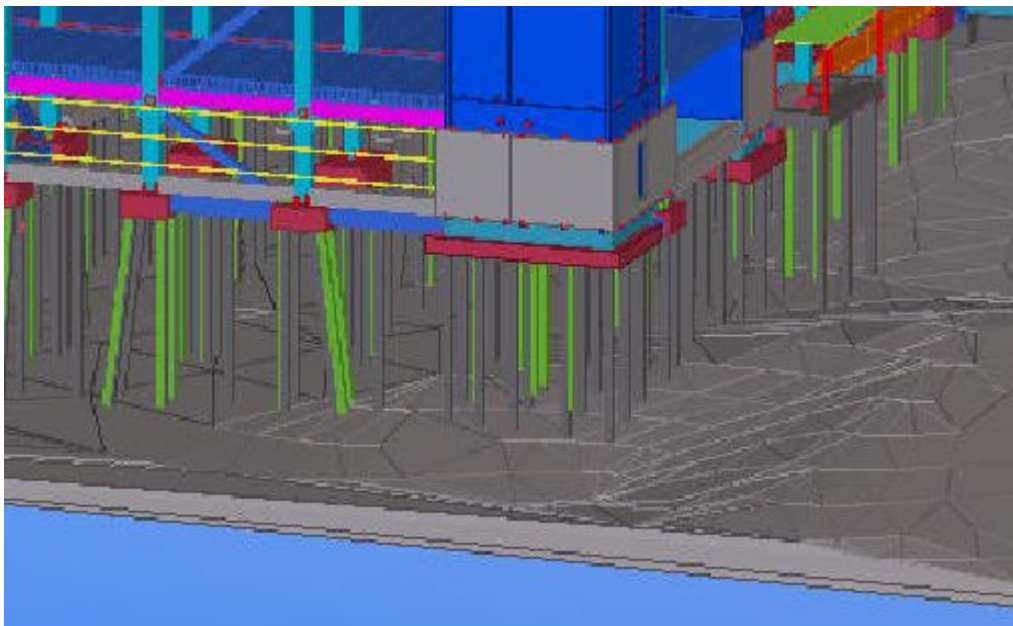
5.3 Novatron

Novatron on Suomessa valmistettu ja kehitetty koneohjausjärjestelmä, jota hyödyntävät useat maarakennusyritykset. Novatronin koneohjausjärjestelmien yhteensopivia tiedostoformaatteja ovat LandXML, DXF, Inframodel3, GT, LIN ja VGP. [31.]

6 Lyöntipaalutuksen suunnitelma-aineiston käsittely suunnittelutoimistoissa

6.1 Yleistä paalutuskentän suunnittelusta

Kuten paalutustyöluokista kertovan kappaleen yhteydessä selvitettiin, paalutustyön geotekniikan suunnittelu käynnistyy pohjatutkimusten suorittamisesta ja niiden tulosten perusteella luotavan maaperämallin tekemisestä [kuva 15].



Kuva 15. Maaperätutkimusten perusteella on luotu kolmioverkkotyypinen pintamalli [19].

Pohjatutkimuksia on tehtävä suunnittelun eri vaiheissa siten, että niiden tarkkuus vastaa kunkin suunnitteluvaiheen vaatimuksia. Rakennesuunnitelma tehdään usein juuri ennen rakentamista tai rakennusurakan aikana. On tärkeää, että jo aikaisempien suunnitelma- vaiheiden yhteydessä tehdään laajat pohjatutkimukset. Muun muassa pohjatutkimuksia varten valittujen tutkimuspisteiden paikalleen mittaamiselle asetetaan vaatimuksia. [15, s. 16.] Tarkkojen pohjatutkimusten tarkoituksena on mahdollistaa mahdollisimman edullisten pohjanvahvistusmenetelmien sekä niiden massojen ja kustannuksien määrittämisen varhaisissa suunnitteluprosessin vaiheissa. Lisäksi pohjatutkimusten tavoitteena on arvioida leikkausmassojen, eli kaivettavan maan, määrä ja käyttökelpoisuus rakentamiseen. [17, s. 25.]

Paalutuskentän suunnittelu perustuu yksittäisiin paaluihin kohdistuvien kuormien suuruuksien laskemiseen. Suunnittelun tavoitteena on kohdistaa yksittäiselle paalulle optimaalinen kuorma, jolloin sen rakenteellinen kestävyys on riittävä ja maahan asennetut paalut kykenevät kannattamaan paalulaatan päälle rakennettavien rakenteiden aiheuttamia kuormia. [18.] Geotekniikan suunnittelija tekee tai pyytää konsultin tekemään rakennuspaikan perustamistapalausunnon, josta ilmenee muun muassa paalujen tyypit, rakennuspaikan sijainti, tehdyt geotekniset tutkimukset ja suunnitteluratkaisut. Perustamistapalausunto tehdään yhteistyössä rakennesuunnittelijan kanssa. Geotekniikan suunnittelija tekee tarvittaessa paalutusjärjestyksen, jos voidaan epäillä maaperätutkimusten osalta huokosvedenpaineen nousevan paalutettavalla alueella liian suureksi ja on olemassa vaara paalutettavalla alueella sijaitsevien kaivantojen reunojen sortumisesta. [21.]

Geotekniikan suunnittelija toimittaa rakennesuunnittelijalle pohjatutkimusaineiston, tiedot käytettävistä paalutyypeistä sekä kantavuustiedot paalujen osalta. Rakennesuunnittelija tekee paalukartan, jossa on kerrottu suunniteltujen paalujen paikat sekä katkaisutasot. Talonrakennuskohteissa arkkitehdilta tarvitaan tiedot talon sijainnista ja lattiapinnan tasosta. LVI-suunnittelija tekee LVI-asemapiirustuksen, josta ilmenee putkien ja pumppaamoiden sijainnit ja tasot niiden perustamistapojen määrittelyä varten. Rakennuskohteen maapohjan tyyppi ja kaivantojen täyttämässä käytetyistä täyttömaista johtuvat lisäkuormitukset määrittävät rakennettavan kohteen perustamistavan. [21; 22.]

Paalutustyön jälkeen geotekniikan suunnittelija voi vaatia staattisten koekuormitusten tekemistä, jos hän epäilee paalutuskentän kestävyyttä rakentamisen tarkoitukseen. Staattisessa koekuormituksessa paaluihin kohdistetaan dynaamisten PDA-mittausten sijaan pidempiaikaisia voimia, jolloin voidaan havaita mahdolliset paalujen luiskahdukset. Staattista koekuormitusta käytetään myös tilanteissa, jossa PDA-mittausten vuoksi paalut murtuvat dynaamisen voiman takia, jolloin voidaan välttyä paalujen rikkoutumisesta johtuvista lisätöistä. [18; 19.]

Suunnittelutyö on jatkuvaa iterointia. Tietoja vaihdetaan suunnittelutoimijoiden välillä niin pitkään, että saavutetaan kompromissi ja päästään mahdollisimman lähelle taloudellisia tavoitteita. Suunnitteluaineistojen laatu vaihtelee aineiston luontiin käytetyn ajan mukaisesti ja lähtötietojen määrän vuoksi. Eri suunnitteluprojekteja on tavanomaisesti käyn-

nissä useampia, ja sen vuoksi aika ei riitä joka ikisen suunnitelman yksityiskohdan hioamiseen. Suunnitelmien tekemisessä käytettävien lähtötietojen laatu on myös vaihtelevaa riippuen aineiston tuottajan osaamistasosta ja työn tekemisen tarkkuudesta.

Suunnitteluprosessia pitäisi tehostaa kiinnittämällä aiempaa enemmän huomiota paalujen vaakakuormiin. Vaakakuormien osalta pitäisi saada tarkempaa tietoa maan ja paalun välisestä toiminnasta. Aikaisemmin suunnitelluissa hankkeissa vaakakuormien tietoja ei ole sisällytetty suunnitelmiin riittävän aikaisessa suunnitteluvaiheessa. [22.]

6.2 Sweco

Swecolla tuotetut lyöntipaalutuksen suunnitelma-aineistot luodaan Tekla Structures -ohjelmalla ja paalukuviot piirretään Autodeskin Autocad-ohjelmalla. Sweco tuottaa suunnitelmien tilaajille aineistoa muiden suunnittelutoimistojen tapaan DWG-, PDF- ja paperikuvina. Alkuperäinen suunnitelma-aineisto on IFC-formaatissa. Suunnittelutoimisto ei ole toistaiseksi hyödyntänyt tietomalleja paalutussuunnitelma-aineistojen jakamisessa työmaille. Paalutuksen suunnitelma-aineistoihin sisällytetään tietoa RT-tuotelehden mukaisesti ja työselostuksesta ilmenee työssä käytettävien paalujen tarkemmat yksityiskohdat. Teräsbetonipaaluista esitetään suunnitelmissa esimerkiksi seuraavia tietoja: teräslaatuu, paalun koko ja materiaali, halkaisija ja seinämäpaksuus. [18.]

Talo- ja toimitilarakennuspuolella tietomalleja käytetään kaikissa kohteissa. Mallinnustarkkuudet vaihtelevat suunnittelukohteiden mukaan. Joihinkin malleihin mallinnetaan myös raudoitukset. Mallit voidaan tuottaa sellaisella tarkkuudella, että niistä on mahdollista tuottaa elementtipiirustukset, jos mallinnustarkkuudesta on sovittu ennakkoon rakennesuunnittelijan kanssa. Swecon rakennetekniikan osastolla tietomallikoordinaattorit tuottavat työmaille IFC- ja 3D DWG -muodossa olevaa aineistoa. Lisäksi työmaille laaditaan rakennepiirustukset sähköisessä ja paperisessa muodossa. Rakennepiirustukset ovat projektin virallisia asiakirjoja. Ne toimitetaan tavanomaisesti PDF- ja DWG-muodossa. Tietomallia käytetään suunnittelun tukena. Mikäli mallin ja piirustusten välillä on ristiriitaa, on piirustus se, jonka mukaan rakentamisessa pitää toimia. Urakoitsijat käyttävät Swecon tuottamia tietomalleja rakennuskohteen materiaalien määrälaskennassa ja hankkeen kustannusarvioissa hyvin satunnaisesti. Tietomallin sisältämien tietojen mukaisesti tehdään esimerkiksi raudoituslistoja, joiden mukaan rakennusmateriaalia tilataan työmaalle. [39.]

Töiden tilaajat eivät ole vielä toistaiseksi vaatineet toteumatietojen päivittämistä tietomalliin. Tietomallinnuksen käytön kehitystyötä on tehty lähinnä mallinnustarkkuuden ja rakenteiden yksityiskohtien mallintamisen suhteen. Tietomallien hyödyntämisessä rakennushankkeiden aikana on ollut suuria eroja työmaiden välillä. Jotkut urakoitsijat ovat käyttäneet tietomalleja jopa niin tarkasti, että työmaalla vaaditaan statuksien käyttöä, jotta työnjohto voi seurata paremmin tietomallin päivittymistä ja suunnittelutyön etene- mistä. [39.]

6.3 Ramboll

Rambollilla lyöntipaalulaatan ja paalutuskentän suunnitelmat toteutetaan rakennesuunnittelijoiden ja geotekniikan suunnittelijoiden yhteistyönä. Ramboll tuottaa suunnitelma-aineistoja Tekla Structures -ohjelmalla. Suunnittelutoimisto on mukana suunnittelemassa muun muassa Pasilan Triplaa, jonka pääurakoitsijana toimii YIT Rakennus Oy. [16.]

Rambollilla luodaan tietomallipohjaisia suunnitelmia useaan eri rakennushankkeeseen. Talotoimialalla paalutuskenttiä mallinnetaan koko ajan. Mallinnettavia rakenteiden yksityiskohtia ovat betonista ja teräksestä valmistetut lyöntipaalut sekä porapaalut ja porapaaluseinät. Mallinnettavia kohteita ovat pääsääntöisesti rakennusten pohjarakenteet, mutta Rambollin Tampereen toimipisteellä on mallinnettu myös paalulaattoja paalui- neen. Paalut ja paalulaatat on mallinnettu ainoastaan niiden geometriatietojen osalta. [17.]

Pääsääntöisesti paalutuksen tekemistä varten Ramboll toimittaa urakoitsijalle vain piirustukset ja luettelot. Suunnitelma-aineisto lähetetään myös muille paalutustyöhankkeen osapuolille IFC-formaatissa. Suunnittelutoimistolla ei ole tietoa aineiston käytöstä ja paa- luobjektin sisältämien tietojen hyödyntämisestä urakoitsijoiden toimesta kyseisessä tie- dostoformaattissa. Suunnittelutoimiston mukaan Tekla Structures -ohjelmalla tuotettuja malleja ei saa muunnettua LandXML-formaattiin, joka olisi yhteensopiva esimerkiksi 3D- Win-maastomittausohjelmiston kanssa. [17.]

Ramboll on väylähankkeiden osalta suunnittelemassa Hamina–Vaalimaa-moottori- tiehanketta ja Taavetti–Lappeenranta-valtatien parannushanketta. Kummankin hank- keen suunnittelutyö on tehty tietomallipohjaisesti. [40.]

6.4 A-insinöörit

A-insinöörit-suunnittelutoimisto on keskittynyt talojen ja toimitilojen suunnitteluun. IFC-muodossa olevat tietomallit luodaan talonrakennuskohteiden suunnittelussa Tekla Structures -ohjelmalla. Mallit tehdään soveltaen talorakennushankkeita käsitteleviä Yleiset tietomallivaatimukset 2012 -määräyksiä. Hankkeen tilaaja määrittelee suunnittelussa ja toteuttamisessa noudatettavat vaatimukset. Vaatimukset koskevat tietomalleja ja rakennushankkeen aikana käytettäviä tiedostoformaatteja. Urakoitsija, tilaaja ja suunnittelija sopivat keskenään hankkeen aikana käytettävistä tiedostoformaateista. Suunnittelumalleja ei ole toimitettu urakoitsijoille hankkeen toteutusta varten, koska mallien tarkkuudet eivät riitä kaikilta osin rakennustyötä varten. Sopimusperusteena on toistaiseksi piirustuksien toimittaminen urakoitsijalle. [22.]

A-insinöörit on toteuttamassa Naantalin voimalaitoksen rakennushanketta mm. YIT Rakennus Oy:n kanssa. Hanke toteutetaan allianssin muotoisella projektiorganisaatiolla. Rakennushankkeen suunnittelun alkuvaiheessa pohjatutkimukset tehtiin vaiheittain ja tutkimustietoja täydennettiin sitä mukaan kun saatiin uutta aineistoa maaperätiedoista. Tutkimustietojen perusteella voitiin laskea tarkemmin vaadittavia paalujen pituuksia. A-insinöörit tekivät paalutustyöurakoitsijan kanssa yhteistyössä kymmeniä koepaalutuksia ja esirei'ityksiä paalujen asennuksia varten kuusi kuukautta ennen varsinaisen paalutustyön aloitusta. Suoritettujen esitöiden ansiosta urakoitsija pystyi antamaan tarkkoja kustannustietoja eri paalutusvaihtoehdoille. Perustukset voidaan suunnitella huolellisilla koepaalutuksilla niin pitkälle, ettei varsinaisessa paalutustyössä tule yllätyksiä. [22.]

Pohjatutkimustulosten perusteella rakennesuunnittelija ja geotekniikan suunnittelija luovat yhteistyössä pohjarakennesuunnitelman sekä pohjatutkimusraportin. Pohjarakennesuunnitelmaan sisällytetään perustamistapalausunto ja tiedot kohteen kaivannoista. Kaivantojen tekeminen voi aiheuttaa paalujen vinoon menemisen niiden asentamisen yhteydessä tai sen jälkeen. Kun urakoitsija tekee paalutustyöjärjestyksen, paalujen pysyvässä pysyminen on huomioitava. [22.]

7 Tietomallit rakennustöissä

7.1 InfraBIM

InfraBIM eli Infrastructure Building Information Modeling on infrarakennuskohteen virtuaalimallintamista, joka sisältää rakennettavan kohteen täsmällisen geometrian ja ominaisuuksitiedot, joita tarvitaan rakentamisen, osien valmistuksen ja hankintatoimen tukena hankkeen rakennusvaiheessa.

Tietomallinnuksen käytön tavoitteina maarakennuskohteissa on suunnittelun ja rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden ja kestäväen kehityksen mukaisen hanke- ja elinkaari-prosessin tukeminen. Tietomallinnuksen käyttäminen mahdollistaa esimerkiksi investointipäätösten tuen vertailemalla suunniteltujen kohteiden toimivuutta, laajuutta ja kustannuksia. Tietomallien käyttämisellä voidaan tehostaa laadunvarmistusta, tiedonsiirtomenetelmien parantamista rakennustyömailla sekä suunnitteluprosessia. [13, s. 10–11.]

7.2 IFC

IFC-standardi (Industry Foundation Classes) on taloteknisessä rakennesuunnittelussa käytössä oleva avoin tiedonsiirtomuoto ja tiedostoformaatti. Se on kansainvälisesti käytössä, ja sitä kehitetään oliopohjaiseen tiedonsiirtoon ohjelmistosta toiseen. Oliopohjaista tietoa ovat rakenteiden 3D-geometria- ja ominaisuuksitiedot. [43, s. 24.]

7.3 Inframodel3

Inframodel määritellään Yleisissä inframallivaatimuksissa tiedonsiirtomenetelmäksi ja tiedostoformaatiksi.

Avoin LandXML-pohjainen tietomäärittely mallipohjaisten infratietojen siirtoon. Inframodel-dokumentaatio kuvaa tietosisällön ja käytännöt, kuinka LandXML-standardia käytetään Suomessa. Inframodel sisältää vain osan LandXML:n tiedoista. Toisaalta LandXML-standardia on laajennettu sen sallimissa puitteissa mm. liittämällä siihen Infra-rakennusosanimikkeistö. [14, s. 6.]

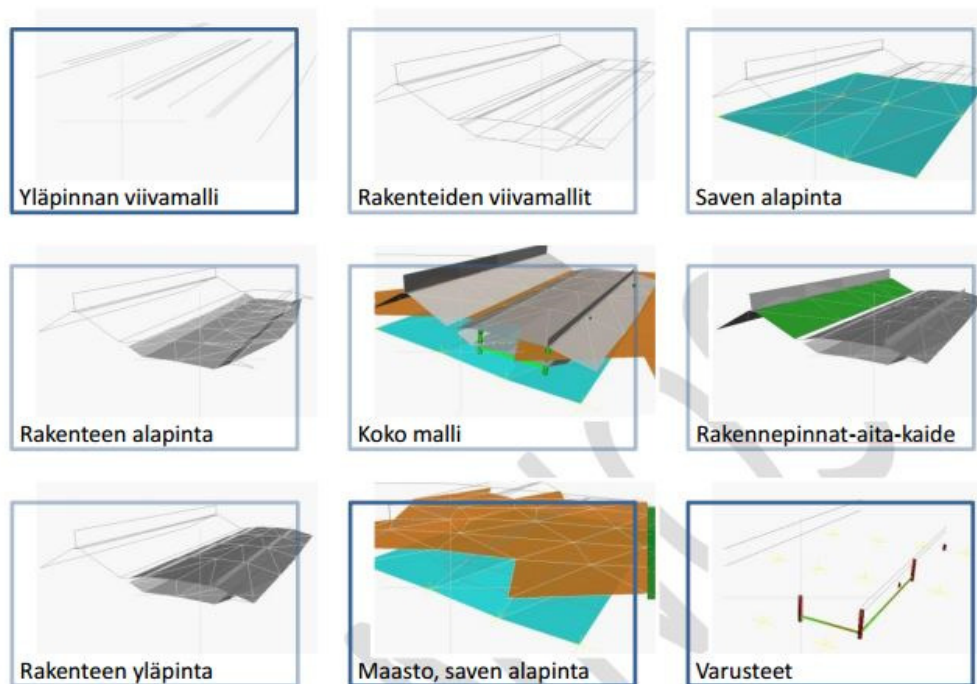
LandXML-tiedostoformaatti on geotekniikan suunnittelun metakieltä. LandXML-formaattia käytetään tiedon välitykseen järjestelmien välillä ja dokumenttien tallentamiseen. Taulukosta 3 ilmenee ominaisuustietoja, joita voidaan tallentaa Inframodel3-tiedostoon. Kuva 16 havainnollistaa tietoja, joita Inframodel3-mallinen aineisto voi sisältää.

Taulukko 3. Inframodel3:n sisältö [42, s. 6].

| Kokonaisuus | Mitä |
|---|---|
| Suunnitelman yleistiedot | projektin nimi, suunnitelma, ohjelmisto, yksiköt ja koordinaattijärjestelmät |
| Perusaineisto | maastomallin ja maaperämallin pinnat, pisteet ja viivat sekä niiden lajikoodaus sekä kolmiopinnat |
| Liikenneväylät (tie, rata, katu, vesiväylä) | geometrialinjat, rakenne taiteviivoina pinnoittain ryhmiteltyinä sekä kolmiopintoina ja mitoitusparametritietoa informaationa |
| Vesihuoltoverkostot | kaivot (laitteet), putket, ominaisuudet ja rummut |
| Aluesuunnittelu | pintamaiset rakenteet, maisemoinnit ja läjitykset |
| Pohjanvahvistus | pintamaiset rakenteet, vasta- ja ylipenger sekä massanvaihto |
| Rata | kilometripaalutus, kallistus ja vaiheet |
| Varusteet | kaiteet, aidat, jalustat kuten valaisinpylväät ja liikennemerkkit |
| InfraBIM-nimikkeistö / Rakennusosanimikkeistö | kaikki pinnat, viivat ja muut kohteet |

Inframodel3-formaatti ei sisällä seuraavia infrastruktuurin rakenteita ja tietoja:

- paaluja, paalulaattoja ja pilaristabilointia
- varusteita ja niiden ominaisuustietoja, lukuun ottamatta vesihuoltoa ja kuivatusta
- liikennemerkkejä ja opastimia
- tarkkuus- ja toleranssitietoja
- määrälaskentatietoja
- materiaalitietoja tai maalajikerrosten ominaisuustietoja
- suunnitelma-aineistojen yksityiskohtaisten rakenteiden revisioiteja ja versioiteja. [42, s. 8.]



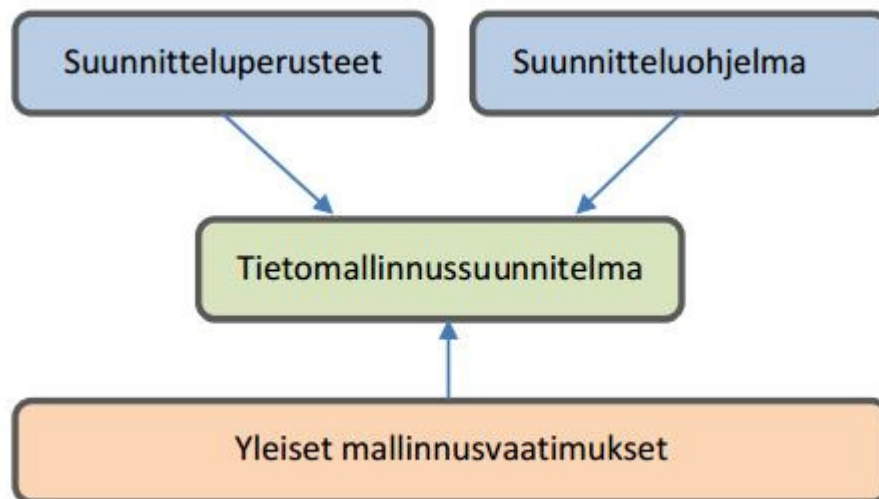
Kuva 16. Esimerkki Inframodel-tiedoston sisällöstä [42, s. 7].

7.4 Tietomallipohjainen suunnittelu

Inframallintamisen yleisenä periaatteena on, että hankkeen käynnistysvaiheessa tehdään tietomallinnuksen toteutussuunnitelma. Aloituspalaverissa on käytävä läpi ja tehtävä tarvittavat dokumentit mallintamisen tavoitteista, inframallin käyttötarkoituksesta,

mallintamisen laajuudesta, tarkkuustasosta, noudatettavista ohjeista, mallin dokumentoitavasta sekä prosessin kuvauksesta, johon sisältyy organisointi, yhteistyö, tiedonvaihto ja aikataulu. Lisäksi on käytävä läpi määrälaskennan ja kustannushallinnan menettelyt sekä laadunvarmistus. [13, s. 10.]

Tietomallin laajuuteen ja tarkkuustasoon vaikuttavat asiat määritellään ja kirjataan esimerkiksi suunnitteluohjelmassa tai erillisessä tietomallinnussuunnitelmassa. Tietomallisuunnitelmassa suunnitellun kohteen lähtökohdat määritellään suunnitteluperusteiden, suunnitteluohjelman ja tietomallinnussuunnitelman avulla [kuva 17]. Lähteenä käytetyssä ohjeessa on käytetty yleisnimitystä tietomallisuunnitelma, mutta eri urakoitsijat voivat sisällyttää tietomallinnuksen suunnittelun periaatteet johonkin omaan dokumenttiinsa. [13, s. 10.]



Kuva 17. Suunnittelu- ja mallintamistehtävän määrittely [13, s.10].

Nykyisissä infrarakennushankkeissa käytössä olevissa ohjelmissa, suunnittelukohteiden sisäiset tietomallit eroavat peruseriaatteiltaan tekniikkalajikohtaisesti.

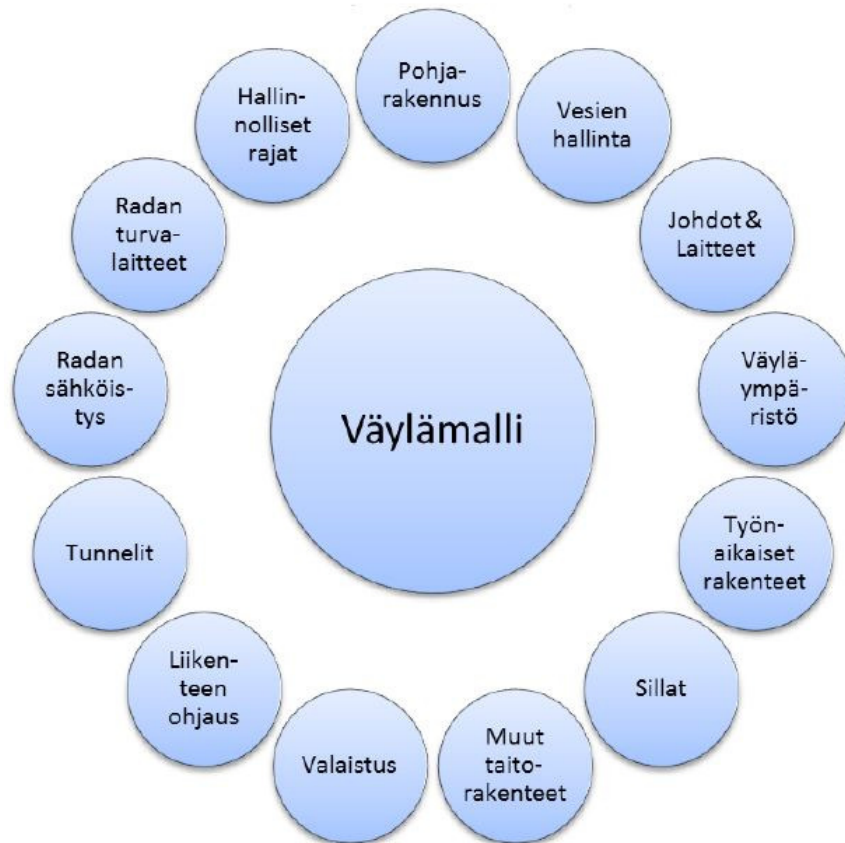
Infra-alalla käytettävissä ohjelmissa sisäiset tietomallit eroavat peruseriaatteiltaan. Erot ovat tekniikkalajikohtaisia. Esimerkiksi vesihuoltoverkoston mallinnus on eri ohjelmistoissa hyvin lähellä toisiaan, kun taas väylän maarakenteiden mallinnuslogiikka suunnitteluohjelmissa poikkeaa merkittävästi toisistaan. Tämän vuoksi vesihuoltoverkoston suunnittelua voidaan tiedonsiirron jälkeen jatkaa helposti toisella suunnitteluohjelmalla, kun taas väylän maarakenteiden osalta siirretty malli vastaa lopputulosta, mutta ei sisällä mallin muodostukseen tarvittavia kaikkia tietoja. [14, s. 8.]

Tietomallipohjaisen suunnitelman tekoa varten tehtävää suunnitteluohjelman valintaa ohjaa vaihtoehtoisten suunnitteluohjelmien tarkoituksenmukaisuus ja käyttökelpoisuus. Joidenkin suunnitteluohjelmien välillä on ohjelmiston koodauksista johtuvia rajoitteita. Esimerkiksi suunnitteluohjelmalla luotua IFC-formaattia ei voi suoraan avata 3D-Winmaastonmittausohjelmalla. Ideaalitulanteessa kaikilla suunnittelutoimistoilla tulisi olla sellainen ohjelmisto käytössä, joka ei aseta rajoituksia muiden suunnittelutyössä käytettävien ohjelmistojen käyttämiselle.

Mallinnettaessa tietynlaista rakennusosaa tulee käyttää aina kyseisen rakennusosan mallintamiseen tarkoitettuja työkaluja. Tiesuunnitelmat mallinnetaan tiesuunnitteluohjelmistolla ja sillat sillansuunnitteluohjelmistolla ja niin edelleen. Rakennusosat tulee mallintaa siten, että tiedonsiirrossa osan sijainti-, nimi-, tyyppi- ja geometriatiedot siirtyvät myös muiden suunnitteluosapuolten ohjelmistoihin. Poikkeavista mallintamisen toteutustavoista on tehtävä dokumentit. [38, s. 4.]

7.4.1 Tietomallipohjaisen hankkeen osa-alueet ja jako osamalleihin

Tavanomaisissa infrahankkeissa väyläsuunnittelijan ylläpitämä väylämalli [kuva 18] toimii pohjana muille tekniikkalajimalleille, ja se on keskeinen osa myös tietomallipohjaiseen suunnitteluun liittyviä analyyseja ja simuloiteja. Tietomallipohjaisen suunnittelun eri vaiheissa tehdään törmäystarkasteluja, joissa tärkein tehtävä on vertailla eri suunnittelijoiden tekemien osamallien yhteensopivuutta toisiinsa. [16, s. 4.]



Kuva 18. Väylämalli ohjaa suunnittelua ja muiden osamallien tekoa [16, s. 4].

Kuva 19 tekee selkoa tietomallinnukseen liittyvistä yleisistä tehtävistä. Kyseiset tehtävät liittyvät tietomallipohjaisiin suunnittelu- ja rakennushankkeisiin. Tehtävät sisältyvät kaikkiin tietomallipohjaisiin hankkeisiin. Tehtävien laajuus vaihtelee suunnittelun vaiheen ja suunnittelukohteen koon mukaan. [13, s. 6.]



Kuva 19. Yleiset tehtävät tietomallihankkeissa [13, s. 6].

Ohjauksen ja koordinoinnin tavoitteena on tarjota kaikille projektin osapuolille tarkennettu ohjeistus yleisten inframallinnusohjeiden pohjalta. Tehtävään kuuluu esimerkiksi tietomallipohjaisen suunnittelutyön aikataulutus, valvonta ja ohjaus. [13, s. 6.]

Lähtötiedot hankitaan suunnittelun esitöihin osallisina olleilta organisaatioilta. Esimerkiksi rakennusmateriaalien laatutiedot on mahdollista selvittää eri rakenteiden valmistajilta. Raaka-aineiden mallintaminen sisältää esimerkiksi objektien mallintamista 2D-aineistosta ja ominaisuustietojen liittämistä mallinnettaviin kohteisiin. [13, s. 6–7.]

Inframallin sisältämät tiedot jaotellaan tietomallipohjaisessa hankkeessa rajattuihin osamallikonaisuuksiin. Jaottelun tavoitteena on selkeyttää työskentelyä ja suunnitteluosastojen vastuualueita. Osamallit jaetaan siten, että eri tekniikkalajien suunnittelijoilla on vastuualueinaan omat kokonaisuutensa suunniteltavien kohteiden mallinnuksen osalta. Jokainen suunnittelualan suunnittelija on vastuussa oman tuottamansa suunnitelma-aineiston vaatimuksenmukaisuuden tarkastamisesta. Infrarakentamisen tietomallien jako osamalleihin voi tapahtua esimerkiksi seuraavasti:

- väylämalli
- pohjarakennus
- vesirakentaminen eli vesien hallinta
- väyläympäristö
- telematiikka
- liikenteenohjaus
- sillat
- työnaikaiset rakenteet
- tunnelit. [16, s. 7.]

Osamalleja jaetaan lisäksi hankkeen kokoluokasta riippuen pienempiin osakokonaisuuksiin kuvan 20 mukaisesti.



Kuva 20. Esimerkki osamallien jaosta pienempiin kokonaisuuksiin [16, s. 7].

Tekniikkalajikohtaiset suunnitelmamallit sovitetaan yhteen tavanomaisesti yhdistelmämallin avulla. Tietomallien järjestelmällisen käsittelyn vuoksi on sovittava yhteiset peli-

säännöt tiedonhallinnan menetelmistä, kuten käytettävästä tiedostoformaattista, tiedonvälityksestä eri tekniikkalajien kesken ja yhdistelmämallin ylläpitämisestä. Isokokoisten tiedostojen jakamiseen käytetään usein projektipankkeja sekä pilvipalveluita. Yhdistelmämallin tekemistä, tekniikkalajien välisiä tarkastuksia ja mallien koontiaikataulua ohjaa suunnittelutoimiston tietomallikoordinaattori. [13, s. 7.]

Mallien hyödyntäminen auttaa hahmottamaan suunnitelmaratkaisuja paremmin. Vuorovaikutus ja yhteistyö synnyttävät tilaajan ja tuottajan välillä parhaan lopputuloksen, josta hyötyy kumpikin osapuoli. Myös eri tekniikkalajien, projektipäällikön ja suunnittelijoiden välinen vuorovaikutus vaikuttaa oleellisesti hankkeen toimivuuteen ja sen lopputulokseen. [13, s. 7.]

Tietomallin laatu koostuu aineiston yhteensopivuudesta, teknisestä kelpoisuudesta ja kattavuudesta. Laadunvarmistuksessa voidaan käyttää sekä visuaalisia että teknisiä menetelmiä. [13, s. 7.] Visuaalinen menetelmä on esimerkiksi yhdistelmämallin tarkastelu kolmiulotteisessa näkymässä. Tekninen tarkastelumenetelmä on esimerkiksi suunnitelma-aineiston tarkastelu toisella ohjelmistolla. Suunnittelutoimistot käyttävät nykyisin esimerkiksi 3D-Win-maastomittausohjelmaa tarkastaessaan Tekla Structures- tai Nova-point-ohjelmalla luotuja aineistoja. Suunnitelmista tarkastetaan tavanomaisesti annettujen rakenteiden mittojen paikkansapitävyys. [40.]

7.4.2 Mallintamisen tarkkuustasot

Tietomallintamisen tarkkuustason määrittää käsiteltävän hankkeen suunnitteluvaihe, suunnittelualan tekniikkalajimalli ja tietomallien hyödyntämistarve sekä lähtötietomallin tarkkuustaso. Tarkkuustason käytön määrittelee tavanomaisesti hankkeen suunnitteluvaihe ja suunnitteluohjeiden määrittämät vaatimukset. Suunnitteluvaihekohtaiset mallinustarkkuudet on kuitenkin katsottu tarpeelliseksi määrittää eri rakennusosille. [16, s. 5.]

Taulukko 4. Mallinnustarkkuudet [16, s. 5].

| Mallinnustaso | Mallinnustarkkuus |
|---------------|---|
| 0 | Lähtökohtaisesti ei mallinneta. Voidaan sopia hankekohtaisesti. |
| 1 | Mallinnetaan osan ulkopinnat. Ei vaadita tilavuusominaisuuksia, 2D-pintoja, aluerajaus tai taiteviiva riittää. |
| 2 | Mallinnetaan osat 3-ulotteisina kappaleina, pintoina tai taiteviivoina. Malli toimii määrälaskennan perusteena, mutta tarkentuu jatkosuunnittelussa. Objektien ominaisuus tiedoista kerrotaan vain ko. suunnitteluvaiheessa olennaiset asiat. |
| 3 | Mallinnetaan osat kokonaisuudessaan. Sisältää täydellisen kuvituksen rakenteesta. (Tarvittavat ominaisuustiedot on kerrottu YIV-ohjeiden osissa 5-7) |
| H | Mallinnus ja sen tarkkuustaso sovitaan hankekohtaisesti. |

Suunnitteluprosessin luonnosvaiheessa mallintamiselle ei tule asettaa liian tarkkoja vaatimuksia. Eri suunnitteluvaiheissa mukana olevien osapuolten on tiedostettava malliaineiston tarkkuustaso. Luonnosvaiheessa olevien suunnitelmien tarkkuustaso voi vaihdella merkittävästi myös suunnitelman sisällä. [16, s. 5.]

7.4.3 Tietomalliselostus

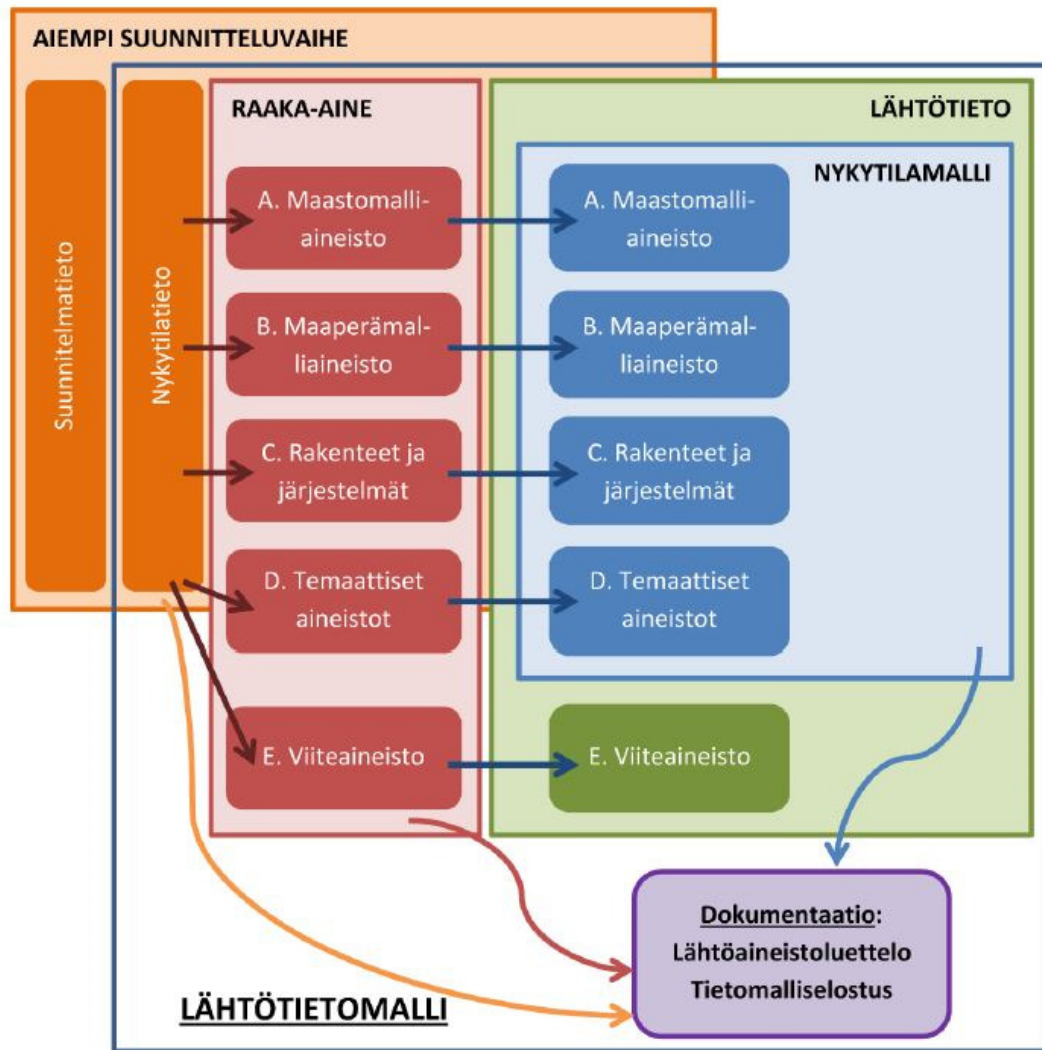
Tietomalliselostus on dokumentaatio lähtötietomallin tilasta ja sisällöstä. Selostukseen tulee kirjata kaikki lähtöaineistojen luotettavuuteen ja käyttöön vaikuttavat seikat sillä se luovutetaan aineistoksi seuraavan vaiheen suunnittelijalle. Selostuksen yleisestä osiosta tulee käydä ilmi hankkeen taustat ja tavoitteet, työn sisältö ja ohjausmenetelmät, koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä sekä mahdollisesti muut huomiot. Lähtötietomalliselostuksesta tulee käydä ilmi lähtöaineistoluettelo ja aineistokohtaiset selostukset, joihin on lueteltu mallinnettu kohde, mallinnuksen luontitavat sekä selostus ohjelmistosta ja työkaluista, joita mallinnustyössä on käytetty. [15, s. 11.]

Dokumentaatiota laadittaessa on syytä tunnistaa, että lähtöaineistoluettelo ja tietomalliselostus ovat kaksi toisiaan täydentävää dokumenttia. Lähtötietoluettelo voidaan pitää tarkkana kuvauksena lähtötietomallin lähtötiedoista ja tietomalliselostusta enemmän kuvauksena siitä, mitä on tehty, millä tavalla ja mitä huomioita sekä riskejä aineistoihin

liittyy. Dokumentaatiota laadittaessa on syytä välttää turhia ja päällekkäisiä kirjauksia. [15, s. 19.]

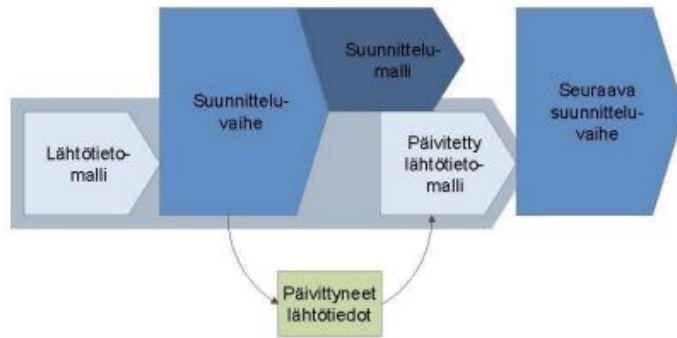
7.4.4 Lähtötietomalli ja nykytilamalli

Lähtötietomalli on kokoelma suunnittelualueen nykytilaa kuvaavasta lähtöaineistosta, jota käytetään suunnittelun pohjana [kuva 21]. Lähtötietomallin sisältö jakaantuu kolmeen kokonaisuuteen, joita ovat muilta tekniikkalajien suunnittelijoilta saatu suunnitteluvaiheen suunniteltu aineisto, nykytilamalli ja edellisen suunnitteluvaiheen viiteaineisto. Lähtötietomalli on tietomallin ensimmäinen versio, ja siihen on koottuna raaka-aineita eli osamallien yksityiskohtaisia tietoja yhteen. Lähtötietoaineistoja ovat esimerkiksi maastomalli, kaavamalli, maaperämalli ja nykyisten rakenteiden malli sekä muu viiteaineisto, kuten viranomaisluvut ja -päätökset. Lähtötietomalli täydentyy hankkeen suunnittelun ja rakentamisen edetessä [kuva 22]. Nykytilamalli käsittää muun muassa kohteen maastomallin, maaperämalliaineiston, rakenteet, järjestelmät sekä kartta- ja paikkatietoaineiston. [15, s. 4.]



Kuva 21. Lähtötietomallin rakenne [15, s. 6].

Lähtötietomalliprosessissa on tärkeää dokumentoida lähtötietoihin liittyvät alkuperä- ja metatiedot ja lähtöaineistoille suoritettavat muokkaustoimenpiteet. Lähtötietomallin täytyy olla kattava, jotta se kykenee tarjoamaan lähtötietoja kaikille suunnitteluolosuhteissa mukana oleville tahoille. Malli pyritään tuottamaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ennen varsinaisten suunnitteluvaiheiden alkamista. Tietomallipohjaisen hankkeen tiedonhallintaa on viety siihen suuntaan, että lähtötiedot päivittyisivät automaattisesti rakennushankkeen edetessä työmaakohtaisesti määriteltyihin rekistereihin ja arkistoihin, joista ne voidaan hakea seuraavassa suunnitteluvaiheessa [kuva 23]. [15, s. 8.]



Kuva 22. Lähtötietomalli päivittyy suunnittelun edetessä [15, s. 4].



Kuva 23. Lähtötietomalli osana hankkeen elinkaarta [15, s. 4].

7.4.5 Suunnitelmamalli

Suunnitelmamalli on infrarakenteen tai -järjestelmän tietomallin tietosisällön osajoukko, joka kattaa suunnittelijoiden suunnitteluratkaisut. Suunnitelmamalli voidaan tarvittaessa vaiheistaa tarkemmin esimerkiksi esi-, yleis-, väylä- ja rakennussuunnittelumalleihin, ja se voidaan osittaa esimerkiksi eri tekniikkalajien mukaan suunnitteluvaihekohtaisesti. [36, s. 11.]

7.4.6 Yhdistelmämalli

Yhdistelmämalliin on koottu lähtötietomallin ja suunnitelmamallin aineistot yhteen. Yhdistelmämallia voidaan käyttää hankkeen teknisessä ja eri rakennusosien välisissä yhteensopivuuden tarkastelussa. Visuaalisen tarkastuksen ansiosta rakenteiden yhteensopivuus voidaan havaita helpommin. Kun eri tekniikkalajien malleja yhdistellään määräjoihin, voidaan havaita suunnitelmien ristiriitaisuudet mahdollisimman aikaisissa suunnitteluvaiheissa. Tietomallipohjaiselle suunnitteluhankkeelle nimetään tietomallikoordinaattori, jonka tehtävä on varmistaa eri osa-alueiden keskinäinen yhteensopivuus ja ristiriidattomuus. [15, s. 10; 38, s. 6.]

7.5 Tietomallintaminen eri suunnitteluvaiheissa

7.5.1 Esisuunnittelu ja suunnittelun aikaiset työmallit

Esisuunnitteluvaiheessa havainnollistetaan rakennettavaa kohdetta hankkeen aloituspa-lavereja ja päätöksentekoa varten. Tässä suunnitteluvaiheessa mallinnustarkkuus on ainoastaan luonnostelun tasolla. Esisuunnitteluvaiheessa selvitetään vaihtoehtoina käy-tettyjen periaateratkaisujen ja liikenneväylävaihtoehtoihin kuuluvien rakenteiden raken-tamista ja niiden vaikutusta ympäristöön. Esimerkiksi sillan mallinnukseen riittää näky-vien pintojen esittäminen suhteessa muihin suunniteltaviin tai olemassa oleviin rakentei-siin. [41, s. 19.]

Tietomallipohjaisena toteutettavassa hankkeessa suunnitteluosapuolten ja työmaan vä-lillä jaetaan projektin aloitusvaiheessa tietoa sovitun tasoisessa tietomallimuodossa. Työmallit kuvaavat työmaan alkutilanteen suunnitteluratkaisua, tilavarouksia sekä tietty-jen rakenteellisten yksityiskohtien havainnollistamista. Työmalleja ei saa käyttää varsi-naisessa rakentamisessa, koska niitä ei ole toimitettu hanketta koskevan hyväksytyin tar-kastusprosessin vaatimusten mukaisesti. [38, s. 8.]

7.5.2 Yleissuunnittelu

Yleissuunnitteluvaiheessa suunniteltavia rakenteita mallinnetaan pelkistetysti ja yksin-kertaistetusti. Tässä suunnitteluvaiheessa mallinnetaan esimerkiksi yksittäisiä siltoja, joilla on merkitystä hankkeen kustannusten kannalta. Yleissuunnitelmalla tutkitaan geo-metriaa, tilavarouksia ja suunnitelman sovittamista ympäristöön. Suunniteltavasta raken-teesta mallinnetaan näkyvissä olevien rakenteiden lisäksi merkittävät varusteet ja laitteet sekä rakenteisiin liittyvät maastorakenteet, kuten luiskat, vaadittavien kohteiden osalta. [38, s. 7.]

7.5.3 Väyläsuunnittelu

Väyläsuunnitteluvaiheessa mallinnus esittää rakennushankkeen perusratkaisun riittävän yksityiskohtaisesti suunnitteluratkaisujen ja tilantarpeiden osalta. Tässä suunnitteluvai-heessa tietomallin avulla voidaan vertailla suunniteltujen rakenteiden sopivuutta kaavoi-tuksessa varattuun tilaan. Väyläsuunnitteluvaiheessa voidaan esimerkiksi havaita mai-den haltuunottotarve maanomistajilta aikaisissa suunnitteluvaiheissa. [38, s. 7–8.]

7.5.4 Rakennesuunnittelu

Rakennesuunnitteluvaiheessa rakenteet mallinnetaan kokonaisuudessaan mittatarkasti, jotta suunnitelman mukainen rakentaminen on mahdollista. Tilaajalle laaditaan kokonainen tietomalli sekä mahdolliset yksityiskohtaiset piirustukset rakennusmateriaalien ja elementtien valmistusta varten. Suunnitelmapiirustukset tuotetaan Autodeskin AutoCad-ohjelmalla. [38, s. 8.]

7.5.5 Toteutusmalli

Toteutusmalli on maarakennustyömaan käyttöön luovutettava aineisto, joka on viimeistely siten, että se on helposti muunnettavissa mittaajien ja työkonien käyttöön [37, s. 13]. Toteutusmalli laaditaan YIV 2015 osa 5.2 Maanrakennustöiden toteutusmallin laadintaohje -periaatteiden mukaisesti. Tietomallipohjaisessa infrarakennushankkeessa suunnittelija toimittaa Inframodel3-tiedostoformaattissa olevaa aineistoa työmaalle. Tämän jälkeen mittaustyönjohto tai työkonemaatation vastuhenkilö tekee toteutusmallille tarvittavat tarkastukset. [40.] Toteutusmallien käytön edellytyksenä on, että työkonemaatio on käytössä työkonissa, jotka toteuttavat rakennuskohteen rakennosien geometriaa, esimerkiksi rakennuksen pihan pintamallia tai väylähankkeen tiegeometriaa. Geometriaa tuottavia työkonieita ovat esimerkiksi kaivinkoneet ja tiehöylät.

7.6 Tietomallien käyttökohteet ja käyttämisen haasteet

Tietomallinnusta hyödynnetään suunnittelun aikana infra- ja talorakentamisessa esimerkiksi tuotetun aineiston visuaalisessa tarkistuksessa sekä eri tekniikkalajien välisessä yhteensovituksessa. Tässä toimenpiteessä tarkistetaan esimerkiksi, ohittaako suunniteltu sadevesiputkilinja anturan. Infran kohteista mainittakoon päällysteen korjaus, väylämallien eri rakennekerrokset, sade- ja jätevesiverkosto. Suuremmissa infrahankkeissa suunnitteluprosessi on nykypäivänä tietomallipohjaista ja mallinnusta käytetään suunnittelun eri vaiheissa. [40.]

Mallinnukselle asetettavat vaatimukset ovat hankekohtaisia ja mallintamisen taso hankkeen sisällä voi vaihdella eri suunnittelualojen kesken. Infrahankkeessa väyläsuunnittelijan ylläpitämä väylämalli toimii pohjana muille rakennettavan väylän tekniikkamalleille.

Lisäksi se on keskeinen osa monia suunnitteluun liittyviä analyyseja ja simuloiteja. Tämän vuoksi on tärkeää, että väylämalli on toteutettu teknisesti oikein kaikissa projektin vaiheissa. [13, s. 5.]

Tietomallien käytön lisäämisen haasteena on tiedonhallinta ja ohjelmistojen asettamat rajoitteet. Työmailla tulee käyttää ensisijaisesti avoimia standardeja ja tietomallinnusta tukevia tiedostoformaatteja. Kun suunnittelutoimistolla, mittaus- sekä rakennustyönjohdolla on käytössään yhtenäinen tiedostoformaatti, tiedon monikäyttöisyys ja sen säilyvyysaika paranevat. Sen lisäksi suunnittelutyö tehostuu ja aineistoon on mahdollista sisällyttää yksityiskohtaisempaa ominaisuustietoa rakenteista. Suunnittelutoimistoilla ja työmailla ei ole totuttu tietomallien käsittelyyn eli niiden käyttöönotto vaatii henkilöstön lisäkouluttamista.

8 Suunnitelma-aineistojen tietovaatimukset paalutustyön tietomalleille

8.1 Paalutustyön tietovaatimukset suunnittelijalta ja urakoitsijalta

Tässä luvussa määritetään ja arvioidaan lyöntipaalutustyön vaadittavia tietoja paaluperustuksien tietomalleja varten. Luetellut tiedot perustuvat suoritettujen suunnittelijoiden ja paalutustyönjohdon haastatteluiden yhteydessä saamiin lausuntoihin.

8.1.1 Lyöntipaalut

Lyöntipaalujen osalta vaaditaan paaluobjektin geometriset tiedot ja ominaisuudet. Paalu mallinnetaan objektina suunnittelijan XYZ-koordinaatistossa. Geometrisiä tietoja ovat

- paalun yläpään keskipisteen koordinaatit (XYZ) paalun katkaisutasossa
- paalun alapään keskipisteen koordinaatit (XYZ)
- suunniteltu paalun katkaisutaso ja alapään merenpinnan korkeus työmaalla käytetyn korkeusjärjestelmän mukaisesti
- paalujen tavoitetaso pintana. [36, s. 8.]

Paalujen tavoitetaso pintana tarkoittaa kerrosta, joka voi olla rakenteeltaan moreenia, kalliota tai tiivistä hiekkaa. Tavoitetaso mallinnetaan pohjatutkimustietojen perusteella.

Tavoitetaso tarkoittaa siis paalun tunkeutumissyvyyttä, eli paalun alapään korkeutta lyöntityön jälkeen.

Paalujen vaadittavia ominaisuustietoja suunnitelma-aineistoilta ovat

- teräsputkipaalun halkaisijan tai teräsbetonipaalun sivumitta sekä pituus
- maa- tai kalliokärjen tyyppi
- betonilaatu ja teräslaji
- kärjen tyyppi
- asennuskaltevuus
- paalutustyöluokka
- loppulyöntiehdot
- geotekninen kantavuus. [3, s. 249.]

Paalujen kalliokärkien valmistajalta saadaan tavanomaisesti esitys työkohteeseen soveltuvasta kalliokärjen tyypistä. Vinoon lyötävien paalujen asennustarpeen määrittävät geotekniikan suunnittelijan laskelmat toispuolisten maakuormien suuruuksista. Lisäksi on esitettävä tarve maakuormien kompensoimisesta. Paalujen asennuskaltevuuden määrittäminen perustuu paaluihin kohdistuvien kuormien laskemisesta. [21.]

Paalutustyöohjeessa mainittuja tietoja, joita vaaditaan paalutustyösuunnitelmaan sekä muita dokumentteja paalutustyötä varten, ovat

- paalun suunnitelman mukainen sijaintitieto
- esivalmistetun paalun pituus
- paalutuskoneen järkäleen tyyppi, paino ja pudotus sekä vastaavat tiedot muista laitteista
- paalun raudoituksien pituudet ja yksityiskohdat
- työtapa ja vaatimukset kalustolle
- ohjeet koekuormituksia varten
- paalutustyön toteutukseen liittyvät riskit

- ympäristössä tehtävä tarkkailuun ja seurantaan liittyvä ohjeistus paalutustyön aikana. [3, s. 248; 3, 253–254.]

Paalutustyön toteutukseen liittyviä riskejä ovat esimerkiksi maaperän kivisyys ja ympäristön häiriintyminen. Ympäristön tarkkailun ja seurannan kohteita ovat tärinä, melu ja paalutus kentän maaperän huokosvedenpaine. Työtapa käsittää paalutusmenetelmän eli asentamiseen vaadittavan lyöntivoiman suuruuden ja loppulyöntiehdot. Kalustolle asetettavat vaatimukset ohjaavat urakoitsijan valitsemaan soveltuvan paalutuskaluston työkohteeseen.

Suunnittelija tekee paalutuskohteesta perustamistapalausannon pohjatutkimuksista kerättyjen tutkimusaineistojen perusteella. Siihen tulee sisällyttää tiedot kaivannoista sekä maan tiivistymisen ja liikkeen vuoksi aiheutuvat paalujen vinoon menemiset asennustyön aikana. Maata syrjäyttävien paalujen asennuksen aikana maan huokosvedenpaineen lukema kasvaa ja tämä aiheuttaa pahimmassa tapauksessa maan sortumista kaivannoissa. [21.]

Tietoja, jotka eivät ole välttämättömiä paalutustyönjohdolle, ovat

- paalun kärjen taso mitattuna maan pinnasta
- paalun kärjen korkeustieto ennen katkaisua
- jatkosten tai hitsaussaumojen lukumäärä ja sijainti
- huokosvedenpaineen lukemat. [35.]

Paalun kärjen taso mitattuna maan pinnasta tarkoittaa korkeuseroa maanpinnan ja paalun yläpään välillä asennustyön hetkellä. Tavanomaisesti ennen paalun asentamista maata on siirretty työkohteesta riittävästi pois paalujen katkaisutasot huomioiden, joten paalun yläpään ja maanpinnan välinen korkeusero ei ole välttämätön tieto. Paalun kärjen korkeustieto on toimitettava rakennesuunnittelijalle jokaisen asennetun paalun osalta. Rakennesuunnittelija tarkastaa toteumatiedot, ja tämän jälkeen hän antaa urakoitsijalle paalujen katkaisuluvan. Paalut katkaistaan siten, että niiden yläpää on suunnitellussa tasossa. [35.]

Jatkosten ja hitsaussaumojen lukumäärä sekä niiden sijainti eivät ole välttämättömiä tietoja paalutustyön kannalta, joten niiden mallintaminen ei ole tarpeellista. Vaikka paalu

katkeaisi, paalun jatkoskohdan sijaintitiedolla, josta paalu on oletettavasti katkennut, ei ole merkitystä. Katki menneet paalut ovat joka tapauksessa käyttökelvottomia. [35.]

8.1.2 Paalulaattarakenteet

Paalulaatta mallinnetaan objektina tietomalliin. Mallinnuksessa on olennaista saada laatan muoto oikeaksi, jolloin mallin tarjoama geometriatieto vastaa toteutettavan paalulaatan muotoa. Paalulaatan ominaisuustietoja, joita vaaditaan tietomallia varten, ovat laatan

- paksuus
- materiaaliominaisuudet
- kiinnittäminen paaluihin.

Kaikki paaluhattut mallinnetaan riippumatta siitä, ovatko ne osana jotain toista rakennetta. [36, s. 9–10.]

8.1.3 Paaluhatturakenteet

Paaluhattut mallinnetaan tietomalliin objekteina. Mallinnuksessa on olennaista saada laatan muoto oikeaksi, jolloin mallin tarjoama geometriatieto vastaa toteutettavan paaluhattun muotoa. Paaluhattujen ominaisuustietoja ovat

- koko
- materiaaliominaisuudet
- tiedot kiinnitystavasta paaluihin.

Kaikki paaluhattut mallinnetaan riippumatta siitä, ovatko ne osa jotain toista rakennetta. [36, s. 10.]

8.1.4 Ankkuri

Paalutustyön materiaalien toimittajalta saadaan esitys kohteeseen soveltuvasta kallio-kärjen tyypistä. Jos kohteessa vaaditaan paalun ankkurointia, perustamistapalausunnossa ja rakennusselostuksessa pitää olla ankkuroinnista vaatimus. Vaatimus annetaan kullekin paalukentälle erikseen.

Ankkuri mallinnetaan muiden paalun osien tapaan objektina XYZ-koordinaatistossa. Ankkureiden geometriatietojen lisäksi vaaditaan ominaisuustietoja, joita ovat

- ankkurin malli
- teräslaatu
- esijännitysvoima
- jättövoima
- juotosmassa
- upotussyvyys
- juotoksen tartuntapituus. [36, s. 8.]

8.1.5 Suunnittelijan tietotarve paalutustyön jälkeen

Tietomallia varten vaadittava tietotarve vaihtelee paalutyypikohtaisesti. Käytännössä tämä tarkoittaa, että mitä erikoisempi paalutyyppi on kyseessä, sitä suurempi vaadittava tietotarve on. Tavanomaisessa paalutustyössä suunnittelijalle välttämättömiä tietoja ovat paalun yläpään ja tavoitetason sijaintitiedot (XYZ), kaltevuus ja loppulyöntitiedot. Tiedonmäärän kasvattaminen ei ole välttämättä tarpeellista tavanomaisessa suunnittelutyössä, koska se kasvattaa tiedostojen kokoja sekä lisää haasteita paalutustyön tiedonhallintaan. Tiedonmäärän kasvattaminen on perusteltua silloin, jos tietomalliin sisällytetyt tiedot palvelevat työn laadunvalvontaa. [21.]

Suunnittelijalle lähetetään paalutustyön jälkeen paalutuspöytäkirja [kuva 24] ja tarkekuva [kuva 8] lyödyistä paaluista, riippuen siitä onko rakennuttaja sisällyttänyt sen tekemisen urakoitsijan vai pohjarakennesuunnittelijan urakkasopimukseen. Lisäksi suunnittelijalle

toimitetaan muita dokumentteja materiaaleista, työmenetelmistä, koestuksista ja koe-kuormituksista paalutuksen vaatimustenmukaisuuden osoittamiseksi. Paalutuspöytäkirjasta ilmenee jokaisesta asennetusta paalusta seuraavia tietoja:

- paalun numero
- asennuspäivämäärä
- jälkilyöntipäivämäärä
- paalun pituus
- paalun nimellimitat
- kärjen tyyppi
- lyöntilukumäärä
- paalujen toteumatiedot koordinaatteina sekä poikkeamat suunnitelman mukaisista X-, Y- ja Z-koordinaateista
- suunniteltu kaltevuus ja mahdollinen poikkeamatieto asennuksen jälkeen
- kaltevuussuunta ja mahdollinen poikkeama asennuksen jälkeen
- lopullinen pituus
- asennetut lisäpaalut. [12.]

Loppulyöntien osalta paalutuspöytäkirjasta ilmenee:

- järkäleen pudotuskorkeus
- loppulyöntisarjojen lukumäärä
- paalun painuma loppulyöntien aikana. [12.]

Paalun korkeustiedoista pöytäkirjasta ilmenee:

- yläpään korkeustieto lyöntityön loppuessa
- paalun tavoitetason korkeustieto
- katkaisutaso. [12.]

Asennetut lisäpaalut on asennettu korvaamaan rikki menneitä paaluja, ja niiden nimeämisessä on käytetty alkuperäisen suunnitellun paalun numeroa sekä kirjainta kuvaamaan ylimääräistä paalua. Kuvan 24 esimerkin mukaisesti numero 125:n korvaava paalu on nimeltään 125a. Paalun 125a korvaavan paalun nimi olisi 125b.

| Paalutuspöytäkirja | | | | | | | | | | | | | | | ilmi | | | | | |
|----------------------------------|------------|----------------------------------|-----------|--------------|---------------------------------|----------------|--------------|----------------------------|---------------|---------------|--------------|----------------|------------------|--------|--------|-----------|---------------|-------------|------------------|-----------|
| Paalutuskone Junitan PM 20 LC | | Vasaran tyyppi Junttan HHK 5A | | | Vasara / Järkäle 8600 / 5000 | | | Luotu: 2015-12-29T13:09:40 | | | 3/9 | | | | | | | | | |
| Paalun tiedot | | | | Loppulyöntiä | | | | Paalun tasot | | | | Tarketiedot | | | | Kommentit | | | | |
| Paalu nro | päivämäärä | Pituus (m) | Koko (mm) | Karki | päivämäärä | Lyönti- lkm | Kork. (m) | Sarj lkm | Pain. (mm) | Yläpää (m) | Kärki (m) | Katkai. (m) | Loppu- pituus | dX (m) | dY (m) | dXY (m) | Suun kall. | poik. k. | Suunta poikk. | |
| 113 | 02.12.15 | 9 | 250 | M | 21.12.15 | 145 | 0,25 | 3 | 64 | 30,96 | 21,96 | 29,48 | 7,52 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | | | | |
| 114 | 02.12.15 | 9 | 250 | M | 21.12.15 | 114 | 0,25 | 3 | 76 | 31,03 | 22,03 | 29,48 | 7,45 | 0,00 | 0,08 | 0,08 | | | | |
| 115 | 02.12.15 | 9 | 250 | M | 21.12.15 | 102 | 0,25 | 3 | 70 | 31,03 | 22,03 | 29,48 | 7,45 | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 8:1 | | | |
| 123 | 08.12.15 | 10 | 250 | M | 21.12.15 | 121 | 0,25 | 3 | 65 | 31,51 | 21,51 | 29,93 | 8,42 | -0,01 | 0,04 | 0,04 | | | | |
| 125 | 10.12.15 | 12 | 250 | M | 17.12.15 | | | | | | | | | | | | | | | Katkennut |
| 125a | 09.12.15 | 11 | 250 | M | 17.12.15 | 162 | 0,25 | 3 | 69 | 32,17 | 21,17 | 29,48 | 8,32 | -0,26 | -0,43 | 0,51 | | | | Lisäpaalu |
| 128 | 02.12.15 | 11 | 250 | M | 16.12.15 | 165 | 0,25 | 3 | 60 | 32,66 | 21,66 | 29,93 | 8,27 | 0,03 | 0,07 | 0,08 | | | | |
| 129 | 09.12.15 | 11 | 250 | M | 17.12.15 | 192 | 0,25 | 3 | 58 | 32,30 | 21,30 | 29,48 | 8,18 | -0,02 | 0,07 | 0,07 | | | | |
| 130 | 10.12.15 | 12 | 250 | M | 17.12.15 | 119 | 0,25 | 3 | 76 | 33,52 | 21,52 | 29,48 | 7,96 | 0,03 | -0,14 | 0,14 | 8:1 | | | |
| 131 | 10.12.15 | 12 | 250 | M | 17.12.15 | 193 | 0,25 | 3 | 73 | 33,20 | 21,20 | 29,48 | 8,28 | 0,02 | -0,04 | 0,04 | 8:1 | | | |
| 132 | 10.12.15 | 12 | 250 | M | 17.12.15 | 163 | 0,25 | 3 | 71 | 32,97 | 20,97 | 29,48 | 8,51 | 0,03 | -0,01 | 0,03 | | | | |

Kuva 24. Ote paalutuspöytäkirjasta, jonka paalutustyön urakoitsija toimittaa rakennesuunnittelijalle paalutustyön päättyessä [12].

Paalutusohjeen mukaisia tietoja, joita suunnittelijalle on toimitettava paalutustyön jälkeen, ovat

- kaikkien asennettujen paalujen ylä- ja alapään korkeustieto
- teräsputkipaalun halkaisijan tai teräsbetonipaalun sivumitta sekä pituus
- käytettyjen jousto-osien ja iskusuojien lukumäärä sekä tyyppi
- aineisto loppulyöntien toteumista eli paalun tai paaluputken lopullinen pysyvä painuma kymmentä lyöntiä kohden tai lyöntien lukumäärä metrin tai metrin osan tunkeutumaa kohden tai painuma hydraulivasaroilla aikayksikössä esimerkiksi kolmeakymmentä sekuntia kohden
- paalun valmistuspäivämäärä
- paalujen valmistuksessa käytetyn betonin koostumus tai lujuusluokka
- paaluun valetun betonin määrä
- paalun pintakäsittelyssä käytetyn injektointiaineen, juotoslaastin tai betonin asennustiedot, kuten tilavuus ja asennuspaine
- vaikeasti läpäistävien maakerroksien sijainti- ja ominaisuustiedot

- pysyvien suoja- ja vaippaputkien pituudet
- jousto (elastinen muodonmuutos) mitattuna tunkeutumisvastuksen merkittävästä lisääntymisestä siihen hetkeen, jolloin paalu saavutti lopullisen tunkeutumistasonsa
- paalun esiporaus- ja rei'itysreijän halkaisija ja pituus. [3, s. 251.]

Asennetut paalut esitetään tarkekuvassa ja paalutuspöytäkirjassa toteutuneen sijaintitiedon ja kaltevuuden mukaisesti. Suunnittelijalle toimitetaan myös tiedot anturoihin ja laattoihin tehdyistä levennyksistä ja sidontapalkeista sekä paalutustyön aikana rikki menneiden paalujen sijainneista.

Muita arkistoitavia metatietoja paalutustyöstä ovat tiedot järkäleen mekaanisesta kunnosta paalutustyön alkaessa ja päättyessä, paalun asentamisen aikana käytetyn apupaalun tyypistä ja kunnosta sekä paalujen pintakäsittelyaineina käytettyjen injektointiainneiden, juotoslaastien tai betonien työmaalla suoritetuista kokeista. Koetulosten perusteella lasketaan aineiden lujuus- ja säilyvyysominaisuudet.

Muita dokumentteja [3, s. 252.], joita urakoitsija toimittaa suunnittelijalle ja joilla osoitetaan paalutustyön vaatimuksenmukaisuus, ovat

- paalutustyön toteutussuunnitelma
- ainestodistukset
- muiden käytettyjen pintakäsittelyaineiden kauppanimet
- käyttöturvallisuustiedotteet rakennuksen käyttöiän aikaisia muutostöitä varten
- paalujen koekuormitusraportit.

9 Yhteenveto

Tietomallien käyttö ei ole vielä toistaiseksi sellaisella tasolla, että niitä pystyisi käyttämään paalutuskentän edistyksellisessä suunnittelussa. Suunnittelutoimistojen ja urakoitsijoiden henkilöstön tietomalliohjelmiston käytön osaaminen ei ole vielä sellaisella tasolla, että tietomallien käytöstä voisi tulla arkipäivää hankkeiden toteuttamisessa. Infra-hankkeissa käytössä oleva Inframodel3-formaattia ja talokohteissa käytettävää IFC-formaattia on kehitettävä siten, että kumpikin formaatti toimisi samoissa ohjelmistoissa.

Niissä tulisi olla samanlaiset määrytykset, jotta aineistoa ei tarvitsisi muokata eri ohjelmille sopivaksi.

Inframodel3-formaatin käyttämiselle ei ole vielä vakiintuneita käyttötapoja, joten aineiston käyttötavat voivat erota hyvin paljon eri suunnittelutoimistojen ja urakoitsijoiden kesken. Rakennushankkeet, joissa tietomalleja on käytetty, ovat pilottihankkeita. Rakennesuunnittelija käyttää talokohteissa IFC-formaattia, ja siitä syystä Inframodel ei ole kyseisissä suunnittelukohteissa käytössä.

Tietomallien käyttö jakaantuu useaan osa-alueeseen, ja niiden käyttötapoja on useampia. Esimerkiksi muiden kuin geotekniikan suunnittelijan tekemien mallien käyttö on haastavaa, koska ne on voitu luoda eri menetelmillä. Geotekniikan suunnittelijan ja rakennesuunnittelijan aineistot voivat olla keskenään eri koordinaatistoissa, joten koordinaattimuunnokset voivat olla suunnittelutoimistoille haastavia ja aikaa vieviä toteuttaa. Tietomallien käsittely ja tarkastelu ohjelmistojen avulla on osalle suunnittelijoista haastavaa, koska kaikki eivät ole vielä saaneet ohjelmistojen käyttökoulutusta. Lisäksi joissain suunnittelutoimistoissa ei ole vielä käytössä tietomallipohjaisia suunnitteluohjelmistoja, jolloin uusiin työmenetelmiin perehtyminen on aikaa vievää. Tästä johtuen tietomallipohjaisten suunnitelmien tuottaminen maksaa enemmän, koska työskentelyaika saman suunnitelman parissa lisääntyy verrattuna perinteisten suunnittelumenetelmien käyttämiseen.

Suunnittelutoimistojen ja urakoitsijoiden välistä yhteistyötä tulee lisätä tietomallipohjaisia hankkeita toteuttaessa, jotta kummallakin osapuolella on selvillä vaatimukset, yhteiset pelisäännöt ja päämäärät, jotta hankkeen toteuttaminen olisi mahdollisimman suoraviivaista. Naantalin voimalaitoksen allianssimallinen toteutus olisi tehokas työskentelytapa tietomallipohjaisen hankkeen toteuttamiselle. Osapuolten muodostaessa yhteisen projektiorganisaation niiden välillä ei ole vastakkainasetteluita, vaan jokainen hankkeeseen osallistuva pyrkii toteuttamaan parhaan mahdollisen lopputuloksen.

Lyöntipaalutustyön tietotarpeen määrittää lyötävien paalujen tyyppi, koska mitä erikoisempia paaluja asennetaan, sitä enemmän yksityiskohtaista tietoa paalusta täytyy olla työn laadunvarmistusta varten. Urakoitsijan näkökulmasta paalutustyön tiedonkeräämistä tulisi kehittää automatisoituun suuntaa. Hyvin suuri osa työnjohdon ajasta menee erilaisten taulukoiden päivittämiseen sekä eri ohjelmien väliseen tiedostojen muuntami-

seen sellaiseen muotoon, että tieto olisi käsiteltävissä tarkoituksenmukaisella ohjelmistoilla. Tietomallinnetun hankkeen toteuttamisessa ja läpiviennin kehittämisessä tulisi ennen kaikkea keskittyä työmenetelmien kehittämiseen sekä ohjelmistojen helppokäyttöisyyden edistämiseen, jotta hankkeita voidaan toteuttaa kustannustehokkaasti ja vähintään samanlaisella ajankäytöllä kuin perinteisiä työtapoja käyttäen.

Koneohjausjärjestelmiä tulee vielä kehittää lyöntipaalutustyötä varten, koska toimivalla järjestelmällä voidaan tehostaa asennettujen paalujen toteumatiedon keräämistä työmaalla. Lyöntipaalutuksen koneohjausjärjestelmien käyttöliittymiä tulee kehittää siten, että työmaalta työnjohdolle on mahdollista toimittaa aineistoa, jossa kaikki tarvittava toteumatieto olisi koottuna samaan tiedostoon.

Lähteet

- 1 Jääskeläinen, Raimo. 2003. Pohjarakentamisen perusteet. Tampere: Tammer-tekniikka.
- 2 Paalutustekniikat. 2015. Verkkodokumentti. Junttan Oy. <http://www.junttan.com/ratkaisut_paalutukseen/paalutustekniikat>. Luettu 16.11.2015.
- 3 Paalutusohje. 2011. Helsinki: Saarijärven Offset Oy. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL.
- 4 Esivalmistetun lyöntipaalun asentaminen maahan. 2015. Verkkodokumentti. Junttan Oy. <http://www.junttan.com/instancedata/prime_product_julkaisu/junttan/embeds/junttanwwwstructure/13711_prefabricated_driven_pile.jpg>. Luettu 16.11.2015.
- 5 PM20LC käyttöohjekirja. 2013. Junttan Oy.
- 6 Tuotelehti PO-2011 mukaiseen paalutustyöhön. 2011. PDF-dokumentti. Rakennusteollisuus. Luettu 2.2.2016.
- 7 Suunnittelu- ja asennusohjeet lyötäville RR-paaluille. 2010. Verkkodokumentti. SSAB AB. <<http://www1.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Infra/Teraspaalut%20esitteet%20ja%20ohjeet/Tekninen%20ohje%20-%20RakMk%20-%20RR-paalutusohjeet%20ja%20loppuly%C3%B6ntitaulukot.ashx>>. Luettu 2.2.2016.
- 8 Lyötävä RR-pienpaalu. 2016. Verkkodokumentti. SSAB AB. <<http://www.ssab.fi/Tuotteet/Terasluokat/Infrastrukturi/Tuotteet/Lyotava-RR-pienpaalu>>. Luettu 2.2.2016.
- 9 Lyötävät RR-suurpaalut. 2016. Verkkodokumentti. SSAB AB. <<http://www1.ruukki.fi/Teras/Infrastrukturiratkaisut/Teraspaalut/Lyotavat-RR-suurpaalut>>. Luettu 2.2.2016.
- 10 Ryytänen, Timo. 2016. YIT Rakennus Oy, mittamies. Haastattelu 13.1.2016.
- 11 Hautamäki, Jarno. 2016. YIT Rakennus Oy, mittaustyönjohtaja. Sähköpostikeskustelu. Vastaanotettu 1.2.2016.
- 12 Paalutuspyytäkirja. 2015. YIT Rakennus Oy.
- 13 Niskanen, Jari. 2015. Yleiset inframallivaatimukset YIV2015, osa 1, tietomallipohjainen hanke. Verkkodokumentti. WSP Finland Oy. <http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA1_Tietomallipohjainen_hanke_V_1_0.pdf>. Luettu 7.12.2015.

- 14 Liukas, Juha & Kempainen, Liisa. 2015. Yleiset inframallivaatimukset osa 2, yleiset mallinnusvaatimukset. Verkkodokumentti. Sito Oy. <http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA2_Yleiset_Vaatimukset_V_1_0.pdf>. Luettu 20.1.2016.
- 15 Liukas, Juha & Virtanen, Juuso. 2015. Yleiset inframallivaatimukset osa 3, lähtötiedot. Verkkodokumentti. Sito Oy. <http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA3_Lahtotiedot_V_1_0.pdf>. Luettu 2.2.2016.
- 16 Janhunen, Niko ym. 2015. Yleiset inframallivaatimukset osa 4, inframalli ja mallinnus hankeen eri suunnitteluvaiheissa. Verkkodokumentti. Finnmap Infra. <http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA4_Mallinnus_hankeen_eri_vaiheissa_V_1_0.pdf>. Luettu 20.1.2016.
- 17 Maastotietojen hankinta, toimintaohjeet. 2011. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-23_maastotietojen_hankinta_web.pdf>. Luettu 3.2.2016.
- 18 Kaista, Pertti. 2015. Rakennesuunnittelija, Sweco Rakennetekniikka Oy. Haastattelu 16.12.2015.
- 19 Levander, Max. 2015. Rakennesuunnittelija, Ramboll Finland Oy. Haastattelu 7.12.2015.
- 20 Anttila, Teemu. 2015. Kehityspäällikkö, Ramboll Finland Oy. Sähköpostikeskustelu. Vastaanotettu 17.12.2015.
- 21 Oinonen, Jarmo & Koskela, Veli-Pekka. 2016. Geotekniikan suunnittelija & projektipäällikkö. Ramboll Finland Oy. Haastattelu 10.2.2016.
- 22 Rantanen, Jussi & Punkari, Sami. 2016. Rakennesuunnittelija & geotekniikan suunnittelija, A-insinöörit Suunnittelu Oy. Haastattelu 23.2.2016.
- 23 Kråknäs, Pasi. 2015. Satelliittimittaukset. Kurssimateriaali. Maanmittaustekniikka, Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 24 Laurila, Pasi. 2011. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet.
- 25 Verkko-RTK. SmartNet Finland. <http://fi.smartnet-eu.com/verkko-rtk_221.htm>. Luettu 4.2.2016.
- 26 Geotrim Oy. Yritysesittely. <<http://www.geotrim.fi/geotrim/yritys>>. Luettu 1.12.2015.
- 27 Fransman, Ulf. 2015. Tekninen tukihenkilö, Geotrim Oy. Sähköpostikeskustelu. Vastaanotettu 27.11.2015.

- 28 Sitech Finland. Yritysesittely. <<http://www.tekninenkauppa.fi/sitech-trimble>>. Luettu 1.12.2015.
- 29 Paitsola, Janne. 2015. Tuotepäällikkö, Sitech Finland. Sähköpostikeskustelu. Vastaanotettu 19.10.2015.
- 30 Paitsola, Janne. 2015. Tuotepäällikkö, Sitech Finland. Sähköpostikeskustelu. Vastaanotettu 24.11.2015.
- 31 Hokkanen, Visa. 2015. Tuotekehityspäällikkö, Novatron Oy. Sähköpostikeskustelu. Vastaanotettu 18.11.2015.
- 32 Hokkanen, Visa. 2016. Tuotekehityspäällikkö, Novatron Oy. Sähköpostikeskustelu. Vastaanotettu 15.1.2016.
- 33 Paitsola, Janne. 2016. Sitech Finland, tuotepäällikkö. Haastattelu 5.2.2016.
- 34 Isopahkala, Raimo. 2015. Niskasen Maansiirto, paalutustyönjohtaja. Sähköpostikeskustelu. Vastaanotettu 13.10.2015.
- 35 Kiiski, Henri & Paunonen, Jarmo. Paalutustyönjohto. 2016. Haastattelu 18.1.2016.
- 36 Dettenborn, Taavi ym. 2015. YIV2015 osa 5.1, Rakennussuunnitelmavaiheen maa-, pohja- ja kalliorakenteet sekä päällys- ja pintarakenteet. Verkkodokumentti. <http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA5_1_Maarakenteet_V_1_0.pdf>. Luettu 20.1.2016.
- 37 Mäkinen, Erkki. 2013. Yleiset inframallivaatimukset 2013. Inframallin laadunvarmistus. Verkkodokumentti. Tekla Oy. <http://www.infrabim.fi/infrabim_uusi/mallinnusohjeita/InfraBIM_Mallinnusohjeet_OSA_7_Inframallin_Laadunvarmistus_09_2013.pdf>. Luettu 18.2.2016
- 38 Myllymäki, Heikki ym. 2015. Yleiset inframallivaatimukset, osa 7. Rakennustekniset rakennusosat. Verkkodokumentti. <http://infrabim.fi/yiv-2015/YIV2015_Mallinnusohjeet_OSA7_Rakennustekniset_rakosat_V_1_0.pdf>. Luettu 11.2.2016.
- 39 Kempainen, Kirsi. 2016. Tietomalliasiantuntija, Sweco Rakennetekniikka Oy. Sähköpostihaastattelu. Vastaanotettu 24.2.2016.
- 40 Palviainen, Ville. 2016. Tietomallikoordinaattori, Ramboll Finland Oy. Haastattelu 22.1.2016.
- 41 Siltojen tietomalliohje. 2014. Verkkodokumentti. Liikennevirasto. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-06_siltojen_tietomalliohje_web.pdf>. Luettu 11.2.2016.

- 42 Inframodel-käyttöönotto-ohje. 2013. Verkkodokumentti. PRE InfraFINBIM Inframodel -ryhmä. <<http://www.infrabim.fi/wp-content/uploads/2014/04/Inframodel3-kayttoohje.pdf>> Luettu 1.3.2016.
- 43 Anttonen, Mikko. 2008. IFC-tietomallin mukaisen tiedon jäsentäminen, käsittely ja siirto. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/38109/nbnfi-fe200805131372.pdf?sequence=2>>. Luettu 1.3.2016.

